

## Original Article



## Investigating the Trend of Night Temperature Changes in Iran and the Effect of Carbon Dioxide

Sajedeh Morady<sup>1\*</sup> and Majid Rezaei Banafsheh<sup>2</sup>

### Affiliation

1. Ph.D. Student, Department of climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran
2. Prof. of Department of climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

### ABSTRACT

**Introduction:** According to scientific evidence, the concentration of large amounts of greenhouse gases in the atmosphere leads to an increase in temperature not only at the Earth's surface but also in the troposphere. Despite short-term fluctuations, evidence indicates ongoing global heat accumulation. At night, after sunset, the short rays are no longer present and the outgoing long rays determine the air temperature. Therefore, the nighttime temperature is particularly influenced by variations in greenhouse gases, including CO<sub>2</sub>. A portion of the Earth's long-wave radiation passes through the atmospheric windows, while the rest is sent back to the Earth's surface as long-wave radiation by greenhouse gases. This process is crucial for maintaining the Earth's temperature balance, particularly during nights and the winter season. In this study, the AIRS sensor images were utilized for the first time to analyze nighttime temperature and carbon dioxide levels in Iran. Research and studies in this regard help managers and planners to raise awareness and promote climate policies to reduce and prevent possible risks caused by changes in the amount of carbon dioxide emissions and, as a result, climate change.

**Material and Methods:** To investigate the changes in CO<sub>2</sub> and night temperature and to assess the effect of carbon dioxide on the night temperature variable from 2003 to 2016 (January, May, July and November), monthly and seasonal time series graphs were examined. The Mann-Kendall test was used to assess the significance or non-significance of the trends and the type of trend. Pearson's correlation test and inverse non-linear regression were used for statistical analysis of night temperature and CO<sub>2</sub> data. Night temperature maps were produced and classified using the IDW interpolation method.

**Discussion and Results:** Statistical analysis of the average night temperature distribution in Iran showed that the average temperature at the end of the study period (2016) was 0.42 ° K higher than the average for the entire study period. The highest fluctuations in night temperature were associated with the winter season and the months of November and January, and the lowest fluctuations were associated with the summer season and July. The seasonal average trend of CO<sub>2</sub> was completely increasing in all seasons and showed little fluctuation. Based on the distribution of the seasonal mean night temperature, the minimum night temperature was observed in the Northwest, Alborz, Zagros, and North Khorasan regions in all seasons. The southern coasts and southern coastal cities from Khuzestan province to Sistan and Baluchistan province, as well as the Kavir and Lut deserts, have the maximum night temperature in all seasons. Based on the average night temperature maps from 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, and 2016, the spatial distribution of night temperatures in Iran shows an increase in January in certain central areas. These areas include parts of Semnan, Yazd, Isfahan, South Khorasan, and southeastern Iran. According to the results of the Mann-Kendall test, the trend of night temperature in July was upward and significant, and the trend of CO<sub>2</sub> was upward and significant in all months. According to the results of Pearson's test, the night temperature in July has a high correlation (0.66) with CO<sub>2</sub>. The results of the non-linear regression model between the two variables showed that, with a coefficient of determination of 0.44, the maximum CO<sub>2</sub> had the greatest influence on the maximum July night temperature during the study period.

**Conclusion:** According to the results of this research, the relationship between the rising trend of night temperature and carbon dioxide in July has been confirmed. Thus, the possibility of increasing night temperatures due to increasing carbon dioxide emissions in different regions of the world can be the subject of research by scientists. It should also be noted that in long-term trends there are sometimes periodic changes that last more than a year. If another study and research related to the subject of the present research is conducted and a longer time series (several decades) is studied, perhaps the dominant trend in Iran will show different conditions.

**Keywords:** Night temperature, Carbon dioxide, Trend, Iran

**Citation:** Morady, S. and Rezaei Banafsheh, M., Investigating the Trend of Night Temperature Changes in Iran and the Effect of Carbon Dioxide, *Iran J Remote Sens GIS*. 16(3):105-122.

\* Corresponding Author: davoodakbari@uoz.ac.ir  
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.103545>

Received: 2023.02.13  
Accepted: 2023.05.03





# بررسی روند تغییرات دمای شبانه در ایران و تأثیر دی‌اکسید کربن

ساجده مرادی<sup>۱\*</sup> و مجید رضایی بنفشه<sup>۲</sup>

سمت

## چکیده

**سابقه و هدف:** مطابق با گزاره‌های علمی هنگامی که مقادیر زیادی از گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن در جو متمرکز می‌شود، درجه حرارت نه‌تنها در سطح زمین، بلکه در تروپوسفر هم افزایش پیدا خواهد کرد. آنچه شاید مهم‌ترین نکته در مورد نوسانات درجه حرارت سطح جهانی باشد، این است که با وجود فراز و فرودهای کوتاه‌مدت، شواهد نشان می‌دهد که سیاره ما به‌طور ثابت در حال انباشتن گرماست. شب‌هنگام، تابش‌های کوتاه پس از غروب خورشید حذف می‌شود و دمای هوا تابعی از تابش‌های بلند خروجی است. بنابراین دمای شبانه به‌عنوان متغیری است که به‌طور ویژه تحت تأثیر نوسانات گازهای گلخانه‌ای از جمله CO<sub>2</sub> قرار دارد. بخشی از تابش موج بلند زمینی از طریق پنجره‌های جوی خارج می‌شود و بخش عمده‌ای از آن توسط گازهای گلخانه‌ای به‌صورت تابش بلند برگشتی به سطح زمین بازگشت داده می‌شود که به‌ویژه در شب‌ها و فصل زمستان نقش مهمی در تعادل دمایی کره زمین دارد. مطالعه و بررسی دمای شبانه در ارتباط با مقادیر دی‌اکسید کربن اتمسفر، می‌تواند روند تغییر اقلیم را آشکار سازد. در این پژوهش برای نخستین بار تصاویر سنجنده AIRS به‌منظور بررسی دمای شبانه و گاز دی‌اکسید کربن استفاده شد. اهمیت تغییر دما در زیست گیاهی و جانوری، و به‌طور کل تعادل طبیعت بروز و ظهور پیدا می‌کند و چنانچه این تعادل طبیعی از بین برود، تغییرات اساسی و گاهی جبران‌ناپذیر در حیات کره زمین و کشور ایران رخ خواهد داد که آثار نامطلوبی برای زندگی بر جای خواهد گذاشت. گاز گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> می‌تواند طی فرایند گلخانه‌ای دمای شبانه را دچار نوسان کند. لذا انجام این پژوهش می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در افزایش آگاهی و پیشبرد سیاست‌های اقلیمی برای کاهش و جلوگیری از خطرات احتمالی ناشی از تغییرات در مقادیر انتشار دی‌اکسید کربن و به‌تبع آن تغییرات دمایی و ایجاد طرح‌های مؤثر باری می‌کند.

**مواد و روش‌ها:** داده‌های این پژوهش مربوط به دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۰۳ و ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر است. به‌منظور بررسی تغییرات CO<sub>2</sub> و دمای شبانه و تحلیل و ارزیابی اثرگذاری دی‌اکسید کربن بر متغیر دمای شبانه در این پژوهش نمودارهای سری زمانی ماهانه و فصلی بررسی شدند. به‌منظور بررسی معنادار بودن و یا عدم معناداری روندها و نوع روند، آزمون من-کندال به کار گرفته شد. آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون غیرخطی inverse برای تحلیل‌های آماری داده‌های دمای شبانه و CO<sub>2</sub> استفاده شد. به‌منظور تحلیل بصری از دمای شبانه و به‌علت طولانی بودن دوره مورد مطالعه، نقشه‌های دمای شبانه سال‌های مورد مطالعه تهیه و با روش درون‌یابی IDW پهنه‌بندی شد.

**نتایج و بحث:** بررسی آماری توزیع میانگین دمای شبانه در ایران نشان داد میانگین دما در انتهای دوره مطالعاتی (سال ۲۰۱۶) از میانگین کل دوره مطالعاتی به مقدار ۰/۴۲ درجه کلوین، بیشتر بوده است. بیشترین نوسانات دمای شبانه مربوط به فصل زمستان و کمترین نوسانات که تا حدودی روند یکنواختی در آن مشاهده شده متعلق به فصل تابستان بوده است. مطابق با نمودار سری زمانی، روند میانگین فصلی، میزان CO<sub>2</sub> در هر چهار فصل در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ کاملاً افزایشی بوده است. با توجه به نمودار سری زمانی ماهانه، از بین ماه‌های مورد مطالعه ماه ژوئیه، کمترین نوسانات و ماه‌های نوامبر و ژانویه بیشترین نوسانات دمایی را به خود اختصاص دادند. براساس نقشه‌های دمای شبانه فصلی، کمیته دمای شبانه در شمال غرب، رشته کوه‌های البرز، زاگرس و نواحی خراسان شمالی در هر چهار فصل قابل مشاهده بود. سواحل جنوبی و شهرهای ساحلی جنوب از استان خوزستان تا استان سیستان و بلوچستان و همچنین دشت کویر و کویر لوت، در تمام فصل‌ها، بیشینه دمای شبانه را به خود اختصاص داده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی‌شده میانگین دمای شبانه ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، توزیع مکانی دمای شبانه در ایران حاکی از افزایش دمای شبانه ماه ژانویه در اواخر دوره مطالعاتی در برخی نواحی مرکزی شامل بخش‌هایی از استان‌های سمنان، یزد و اصفهان و بخش‌هایی از خراسان جنوبی و قسمت‌هایی در جنوب شرق ایران بود. مطابق نتایج آزمون من-کندال، تنها روند موجود در دمای شبانه ماه ژوئیه صعودی و معنادار بوده و روند CO<sub>2</sub> در همه ماه‌ها صعودی و معنادار بوده است. براساس نتایج آزمون پیرسون، دمای شبانه ژوئیه همبستگی بالایی (۰/۶۶) با CO<sub>2</sub> داشته است. نتایج مدل رگرسیون غیرخطی بین دو متغیر، حاکی از این بود که با ضریب تعیین ۰/۴۴ بیشینه CO<sub>2</sub> بیشترین تأثیر را بر بیشینه دمای شبانه در ماه ژوئیه در دوره مطالعاتی داشته است.

**نتیجه‌گیری:** مطابق با نتایج این پژوهش در بازه زمانی مورد مطالعه، رابطه بین روند افزایشی دمای شبانه و دی‌اکسید کربن در ماه تیر (ژوئیه) تأیید شد. به‌این ترتیب، احتمال افزایش دماهای شبانه به‌علت افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در نواحی مناطق مختلف جهان، می‌تواند موضوع بررسی پژوهشگران قرار بگیرد. همچنین باید اشاره کرد که در بستر روندهای طولانی‌مدت، گاهی تغییرات دوره‌ای، رخ می‌دهد که دوام آن بیش از یک سال است. اگر مطالعه و پژوهش دیگری در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر انجام پذیرد و سری زمانی طولانی‌تری (چندین دهه) مورد مطالعه قرار گیرد، ممکن است روند غالب بر ایران، شرایط دیگری را نشان دهد.

**واژه‌های کلیدی:** دمای شبانه، دی‌اکسید کربن، روند، ایران

۱. دانشجوی دکتری، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. استاد، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

**استناد:** مرادی، س. و رضایی بنفشه، م.، بررسی روند تغییرات دمای شبانه در ایران و تأثیر دی‌اکسید کربن، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳: ۱۲۲-۱۰۵.

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: [Sajedah.Morady@tabrizu.ac.ir](mailto:Sajedah.Morady@tabrizu.ac.ir)

شناسه دیجیتال مقالات: <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.103545>

## ۱- مقدمه

مسئله تغییر اقلیم که امروزه به‌عنوان یکی از شایع‌ترین مباحث علمی و حتی سیاسی و اجتماعی در کشورها مطرح است در واقع مسئله‌ای تازه نیست. بنا بر اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن داشته و خواهد داشت، تلاش برای شناخت هرچه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم امری مسلم است (ALijani et al., 2015). عواملی که می‌توانند به تغییرات آب‌وهوایی منجر شوند، متنوع‌اند و شامل دلایل طبیعی مانند تغییر در شدت تابش خورشید یا تغییرات کند و آهسته در مدار زمین به دور خورشید؛ فرایندهای طبیعی در سیستم آب‌وهوا (مانند تغییر در گردش جریان‌های اقیانوس‌ها)؛ فعالیت‌های انسانی که ترکیب جوی را تغییر می‌دهند (مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی) و سطح زمین (مانند جنگل‌زدایی، جنگل‌کاری مجدد، شهرنشینی و بیابان‌زایی) است. از بین همه عواملی که ممکن است در افزایش گرم شدن کره زمین نقش داشته باشند، انتشار گازهای گلخانه‌ای مهم‌ترین است، زیرا نشان داده شده است که در طول زمان  $CO_2$  به‌سرعت افزایش می‌یابد. این در نتیجه افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی است؛ اگرچه جنگل‌زدایی نیز نقش کمی دارد. افزایش شهرنشینی، صنعتی شدن و توسعه نیز دست به دست هم می‌دهند. اکثر دستگاه‌ها و ماشین‌آلات از سوخت‌های فسیلی تغذیه می‌کنند و نتیجه حاصل از آن انتشار مقادیر بالای  $CO_2$  به جو است (Atehmengo, et al., 2014). انتشار  $CO_2$  ناشی از فعالیت‌های انسانی در آغاز دوره صنعتی شدن در اواسط قرن هجدهم تسریع یافت و در حال حاضر تمرکز  $CO_2$  در جو به‌طور سالانه با حجمی به میزان ۱-۲ ppm در حال افزایش است. دی‌اکسید کربن اتمسفری و سایر گازهای کمیاب که در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییر در الگوهای کاربری اراضی، به اتمسفر ساطع می‌شوند، انرژی تابش‌شده از سطح زمین را جذب می‌کنند و اتمسفر و سطح زمین را با اثر گلخانه‌ای گرم می‌کنند (Davis, 2017).

در دهه‌های گذشته، شهرنشینی در ایران، به‌طور بالقوه آب‌وهوای خاورمیانه را با انتشار گاز گلخانه‌ای نزدیک به ۶۱۶۷۴۱ میلیون تن  $CO_2$  تغییر داده است (Mansouri Daneshvar et al., 2019). مطابق با گزاره‌های علمی هنگامی که مقادیر زیادی از گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن در جو متمرکز می‌شود، درجه حرارت نه‌تنها در سطح زمین، بلکه در تروپوسفر هم افزایش پیدا خواهد کرد (Manabe, 2019). آنچه شاید مهم‌ترین نکته در مورد نوسانات درجه حرارت سطح جهانی است، این است که با وجود فراز و فرودهای کوتاه‌مدت، شواهد نشان می‌دهد که سیاره ما به‌طور ثابت در حال انباشتن گرمات (Lenssen, et al., 2019). شب‌هنگام، تابش‌های کوتاه پس از غروب خورشید حذف می‌شود و دمای هوا تابعی از تابش‌های بلند خروجی است (Masoudian, 2012). بنابراین دمای شبانه به‌عنوان متغیری است که به‌طور ویژه تحت تأثیر نوسانات گازهای گلخانه‌ای از جمله  $CO_2$  قرار دارد. بخشی از تابش موج بلند زمینی از طریق پنجره‌های جوی خارج می‌شود و بخش عمده‌ای از آن توسط گازهای گلخانه‌ای به‌صورت تابش بلند برگشتی به سطح زمین بازگشت داده می‌شود که به‌ویژه طی شب‌ها و فصل زمستان نقش مهمی در تعادل دمایی کره زمین بازی می‌کند (Kefayat Motlagh et al., 2019). با توجه به آنچه بیان شد، مطالعه و بررسی دمای شبانه در ارتباط با مقادیر دی‌اکسید کربن اتمسفری، می‌تواند روند تغییر اقلیم را آشکار سازد. مبنای مطالعات بسیاری از پژوهش‌های داخلی و خارجی، پایش دما و گازهای گلخانه‌ای و همچنین ارتباط بین گازهای گلخانه‌ای با سایر متغیرهای محیطی و اقلیمی به‌ویژه دما بوده است؛ از جمله پژوهش‌های داخلی، عطایی و فنیایی (Ataee & Fnaee, 2013)، تغییرات زمانی مکانی دمای شبانه را در استان اصفهان و عطایی و یوسفی‌فر (Ataee & Yoosefifar, 2015) روند تغییرات دمای شبانه استان کرمان را در ارتباط با تأثیرپذیری آن از شدت تابش خورشیدی مطالعه کردند. در پهنه ایران،

در مطالعاتی که تاکنون در ایران در ارتباط با نقش گازهای گلخانه‌ای در نوسانات دما صورت گرفته، مستقیماً دمای شبانه در ارتباط با گاز CO<sub>2</sub> بررسی نشده است. با توجه به اینکه در طول شب، سطح زمین کاملاً همگن است، اما در طول روز دمای سطح زیر سایه کمتر از دمای سطوحی است که در معرض مستقیم نور مستقیم خورشید قرار دارند (Meead & McNeil, 2019)، به این دلیل در طول شب، نوسانات دمایی به راحتی آشکار می‌شود. دمای شبانه و تغییر آن در قالب بروز دماهای بالا، به برهم خوردن تعادل آب‌وهوا و پیامدهای اقلیمی و زیست‌محیطی منجر می‌شود. در این نوشتار تغییرات دمای شبانه در ارتباط با انتشار CO<sub>2</sub> با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده AIRS بررسی شد. تصاویر ماهواره‌ای در قیاس با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، پوشش کاملی از پهنه مورد مطالعه ارائه می‌دهند. در این پژوهش برای نخستین بار تصاویر سنجنده AIRS به منظور بررسی دمای شبانه و گاز دی‌اکسید کربن استفاده شد. اهمیت تغییر دما در زیست گیاهی و جانوری، و به‌طور کلی تعادل طبیعت بروز و ظهور پیدا می‌کند و چنانچه این تعادل طبیعی از بین برود، تغییرات اساسی و گاهی جبران‌ناپذیری در حیات زیست‌مندان کره زمین و کشور ایران رخ خواهد داد که آثار نامطلوبی برای زندگی انسان‌ها و سایر زیست‌مندان بر جای خواهد گذاشت. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، گاز گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> می‌تواند طی فرایند گلخانه‌ای دمای شبانه را دچار نوسان کند. لذا انجام پژوهش‌ها و مطالعات گسترده در این راستا حائز اهمیت است و مدیران و برنامه‌ریزان را در افزایش آگاهی و پیشبرد سیاست‌های اقلیمی به منظور کاهش و جلوگیری از خطرات احتمالی ناشی از تغییرات در مقادیر انتشار دی‌اکسید کربن و به تبع آن تغییرات دمایی و ایجاد طرح‌های مؤثر یاری می‌کند.

## ۲- مواد و روش‌ها

سیستم آنلاین فضایی-تعاملی ناسا به‌منظور تصویرسازی و آنالیز (Giovanni) دسترسی به طیف

پایش دمای شبانه سطح زمین را احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2018) با استفاده از فرآورده‌های دمای سطح زمین سنجنده مودیس انجام دادند. نقش گاز دی‌اکسید کربن در نوسانات دمای حداکثر فصلی ایران را قویدل رحیمی و همکاران (Ghavidel Rahimi et al., 2018) بررسی کردند. در این پژوهش از داده‌های دمای ایستگاه‌های سینوپتیک و روش‌های تحلیل آماری و فضایی برای بررسی همبستگی دما و دی‌اکسید کربن استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که به ترتیب فصل زمستان، تابستان و بهار بیشترین تأثیر را از دی‌اکسید کربن پذیرفته‌اند. همچنین ارتباطی بین دمای حداکثر فصل پاییز و دی‌اکسید کربن مشاهده نشد. نتایج تحلیل فضایی در این پژوهش حاکی از آن بود که مناطق مرکزی و جنوب شرق کشور بیشترین تأثیر را از این گاز داشته‌اند. در پژوهشی دیگر ارتباط غلظت گازهای دی‌اکسید کربن و متان با متغیرهای NDVI (شاخص پوشش گیاهی)، دمای سطح زمین، رطوبت و ارتفاع در سطح ایران مورد مطالعه قرار گرفت (Mousavi et al., 2017). نتایج این پژوهش نشان داد که از بین متغیرهای مذکور، متغیر دمای هوا و سطح زمین ارتباط مثبتی با گازهای متان و دی‌اکسید کربن داشتند. حاتمی‌زرنه و همکاران (Hatami Zarneh et al., 2019)، نوسانات امواج گرمایی را در ارتباط با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی در منطقه شمال غرب ایران مطالعه کردند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ارتباط فراوانی وقوع و شدت امواج گرم با داده‌های گاز گلخانه‌ای اصلی شامل CH<sub>4</sub>، CO<sub>2</sub>، SF<sub>6</sub> و N<sub>2</sub>O، بیانگر ارتباط معنادار گاز دی‌اکسید کربن با رخداد شدیدترین امواج گرمایی در ماه ژوئن بود، درحالی‌که بین سایر گازها ارتباط معناداری با امواج گرم مشاهده نشد. پژوهش‌های متعددی را پژوهشگران خارجی با دیدگاه‌های پژوهشی و روش‌های پژوهشی مختلف پیرامون پایش دی‌اکسید کربن و اثرات آن بر دما انجام داده‌اند که نمونه‌هایی از آن‌ها عبارت‌اند از: Broquet et al., 2018; Ayompe et al., 2021; Olivier & Peters 2017; Davis, 2017; Sefakor et al., 2018; Lee & Cheong, 2018; Kweku et al., 2017

(به‌طور رسمی در ساعت ۱:۳۰ بعد از ظهر به وقت محلی) و برای مدارهای نزولی AIRS AM (به‌طور رسمی در ساعت ۱:۳۰ صبح به وقت محلی) تولید می‌شوند (Susskind et al., 2019). مشخصات محصول دمای شبانه و CO<sub>2</sub> متعلق به سنجنده AIRS که در این پژوهش به کار رفته، در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های این پژوهش برای دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۰۳ و ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر است. به‌منظور بررسی تغییرات CO<sub>2</sub> و دمای شبانه و تحلیل و ارزیابی اثرگذاری دی‌اکسید کربن بر متغیر دمای شبانه در این پژوهش نمودارهای سری زمانی ماهانه و فصلی بررسی شدند. به‌منظور بررسی معنادار بودن و یا عدم معناداری روندها و نوع روند، آزمون من-کنندال به کار گرفته شد. آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون غیرخطی inverse برای تحلیل‌های آماری داده‌های دمای شبانه و CO<sub>2</sub> برای ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر استفاده شد. به‌منظور تحلیل بصری از دمای شبانه و به‌علت طولانی بودن دوره مورد مطالعه، نقشه‌های دمای شبانه برای ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر سال‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه و با روش درون‌یابی IDW، پهنه‌بندی شد. روش‌های درون‌یابی فضایی بسیاری برای پیش‌بینی توزیع متغیرهای مورد نظر در نظام‌های مختلف وجود دارد. در میان آنها، روش زمین‌آماری (Kriging) و وزن‌دهی معکوس (IDW)، یک روش ساده غیرآماری، به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی بسیاری از متغیرهای

گسترده‌ای از داده‌های سنجش‌ازدور ناسا و سایر مجموعه داده‌های علوم زمین را فراهم می‌کند و به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا داده‌های انتخاب‌شده را در طیف وسیعی از پژوهش‌ها اعمال کنند (Acker et al., 2014). دسترسی آنلاین به این داده‌ها از طریق نشانی اینترنتی <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> امکان‌پذیر است. در این پژوهش به‌منظور پایش روند دمای شبانه و CO<sub>2</sub> در ایران، محصولات سنجنده AIRS استفاده شد. AIRS یکی از شش سنجنده‌ای است که روی ماهواره Aqua ناسا قرار دارد (Rajab et al., 2012). سنجنده AIRS بر روی ماهواره Aqua در ۴ مه ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شد (Chen et al., 2022). مدار AIRS دو بار در روز تقریباً کل کره زمین را دربرمی‌گیرد (Warner et al., 2016). این سنجنده عمدتاً برای اندازه‌گیری بخار آب و مشخصات دما در جو استفاده می‌شود. همچنین سنجنده AIRS برای پایش CO<sub>2</sub> در اتمسفر در ارتباط با پدیده‌های هواشناسی و اقلیمی استفاده شده است (Lee et al., 2017). داده‌های دمای هوای شبانه از نوع دمای هوای سطحی در این نوشتار به کار گرفته شده است. مجموعه داده‌های AIRS شامل بسیاری از پارامترهای ژئوفیزیکی میانگین ماهانه، علاوه بر دمای سطحی است. محصولات متوسط ماهانه AIRS در شبکه فضایی ۱ درجه عرض جغرافیایی در ۱ درجه طول جغرافیایی در سطح جهانی و بدون گپ مکانی تولید می‌شوند. محصولات میانگین ماهانه جداگانه برای EOS Aqua، مدار صعودی AIRS PM

جدول ۱. مشخصه محصولات سنجنده AIRS در پژوهش حاضر

نام محصولات سنجنده AIRS	واحد	تفکیک زمانی
	اندازه‌گیری	داده‌ها
Air temperature at surface (Nighttime/Descending, AIRS-only) monthly. [AIRS AIRS3STM v006]	کلوین-K	ماهانه (۲۰۰۳-۲۰۱۶)
(AIRX3C2M_005_mole_fraction_of_carbon_dioxide_in_free_troposphere monthly (AIRS AIRX3C2M v005))	PPM	ماهانه (۲۰۰۳-۲۰۱۶)
(AIRS3C2M_005_mole_fraction_of_carbon_dioxide_in_free_troposphere) monthly (AIRS3C2M v005)		

در مرحله بعد محاسبه واریانس S از طریق یکی از روابط زیر محاسبه شد:

رابطه (۳) for  $n > 10$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}$$

رابطه (۴) for  $n < 10$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که  $n$  و  $m$  معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.  $t$  نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) است. در نهایت نیز آماره  $Z$  به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{رابطه (۵) for } S > 0$$

$$Z = 0 \quad \text{for } S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } S < 0$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که  $\alpha$  سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $\alpha$  است (Gassab Feiz & Eslami, 2017). در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از مقدار سطح اهمیت ( $\alpha$ ) می‌توانیم سطح اهمیت روند را تعیین کنیم. با توجه به اینکه اگر  $p$ -value (مقدار احتمال) داده‌ها بالاتر از سطح معناداری باشد، می‌توان گفت که فرضیه صفر ( $H_0$ ) مورد قبول است و «هیچ روندی» وجود ندارد. فرضیه جایگزین ( $H_1$ ) نشان خواهد داد که یک روند در سری

محیطی و کشاورزی به کار رفته است (Zarco-Perello & Simões., 2017). مزیت مشهور IDW، حفظ ارزش اندازه‌گیری شده در محل نمونه است (Li et al., 2018).

## ۲-۱- نحوه محاسبات تعیین روند در سری‌های زمانی با استفاده از آزمون

آزمون روند من-کندال یک آزمون ناپارامتریک است که برای شناسایی روند در یک سری استفاده می‌شود. همچنین به منظور تعیین اینکه آیا یک سری زمانی، روند صعودی یا نزولی یکنواخت دارد، به کار برده می‌شود (Alemu and Dioha., 2020). این یک آزمون ناپارامتریک است که هیچ شرایط پیش‌نیازی روی داده‌ها به جهت توزیع نرمال ندارد (Gadedjisso-Tossou et al., 2021). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزیت‌های استفاده از این روش است (Barani & Karami., 2019).

این آزمون که معمولاً به عنوان آماره  $r$  کندال شناخته می‌شود، به طور گسترده‌ای برای آزمون تصادفی بودن روند در هیدرولوژی و اقلیم‌شناسی استفاده می‌شود (Mishra et al., 2014).

در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه می‌شود و پارامتر  $S$  مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $j$ ام و  $k$ ام سری هستند. تابع علامت  $\text{sgn}$  نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۲) for } (x_j - x_k) > 0$$

$$\text{for } (x_j - x_k) = 0$$

$$\text{for } (x_j - x_k) < 0$$

شبانۀ به‌ترتیب برابر با  $۲۶۶/۲۳$ ،  $۳۰۶/۰۸$ ،  $۲۸۷/۲۰$  درجهٔ کلویین و مقدار انحراف معیار برابر با  $۹/۴۳$  بوده است. در سال  $۲۰۱۶$  (شکل ۱.الف)، کمینه، بیشینه و میانگین دمای شبانۀ به‌ترتیب برابر با  $۲۶۵/۵۴$ ،  $۳۰۷/۷۳$ ،  $۲۸۷/۹۶$  درجهٔ کلویین و انحراف معیار برابر با  $۹/۱۲$  بوده است. در طول دورهٔ آماری  $۲۰۰۳$  تا  $۲۰۱۶$  بیشینهٔ دمای هوای شبانۀ برابر با  $۳۰۷/۷۳$  درجهٔ کلویین، کمینه  $۲۶۲/۰۳$  و میانگین دمای هوای شبانۀ برابر با  $۲۸۷/۵۴$  درجهٔ کلویین و انحراف معیار  $۹/۳۴$  بوده است (شکل ۱.ج). بنابراین، میانگین انتهای دورهٔ مطالعاتی (سال  $۲۰۱۶$ ) از میانگین کل دوره ( $۲۰۰۳-۲۰۱۶$ ) به مقدار  $۰/۴۲$  درجهٔ کلویین، بیشتر است. بیشینهٔ دمای هوای شبانۀ در سال  $۲۰۱۶$ ،  $۱/۶۵$  درجهٔ کلویین بیش از بیشینهٔ دمای شبانۀ سال  $۲۰۰۳$  بوده است.

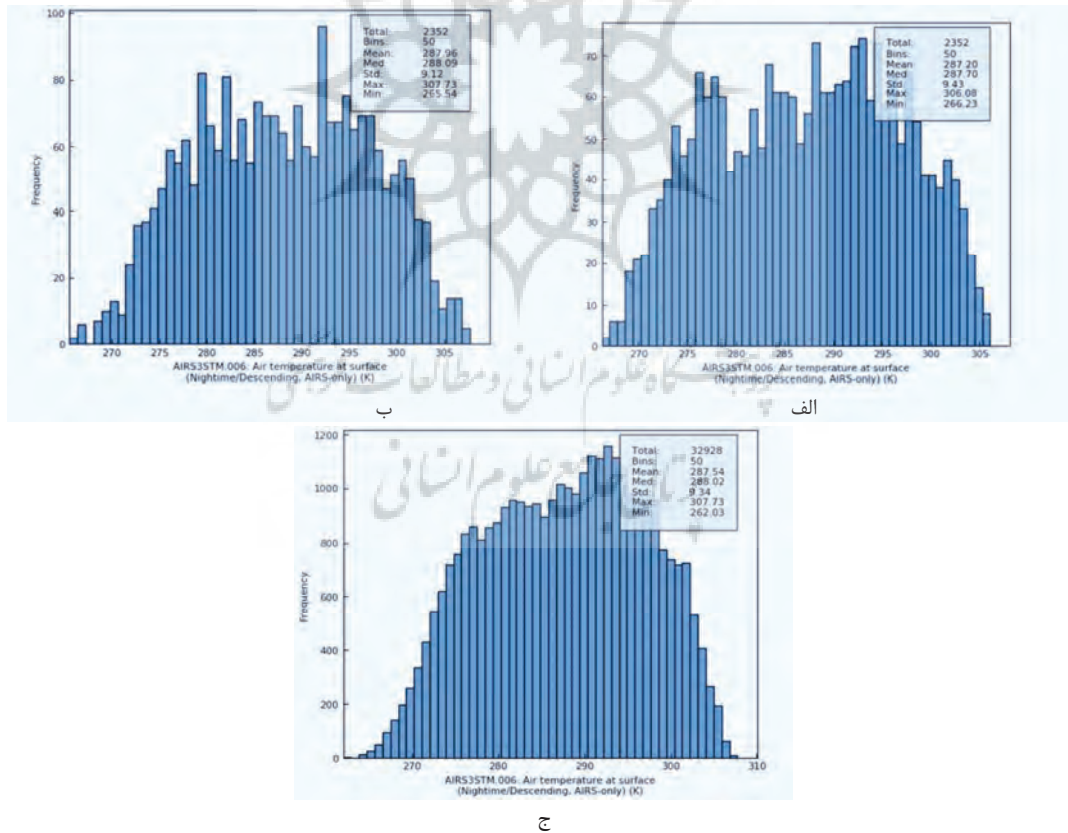
وجود دارد؛ با نتایجی که نشان می‌دهد p-value کمتر از سطح معناداری ( $\alpha$ ) است (Agbo and Ecpo; 2021). معمولاً این آزمون برای سطح معنادار 95 و 99 درصد به انجام می‌رسد. مقدار  $\alpha$  برای سطح 95 درصد، برابر با 0/05 و برای سطح 99 درصد برابر با 0/01 است. در سطح اطمینان 95 درصد  $z = 1/96$  و در سطح اطمینان 99 درصد  $z = 2/58$  در نظر گرفته می‌شود (Ansari et al., 2016).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی نمودارهای توزیع ماهانه دمای هوای

شبانۀ در سال‌های  $۲۰۱۶-۲۰۰۳$

براساس نمودار توزیع ماهانهٔ دمای هوای شبانۀ (شکل ۱.ا)، در سال  $۲۰۰۳$ ، کمینه، بیشینه و میانگین دمای



شکل ۱. نمودار آماری توزیع میانگین دمای هوای شبانۀ در ایران (الف:  $۲۰۰۳$ ; ب:  $۲۰۱۶$ ; ج:  $۲۰۰۳-۲۰۱۶$ )

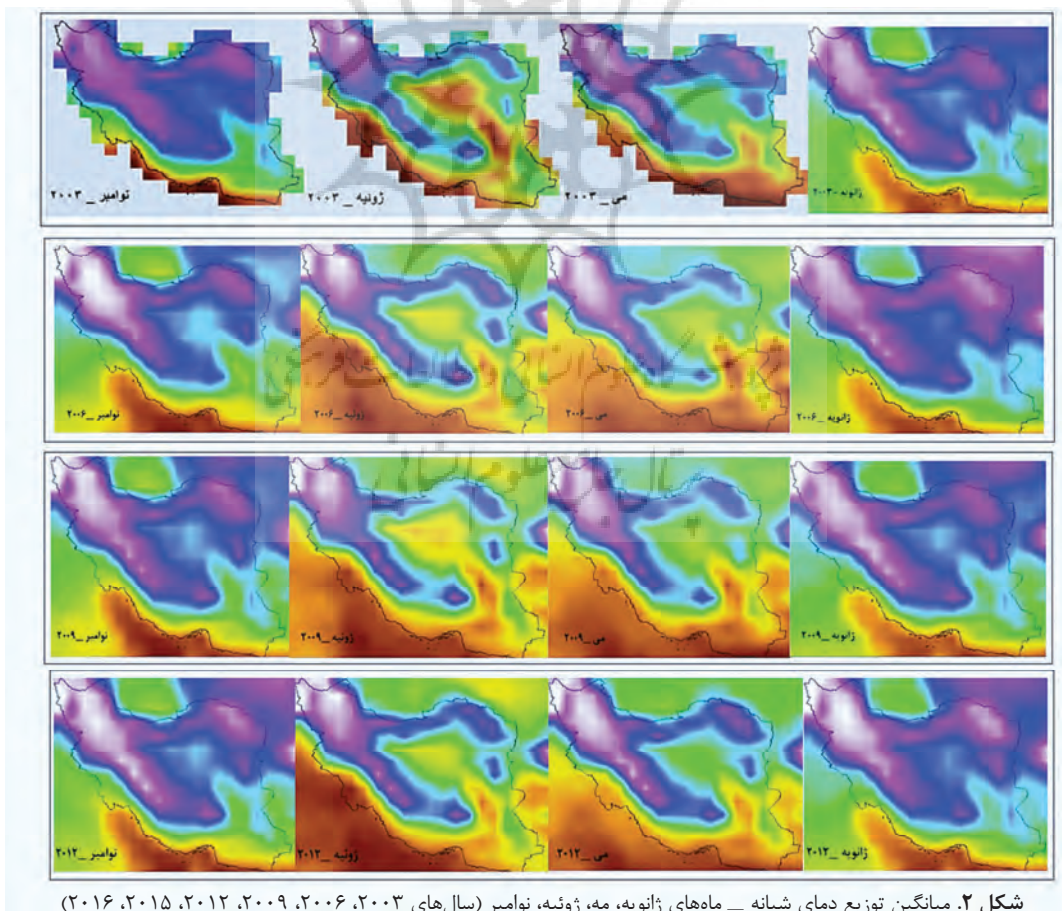
محور افقی: دمای هوای شبانۀ (محصول سنجنده AIRS); محور عمودی: فراوانی

## ۲-۳- بررسی توزیع مکانی میانگین ماهانه دمای

شبانه در ایران (ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه، نوامبر)

نقشه پهنه‌بندی شده میانگین دمای شبانه ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ تهیه شد. به‌طور کلی دمای شبانه کمینه در نواحی شمال غرب، شمال شرق و ارتفاعات البرز و زاگرس و شهرهای پیرامون آن و بیشینه دمایی در نواحی حاشیه خلیج فارس، دریای عمان، جنوب شرق، نواحی مرکزی و بخش‌هایی در غرب در ناحیه خوزستان حاکمیت دارد. نوسانات تغییراتی در دوره مطالعاتی در برخی نقاط وجود داشته است. در ماه ژانویه سال ۲۰۰۳، نواحی مرکزی شامل بخش‌هایی از استان‌های سمنان، یزد و اصفهان، میانگین دمای شبانه کمتری داشته و به تدریج تا سال ۲۰۱۶ در این نواحی دمای شبانه افزایش یافته است که

با طیف رنگی بر روی نقشه‌ها قابل مشاهده است. در بخش‌هایی از خراسان جنوبی و قسمت‌هایی در جنوب شرق ایران از سال ۲۰۰۳ به تدریج دمای شبانه کمینه، افزایش یافته و در این نواحی طیف رنگی متعلق به دماهای بالاتر روی نقشه‌ها نمایان شده است. در این ماه نواحی دیگر طی سال‌های مورد مطالعه نوسانات متغیری داشتند. در ماه ژوئیه دماهای شبانه کمینه در اواخر سال‌های مورد مطالعه در ناحیه زاگرس تا ۲۰۱۵ کاهش پیدا کرده است. در بقیه نواحی نوسانات وجود دارد، اما قابل توجه نیست. از ویژگی‌های تغییرات میانگین دمای شبانه در ماه نوامبر، بروز دماهای کمینه در زاگرس در اواخر دوره است. در ماه مه، تغییرات شدید در طول دوره مشاهده نشده و به‌طور کلی در ماه‌های مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های تهیه‌شده، تغییرات به‌صورت نوسانی بوده است.

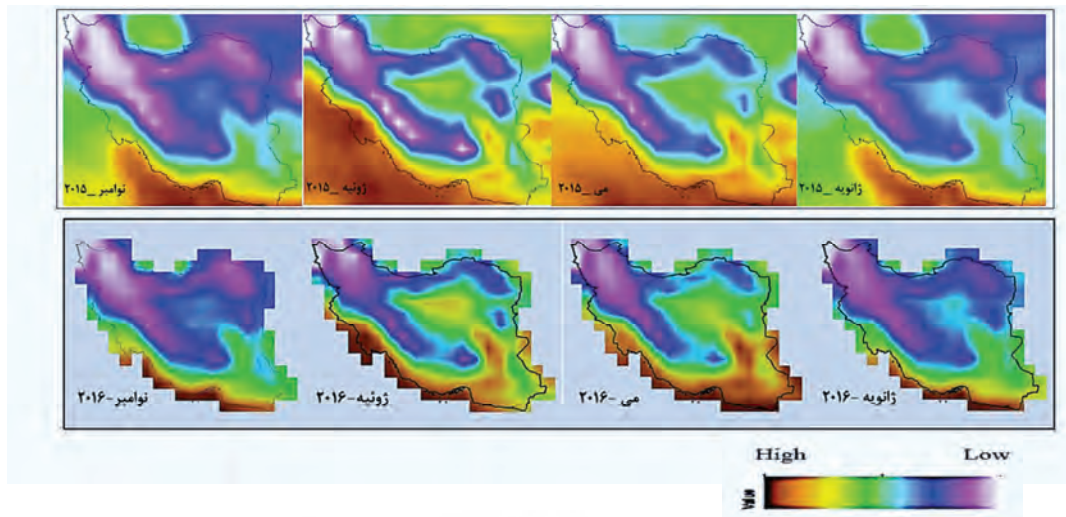


شکل ۲. میانگین توزیع دمای شبانه - ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه، نوامبر (سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶)

نشریه سنجش از دور و GIS ایران

سال ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳



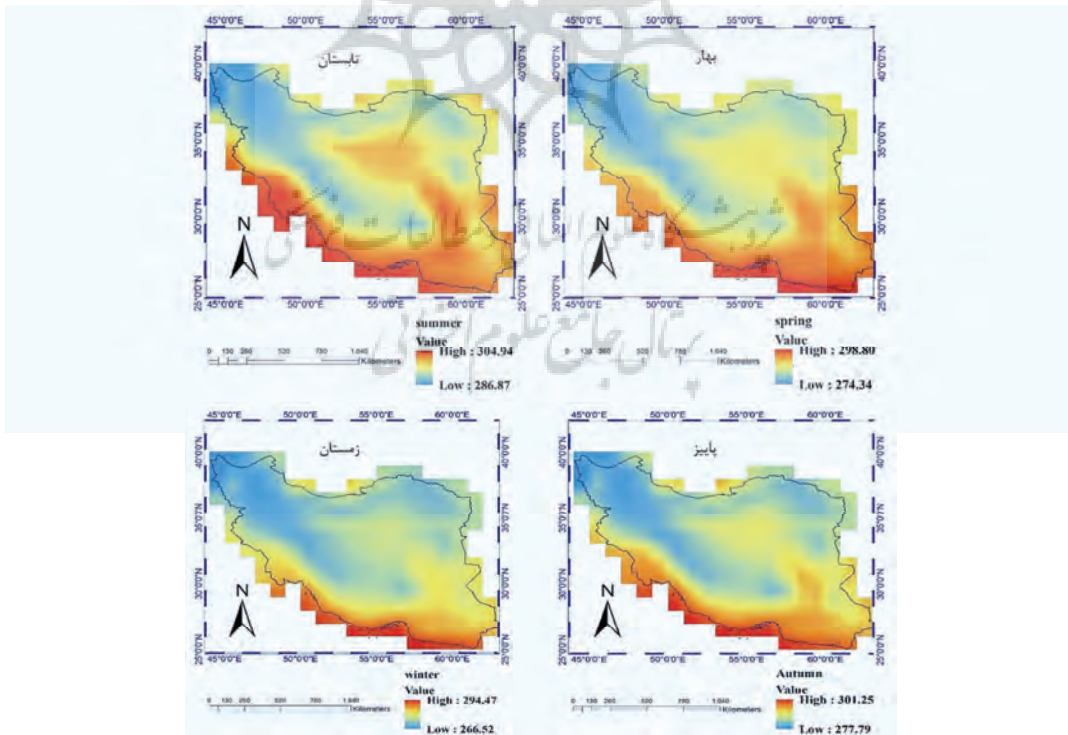


ادامه شکل ۲

### ۳-۳- بررسی توزیع مکانی میانگین فصلی دمای شبانه در ایران

خراسان شمالی در هر چهار فصل است. سواحل جنوبی و شهرهای ساحلی جنوب از استان خوزستان تا استان سیستان و بلوچستان و همچنین دشت کویر و کویر لوت، در تمام فصل‌ها، بیشینه دمای شبانه را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).

در طول دوره مطالعاتی براساس نقشه‌های توزیع میانگین دمای شبانه فصلی، کمینه دمای شبانه منطبق بر شمال غرب، رشته کوه‌های البرز، زاگرس و نواحی



شکل ۳. میانگین توزیع فصلی دمای شبانه در ایران (۲۰۱۶-۲۰۰۳)

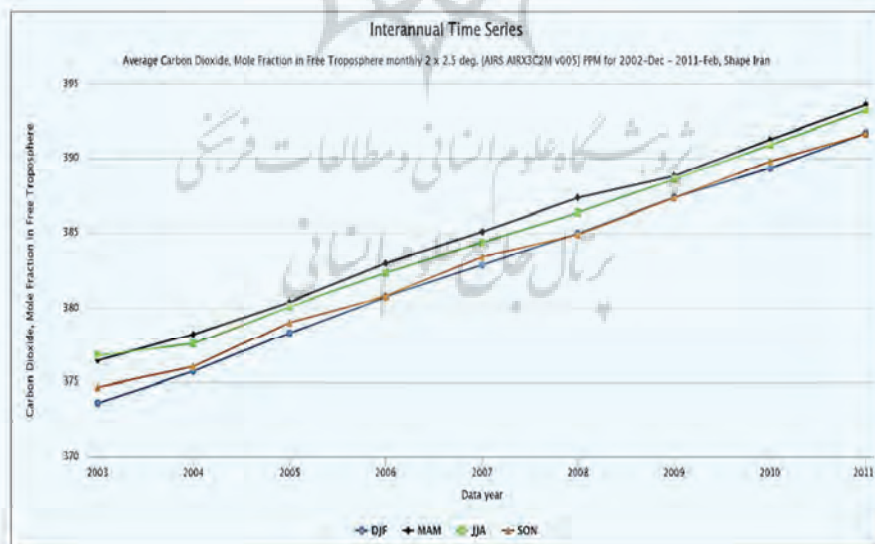
نشریه سنجش از دور و GIS ایران

سال ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

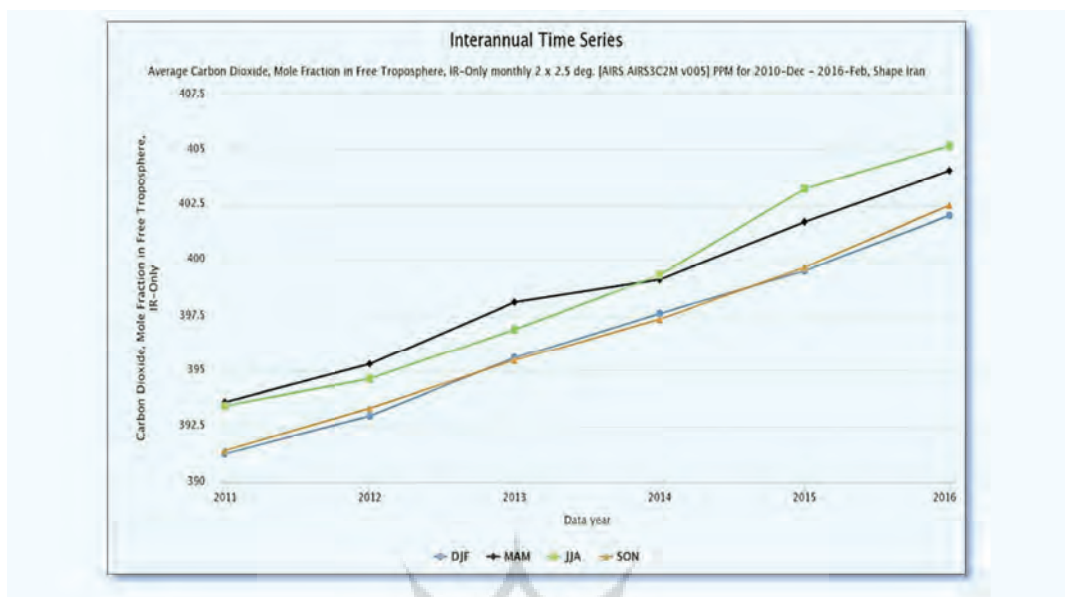
### ۳-۴- روند تغییرات میانگین فصلی و ماهانه CO<sub>2</sub> در ایران (۲۰۱۶-۲۰۰۳)

در نمودارهای سری زمانی فصلی، فصل‌های هواشناسی براساس دمای مشابه، با عناوین (DJF: ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه)، (MAM: ماه‌های مارس، آوریل و مه)، (JJA: ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت) و (SON: ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر) معین شده است. مطابق با نمودار سری زمانی، سیر و روند میانگین فصلی، میزان CO<sub>2</sub> در هر چهار فصل در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ کاملاً افزایشی بوده است (شکل ۴). اندکی کاهش در روند صعودی دی‌اکسید کربن مابین سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در فصل بهار وجود داشته که چندان پایدار نبوده و پس از آن سیر صعودی خود را طی کرده است. البته بیشترین افزایش در میانگین فصلی CO<sub>2</sub> در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ متعلق به فصل بهار بوده است. مطابق با شکل ۵، روند کلی میانگین فصلی CO<sub>2</sub> در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ صعودی بوده است. از سال ۲۰۱۴ به بعد، بیشترین افزایش در میانگین فصلی CO<sub>2</sub>

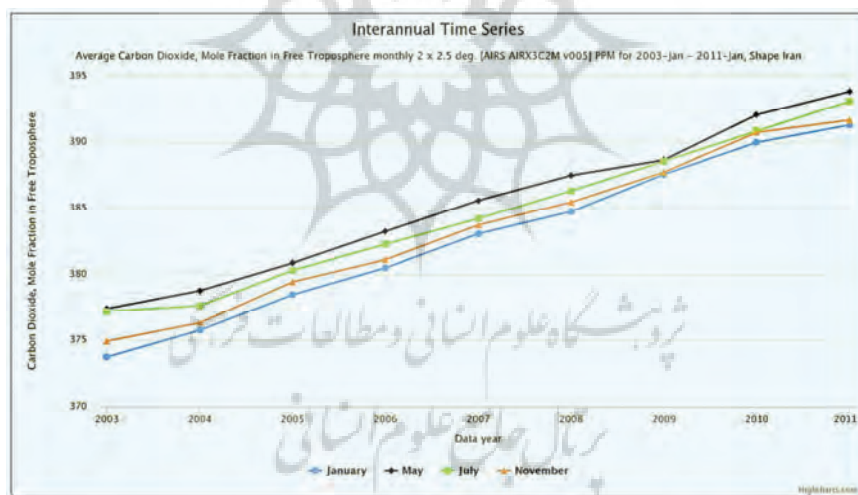
در دوره مطالعاتی این پژوهش (۲۰۱۶-۲۰۰۳) در فصل تابستان رخ داده است. بررسی وضعیت ماهانه تولید CO<sub>2</sub> نشان داد، در نمودار سری زمانی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱، ماه‌های مورد مطالعه روند صعودی و نزدیک به هم را طی کرده است. در ماه مه، میزان CO<sub>2</sub> بیشتر از بقیه ماه‌ها بوده است. در این دوره در سال ۲۰۰۹ مقادیر CO<sub>2</sub> در تمامی ماه‌ها نزدیک به هم بود و دنباله‌های سری زمانی در این سال انطباق زیادی با هم داشتند (شکل ۶). مطابق با شکل ۷، در دوره مطالعاتی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶، همچنان سری زمانی و مقادیر دی‌اکسید کربن در ماه مه بالاتر و بیشتر از بقیه ماه‌ها بوده است. میزان CO<sub>2</sub> در ماه نوامبر و ژانویه، روند بسیار نزدیک و مشابهی را طی کرده است. دنباله سری زمانی ماه ژوئیه ضمن حفظ روند صعودی از ابتدای دوره، در سال ۲۰۱۴ افزایش ناگهانی را نشان می‌دهد. از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ میزان CO<sub>2</sub> کمتر از ۳۹۸ ppm بوده است. در انتهای دوره مطالعاتی (۲۰۱۶) مقدار CO<sub>2</sub> به مقدار ۴۰۵ ppm رسیده است. (شکل ۶ و ۷)



شکل ۴. سری زمانی مقادیر دی‌اکسید کربن در فصل‌های هواشناسی (DJF: ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه)، (MAM: ماه‌های مارس، آوریل و مه)، (JJA: ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت) و (SON: ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر) (۲۰۱۱-۲۰۰۳)



شکل ۵. سری زمانی مقادیر دی‌اکسید کربن در فصل‌های هواشناسی (DJF: ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه)، (MAM: ماه‌های مارس، آوریل و مه)، (JJA: ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت) و (SON: ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر) (۲۰۱۶-۲۰۱۱)



شکل ۶. سری زمانی مقادیر میانگین ماهانه دی‌اکسید کربن (ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر) (۲۰۱۱-۲۰۰۳)

### ۳-۵- روند تغییرات میانگین فصلی و ماهانه دمای شبانه در ایران (۲۰۱۶-۲۰۰۳)

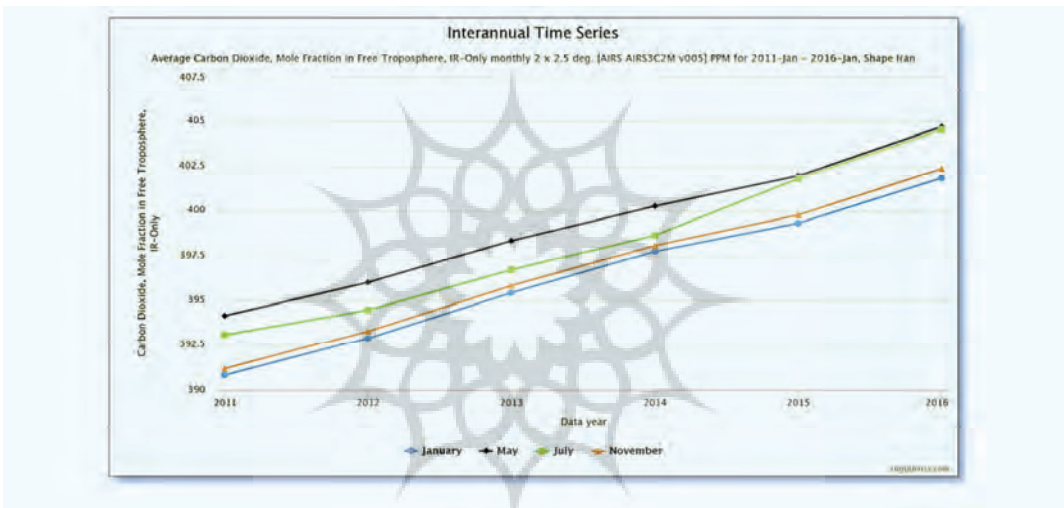
سری‌های زمانی تغییرات میانگین دمای شبانه در دوره مطالعاتی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۳ نشان داد بیشترین نوسانات دمای شبانه مربوط به فصل زمستان و کمترین نوسانات که تاحدودی روند یکنواختی در آن مشاهده

شده متعلق به فصل تابستان بوده است (شکل ۸). در نمودار مربوط به میانگین ماهانه دمای شبانه (شکل ۹)، سری زمانی ماه ژوئیه، با کمترین نوسانات، روندی یکنواخت‌تر از سایر ماه‌ها طی سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. این ثبات دمایی و یکنواختی آن در ماه ژوئیه که ماه گرم تابستان است، به‌علت غلبه سیستم

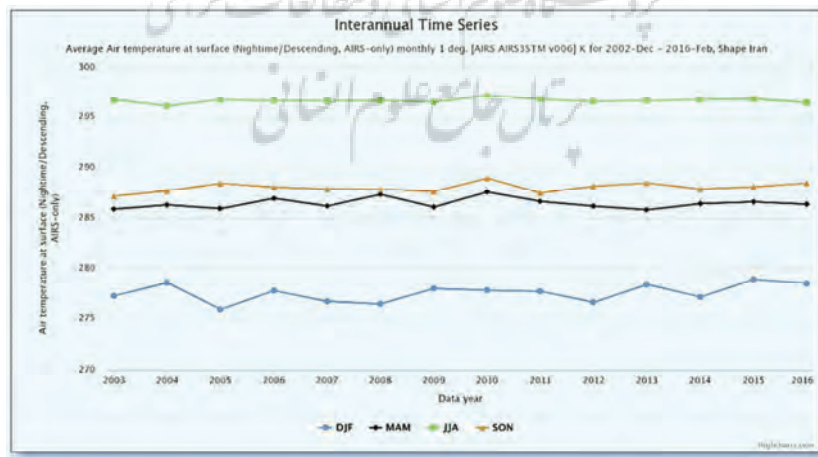
۳-۶- نتایج آزمون‌های آماری بررسی روند دمای شبانه و دی‌اکسید کربن و ارتباط متغیرها

نتایج حاصل از محاسبه مقدار Z در آزمون من-کندال به منظور بررسی معناداری روند و نوع آن در سری‌های زمانی بیشینه دمای شبانه و بیشینه CO<sub>2</sub> نشان داد که در دوره و ماه‌های مورد مطالعه، با توجه به مقدار مثبت Z، روند دمای شبانه در ماه‌های مورد مطالعه از نوع صعودی بوده، اما با در نظر داشتن مقدار p-value، تنها روند موجود در دمای شبانه ماه ژوئیه معنادار بوده است.

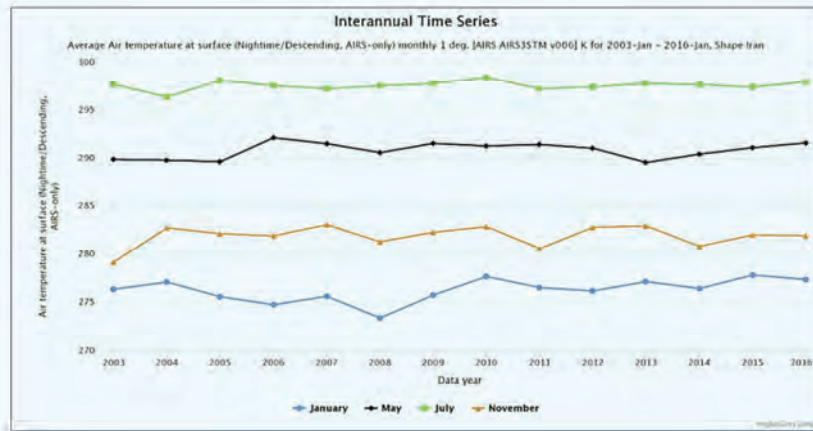
پرفشار جنب حاره‌ای بر فراز ایران و پایداری حرارتی جو ایران است. پس از آن ماه مه، نوسانات کمتری را در دمای شبانه در بین ماه‌های منتخب به خود اختصاص داده است. اگرچه پس از سال ۲۰۰۵، روند افزایشی در دمای شبانه این ماه مشاهده می‌شود. ماه‌های نوامبر و ژانویه بیشترین نوسانات دمایی را به خود اختصاص دادند. به عبارتی ماه‌های فصل سرد نوسانات دمای بیشتری داشتند که حاصل ورود سامانه‌های بارشی و توده هوای مختلف به کشور است.



شکل ۷. سری زمانی مقادیر میانگین ماهانه دی‌اکسید کربن (ژانویه، مه، ژوئیه، نوامبر) (۲۰۱۱-۲۰۱۶)



شکل ۸. سری زمانی میانگین فصلی دمای هوای شبانه \_ درجه کلوین (۲۰۰۳-۲۰۱۶)



شکل ۹. سری زمانی میانگین ماهانه دمای هوای شبانه \_ درجهٔ کلین (ژانویه، مه، ژوئیه، نوامبر) (۲۰۱۶-۲۰۰۳)

ماهانه دی‌اکسید کربن وجود داشته است (جدول ۳). هدف از این پژوهش بررسی تأثیرپذیری دمای شبانه هم‌زمان از تغییرات گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن بود. از این‌رو با در نظر گرفتن دی‌اکسید کربن به‌عنوان متغیر مستقل و دمای شبانه به‌عنوان متغیر وابسته، مدل رگرسیون غیرخطی بین این دو متغیر اجرا شد. نتایج مدل نشان داد در بین ماه‌های مورد مطالعه، با ضریب تعیین ۰/۴۴، بیشینه دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را بر بیشینه دمای شبانه در ماه ژوئیه داشته است (جدول ۴).

در مورد روند CO<sub>2</sub> آمارهٔ کندال حاکی از روند صعودی در ماه‌های مورد مطالعه بوده است. مقدار p-value نشان‌دهندهٔ معنادار بودن روند صعودی CO<sub>2</sub> در ماه‌های مورد مطالعه در دورهٔ مطالعاتی است (جدول ۲). نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون بین بیشینهٔ ماهانهٔ دمای شبانه و مقادیر بیشینهٔ ماهانهٔ دی‌اکسید کربن حاصل از تصاویر ماهواره‌ای حاکی از این بود که در میان ماه‌های مورد مطالعه، در ماه ژوئیه همبستگی بالایی (۰/۶۶) بین بیشینهٔ ماهانهٔ دمای شبانه و بیشینهٔ

جدول ۲. مقادیر آمارهٔ Z و p-value در آزمون من-کندال

نوع روند- معناداری (سطح ۵٪)	آمارهٔ من- کندال (Z)	
صعودی- معنادار	۲/۲۹	بیشینهٔ دمای شبانه _ ژوئیه
معنادار نیست	۱/۱۸	بیشینهٔ دمای شبانه _ ژانویه
معنادار نیست	۱/۴۲	بیشینهٔ دمای شبانه _ مه
معنادار نیست	۰/۰۴۳	بیشینهٔ دمای شبانه _ نوامبر
صعودی- معنادار	۴/۷۲	بیشینهٔ CO <sub>2</sub> _ ژوئیه
صعودی- معنادار	۵/۱	بیشینهٔ CO <sub>2</sub> _ ژانویه
صعودی- معنادار	۴/۷۶	بیشینهٔ CO <sub>2</sub> _ مه
صعودی- معنادار	۴/۹۲	بیشینهٔ CO <sub>2</sub> _ نوامبر

جدول ۳. نتایج آزمون همبستگی پیرسون متغیرهای بیشینهٔ دمای شبانه و بیشینهٔ دی‌اکسید کربن

ماه‌های مورد مطالعه	همبستگی	p-value
ژوئیه	۰/۶۶	۰/۰۱
ژانویه	۰/۳۵	۰/۱۹
مه	۰/۴	۰/۱۱
نوامبر	۰/۱۹	۰/۵۱

جدول ۴. نتایج مدل رگرسیون

متغیر وابسته	متغیر مستقل	Sig	R Square	ماه‌های مورد مطالعه
بیشینه دمای شبانه	بیشینه CO <sub>2</sub>	۰/۰۰۹	۰/۴۴۶	ژوئیه
بیشینه دمای شبانه	بیشینه CO <sub>2</sub>	۰/۲	۰/۱۲	ژانویه
بیشینه دمای شبانه	بیشینه CO <sub>2</sub>	۰/۱۱	۰/۱۹	مه
بیشینه دمای شبانه	بیشینه CO <sub>2</sub>	۰/۴۹	۰/۰۳	نوامبر

#### ۴- نتیجه‌گیری

تا ۲۰۱۷، افزایش چشمگیر دمای سطحی شبانه نسبت به دمای سطحی روزانه تأیید شد (Luintel et al., 2019). نتایج حاصل از بررسی دمای شبانه سطحی در آفریقا در دوره مطالعاتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس، افزایش دمای شبانه را در اغلب نواحی آفریقا تأیید می‌کند (Me-Ead & McNeil., 2019). در ماه ژوئیه دماهای شبانه کمینه در اواخر سال‌های مورد مطالعه در ناحیه زاگرس تا ۲۰۱۵ کاهش پیدا کرده است و در بقیه نواحی نوسانات وجود دارد، اما قابل توجه نیست. از ویژگی‌های تغییرات میانگین دمای شبانه در ماه نوامبر، بروز دماهای کمینه در زاگرس در اواخر دوره است. در ماه مه در پهنه ایران، تغییرات شدید در طول دوره مشاهده نشده و به‌طور کلی در ماه‌های مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های تهیه‌شده، تغییرات به‌صورت نوسانی بوده است، اما پهنه‌های دارای افزایش دمای شبانه بیشتر بوده است. براساس نقشه‌های دمای شبانه فصلی، کمینه دمای شبانه در شمال غرب، رشته کوه‌های البرز، زاگرس و نواحی خراسان شمالی در هر چهار فصل قابل مشاهده بود. سواحل جنوبی و شهرهای ساحلی جنوب از استان خوزستان تا استان سیستان و بلوچستان و همچنین دشت کویر و کویر لوت، در تمام فصل‌ها، بیشینه دمای شبانه را به خود اختصاص داده است. نمودارهای سری زمانی تغییرات میانگین دمای شبانه در دوره مطالعاتی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۳ نشان داد بیشترین نوسانات دمای شبانه مربوط به فصل زمستان و کمترین نوسانات که تاحدودی روند یکنواختی در آن مشاهده شده، متعلق به فصل تابستان بوده است. با توجه به نمودار سری زمانی ماهانه، از بین ماه‌های مورد مطالعه ماه

بررسی آماری توزیع میانگین دمای شبانه در ایران نشان داد میانگین انتهای دوره مطالعاتی (سال ۲۰۱۶) از میانگین کل دوره مطالعاتی به مقدار ۰/۴۲ درجه کلونین، بیشتر بوده است. بیشینه دمای هوای شبانه در سال ۲۰۱۶، ۱/۶۵ درجه کلونین بیش از بیشینه دمای شبانه سال ۲۰۰۳ بود. با توجه به نقشه پهنه‌بندی‌شده میانگین دمای شبانه ماه‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، توزیع مکانی دمای شبانه در ایران حاکی از افزایش دمای شبانه ماه ژانویه در اواخر دوره مطالعاتی در برخی از نواحی مرکزی شامل بخش‌هایی از استان‌های سمنان، یزد و اصفهان و بخش‌هایی از خراسان جنوبی و قسمت‌هایی در جنوب شرق ایران بود. روند افزایشی دما در ماه ژانویه به‌عنوان نماینده‌ای از فصل زمستان در مناطق مذکور با نتایج پژوهش قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. ایشان در بررسی نقش دی‌اکسید کربن در نوسانات دمای حداکثر فصلی، از ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ که بخشی از دوره مطالعاتی پژوهش حاضر را دربرمی‌گیرد، نشان دادند که دمای مناطق مرکزی و جنوب شرق روند افزایشی در زمستان داشته است. حاتمی‌زرنه و همکاران (۱۳۹۸) در بخشی از پژوهش خود در بررسی ارتباط فراوانی وقوع و شدت امواج گرم با داده‌های گازهای گلخانه‌ای اصلی از جمله SF<sub>6</sub>، N<sub>2</sub>O، CH<sub>4</sub> و CO<sub>2</sub>، در بازه زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴، فقط ارتباط معنادار گاز دی‌اکسید کربن با رخداد شدیدترین امواج گرمایی در ماه ژوئن را تأیید کردند. در بررسی دمای شبانه و روزانه سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در نپال از ۲۰۰۰

به‌عنوان متغیر وابسته، مدل رگرسیون غیرخطی بین این دو متغیر اجرا شد. نتایج مدل نشان داد در بین ماه‌های مورد مطالعه، با ضریب تعیین ۰/۴۴، بیشینه دی‌اکسید کربن بیشترین تأثیر را بر بیشینه دمای شبانه در ماه ژوئیه داشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، احتمال افزایش دماهای شبانه به‌علت افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در نواحی مناطق مختلف جهان، می‌تواند موضوع بررسی پژوهشگران قرار بگیرد. همچنین لازم است اشاره شود که در بستر روندهای طولانی‌مدت، گاهی تغییرات دوره‌ای رخ می‌دهد که دوام آن بیش از یک سال است. اگر پژوهش دیگری در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر انجام پذیرد و سری زمانی طولانی‌تری (چندین دهه) مطالعه شود، چه‌بسا روند غالب بر ایران، شرایط دیگری را نشان دهد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی جامع و کامل برای شناسایی منابع احتمالی انتشار CO<sub>2</sub> و موقعیت‌های جغرافیایی وابسته به آن صورت گیرد و دمای مناطق مذکور به‌صورت روزانه و شبانه با مطالعه سری‌های زمانی طولانی‌مدت بررسی شود. در این راستا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که محصولات دما را عرضه می‌کنند و مطالعات را در سطح مکانی گسترده و پیوسته تسهیل می‌سازند، توصیه می‌شود.

#### منابع

- Acker, J., Soebiyanto, R., Kiang, R., & Kempler, S., 2014, **Use of the NASA Giovanni data system for geospatial public health research: example of weather-influenza connection**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 3(4), PP. 1372-1386. DOI:10.3390/ijgi3041372
- Agbo, E. P., & Ekpo, C. M., 2021, **Trend analysis of the variations of ambient temperature using Mann-Kendall test and Sen's estimate in Calabar, southern Nigeria**, Journal of Physics: Conference Series, 1734(1). DOI:10.1088/1742-6596/1734/1/012016

ژوئیه، کمترین نوسانات، و ماه‌های نوامبر و ژانویه بیشترین نوسانات دمایی را به خود اختصاص دادند. این ثبات دمایی و یکنواختی آن در ماه ژوئیه که ماه گرم تابستان است، به‌علت غلبه سیستم پرفشار جنب حراره‌ای بر فراز ایران و پایداری حرارتی جو ایران است. ماه‌های فصل سرد نوسانات دمایی بیشتری داشتند که حاصل ورود سامانه‌های بارشی و توده هواهای مختلف به کشور است. مطابق با نمودار سری زمانی، سیر و روند میانگین فصلی، میزان CO<sub>2</sub> در هر چهار فصل در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ کاملاً افزایشی بوده است. بیشترین افزایش در میانگین فصلی CO<sub>2</sub> در دوره مطالعاتی این پژوهش در فصل تابستان رخ داده است. دنباله سری زمانی ماه ژوئیه ضمن حفظ روند صعودی از ابتدای دوره، در سال ۲۰۱۴ افزایش ناگهانی را نشان می‌دهد. از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ میزان CO<sub>2</sub> کمتر از ۳۹۸ ppm بوده است. در انتهای دوره مطالعاتی (۲۰۱۶) مقدار CO<sub>2</sub> به مقدار ۴۰۵ ppm رسیده است. نتایج حاصل از محاسبه مقدار Z در آزمون من-کندال به‌منظور بررسی معناداری روند و نوع آن در سری‌های زمانی بیشینه دمای شبانه و بیشینه CO<sub>2</sub> نشان داد که در دوره و ماه‌های مورد مطالعه با توجه به مقدار مثبت Z، روند دمای شبانه در ماه‌های مورد مطالعه از نوع صعودی بوده، اما فقط روند موجود در دمای شبانه ماه ژوئیه معنادار بوده است. در مورد روند CO<sub>2</sub> آماره کندال حاکی از روند صعودی در ماه‌های مورد مطالعه بوده است. نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای بیشینه ماهانه دمای شبانه و بیشینه ماهانه دی‌اکسید کربن حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد در میان ماه‌های مورد مطالعه، در ماه ژوئیه همبستگی بالایی (۰/۶۶) بین متغیرهای مورد مطالعه وجود داشته است (جدول ۲). هدف از این پژوهش بررسی تأثیرپذیری دمای شبانه هم‌زمان از تغییرات گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن بود. از این رو با در نظر گرفتن دی‌اکسید کربن به‌عنوان متغیر مستقل و دمای شبانه

- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., Ahmadi, H., 2018, **Monitoring the nighttime temperature of the earth's surface in the area of Iran based on the output of the MODIS sensor**, Geographical Research Quarterly, 33(1), P.P. 174-190. DOI: 10.29252/geores.33.1.174
- Alemu, Z. A., & Dioha, M. O., 2020, **Climate change and trend analysis of temperature: the case of Addis Ababa, Ethiopia**, Environmental Systems Research, 9(1), PP.1-15. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00190-5>
- Alijani, B., Saligheh, M., Akbari, M., Shafaghati, M., 2015, **Climate change, consequences and solutions to deal with it**, First International Geographical Conference
- Ansari, M., Noori, GH., Fotoohi, S., 2017, **Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan)**, Journal of Watershed Management Research. 7(14), PP.152-158. DOI: 10.29252/jwmr.7.14.158
- Atehmengo, N., Idika, I.K., Shehu, A., 2014, **Climate change/global warming and its impacts on parasitology/entomology**. The Open Parasitology Journal, 5, PP. 1-11. DOI: 10.2174/1874421401405010001
- Ataee, H & Fnaee, R., 2013, Investigating the trend of time-spatial changes in the night temperature of Isfahan province, Geographical Research, 28(4), PP. 167-182.
- Ataee, H & Yoosefifar, B., 2015, **Investigating the trend of night temperature changes in Kerman province and its influence on solar radiation intensity (TSI) during the last half century**, Geography and Development, 13(40), PP. 195-212. DOI: 10.22111/GDIJ.2015.2106
- Ayompe, L. M., Davis, S. J., & Egoh, B. N., 2021, **Trends and drivers of African fossil fuel CO<sub>2</sub> emissions 1990–2017**, Environmental Research Letters, 15(12), 124039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc64f>
- Barani, N. and Karami, A., 2020, **Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran**, Environmental Sciences, 17(4), PP. 75-90. DOI: 10.29252/ENVS.17.4.75
- Broquet, G., Bréon, F. M., Renault, E., Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., Chevallier, F., Wu, L., Ciais, P., 2018, **The potential of satellite spectro-imagery for monitoring CO<sub>2</sub> emissions from large cities**, Atmospheric Measurement Techniques, 11(2), PP. 681-708. <https://doi.org/10.5194/amt-11-681-2018>
- Chen, C., Ma, P., Chen, L., Zhang, Y., Zhou, C., Zhao, Sh., Zhang, L., Wang, Zh., 2022, **Nitrous Oxide Profile Retrievals from Atmospheric Infrared Sounder and Validation**, Atmosphere, 13(4), 619. <https://doi.org/10.3390/atmos13040619>
- Davis, W. J., 2017, **The relationship between atmospheric carbon dioxide concentration and global temperature for the last 425 million years**. Climate, 5(4),76. <https://doi.org/10.3390/cli5040076>
- Gadedjisso-Tossou, A., Adjegan, K. I., & Kablan, A. K. M., 2021, **Rainfall and temperature trend analysis by Mann–Kendall test and significance for rainfed cereal yields in Northern Togo**, Sci, 3(1), 17. <https://doi.org/10.3390/sci3010017>
- Gassab Feiz, M., Eslami, H., 2017, **Evaluating the trend of rainfall changes with Mann-Kendall and linear regression methods in Khuzestan province**, Specialized scientific quarterly of water engineering, 5(2), PP. 113-121.
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & salehian, M., 2018, **The Analysis of CO<sub>2</sub> role in oscillations of Seasonal maximum temperature in Iran**, Journal of Geography and Planning, 22(63), PP. 203-223.
- Hatami Zarneh, D., Hejazizadeh, Z., Naserzadeh, M.H., 2019, **Analysis of heat waves temporal fluctuation in North - West region of Iran and their relationship with greenhouse gases and global land-ocean temperature anomalies**, Journal of Applied Research in Geographical Sciences,



- 19 (52), PP. 35-56.  
DOI: 10.29252/jgs.19.52.35
- Kefayat Motlagh, O.R., Khosravi, M., Masoudian, S.A, 2019, **Analysis of the long-term average terrestrial longwave radiation of Iran with remote sensing data**, *Sepehr scientific-research quarterly magazine of geographical information*, 28(109), P.P, 199-209.  
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.35647>
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., & Adormaa, B. B., 2017, **Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming**. *Journal of Scientific research and reports*, 17(6), 1-9.  
DOI: 10.9734/JSRR/2017/39630
- Lee, H., & Cheong, H. W., 2018, **Effects of Carbon Dioxide and Clouds on Temperature**. *Procedia computer science*, 139, PP. 95-103.
- Lee, S., Kim, D., Im, J., Lee, M. I., & Park, Y. G., 2017, **CO2 concentration and its spatiotemporal variation in the troposphere using multi-sensor satellite data, carbon tracker, and aircraft observations**, *GIScience & Remote Sensing*, 54(4), PP. 592-613.  
<https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1317120>
- Lenssen, N. J., Schmidt, G. A., Hansen, J. E., Menne, M. J., Persin, A., Ruedy, R., & Zyss, D., 2019, **Improvements in the GISTEMP uncertainty model**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12), PP. 6307-6326. <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>
- Li, Z., Wang, K., Ma, H., & Wu, Y., 2018, **An adjusted inverse distance weighted spatial interpolation method**. In 2018 3rd International Conference on Communications.  
DOI: 10.2991/cimns-18.2018.29
- Luintel, N., MA, W., MA, Y., WANG, B., & SUBBA, S., 2019, **Spatial and temporal variation of daytime and nighttime MODIS land surface temperature across Nepal**, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 12(5), PP. 305-312.  
<https://doi.org/10.1080/16742834.2019.1625701>
- Manabe, S., 2019, **Role of greenhouse gas in climate change**. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 71(1), 1620078. <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>
- Mansouri Daneshvar, M. R., Rabbani, G., & Shirvani, S., 2019, **Assessment of urban sprawl effects on regional climate change using a hybrid model of factor analysis and analytical network process in the Mashhad city, Iran**, *Environmental Systems Research*, 8(1), PP.1-12.  
<https://doi.org/10.1186/s40068-019-0152-2>
- Masoudian, S.A, 2012, **Iran's Weather**. First Edition, Sharia Tus, PP.1-288.
- Me-ead, C., McNeil, R., 2019, **Pattern and trend of night land surface temperature in Africa**, *Scientific Reports*, 9(1), PP.1-8.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-54703-z>
- Mishra, N., Khare, D., Shukla, R., & Kumar, K., 2014, **Trend analysis of air temperature time series by Mann Kendall test-a case study of upper Ganga canal command (1901-2002)**, *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(28), 4066. DOI: 10.9734/BJAST/2014/8650
- Mousavi, S.M., Falahatkar, S., Farajzadeh Asl, M., 2018, **Concentration in Changes of CO2 and CH4 Greenhouse Gases Relation to Environmental Variable in Iran**, *Iranian Journal of Applied Ecology*; 6 (4), PP.65-79.  
DOI: 10.29252/ijae.6.4.65
- Olivier, J. G., & Peters, J. A., 2017, **Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions**, report. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL publication number: 4331.
- Rajab, J. M., Ahmed, H. S., & Mossa, H. A., 2012, **Analysis of Troposphere Carbon Dioxide in IRAQ from Atmosphere Infrared Sounder (AIRS) data: 2010-2011**. *Journal of University of Babylon*, 22(1), PP. 524-531.
- Sefakor, M. D., Zougmore, R. B., Akponikpè, P. B., Koomson, E., Savadogo, P., & Adiku, S. G., 2018, **Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Different Land-Use**

- Systems: A Case Study of CO<sub>2</sub> in the Southern Zone of Ghana.** Applied and Environmental Soil Science, PP. 1-12.  
<https://doi.org/10.1155/2018/1057242>
- Susskind, J., Schmidt, G. A., Lee, J. N., & Iredell, L., 2019, **Recent global warming as confirmed by AIRS**, *Environmental Research Letters*, 14(4), 044030.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafd4e>
- Warner, J. X., Wei, Z., Strow, L. L., Dickerson, R. R., & Nowak, J. B. (2016). **The global tropospheric ammonia distribution as seen in the 13-year AIRS measurement record**, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(8), PP. 5467-5479. DOI:10.5194/acp-16-5467-2016
- Zarco-Perello, S., & Simões, N., 2017, **Ordinary kriging vs inverse distance weighting: spatial interpolation of the sessile community of Madagascar reef, Gulf of Mexico**, *PeerJ*, 5, e4078.  
<https://doi.org/10.7717/peerj.4078>.

