

Analysis of Equivalent Potential Temperature as an Indicator of Global Warming: A Case Study of the Marivan Synoptic Station

Mohammad Darand  ¹ | Habibollah Dabestani  ²

1. Professor, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. M.Sc of Climatology, Department of Climatology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2025.06.21

Received: 2025.07.08

Accepted: 2025.07.09

Published:

Keywords:

Temperature, Global Warming, Equivalent Potential Temperature, Humidity.

Abstract: With the increase in air temperature and global warming, the behavior of atmospheric parameters has undergone significant variations. It is common to use temperature variability to estimate the rate of global warming; however, employing the equivalent potential temperature index provides a more comprehensive and informative understanding. Since this index reflects variations in the atmospheric moisture content and the latent heat resulting from the presence of water vapor in addition to temperature, it serves as a more optimal and suitable tool for analyzing global warming. Accordingly, the objective of this study was to examine the variability of equivalent potential temperature as an indicator of global warming at the Marivan synoptic station, which is located near Lake Zarivar. To achieve this goal, daily data of atmospheric parameters from the Marivan synoptic station for the period from January 1, 1993, to December 31, 2024, were used. The findings of this study showed that due to the role of atmospheric water vapor and the proximity to the water body of Lake Zarivar, the values of equivalent potential temperature at the Marivan synoptic station are higher than air temperature values. Moreover, the rate of increase in equivalent potential temperature is greater than that of air temperature, with an upward trend of $1/3^{\circ}\text{C}$ per decade, indicating a rise in atmospheric water vapor and evapotranspiration.

Cite this article: Akhwan Kazemi, M, Cheraghi, H. (2025). The Securitization of African Climate Migration: An Analysis of Political-Security Impacts on the European Union Structure within the Framework of the Copenhagen School Theory. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 4(7), 390-405. © The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

It is evident to all that in recent decades, the behavior of atmospheric parameters, especially temperature and precipitation, has undergone significant variability. The variability in the behavior of these two parameters is investigated as signs of climate change and global warming. Based on this, the American Meteorological Society (AMS) has termed a significant and meaningful variation in the long-term statistics of key atmospheric parameters such as temperature, humidity, precipitation, etc., that persists for at least several decades or more, as climate change (AMS, 2001). Not only is it possible to understand climatic changes and global atmospheric warming from the variability in the long-term mean or dispersion of key atmospheric measures like temperature and precipitation, but by combining atmospheric measures, we can also obtain indications of variability in atmospheric behavior due to climatic changes and global warming.

Methodology

This study used daily data of air temperature (minimum and maximum temperature), precipitation, and relative humidity recorded at the Marivan Synoptic Station during the period from

1/1/1993 to 31/12/2024. The Bolton (1980) method was used to calculate equivalent potential temperature. Equivalent potential temperature (θ_e) is the temperature an air parcel would have if it were raised adiabatically to a level where all its water vapor condensed and was released as latent heat, and then brought down to the reference pressure level of 1000 hPa. This variable combines the effects of air temperature, pressure, and humidity, making it a suitable tool for understanding atmospheric processes.

Results and discussion

The findings of this study indicate that, due to the influence of atmospheric water vapor and the proximity of the Marivan synoptic station to Lake Zarivar, equivalent potential temperature is consistently higher than the observed air temperature. The mean air temperature at the Marivan synoptic station is 13.8°C and has increased at a rate of 0.4°C per decade. Over the study period, the rate of increase in equivalent potential temperature exceeded that of air temperature, rising by approximately 1.3°C per decade. Moreover, the difference between equivalent potential temperature and air temperature has widened in recent years, suggesting an

increase in atmospheric water vapor content and evapotranspiration. This interpretation is further supported by the observed increases in both the mixing ratio and water vapor pressure. As the atmosphere warms, its moisture-holding capacity increases, allowing greater amounts of specific humidity to be retained. Because equivalent potential temperature depends on both temperature and moisture, this process creates a positive feedback in which increasing atmospheric moisture enhances equivalent potential temperature and, consequently, the total energy of the atmosphere. The results also reveal a statistically significant relationship between temperature extremes and equivalent potential temperature at the Marivan synoptic station. These findings are consistent with those reported by Song et al. (2022), Gilliland and Rohli (2024), and Gilliland and Rohli (2025), highlighting the important role of atmospheric thermodynamic conditions in the occurrence and intensification of temperature extremes.

Conclusion

The difference between the equivalent potential temperature and air temperature has been increasing in recent years, indicating an increase in water vapor content and evapotranspiration in the atmosphere. This is evidenced by the increase in mixing ratio and water vapor pressure in the atmosphere. The impacts of global warming and climate change are neither spatially uniform nor equally distributed across the globe. Regions experiencing greater increases in equivalent potential temperature as a result of concurrent warming and atmospheric moistening are likely to be more susceptible to stronger and more frequent weather and climate extremes. Therefore, it is recommended that similar analyses be conducted across different climatic regions of Iran, particularly in areas adjacent to major water bodies along the northern and southern coasts, to better understand the spatial variability of equivalent potential temperature and its implications for regional climate extremes.

Keywords:

Temperature, Global Warming, Equivalent Potential Temperature, Humidity.



واکاوی دمای پتانسیل معادل به عنوان نمایه‌ای از گرمایش جهانی: مطالعه موردی

ایستگاه همدید مریوان

محمد دارند^۱ | حبیب الله دبستانی^۲

۱. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. دانش آموخته‌ی آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸

انتشار:

واژگان کلیدی:

فراسنج دما، گرمایش جهانی، دمای پتانسیل معادل، رطوبت.

چکیده: با افزایش دمای هوا و گرمایش جهانی رفتار فراسنج‌های جوی دستخوش وردایی قابل توجهی شده است. رایج است که برای شناخت نرخ گرمایش جهانی از وردایی فراسنج دما بهره گرفته می‌شود ولی برای شناخت دقیق‌تر آن به کارگیری نمایه‌ی دمای پتانسیل معادل بسیار جامع‌تر و گویاتر است. از آن جایی که این نمایه وردایی در محتوای رطوبتی جو و گرمای نهان ناشی از بخار آب موجود در جو را در کنار دما نمایان می‌سازد می‌تواند ابزار بهینه‌تر و مناسب‌تری برای واکاوی گرمایش جهانی باشد. در این راستا هدف از انجام این پژوهش شناخت وردایی دمای پتانسیل معادل به عنوان نمایه‌ای از گرمایش جهانی در ایستگاه همدید مریوان که در نزدیکی دریاچه زریبار قرار دارد، انتخاب شد. برای نیل به این هدف از داده‌های روزانه‌ی مقادیر فراسنج‌های جوی ایستگاه همدید مریوان طی بازه‌ی زمانی ۱۹۹۳/۱/۱ تا ۲۰۲۴/۱۲/۳۱ بهره گرفته شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که به دلیل نقش بخار آب موجود در جو و مجاورت با پهنه‌ی آبی دریاچه زریبار، مقادیر دمای پتانسیل معادل در ایستگاه همدید مریوان بیش از مقادیر دمای هوا و شتاب افزایش دمای پتانسیل معادل بیش از شتاب افزایش دمای هوا است و با نرخ ۱/۳ درجه سلسیوس به ازای هر دهه، افزایش یافته است که بیانگر افزایش مقدار بخار آب و تبخیر و تعرق در جو است.

استناد: دارند، محمد، دبستانی، حبیب الله، (۱۴۰۴). واکاوی دمای پتانسیل معادل به عنوان نمایه‌ای از گرمایش جهانی: مطالعه موردی ایستگاه همدید مریوان. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، (۷)۴، ۳۹۰-۴۰۵.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

اقلیمی و گرمایش جهانی دست یافت. باور

بر این است که طی دهه‌های اخیر رطوبت

جو بویژه در جو نزدیک سطح زمین

(Willett et al., 2008 Dai, 2006;) و

در جو بالا (Trenberth et al., 2005;)

(Wentz et al., 2007) افزایش یافته است.

دلیل افزایش رطوبت در جو، افزایش دما و

گرمایش جهانی ناشی از فعالیت های

انسانی است (Willett et al., 2008;)

(Santer et al., 2007) که با شتاب قابل

توجهی روبه افزایش است. افزایش رطوبت

مطلق در لایه وردسپهر پایینی نه تنها رفتار

سایر سنجه های جوی را تحت تاثیر خود

قرار می دهد بلکه نقش کلیدی بر روی

آسایش انسان، مرگ و میر و بیماری های

ناشی از گرما و رطوبت دارد. امروزه مراکز

ملی هواشناسی زیادی به طور معمول و

رایج شاخص دما و رطوبت را در قالب

شاخص های متعدد ترکیب می کنند و

تلاش های قابل توجهی جهت واکاوی

برهمگان روشن است که طی دهه‌های

اخیر رفتار فراسنج‌های جوی بویژه دما و

بارش دستخوش وردایی قابل توجهی شده

است. وردایی در رفتار این دو فراسنج به

عنوان نشانه های تغییر اقلیم و گرمایش

جهانی مورد کندوکاو قرار می‌گیرد. بر

پایه‌ی آن انجمن هواشناسی امریکا وردایی

قابل توجه و معنادار در آماره‌های

بلندمدت فراسنج‌های شاخص جوی

همچون دما، رطوبت، بارش و غیره را که

برای دست کم چند دهه یا بیشتر دوام

داشته باشند را تغییر اقلیم نام گذاری کرده

است (AMS, 2020). نه تنها شناخت

تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی جو از

روی وردایی در میانگین یا پراش بلندمدت

سنجه های شاخص جوی همچون دما و

بارش امکان پذیر است ولی می توان با

ترکیب سنجه‌های جوی به نشانه‌هایی

از وردایی در رفتار جو ناشی از تغییرات

اثرات آن در کشورهای زیادی انجام شده است. این شاخص کاربردهای زیادی در پیش بینی توفان ها و رخدادهای فرین بارش و دما دارد. مقدار بالای این شاخص نشان دهنده هوای گرم و مرطوب با انرژی زیاد است که می تواند منجر به ناپایداری جوی و تشکیل ابرهای کومولونیمبوس یا توفانهای تندری شود. همچنین در تحلیل جبهه های هوا نیز از طریق تغییرات ناگهانی مقادیر این شاخص در مناطق جبهه ها (جبهه گرم یا سرد) می تواند مرز بین دو توده هوا را مشخص کند. برای تشخیص پایداری و ناپایداری هوا و در نهایت به عنوان نمایه ای از گرمایش جهانی در نظر گرفته می شود. به طور کلی این شاخص یک ابزار کلیدی در هواشناسی برای سنجش انرژی بالقوه توده های مرطوب و پیش بینی پدیده های شدید جوی است. این پژوهش بر آن است که با محاسبه دمای پتانسیل معادل، وردایی آن را به عنوان نمایه ای از گرمایش جهانی در ایستگاه همدید مریوان مورد واکاوی قرار دهد.

شاخص دمای پتانسیل معادل برای اولین بار توسط هواشناس سرشناس نروژی ویلهلم بیرکنس در اوایل قرن بیستم معرفی شد. در اوایل دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ این شاخص توسط هواشناسانی همچون هربرت رایکه و جواکین پی کوتون بسط داده شد و فرمول محاسباتی و تجربی ساده آن در دهه ۱۹۸۰ توسط دیوید بولتون هواشناس سرشناس کشور انگلستان ارائه شد.

Song و همکاران (۲۰۲۲) ارتباط بین فرین های بارش و دما را با دمای پتانسیل معادل واکاوی کردند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش دمای پتانسیل معادل، بسامد رخداد فرین های بارش و فرین های گرم دما، افزایش معناداری بر روی کره زمین نشان می دهد. سناریوی آینده ی رفتار مقادیر دمای پتانسیل معادل نیز

نشان داد که با افزایش $4/8$ درجه-ی سلسیوس دمای هوا در سطح زمین تا سال ۲۱۰۰، میانگین دمای پتانسیل معادل ۱۲ درجه-ی سلسیوس افزایش می یابد. بسامد رخداد امواج گرما ۱۴ تا ۳۰ برابر بیشتر می شوند و انرژی در دسترس برای همرفت در مناطق گرمسیری ۴۰ درصد بیشتر می شود و پیامد آن افزایش تا ۶۰ درصد بارش-های فرین خواهد بود.

همچنین چرخه-ی سالانه-ی مناطق تحت تأثیر بارش-های موسمی در راستای عرض جغرافیایی تا ۱۵ درجه-ی عرض شمالی ارتباط بسیار بالایی با پراکنش افقی دمای پتانسیل معادل در ترازهای پایین جو دارد (Son and Seo, 2020:2). در سال-های پربارش موسمی در آفریقای غربی در لایه-ی مرزی شیو نصف النهاری دمای پتانسیل معادل بسیار زیاد است (Hall and Peyrille, 2006: 81).

Gilliand & Rohli (2024) پژوهشی به اقلیم شناسی دمای پتانسیل معادل بر روی مناطق ساحلی خلیج مکزیک پرداختند. آنها برای انجام این پژوهش از داده های ۸ روزه-ی مرکز پیش بینی محیطی امریکا نسخه واکاوی منطقه-ای امریکای شمالی با تفکیک مکانی $0/3$ درجه-ی قوسی طی بازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۳ استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که در اوایل بهار، توده هوایی با انرژی دمای پتانسیل معادل بر روی تگزاس شکل می گیرد و یک محور ثانویه تا اواسط و اواخر آوریل بر روی لوئیزیانا، می سی سی پی و آلاباما تشکیل می شود. پشته-ی از هم دمای پتانسیل معادل از سطوح زیرین تروپوسفر در منطقه خلیج مکزیک از اواسط اکتبر تا اوایل نوامبر شروع به عقب نشینی یا ترک منطقه می کند و به طور کلی، تعداد روزهای همراه با مقادیر همدمای انرژی پتانسیل معادل در حال

افزایش است که بیشترین تغییرات در طول دوره مطالعاتی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه خلیج مکزیک رخ داده است و پیشنهاد آنها برای پژوهش‌های آینده این بود که نقش رویدادهای فرین اقلیمی در دمای پتانسیل معادل و برعکس آن، نقش دمای پتانسیل معادل در رخداد فرین‌های اقلیمی و جوی در خلیج مکزیک مورد واکاوی قرار گیرد.

در یک پژوهش دیگر Gilliland & Rohli (2025) با بهره‌گیری از رگرسیون چندکی، مقادیر دمای پتانسیل معادل در فصل بهار (مارس، آوریل و می) بر روی منطقه ساحل خلیج مکزیک طی بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که مقادیر صدک‌های مختلف (۵٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۹۵٪) دمای پتانسیل معادل در ترازهای فشار (۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال) در سراسر منطقه خلیج مکزیک افزایش یافته است.

نرخ افزایش آن بر پایه‌ی دو پایگاه داده مورد واکاوی، برای چارک‌های پایینی و میانی (۵/۰ تا ۱ کلوین به ازای هر دهه) در طی دوره مورد واکاوی بوده است. وردایی مقادیر صدک‌های بالایی (۷۵٪) و (۹۵٪) از نظر بزرگی بسته به مکان و پایگاه داده‌ی مورد واکاوی در منطقه خلیج مکزیک متفاوت است. افزایش دمای پتانسیل معادل بر روی منطقه خلیج مکزیک می‌تواند ارتباط معناداری با گرمایش جهانی کره زمین و افزایش بسامد رخداد فرین‌های اقلیمی و جوی داشته باشد.

Seo et al (2015) براین باورند که در مناطقی که بیشترین شیو دمای پتانسیل معادل دیده می‌شود، محل قرارگیری جبهه‌های هوا هستند. در حالی که مناطق بیشینه‌ی دمای پتانسیل معادل نشانگر مناطقی هستند که دمای هوای بالا (گرم) در ترکیب با رطوبت بالا (مرطوب)

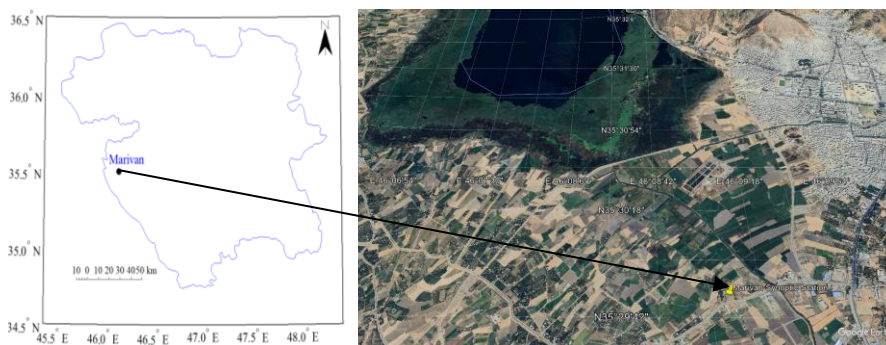
را دارند (Son and Seo, 2020:5). برای بازه‌ی زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۴ محاسبه و وردایی آن را با توجه رفتار دما مورد کندوکاو قرار دهد. مناطق که بیشترین همگرایی رطوبت در وردسپهر پایینی را دارند مناطقی هستند که شیو تغییرات مثبتی را برای دمای پتانسیل معادل دارند

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

ایستگاه همدید مریوان به لحاظ موقعیت مکانی در ۴۶/۱۵۱۷ درجه طول شرقی و ۳۵/۴۹۶۷ درجه عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریاهای آزاد ۱۲۸۷ متر است. در تاریخ ۲۳ سپتامبر سال ۱۹۹۱ ایستگاه همدید مریوان راه اندازی شده است. شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه همدید مریوان را نشان می دهد.

(Hourdin et al (2010); Nnamchi et al (2013); Lélé, et al (2015)) با مروری بر روی پژوهش‌های انجام شده در ایران در ارتباط با دمای پتانسیل معادل می توان دریافت که تاکنون پژوهشی در این راستا انجام نشده است. این پژوهش بر آن است که مقادیر دمای پتانسیل معادل در ایستگاه همدید مریوان که در همسایگی با پهنه‌ی آب دریاچه زریبار قرار دارد را



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان)

۲.۲. داده‌ها

$$\theta_e = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{R_d/c_p} \exp \left(\frac{L_v r_v}{c_p T} \right) \quad (۱)$$

که در آن T دمای مجازی بسته هوا، p فشار بسته هوا، R_d ثابت گازها برای هوای خشک $287.06 \text{ (J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ ، c_p ظرفیت گرمای ویژه هوای خشک در فشار ثابت $1004.71 \text{ (J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ ، L_v گرمای ویژه بخار آب $2500 \text{ (kJ.kg}^{-1})$ و r_v نسبت مخلوط بخار آب در فشار ثابت (kg.kg^{-1}) است (Bolton, 1980).

$$E = E_s \times RH \quad (۲)$$

$$E_s = 6.112 \exp \left(\frac{17.67 T_d}{T_d + 243.5} \right) \quad (۳)$$

در رابطه‌ی ۲ و ۳، E فشار بخار آب بر حسب هکتوپاسکال، E_s فشار بخار آب اشباع بر حسب هکتوپاسکال، RH رطوبت نسبی و T_d دمای نقطه شبنم است. نسبت مخلوط بخار آب (mixr) یا r_v به کمک

برای انجام این پژوهش از داده‌های روزانه مقادیر دمای هوا (دمای کمینه و بیشینه)، بارش و رطوبت نسبی ثبت شده در ایستگاه همدید مریوان طی بازه زمانی ۱۹۹۳/۱/۱ تا ۲۰۲۴/۱۲/۳۱ استفاده شده است.

۲.۳. روش‌ها

در زیر روش برآورد دمای پتانسیل معادل، فشار بخار آب هوا و نسبت اختلاط آمده است (Bolton, 1980). دمای پتانسیل معادل (θ_e) دمایی است که بسته هوا در صورتی که از طریق بی دررو تا ارتفاعی بالا رود که کل بخار آب موجود در آن متراکم و به صورت گرمای نهان ظاهر شود و سپس به تراز فشار مرجع یعنی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال آورده شود، خواهد داشت. این متغیر اثرات دما، فشار و رطوبت هوا را ترکیب می‌کند و آن را تبدیل به ابزاری مناسب جهت درک فرایندهای جوی می‌کند. مقادیر آن به کمک رابطه‌ی زیر بدست می‌آید (Bolton, 1980).

رابطه‌ی ۴ برحسب گرم بر کیلوگرم برآورد شد (Bolton, 1980).

(۴)

$$mixr = 0.62197 \left(\frac{e}{p - e} \right) \cdot 1000$$

در رابطه‌ی ۴، e فشار بخار اشباع هوا و فشار بسته هوا (فشار تراز ایستگاه) است.

۳. یافته ها و نتایج

۳.۱. سری زمانی مقادیر دمای هوا و

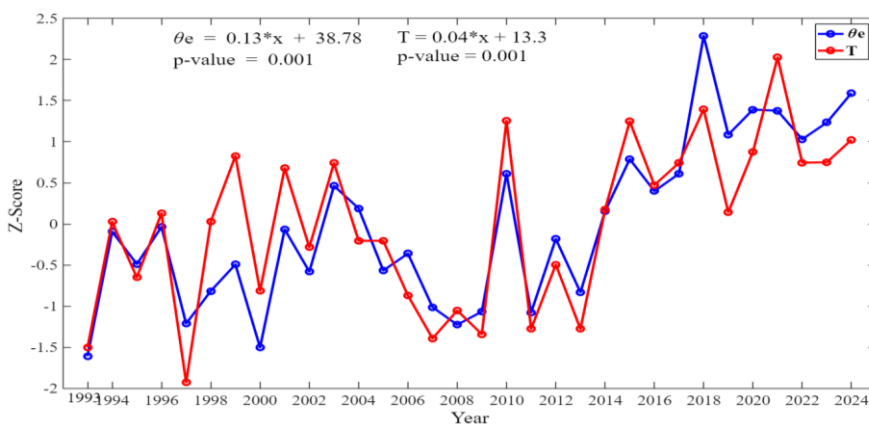
دمای پتانسیل معادل

در شکل ۲ سری زمانی استاندارد شده‌ی مقادیر دما و دمای پتانسیل معادل سالانه ایستگاه همدید مریوان را از سال ۱۹۹۳ الی ۲۰۲۴ نشان می دهد. از روی آن می توان دریافت که سری زمانی مقادیر دمای پتانسیل معادل سالانه که ترکیبی از دما و رطوبت است هماهنگ با مقادیر دمای خوانش شده در ایستگاه هواشناسی مریوان است. همانطور که از روی شکل پیداست سری زمانی دمای سالانه ایستگاه همدید

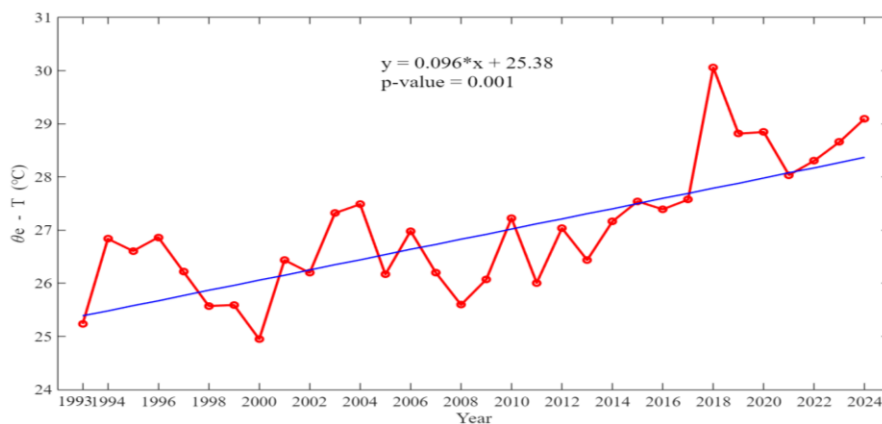
مریوان طی بازه زمانی مورد واکاوی با نرخ شیب ۰/۴ درجه سلسیوس به ازای هر دهه روبه افزایش است. به بیانی دیگر در طول حدود سه دهه حدود ۱/۲ درجه سلسیوس به دمای ایستگاه همدید مریوان افزوده شده است که از نگاه آماری در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است. متوسط دمای ایستگاه همدید مریوان در اوایل دوره مورد واکاوی حدود ۱۳/۳ درجه سلسیوس است که در پایان دوره سالهای بعد از ۲۰۲۰ به بیش از ۱۴/۵ درجه سلسیوس رسیده است. نرخ وردایی دمای پتانسیل معادل سالانه ایستگاه همدید مریوان 1/3 درجه سلسیوس به ازای هر دهه است و بیش از سه برابر نرخ وردایی دما است. در طول دوره مورد واکاوی حدود ۳/۹ درجه سلسیوس به دمای پتانسیل معادل سالانه ایستگاه همدید مریوان افزوده شده است. شکل ۳ سری زمانی تفاضل دمای پتانسیل معادل را با دمای ثبت شده توسط دماسنج

خشک پناهگاه هواشناسی نشان می دهد. واکاوی است. برآزش آزمون ناپارامتریک من از روی تفاضل مثبت مقادیر می توان دریافت که دمای پتانسیل معادل مقادیر بیشتری نسبت به دمای هوا را نشان می دهد و نرخ تفاضل آن از حدود ۲۵ درجه سلسیوس تا بیش از ۳۰ درجه سلسیوس در ایستگاه همدید مریوان متفاوت است. طی سالهای اخیر تفاضل بین دمای پتانسیل معادل و دمای هوا با شتاب بیشتری روبه افزایش است. در سالهای اخیر میزان تفاضل این دو پارامتر به مراتب بیشتر از سالهای نخستین دوره مورد

واکاوی است. برآزش آزمون ناپارامتریک من کندال بر روی سری زمانی مقادیر تفاضل بیانگر آن است که به ازای هر دهه حدود ۰/۹۶ درجه سلسیوس به نرخ تفاضل بین این دو پارامتر افزوده شده است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است. دلیل افزایش تفاضل مقادیر عددی بین این دو پارامتر را می توان در افزایش میزان بخار آب در جو که ناشی از افزایش دما و نرخ تبخیر و تعرق در ایستگاه همدید مریوان است، جستجو کرد.



شکل ۲: سری زمانی دمای هوا و دمای پتانسیل معادل (θ_e) ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان)



شکل ۳: سری زمانی تفاضل دمای پتانسیل معادل (θ_e) و دمای هوا در ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان)

۲.۳. سری زمانی مقادیر فشار بخار و

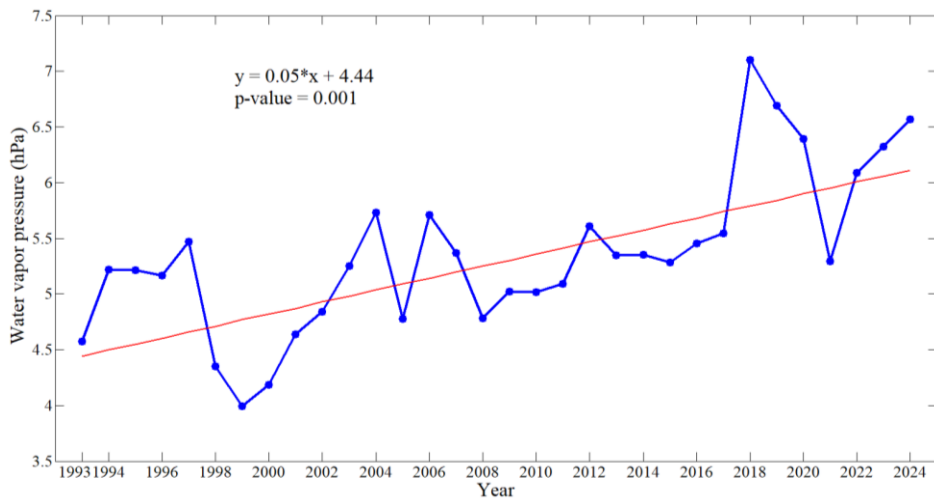
نسبت اختلاط بخار آب

برای شناخت نرخ تغییرات مقادیر رطوبت در جو ایستگاه همدید مریوان، مقادیر عددی نسبت اختلاط (Mixing ratio) و فشار بخار آب (Water vapour pressure) طی بازه زمانی مورد واکاوی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۴ محاسبه شد. در شکل ۴ سری زمانی مقادیر عددی نسبت اختلاط بر حسب گرم بر کیلوگرم در ایستگاه همدید مریوان آمده است. از روی آن می توان دریافت که میزان نسبت اختلاط از

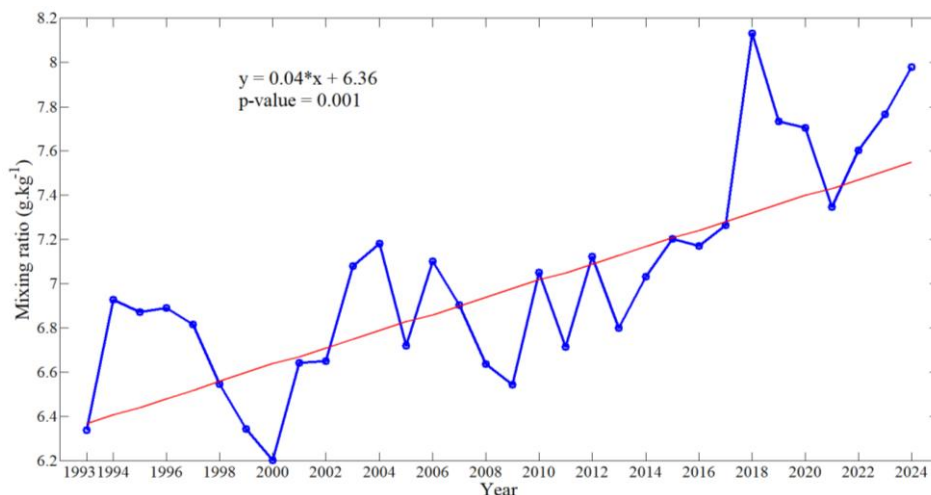
۶/۲ تا ۸/۲ گرم بر کیلوگرم متغیر است.

طی سالهای اخیر میزان نسبت اختلاط با شیب تندی روبه افزایش است. برازش آزمون من کندال بر روی سری زمانی مقادیر نسبت اختلاط طی بازه زمانی مورد واکاوی بیانگر افزایش معنادار مقادیر این پارامتر با متوسط شیب ۰/۴ گرم بر کیلوگرم به ازای هر دهه است. به بیانی دیگر می توان گفت که طی دوره مورد واکاوی بیش از ۱/۲ گرم بر کیلوگرم نسبت اختلاط در ایستگاه همدید مریوان افزایش یافته است. سری زمانی مقادیر فشار بخار

آب بر حسب هکتوپاسکال ایستگاه همدید
 مریوان در شکل ۵ نشان داده شده است.
 همانطور که ملاحظه می شود مقدار فشار
 بخار آب طی بازه زمانی مورد واکاوی از
 حدود ۴ هکتوپاسکال در سال ۱۹۹۹ تا ۷
 هکتوپاسکال در سال ۲۰۱۸ متغیر است.
 برازش آزمون من کندال بر روی سری
 زمانی مقادیر فشار بخار آب طی بازه زمانی
 مورد واکاوی بیانگر افزایش معنادار مقادیر
 این پارامتر با متوسط شیب ۰/۵
 هکتوپاسکال به ازای هر دهه است. نرخ
 افزایش فشار بخار آب طی بازه زمانی مورد
 واکاوی به دلیل افزایش نرخ تبخیر و ترقق
 در جو بیش از ۱/۵ هکتوپاسکال افزایش
 یافته است و در سالهای اخیر نرخ افزایش
 آن شتاب بیشتری را از خود نشان می دهد.



شکل ۴: سری زمانی فشار بخار آب در ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان)



شکل ۵: سری زمانی نسبت اختلاط بخار آب در ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان)

۳.۳. ارتباط بین فرین-های دما و

بارش با دمای پتانسیل معادل

از آن جایی که بخار آب و رطوبت جو یکی از مهم ترین گازهای گلخانه ای است افزایش مقدار آن در جو، با پس خور مثبت، نرخ گرمایش و افزایش دما را شدت می بخشد. گرمای نهان بخار آب در جو، نقش مهمی در فرین های جوی دارد (Song et al., 2022) و منجر به افزایش رخداد و شدت بیشتر رخداد های فرین جوی از جمله امواج گرما، هاریکن ها، توفانهای

همرفتی و بارش های سیل آسا خواهد

شد (Sobel et al., 2016; Emanuel, 1987; Habeeb et al., 2015; Prein et

al., 2017). ظرفیت جو برای نگهداشت

رطوبت از رابطه شناخته شده کلازیوز-

کلاپیرون پیروی می کند و در صورت ثابت

نگه داشتن سایر پارامترها، دمای پتانسیل

معادل به دلیل آنکه بسته هوا مرطوب تر

می شود و گرمای نهان بیشتری را در اثر

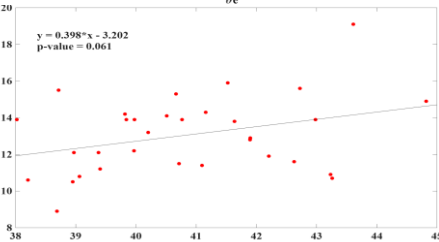
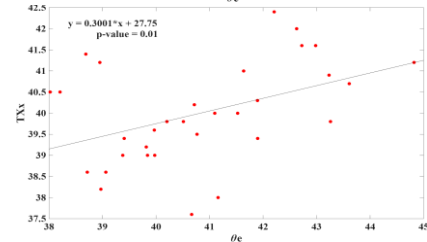
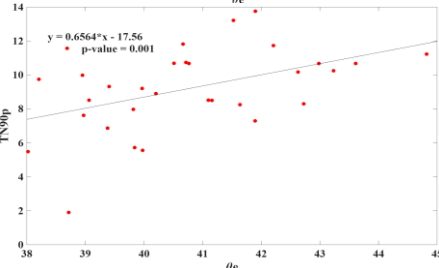
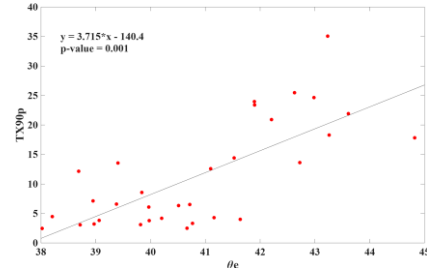
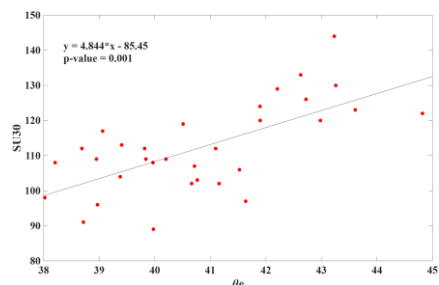
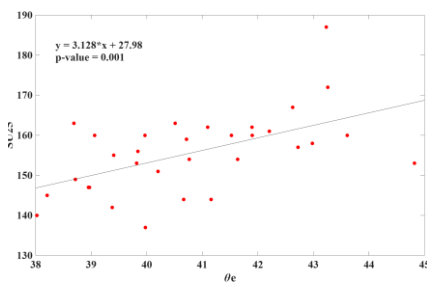
تراکم رطوبت آزاد می کند، افزایش می یابد.

شکل ۶ ارتباط بین دمای پتانسیل معادل

را با روزهای تابستانی (SU25, SU30)،

همدید مریوان دیده می شود. بنابراین می توان دریافت که با افزایش دمای پتانسیل معادل، فراوانی و شدت فرین های دمایی نیز افزایش می یابد. ارتباط بین مقادیر دمای پتانسیل معادل با شدت بارش روزانه در ایستگاه همدید مریوان به لحاظ آماری مستقیم و در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است.

روزهای گرم (TX90p)، شب های گرم (TN90p)، بزرگترین دمای روزانه (TXx) و شاخص ساده شدت بارش روزانه (SDII) نشان می دهد. همانطور که پیداست ارتباط معناداری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین مقادیر دمای پتانسیل معادل در طول بازه زمانی مورد واکاوی با شاخص های فرین جوی به غیر از شاخص SDII در ایستگاه



شکل ۶: ارتباط بین دمای پتانسیل معادل (θ_e) و فرین های جوی در ایستگاه همدید مریوان (منبع: نگارندگان).

۴. نتیجه گیری

است. متوسط دمای هوای ایستگاه همدید

مریوان ۱۳/۸ درجه سلسیوس است که با شتاب ۰/۴ درجه سلسیوس به ازای هر دهه روبه افزایش است. طی بازه زمانی مورد واکاوی شتاب افزایش دمای پتانسیل معادل بیش از شتاب افزایش دمای هوا است و با نرخ ۱/۳ درجه سلسیوس به ازای هر دهه، افزایش یافته است. تفاضل بین دمای پتانسیل معادل و دمای هوا طی سالهای اخیر روبه افزایش است که بیانگر افزایش مقدار بخار آب و تبخیر و تعرق در جو است. افزایش نسبت اختلاط و فشار بخار آب در جو گویای آن است. هر چقدر جو گرم تر شود، ظرفیت نگهداشت رطوبتی جو آن افزایش می یابد و بنابراین نم ویژه بیشتری در جو در دسترس خواهد بود. از آن جایی که دمای پتانسیل معادل وابسته به دما و رطوبت است، در یک پس خور مثبت افزایش محتوای رطوبتی جو منجر به

هدف از انجام این پژوهش برآورد مقادیر دمای پتانسیل معادل در ایستگاه همدید مریوان (در مجاورت پهنه ی آبی دریاچه زریبار) و وردایی آن به عنوان نمایه ای از گرمایش جهانی بود. برای نیل به این هدف از داده های روزانه ی مقادیر فراسنجه های جوی ایستگاه همدید مریوان طی بازه ی زمانی ۱۹۹۳/۱/۱ تا ۲۰۲۴/۱۲/۳۱ بهره گرفته شد. برای محاسبه ی مقادیر روزانه و در نهایت سالانه ی مقادیر دمای پتانسیل معادل از معادله بولتون (۱۹۸۰) استفاده شد.

یافته های حاصل از این پژوهش نشان داد که به دلیل نقش بخار آب موجود در جو و مجاورت با پهنه ی آبی دریاچه زریبار، مقادیر دمای پتانسیل معادل در ایستگاه همدید مریوان بیش از مقادیر دمای هوا

افزایش دمای پتانسیل معادل و افزایش
 انرژی جو می شود. یافته های حاصل از این
 پژوهش نشان داد که ارتباط معناداری بین
 فرین های دمایی با دمای پتانسیل معادل
 در ایستگاه همدید مریوان دیده می شود
 که با یافته های سایر پژوهشگران از جمله
 سونگ و همکاران (۲۰۲۲)، گیلیند و
 روهرلی (۲۰۲۴) و گیلیند و روهرلی
 (۲۰۲۵) هماهنگی و همخوانی دارد. بدون
 شک اثر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر
 روی مناطق مختلف کره زمین یک اندازه و
 هم دست نیست. مناطقی از کره زمین که
 وردایی بیشتری در دمای پتانسیل معادل را
 در اثر افزایش دما و رطوبت جو تجربه کرده
 اند، بر روی شدت و فراوانی فرین های جوی
 نقش پررنگ تری دارند. پیشنهاد می شود
 که مشابه همین پژوهش برای مناطق
 مختلف گستره ایران زمین بویژه مناطق
 همجوار به پهنه های بزرگ آب در سواحل
 شمالی و جنوبی ایران انجام 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 حبیب الله دبستانی بوده است.

References

- American Meteorological Society. (2020). Climate change. In *Glossary of Meteorology*.
https://glossary.ametsoc.org/wiki/Climate_change
- Bolton, D. (1980). The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review*, 108, 1046-1053.
- Dai, A. (2006). Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. *Journal of Climate*, 19, 3589–3606.
<https://doi.org/10.1175/JCLI3816.1>
- Emanuel, K. A. (1987). The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483–485.
<https://doi.org/10.1038/326483a0>

- [83a0.](#)
- Gilliland. J. M. & Robert V. Rohli (2024). A Climatology of Equivalent Potential Temperature Using NARR for the Gulf Coast During 1979-2023. Conference of National Weather Association, Sam Houston.
 - Gilliland. J. M. & Robert V. Rohli (2025). Quantile Regression of Springtime Equivalent Potential Temperature across the Gulf Coast Region from 1980-2023. 105th Annual Meeting American Meteorology Society.
 - Habeeb, D., et al. (2015). Rising heat wave trends in large U.S. cities. *Natural Hazards*, 76, 1651–1661. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1563-9>
 - Hall, N. M. J., & Peyrillé, P. (2006). Dynamics of the West African monsoon. *Journal de Physics*, IV, 139, 81–99. <https://doi.org/10.1051/jp4:2006139009>
 - Hourdin, F., et al. (2010). AMMA–Model intercomparison project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(1), 95–104. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2791.1>
 - Lélé, M. I., Leslie, L. M., & Lamb, P. J. (2015). Analysis of low-level atmospheric moisture transport associated with the West African monsoon. *Journal of Climate*, 28(12), 4414–4430. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00746.1>
 - Nnamchi, H. C., Li, J., Kang, I.-S., & Kucharski, F. (2013). Simulated impacts of the South Atlantic Ocean dipole on summer precipitation at the Guinea coast. *Climate Dynamics*, 41(3–4), 677–694. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1515-z>
 - Prein, A. F., et al. (2017). Increased rainfall volume from future convective storms in the United States. *Nature Climate Change*, 7, 880–884. <https://doi.org/10.1038/nclimate3416>
 - Santer, B. D., Mears, C., Wentz, F. J., Taylor, K. E., Gleckler, P. J., Wigley, T. M. L., Barnett, T. P., Boyle, J. S., Brüggemann, W., Gillett, N. P., Klein, S. A., Meehl, G. A., Nozawa, T., Pierce, D. W., Stott, P. A., Washington, W. M., & Wehner, M. F. (2007). Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content. Proceedings of the

- National Academy of Sciences of the United States of America, 104(39), 15248–15253.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0702872104>
- Seo, K.-H., Son, J.-H., Lee, J.-Y., & Park, H.-S. (2015). Northern East Asian monsoon precipitation revealed by air mass variability and its prediction. *Journal of Climate*, 28(19), 7523–7536.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00824.1>
 - Sobel, A. H., et al. (2016). Human influence on tropical cyclone intensity. *Science*, 353, 242–246.
<https://doi.org/10.1126/science.aaf6574>
 - Son, J.-H., & Seo, K.-H. (2020). Mechanisms for the climatological characteristics and interannual variations of the Guinea Coast precipitation: Early summer West African monsoon. *Atmosphere*, 11(4), 396.
<https://doi.org/10.3390/atmos11040396>
 - Song, F., Zhang, G. J., Ramanathan, V., & Leung, L. R. (2022). Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(4), e2117832119.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2117832119>
 - Trenberth, K. E., Fasullo, J., & Smith, L. (2005). Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, 24, 741–758.
<https://doi.org/10.1007/s00382-005-0017-4>
 - Wentz, F. J., Ricciardulli, L., Hilburn, K., & Mears, C. (2007). How much more rain will global warming bring? *Science*, 317, 233–235.
<https://doi.org/10.1126/science.1140746>
 - Willett, K. W., Jones, P. D., Gillett, N. P., & Thorne, P. W. (2008). Recent changes in surface humidity: Development of the HadCRUH dataset. *Journal of Climate*, 21, 5364–5383.
<https://doi.org/10.1175/2008JCLI2274.1>