



## Investigation the Role of Global Warming on the Tropospheric Circulation in the Middle East from 1961 to 2020

Mohammad Moradi<sup>1</sup> 

1- (Corresponding Author) *Department of Synoptic and Dynamic Meteorology, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences (RIMAS), Tehran, Iran*  
Email: [moradim36@gmail.com](mailto:moradim36@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
[Research Article](#)

**Article History:**

**Received:**

1 June 2024

**Received in revised form:**

24 August 2024

**Accepted:**

27 September 2024

**Available online:**

5 November 2024

**Keywords:**

*Trend,*

*Mann-Kendall Test,*

*Sens Slop Estimator,*

*Climate Change.*

### ABSTRACT

Climate change refers to a change in the state of the climate that can be identified by changes in the mean and the variability of its properties and that persists for an extended period, typically decades or longer. In the present study, the temporal variability of the temperature, geopotential height, wind speed, specific humidity in pressure levels, and the mean sea level pressure in the Middle East in the cold season (December, January, February) are analyzed in two statistical periods of 1961-1990 and 1991-2020. These data are collected from the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) archive. The Middle East region is considered as a study area. The temperature trend analysis of the cold season in standard pressure levels from 1991 to 2020 shows a positive trend in the southern Middle East. This positive trend might cause an increase in thermal energy in the atmospheric layers, an increase in upward vertical motion, a thickness increase in the atmosphere, and more frequent convective phenomena. The positive trend of frequent intensified convective precipitation, extreme rainfalls, and devastating floods is obvious in the Middle East. With the revelation of the positive trend of the geopotential height in pressure levels and the negative trend of the wind speed in lower layers, the water vapor flux into the planetary layers has decreased.

**Cite this article:** Moradi, M. (2024). Investigation the Role of Global Warming on the Tropospheric Circulation in the Middle East from 1961 to 2020. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (3), 1-17.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.366330.1007791>



© The Author(s).

**Publisher:** University of Tehran Press

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Adapting to climate change and mitigating its negative effects is the most important present challenges of the humankind. The Intergovernmental Panel on Climate Change confirms that human influence on the climate system is evident and increasing, and its adverse effects are visible on continents and oceans. Climate change refers to a change in the state of the climate that can be identified by changes in the mean and the variability of its properties and that persists for an extended period, typically decades or longer. Also, climate change can result from nature's internal processes, the effect of external forces, persistent anthropogenic forces on atmospheric composition, or soil misuse. In addition, climate change occurs on a global scale, but its impacts are not the same from region to region. The change analyses over the meteorological variables represent a critical task in climatic change detection. Numerous studies have been done to detect the possible climate trends and changes across the world. However, most of these studies have focused on temperature, humidity, and precipitation changes. Numerous studies have examined the changes in meteorological variables in the Middle East and Iran. The results generally showed significant meteorological parameter changes in many observing stations. This paper aims to analyze the variability of temperature, geopotential height, wind speed, and humidity over the pressure levels in the Middle East during 1961-1990 and 1991-2020.

### **Methodology**

In the present study, the temperature, geopotential height, wind speed, and specific humidity temporal variability over the pressure levels (1000, 925, 850, 700, 500, 300, 250, 200 hPa) and mean sea level pressure in the Middle East in the cold season (December, January, and February) are analyzed in the two statistical periods of 1961-1990 and 1991-2020. These data are collected from the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) archive. The Middle East region is

considered as a study area. This region is between 10° to 60° N latitude and 25° to 80° E longitude. The average quantity from December 1 to February 28 (29) is calculated and then fitted to the trend equation. The most commonly used non-parametric test to find the trends in meteorological variables is the Mann-Kendall one. The statistically significant trend was detected using a non-parametric model such as the Mann-Kendall test, and it was completed by Sens slope estimation to define the extent of the trend. Minitab statistical software was also used in this study.

### **Results and discussion**

The cold season trend analysis of the temperature in pressure levels during 1991-2020 shows a positive trend in the southern Middle East. This positive trend can cause an increase in thermal energy in the atmospheric layers, an upward vertical motion intensification, an increase in the thickness and depth of the atmosphere, and more frequent convective phenomena. As a result, the intensification of convective precipitation can increase the number of flash floods in the Middle East. Comparing the second 30 years with the first one reveals that the frequency of micro-scale and medium-scale phenomena has increased compared to synoptic-scale low-pressure systems. The number of cold low-pressure systems also decreased regarding the occurrences in the first 30-year period. Regarding the positive trend of the geopotential height in different pressure levels and the negative trend of the wind speed in the planetary layers in this period, the water vapor flux into the low-pressure systems has decreased, and their precipitation contribution is weakened.

### **Conclusion**

The variability of the temperature, geopotential height, wind speed, specific humidity, and mean sea level pressure of the Middle East in the cold season are analyzed in this paper for the 1961 to 2020 period. The results showed that in the southern Middle East and Iran, the meteorological variables have changed as follows:

1-The lower troposphere has shown a cooling of up to 1 K per decade (from 1961 to 1990) in the southwest of the Mediterranean Sea and north of Iran and a 0.5 K decadal warmup in the southern Indian Ocean.

2-The middle troposphere showed up to 0.5 K decadal (during 1991-2020) warming in the Indian Ocean, Red Sea, southeast of the Mediterranean Sea, and over the northern Black Sea.

3- The lower troposphere had 0.3 g/kg per decade drying in the western regions of Iran.

4- The wind speed during 1961-1990 in the upper northern troposphere had a 2 m/s per decadal increase in the northern Mediterranean Sea and east of the Caspian Sea. It decreased by 2 m/s per decade in the southern Mediterranean Sea and by 0.5 m/s per decade in the western regions of Iran.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



## بررسی اثر گرمایش جهانی بر روند گردش‌های وردسپهری در خاورمیانه در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۲۰

محمد مرادی<sup>۱</sup> ✉

۱- نویسنده مسئول، گروه هواشناسی همدیدی و دینامیکی، پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران. رایانامه: [moradim36@gmail.com](mailto:moradim36@gmail.com)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در این پژوهش برای بررسی اثر گرمایش جهانی بر تغییر گردش‌های وردسپهری، با استفاده از داده‌های باز تحلیل NCEP/NCAR و به‌کارگیری آماره Z و برآوردگر شیب سن به روش من-کندال، وجود روند در میانگین پارامترهای جوی سطوح فشاری در دوره اقلیمی سی‌ساله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱، در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه در خاورمیانه بررسی شد. نتایج نشان داد که در دوره اقلیمی سی‌ساله اول در جنوب محدوده مطالعاتی، روند افزایشی در فشار سطح متوسط دریا، دما و ارتفاع ترازهای مختلف فشاری آشکار شد که بیانگر تضعیف کم‌فشار مدیترانه‌ای و تقویت پرفشارهای دینامیکی است. اثر این شرایط می‌تواند به‌صورت کاهش مقدار بارش در محدوده فوق ظاهر شود. روند کاهشی نم‌ویژه در ترازهای زیرین (۲/۵- گرم بر کیلوگرم در هر دهه) در نوار غربی ایران و کشورهای هم‌جوار، معرف کاهش بخار آب موجود در جو این مناطق است که می‌تواند شرایط مربوط به بارش در این مناطق را کاهش دهد. در دوره اقلیمی سی‌ساله دوم، وجود روند افزایشی دما (۵/۰+ درجه در هر دهه) در مناطق خاورمیانه می‌تواند عامل افزایش انرژی گرمایی در لایه‌های جو، افزایش حرکت بالاسو، افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های همرفتی خرد و میان‌مقیاس و در نتیجه تشدید بارش‌های همرفتی و بارش‌های حدی در مناطق فوق باشد. افزون بر آن، در دوره اقلیمی سی‌ساله دوم در جنوب دریاچه بالخاش در روی افغانستان، روند کاهشی فشار و افزایشی دما آشکار شد که می‌تواند عامل تضعیف پرفشار سرد و در نتیجه کاهش فراوانی روزهای با هوای بسیار سرد در مناطق تحت تأثیر آن باشد.

### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

### تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۱۲

### تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۶/۰۳

### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۶

### تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۸/۱۵

### واژگان کلیدی:

روند،  
آزمون من-کندال،  
برآوردگر شیب سن،  
تغییر اقلیم.

**استناد:** مرادی، محمد. (۱۴۰۳). بررسی اثر گرمایش جهانی بر روند گردش‌های وردسپهری در خاورمیانه در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۲۰. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۳)، ۱-۱۷.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.366330.1007791>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان



## مقدمه

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم واژه‌هایی هستند که همواره مورد توجه پژوهشگران هواشناسی و اقلیم‌شناسی قرار گرفته‌اند. این پژوهشگران با بررسی شروع انقلاب صنعتی، افزایش مصرف سوخت فسیلی، افزایش تدریجی گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای هوا و تغییر کمیت‌های اقلیمی در مناطق مختلف کره زمین، به نتایج جالبی دست یافته‌اند. از برجسته‌ترین ادعاهای به دست آمده این پژوهشگران می‌توان به کاهش حجم یخ‌های قطبی، افزایش تراز آب اقیانوس‌ها، افزایش فراوانی پدیده‌های حدی اقلیمی و هواشناسی در مناطق مختلف زمین اشاره کرد. تغییر اقلیم به تغییر مشخصی در الگوهای میانگین اقلیمی که در یک دوره طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد گفته می‌شود (Solomon et al., 2009: 1075). تغییر اقلیم را می‌توان در بررسی‌های آماری میانگین‌ها یا تغییرپذیری خواص آن در مدت‌زمان چند دهه یا بیشتر شناسایی کرد (Qin et al., 2007: 2).

مطالعات اخیر نشان داده است که طی دهه‌های اخیر دمای هوا افزایش یافته است (IPCC., 2022: 8) و گازهای گلخانه‌ای که در اثر به دام انداختن گرما، تولید گرما می‌کند، نقشی کلیدی در تنظیم دمای زمین دارند. گرمایش جهانی به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی شمالگان (Screen, 2014:577) به شدت تقویت شده است و باعث تغییر گرته‌های وضع هوا در عرض‌های بالا و میانی شده است (Collin et al., 2013: 1030; Masson et al., 2013: 383).

بررسی متغیرهای همدیدی یکی از مهم‌ترین راه‌های شناسایی تغییرات اقلیمی می‌باشد. تحقیقات زیادی نشان داده است که فراوانی رخداد مخاطرات طبیعی نظیر بارش‌های سنگین، خشک‌سالی‌ها و امواج گرمایی به دلیل افزایش دمای هوا، همگی می‌توانند در آینده افزایش یابند (Meehl & Tebaldi, 2004:995). تحلیل رخدادهای جوی فرین نشان داده است که در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ فراوانی روزها و شب‌های سرد (گرم) کاهش (افزایش) یافته و در میانه قرن بیستم، طول عمر و فراوانی امواج گرمایی در آفریقا و جنوب آمریکا به شدت افزایش یافته است و در بخش‌های بزرگی از اروپا، آسیا و استرالیا نیز این روند افزایشی بوده است (IPCC., 2013:46).

هات و همکاران (Huth et al., 2008: 105) نشان دادند که حتی تغییر کوچکی در میانگین دما می‌تواند تغییرات بزرگی را در وضع هوا ایجاد نماید. بر اساس گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۳ بیان شده است که جو زمین و اقیانوس‌ها به مراتب گرم‌تر از سال‌های گذشته شده‌اند. بر اساس این گزارش، میانگین دمای هوا در سطح زمین از قرن نوزدهم به بعد افزایش یافته است و زمین در هر دهه گرم‌تر شده است. از بررسی شیب معادله خط روند بر میانگین دمای زمین دیده شد که مقدار این کمیت در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۸۸۰ به مقدار ۰/۸۵ درجه سلسیوس، در دوره ۲۰۱۲-۱۹۰۱ به مقدار ۰/۸۹ درجه سلسیوس و در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۵۱ به مقدار ۰/۷۲ درجه سلسیوس افزایش یافته است (IPCC., 2013: 37). در گزارش‌های بعدی هیات بین‌الدول تغییر اقلیم بر اساس داده‌های مشاهداتی و تعیین شیب خط روند، نشان داده شده است که شمال شرق و شرق ایران نسبت به بقیه مناطق بیشتر گرم شده است (IPCC., 2014: 10). سیمونز (Simmons, 2022:785) با استفاده از داده‌های باز تحلیل ERA5 تغییرات گردش عمومی جو را در دوره آماری ۲۰۲۲-۱۹۷۹ بررسی کرد و بر اساس معادله خط روند بر سری‌های زمانی، تغییر در کمیت‌های میانگین ماهانه و فصلی دما و باد و ردسپهر را تحلیل نمود. این پژوهشگر نشان داد که متوسط دمای کره زمین ۰/۲ درجه بر دهه افزایش یافته است. افزون بر آن، این کمیت در روی اروپا ۰/۴۵، در آسیا ۰/۳۶ و در آفریقا ۰/۳۰ درجه بر دهه افزایش یافته است.

تغییر اقلیم و پیامدهای آن در ایران نیز از دیر باز مورد توجه پژوهشگران اقلیم‌شناسی و هواشناسی قرار گرفته است. بیشتر این پژوهشگران از داده‌های دمای کمینه و بیشینه (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۳-۷۹) و میانگین دمای ایستگاه‌های هواشناسی (بارانی و کریمی، ۱۳۹۸، ۷۵-۹۰) در یک دوره آماری مشخص، در ماه‌های گرم یا سرد (حلبیان و همکاران،

۱۳۹۶، ۱۰-۱) و یا سالانه (کمانگر و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۵۷-۲۲۴) استفاده کرده و روند تغییرات این کمیت‌ها را بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهشگران که ممکن است متفاوت باشند، بیانگر روند افزایشی کمیت تحت بررسی در دوره آماری انتخابی است. علت اختلاف در نتایج آن‌ها نیز به دوره آماری انتخابی، موقعیت جغرافیائی ایستگاه هواشناسی و کمیت تحت بررسی بستگی دارد.

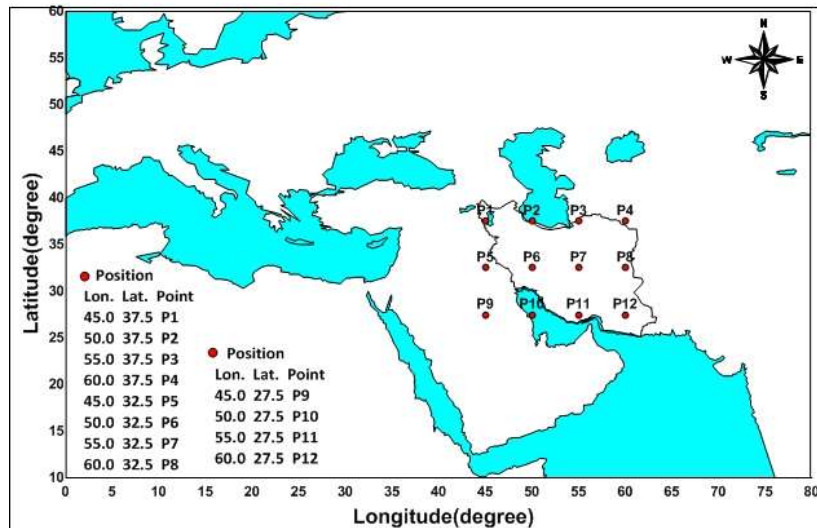
برخی پژوهشگران نیز با استفاده از روش خوشه‌بندی و روش‌های آماری، تغییرات یک مجموعه از داده‌ها را در ایستگاه‌های مختلف بررسی کرده‌اند (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۰-۵۵؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۵-۱۹) که بررسی نتایج آن‌ها نشان داد که روند کمیت‌های وابسته به بارش و دما در برخی مناطق ایران به ترتیب کاهشی و افزایشی است و در برخی مناطق دیگر روند معنی‌داری آشکار نشد. دسته‌ای دیگر از پژوهشگران نیز با استفاده از مدل‌های اقلیمی و به‌کارگیری سناریوهای مختلف، نحوه تغییرات دما را در دهه‌های آینده پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج این پژوهشگران نشان داده است که دمای هوا در مناطق مختلف ایران از جمله دامنه‌های زاگرس تا سال ۲۱۰۰ به‌شدت افزایش خواهد یافت (زرین و داداشی، ۱۳۹۹: ۶۰۲-۵۸۳؛ زرین و داداشی، ۱۴۰۰: ۵۷۸-۵۶۱). برخی پژوهشگران نیز پیامدهای تغییر اقلیم را بررسی کرده‌اند (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰: ۷۴-۳۷). در این‌گونه پژوهش‌ها عموماً اثر تغییر اقلیم بر مخاطرات محیطی، منابع آب، کشاورزی و پیامدهای اجتماعی و سکونتگاهی تحلیل شده است.

به‌طور کلی بررسی نتایج پژوهشگران پیشین نشان داد که دما در ایستگاه‌های هواشناسی که در مجاورت شهرهای بزرگ قرار گرفته‌اند، دارای روند افزایشی است و شیب‌خط روند در مناطق کم ارتفاع از دیگر مناطق بیشتر است. افزون بر آن فراوانی رخداد مخاطرات حدی نیز نسبت به میانگین در مناطق مختلف کشور افزایش یافته است. شایان‌ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده پژوهشگران با تغییر دوره آماری و تغییر ایستگاه‌های تحت بررسی، نتایج متفاوتی به دست می‌دهد. چنانکه دیده شد، در پژوهش‌های پیشین، اثر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم برگردش‌های وردسپهری همچنان در پرده ابهام باقی‌مانده است. در این مقاله کوشش شده است تا با بررسی روند در برخی پارامترهای جوی و مقایسه آن‌ها در دو دوره سی‌ساله اقلیمی در منطقه خاورمیانه، اثر گرمایش جهانی در الگوهای وضع هوا در ماه‌های سرد سال بررسی و شناسایی شود.

### محدوده مورد مطالعه

برای تحلیل آماری تغییر کمیت‌های هواشناسی مؤثر برگردش وردسپهری مانند فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع، دما، نم ویژه و میدان باد، منطقه مطالعاتی به‌گونه‌ای انتخاب شد که امواج همدیدی بتوانند در آن ناحیه آشکار شوند. این محدوده، ده تا شصت درجه عرض جغرافیایی شمالی و صفر تا هشتاد درجه طول جغرافیایی شرقی است که در آن خاورمیانه قرار گرفته است. در روی ایران نیز در مناطق مختلف، ۱۲ نقطه برای بررسی نحوه روند انتخاب شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و نقاط مختلف انتخابی در محدوده‌ای شامل ایران را نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده این پژوهش، فشار سطح متوسط دریا، دما و ارتفاع در ترازهای فشاری ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، نم ویژه در سطوح فشاری ۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و اندازه سرعت باد در ترازهای فشاری ۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال می‌باشند این داده‌ها از بایگانی NCEP/NCAR گرفته شده است (Kalnay et al., 1996: 437). انتخاب کمیت‌های تحت بررسی در سطوح فشاری انتخابی بین پژوهشگران هواشناسی و اقلیم‌شناسی متداول می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و نقاط انتخابی در محدوده‌های شامل ایران

## روش پژوهش

در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰، در سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه برای ماه سرد میانگین سالانه کمیت‌های هواشناسی مؤثر بر گردش‌های وردسپهری از رابطه زیر محاسبه شد (مرادی، ۱۴۰۲، ۴۳):

$$\bar{X} = \frac{1}{nmonth} \sum_{m=1}^{nmonth} \left[ \frac{1}{nday} \sum_{d=1}^{nday} X_d \right] m \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه متغیر  $X$  کمیت‌های تحت بررسی است. اندیس  $d$  برای روزهای ماه بکار برده شده است. این زیرنویس برای ماه‌های دسامبر و ژانویه از یک تا سی و یک (۱ تا ۳۱) و برای ماه فوریه از یک تا بیست‌وهشت در سال‌های معمولی و از یک تا بیست‌ونه در سال‌های کبیسه تغییر می‌کند. از زیرنویس  $m$  برای تعداد ماه‌ها استفاده شده است. این شاخص از ۱ تا ۳  $nmonth=3$  برای سه ماه سرد متغیر است. از آنجای که میانگین کمیت‌های تحت بررسی در فصل سرد در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه طی سال‌های دوره اقلیمی پیوسته نیست از آزمون من-کندال برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی استفاده شد. آماره  $Z_{MK}$  من-کندال از رابطه زیر به دست آمد (Mondal et al., 2012, 72; Surendar and Nisha, 2020, 1771):

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } s > 0.0 \\ 0.0 & \text{if } s = 0.0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } s < 0.0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه  $s$  مجموع تابع علامت دو داده متوالی سری زمانی داده‌شده است و  $Var$  مخفف واریانس است و به کمیت واریانس اشاره دارد. وجود یا نبود روند از مقایسه آماره  $Z_{MK}$  در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد با مقادیر  $\pm 1.96$  و  $\pm 2.575$  برآورد شد (مکاری و عباس‌نیا، ۱۳۹۹، ۳۴). در این تحلیل در سطح اطمینان ۹۵ درصد، نامساوی  $-1.96 \leq Z_{MK} \leq 1.96$  معرف نبود روند در کمیت تحت بررسی است. افزون بر این، عبارت  $Z_{MK} > +1.96$  معرف وجود روند صعودی و عبارت  $Z_{MK} < -1.96$  بیانگر وجود روند نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. برای تعیین شیب خط روند کمیت‌های تحت بررسی در منطقه مطالعاتی خاورمیانه، از برآوردگر شیب سن استفاده شد. این برآوردگر برای هر دو داده متفاوت  $i$  ام و  $j$  ام از رابطه زیر به دست آمد (Yue and Pilon, 2004 :23; Krishn et al., 2022: 299; Medeo & Jamir, 2013: 917):

رابطه ۳  $\beta_{sen} = \text{Median} \left( \frac{x_i - x_j}{i - j} \right)$

محاسبات در دو دوره سی‌ساله اقلیمی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۲۰، برای محدوده انتخابی در ماه‌های سرد سال برای کمیت‌های تحت بررسی انجام و نتایج به‌دست‌آمده بحث و بررسی شد. این دو دوره در مطالعات اقلیم‌شناسی در سطح بین‌الملل به‌عنوان دوره‌های متوسط اقلیمی در نظر گرفته شده‌اند.

## یافته‌ها

### بررسی تغییرات شیب خط روند

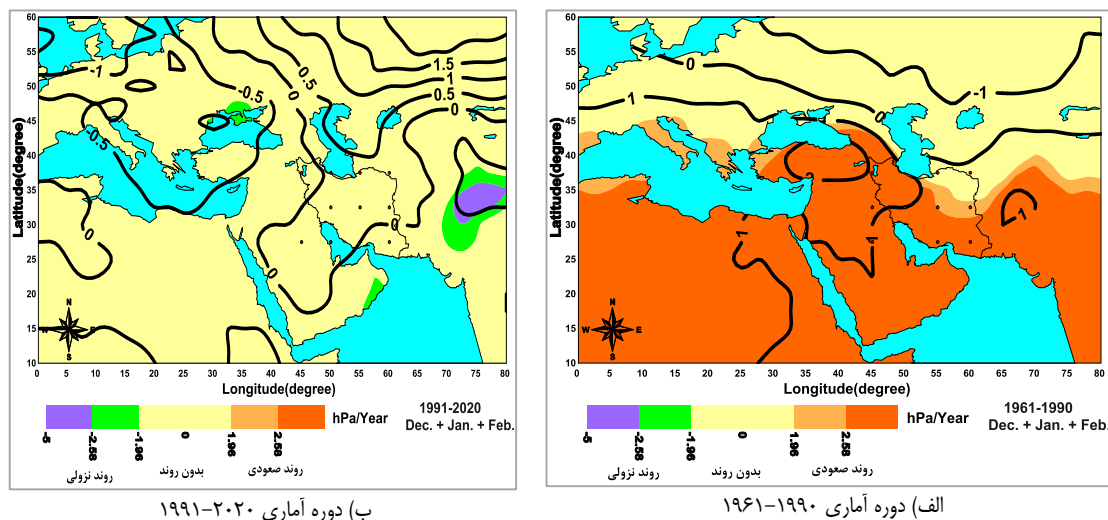
شکل ۲ گرته آماره Z من-کندال و برآوردگر شیب سن برای خط روند بر فشار سطح متوسط دریا در دو دوره اقلیمی سی‌ساله در دوره سرد سال را نشان می‌دهد. از شکل ۲-الف) دیده می‌شود که در دوره اقلیمی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ که از این به بعد دوره سی‌ساله اول نامیده می‌شود، در مناطق بالای مدار ۴۳ درجه شمالی، و نیز جنوب دریاچه اورال تا شرق ایران، روند معنی‌داری آشکار نشده است ولی در مناطق دیگر مطالعاتی، در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، روند افزایشی رخ داده است که معرف افزایش فشار سطح متوسط دریا در این دوره اقلیمی در مناطق فوق می‌باشد. از این شکل دیده می‌شود که در دوره سی‌ساله اول، بیشترین شیب خط سن بین ۲ تا ۳ هکتوپاسکال بر ده سال در حدفاصل جنوب دریای سیاه و شمال شرق دریای مدیترانه برآورد شده است. در شمال غرب ایران، شرق، مرکز، جنوب و غرب دریای مدیترانه و غرب دریای سرخ مقادیر این کمیت بین ۱ تا ۲ هکتوپاسکال بر ده سال است و در سایر نقاطی که روند افزایشی آن‌ها تأیید شده است، این مقدار بین صفر تا یک هکتوپاسکال بر ده سال محاسبه شده است. افزون بر آن، این شکل نشان داد که در نقاط انتخابی روی ایران در دوره سی‌ساله اول فقط در نقطه ۳ و ۴ روند معنی‌داری آشکار نشده است و در بقیه نقاط روند افزایشی برآورد شده است.

شکل ۲-ب) نشان می‌دهد که در دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ که از این به بعد دوره سی‌ساله دوم معرفی می‌شود، فقط در شرق افغانستان و پاکستان و نیز در مناطق محدودتری در شمال دریای سیاه و جنوب دریای عمان روند کاهشی آشکار شده است و در بقیه مناطق وجود روند تأیید نشده است. شیب خط سن در سی‌ساله دوم در شرق افغانستان و پاکستان که روند کاهشی آن معنی‌دار است، بین صفر تا ۱- هکتوپاسکال بر ده سال برآورد شده است. شایان ذکر است که در نقاط انتخابی روی ایران در این دوره اقلیمی روند معنی‌داری آشکار نشده است. از مقایسه این دو شکل چنین برمی‌آید که در ماه‌های سرد سال در دوره سی‌ساله اول، فراوانی کم‌فشارهای عبوری از روی دریای مدیترانه و گسترش جنوب سوی آن‌ها کاهش یافته و ناوه فشاری وارون دریای سرخ نیز تضعیف شده است در حالی که در دوره سی‌ساله دوم مناطق محدودی در شرق افغانستان و پاکستان تحت تأثیر کم‌فشارهای عبوری قرار گرفته‌اند و فراوانی عبور این سامانه‌ها در این مناطق افزایش یافته است.

شکل ۳ گرته آماره Z من-کندال و برآوردگر شیب سن برای خط روند بر دمای سطوح مختلف فشاری در دو دوره اقلیمی سی‌ساله در دوره سرد سال را نشان می‌دهد. از شکل ۳-الف) دیده می‌شود که در دوره سی‌ساله اول، در تراز فشاری ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در جنوب غرب دریای مدیترانه، جنوب دریای سیاه و جنوب خلیج فارس روند کاهشی تأیید شده است که در سطوح فشاری بالاتر از وسعت مناطق تحت تأثیر روند کاهشی کاسته شده است. برآورد شیب سن در مناطق روی آفریقا کمتر از ۱/۵- درجه بر ده سال است که در سطوح فشاری بالاتر این مقدار به ۵/۰+ درجه بر ده سال افزایش یافته است. در سطوح فشاری زیرین، در اطراف خلیج عدن، دریاچه بالخاش و غرب هند نیز روند افزایشی آشکار شده است که در سطوح



فشاری بالاتر مناطق بیشتری تحت تأثیر روند افزایشی قرار گرفته است به طوری که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال محدوده بزرگی از غرب دریای سرخ تا شرق اقیانوس هند تحت تأثیر روند افزایشی می‌باشد. در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال روند افزایشی دما فقط به حاشیه شمالی دریای مدیترانه محدود شده است. در این دوره اقلیمی به جز نقطه شماره ۱ که در آن روند نزولی برآورد شده است، در بقیه نقاط انتخابی روند معنی‌داری آشکار نشده است.



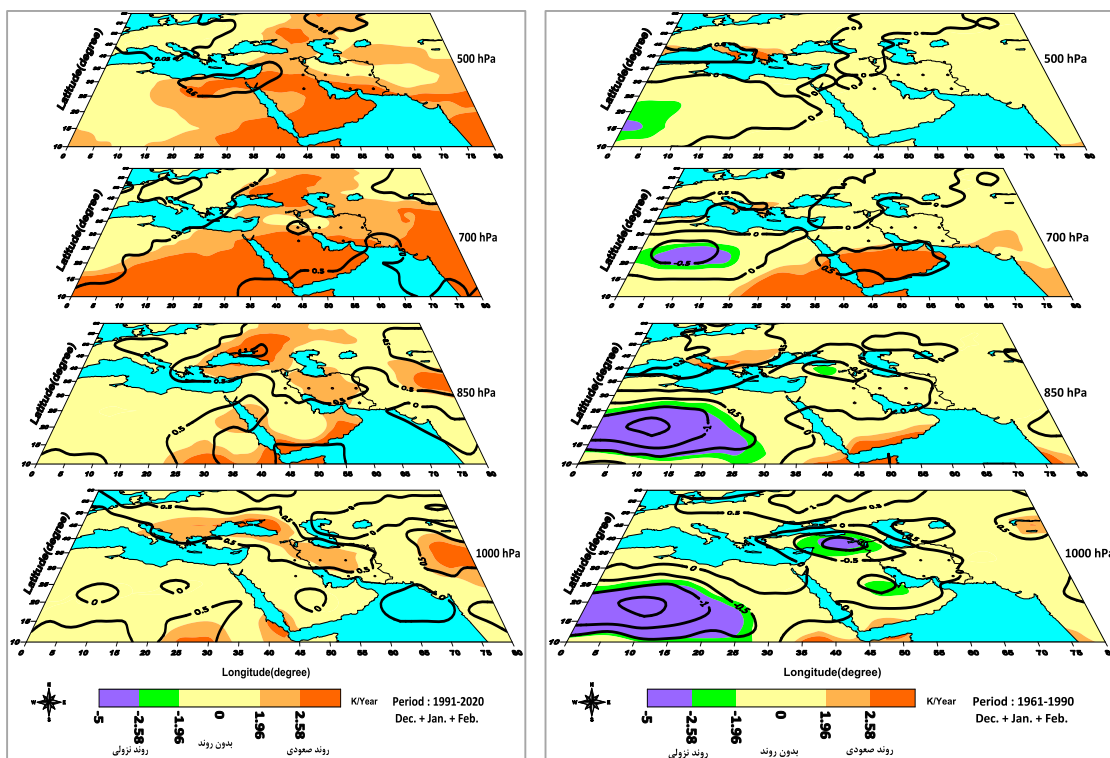
شکل ۲. گرته آماره Z من-کندال (هاشورهای رنگی) بر حسب هکتوپاسکال بر سال و برآوردگر شیب سن (هم مقدرهای مشکلی) بر حسب هکتوپاسکال بر ده سال برای معادله خط روند بر فشار سطح متوسط دریا در ماه‌های سرد دوره آماری الف) ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ب) ۱۹۹۱-۲۰۲۰. محورهای مختصات معرف طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه است.

در دوره سی‌ساله دوم که در شکل ۳-ب) نشان داده شده است، در دمای سطوح فشاری مختلف، روند کاهشی آشکار نشد. در ترازهای زیرین در مناطق اطراف دریای سیاه، دریای سرخ و نیز مناطق مختلف ایران و شرق کشورهای پاکستان و افغانستان، روند افزایشی معنی‌داری آشکار شده است که در ترازهای فشاری بالاتر مناطق تحت تأثیر روند افزایشی گسترده‌تر شده است. این شکل نشان می‌دهد که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به جز جنوب دریای مدیترانه، اروپا و شمال دریای بالخاش، در بقیه مناطق روند افزایشی دما با شیب کمتر از ۰/۵ کلوبین بر ده سال برآورد شده است. در این دوره در تراز فشاری ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در نقاط ۴، ۸ و ۱۲، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در نقاط ۴ و ۱۲، در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در نقطه ۶ و در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در نقاط ۲، ۳، ۷ و ۸ روند معنی‌داری آشکار نشده است ولی بقیه نقاط ترازهای فشاری مختلف تحت تأثیر روند افزایشی قرار دارند.

از نظر فیزیکی وجود روند افزایشی دما در دوره اقلیمی سی‌ساله دوم که می‌تواند در اثر گرمایش جهانی در مناطق مختلف خاورمیانه رخ داده باشد، بیانگر افزایش انرژی گرمایی در لایه‌های جو، افزایش حرکت بالاسو، افزایش ضخامت و عمق وردسپهر، افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های همرفتی و در نتیجه تشدید بارش‌های همرفتی و بارش‌های حدی در مناطق فوق می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که در سی‌ساله دوم نسبت به سی‌ساله اول، فراوانی پدیده‌های خرد مقیاس و میان مقیاس نسبت به سامانه‌های کم‌فشار هم‌دیدگی افزایش یافته است. بر اساس این تحلیل چنین به نظر می‌رسد که فراوانی عبور سامانه‌های فشاری سرد از خاورمیانه نسبت به دوره سی‌ساله اول می‌تواند کاهشی باشد.

شکل ۴ گرته آماره Z من-کندال و برآوردگر شیب سن برای خط روند بر ارتفاع سطوح مختلف فشاری در دو دوره اقلیمی سی‌ساله در دوره سرد سال را نشان می‌دهد. از شکل ۴-الف) دیده می‌شود که در دوره سی‌ساله اول، در تراز فشاری ۱۰۰۰

و ۸۵۰ هکتوپاسکال در شمال مدار ۴۴ درجه شمالی و در روی دریای خزر و شرق آن و نیز نقاط ۳ و ۴ در شمال شرق ایران روند معنی‌داری آشکار نشد. در بقیه مناطق محدوده مطالعاتی روند افزایشی برآورد شد. بیشترین شیب‌خط روند به روش من-کندال بیش از ۱۵ ژئوپتانسیل متر بر ده سال در این ترازهای فشاری در جنوب دریای سیاه است که از تراز ۱۰۰۰ به ۸۵۰ هکتوپاسکال محدوده آن کمتر شده است.



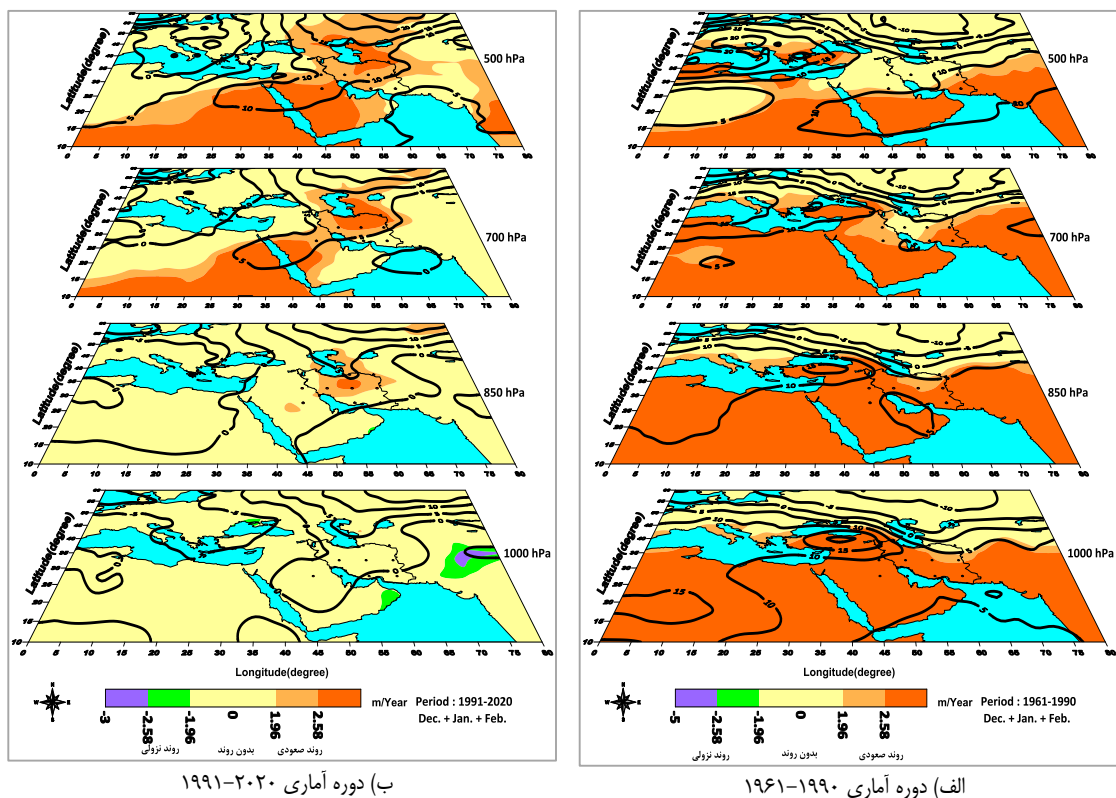
ب) دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

الف) دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰

شکل ۳. گرته آماره Z من-کندال (هاشورهای رنگی) بر حسب کلونین بر سال و برآوردگر شیب سن (هم مقدارهای مشکلی) بر حسب کلونین بر ده سال برای معادله خط روند بر دمای سطوح مختلف فشاری در ماه‌های سرد دوره آماری الف) ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ب) ۱۹۹۱-۲۰۲۰. محورهای مختصات معرف طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه است.

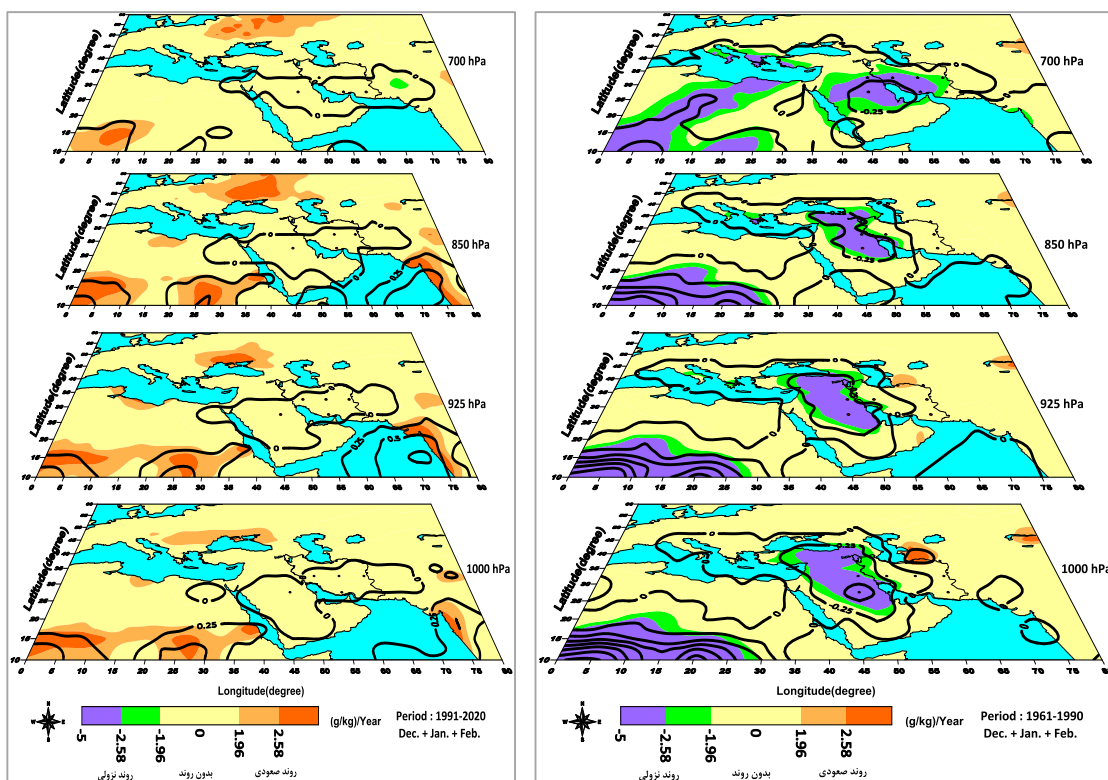
در این دوره آماری در ترازهای فشاری بالاتر، از شمال شرق ایران به جنوب غرب کشور و سپس شمال دریای سرخ و جنوب دریای مدیترانه مناطق بدون روند گسترده شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روی ایران نقاط ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ بدون روند هستند و در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال فقط در نقاط ۸، ۱۱ و ۱۲ روند افزایشی معنی‌داری آشکار شده است. بیشترین شیب‌خط روند سن در تراز فشاری ۷۰۰ هکتوپاسکال با مقدار بیش از ۱۵ ژئوپتانسیل متر بر ده سال در جنوب غرب دریای سیاه و غرب دریای مدیترانه قرار گرفته است و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این کمیت مناطق مختلف دریای مدیترانه را پوشش داده است. این بررسی نشان می‌دهد که در این دوره آماری روند افزایشی که معرف افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در مناطق فوق است می‌تواند بیانگر کاهش انرژی پتانسیل، افزایش انرژی جنبشی، کاهش انرژی پتانسیل در دسترس، کاهش فراوانی عبور سامانه‌های کم ارتفاع مدیترانه‌ای و یا تضعیف هسته مرکزی این سامانه‌ها باشد. در دوره سی‌ساله دوم که در شکل ۴-ب) نشان داده شده است، دیده شد که در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در مناطق محدودی از شرق پاکستان و افغانستان و نیز بخش‌های کوچکی در جنوب دریای عمان و شمال دریای سیاه روند کاهشی آشکار شده است و دیگر مناطق مطالعاتی از جمله ایران بدون روند می‌باشند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روی ایران و دریای خزر روند

افزایشی آشکار شده است به طوری که این روند در نقاط ۲، ۳، ۴، ۶، ۷ و ۸ قابل مشاهده است. در این تراز در سایر نقاط محدوده، روند معنی‌داری در ارتفاع برآورد نشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در مناطق غرب و شرق دریای سرخ، ایران، و شمال شرق دریاچه اورال روند افزایشی است و گسترش روند افزایشی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال افزایش یافته و مناطق بیشتری را تحت تأثیر قرار داده است. شایان ذکر است که در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در نقطه ۱۲ در جنوب شرق ایران روند معنی‌داری آشکار نشد. بیشترین مقدار برآوردگر شیب سن در مناطقی که روند افزایشی تأیید شده است بیش از ۱۰ ژئوپتانسیل متر بر ده سال در روی ایران محاسبه شده است. چنین برمی‌آید که در این دوره آماری فراوانی عبور سامانه‌های کم ارتفاع مدیترانه‌ای از روی ایران کاهش یافته است.



شکل ۵ گرته آماره Z من-کندال و برآوردگر شیب سن برای خط روند بر نم ویژه سطوح مختلف فشاری در دو دوره اقلیمی سی‌ساله را نشان می‌دهد. از شکل ۵-الف دیده می‌شود که در دوره سی‌ساله اول، در ترازهای زیرین فشاری در جنوب غرب دریای مدیترانه محدوده ۱۰ تا ۱۵ درجه عرض جغرافیایی شمالی و صفر تا ۲۷ درجه طول جغرافیایی شرقی و نیز مناطق مختلف جنوب دریای سیاه، شرق دریای مدیترانه، غرب خلیج فارس و مناطقی از نوار غربی ایران و شرق ترکیه روند کاهشی آشکار شده است. در این ترازها در نقاط ۱، ۵، ۹ نیز روند کاهشی می‌باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال علاوه بر مناطق فوق، مرکز و غرب دریای مدیترانه، دریای سرخ و بیشتر نقاط ایران نیز تحت تأثیر روند کاهشی قرار گرفته است. در روی ایران در نقاط ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ نیز روند میانگین نم ویژه در ماه‌های سرد سال کاهشی است. کمترین مقدار برآوردگر شیب سن ۲/۵- گرم بر کیلوگرم بر ده سال در سواحل خلیج فارس محاسبه شده است.

در دوره سی‌ساله دوم که در شکل ۵-ب) نشان داده شده است، دیده شد که روند افزایشی در برخی مناطق محدوده مطالعاتی رخ داده است ولی در روی منابع تأمین‌کننده نم ویژه در این محدوده، روند معنی‌داری آشکار نشده است. چنین برمی‌آید که در دوره سی‌ساله اول به سبب وجود روند کاهشی نم ویژه، شرایط مناسبی برای ایجاد فرایند بارش فراهم نبوده است و در سی‌ساله دوم با وجودی که نم ویژه فاقد روند کاهشی بوده است ولی به سبب کاهش فراوانی سامانه‌های بارشی، باز هم شرایط برای ایجاد بارش در مناطق مختلف ایران فراهم نشده است.



ب) دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

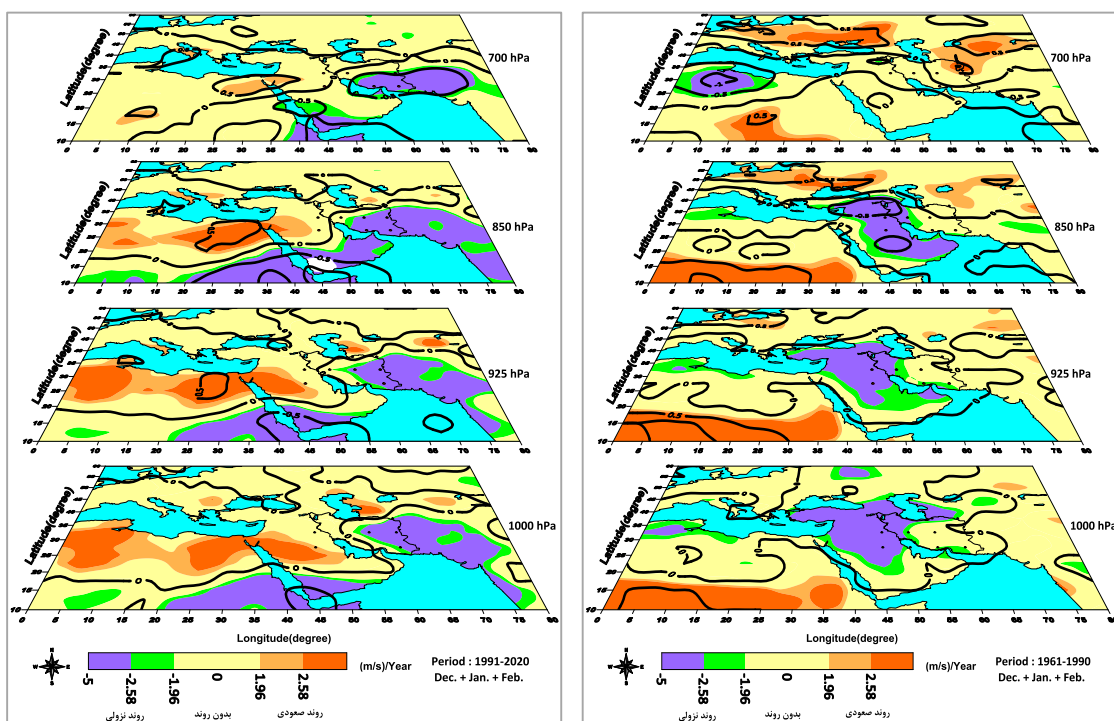
الف) دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰

**شکل ۵.** گرته آماره Z من-کندال (هاشورهای رنگی) بر حسب گرم بر کیلوگرم بر سال و برآوردگر شیب سن (هم مقدارهای مشکلی) بر حسب گرم بر کیلوگرم بر ده سال برای معادله خط روند بر نم ویژه سطوح فشاری مختلف در ماه‌های سرد دوره آماری الف) ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ب) ۱۹۹۱-۲۰۲۰. محورهای مختصات معرف طول و عرض جغرافیایی (درجه) است.

شکل‌های ۶ و ۷ گرته آماره Z من-کندال و برآوردگر شیب سن برای خط روند بر سرعت باد سطوح مختلف فشاری در دو دوره اقلیمی سی‌ساله را نشان می‌دهد. از شکل‌های ۶-الف) و ۷-الف) دیده می‌شود که در دوره سی‌ساله اول، در ترازهای زیرین فشاری در شرق دریای مدیترانه، جنوب دریای سیاه، غرب ایران، جنوب خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان روند کاهشی برآورد شده است که در ترازهای میانی افزون بر مناطق فوق، روند کاهشی جنوب غرب دریای مدیترانه را نیز تحت پوشش قرار می‌دهد. در ترازهای فوقانی جو روند کاهشی به جنوب غرب دریای مدیترانه محدود می‌شود. در این دوره اقلیمی روند افزایشی نیز در مناطق مختلفی آشکار شده است. این نوع روند در ترازهای زیرین مناطق اطراف مدار ۱۲ درجه عرض جغرافیایی شمالی و غرب دریای سرخ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ترازهای فشاری میانی شمال شرق ایران، شرق دریاچه اورال و غرب دریاچه بالخاش، شمال دریای سیاه و نیز اروپای شرقی و در ترازهای فوقانی شمال دریای مدیترانه، شرق دریای خزر تا جنوب دریاچه بالخاش تحت تأثیر روند افزایشی است. این بررسی نشان می‌دهد که در این دوره اقلیمی،

جریان‌های جتی در اطراف مدار ۴۷ درجه شمالی افزایش و در اطراف مدار ۳۰ درجه شمالی کاهش یافته است. افزون بر آن به سبب کاهش سرعت جریان‌های سطوح زیرین، فرارفت رطوبت به درون سامانه‌ها نیز می‌تواند دستخوش تغییر شده باشد.

بررسی شکل‌های ۶-ب) و ۷-ب) نشان می‌دهد که در ترازهای زیرین دوره اقلیمی سی‌ساله دوم، از غرب دریای سرخ تا شرق افغانستان روند کاهشی آشکار شده است و مناطق دریای عمان، اقیانوس هند و شرق و جنوب ایران را نیز تحت پوشش قرار داده است. روند کاهشی در تراز میانی مناطق کمتری را تحت تأثیر قرار داده و در ترازهای فوقانی روند کاهشی در محدوده مطالعاتی آشکار نشده است. در این دوره در ترازهای زیرین در مناطق جنوب دریای مدیترانه به سوی غرب خلیج فارس روند افزایشی آشکار شده است. در ترازهای میانی و فوقانی جو، مناطقی از مرکز دریای مدیترانه به سوی شمال غرب ایران تحت تأثیر روند افزایشی این کمیت می‌باشد. در این دوره سرعت جریان‌های جتی در روی دریای مدیترانه افزایش یافته است.



ب) دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

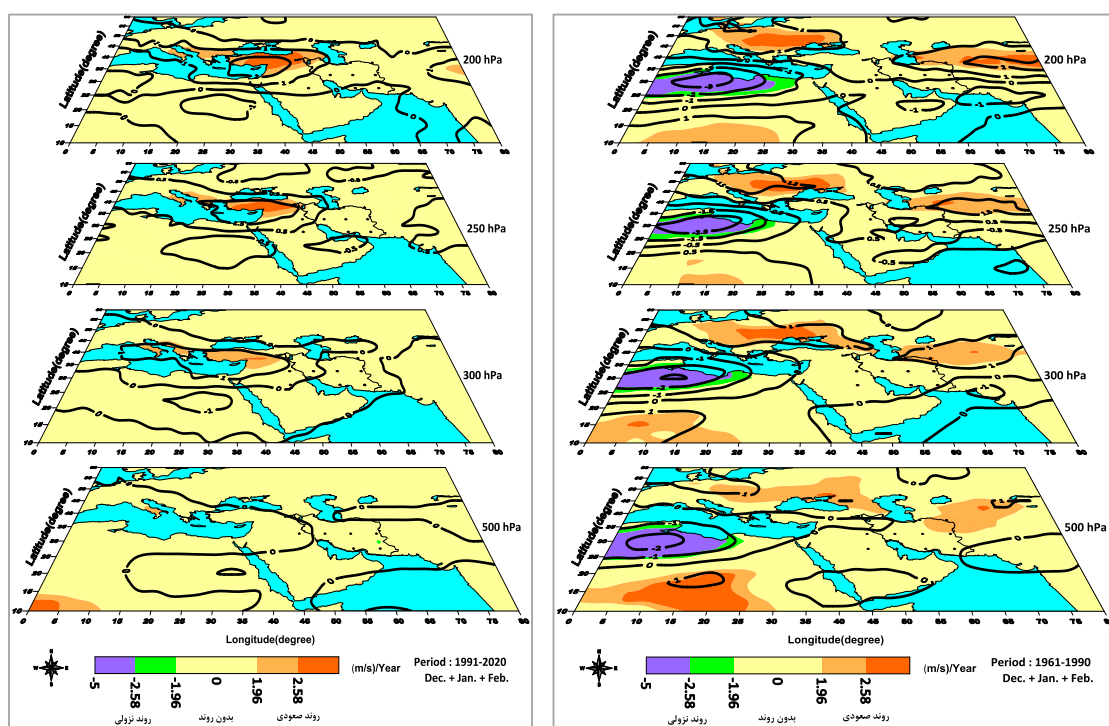
الف) دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰

شکل ۶. گره آماره z من-کندال (هاشورهای رنگی) بر حسب متر بر ثانیه بر سال و برآوردگر شیب سن (هم مقادیرهای مشکلی) بر حسب متر بر ثانیه بر ده سال برای اندازه سرعت باد سطوح فشاری مختلف در ماه‌های سرد دوره آماری الف) ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ب) ۱۹۹۱-۲۰۲۰. سطوح فشاری به ترتیب از پایین به بالا ۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال و محورهای مختصات معرف طول و عرض جغرافیایی (درجه) است.

نتایج این تحلیل با بخشی از نتایج پژوهش سیمونز (Semmons, 2022, 1-45) کمی تفاوت دارد. در این تحلیل در سی‌ساله اول در جنوب دریای مدیترانه، روند نزولی در جریان‌های جتی آشکار شده است و در سی‌ساله دوم فقط در شمال دریای مدیترانه روند افزایشی وجود دارد ولی در پژوهش سیمونز (Semmons, 2022, 15) نشان داده شده است که جریان‌های جتی در عرض‌های جغرافیایی میانی تقویت شده است. این تفاوت احتمالاً به سبب اختلاف در دوره آماری و تفاوت در منابع داده‌ای مورد استفاده ایجاد شده است.



بررسی‌ها نشان داد که در نیمه غربی ایران در ترازهای زیرین نیز روند نزولی در سرعت باد و در شمال شرق ایران، در ترازهای میانی و فوقانی جو روند افزایشی در سرعت باد آشکار شده است. این نتیجه با بخشی از نتایج عساکره و همکاران (۱۳۹۶، ۳۱۱) مطابقت ندارد. آن‌ها بیان کرده‌اند که در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در ورودی راست و چپ هسته رودباد روند کاهش‌ی است و بر فراز ایران روند آشکار نشده است. روندهای آشکار شده در کمیت‌های مختلف با نتایج پژوهش دوستان و علیجانی (۱۳۹۴، ۱۱۳) هماهنگی ندارد. این پژوهشگران نشان داده‌اند که سری‌های زمانی شاخص‌های اقلیمی در سطوح بالای جو تغییر معنی‌داری ندارد و تغییرات در سری‌های زمانی، نوسانات دوره‌ای و سالانه است. علت اصلی اختلاف ایجاد شده به سبب تفاوت در شیوه کار می‌باشد. در پژوهش دوستان و علیجانی (۱۳۹۴، ۸۹) بجای روندیابی کمیت‌های بلندمدت اقلیمی در سطوح فشاری مختلف، از شاخص‌های اقلیمی تعریف شده استفاده شده است.



ب) دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰

الف) دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰

شکل ۷. ادامه شکل ۶ ولی برای سطوح فشاری ۵۰۰، ۳۰۰، ۲۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال

## بحث

تحلیل‌های همدیدی نشان می‌دهند که در ماه‌های سرد سال، سه الگوی فشاری متفاوت محدوده مطالعاتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دو الگوی همدیدی که در راستای قائم به سطح متوسط دریا و سطح وردایست محدود می‌شوند، کم‌فشار مدیترانه‌ای و پرفشار دینامیکی می‌باشند و الگوی سوم که عمق خیلی کمتری دارد، پرفشار سرد است که در بلندمدت عناصر اقلیمی مختلف محدوده مطالعاتی را در این فصل تحت تأثیر قرار می‌دهند (مرادی، ۱۳۸۸، ۳۲-۲۷). الگوهای فشاری دیگری مانند کم‌فشار گرمایی، در فصل گرم سال عامل تغییر عناصر اقلیمی منطقه تحت تأثیر می‌باشند. گرمایش جهانی سبب شده است تا دمای هوا در سطح نزدیک زمین افزایش یابد. انرژی گرمایی سطح از طریق همرفت به لایه‌های زیرین جو انتقال یافته و سبب افزایش حرکت بالاسو، افزایش ضخامت لایه‌های زیرین و میانی جو و در نتیجه افزایش عمق وردسپهر شده است. این فرایند در بلندمدت روی سامانه‌های همدیدی و در نتیجه روی عناصر اقلیمی مؤثر بوده است.

این پژوهش در دو دوره اقلیمی سی‌ساله، وجود روند در کمیت‌های مختلف هواشناسی بررسی شد و روند افزایش دما در مناطق مختلف خاورمیانه در دوره اقلیمی دوم آشکار گردید که می‌تواند در اثر گرمایش جهانی رخ داده باشد. از آنجایی که روند افزایشی دما بیانگر افزایش انرژی گرمایی در لایه‌های جو، افزایش حرکت بالاسو، افزایش ضخامت و عمق وردسپهر، افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های همرفتی و کاهش فراوانی سامانه‌های فشاری سرد است، از این رو می‌توان گفت که در سی‌ساله دوم نسبت به سی‌ساله اول، فراوانی عبور سامانه‌های فشاری سرد از خاورمیانه نسبت به دوره سی‌ساله اول کاهش یافته است و اگر روند افزایشی دمای هوا در آینده نیز ادامه داشته باشد، می‌توان چنین پیش‌بینی کرد که سامانه‌های همدیدی که در آینده از روی خاورمیانه عبور می‌کنند، همچنان تحت تأثیر این سازوکار قرار خواهند داشت.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در دوره اقلیمی سی‌ساله اول در محدوده جنوب مدار ۴۴ درجه شمالی، روند صعودی در فشار سطح متوسط دریا (بیشترین شیب‌خط روند  $+۳$  هکتوپاسکال بر ده سال)، دما (بیشترین شیب‌خط روند  $+۰/۵$  درجه بر ده سال) و ارتفاع (بیشترین شیب‌خط روند  $+۱۵$  ژئوپتانسیل متر بر ده سال) در ترازهای مختلف فشاری آشکار شد که در محدوده دریای مدیترانه، بیانگر کاهش فراوانی سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای یا تضعیف آن‌ها و تقویت پرفشارهای دینامیکی یا افزایش فراوانی آن‌ها در منطقه فوق می‌باشد. اثر این شرایط می‌تواند به صورت کاهش فراوانی روزهای بارش یا کاهش مجموع بارش فصلی ظاهر شود. شایان ذکر است که وجود روند صعودی در کمیت‌های فشار، دما و ارتفاع ترازهای مختلف فشاری در فصل سرد سبب تقویت سامانه پرفشار دینامیکی یا تضعیف کم‌فشار سرد می‌شود در حالی که روند افزایشی دما در فصل گرم سبب کاهش فشار و افزایش ارتفاع ترازهای فشاری مختلف می‌شود که از ویژگی‌های کم‌فشار گرمایی می‌باشد.

از آنجایی که در دوره اقلیمی سی‌ساله دوم در جنوب دریاچه بالخاش در روی افغانستان، روند فشار کاهش یافته است و در این محدوده در ترازهای زیرین نیز روند دما افزایشی برآورد شده است، از این رو چنین برمی‌آید که در این دوره آماری پرفشار سرد ضعیف‌تر شده است. اثر تضعیف پرفشار سرد می‌تواند به صورت کاهش فراوانی روزهای با هوای بسیار سرد در مناطق تحت تأثیر آن (معمولاً استان‌های خراسان شمالی، رضوی، جنوبی و شمال استان سیستان و بلوچستان) نمایان شود. افزون بر آن وجود روند افزایشی دما در این دوره اقلیمی در جنوب محدوده مطالعاتی نشان داد که پر ارتفاع جنب حاره با هسته گرم، در ابتدای ماه دسامبر و دیرتر از معمول به سوی جنوب جابجا شده است و یا جابجایی شمال سوی آن در اواخر فوریه و زودتر از حالت عادی بوده است. وجود روند کاهش‌ی نم ویژه در ترازهای زیرین در مناطق ترکیه، سوریه، عراق، عربستان، کویت و نوار غربی ایران و نیز در تراز  $۷۰۰$  هکتوپاسکال از شرق دریای سرخ تا شرق ایران و از جنوب دریای مدیترانه تا شرق آن دریا، معرف کاهش بخار آب موجود در جو این مناطق می‌باشد که می‌تواند شرایط سازوکار ریزش بارش در این مناطق را کاهش دهد.

وجود روند در دمای ترازهای فشاری مختلف با نتایج وولینگ و همکاران (Woolling et al., 2023: 1-8) مقایسه شد و با بخشی از نتایج هماهنگ نبود. در پژوهش وولینگ و همکاران (Woolling et al., 2023: 2) در ماه‌های DJF دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۹ روند صعودی در دمای سطوح مختلف فشاری از  $۱۰۰۰$  تا  $۲۵۰$  هکتوپاسکال در عرض‌های جغرافیایی مختلف آشکار شده است که با روند نزولی آشکار شده در ترازهای زیرین این پژوهش منطبق نمی‌باشد. علت اختلاف نه در دوره آماری متفاوت، بلکه در نحوه میانگین‌گیری دمای سطوح فشاری در پژوهش این پژوهشگران می‌باشد. این پژوهشگران

برای میانگین‌گیری دما در سطوح فشاری مختلف، از میانگین‌گیری مداری دما استفاده کرده‌اند که در پژوهش حاضر از این روش استفاده نشده است.

در این دوره آماری وجود روند نزولی در سرعت باد ترازهای زیرین در کشورهای واقع در شرق دریای مدیترانه و شرق دریای سرخ بیانگر کاهش فرارفت نم ویژه به درون سامانه‌های همدیدی در ماه‌های فصل سرد است که پیامد آن به صورت کاهش بارش می‌تواند ظاهر شده باشد. افزون بر آن در ترازهای میانی و فوقانی جو روند نزولی در سرعت باد در جنوب غرب دریای مدیترانه با شیب کمتر از  $-3$  متر بر ثانیه بر دهه و روند صعودی آن با شیب  $+2$  متر بر ثانیه بر دهه در شرق دریای مازندران تا جنوب دریاچه بالخاش می‌تواند به علت جابجایی جزئی ابتدا و انتهای هم مقدرهای سرعت اطراف محور جت جنب حاره باشد که در این فصل در اطراف مدار  $25$  درجه شمالی است. این تغییر به گونه‌ای می‌تواند رخ داده باشد که سرعت متوسط باد در ورودی محور جت به سوی جنوب و در خروجی آن به سوی شمال تغییر کرده باشد. بنابراین می‌توان گفت که تغییر موقعیت محور جت می‌تواند سبب جابجایی سامانه‌های فشاری و تغییر در گردش‌های وردسپهری شود.

نتیجه حاصل از روند آشکار شده در میانگین سرعت باد با بخشی از نتایج سترانگ و دیویس (Strong and Davis, 2007: 2111) هماهنگ و با بخشی دیگری از نتایج آن‌ها به‌طور جزئی اختلاف دارد. این پژوهشگران در دوره آماری  $1958-2007$  در شرق دریای خزر به سوی جنوب دریاچه بالخاش روند صعودی با شیب  $1/75$  متر بر ثانیه بر دهه در داده‌های سرعت باد آشکار نمودند. افزون بر آن در پژوهش آن‌ها در جنوب غرب دریای مدیترانه نیز روند نزولی با شیب  $-0/75$  متر بر ثانیه بر دهه آشکار شد. اختلاف در نتایج پژوهش جاری با پژوهش سترانگ و دیویس (Strong & Davis, 2007: 2109-2115) می‌تواند به دوره آماری انتخابی مربوط باشد.

از مقایسه روند آشکار شده در سرعت باد ترازهای مختلف با نتایج پژوهش آرچر و کالدیرا (Archer & Caldeira, 2008: 1-6) تفاوت‌هایی آشکار شد. این پژوهشگران در دوره آماری  $1979-2001$  در ماه‌های سرد سال، با استفاده از داده‌های Era-4 شیب‌خط روند بر میانگین سرعت باد نیمکره شمالی را برآورد کرده و در روی دریای مدیترانه و جنوب ایران روند نزولی با شیب  $-0/75$  متر بر ثانیه بر دهه و در شمال شرق ایران روند صعودی با شیب خط  $0/75$  متر بر ثانیه بر دهه (Archer & Caldeira, 2008: 4) آشکار نمودند. به نظر می‌رسد که علت تفاوت‌های آشکار شده، استفاده از دو منبع داده‌ای متفاوت و دوره آماری متفاوت باشد.

بررسی روند کمیت‌های انتخابی در دوره اقلیمی سی‌ساله دوم نشان داد که وجود روند صعودی دما در مناطق مختلف خاورمیانه می‌تواند سبب افزایش انرژی گرمایی در لایه‌های جو، افزایش ضخامت و عمق وردسپهر، افزایش حرکت بالاسو و افزایش ظرفیت پذیرش بخار آب در جو مناطق مختلف خاورمیانه باشد که اثر آن به صورت افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های همرفتی و در نتیجه تشدید بارش‌های همرفتی و بارش‌های حدی در این مناطق شود. زیرا بارش‌های همرفتی و شدید به حرکت صعودی و میزان بخار آب موجود در جو وابسته است. شایان ذکر است که تغییر نوع بارش از حالت جامد به مایع، نیز می‌تواند از اثرات این تغییرات محسوب گردد. بر این اساس به نظر می‌رسد که در سی‌ساله دوم نسبت به سی‌ساله اول دوره اقلیمی، فراوانی پدیده‌های خرد مقیاس و میان‌مقیاس نسبت به سامانه‌های کم‌فشار همیدی افزایش یافته است و در نتیجه فراوانی سامانه‌های کم‌فشار سرد نیز نسبت به دوره سی‌ساله اول می‌تواند کاهشی باشد. افزون بر آن با آشکار شدن روند افزایشی ارتفاع در سطوح فشاری مختلف که می‌تواند عامل تضعیف سامانه‌های بارشی در خاورمیانه باشد، چنین برمی‌آید که نوع بارش و تعداد روزهای با بارش مداوم و یکنواخت در منطقه نیز در دوره سی‌ساله



دوم اقلیمی به نحوی دستخوش تغییر شده است که بتواند به روند کاهشی تعداد روزهای بارش باران و برف منجر گردد. این شرایط با تشدید بارش‌های همرفتی منطقه مطالعاتی مغایرتی ندارد. پیشنهاد می‌شود که پژوهشگران اقلیم‌شناسی و هواشناسی تغییرات نوع بارش و میزان بارش مشابه این پژوهش، در دو دوره سی‌ساله اقلیمی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱ در محدوده مطالعاتی خاورمیانه را بررسی نمایند و نتایج را با نتایج این پژوهش مقایسه کنند.

#### حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

#### سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

#### تضاد و منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

#### منابع

- اکبری، مه‌ری و صیاد، وحیده. (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۱)، ۳۷-۷۴.  
doi: 10.22059/jphgr.2021.301111.1007528
- بارانی، نادر و کرمی آیت‌الله. (۱۳۹۸). تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش در نواحی ده‌گانه زراعی-اکولوژیکی ایران. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۷(۴)، ۷۵-۹۰.  
doi: 10.29252/envs.17.4.75.75-90
- حلبیان، امیرحسین؛ پورشهبازی، جواد و سلطانیان، محمود. (۱۳۹۶). ارزیابی تغییر دمای بیشینه و کمینه فصلی ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۷(۲۳)، ۱-۱۰.
- دوستان، رضا و علیجانی، بهلول. (۱۳۹۴). تغییر اقلیم در ایران با رویکرد سینوپتیک. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۲(۲)، ۱۱۳-۸۹.  
doi: 10.22067/geography.v13i2.45383
- زرین، آذر و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برونداد پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۶(۳)، ۶۰۲-۵۸۳.  
doi: 10.22059/jesphys.2020.304870.1007226
- زرین، آذر و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی بر برونداد همادی مدل‌های تصحیح‌شده اریبی (CMIP6). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۷(۳)، ۷۸۳-۵۶۷.  
doi: 10.22059/jesphys.2021.319270.1007295
- کریمی، مصطفی؛ ستوده، فاطمه و رفعتی، سمیه. (۱۳۹۷). تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر. *تشریح تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸(۴۸)، ۷۹-۹۳.  
doi: 10.29252/jgs.18.48.79.79-93
- کمانگر، محمد؛ حجازی‌زاده، زهرا و کربلایی، علیرضا. (۱۳۹۷). واكای روند دمایی و تحلیل چرخه‌های میانگین دمای سالانه غرب ایران. *تشریح هواشناسی و علوم جو*، ۳۱(۱)، ۲۴۴-۲۵۷.
- شامحمدی، زینب؛ یاراحمدی، داریوش؛ عساکره، حسین و میرهاشمی، حمید. (۱۴۰۳). تحلیل گروه‌های زمانی حاکم بر تغییرات زمانی-مکانی بارش سالانه ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶(۲)، ۷۱-۸۹.  
doi: 10.22059/jphgr.2024.375059.1007826

- صادقی‌نیا، علیرضا؛ رفعتی، سمیه و صداقت، مهدی. (۱۴۰۰). تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی در ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۸(۴)، ۷۰-۵۵.
- عزیزی، قاسم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر و یاراحمدی، داریوش. (۱۳۸۷). بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۶، ۳۵-۱۹.
- عساکره، حسین، بیرانوند، آذر، فتاحیان، مختار و شادمان، حسن. (۱۳۹۶). تحلیل روند جابجایی رودباد و پرفشار جنب حاره برفراز خاورمیانه و رابطه آن با اقلیم ایران. فضای جغرافیایی، ۱۷ (۵۸)، ۳۱۵-۳۰۳.
- مکاری، مهدی و عباس‌نیا، محسن. (۱۳۹۹). تحلیل روند دمای بیشینه با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق مختلف ایران. نیوار، ۴۴ (۱۰۸-۱۰۹)، ۴۷-۳۳. doi: 10.30467/nivar.2020.211885.1143
- مرادی، محمد. (۱۴۰۲). بررسی آماری ویژگی‌های وردایست در تهران و شیراز در ماه‌های ژانویه و ژوئیه (۲۰۲۲-۲۰۰۰). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵(۱)، ۵۵-۳۹. DOI: 10.22059/JPHGR.2023.354992.1007747
- مرادی، محمد. (۱۳۸۸). هواشناسی دینامیکی پیشرفته. چاپ اول، تهران: انتشارات رجاء تهران.

## References

- Akbary, M., & sayad, V. (2021). Analysis of climate change studies in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(1), 37-74. doi: 10.22059/jphgr.2021.301111.1007528. [In Persian]
- Asakereh, H., Beyranvand, A., Fatahian, M., & Shadman, H. (2017). The Analysis of Transport trend of Subtropical jet stream and High Pressure on Middle East and its relationship with Iran climate. *Journal of Geographical Space*, 17(58), 303-315. [In Persian]
- Archer, C.L., & Caldeira, K. (2008). Historical trends in the jet Streams. *Geophysics Res. Letts*, 35, 1-6. doi:10.1029/2008GL033614.
- Azizi, G., Shamsipoor, A.A., & Yearahmadi, D. (2009). Detection Climate Change using Multivariable Statistical Analysis in west of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 66, 19-35. [In Persian]
- Barani, N., & Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran. *Environmental Sciences*, 17(4), 75-90. doi: 10.29252/envs.17.4.75. [In Persian]
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J., & Wehner, M. (2013). *Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp, 1029-1136.
- Díaz, P.O., & Gaucin, O.D. (2020). Analysis of Anomalies and Trends of Climate Change Indices in Zacatecas, Mexico. *Climate*, 8(4), 1-33. doi:10.3390/cli8040055.
- Doostan, R., & Alijani, B. (2016). Climate Change of Iran: A Synoptic Approach. *Journal of Geography and Regional Development*, 13(2), 89-113. doi: 10.22067/geography.v13i2.45383. [In Persian]
- Halabian, A. H. (2017). Evaluation of the seasonal maximum and minimum temperature change of Iran. *Geographical Planning of Space*, 7(23), 1-10. [In Persian]
- Huth, R., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynova, M., Kysely, J., & Tveito, O.E. (2008). Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 105-152. doi: 10.1196/annals.1446.019.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia,

- V. Bex and P.M. Midgley (eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 3-33.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetma, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 437-471.
- 15) Kamangar, M., Hedjazizadeh, Z., & karbalae, A. (2018). Analysis of the temperature trend and analysis of annual average annual temperatures in western Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 1(3), 244-257. [In Persian]
- Karimi, M., Sotoudeh, F., & Rafati, S. (2018). The Trend Analysis and Forecasting of Extreme Temperature Parameters in southern part of the Caspian Sea. *Journal title*, 18 (48), 79-93. doi:10.29252/jgs.18.48.79 [In Persian]
- Krishn, P., Kumar, G., & Kale, G. (2022). Trend Analyses in Gridded Rainfall Data over the Sabarmati Basin. *MAUSAM*, 73(2), 295-306.
- Masson-Delmotte, V., Schulz, M., Abe-Ouchi, A., Beer, J., Ganopolski, A., González-Rouco, J.F., Jansen, E., Lambeck, K., Luterbacher, J., Naish, T., Osborn, T., Otto-Bliesner, B., Quinn, T., Ramesh, R., Rojas, M., Shao, X., & Timmermann, A. (2013). *Information from paleoclimate archives*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 383-464.
- Medeo, Z., & Jamir, W. (2013). Rainfall Trend Analysis of Nagaland by using Mann - Kendall Test. *International Journal of Science and Research*, 12 (3), 917-921. doi: 10.21275/SR23311124753.
- Meehl, G.A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305, 994-997. doi: 10.1126/science.1098704.
- Mokari, M., & Abbasnia, M. (2020). Trends Analysis of Maximum Temperature by Using Mann-Kendall and Spearman Tests in Various Regions of Iran. *Nivar*, 44(108-109), 33-47. doi: 10.30467/nivar.2020.211885.1143 [In Persian]
- Mondal, A., Kunda, S., & Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: a case study of north- eastern part of Cuttack district, ORISSA. *International journal of geology*, 2, 70-78.
- Moradi, M. (2023). A Statistical Analysis of the Tropopause Characteristic over Tehran and Shiraz in January and July (2000-2022). *Physical Geography Research Quarterly*, 55(1), 39-55. DOI: 10.22059/JPHGR.2023.354992.1007747. [In Persian]
- Moradi, M. (2009). *Advanced dynamic meteorology*. Tehran :Reja Tehran. [In Persian]
- Qin, D., Chen, Z., Averyt, K.B., Miller, H.L., Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., & Tignor, M. (2007). *IPCC, 2007a: Summary for Policymakers*. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, New York.
- Sadeghinia, A., Rafati, S., & Sedaghat, M. (2022). Spatial analysis of climate change in Iran. *Journal title*, 8 (4), 55-70. [In Persian]

- Simmons, A. J. (2022). Trends in the tropospheric general circulation from 1979 to 2022. *Weather Climate Dynamics*, 3, 777–809. doi:10.5194/wcd-3-777-2022.
- Solomon, S., Plattner, G.K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 106(6), 1704-1709. doi: 10.1073/pnas.0812721106.
- Screen, J.A. (2014). Arctic amplification decreases temperature variance in northern mid-latitude to high-latitude. *Nat. Climate Change*, 4, 577–582. doi:10.1038/nclimate2268.
- shamohamadi, Z., Yarahmadi, D., Asakereh, H., & mirhashemi, H. (2024). Analysis of Time Groups Governing the Temporal-Spatial Changes of Iran's Annual Rainfall. *Physical Geography Research*, 56(2), 71-89. doi: 10.22059/jphgr.2024.375059.1007826. [In Persian]
- Strong, C., & Davis, R.E. (2007). Winter jet stream trends over the Northern Hemisphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc*, 133, 2109-2115. doi:10.1002/qj.171.
- Surendar, N., & Nisha, R. (2020). Study of trend of rainfall data: A case study of Koraiyar basin, Tamil Nadu. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 49 (11), 1772-1778.
- Woollings, T., Drouard, M., O'Reilly, C.H., Sexton, D.M.H., & McSweeney, C. (2023). Trends in the atmospheric jet streams are emerging in observations and could be linked to tropical warming. *Commun Earth Environ*, 125(4), 1-8. doi.org/10.1038/s43247-023-00792-8.
- Yue, S., & Pilon, P. (2004). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 21-37. doi: 10.1623/hysj.49.1.21.53996.
- Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. A. (2020). Projection the Long-Term Outlook Iran Future Temperature Based on the Output of The coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6). *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(3), 583-602. doi: 10.22059/jesphys.2020.304870.1007226. [In Persian]
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. A. (2021). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias- corrected multi- model ensemble. *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3), 561-578. doi: 10.22059/jesphys.2021.319270.1007295. [In Persian]