

تحلیل و پراکنش سالانه و فصلی دمای سطح زمین در طبقات ارتفاعی ایران با استفاده از داده‌های MODIS

فاطمه شکبیا- دانشجو کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد،
یزد، ایران، رایانامه: F.shakiba@stu.yazd.ac.ir

ایمان روستا* - نویسنده مسئول، دانشیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد،
یزد، ایران. رایانامه: irousta@yazd.ac.ir

احمد مزیدی- دانشیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه:
mazidi@yazd.ac.ir

چکیده

پس از انقلاب صنعتی، به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت و به تبع آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین نیاز و رفاه جمعیت کره زمین، تغییرات قابل توجهی در اقلیم کره زمین به وجود آمده است که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش سطح آب و دمای سطح اقیانوس‌ها می‌باشد. از آنجایی که این تغییرات می‌توانند تهدید جدی برای پایداری محیط‌زیست به شمار روند، لذا پژوهش حاضر به بررسی سری زمانی (۲۰۰۱-۲۰۲۲) دمای روز سطح زمین (LST Day) در طبقات ارتفاعی ایران (۴۰-۵۶۰۰ متر) با استفاده از محصولات ۸ روزه سنجنده MODIS. MOD11A2.061 پرداخته است. نتایج نشان داد طبقه ارتفاعی ۲ (۸۰۰-۴۰۰ متر) با میانگین دمای ۳۸/۴ درجه سلسیوس به عنوان گرم‌ترین و طبقه ۱۰ (۵۶۰۰-۳۶۰۰ متر) با میانگین دمای ۹/۸ درجه سلسیوس به عنوان سردترین طبقه ارتفاعی طی دوره مورد مطالعه شناخته شده است. همچنین کویر لوت مرکزی، که کمترین ارتفاع را به خود اختصاص داده است، در همه فصول به عنوان گرم‌ترین منطقه کشور شناخته شده است. بالاترین میانگین دما در سال ۲۰۲۱ با دمای ۲۸ درجه سلسیوس و کمترین میانگین دما در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با میانگین دمای ۲۵ درجه سلسیوس ثبت شد. روند کلی میانگین دما، افزایش دما را در مقیاس سالانه و فصلی به استثنای فصل پاییز نشان می‌دهد. همچنین در همه طبقات افزایش حداقل دما و کاهش تنوع فضایی دما در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که عوامل طبیعی و انسانی می‌توانند نقش داشته باشند.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، طبقات ارتفاعی، مودیس، ناهنجاری دمایی

* نویسنده مسئول: ایمان روستا

Analysis and distribution of annual and seasonal land surface temperature in Iran's elevation floors using MODIS data

Abstract

Introduction

Climate change is the term used to describe the significant and ongoing variations occurring in the Earth's climate, such as changes in temperature, precipitation, and wind patterns. These changes have been increasingly observed in recent decades, and they are mainly caused by human activities, particularly the emission of greenhouse gases that trap heat in the atmosphere, leading to global warming. An increase in the Earth's surface temperature is a crucial factor in climate change because it affects the exchange of energy between the Earth's surface and the atmosphere, and this, in turn, impacts weather patterns and systems. To monitor and study temperature changes, scientists often use thermal infrared remote sensing data, which enables the remote measurement of the Earth's surface temperature and provides valuable information for understanding interactions between the hydrosphere, biosphere, and atmosphere. The consequences of climate change are far-reaching and pose significant challenges to human security worldwide. Changes in temperature and rainfall patterns can lead to crop loss, threaten food security, exacerbate water scarcity, and contribute to the frequency and severity of natural disasters. To mitigate the harmful effects of climate change, it is necessary to take measures to reduce greenhouse gas emissions and adapt to climate change, such as adopting new agricultural technologies and practices, improving water management, and so on.

Materials and methods

To begin with, the elevation floors that were studied were extracted from the digital model map of Iran. In the next step, the seasonal and annual time series of land surface temperature day were analyzed for the entire study area, as well as for each elevation floors individually. These analyses were conducted using MODIS images, and the statistical period of 2001-2022 was taken into account. In order to analyze temperature changes in each altitude class and to achieve more accurate and reliable results, the trends of parameters such as Min, Max, Mean, STD, Variety, Majority and Minority were calculated. The 8-day MODIS.MOD11A2.061 images are the main source of the present study and were obtained for free from the LP DAAC system (<https://lpdaac.usgs.gov>) and they include a total of 966 images, each year having 46 images. All calculations and preparation of maps have been done through Arc GIS, GIS Pro Arc and Excel software.

Results and Discussion

Studies on the climate of Iran have revealed that the highest average temperature is during spring and summer. These studies, which were conducted based on statistical surveys of temperature on an annual and seasonal scale, have shown an increasing trend of temperature during these periods. Conversely, the temperature has been observed to decrease in the autumn season. Moreover, the minimum temperature has increased and the difference between the minimum and maximum temperature has decreased, leading to a reduction in spatial temperature variation in the area under study. The southwestern regions of Iran, including the Khuzestan province, and the central Lut desert, are the hottest parts of the country during the summer season. During other months of the year, the hottest areas are found on the Lut desert, coasts of the Oman Sea, the provinces of Sistan and Baluchistan and Hormozgan, which have the lowest altitude above sea level. On the other hand, higher altitudes such as Damavand and Zagros mountains have been observed to have the lowest average temperature. Elevation floor 2 has an annual average temperature of 38.4 degrees Celsius, while elevation floor 10 has the lowest annual average temperature of 9.8 degrees Celsius. In general, areas with higher altitudes have lower temperatures than those with lower altitudes in all seasons of the year.

Conclusion

The highest annual average was recorded in 2021 with a temperature of 28 degrees Celsius. While the years 2007, 2009, 2011 and 2012 have the lowest average temperature with a temperature of 25 degrees Celsius. The 2nd floor with a height of 400-800 meters includes the highest temperature. This class is mostly focused on the catchment area of the Central Plateau, which, including the vast deserts of Dasht Kavir and Kavir Lut, has a hot and dry climate with the highest average temperature in spring and summer. In parts of the first floor of Koirilu and parts of the coastal areas of the Oman Sea and the Persian Gulf, due to the role of the specific heat of water, the highest average temperature has been allocated in the autumn and winter seasons. On the other hand, the 10th floor, which includes the heights of Alborz and Zagros, has the lowest average temperature.

Keywords: Elevation Floors, Land Surface Temperature, MODIS, Temperature anomaly

دمای سطح زمین به عنوان یک متغیر بیوفیزیکی نقش مهمی در انعکاس تابش ساطع شده از سطح و تبادل انرژی بین سطح زمین و جو دارد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این پارامتر اغلب از طریق داده‌های مادون قرمز حرارتی سنسجش از دور حاصل می‌شود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۴) و در بسیاری از علوم مانند کشاورزی، هیدرولوژی، اکولوژی، اقلیم‌شناسی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد (غفاریان و همکاران، ۲۰۱۸). دما از عناصر اصلی شکل‌گیری اقلیم است و تغییرات آن نقش مهمی در دگرگونی ساختار آب و هوایی هر محل دارد. به عبارتی کنترل تبادل انرژی بین زمین و جو به تفاوت بین پوسته و دمای هوای نزدیک به سطح بستگی دارد (جین و دیکسون، ۲۰۱۰). عوامل بیوفیزیکی سطحی مانند پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک به همراه پارامترهای اقلیمی منجر به ناهنجاری زمانی- مکانی دما می‌شوند (سولنگی و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعه این ناهنجاری‌ها می‌تواند بر نظارت بر تغییرات گسل‌ها و فعالیت‌های آتشفشانی، شناسایی منابع گرمایی زمین، مطالعه روند تغییرات حرارتی و ارتباط آن‌ها با زمین‌لرزه‌ها (متار و همکاران، ۲۰۱۴)، همچنین اجرای مدل‌های پیش‌بینی در زمینه شرایط جوی، مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان در جهت تعیین گسترش آفات و بیماری‌ها (دیویسر و همکاران، ۲۰۱۰) و سایر مسائل مدیریتی بسیار مفید واقع شوند. بدان سبب نظارت طولانی مدت دما و ناهنجاری آن در مقیاس‌های مختلف زمانی- مکانی در پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده و ارائه استراتژی‌های مناسب با تغییرات آب و هوای جهانی حائز اهمیت است (ناودتس و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷). روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری دما وجود دارد که می‌توان به پایش دما از طریق ایستگاه‌های زمینی و یا سری‌های زمانی داده‌های سنسجش از دور اشاره کرد (وندی کرچوو و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های زمینی دقیق‌تر از تصاویر ماهواره‌ای هستند اما با محدودیت‌های جدی در این زمینه روبرو می‌باشند. ایستگاه‌های هواشناسی اغلب در مناطق خاصی مانند بنادر، فرودگاه‌ها، مناطق شهری، ایستگاه‌های تحقیقاتی، و مراکز پایش مستقر هستند و به ندرت در مناطق بیابانی، به ویژه در رشته‌های کوهستانی، تپه‌های ماسه‌ای و جزایر احداث شده‌اند (هرهر، ۲۰۱۹). همچنین در مناطق شهری نیز می‌توانند تحت‌تأثیر آلودگی هوا (او و کلیمن، ۲۰۰۳) و جزیره حرارتی (فوجر و همکاران، ۲۰۱۳) قرار بگیرند. لذا استفاده از داده‌های سنسجش از دوری با به کارگیری باندهای حرارتی تعبیه شده در حسگرهایشان (کاویانی و همکاران، ۱۳۹۲) به طور قابل توجهی سبب بهبود الگوهای مکانی- زمانی پایش دما و کاهش هزینه‌های دسترسی به داده‌ها می‌شود (چاکوفسکی و همکاران، ۲۰۰۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳). با پیشرفت فناوری سنسجش از دور، محصولات MODIS الزامات مطالعات در مقیاس‌های فضایی- زمانی بزرگ و متوسط را فراهم کرده است (کی و همکاران، ۱۹۹۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۶) و فرآورده‌های دمایی دو ماهواره‌های ترا و آکوآ این سنسجند از منسجم‌ترین اطلاعات در این زمینه برخوردار می‌باشند (وان، ۲۰۱۴؛ دوان و همکاران، ۲۰۱۴). از آنجایی که دما به عنوان یک پارامتر کلیدی نقش حیاتی در تعامل بین هیدروسفر، بیوسفر و اتمسفر ایفا می‌کند (کلما و همکاران، ۲۰۰۸)، بنابراین هیات بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC) توصیه می‌کند بررسی سری‌های زمانی دما بر اساس داده‌های سنسجش از دوری در مطالعات گرمایش جهانی گنجانده شود و به بهبود غلبه بر محدودیت‌های دمای ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی کمک کند (هاتون و همکاران، ۲۰۰۱). مطالعات صورت گرفته در مورد ایران (احمدی، ۱۴۰۰؛ مرادیان، ۱۳۹۵)، شبه جزیره اسپانیا (پیون و همکاران، ۲۰۱۴)، لانگتنگ (ژو و همکاران، ۲۰۱۷)، چین (لی و همکاران، ۲۰۱۸)، مناطق آلپ (بارتکویاک و همکاران، ۲۰۱۹)، خاورمیانه (روستا و همکاران، ۲۰۲۱)، افغانستان (نبی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲) و دره رودخانه یانگ‌تسه (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳) را می‌توان نمونه خوبی برای تخمین دما با استفاده از محصولات MODIS بیان کرد. دگرگونی پوشش سطح زمین تا حدودی باعث افزایش گرمای جهانی شده است (استون و همکاران، ۲۰۱۲). به طوریکه تبدیل جنگل‌ها به اراضی کشاورزی، روستاها و شهرها، تبدیل زمین‌های زراعی به سکونتگاه‌های انسانی، خشک شدن دریاچه‌ها و ... هر کدام به نوبه خود افزایش گرمایش جهانی را به دنبال دارند (ستو و همکاران، ۲۰۱۰). عوامل انسانی یکی از دلایل اصلی وجود

این رویدادها است. با افزایش جمعیت فشار به طبیعت جهت رفع نیازهای انسانی شدت یافته و سبب تخریب طبیعت و به تبع آن تغییرات آب و هوایی می‌شود (اولسون و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر اراضی پوشش گیاهی (بونوآ و همکاران، ۲۰۱۸)، ساخت سدها (قادری و همکاران، ۱۴۰۱)، افزایش فعالیت‌های صنعتی و افزایش گازهای گلخانه‌ای (ماکوفسکی و همکاران، ۲۰۰۸) هر کدام منجر به زوال، ناکارآمدی و آلودگی پتانسیل زمین و در نتیجه تخریب پایداری محیط و تغییرات اقلیمی می‌شود (اوزتورک و همکاران، ۲۰۱۳؛ گولرسوی، ۲۰۱۴). آثار مخرب افزایش شدت رویدادهای دمایی می‌تواند بر سلامتی انسان و افزایش قابل توجه مصرف انرژی (هونین و همکاران، ۲۰۰۱)، همچنین کاهش رطوبت خاک، افزایش انتشار گرد و غبار و فرسایش بادی، تاثیرگذار باشند (ابراهیمی و سلیمانی، ۲۰۲۱؛ کوک و همکاران، ۲۰۱۸)، به گونه‌ای که با افزایش دما، تبخیر و تعرق سطح زمین افزایش یافته و موجب کاهش رطوبت خاک می‌شود. در نتیجه چسبندگی بین ذرات خاک کاهش یافته است و ذرات به راحتی می‌توانند از خاک جدا شوند و علت افزایش گرد و غبار و فرسایش بادی می‌شوند (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۲۰). از اینرو پایش فضایی - زمانی دمای سطح زمین و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، به منظور درک بهتر روند تحول خشکسالی و مدیریت منابع آب، و ارائه پشتیبانی تئوری برای توسعه پایدار، از اهمیت بالایی برخوردار است.

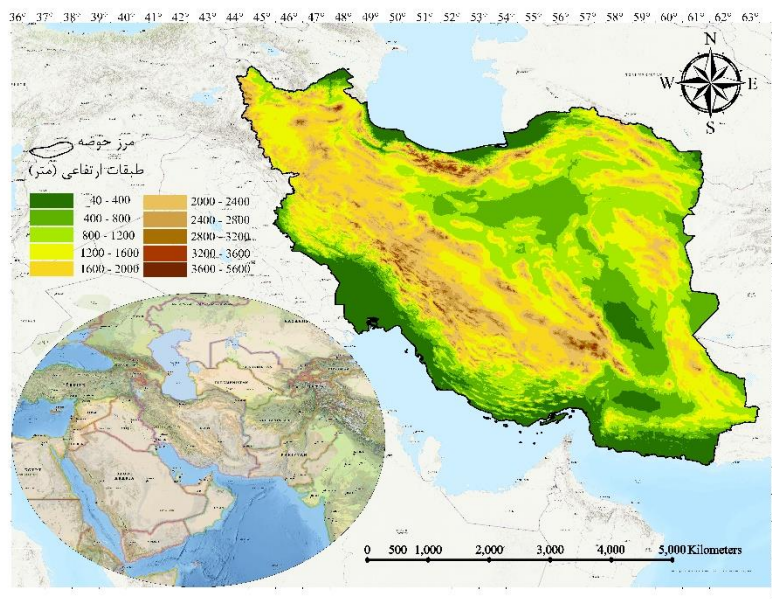
آسترینیل و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی رابطه بین دمای هوا در سطح زمین و دمای لایه‌های مختلف تروپوسفر بر روی نیمکره شمالی پرداختند. رابطه بین دمای سطح هوا و دما در هر سطح با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بیان شد. یافته‌ها نشان داد این روابط طبق قانون توبلر با افزایش ارتفاع تضعیف شد. به گونه‌ای که رابطه ارتفاع و دما در تمام فصول ضعیف تر می‌شود، اما در طول تابستان و زمستان نسبت به بهار و پاییز بسیار سریع تر می‌شود. شکپا و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی همزمان دمای روز و شب ایران به تفکیک حوضه‌های آبریز طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ پرداختند. یافته‌ها نشان داد ۱/۵ درصد مساحت ایران دارای دمای روز زیر صفر درجه سلسیوس است. ۲۱ درصد دارای دمای بین ۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس و ۳۷ درصد از مساحت منطقه دارای دمای بیش از ۴۰ درجه سلسیوس هستند. هم‌طور به افزایش قابل توجه دمای روز در طول فصل تابستان اشاره کردند. به‌طوریکه روند افزایشی دمای روز در ۱۰ حوضه‌ی آبخیز در سطح ۹۵ درصد و حوضه‌ی هله در سطح ۹۹ درصد مشاهده شده است. الی و همکاران (۲۰۲۴)، به ارزیابی تغییرات دمای سطح زمین در قرن بیست و یکم مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ پرداختند. نتایج نشان داد میانگین دمای جهانی سطح زمین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ حدود ۰/۳۸ درجه سلسیوس افزایش یافته است که عمدتاً با مناطق در عرض‌های جغرافیایی بالا منطبق است و مناطق شهری با سرعت ۱۸ درصد سریع تر از میانگین جهانی افزایش سریع دمای سطح زمین را تجربه می‌کنند.

پارامترهای دیگری از جمله توپوگرافی که شامل ارتفاع و شیب زمین می‌باشد تاثیرات قابل توجهی بر دمای سطح زمین دارد به‌طوریکه با افزایش ارتفاع دما کاهش می‌یابد (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰). از طرفی تحت مکانیسم‌هایی نظیر وارونگی دما که شامل بازخورد آلبدو برف، بازخورد ابر، بخار آب و آئروسول است، با افزایش ارتفاع دما افزایش پیدا می‌کند (پنگ و همکاران، ۲۰۲۰). تحقیقات نشان می‌دهند که رابطه بین دمای سطح زمین و ارتفاع پیچیده و تحت تأثیر عوامل متعددی مانند فرآیندهای دیاباتی، تابش خورشیدی و ویژگی‌های جغرافیایی است. مدل‌سازی و ارزیابی دقیق این رابطه می‌تواند به درک بهتر تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر محیط زیست کمک کند. از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای در جهت بررسی دما در طبقات مختلف ارتفاعی در ایران صورت نگرفته است، و با توجه به نقش مهم ارتفاع در تغییرات دما، بر این اساس مطالعه حاضر با هدف بهبود تصمیم‌گیری مدیریت محیط‌زیست و منابع آب و ... به پایش سری زمانی دما در طبقات مختلف ارتفاعی ایران با استفاده از محصولات MODIS MOD 11A2.061 پرداخته است.

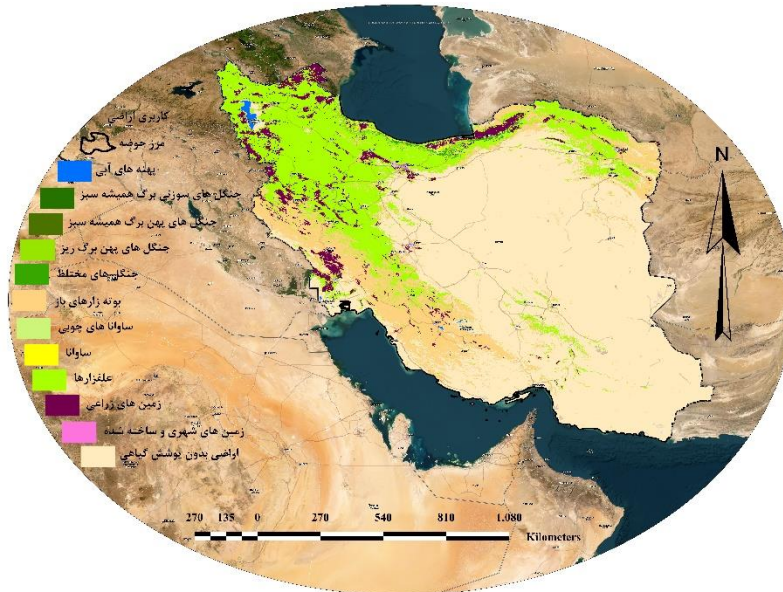
۲ مواد و روش

۲-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه

کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه در جنوب غربی آسیا با مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع هفدهمین کشور پهناور جهان محسوب می‌شود و به طور تقریبی بین مدار ۲۵°۰۳' تا ۳۹°۴۷' عرض شمالی از خط استوا و ۴۴°۱۴' تا ۶۳°۲۰' طول شرقی از نصف‌النهار مبدا قرار دارد. میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است و بلندترین نقطه ایران را کوه دماوند با ارتفاع ۵۶۱۰ متر به خود اختصاص داده است. این کشور از شمال با دریای خزر، از شمال غرب با ارمنستان، آذربایجان و ترکمنستان، از غرب با عراق، از شرق با افغانستان و پاکستان و از جنوب با خلیج فارس و عمان همسایه است. رشته کوه‌های البرز و زاگرس بر بخش‌های شمالی و غربی کشور مستقر هستند، در حالی که بخش‌های مرکزی و شرقی عمدتاً مناطق بیابانی و نیمه بیابانی را پوشش می‌دهند. اقلیم ایران دارای آب و هوای متنوعی است. به طوریکه مناطق ساحلی دریای خزر دارای آب و هوای نیمه گرمسیری با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های معتدل و مرطوب است. شمال غربی، دارای زمستان‌های سرد با بارش برف سنگین و بهار و پاییز نسبتاً معتدل و تابستان‌ها خشک و گرم است. در جنوب، زمستان‌ها معتدل و تابستان‌ها بسیار گرم است. مناطق مرکزی و شرقی کشور دارای آب و هوای کویری با تابستان‌های طولانی و گرم و زمستان‌های سرد و خشک همراه است (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۶). شکل ۱، نقشه رقومی ارتفاعی ایران را به تفکیک طبقات ارتفاعی مورد بررسی در مطالعه حاضر نشان می‌دهد و جدول ۱ مساحت این طبقات را به نمایش می‌گذارد. همچنین شکل ۲ با استفاده از محصولات مودیس (MCD12Q1) نقشه کاربری اراضی کشور ایران را در سال ۲۰۲۲ در ۱۲ طبقه نشان می‌دهد.



شکل ۱، نقشه مدل رقومی ارتفاعی و موقعیت جغرافیایی ایران در خاورمیانه



شکل ۲، نقشه کاربری اراضی کشور ایران در سال ۲۰۲۲
جدول ۱، مساحت طبقات ارتفاعی ایران

| نام طبقات | ارتفاع (متر) | مساحت (کیلومتر مربع) | نام طبقات | ارتفاع (متر) | مساحت (کیلومتر مربع) |
|-----------|--------------|----------------------|-----------|--------------|----------------------|
| ۱ | ۴۰ - ۴۰۰ | ۱۸۶۳۹۹/۹ | ۶ | ۲۴۰۰ - ۲۰۰۰ | ۱۵۸۹۱۴/۵ |
| ۲ | ۴۰۰ - ۸۰۰ | ۲۵۸۳۳۲/۷ | ۷ | ۲۸۰۰ - ۲۴۰۰ | ۶۰۴۲۶/۳۸ |
| ۳ | ۸۰۰ - ۱۲۰۰ | ۳۵۰۷۱۷/۸ | ۸ | ۳۲۰۰ - ۲۸۰۰ | ۱۶۶۰۴/۴۶ |
| ۴ | ۱۲۰۰ - ۱۶۰۰ | ۳۲۹۳۳۱/۷ | ۹ | ۳۶۰۰ - ۳۲۰۰ | ۴۳۷۷ |
| ۵ | ۱۶۰۰ - ۲۰۰۰ | ۲۸۱۶۶۸ | ۱۰ | ۵۶۰۰ - ۳۶۰۰ | ۱۲۲۷/۵۱۳ |

۲-۲ روش پژوهش

برای پایش سری زمانی LST (Land Surface Temperature) در طبقات ارتفاعی ایران از محصولات ۸ روزه MODIS به عنوان منبع اصلی استفاده شده است. این محصولات از مرکز آرشیو فعال توزیع شده فرایندهای زمین (LP DAAC) بصورت رایگان دریافت شده و در مجموع ۹۶۶ تصویر را شامل می شوند که هر سال دارای ۴۶ تصویر می باشد. تصاویر مربوط LST Day است که به ساعات روشنایی روز اشاره دارد که بسته به فصل و موقعیت جغرافیایی متفاوت است؛ اما به طور معمول از طلوع آفتاب تا غروب آفتاب را شامل می شوند. قبل از هرگونه محاسبات تصاویر با استفاده از رابطه ۱، از درجه کلونین به درجه سلسیوس تبدیل شده اند (روستا و همکاران، ۲۰۲۱).

$$LST(^{\circ}C) = DN * 0.02 - 273 \quad (\text{رابطه ۱})$$

DN در این معادله عبارت کلی برای مقادیر پیکسل است. برای واحدهای معنادار فیزیکی که بازنگری نشده اند این عبارت به طور معمول استفاده می شود (وان، ۲۰۱۴).

ابتدا طبقات ارتفاعی مورد نظر از نقشه مدل رقومی ارتفاع ایران استخراج شدند. در مرحله بعد سری زمانی فصلی و سالانه ی دما برای کل منطقه مورد مطالعه و همچنین برای هر طبقه بصورت جداگانه طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲ توسط تصاویر MODIS

MOD11A2.061 مورد بررسی قرار گرفتند. سپس میانگین فصلی و سالانه آن از طریق روابط ۲ تا ۶ محاسبه شده‌اند. در اینجا شاخص i تصاویر را برای هر سال به ترتیب تاریخ شمارش می‌کند.

$$\text{دما بهار} = \frac{\sum_{i=13}^{24} LST_i}{12} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\text{دما تابستان} = \frac{\sum_{i=25}^{36} LST_i}{12} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\text{دما پاییز} = \frac{\sum_{i=37}^{46} LST_i}{12} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\text{دما زمستان} = \frac{\sum_{i=1}^{12} LST_i}{12} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\text{دما سالانه} = \frac{\sum_{i=1}^{46} LST_i}{46} \quad (\text{رابطه ۶})$$

جهت تجزیه و تحلیل تغییرات دمایی در منطقه مورد مطالعه و هر طبقه ارتفاعی بصورت جداگانه و برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و قابل استناد، ویژگی‌های آماری زیر مورد محاسبه قرار گرفتند.

- Min (حداقل دما): حداقل مقدار سلول‌های شطرنجی
- Max (حداکثر دما): حداکثر مقدار سلول‌های شطرنجی
- Mean (میانگین دما): میانگین تمام مقادیر سلول‌های شطرنجی
- Std (انحراف معیار): انحراف استاندارد تمام مقادیر سلول
- Variety (تنوع): تعداد مقادیر سلول شطرنجی
- Majority (اکثریت): بیشترین فراوانی در بین مقادیر سلول‌های شطرنجی
- Minority (اقلیت): نادرترین مقدار سلول‌های شطرنجی

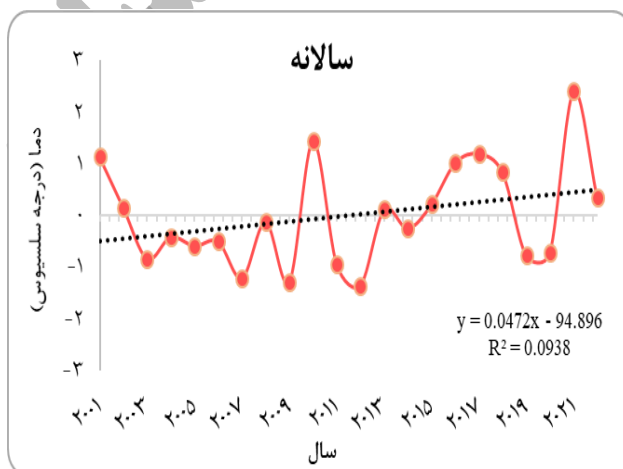
تمام محاسبات و تهیه نقشه‌ها از طریق نرم‌افزار Arc GIS Pro و Arc GIS انجام شده است و خروجی تمام ارزش‌های پیکسلی فصلی و سالانه شاخص دما، طبقه بندی، محاسبه مساحت هر طبقه دما، ترسیم نمودارها و تجزیه تحلیل داده‌ها در برنامه Excel برآورد شده است.

۱-۲-۲ سنجنده MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

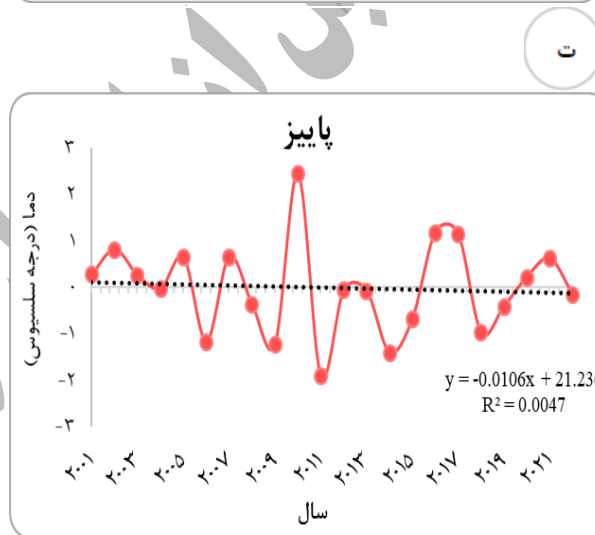
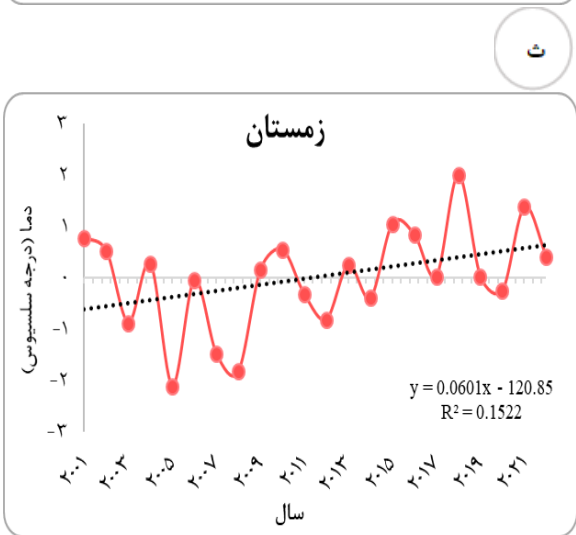
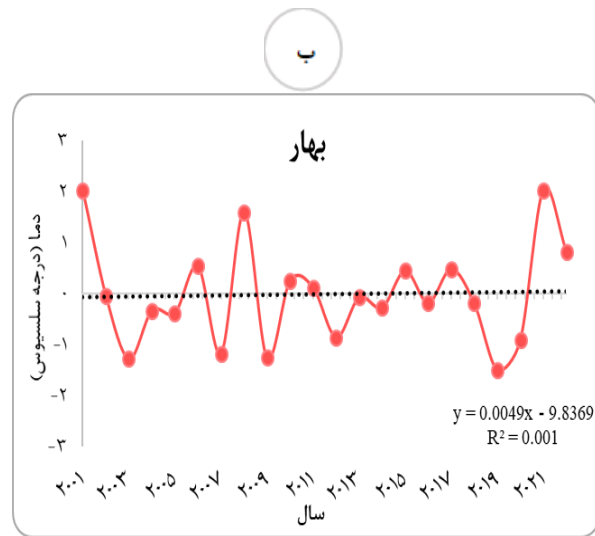
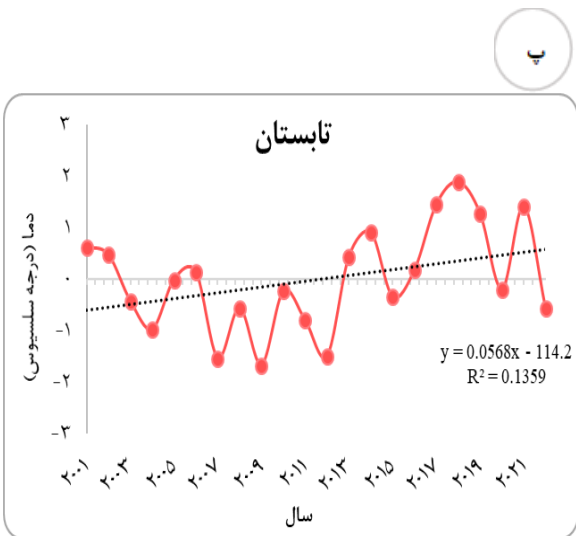
MODIS یا اسپکترورادایومتر تصویربردار با قدرت تفکیک مکانی متوسط، تحت برنامه سامانه دیده‌بانی زمین، توسط سازمان ملی هوافضا ایالات متحده آمریکا (لین و همکاران، ۲۰۰۷؛ چوپینگ و همکاران، ۲۰۰۸) در سامانه مدار گرد قطبی فعالیت می‌کند و سطح زمین را هر ۱ تا ۲ روز یکبار تصویر برداری می‌کند. MODIS دستگاهی با تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیت، توسط دو ماهواره Terra (۱۸ دسامبر ۱۹۹۹) و Aqua (۲ می ۲۰۰۲) پرتاب شد. این سنجنده با تفکیک فضایی ۲۵۰ متر (۲ بانده)، ۵۰۰ متر (۵ بانده)، ۱۰۰۰ متر (۲۹ بانده) در ۳۶ بانده طیفی مجزا بین ۰.۴۱۲ تا ۱۴.۳۸ میکرومتر با عبور زمانی بالاتر از خط استوا در حدود ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهواره ترا و ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوآ اطلاعات را مورد ثبت و مخایره قرار می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). محصول مورد استفاده در این تحقیق MOD11A2.061 است که شامل دمای سطح زمین در روز با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی ۸ روزه در سری زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۲ می‌باشد.

۳ یافته‌ها

بر اساس یافته‌های ارائه شده در شکل ۳، به نظر می‌رسد که بالاترین میانگین دما در منطقه مورد مطالعه با ناهنجاری ۲/۴ در سال ۲۰۲۱ با دمای ۲۸ درجه سلسیوس رخ داده است. برعکس کمترین میانگین دما در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ ثبت شده است که همه با ناهنجاری در محدوده‌ی ۱- تا ۱/۳- و میانگین دمای ۲۵ درجه سلسیوس بوده‌اند (شکل ۳-الف). در فصل بهار، بیشترین ناهنجاری مربوط به دما در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ با دمای ۳۳ درجه سلسیوس مشاهده شده است، در حالی که کمترین ناهنجاری‌ها در سال ۲۰۱۹ با میانگین دمای ۲۷ درجه سلسیوس به ثبت رسید (شکل ۳-ب). در طول ماه‌های فصل تابستان، دما در سال‌های ۲۰۱۴ (ناهنجاری ۰/۹)، ۲۰۱۷ (ناهنجاری ۱/۴)، ۲۰۱۸ (ناهنجاری ۱/۸)، ۲۰۱۹ (ناهنجاری ۱) و ۲۰۲۱ (ناهنجاری ۱/۴) به بالاترین سطح ثبت شده، ۴۲ درجه سلسیوس رسیده است. برعکس کمترین میانگین دما، ۴۰ درجه سلسیوس در سال‌های ۲۰۰۴ (ناهنجاری ۱)، ۲۰۰۷ (ناهنجاری ۱/۵-)، ۲۰۰۹ (ناهنجاری ۱/۷-)، و ۲۰۱۲ (ناهنجاری ۱/۵-) ثبت شد (شکل ۳-پ). حداکثر میانگین دما در فصل پاییز، دمای ۲۶ درجه سلسیوس (ناهنجاری ۲/۵) است که در سال ۲۰۱۰ مشاهده شده است. در حالی که سال ۲۰۱۱ کمترین میانگین دما با ۲۱/۵ درجه سلسیوس را در بر گرفته است (شکل ۳-ت). در نهایت، در طول ماه‌های فصل زمستان، بالاترین میانگین دمای ۱۳ درجه سلسیوس (ناهنجاری ۲) در سال ۲۰۱۸ به ثبت رسیده است، در حالی که کمترین میانگین دما با میانگین ۷ درجه سلسیوس در سال‌های ۲۰۰۵ (ناهنجاری ۲) و ۲۰۰۸ (ناهنجاری ۱/۸-) مشاهده شد (شکل ۳-ث). جدول ۲، همبستگی دما را در مقیاس سالانه و فصلی نشان می‌دهد. در مقیاس فصلی و سالانه به جز فصل پاییز، روند مثبت دما اما فاقد معنا مشاهده می‌شود. شکل ۴ توزیع فضایی دما را در منطقه مورد مطالعه برای به دست آوردن درک جامع از این تغییرات نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است، بالاترین میانگین دما در فصل تابستان و بهار مشاهده می‌شود. در همه فصول بالاترین میانگین دما در نواحی مرکزی و جنوب شرقی مشاهده شده است که شامل نواحی از استان‌های کرمان، سیستان بلوچستان، خراسان جنوبی و قسمت‌هایی از استان یزد و اصفهان و نوار جنوبی ایران است که کمترین ارتفاع را به خود اختصاص داده‌اند. در حالی که پایین‌ترین میانگین دما در ارتفاعات دماوند، نوار شمال شرقی تا شمال غربی و ارتفاعات زاگرس در غرب ایران مشاهده می‌شود که مرتفع‌ترین طبقات را شامل می‌شوند.



الف

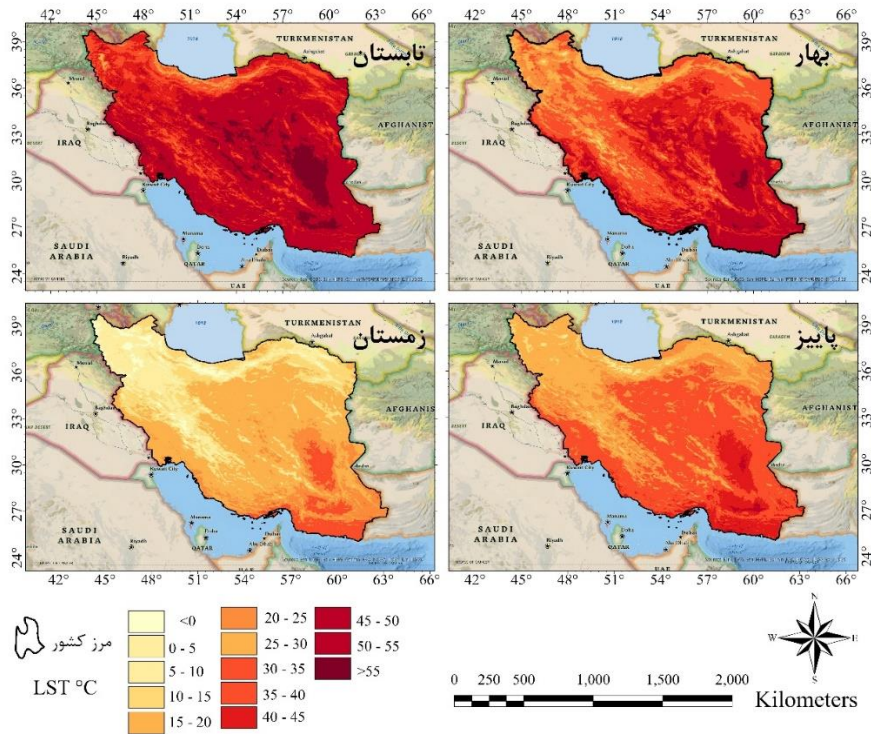


شکل ۳: میانگین ناهنجاری سالانه (الف) و فصلی (ب تا ج) دما در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲

جدول ۲: همبستگی فصلی و سالانه میانگین دما در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲

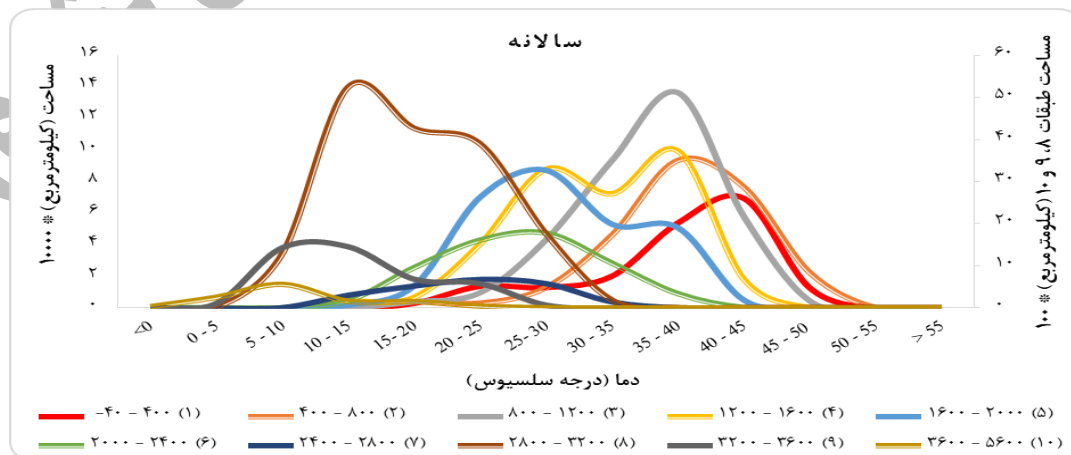
| دما | سالانه | بهار | تابستان | پاییز | زمستان |
|-----|--------|-------|---------|--------|--------|
| | ۰/۱۷۷ | ۰/۰۴۸ | ۰/۲۰۳ | -۰/۱۰۸ | ۰/۲۲۱ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است.



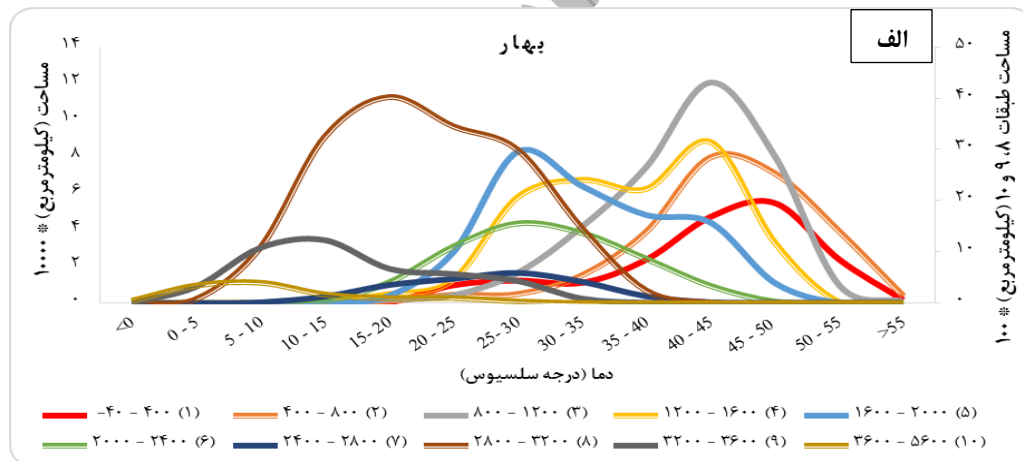
شکل ۴، پراکندگی فضایی میانگین فصلی دما در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲

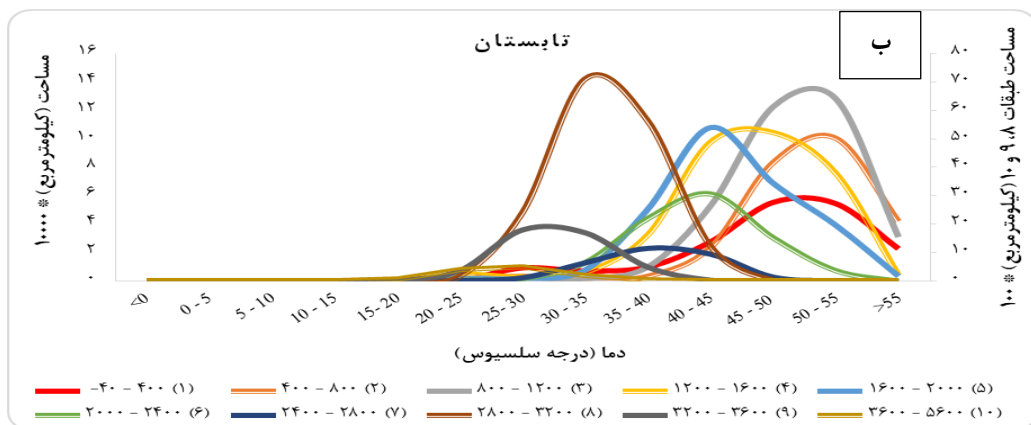
باتوجه به شکل ۵، بالاترین دمای سالانه ($50-55^{\circ}\text{C}$) در طبقات ۱ تا ۳ و پایین‌ترین دمای سالانه ($<0^{\circ}\text{C}$) در طبقات ۹ و ۱۰ مشاهده شده است. بیشترین درصد از مساحت منطقه در طبقه ۱، معادل ۳۷٪ ($69227/6$ کیلومتر مربع) در محدوده دمای $40-45^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. در طبقه ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۶٪ ($93339/6$ کیلومتر مربع)، ۳۹٪ ($136594/6$ کیلومتر مربع) و ۳۰٪ ($99438/9$ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه را دمای $35-40^{\circ}\text{C}$ در بر می‌گیرد. در طبقه ۵ و ۶ به ترتیب ۳۱٪ ($86971/3$ کیلومتر مربع) و ۳۰٪ ($47643/9$ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه، دمای $30-35^{\circ}\text{C}$ را شامل شده است و طبقه ۷، ۳۰٪ ($18040/6$ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای $25-30^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد. طبقه ۸ و ۹ به ترتیب ۳۲٪ ($5236/9$ کیلومتر مربع) و ۳۳٪ (1463 کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای $15-20^{\circ}\text{C}$ را ثبت کرده است. در حالی که در طبقه ۱۰، ۴۶٪ (567 کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای $10-15^{\circ}\text{C}$ را ثبت کرده است.



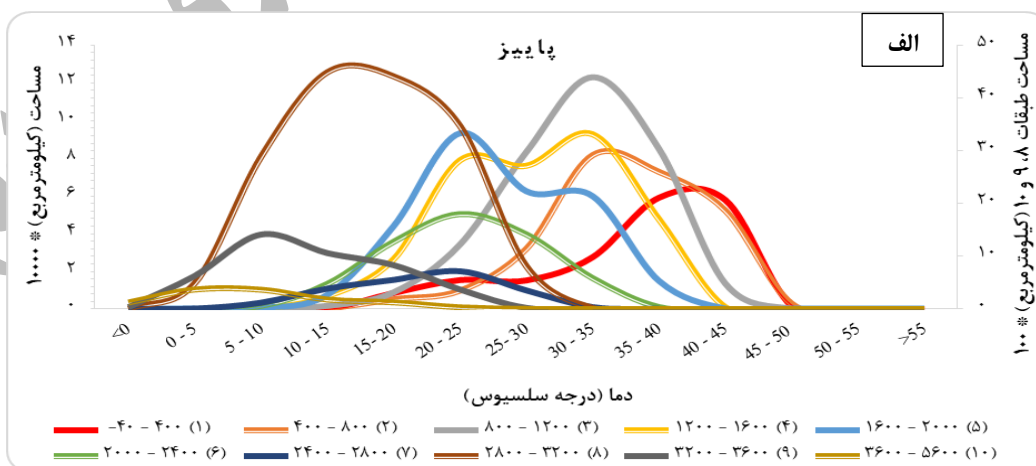
شکل ۵، مساحت سالانه دمای طبقات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۲

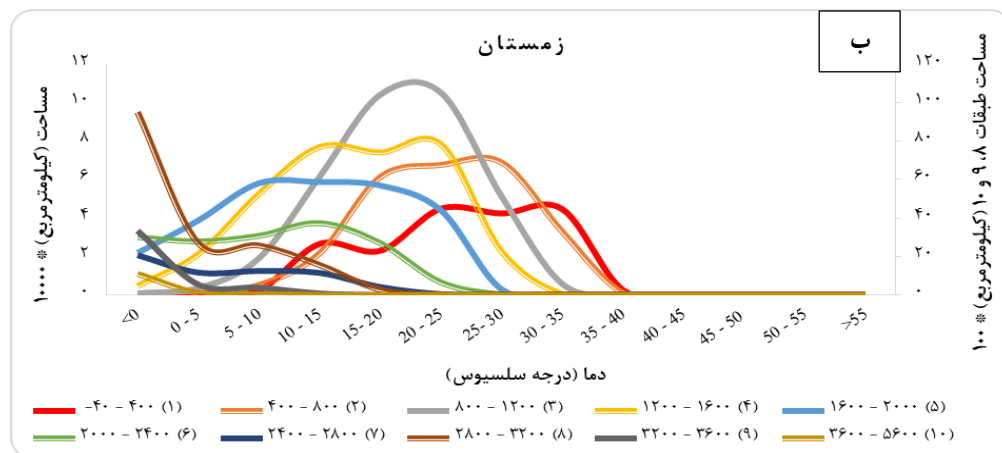
باتوجه به شکل ۶، در فصل بهار، بالاترین دما ($>55^{\circ}\text{C}$) و کمترین دما ($<0^{\circ}\text{C}$) در طبقات ۹ و ۱۰ ثبت گردیده است. بیشترین درصد از مساحت منطقه در طبقه ۱، معادل ۲۹٪ (۵۴۷۵۹ کیلومتر مربع) دارای دمای 50°C - 45°C می باشد. در طبقه ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۱٪ (۷۹۵۷۲ کیلومتر مربع)، ۳۴٪ (۱۲۰۴۱۱ کیلومتر مربع) و ۲۷٪ (۸۸۳۰۸ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه را دمای 45°C - 40°C شامل شده است. در صورتی که طبقه ۵، ۶ و ۷ به ترتیب ۲۹٪ (۸۲۴۹۱ کیلومتر مربع)، ۲۷٪ (۴۳۳۳۰/۵ کیلومتر مربع) و ۲۸٪ (۱۶۷۲۱ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای 30°C - 25°C مشاهده می شوند. طبقه ۸، ۲۴٪ (۴۰۲۸ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دما در محدوده 20°C - 15°C قرار دارد. در حالی که طبقه ۹، ۲۸٪ (۱۲۲۷/۷۸ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه، دمای 15°C - 10°C را در بر می گیرند. همچنین در طبقه ۱۰، ۳۳٪ (۴۰۴/۳۵ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دارای دمای 10°C - 5°C می باشد (شکل ۶-الف). در فصل تابستان، بالاترین دما ($>55^{\circ}\text{C}$) در طبقات ۱ تا ۶ و کمترین دما (5°C - 10°C) در طبقه ۱۰ مشخص گردیده است. بیشترین درصد از مساحت منطقه، در طبقه ۱، معادل ۳۰٪ (۵۵۴۸۸/۶ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای 50°C - 45°C مشاهده می شود. در طبقه ۲ و ۳ به ترتیب ۳۹٪ (۱۰۰۲۸۹ کیلومتر مربع) و ۳۷٪ (۱۲۸۱۴۷/۸ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای 50°C - 45°C را دارا می باشند. در طبقه ۴، ۳۲٪ (۱۰۴۴۵۸/۷ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه دمای 45°C - 40°C در بر گرفته است. در طبقه ۵ و ۶ به ترتیب ۳۸٪ (۱۰۷۹۹۶/۸ کیلومتر مربع) و ۳۸٪ (۶۱۰۲۵/۷۲ کیلومتر مربع) دمای 45°C - 40°C مشاهده می شود. ۳۸٪ (۲۳۰۹۸/۶۹ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۷، دما در محدوده 40°C - 35°C ثبت گردیده است و ۴۳٪ (۷۱۱۳/۳۶ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۸ دما در محدوده 35°C - 30°C قرار دارد. طبقه ۹ و ۱۰ به ترتیب ۴۱٪ (۱۸۰۶/۵۳ کیلومتر مربع) و ۴۰٪ (۴۹۴/۳ کیلومتر مربع) از مساحت خود، دما در محدوده 30°C - 25°C قرار دارد (شکل ۶-ب).



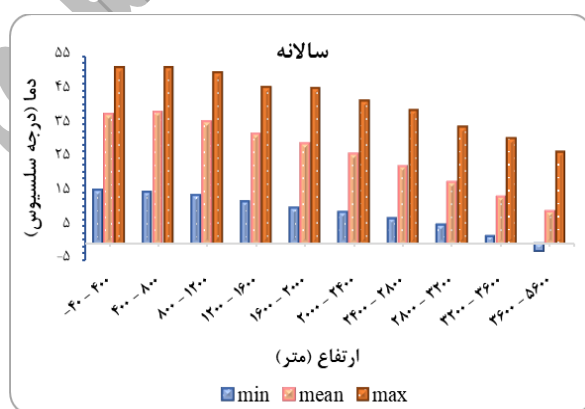


شکل ۶، مساحت فصل بهار (الف) و تابستان (ب) دمای ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۲۰۲۲. با توجه به شکل ۷، در فصل پاییز، بالاترین دما (۴۵-۵۰°C) در طبقات ۱ تا ۳ و پایین‌ترین دما ($< 0^{\circ}\text{C}$) در طبقات ۷ تا ۱۰ قرار دارد. بیشترین درصد از مساحت هر طبقه، در طبقه ۱، ۳۲٪ (۵۹۳۶۱/۸ کیلومتر مربع) از مساحت خود دما در محدوده 40°C - 35°C مشاهده شده است. طبقات ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۳۲٪ (۸۱۷۳۶/۹ کیلومتر مربع)، ۳۵٪ (۱۲۳۲۷۷ کیلومتر مربع) و ۲۸٪ (۹۲۵۳۲ کیلومتر مربع) از مساحت خود، دمای 35°C - 30°C را شامل می‌شوند. در طبقات ۵، ۶ و ۷ به ترتیب ۳۳٪ (۹۳۱۷۰/۸ کیلومتر مربع)، ۳۲٪ (۵۰۶۲۲/۷ کیلومتر مربع) و ۳۳٪ (۱۹۹۵۴ کیلومتر مربع) از مساحت خود، دارای دمای 25°C - 20°C بوده‌اند. ۲۷٪ (۴۴۹۰/۵۵ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۸ دارای دمای 15°C - 10°C می‌باشند. ۳۲٪ (۱۴۰۸/۹۸ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۹، دارای دمای 10°C - 5°C بوده‌اند در صورتی که ۳۱٪ (۳۷۷ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۱۰، دمای 5°C - 0°C مشاهده می‌شود (شکل ۷-الف). در فصل زمستان، بالاترین دما (45°C - 40°C) در طبقه ۱ و پایین‌ترین دما ($< 0^{\circ}\text{C}$) در همه طبقات ثبت شده است. بیشترین درصد از مساحت در طبقات ۱، ۳ و ۴ به ترتیب ۲۴٪ (۴۴۹۱۲/۷۵ کیلومتر مربع)، ۳۰٪ (۱۰۵۰۲۱/۵ کیلومتر مربع) و ۲۴٪ (۷۸۱۸۰/۵ کیلومتر مربع) از مساحت خود، دمای 25°C - 20°C را شامل می‌شوند. در صورتی که ۲۷٪ (۶۸۹۱۵/۸۷ کیلومتر مربع) از مساحت طبقه ۲، دما در محدوده 30°C - 25°C قرار داشته است. طبقات ۵ و ۶ به ترتیب ۲۱٪ (۵۸۹۲۰/۴۲ کیلومتر مربع) و ۲۳٪ (۳۷۲۹۲/۴۸ کیلومتر مربع) از مساحت خود دارای دمای 15°C - 10°C می‌باشند. همچنین در طبقات ۷ تا ۱۰ به ترتیب ۳۴٪ (۲۰۶۷۳/۵ کیلومتر مربع)، ۵۷٪ (۹۵۲۹/۸۷ کیلومتر مربع)، ۷۶٪ (۳۳۳۰/۷ کیلومتر مربع) و ۸۸٪ (۱۰۷۶/۴۴ کیلومتر مربع) از مساحت خود، دمای $< 0^{\circ}\text{C}$ ثبت گردیده است. (شکل ۷-ب).

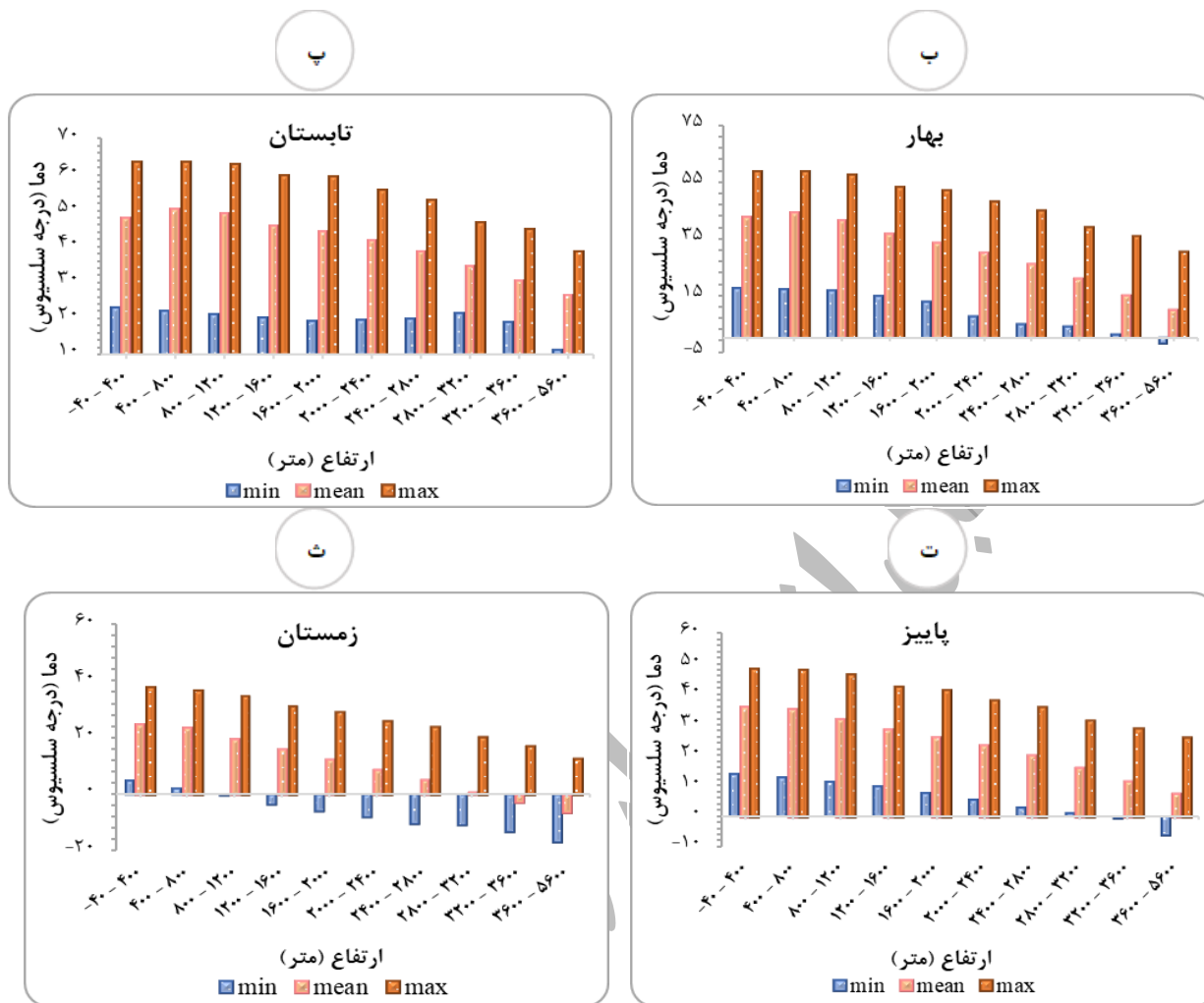




شکل ۷، مساحت فصل پاییز (الف) و زمستان (ب) دمای طبقات ارتفاعی در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۱ - ۲۰۲۲ با توجه به شکل ۸، طبقه ۲ که بیشتر شامل نواحی از حوضه‌های آبریز کویر مرکزی، کویر لوت، هامون جازموریان و قسمت‌هایی از هامون هیرمند می‌باشد بدلیل ماهیت گرم و خشکی که دارند در مقیاس سالانه و در فصول بهار و تابستان به ترتیب با دمای ۳۸، ۴۴ و ۵۰/۵ درجه سلسیوس بالاترین میانگین دما را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸-الف، ب، پ). در فصل پاییز و زمستان بالاترین میانگین دما در طبقه ۱ که بیشتر شامل نواحی پست نظیر بیابان لوت و قسمت‌هایی از نواحی ساحلی دریای عمان و خلیج فارس است به ترتیب با دمای ۳۶ و ۲۴/۵ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود (شکل ۸-ت، ث). همچنین در مقیاس سالانه (دمای ۱۰ درجه سلسیوس) و فصل بهار (۹/۶ درجه سلسیوس)، تابستان (۲۶/۴ درجه سلسیوس)، پاییز (۷/۷ درجه سلسیوس) و زمستان (۶/۲- درجه سلسیوس) در طبقه ۱۰ که بالاترین ارتفاعات را شامل شده است، پایین‌ترین میانگین دما مشاهده می‌شود. از طرفی حداکثر دما در مقیاس سالانه در محدوده دمای ۲۶/۸ تا ۵۱/۶ درجه سلسیوس و حداقل دما از ۲- تا ۱۶ درجه سلسیوس قرار دارد. در فصل بهار و تابستان حداکثر دما به ترتیب در محدوده‌ی ۳۰ تا ۵۸ و ۳۹ تا ۶۴ درجه سلسیوس و حداقل دما در محدوده‌ی ۲- تا ۱۷ و ۱۱ تا ۲۳ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود. همچنین در فصل پاییز و زمستان حداکثر دما به ترتیب در محدوده‌ی ۲۶ تا ۴۸ و ۱۲/۵ تا ۳۸ درجه سلسیوس قرار دارد در حالی که حداقل دما به ترتیب در محدوده‌ی ۶- تا ۱۳/۷ و ۱۷- تا ۵ درجه سلسیوس ثبت گردیده است.



الف



شکل ۸. میانگین سالانه (الف) و فصلی (ب تا ث) حداقل، حداکثر و میانگین دما در طبقات مختلف ارتفاعی

جدول شماره ۳، پارامترهای آماری دما را در مقیاس سالانه برای طبقات مختلف ارتفاعی به نمایش می‌گذارد. پارامتر حداقل دما تنها در طبقات ۱، ۲ و ۴ روند معناداری را دارد و سایر طبقات فاقد روند معنادار هستند. پارامتر انحراف معیار در تمام طبقات به جز طبقه ۱۰ و پارامتر تنوع در طبقات ۱، ۲، ۴، ۷، ۹ و ۱۰ دارای روند معناداری می‌باشند. شرایط نشان دهنده افزایش حداقل دما در طبقات ۱، ۲ و ۴ و همچنین کاهش شدید اختلاف دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام طبقات و بدنبال آن کاهش تنوع فضایی دما می‌باشد.

جدول ۳، اندازه‌گیری‌های آماری دما در مقیاس سالانه برای طبقات مختلف ارتفاعی ایران طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۲

| طبقات ارتفاعی سالانه | حداقل دما | حداکثر دما | میانگین | انحراف معیار | تنوع | اکثریت | اقلیت |
|----------------------|-----------|------------|---------|--------------|----------|--------|--------|
| ۴۰۰ - ۴۰۰ | ۰/۳۹۷* | -۰/۱۷۴ | ۰/۱۱۷ | -۰/۳۴۲* | -۰/۵۵۵** | ۰/۲۳۴ | -۰/۲۱۲ |
| ۴۰۰ - ۸۰۰ | ۰/۳۳۹* | -۰/۰۳۸ | ۰/۱۶۰ | -۰/۵۱۵** | -۰/۴۴۸** | ۰/۱۸۲ | ۰/۱۰۲ |
| ۸۰۰ - ۱۲۰۰ | ۰/۲۳۲ | -۰/۱۱۳ | ۰/۱۶۹ | -۰/۴۷۲** | -۰/۲۹۲ | ۰/۰۱۰ | -۰/۱۲۵ |
| ۱۲۰۰ - ۱۶۰۰ | ۰/۴۰۶* | -۰/۰۳۶ | ۰/۱۸۶ | -۰/۵۱۵** | -۰/۳۶۷* | -۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۵ |
| ۱۶۰۰ - ۲۰۰۰ | ۰/۲۱۸ | -۰/۱۰۵ | ۰/۱۹۵ | -۰/۴۸۹** | -۰/۳۱۹ | ۰/۳۴۴* | ۰/۰۸۱ |
| ۲۰۰۰ - ۲۴۰۰ | ۰/۲۰۷ | -۰/۲۱۳ | ۰/۲۳۸ | -۰/۵۵۰** | -۰/۳۰۳ | ۰/۳۲۹* | ۰/۱۷۸ |
| ۲۴۰۰ - ۲۸۰۰ | ۰/۲۳۱ | -۰/۲۰۶ | ۰/۱۹۵ | -۰/۴۰۳** | -۰/۴۲۰* | ۰/۲۳۲ | ۰/۰۳۸ |

| | | | | | | | |
|--------|-------|---------|----------|-------|--------|-------|-------------|
| -۰/۰۳۲ | ۰/۱۶۸ | -۰/۳۱۹ | -۰/۴۲۰** | ۰/۱۳۴ | -۰/۰۷۹ | ۰/۱۸۹ | ۲۸۰۰ - ۳۲۰۰ |
| ۰/۱۴۹ | ۰/۱۸۰ | -۰/۳۶۳* | -۰/۳۹۴* | ۰/۱۳۴ | -۰/۰۵۸ | ۰/۱۴۹ | ۳۲۰۰ - ۳۶۰۰ |
| ۰/۱۰۵ | ۰/۱۷۲ | -۰/۳۲۸* | -۰/۲۸۱ | ۰/۱۶۰ | -۰/۰۹۶ | ۰/۲۵۸ | ۳۶۰۰ - ۵۶۰۰ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است.

در جدول ۴ پارامترهای آماری دما برای طبقات مختلف ارتفاعی در فصل بهار به نمایش گذاشته شده است. پارامتر حداقل دما تنها در طبقات ۱، ۴ و ۸ و پارامتر انحراف معیار در همه طبقات به جز طبقه ۱، ۷ و ۱۰ دارای روند معنادار می باشد. همچنین در پارامتر تنوع روند معناداری در طبقات ۳، ۴، ۷، ۸ و ۹ مشاهده می شود. بطور کلی نتایج حاصل از محاسبه این شاخص ها بیانگر کاهش تنوع فضایی دما و کاهش اختلاف بین دمای کمینه و دمای بیشینه در این طبقات می باشد. سایر پارامترها در این فصل فاقد معنا هستند.

جدول ۴، اندازه گیری های آماری دما در فصل بهار برای طبقات مختلف ارتفاعی ایران طی سال های ۲۰۰۱-۲۰۲۲

| طبقات ارتفاعی بهار | حداقل دما | حداکثر دما | میانگین | انحراف معیار | تنوع | اکثریت | اقلیت |
|--------------------|-----------|------------|---------|--------------|----------|--------|--------|
| ۴۰ - ۴۰ | ۰/۳۴۷* | -۰/۱۰۴ | -۰/۰۰۴ | -۰/۲۲۹ | -۰/۳۱۹ | ۰/۱۸۸ | -۰/۰۳۹ |
| ۴۰ - ۸۰ | ۰/۱۷۱ | -۰/۰۵۷ | ۰/۰۴۸ | -۰/۳۴۲* | -۰/۱۶۴ | -۰/۲۷۰ | ۰/۱۰۳ |
| ۸۰ - ۱۲۰ | ۰/۱۲۶ | -۰/۲۴۴ | -۰/۰۰۴ | -۰/۳۴۲* | -۰/۳۵۳* | -۰/۰۶۵ | -۰/۰۷۳ |
| ۱۲۰ - ۱۶۰ | ۰/۵۸۹** | -۰/۱۵۱ | ۰/۰۵۶ | -۰/۳۹۴* | -۰/۳۸۳* | -۰/۲۷۷ | -۰/۱۳۹ |
| ۱۶۰ - ۲۰۰ | . | -۰/۰۷۴ | ۰/۰۴۸ | -۰/۳۵۹* | -۰/۱۸۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۲ |
| ۲۰۰ - ۲۴۰ | ۰/۱۳۵ | -۰/۰۹۸ | ۰/۰۵۶ | -۰/۳۰۷* | -۰/۲۷۲ | -۰/۰۳۱ | ۰/۱۳۵ |
| ۲۴۰ - ۲۸۰ | ۰/۱۷۰ | -۰/۲۰۲ | ۰/۰۶۵ | -۰/۲۹۹ | -۰/۳۳۲* | ۰/۱۹۰ | ۰/۲۸۰ |
| ۲۸۰ - ۳۲۰ | ۰/۳۲۹* | -۰/۲۶۲ | ۰/۰۵۶ | -۰/۳۵۹* | -۰/۵۳۵** | ۰/۰۱۴ | ۰/۱۰۲ |
| ۳۲۰ - ۳۶۰ | ۰/۲۵۱ | -۰/۲۰۱ | ۰/۰۷۴ | -۰/۳۵۹* | -۰/۳۷۸* | ۰/۱۷۲ | -۰/۱۷۳ |
| ۳۶۰ - ۵۶۰ | ۰/۰۴۷ | -۰/۱۸۸ | ۰/۰۷۴ | -۰/۲۸۱ | -۰/۲۷۶ | ۰/۰۷۷ | -۰/۲۴۰ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است.

در جدول ۵ پارامترهای آماری دما برای طبقات مختلف ارتفاعی در فصل تابستان نمایش داده شده است. پارامتر حداقل دما در طبقات ۱ تا ۵ و پارامتر میانگین دما در طبقات ۱ و ۲ دارای روند معنادار می باشند. پارامتر انحراف معیار تنها در طبقه ۴ و پارامتر تنوع در طبقات ۵، ۶ و ۸ روند معناداری را دارا می باشند. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص ها بیانگر کاهش تنوع فضایی دما و کاهش اختلاف بین دما کمینه و بیشینه در این طبقات می باشد. تنها طبقه ۲ در پارامترهای اکثریت و اقلیت شاهد روند معنادار می باشد که حاکی از افزایش مناطق با دمای بسیار بالا و مناطق با دمای بسیار پایین در این طبقه است. پارامتر حداکثر دما در هیچکدام از طبقات دارای روند معناداری نمی باشد. در جدول ۶، پارامترهای آماری دما در فصل پاییز برای طبقات مختلف ارتفاعی به نمایش گذاشته شده است. پارامتر حداکثر دما در طبقه ۶ و پارامتر اکثریت در طبقه ۴ شاهد روند معنادار می باشند. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص ها بیانگر کاهش حداکثر دما در طبقه ۶ و کاهش مناطق با دمای بسیار بالا در طبقه ۴ می باشد. بقیه پارامترها فاقد معنا هستند.

جدول ۵، اندازه گیری های آماری دما در فصل تابستان برای طبقات مختلف ارتفاعی ایران طی سال های ۲۰۰۱-۲۰۲۲

| طبقات ارتفاعی تابستان | حداقل دما | حداکثر دما | میانگین | انحراف معیار | تنوع | اکثریت | اقلیت |
|-----------------------|-----------|------------|---------|--------------|--------|---------|--------|
| ۴۰ - ۴۰ | ۰/۳۳۶* | ۰/۱۹۴ | ۰/۳۳۳* | -۰/۲۲۹ | -۰/۱۵۴ | ۰/۰۴۶ | ۰/۲۰۹ |
| ۴۰ - ۸۰ | ۰/۴۲۰* | ۰/۲۰۶ | ۰/۳۵۹* | -۰/۲۲۱ | -۰/۱۸۰ | ۰/۴۷۸** | ۰/۴۲۰* |
| ۸۰ - ۱۲۰ | ۰/۴۲۳* | ۰/۱۹۳ | ۰/۲۹۹ | -۰/۲۴۷ | -۰/۱۵۰ | ۰/۲۳۵ | ۰/۱۸۸ |

| | | | | | | | |
|-------|--------|---------|---------|-------|--------|--------|-------------|
| ۰/۱۱۹ | ۰/۰۷۸ | -۰/۲۶۶ | -۰/۳۹۴* | ۰/۲۸۱ | ۰/۰۵۹ | ۰/۳۶۱* | ۱۶۰۰ - ۱۶۰۰ |
| ۰/۳۱۷ | ۰/۲۹۷ | -۰/۴۱۱* | -۰/۲۶۴ | ۰/۲۲۱ | -۰/۱۵۵ | ۰/۳۹۰* | ۱۶۰۰ - ۲۰۰۰ |
| ۰/۰۱۴ | -۰/۰۰۵ | -۰/۴۱۰* | -۰/۲۷۳ | ۰/۲۲۱ | -۰/۲۶۲ | ۰/۳۱۷ | ۲۰۰۰ - ۲۴۰۰ |
| ۰/۲۶۷ | ۰/۲۴۷ | -۰/۲۷۵ | -۰/۲۳۸ | ۰/۱۱۷ | -۰/۲۳۲ | ۰/۲۳۰ | ۲۴۰۰ - ۲۸۰۰ |
| ۰/۱۰۵ | ۰/۰۲۹ | -۰/۳۲۳* | -۰/۲۸۱ | ۰/۱۰۸ | -۰/۳۴۰ | ۰/۱۷۸ | ۲۸۰۰ - ۳۲۰۰ |
| ۰/۰۷۸ | ۰/۱۸۱ | -۰/۱۹۱ | -۰/۲۵۵ | ۰/۱۴۳ | -۰/۳۲۹ | -۰/۰۰۵ | ۳۲۰۰ - ۳۶۰۰ |
| ۰/۱۴۶ | ۰/۱۴۲ | -۰/۲۹۱ | -۰/۲۶۴ | ۰/۱۷۷ | -۰/۱۷۸ | ۰/۲۱۹ | ۳۶۰۰ - ۵۶۰۰ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است.

جدول ۶. اندازه گیری های آماری دما در فصل پاییز برای طبقات مختلف ارتفاعی ایران طی سال های ۲۰۲۲-۲۰۰۱

| طبقات ارتفاعی پاییز | حداقل دما | حداکثر دما | میانگین | انحراف معیار | تنوع | اکثریت | اقلیت |
|---------------------|-----------|------------|---------|--------------|--------|---------|--------|
| ۴۰ - ۴۰ | -۰/۲۸۲ | -۰/۲۷۵ | -۰/۲۰۳ | ۰/۰۱۳ | ۰/۱۰۷ | -۰/۱۹۰ | -۰/۲۷۹ |
| ۴۰۰ - ۸۰۰ | -۰/۲۱۵ | -۰/۳۱۹ | -۰/۲۲۹ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۲۴ | -۰/۰۰۵ | -۰/۱۴۸ |
| ۸۰۰ - ۱۲۰۰ | -۰/۲۰۸ | -۰/۰۸۶ | -۰/۲۵۵ | ۰/۰۰۴ | ۰/۱۳۷ | -۰/۲۳۸ | -۰/۱۸۲ |
| ۱۲۰۰ - ۱۶۰۰ | -۰/۱۱۱ | -۰/۲۲۲ | -۰/۱۶۹ | -۰/۱۶۰ | ۰/۰۵۹ | -۰/۴۰۱* | -۰/۰۷۹ |
| ۱۶۰۰ - ۲۰۰۰ | -۰/۱۸۰ | -۰/۱۸۰ | -۰/۰۸۲ | -۰/۱۶۰ | ۰/۰۳۴ | ۰/۱۲۲ | -۰/۱۸۳ |
| ۲۰۰۰ - ۲۴۰۰ | ۰/۰۳۲ | -۰/۳۴۷* | -۰/۰۲۲ | -۰/۲۰۳ | -۰/۱۱۲ | -۰/۰۶۵ | ۰/۰۲۸ |
| ۲۴۰۰ - ۲۸۰۰ | ۰/۰۴۷ | -۰/۱۶۲ | -۰/۰۱۳ | -۰/۲۱۲ | -۰/۱۱۹ | -۰/۰۶۲ | ۰/۲۳۴ |
| ۲۸۰۰ - ۳۲۰۰ | -۰/۰۰۵ | -۰/۱۳۴ | ۰/۰۲۲ | -۰/۲۲۱ | -۰/۱۰۲ | ۰/۰۳۶ | -۰/۰۲۸ |
| ۳۲۰۰ - ۳۶۰۰ | ۰/۱۱۰ | -۰/۱۴۷ | ۰/۰۳۰ | -۰/۱۶۹ | -۰/۰۹۴ | ۰/۱۴۰ | ۰/۱۸۴ |
| ۳۶۰۰ - ۵۶۰۰ | ۰/۱۴۶ | -۰/۱۵۰ | ۰/۰۴۸ | -۰/۱۷۷ | -۰/۲۲۹ | ۰/۱۴۱ | -۰/۱۲۶ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است.

در جدول ۷، پارامترهای آماری دما در فصل زمستان برای طبقات مختلف ارتفاعی نشان داده شده است. پارامترهای حداقل و حداکثر دما، تنوع و اقلیت فاقد معنا هستند. پارامتر میانگین دما تنها در طبقه ۷ و پارامتر انحراف معیار تنها در طبقه ۲ دارای روند معنادار می باشند و سایر طبقات فاقد معنا هستند. شرایط نشان دهنده افزایش میانگین دما در طبقه ۷ و کاهش تنوع فضایی دما در طبقه ۲ می باشد. پارامتر اکثریت در طبقات ۳، ۴ و ۵ روند معناداری را دارند که نشان دهنده افزایش مناطق با دمای بسیار بالا در این طبقات می باشد.

جدول ۷. اندازه گیری های آماری دما در فصل زمستان برای طبقات مختلف ارتفاعی ایران طی سال های ۲۰۲۲-۲۰۰۱

| طبقات ارتفاعی زمستان | حداقل دما | حداکثر دما | میانگین | انحراف معیار | تنوع | اکثریت | اقلیت |
|----------------------|-----------|------------|---------|--------------|--------|---------|--------|
| ۴۰ - ۴۰ | -۰/۰۰۹ | -۰/۱۹۴ | ۰/۰۳۰ | -۰/۱۹۵ | -۰/۱۷۹ | -۰/۱۳۳ | -۰/۱۷۴ |
| ۴۰۰ - ۸۰۰ | ۰/۲۳۶ | -۰/۰۹۸ | ۰/۱۲۶ | -۰/۳۴۲* | -۰/۲۹۷ | ۰/۳۰۶ | ۰/۱۲۵ |
| ۸۰۰ - ۱۲۰۰ | ۰/۱۴۶ | -۰/۰۵۵ | ۰/۱۹۵ | -۰/۲۸۱ | -۰/۲۳۹ | ۰/۳۵۰* | ۰/۲۵۱ |
| ۱۲۰۰ - ۱۶۰۰ | ۰/۱۴۷ | -۰/۰۶۶ | ۰/۱۷۷ | -۰/۱۳۴ | -۰/۱۹۷ | ۰/۵۱۶** | -۰/۰۰۹ |
| ۱۶۰۰ - ۲۰۰۰ | ۰/۱۶۰ | -۰/۰۰۵ | ۰/۲۲۹ | -۰/۱۶۹ | -۰/۲۲۹ | ۰/۳۳۵* | ۰/۱۱۴ |
| ۲۰۰۰ - ۲۴۰۰ | ۰/۲۶۲ | ۰/۰۱۴ | ۰/۲۵۵ | -۰/۲۰۳ | -۰/۱۶۶ | ۰/۲۸۹ | ۰/۱۱۰ |
| ۲۴۰۰ - ۲۸۰۰ | ۰/۱۹۱ | ۰/۰۴۸ | ۰/۳۱۶* | -۰/۰۷۴ | -۰/۱۷۵ | ۰/۱۵۴ | ۰/۰۹۰ |
| ۲۸۰۰ - ۳۲۰۰ | ۰/۲۷۱ | ۰/۱۳۸ | ۰/۲۴۷ | ۰/۰۹۱ | -۰/۰۳۰ | ۰/۰۸۳ | ۰/۱۰۰ |
| ۳۲۰۰ - ۳۶۰۰ | ۰/۲۵۲ | ۰/۰۶۱ | ۰/۲۲۹ | ۰/۱۵۲ | -۰/۰۴۹ | ۰/۲۱۱ | ۰/۰۸۱ |

* نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.05$ است. ** نشان دهنده روند معنی دار در سطح $P = 0.01$ است

۴ بحث

گرمایش جهانی، تغییرات آب و هوایی در جهان را سبب شده است که کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست، لذا در این مطالعه، نقشه مدل رقومی ارتفاعی ایران به ۱۰ طبقه ارتفاعی تقسیم شده است. سپس الگوهای مکانی-زمانی دما طی دوره آماری ۲۰۲۲-۲۰۰۱ با استفاده از سنجش از دور مورد پایش قرار گرفته است. از آنجایی که ارتفاعات متنوع ایران و کشیدگی آن در عرض های جغرافیایی بر سامانه های اقلیمی تاثیر گذار است و مکانیسم ردیابی مناسب برای پایش ارتفاعات و بیابان ها در اختیار نیست، لذا سنجش از دور می تواند ارزان ترین و کارآمدترین ابزار ممکن قلمداد گردد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). بالاترین میانگین دما در فصل تابستان و بهار مشاهده می شود. متوسط روند دما در مقیاس سالانه و فصلی افزایشی است و تنها در فصل پاییز روند کاهشی را به دنبال دارد. نتایج مطالعات احمدی و همکاران (۱۴۰۰) که به بررسی پراکنش فصلی روند بی هنجاری دمای سطح زمین در کشور ایران می پردازد با نتایج فوق تطبیق دارد. در ماه های بسیار گرم فصل تابستان کانون گرم ترین نواحی ایران به مناطق جنوب غربی در شمال خلیج فارس، خوزستان، منطقه دهلران و کویر لوت مرکزی بسط داده شده است. همچنین در دیگر ماه های سال کانون گرم ترین مناطق کشور در کویر لوت و منطقه ساحلی مجاور دریای عمان در حوزه سیستان و بلوچستان و هرمزگان کشیده شده است که کم ارتفاع ترین طبقات را شامل می شوند. نتایج احمدی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که کویر لوت گرمترین منطقه کشور است و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا تاثیر زیادی در توزیع فضایی-زمانی دمای سطح زمین دارد. همچنین شایان ذکر است که پایین ترین میانگین دما در ارتفاعات دماوند، نوار شمال شرقی تا شمال غربی و ارتفاعات زاگرس در غرب ایران مشاهده شده است که مرتفع ترین طبقات را به خود اختصاص داده اند. همانطور که مشاهده می شود بیشترین میانگین سالانه دما را طبقه ی ۲ با دمای ۳۸/۴ درجه سلسیوس و کمترین میانگین سالانه دما را طبقه ارتفاعی ۱۰ با دمای ۹/۸ درجه سلسیوس به خود اختصاص داده اند که کاهش دما به مثابه افزایش ارتفاع را تثبیت می کند. مطالعه پنگ و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر تاثیر ارتفاع بر دما در هانگژو چین این ادعا را اثبات می کند. به طور کلی، می توان گفت که در تمام فصول سال، طبقات بالایی سردتر از طبقات پایینی هستند و این الگو در تمام سال ثابت می ماند. پردازش های مکانی دمای سطح زمین به شدت متأثر از عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا است و شرایط توپوگرافی نقش مهمی در توزیع زمانی-مکانی دما ایفا می کند و با بررسی های ژائو و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی کامل دارد. به طور کلی در همه طبقات افزایش حداقل دما و کاهش اختلاف دمای کمینه و دمای بیشینه و بدنبال آن کاهش تنوع فضایی در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است. مطالعه کارل و همکاران (۱۹۹۳) نشان می دهد افزایش حداقل دما در خشکی های جهان به سرعتی ۳ برابر حداکثر دما افزایش یافته است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. گسترش شهرسازی عمدتاً نقش موثری در افزایش حداقل دما دارد. همچنین آلودگی هوای شهری باعث کاهش تابش خورشیدی به سطح زمین می شود. بنابراین روند افزایشی دمای بیشینه را کند می کند و کاهش دامنه روزانه ی دمای سطح زمین را به دنبال دارد. این نتایج با دمای هوای نزدیک سطح زمین در سطح جهانی و منطقه ای همخوانی دارد و از آنجا که دمای هوای نزدیک سطح زمین به وسیله دمای سطح زمین کنترل می شود. این نتایج با اطمینان، رخداد یک روند گرمایشی در دمای هوای نزدیکی سطح زمین را نشان می دهد (اوکو و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش دمای سطح زمین را می توان به عوامل متعددی از جمله تغییرات آب و هوا، خشک شدن دریاچه ها و تالاب ها، تغییر کاربری زمین و شهرنشینی نسبت داد (کاکه ممی و همکاران، ۱۳۹۹). تغییرات آب و هوایی مسئول گرمایش جهانی است که به افزایش دما کمک می کند (ساوتورث، ۲۰۰۴؛ کایت و همکاران، ۲۰۱۶). تغییر کاربری زمین مانند جنگل زدایی، تبدیل زمین طبیعی به زمین کشاورزی و شهرنشینی که منجر به تمرکز افراد و ساختمان ها در یک منطقه کوچک می شود، افزایش دما را در پی دارد

(اوزتورک و همکاران، ۲۰۱۳؛ گولرسوی، ۲۰۱۴). در بیان کلی تغییرات دمایی هر طبقه ارتفاعی به عنوان نمونه طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ در مناطق مختلف ایران یکسان نیست و عوامل متعددی نظیر عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی، دوری و نزدیکی به دریا و فعالیت‌های انسانی می‌توانند تأثیر گذار باشند. به‌طوریکه مناطق شمالی ایران به دلیل نزدیکی به دریای خزر و تأثیر جریان‌های هوایی شمال و پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی دارای آب‌وهوای معتدل‌تر و نوسانات دمایی کمتری هستند. در مناطق مرکزی تغییرات دمایی بیشتر تحت تأثیر عوامل محلی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی قرار دارند که دما در این مناطق نسبت به نواحی شمالی، بالاتر و نوسانات دمایی شدیدتر است. همچنین مناطق جنوبی به دلیل نزدیکی به خلیج فارس و دریای عمان و گسترش مناطق بیابانی دارای دما و نوسانات دمایی بالاتری هستند. لذا جهت آشکارسازی دقیق‌تر تغییرات دمایی در طبقات ارتفاعی نیازمند بررسی عوامل و پارامترهای اقلیمی نظیر عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی، بارندگی و ... می‌باشند که به دلیل وسیع بودن منطقه مورد مطالعه در مطالعات بعدی مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۵ نتیجه گیری

هدف مطالعه حاضر پایش دمای سطح زمین در مقیاس فصلی و سالانه با استفاده از تصاویر MODIS MOD11A2.061 در طبقات ارتفاعی ایران طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۲ می‌باشد. بسیاری از عوامل محلی و جغرافیایی نظیر ناهمواری‌ها نقش مهمی در پراکندگی عناصر آب و هوایی دارند. به‌طوریکه ناهمواری‌های اصلی ایران به دلیل مرتفع بودن نسبت به سرزمین‌های اطراف سبب تغییرات اقلیمی از جمله کاهش دما می‌شوند. همچنین به صورت سدی در برابر حرکت توده‌های هوا قرار می‌گیرند و سبب پراکندگی عناصر آب و هوایی می‌شوند (علیچانی، ۱۳۷۴). مطالعات نشان می‌دهد بالاترین میانگین دمای سالانه در سال ۲۰۲۱ با دمای ۲۸ درجه سلسیوس ثبت شده است. در حالی که سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با دمای ۲۵ درجه سلسیوس پایین‌ترین میانگین دما را به خود اختصاص داده‌اند. همین‌طور یک روند افزایشی از سال ۲۰۱۳ به بعد مشاهده شده است. باتوجه به اینکه تغییرات دمایی در مناطق مختلف ایران متفاوت است و ممکن است عوامل مؤثر بر افزایش دما در هر منطقه متفاوت باشد و باتوجه به وسیع بودن منطقه مورد مطالعه و محدودیت دسترسی به داده‌های دقیق‌تر نمی‌توان دلایل جزئی‌تری ارائه داد، اما به‌طور عمده می‌توان به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی و عوامل محلی شامل تغییر کاربری اراضی، آلودگی هوا، خشکسالی‌های مکرر یا به دلایل احتمالی که شامل نوسانات طبیعی اقلیم در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت همانند پدیده ENSO است نسبت داد. طبقه‌ی ۲ با ارتفاع ۸۰۰-۴۰۰ متر بالاترین میانگین دما را شامل می‌شود. این طبقه بیشتر متمرکز بر حوضه آبریز فلات مرکزی است که با احتساب بیابان‌های وسیع دشت کویر و کویر لوت دارای آب و هوای گرم و خشک با بالاترین میانگین دما در فصول بهار و تابستان است. همچنین در فصل پاییز و زمستان، بالاترین میانگین دما در قسمت‌هایی از طبقه‌ی ۱ مشاهده شده است که شامل کویر لوت، حوضه جازموریان و قسمت‌هایی از نواحی ساحلی دریای عمان و خلیج فارس است. به‌طور کلی باتوجه به نقشه کاربری اراضی کشور (شکل ۲)، مساحت مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و جنوب شرقی ایران را عمدتاً اراضی بدون پوشش گیاهی و بیابان‌ها پوشانده است که به دنبال کاهش پوشش گیاهی و تخریب خاک‌ها، وقوع طوفان‌های گرد و غبار شده شکل گرفته و افزایش قابل توجه دما را نسبت به نواحی با پوشش جنگلی و مرتعی به دنبال دارد. از طرفی طبقه ۱۰ که عمدتاً شامل ارتفاعات البرز و زاگرس با پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی می‌باشند، پایین‌ترین میانگین دما را به خود اختصاص داده است و ارتفاع ۵۶۰۰-۳۶۰۰ متر را شامل می‌شود. نتایج این تحقیق برای برنامه‌ریزان و کارشناسان در زمینه اقلیمی برای کسب اطلاعات از وضعیت دمای سطح زمین، ضمن بیان اهمیت تأثیرات تغییر اقلیم می‌تواند راهکاری در جهت برنامه‌ریزی درست و تصمیمات مدیریتی در ارتباط با کاربری اراضی،

حفاظت از منابع طبیعی، کشاورزی، مدیریت منابع آبی و همچنین سازگاری با تغییرات اقلیمی در سیاست‌های آبی حوضه‌های آبریز ایران واقع شود.

منابع

- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی و احمدی، حمزه. (۱۳۹۷). واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین ایران مبتنی بر برون داد سنجنده MODIS، فصلنامه علوم محیطی، ۱۶ (۱)، ۴۷-۶۸. <https://civilica.com/doc/1300456>
- احمدی، محمود، میرزایی، زهرالسادات و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). بررسی پراکنش فصلی و روند بی‌هنجاری دمای سطح زمین روز و شب ایران با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳ (۳)، ۳۵۱-۳۶۴. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.323144.1007615>
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). آب و هوای ایران، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- قادری، آرزو، عزیزی، زهرا و عبدالهی، خدایار. (۱۴۰۱). ارزیابی اثرات زیست محیطی احداث سد کارون ۴ بر پارامترهای اقلیمی منطقه با استفاده از سنجنش از دور، فصلنامه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۹ (۳۲)، ۱-۱۰. <https://www.magiran.com/paper/2508510>
- کاکه ممی، آزاد، قربانی، اردوان، اصغری سراسکانرود، صیاد، قلعه، احسان و غفاری، سحر. (۱۳۹۹). بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در شهرستان نمین، مجله سنجنش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱ (۲)، ۲۷-۴۸. <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674652>
- کاوینی، عباس، سهرابی، تیمور و دانش کارآراسته، پیمان. (۱۳۹۲). تخمین دمای سطح زمین با استفاده از شاخص اختلاف نرمال شده (NDVI) در تصاویر سنجنده‌های MODIS و Landsat ETM+، مجله هواشناسی کشاورزی، ۱۱ (۱)، ۱۴-۲۵. https://www.agrimet.ir/article_87664.html
- مرادی، مسعود، صلاحی، برومند و مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۵). بررسی شیب دمای سطح زمین در ایران با داده‌های روز هنگام MODIS، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۴)، ۵۱۷-۵۳۲. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60823>
- Alijani, B. (1995). *Weather of Iran*, Tehran, Payam Noor University Publication (In persian).
- Aw, J., & Kleeman, M. J. (2003). Evaluating the first-order effect of intraannual temperature variability on urban air pollution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D12). <https://doi.org/10.1029/2002JD002688>
- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., & Ahmadi, H. (2018). Analysis of daytime land surface temperature in Iran based on the MODIS sensor output. *Environmental Sciences*, 16(1), 47-68 (In persian). <https://civilica.com/doc/1300456>
- Ahmadi, M., Mirzaei, Z. S., & Dadashiroudbari, A. (2021). Investigation of seasonal distribution and abnormal trend of day and night surface temperature in Iran using MODIS sensor data. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(3), 351-364 (In persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.323144.1007615>
- Bounoua, L., Nigro, J., Thome, K., Zhang, P., Fathi, N., & Lachir, A. (2018). A method for mapping future urbanization in the United States. *Urban Science*, 2(2), 40. <https://doi.org/10.3390/urbansci2020040>
- Bartkowiak, P., Castelli, M., & Notarnicola, C. (2019). Downscaling land surface temperature from MODIS dataset with random forest approach over alpine vegetated areas. *Remote Sensing*, 11(11), 1319. <https://doi.org/10.3390/rs11111319>
- Czajkowski, K. P., Goward, S. N., Stadler, S. J., & Walz, A. (2000). Thermal remote sensing of near surface environmental variables: application over the Oklahoma Mesonet. *The Professional Geographer*, 52(2), 345-357. <https://doi.org/10.1111/0033-0124.00230>
- Chopping, M., Moisen, G. G., Su, L., Laliberte, A., Rango, A., Martonchik, J. V., & Peters, D. P. (2008). Large area mapping of southwestern forest crown cover, canopy height, and biomass using the NASA Multiangle Imaging Spectro-Radiometer. *Remote sensing of Environment*, 112(5), 2051-2063. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.024>

- DeVisser, M. H., Messina, J. P., Moore, N. J., Lusch, D. P., & Maitima, J. (2010). A dynamic species distribution model of *Glossina* subgenus *Morsitans*: The identification of tsetse reservoirs and refugia. *Ecosphere*, *1*(1), 1-21. <https://doi.org/10.1890/ES10-00006.1>
- Duan, S.-B., Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., & Tang, R. (2014). Generation of a time-consistent land surface temperature product from MODIS data. *Remote sensing of Environment*, *140*, 339-349. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.003>
- Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. (2020). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid land research and management*, *34*(3), 239-263. <https://doi.org/10.1080/15324982.2019.1694087>
- Ebrahimi-Khusfi, Z., & Soleimani Sardoo, M. (2021). Recent changes in physical properties of the land surface and their effects on dust events in different climatic regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(4), 287. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06664-9>
- Futcher, J. A., Kershaw, T., & Mills, G. (2013). Urban form and function as building performance parameters. *Building and environment*, *62*, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.01.021>
- GÜLERSOY, A. (2014). Seferihisar’da arazi kullanımının zamansal değişimi (1984-2010) ve ideal arazi kullanımı için öneriler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (31), 155-180.
- Ghafarian Malamiri, H. R., Roustaei, F., Olafsson, H., Zare, H., & Zhang, H. (2018). Gap-filling of MODIS time series land surface temperature (LST) products using singular spectrum analysis (SSA). *Atmosphere*, *9*(9), 334. <https://doi.org/10.3390/atmos9090334>
- Ghaderi, A., Azizi, Z., & Abdollahi, K. (2022). Effects of Karun 4 Dam Construction on Climatic Parameters Using Remote Sensing, *Journal of Iranian Dam and Hydropower*, *9*(32), 1-10 (In persian). <https://www.magiran.com/paper/2508510>
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (2001). *Climate change 2001: the scientific basis* (Vol. 881). Cambridge university press Cambridge .
- Huynen, M.-M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., & Kunst, A .E. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental health perspectives*, *109*(5), 463-470. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109463>
- Hereher, M. E. (2019). Estimation of monthly surface air temperatures from MODIS LST time series data: application to the deserts in the Sultanate of Oman. *Environmental monitoring and assessment*, *191*(9), 592. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7771-y>
- Jin, M., & Dickinson, R. E. (2010). Land surface skin temperature climatology: Benefitting from the strengths of satellite observations. *Environmental research letters*, *5*(4), 044004. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>
- Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindsey, J., Charlson, R. J., & Peterson, T. C. (1993). A New Perspective on Recent Global Warming: Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *74*(6), 1007-1024. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<1007:ANPORG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<1007:ANPORG>2.0.CO;2)
- Key, J. R., Collins, J. B., Fowler, C., & Stone, R. S. (1997). High-latitude surface temperature estimates from thermal satellite data. *Remote sensing of Environment*, *61*(2), 302-309. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)89497-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)89497-7)
- Kalma, J. D., McVicar, T. R., & McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, *29*, 421-469. <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9037-z>
- Kaviani, A., Sohrabi, T., & Daneshkar Araste, P. (2013). Estimation of land surface temperature using NDVI in MODIS and Landsat ETM+ imageries. *Journal of Agricultural Meteorology*, *1*(1), 14-25 (In persian). https://www.agrimet.ir/article_87664.html
- Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., & Sahoo, S. (2016). Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0159-x>
- Kok, J. F., Ward, D. S., Mahowald, N. M., & Evan, A. T. (2018). Global and regional importance of the direct dust-climate feedback. *Nature Communications*, *9*(1), 241. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02620-y>
- Kakehmami, A., Ghorbani, A., Asghari Sarasekanrood, S., Ghale, E., & Ghafari, S. (2020). Study of the relationship between land use and vegetation changes with the land surface temperature in Namin County. *Journal Of Rs And Gis For Natural Resources*, *11*(2 (39)), 27-48 (In persian). <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674652>

- Lin, I., Chen, J.-P., Wong, G. T., Huang, C.-W., & Lien, C.-C. (2007). Aerosol input to the South China Sea: Results from the MODerate resolution imaging spectro-radiometer, the quick scatterometer, and the measurements of pollution in the troposphere sensor. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(14-15), 1589-1601. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.05.013>
- Li, Z., Liu, X., Ma, T., Kejia, D., Zhou, Q., Yao, B & ,Niu, T. (2013). Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. *Ecological Modelling*, 270, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.09.004>
- Li, Z., Duan, S., Tang ,B., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Tang, R., & Leng, P. (2016). Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data. *Journal of remote sensing*, 20(5), 899-920 . <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.004>
- Lu, L., Zhang, T., Wang, T., & Zhou, X. (2018). Evaluation of collection-6 MODIS land surface temperature product using multi-year ground measurements in an arid area of Northwest China. *Remote Sensing*,10 (11), 1852. <https://doi.org/10.3390/rs10111852>
- Lin, L., Di, L., Zhang, C., & Guo, L. (2024). The Global Land Surface Temperature Change in the 21st Century—A Satellite Remote Sensing Based Assessment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 1756-1764. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3338980>.
- Makowski, K., Wild, M., & Ohmura, A. (2008). Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(21), 6483-6498 . <https://doi.org/10.5194/acp-8-6483-2008>
- Mattar, C., Franch, B., Sobrino, J., Corbari, C., Jiménez-Muñoz, J., Olivera-Guerra, L., Skokovic, D., Soria, G., Oltra-Carriò, R., & Julien, Y. (2014). Impacts of the broadband albedo on actual evapotranspiration estimated by S-SEBI model over an agricultural area. *Remote sensing of Environment*, 147, 23-42. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.011>
- Moradi, M., Salahi, B., & Masoodian, S. A. (2016). Analysis of land surface temperature gradient of Iran using MODIS Terra and Aqua data. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(4), 517-532 (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60823>.
- Naudts, K., Chen, Y., McGrath, M. J., Ryder, J., Valade, A., Otto, J., & Luyssaert, S. (2016). Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science*, 351(6273), 597-600. <https://doi.org/10.1126/science.aad7270>
- Nabizada, A. F., Roustai ,I., Dalvi, M., Olafsson, H., Siedliska, A., Baranowski, P., & Krzyszczak, J. (2022). Spatial and temporal assessment of remotely sensed land surface temperature variability in Afghanistan during 2000–2021. *Climate*, 10(7), 111 . <https://doi.org/10.3390/cli10070111>
- Oku, Y., Ishikawa, H., Haginoya, S., & Ma, Y. (2006). Recent trends in land surface temperature on the Tibetan Plateau. *Journal of climate*, 19(12), 2995-3003. <https://doi.org/10.1175/JCLI3811.1>
- Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., Delusca, K., Flores-Renteria, D., Hermans, K., Jobbagy, E., Kurz, W., & Li, D. (2019). Land degradation: IPCC special report on climate change, desertification, land 5 degradation, sustainable land management, food security, and 6 greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In *IPCC special report on climate change, desertification, land 5 degradation, sustainable land management, food security, and 6 greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 1). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) .
- Öztürk, M. A., Mermut, A. R., & Celik, A. (2013). *Urbanisation, Land Use, Land Degradation, and Environment*. Daya Publishing House .
- Peón, J., Recondo, C., & Calleja, J. F. (2014). Improvements in the estimation of daily minimum air temperature in peninsular Spain using MODIS land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 35(13), 5148-5166. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.935831>
- Peng, X., Wu, W., Zheng, Y., Sun, J., Hu, T., & Wang, P. (2020). Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China. *Scientific reports*, 10(1), 10451. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67423-6>
- Roustai, I., Olafsson, H., Nasserzadeh, M. H., Zhang, H., Krzyszczak, J., & Baranowski, P. (2021). Dynamics of daytime land surface temperature (LST) variabilities in the Middle East countries during 2001–2018. *Pure and Applied Geophysics*, 178(6), 2357-2377. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02765-4>
- Southworth, J. (2004). An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analysing land cover in tropical dry forest regions. *International Journal of Remote Sensing*, 25(4), 689-706. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139917>

- Seto, K. C., Sánchez-Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual review of environment and resources*, 35, 167-194. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125336>
- Stone, B., Vargo, J., & Habeeb, D. (2012). Managing climate change in cities: Will climate action plans work? *Landscape and urban planning*, 107(3), 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.05.014>
- Soltani, M., Laux, P., Kunstmann, H., Stan, K., Sohrabi, M., Molanejad, M., Sabziparvar, A., Ranjbar SaadatAbadi, A., Ranjbar, F., & Roustai, I. (2016). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 126,775- 795. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1609-5>
- Solangi, G. S., Siyal, A. A., & Siyal, P. (2019). Spatiotemporal dynamics of land surface temperature and its impact on the vegetation. *Civil Engineering Journal*, 5(8), 1753-1763. <https://doi.org/10.28991/ccj-2019-03091368>
- Shakiba, F., Roustai, I., Mazidi, A., & Olafsson, H. (2024). Spatial and temporal variation of day and night time land surface temperature and its drivers over Iran's watersheds using remote sensing. *Earth Science Informatics*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01344-0>
- Ustrnul, Z., Woyciechowska, J., & Wypych, A. (2023). Relationships between Temperature at Surface Level and in the Troposphere over the Northern Hemisphere. *Atmosphere*. <https://doi.org/10.3390/atmos14091423>.
- Van De Kerchove, R., Lhermitte, S., Veraverbeke, S., & Goossens, R. (2013). Spatio-temporal variability in remotely sensed land surface temperature, and its relationship with physiographic variables in the Russian Altay Mountains. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 20, 4-19. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.09.007>
- Wan, Z. (2014). New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote sensing of Environment*, 140, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.027>
- Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2014). Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote sensing of Environment*, 145, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.003>
- Yang, J., El-Kassaby, Y. A., & Guan, W. (2020). The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. *Scientific reports*, 10(1), 16465. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73496-0>
- Zhao, T., Guo, W., & Fu, C. (2008). Calibrating and evaluating reanalysis surface temperature error by topographic correction. *Journal of climate*, 21(6), 1440-1446. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1463.1>
- Zhou, W., Peng, B., Shi, J., Wang, T., Dhital, Y. P., Yao, R., Yu, Y., Lei, Z., & Zhao, R. (2017). Estimating high resolution daily air temperature based on remote sensing products and climate reanalysis datasets over glacierized basins: a case study in the Langtang Valley, Nepal. *Remote Sensing*, 9(9), 959. <https://doi.org/10.3390/rs9090959>
- Zhang, X., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2017). An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables. *Sustainable cities and society*, 32, 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.005>
- Zhang, Q., Feng, T., Wang, M., Yang, G., Lu, H., & Sun, W. (2023). A Twenty-Year Assessment of Spatiotemporal Variation of Surface Temperature in the Yangtze River Delta, China. *Remote Sensing*, 15(9), 2274. <https://doi.org/10.3390/rs15092274>