



Research Paper

Investigating the Effect of Global Warming on Increasing the Risk of Wildfires in Iran



*Niloofar Mohammadi¹ , Zahra Hejazizadeh¹

1. Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.



Citation Mohammadi N, Hejazizadeh Z. [Investigating the Effect of Global Warming on Increasing the Risk of Wildfires in Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 2023; 13(3):296-317. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.3.521.2>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.3.521.2>



ABSTRACT

Background and objective Today, Iran is one of the most vulnerable countries to climate change due to its geographical and climatic features. One of the most important negative effects of climate change is the increase in temperature, which can increase the risk of wildfires. Wildfires are an environmental challenge and one of the threats to a large part of the forests in the world, including Iran. This study aims to investigate the effect of global warming on the increase in the risk of wildfires in Iran by using remote sensing technology and spatial analysis.

Method The temperature data of the synoptic stations (Mehrabad, Yazd, Bam, Shiraz, Isfahan and Bushehr) in a 32-year period from 1988 to 2020 were first prepared from the Meteorological Organization. Then, Excel macros and XLSTAT plugin were used to check the temperature trend. To identify the vegetation cover, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used from the Landsat 8 satellite with a spatial resolution of 27.84 meters, whose source of data was the Google Earth Engine. Then, the parameters of elevation, slope, aspect, and amount of solar radiation were used to calculate the topography. To identify the spatial distribution of fire occurrence, the kernel density estimation (KDN) was used by classification of areas into low-risk and high-risk areas based on NASA's MODIS C6 satellite images (2000-2023).

Results The results of examining the temperature trend in all stations in the 32-year period showed an increasing and significant trend at 95 and 99% confidence intervals. This could be due the increase of greenhouse gases in urban centers, which is logical. The results of the NDVI showed that areas with high vegetation density were more susceptible to wildfires. Investigation of the solar radiation area showed that the northern highlands of Tehran, the banks of the Caspian Sea and northern areas of Iran, northwestern Iran (Ardebil and Tabriz cities), and central Iran (Kerman, Isfahan, Yazd and Shiraz cities) had a high pixel value, indicating that the amount of solar radiation was higher in these regions than in other regions of Iran. Finally, the spatial distribution map and the KDN showed that the provinces of Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad and Khuzestan were more prone to a wildfires.

Conclusion Iran has faced climate change caused by global warming. Considering the new climate of Iran, which will be hotter and dryer, it will be more prone to wildfires. Therefore, comprehensive planning to reduce the effect of climate change is needed in the field of crisis management in Iran, which can help reduce the vulnerability and increase resilience.

Keywords Wildfires, Climate change, Spatial analysis, Crisis management, Natural hazards

Article Info:

Received: 20 Aug 2023

Accepted: 14 Sep 2023

Available Online: 01 Oct 2023

* Corresponding Author:

Niloofar Mohammadi

Address: Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 88329220

E-mail: lotusclimatology@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Iran is one of the most vulnerable countries to climate change due to its geographical and climatic features. One of the most important negative effects of climate change is the increase in temperature, which can increase the risk of wildfires. A change in the average temperature can affect the entire ecosystem. It can even cause an increase in disasters such as droughts, floods, and other hazards. On the other hand, climate change can cause changes in subtropical jet streams, which makes the regions in the middle earth prone to wildfires. Wildfires have been an environmental challenge and one of the threats to a large part of the forests in the world, including Iran. Problems such as increased average temperature, decreased precipitation, relative humidity, increased drought and hot winds play an important role in the extent and frequency of wildfires in Iran. It is very important to investigate the relationship between climatic change and Wildfires in Iran, which are mostly seasonal. Therefore, this study aims to investigate the effect of global warming on the increase in the risk of wildfires in Iran by using remote sensing technology and spatial analysis.

Methods

The temperature data of the synoptic stations (Mehrabad, Yazd, Bam, Shiraz, Isfahan and Bushehr) in a 32-year period from 1988 to 2020 were prepared from the [Meteorological Organization](#). Then, to examine the trend of temperature change, the Excel Macros and XLSTAT plugin software, were used at 95-99% confidence intervals. To identify the vegetation cover, the normalized difference vegetation index (NDVI), was used (which is the selected index for assessing the risk of wildfires in the stations) from the Landsat 8 satellite with a spatial resolution of 27.84 meters, whose source of data is the [Google Earth Engine \(GEE\)](#). This index indicates the area affected by the fire and its value ranges between -1 and 1. In the next step, to prepare a vegetation map, 10-m resolution land cover 2017 satellite images were extracted from the [GEE](#). Since the topography is the most stable factor in the fire behavior triangle, the elevation, slope and aspect are among the features that affect the spread of fire. Therefore, these parameters (elevation, slope, aspect, and the amount of solar radiation) were used to calculate topography. To measure the amount of solar radiation, we used the ArcGIS software, and its Spatial Analyst toolbox to calculate solar radiation between 4 am and 9 PM, based on watt hours per square meter (WH/m²). In the

last step, to identify the spatial distribution of fire occurrence, the Kernel density estimation (KDE) in the ArcMAP was used by classification of the areas into low-risk and high-risk zones based on the MODIS satellite data (2000-2023).

Results

The results of the temperature change trend analysis at all stations (Mehrabad, Yazd, Bam, Shiraz, Isfahan and Bushehr) in a 32-year period showed a significant upward trend at 95 and 99% confidence intervals. The climate of these areas was undergoing an increasing trend of temperature change and relative warming, and these stations were becoming warmer. The temperature variable in these areas has a trend. It can be due to the increase in greenhouse gases caused by industrial growth, population growth, urban development, and land use changes in big cities of Iran such as Tehran, Isfahan, and Shiraz. The results of some months at the stations were very similar, especially in July. The results of the NDVI showed that areas with high vegetation density were prone to fire. The study of the solar radiation area in the northern highlands of Tehran, in the Caspian coast areas and the northern areas of Iran, northwestern Iran (Ardabil and Tabriz cities), and central Iran (Kerman, Isfahan, Yazd and Shiraz cities) had high pixel values, indicating that the solar radiation received was higher in these areas than in other parts of Iran. Finally, the zone mapping of first occurrence based on the KDE in Iran during 2000-2023 showed 455404 cases of wildfires. According to the zoning map, the provinces of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad and Khuzestan had experienced the most cases of wildfires and were at higher risk of increased wildfires.

Conclusion

In Iran, due to the increase in temperature and considering its geographical location as well as the migration of westerly winds to higher latitudes, less precipitation occurs. As a result, dry climate occur in Iran, which can increase the risk of wildfires in susceptible areas. Therefore, Iran has faced climate change caused by global warming. Considering the new climate of Iran, which will be hotter and drier, it will be more prone to wildfires. Thus, a comprehensive planning to reduce the effect of climate change is needed in the field of crisis management in Iran. It can help reduce vulnerability and increase resilience.



Ethical Considerations

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

Software/statistical analysis and original draft preparation: Niloofar Mohammadi; Supervision, controlling the results: Zahra Hejazizadeh; Resources, review and editing: All authors.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

بررسی اثرات گرمایش جهانی بر افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگل‌های ایران

* نیلوفر محمدی^۱، زهرا حجازی‌زاده^۱

۱. گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Citation Mohammadi N, Hejazizadeh Z. [Investigating the Effect of Global Warming on Increasing the Risk of Wildfires in Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 2023; 13(3):296-317. <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.3.521.2>doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.13.3.521.2>

حکیده



زمینه و هدف: امروزه ایران به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی، یکی از آسیب‌پذیرترین کشورها در برابر تغییرات اقلیمی است. یکی از مهم‌ترین تأثیرات منفی تغییر اقلیم افزایش دما بوده که می‌تواند از این‌پس موجب افزایش خطر آتش‌سوزی جنگلی شود. پدیده آتش‌سوزی جنگلی به‌عنوان یک چالش زیست‌محیطی و یکی از مخاطراتی است که بخش وسیعی از جنگل‌های جهان را تهدید می‌کند و ایران از این قاعده مستثنا نبوده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر گرمایش جهانی بر افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگل‌های ایران با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و تحلیل فضایی بوده است.

روش: داده‌های پارامتر دمای ایستگاه‌های سینوپتیک (مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر) طی دوره مشترک ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ در بازه زمانی ۳۲ ساله، از سازمان هواشناسی دریافت شد. سپس برای بررسی روند دما از ماکرو آکسل و افزونه XLSTAT بهره گرفته شد. به‌منظور شناسایی پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و از داده‌های ماهواره لندست ۸ استفاده شد و نقشه پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای Land Cover 10m 2017 در محیط آرث انجین استخراج شد. سپس برای محاسبه توپوگرافی از معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب و پهنه سطوح تابش خورشیدی بهره گرفته شد. جهت شناسایی پراکندگی و تهیه نقشه تراکم کرنل مناطق آتش‌سوزی جنگلی، براساس طبقه‌بندی مناطق کم‌خطر و پرخطر، از داده‌های سنجنده MODIS C6 ناسا طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج بررسی روند دما در کلیه ایستگاه‌ها طی دوره ۳۲ ساله، روندی افزایشی و معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد بود. این می‌تواند ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در مراکز شهری باشد که قابل توجه است. نتایج بررسی شاخص پوشش گیاهی مناطق دارای تراکم پوشش گیاهی را مستعد خطر آتش‌سوزی نشان داد. بررسی پهنه سطوح تابشی در مناطق ارتفاعات شمالی تهران، در نواحی کناره‌های خزری و پهنه‌های شمالی ایران، شمال غرب ایران (اردبیل و تبریز)، نواحی مرکزی (کرمان، اصفهان، یزد و شیراز) از ارزش پیکسلی بالایی برخوردار بودند. یعنی میزان پهنه دریافتی تابشی خورشیدی در این مناطق نسبت به سایر مناطق ایران بیشتر بوده است. در نهایت نقشه پراکندگی نقاط و شدت تراکم کرنل نشان داد استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان مستعد ریسک بالاتری از آتش‌سوزی جنگلی هستند.

نتیجه‌گیری: ایران با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی مواجه شده است. اقلیم جدید ایران هوای گرم‌تر و خشک‌تری را سپری خواهد کرد و بیشتر مستعد آتش‌سوزی جنگلی خواهد بود. بنابراین طرح برنامه‌ای جامع برای کاهش اثر تغییر اقلیم و آینده‌نگری‌های اقلیمی از حیث مدیریت بحران در ایران باید مورد توجه قرار گیرد که این امر موجب کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: آتش‌سوزی جنگلی، تغییر اقلیم، تحلیل فضایی، مدیریت بحران، مخاطرات طبیعی

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۹ مرداد ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۴۰۲

تاریخ انتشار: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

* نویسنده مسئول:

دکتر نیلوفر محمدی

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه آب و هواشناسی.

تلفن: ۸۸۳۲۹۲۲۰ (۲۱) ۹۸+

پست الکترونیکی: lotusclimatology@gmail.com



مقدمه

افتاد. زمانی که آتش‌سوزی جنگلی سرتاسر شمال نیوبرانزویک را دربر گرفت و در کمتر از ۳ ساعت جمعیت هزار نفری این شهر را نابود و شهر را ویران کرد. این یکی از بزرگ‌ترین آتش‌سوزی‌های جنگلی است که در تاریخ آمریکای شمالی ثبت شده است (تیلور، ۲۰۰۰). بعد از آن در گوشه‌وکنار جهان آتش‌سوزی‌های جنگلی پدیدار شد که علاوه بر ویرانی جنگل‌ها مشکلات زیست‌محیطی هم به همراه داشت. در واقع آتش‌سوزی‌ها علاوه بر خطر برای امنیت انسانی، اثرات منفی روی سلامت، بهداشت و اقتصاد منطقه‌ای هم دارند. آتش‌سوزی‌های مهیب علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی، آلودگی‌های زیست‌محیطی را به دنبال دارند (گری، ۱۳۹۵). طی سالیان اخیر، تغییر اقلیم ناشی از گرمایش زمین، میزان آتش‌سوزی جنگل را در سطح جنگل‌های اوراسیا، کالیفرنیا و پرتغال افزایش داده است (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰). قسمتی از مناطق درگیر با آتش‌سوزی جنگلی: در سال ۱۸۹۴ در ایالات متحده شهر هینکلی یکی از بزرگ‌ترین آتش‌سوزی‌های جنگلی را تجربه کرد که موجب شد ۵ شهرک و روستای مجاور این شهر ویران شوند. پس از آن بزرگ‌ترین آتش‌سوزی‌های جنگلی در جنگل‌های ملی مونتانا در سال ۱۹۶۹، آتش‌سوزی جنگلی در سال ۱۹۳۹ و سال ۲۰۲۳ در کانادا و سال ۲۰۱۸ در استرالیا رخ داده است. در واقع در جهان مناطقی هستند که آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کرده‌اند. طی سال‌های اخیر، اثر تغییر اقلیم و گرمایش زمین به وخیم شدن وضعیت آتش‌سوزی‌های سالانه در این کشورها (آتش‌سوزی اخیر کانادا در سال ۲۰۲۳ و استرالیا در سال ۲۰۱۸) انجامیده است (تارنمای سازمان هواشناسی کانادا، ۲۰۲۳). طبق شواهد تاریخی، وقوع آتش‌سوزی‌های جنگلی از سال ۱۹۸۴، ۲ برابر شده است و می‌توان این آتش‌سوزی‌ها را با گرم شدن زمین مرتبط دانست (منصور و همکاران، ۲۰۲۲). آتش‌سوزی‌های جنگلی، همچنین بخش مهمی از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را در هر سال به همراه دارند، به طوری که می‌توانند تغییرات آب‌وهوایی را تشدید کنند (اوپیتز، ۲۰۲۳). کشور ایران در یکی از کمربندهای خشک زمین واقع شده است. بیابان‌های پرفشار و غوطه‌ور نیمه‌گرمسیری برای تقریباً ۷۵ درصد از مناطق کشور شرایط خشک و نیمه خشک ایجاد کرده است. علاوه بر این خشکی طبیعی، تغییرات اقلیمی نیز از نظر میزان و همچنین مقادیر شدید بارندگی در مناطق مختلف، ایران را تحت تأثیر و همانند بسیاری از کشورهای در معرض پدیده‌های اقلیمی قرار داده است. شواهد و داده‌های تاریخی هواشناسی و پیش‌بینی‌های صورت گرفته از وضعیت اقلیم ایران، مشابه سایر مناطق دنیا نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و ادامه این روند در آینده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). این امر به نوبه خود باعث تشدید مشکلات اقلیمی و زیست‌محیطی خواهد شد (محمدی، ۱۴۰۰). ایران جزو کشورهای کم‌جنگل و در ردیف ۵۶ کشور تهری از لحاظ جنگلی در جهان قرار دارد و هر ساله شاهد سوختن چند هزار هکتار از جنگل است. براساس گزارش سازمان

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین مسائل پیش‌روی بشر در قرن ۲۱ بوده است. در سال ۱۹۹۵ هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم در دومین گزارش خود تأکید کرد اثرات انسانی به‌طور قابل‌توجهی اقلیم جهانی را تحت تأثیر قرار داده است. یکی از نتایج این تغییرات، افزایش میانگین دمای جهانی در حدود ۰/۷ درجه سلسیوس از نیمه دوم قرن گذشته است. مطالعات جدید نشان داده‌اند افزایش درجه حرارت از دوره قبل از انقلاب صنعتی به ۰/۸۵ درجه سلسیوس رسیده است (آلن و همکاران، ۲۰۱۸؛ محمدی، ۱۴۰۰). تغییر در میانگین دما، افزایش احتمال آن را در آینده تغییر می‌دهد که می‌تواند تمام اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد. یکی از مهم‌ترین تأثیرات منفی تغییر اقلیم افزایش دماست که می‌تواند از این پس موجب افزایش فرین‌ها نظیر خشکسالی‌ها، بارش‌های رگباری و خطر آتش‌سوزی جنگلی و غیره در زمان‌های مختلف و از مکانی به مکان دیگر شود (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷؛ محمدی، ۱۴۰۰؛ شجاعی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲). افزایش پدیده‌های فرین یکی از تبعات تغییر اقلیم است و فرین‌ها وقوع آتش در جنگل‌ها را تشدید می‌کنند. از سوی دیگر تغییرات اقلیمی در کره زمین سبب شده است که رودخانه‌های جنوب حاره‌ای تغییراتی کنند. این تغییرات به‌ویژه مناطق میانی کره زمین را مستعد آتش‌سوزی‌های اقلیمی می‌کنند. آتش‌سوزی فرایندی شیمیایی است. که در شکل‌گیری آن ۳ عامل مواد سوختنی، دما و اکسیژن نقش دارند. این عوامل ۳ ضلع اصلی آتش‌سوزی را شکل داده است. هرگاه یکی از این عوامل وجود نداشته باشد آتش‌سوزی رخ نخواهد داد. با اندک توجهی مشخص می‌شود که ۲ مورد از این ۳ عامل با شرایط جوی مرتبط هستند؛ یعنی دما و وزش باد، که با تأمین اکسیژن باعث گسترش آتش‌سوزی می‌شوند. پس شرایط هوا نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد و گسترش آتش‌سوزی دارد. گاهی شرایط جوی به‌گونه‌ای است که دمای محیط بالاست و رطوبت نسبی کاهش می‌یابد، این وضعیت به‌خصوص اگر با وزش باد گرم همراه باشد، زمینه را برای آتش‌سوزی جنگل‌ها مهیا می‌کند (واستل و همکاران، ۲۰۱۲؛ محمدی و یلمه، ۱۳۹۲). به موجب این امر شرایط اقلیمی، اثرات قابل‌توجهی در رژیم‌های آتش‌سوزی جنگل‌های جهان داشته است (اسکندری، ۱۴۰۰). بنابراین امروزه مسئله گرمایش جهانی و جنگل‌هایی که بر اثر آن دچار حریق می‌شوند، بسیار مورد توجه است. پدیده آتش‌سوزی جنگلی به‌عنوان یک چالش زیست‌محیطی و یکی از مخاطراتی است که بخش وسیعی از جنگل‌های جهان را تهدید می‌کند. طی سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش دمای ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌طور قابل‌توجهی بر جنگل‌ها در مقیاس جهانی تأثیر گذاشته است (دیفنباگ، ۲۰۲۱). ریشه این پدیده به آتش‌سوزی جنگلی‌ای برمی‌گردد که اکتبر سال ۱۸۲۵ اتفاق

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

این است، افزایش دما تا چه میزان در ریسک خطر آتش‌سوزی جنگل‌های ایران مؤثر بوده است؟ از آنجاکه تاکنون پژوهشی با رویکرد بررسی اثر گرمایش جهانی و افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگلی صورت نگرفته بود، تصمیم گرفته شد در این زمینه تحقیقی صورت گیرد، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از معیار، روش و داده‌های جدیدتر با رویکرد هشدار و مدیریت بحران به این مهم پرداخته شود. اما پیشینه و گذشته گرمایش جهانی برمی‌گردد به زمانی که تغییر در الگوهای آب‌وهوایی در طولانی‌مدت تغییر اقلیم را پدید آورد. به‌طوری‌که تقریباً یک قرن طول کشید تا پس از تحقیق و مطالعه، جوامع علمی متقاعد شوند که فعالیت‌های انسانی می‌تواند آب‌وهوای زمین را تغییر دهد. در دهه اول قرن نوزدهم آزمایشاتی انجام شد که از وجود دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای تولیدشده توسط انسان خبر می‌داد که می‌توانند در جو جمع شوند و افزایش یابند. از اینجا بود که جوامع بشری با نگرانی‌هایی روبه‌رو شدند. کالندر در سال ۱۹۳۸ بر این باور بود که فعالیت‌های انسان باعث گرم شدن زمین می‌شود. این باور در سال‌های اخیر تأیید شده است (عزیزی، ۱۳۸۳). بنابراین از ۲۰۰ سال قبل با روی آوردن بشر به استفاده از سوخت‌های فسیلی و صنعتی شدن و رشد جوامع شهری در ۱۰۰ صد سال اخیر و همچنین استخراج نفت و زغال‌سنگ و مصرف روزافزون آن‌ها، تولید گازهای گلخانه‌ای به‌سرعت افزایش پیدا کرد. این گازها که ترکیبی از بخار آب، گاز کربنیک، متان، دی‌اکسید و نیتروژن است با چنان سرعتی در حال افزایش است که حفظ تعادل آن با انحلال سنگ‌ها و رسوب آهک در دریاها هم امکان‌پذیر نیست. بدین جهت به منظور اندازه‌گیری دمای هوای کره زمین تحقیقاتی از سال ۱۸۸۰ آغاز شده و تاکنون ادامه دارد. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم هر دو بر محیط‌زیست و زندگی بشر اثر می‌گذارند. در اوایل دهه ۲۰۰۰ زمینه جدیدی از تحقیقات علوم اقلیمی ظهور کرد و کشف اثر دخالت‌های انسانی در شرایط آب‌وهوای فرین مانند سیل، موج گرما، خشکسالی، طوفان و آتش‌سوزی آغاز شد. طبق مطالعاتی که دانشمندان از شرایط آب‌وهوایی در سراسر جهان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی خطر برخی از شرایط آب‌وهوایی فرین، به‌ویژه مرتبط با گرما را افزایش می‌دهند (محمدی، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم و آتش‌سوزی جنگلی ۲ مخاطره محیطی مرتبط با یکدیگر هستند که در ایران مشکلات زیادی ایجاد کرده‌اند. تغییر اقلیم موجب خشکسالی و افزایش دما می‌شود که این امر باعث خشک شدن پوشش گیاهی و افزایش خطر آتش‌سوزی جنگلی می‌شود که این نیز موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و به تغییر اقلیم دامن می‌زند. این ۲ پدیده (تغییر اقلیم و آتش‌سوزی جنگلی) به‌عنوان یک چالش علمی، اجتماعی و زیست محیطی باقی مانده‌اند. امروزه مطالعات گسترده‌ای درباره آن‌ها شده است که پاره‌ای از آن‌ها در ادامه تشریح می‌شوند. **زادنونوری (۱۳۸۱)** در پژوهشی به بررسی آماری نقش عناصر اقلیمی در آتش‌سوزی

غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو)^۲ بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ به‌طور متوسط سالانه ۶۵۰۰ هکتار از مناطق جنگلی ایران بر اثر آتش‌سوزی از بین رفته‌اند که این آتش‌سوزی‌ها مرتبط به عوامل اقلیمی و انسانی بوده است. بنابراین ایران هم یکی از کشورهایی است که با خطر بالایی از نظر رخداد آتش‌سوزی در مناطق جنگلی روبه‌رو است (نجفی و همکاران، ۱۳۹۴). طی سال‌های گذشته گرم شدن زمین از مهم‌ترین عواملی بوده است که موجب افزایش ریسک آتش‌سوزی در مناطق جنگلی ایران شده است. مشکلاتی از جمله افزایش میانگین درجه حرارت، کاهش بارش و رطوبت نسبی، افزایش خشکسالی و بادهای گرم نقش مهمی در وسعت، شدت و فراوانی آتش‌سوزی در مناطق جنگلی ایران داشته‌اند. شدت آتش‌سوزی تابع شرایط اقلیمی محلی است که آتش‌سوزی در آن رخ داده است. در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱ حدود ۵۳۵۷ هکتار مناطق جنگلی ایران دچار آتش‌سوزی شده که ۲۱۵۵ هکتار آن تنها برای شمال کشور بوده است (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ خالقی، ۱۳۹۴). بیشتر آتش‌سوزی‌های جنگلی ایران فصلی بوده است. اکثر این آتش‌سوزی‌ها در فصول کم‌بارش و خشک در تابستان رخ داده است (اسکندری، ۱۳۹۴؛ صالحی و زارعی، ۱۳۹۷؛ رضوی و همکاران، ۱۳۹۹؛ اوپیتز، ۲۰۲۳). بنابراین ملاحظات به سوی در نظر گرفتن تأثیرات منفی این معضل جدی جهانی بر سامانه‌های زیست‌محیطی و بخش‌های مختلف اجتماعی و اقتصادی و بهداشتی جوامع انسانی است. به همین دلیل مدیریت ریسک‌های مرتبط با اقلیم و شرایط آب‌وهوایی به یک فعالیت کلیدی مهم در جوامع انسانی مبدل شده است (هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیمی، ۱۹۹۷؛ ویلی، ۲۰۰۷). بدین جهت بررسی رابطه بین متغیرهای اقلیمی و آتش‌سوزی اهمیت زیادی دارد. زیرا به دلیل تغییرات اقلیمی و افزایش روند دما، الگوی آتش‌سوزی‌های جنگلی نیز تغییر کرده است (اسکندری و جلیوند، ۱۳۹۶؛ بلچر و همکاران، ۲۰۱۰؛ بی و همکاران، ۲۰۱۷). از این جهت ارائه راه‌حل در هر زمان و مدیریت این پدیده زیان‌بار همواره ایدئال برنامه‌ریزان محیط‌زیست و مدیران بوده است. پیش‌بینی مناطق دارای ریسک بالای آتش‌سوزی جنگلی یکی از برنامه‌های اجرایی ضروری بوده که برای مدیریت در عرصه‌های طبیعی باید صورت گیرد.

هدف از این پژوهش بررسی اثر گرمایش جهانی بر افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگل‌های ایران با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و تحلیل فضایی بوده است. جنبه نوآوری و تفاوت پژوهش حاضر با سایر مطالعات صورت گرفته در ایران این بوده است که برای اولین بار ارتباط بین اثر گرمایش جهانی بین آتش‌سوزی جنگلی در ایران با روش آماری و تلفیق فناوری سنجش از دور و تحلیل فضایی کار شده است. تاکنون پژوهشی نبوده است که گرمایش جهانی را نسبت به آتش‌سوزی جنگلی دهد. حال سؤال

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)



عوامل تشدیدکننده ریسک آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده، ناشی از گرمایش جهانی است و خشک شدن پوشش گیاهی و وزش باد شدید، سبب گسترش آتش می‌شود. **پیتمان و همکاران (۲۰۰۵)** به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خطر آتش‌سوزی جنگل در استرالیا با بهره‌گیری از مدل‌های اقلیمی با کیفیت خوب پرداختند. نتایج نشان دادند افزایش وقوع آتش‌سوزی در استرالیا به احتمال زیاد ناشی از تغییرات شدید آب‌وهوا بوده است. **پریچارد و همکاران (۲۰۲۱)** به بررسی سازگاری جنگل‌های غرب آمریکای شمالی با تغییرات اقلیمی و آتش‌سوزی جنگلی پرداختند. در نتایج این مطالعه به اقدامات مدیریتی برای همگام شدن با تغییر رژیم‌های اقلیمی و آتش‌سوزی و راهکارهای کاهش حریق‌های جنگلی تأکید شده است. گرچه مدل‌های مدیریتی آتش‌سوزی استفاده‌شده در این مطالعه دارای عدم قطعیت‌هایی بوده است، اما در این مدل‌ها پیامدهای ناخوشایند بلندمدت زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی را برآورد کرده است. **لی و بانرجی (۲۰۲۱)** به بررسی روند زمانی و مکانی آتش‌سوزی جنگل‌های کالیفرنیا در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان دادند در طول ۲ دهه گذشته، فراوانی و وسعت آتش‌سوزی‌های کوچک به‌سرعت روند افزایشی داشته است و به‌طور گسترده در مرکز و غرب کالیفرنیا پراکنده شده‌اند. باتوجه‌به بررسی منابع داخلی و خارجی در دسترس مشخص شد در درجه اول اهمیت، آنچه به‌عنوان شکاف دانش موضوعی در این مطالعات قابل‌ملاحظه است، نوپا بودن و عدم سابقه توجه به مقوله بسیار مهم تأثیر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر تشدید آتش‌سوزی جنگلی، به‌ویژه از منظر عملکرد سامانه‌های جوی کنترل‌کننده در منطقه مطالعاتی است. براین اساس از نظر دانش آب‌وهواشناسی، داشتن دیدگاهی جامع به منظور بالا بردن آگاهی تخصصی مسئولان مرتبط از چگونگی تدوین استراتژی‌ها و اتخاذ سیاست برای جلوگیری از افزایش ریسک ضروری است.

روش

ایران در موقعیت جغرافیایی عرض شمالی $25^{\circ}3'$ تا $39^{\circ}47'$ و طول جغرافیایی $44^{\circ}5'$ تا $63^{\circ}18'$ قرار دارد. این کشور در جنوب غربی آسیا واقع شده و جمعیتی حدود ۸۰ میلیون نفر دارد. از لحاظ توپوگرافی بسیار ناهموار است و بین ارتفاع ۱۰ تا ۳۰۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. همچنین دارای ۲ رشته‌کوه زاگرس با جهت شمال غربی به جنوب شرقی و رشته‌کوه البرز با جهت شمال غربی به شمال شرقی است. اقلیم ایران باتوجه‌به توپوگرافی آن متفاوت است. رشته‌کوه البرز و زاگرس از رسیدن جریان مرطوب خزری و مدیترانه‌ای به داخل کشور جلوگیری می‌کنند و می‌توانند تمام سیستم‌های جوی که بر اقلیم ایران اثر دارد را تقویت یا ضعیف کنند. میانگین بارش در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که به میزان ۳/۱ نسبت به میانگین جهانی کمتر است. دامنه حرارتی این کشور بین منهای ۲۰ درجه تا بالای ۵۰

جنگلی شفاورد پرداخت. نتایج نشان دادند پارامترهای باد، رطوبت نسبی و دما همبستگی معنی‌داری دارند و عامل صاعقه در این آتش‌سوزی‌ها بارزتر بوده است. **بذرافشان و همکاران (۱۳۸۶)** در پژوهشی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی جنگل و مرتع، به معرفی و چگونگی استفاده از شاخص‌های پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی‌ها پرداختند. شاخص خطر آتش‌سوزی جنگل مک آر تور، شاخص مولگان و شاخص هاینس در کنار شاخص‌های اقلیمی می‌توانند وقوع آتش‌سوزی‌های محتمل را پیش‌بینی کنند. **مساعدی و همکاران (۱۳۹۰)** در تحقیقی به آشکارسازی تغییرات آب‌وهوایی و تأثیر آن‌ها بر آتش‌سوزی در عرصه‌های طبیعی پرداختند. در این تحقیق از داده‌های اقلیمی ۵ ایستگاه سینوپتیک به‌عنوان نمونه در سطح کشور بهره گرفته شده است. نتایج این تحقیق در سطح ۹۵ درصد، روند افزایشی دما را در پنج ایستگاه (اصفهان، اهواز، تبریز، زاهدان، مشهد) نشان داده است. میزان بارش در ایستگاه‌های زاهدان، تبریز و اصفهان در نیمه دوم روند کاهشی، اما در ایستگاه‌های مشهد و اهواز روند افزایشی بوده است. باتوجه‌به این نتایج اثر تغییر اقلیم بر افزایش احتمال وقوع آتش‌سوزی‌های جنگلی دو چندان می‌شود. **رضوی و همکاران (۱۳۹۹)** در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت آتش‌سوزی جنگل‌های معتدل در آمریکا تحت سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد میانگین دما، تحت سناریوی خوشبینانه RCP2.6 زیر ۱ درجه خواهد بود. این در حالی بوده است که در سایر سناریوها خطر جدی آتش‌سوزی جنگلی در نواحی معتدل آمریکا بالاست. اما جنگل‌های مناطق سردسیر باتوجه‌به بدبینانه‌ترین سناریو RCP8.5 مقدار میانگین دما بیش از ۲/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. بنابراین تعداد وسعت آتش‌سوزی جنگلی در این مناطق تحت بدبینانه‌ترین سناریو بسیار بالا خواهد بود. **شجاعی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)** به بررسی تغییرات زمانی و مکانی طی یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰) در مناطق با آتش‌سوزی فعال جنگلی در ایران با استفاده از سنجنده مادیس پرداختند. نتایج نشان دادند بیشینه رخداد آتش‌سوزی‌های جنگل در ماه‌های گرم و خشک سال در نواحی غربی ایران در رویشگاه زاگرس رخ داده است که این نواحی جزء کانون‌های فعال آتش‌سوزی هستند. در مطالعه‌ای **تورن و فرید (۱۹۹۲)** به پیش‌بینی اثرات گرمایش زمین بر آتش‌سوزی در کالیفرنیا پرداختند. در بررسی این تحقیق از مدل گردش عمومی جو^۳ و متغیرهای سرعت باد، دما، بارش و رطوبت بهره گرفته شده است. طبق نتایج بیشترین اثر گرمایش جهانی بر وقوع آتش‌سوزی که پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در علفزارهای کالیفرنیا شمالی بوده است. **مارگارت و همکاران (۱۹۹۸)** به بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده و ارزیابی مقابله با آتش در کالیفرنیا پرداختند و مدل‌های آتش‌سوزی دپارتمان جنگل کالیفرنیا را با مدل اقلیم جهانی مؤسسه گودارد تلفیق کردند. نتایج نشان دادند

3. General Circulation Model (GCM)



است (بارانی و کرمی، ۱۳۹۸). بنابراین از ماکرو اکسل و افزونه XL-STAT در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد ایستگاه‌های مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر جهت محاسبه با آماره Z بهره گرفته شد (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱). سپس در مرحله دوم برای تهیه نقشه پراکندگی نواحی آتش‌سوزی جنگلی، از محصولات ماهواره‌ای سنجنده مودیس بهره گرفته شد. ابتدا شیپ فایل^۴ مناطق آتش‌سوزی جنگلی، از سایت ناسا^۵ با سنجنده MODIS C6 در بازه زمانی ۲۳ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳) و تا آخرین آتش‌سوزی که تا اول ژوئیه ۲۰۲۳ رخ داده است، دریافت شد. سپس به‌منظور شناسایی پوشش گیاهی در داده‌های ماهواره‌ای از شاخص پوشش گیاهی^۶ که شاخص منتخب برای بررسی ریسک خطر آتش‌سوزی جنگلی در ایستگاه‌های مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر بوده است استفاده شد. از ماهواره لندست ۸ (مشاهده‌گر زمینی^۷) با قدرت تفکیک مکانی ۲۷/۸۴ (۳۰) متر بهره گرفته شده که منبع داده و تولید آن سامانه آرث انجین است. شاخص پوشش گیاهی نشان‌دهنده توزیع ماده سوختنی است و ارزش آن بین ۱- و ۱ در نوسان است (شجاعی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲). برای به دست آوردن نقشه پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای Land Cover 10m 2017 در محیط آرث انجین استفاده شد. در نهایت برای محاسبه توپوگرافی از معیارهای ارتفاع، شیب و جهت شیب که عامل اصلی تعیین میزان تابش خورشیدی هستند و می‌توانند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر فرایندهای بیوفیزیکی نظیر گرما اثرگذار باشند استفاده شد. معیار دیگر محاسبه سطح تابش خورشیدی^۸ است که رستر ورودی به یک رستر سطح ارتفاع ورودی و یک لایه رقمی ارتفاع (DEM 30 M) اشاره دارد. از محیط ARC MAP نسخه ۱۰/۴/۱ (دبیه و ریچ، ۱۹۹۵)، به کار گرفته شده است. در گام آخر برای شناسایی شناخت توزیع الگوی مکانی نقاط آتش‌سوزی که یک گام مهم در آنالیز اطلاعات جغرافیایی است، از روش تعیین شدت مناطق متراکم پرخطر از نظر وقوع آتش‌سوزی (تراکم کرنل)^۹، براساس طبقه‌بندی مناطق کم‌خطر و پرخطر با داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۳ سال، در محیط ARC MAP بهره گرفته شده است (گراوند و همکاران، ۱۳۹۲؛ شوو و همکاران، ۲۰۲۱؛ کوسپاس و همکاران، ۲۰۱۴؛ آمانتولی و همکاران، ۲۰۰۷). تصویر شماره ۲ معیارهای مورد استفاده در این مطالعه را نشان داده است.

درجه در نوسان است (شریف و کیانی، ۱۴۰۱). طبق اعلام سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در سال ۱۳۹۷، سطح جنگل‌های ایران ۱۴/۳۱۹ میلیون هکتار بوده است. در این بین ۸/۸ درصد از مساحت ۱۶۴ میلیون و ۸۰۰ هزار هکتاری ایران را شامل شده است. ۱۴ درصد جنگل‌های ایران متعلق به ناحیه هیرکانی، ۲۸/۲ درصد متعلق به ناحیه تورانی، ۱/۴ درصد ناحیه ریشی ارسباران، ۴۱/۹ درصد ناحیه زاگرس و ۱۴/۸ درصد مربوط به ناحیه ریشی خلیج‌فارس و عمان است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۹). باتوجه به موقعیت ایران، در بازه زمانی ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱ حدود ۵۳۵۷ هکتار مناطق جنگلی ایران دچار آتش‌سوزی شده که ۲۱۵۵ هکتار آن تنها برای شمال کشور بوده است (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین تغییر اقلیم از یک طرف موجب افزایش دما، به‌خصوص در فصل‌های خشک شده و این امر سبب افزایش تبخیر و خشکی بیشتر سطح خاک شده و از طرف دیگر با کاهش بارش و افزایش فراوانی سال‌های خشک و خشکسالی، زمینه و عوامل مستعد برای آغاز آتش‌سوزی‌های جنگلی ایران را مهیاتر کرده است (تصویر شماره ۱).

داده‌ها

روش پژوهش به‌صورت کمی و کتابخانه‌ای اسنادی بوده است. جامعه آماری این پژوهش، کل پهنه ایران و مناطق جنگلی این کشور و مناطق منتخب بوده است. از آنجا که تمرکز اصلی این پژوهش بررسی اثرات گرمایش جهانی بر افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگل در ایران است، از روش‌های آماری، سنجش از دور و تحلیل فضایی جهت رسیدن به تحقق هدف بهره گرفته شده است. سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی رخداد تغییر اقلیم توصیه می‌کند که مطالعات هواشناسی باید از داده‌های بلندمدت مشترک بالای ۳۰ سال بهره بگیرند (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱) تا بررسی شود تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه رخ داده است یا خیر. به عبارت دیگر دسترسی به دوره آماری بلندمدت (بالای ۳۰ سال) از یک متغیر هواشناسی، می‌تواند تحلیل و آنالیز یافته‌ها را از دقت و اعتبار بیشتری بهره‌مند کند که این دوره در مطالعات اقلیم‌شناسی مورد توجه بوده است (شیرغلامی و قهرمان، ۱۳۸۴). بدین جهت از سازمان هواشناسی کشور، از میان ۱۶۰ ایستگاه سینوپتیک، پارامتر روزانه (دما) ایستگاه‌های سینوپتیک مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر طی دوره مشترک ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ در بازه زمانی ۳۲ ساله، دریافت شد (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰). این ایستگاه‌ها به‌صورت نمونه انتخاب شدند، زیرا باقی ایستگاه‌ها فاقد دوره زمانی مشترک بودند و داده‌های مفقودی زیادی داشتند. در این راستا ابتدا داده‌ها کنترل کیفی شدند. سپس در ادامه پژوهش لازم بود برای آنالیز متغیر دما، باتوجه به توزیع غیرنرمال پارامتر از روش آزمون من‌کندال بهره گرفته شود. برای چنین حالت‌هایی می‌بایست از روش من‌کندال استفاده کرد، چراکه امروزه یکی از ابزارهای تعیین تغییرات اقلیمی، تحلیل روند

4. SHP

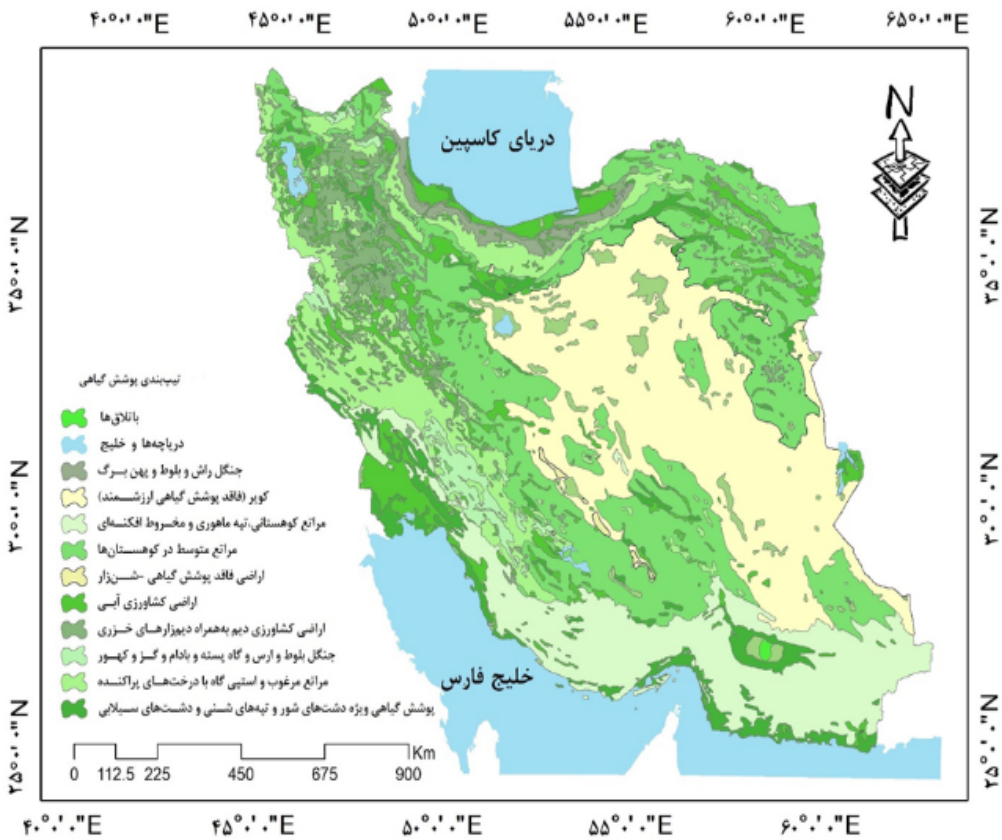
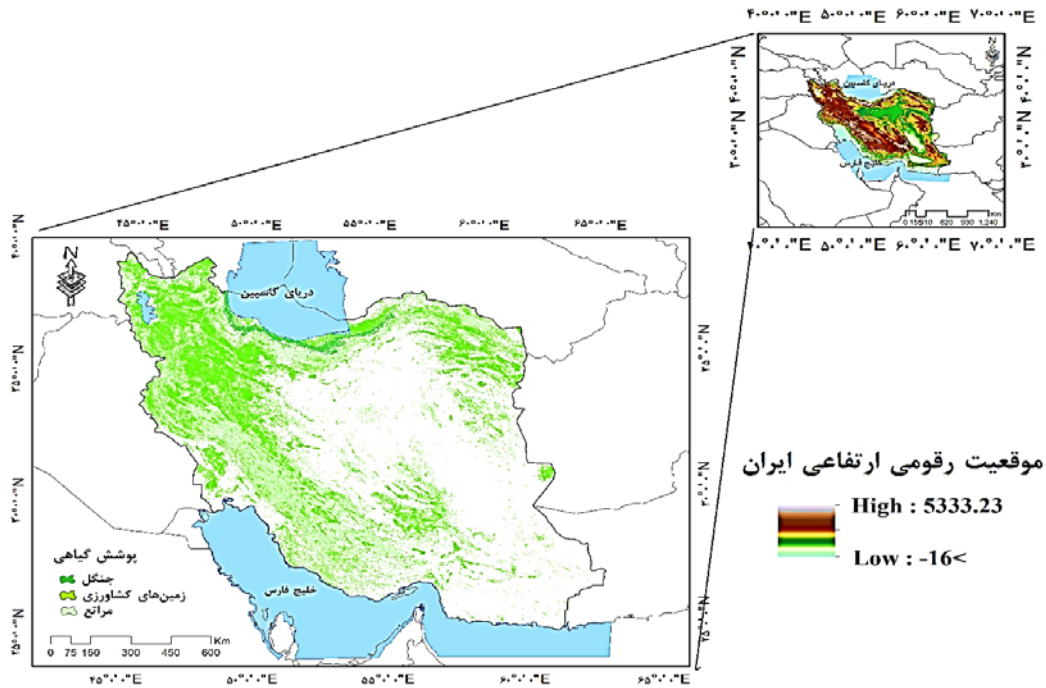
5. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>

6. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

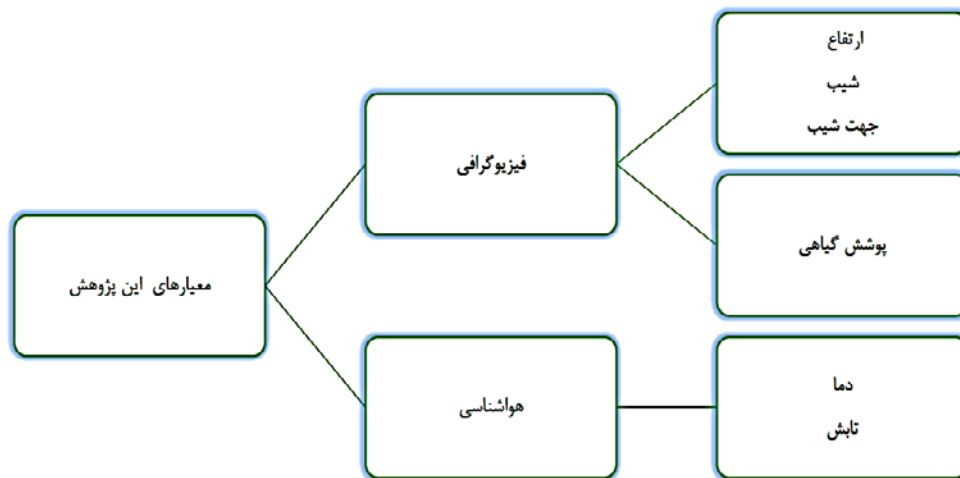
7. OLI

8. Area Solar Radiation

9. Kernel density



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و تصاویر رویشی ایران ۱۰ متری استخراج‌شده با گوگل ارث انجین



تصویر ۲. معیارهای محدوده مورد مطالعه

آزمون من کندال

این آزمون در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد که در بررسی معنی داری روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است. آزمون ناپارامتری من کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی توسعه پیدا کرد. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد (محمدی، ۱۴۰۰). در این پژوهش بررسی روند با این آزمون تحت ۲ روش ماکرواکسل و تحت افزونه XLSTAT محاسبه شد. بین داده‌های دما (مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر) برای هر ماه میانگین گرفته شد و سپس براساس پارامتر دما من کندال محاسبه شده است (فرمول شماره ۱).

1.

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

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

بنابراین در اینجا n تعداد مشاهدات سری x_j و x_k به ترتیب داده‌های ز ام و k ام سری بوده است. در اینجا تابع علامت Sgn این گونه محاسبه می‌شود (فرمول شماره ۲):

2.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = +1 \quad \text{for } (x_j - x_k) > 0$$

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

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = -1 \quad \text{for } (x_j - x_k) < 0$$

در گام بعدی محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود (فرمول شماره ۳):

3.

 for $n > 10$

$$\text{var}(s) = \frac{(n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^n t(t-1)(2t+5))}{18}$$

 for $n < 10$

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

سپس n و m تعداد دنباله‌هایی است که در آن یک داده تکراری حداقل وجود دارد. t بیان‌کننده فراوانی داده با ارزش یکسان در یک دنباله است و در آخر هم آماره Z با یکی از روابط زیر استخراج می‌گردد (فرمول شماره ۴):

4.

$$z = \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \quad \text{for } s > 0$$

$$z = 0 \quad \text{for } s = 0$$

$$z = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \quad \text{for } s < 0$$

در محاسبه این آزمون از سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد بهره گرفته شده است. اگر آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی خواهد بود و اگر منفی باشد با روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه مبنا در این قرار داده شد که اگر مقدار Pvalue از ۰/۰۵ کمتر باشد فرضیه H_0 که بر نبود وجود روند در سری زمانی است، دلالت دارد. اما در مقابل اگر مقدار سطح معنی داری از ۰/۰۵ بیشتر باشد، قبول فرضیه H_1 و دال بر وجود روند است (محمدی، ۱۴۰۰).



سنجنده مودیس

فضا یا در سطح زمین بعد از عبور اتمسفر قابل اندازه‌گیری است. میزان تابش خورشیدی به ۲ عامل (فاصله از خورشید و چرخه خورشیدی) بستگی دارد که این میزان بر یک سطح افقی واحد در یک زمان مشخص برای یک مکان معین وارد می‌شود. براساس معادله موقعیت خورشید در آسمان در طول سال، حداکثر میزان تابش خورشید در یک سطح با زاویه شیب خاص را می‌توان به عنوان تابعی از عرض جغرافیایی و روز سال محاسبه کرد. تابش خورشیدی یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در توازن حرارتی سیستم جو زمین است که اساس بیشتر مطالعات اقلیمی را تشکیل می‌دهد. چنان‌که در مطالعات هواشناسی، کشاورزی، مدیریت آب، محیط‌زیستی، پوشش گیاهی و سایر علوم مکانی کاربرد دارد. ابزار تابش خورشیدی، یک ابزار تحلیل فضایی بوده که تابش خورشیدی ورودی را از یک سطح شطرنجی استخراج می‌کند. باتوجه‌به بررسی توپوگرافی ایران، جهت محاسبه تابش خورشیدی در این مطالعه از محیط ARCGIS با استفاده از ابزار Spatial Analyst Tools به‌عنوان یکی از ابزارهای تحلیل مکانی، بین ساعت ۴ صبح تا ۲۱ شب و بر واحد وات ساعت بر متر مربع استفاده شده است (چوی و همکاران، ۲۰۱۹).

آنالیز تراکم کرنل

تراکم کرنل^{۱۲} یک روش آماری غیرپارامتریک برای محاسبه احتمالی تراکم نقاط آتش‌سوزی در یک محیط اکولوژی بوده است که برای به‌دست آوردن نقشه‌ای مشخص از تراکم نقطه‌ای در یک فضای دوبعدی به کار گرفته می‌شود. به عبارتی این تکنیک برای نمایان کردن الگوی مکانی رخداد آتش‌سوزی جنگلی در سطح یک اکوسیستم بسیار کاربردی در Arc GIS است. درواقع آنالیز تراکم کرنل، تراکم نقاط آتش‌سوزی جنگلی را به سطح تبدیل کرده و نقشه سریعی^{۱۳} از مناطق مستعد خطر را نمایش می‌دهد. به این معنا که برای پهنه‌بندی خطر شدت تراکم آتش از فراوانی نقاط مناطقی که دچار حریق شده‌اند، استفاده شده است. از حداقل اطلاعات برای شناسایی و مشخص کردن مناطقی که بالاترین شدت تراکم خطر را از لحاظ فراوانی وقوع داشته‌اند، در قالب یک نمای کلی از مناطق پرخطر با حداقل اطلاعات در دسترس، استفاده شده است (گراوند و همکاران، ۱۳۹۲؛ شوو و همکاران، ۲۰۲۱؛ کوسپاس و همکاران، ۲۰۱۴؛ آماطولی و همکاران، ۲۰۰۷).

یافته‌ها

بررسی روند دما از گذشته تا حال با استفاده از آزمون من‌کنندال

تحلیل روند از جمله مهم‌ترین ارزیابی‌هایی است که برای اثرات تغییر اقلیم در متغیرهایی مانند دما صورت می‌گیرد. دما یکی از

سنجنده مودیس از ماهواره ترا دارای تفکیک افقی بوده و محصولات این سنجنده حدود ۱۰ کیلومتر است. داده‌های زمان و مختصات مکانی در مطالعات از مرکز پردازش داده‌های سنجش از دور مودیس^{۱۰} دریافت می‌شود. داده‌ها با استفاده از جدیدترین الگوریتم جهانی کشف آتش Collection 6 MODIS می‌توان مورد آنالیز قرار داده شود. در سنجنده مودیس داده‌های مربوط به زمان و مختصات مکانی رخدادهای آتش‌سوزی یکی از برون‌داد الگوریتم بوده است که با دقت بالا و خطای بسیار کم (۱/۲ درصد) در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹).

شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی

شاخص پوشش گیاهی در سال ۱۹۷۳ ایجاد شد. زمانی که یک تیم تحقیقاتی در دانشگاه A&M تگزاس داده‌های ارسال‌شده از اولین ماهواره‌های رصد زمین را که به دور زمین می‌چرخند، بررسی کردند. ابزار تصویربرداری آن‌ها طول موج‌های نور مادون قرمز را که توسط پوشش گیاهی روی زمین منعکس شده بود، ثبت کرد. این تیم با استفاده از داده‌های لندست، تغییرات پوشش گیاهی منطقه‌ای را در طول فصل رشد نقشه‌برداری کرد. به ازای هر پیکسل زمین، آن‌ها طول موج‌های نور منعکس‌شده را به یک شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی^{۱۱} پردازش کردند که تقریباً به پوشش و سلامت گیاه نزدیک شد. از آن زمان، شاخص پوشش گیاهی دریچه‌ای به سلامت گیاهان در سراسر جهان بوده است. این شاخص از بسیاری جهات بسیار کاربردی است و این اجازه را می‌دهد تا زمین را در هر منطقه از جهان با استفاده از یک محاسبه ساده بتوان نظارت کرد. به عبارتی دیگر شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده از معروف‌ترین شاخص‌های گیاهی بوده است که برحسب دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک؛ مانند فرمول شماره ۵ تعریف می‌شود. هدف از ایجاد شاخص پوشش گیاهی بررسی ویژگی‌هایی نظیر سطح برگ، تاج پوشش، بیومس یا درصد پوشش گیاهی است. مهم‌ترین مزیت شاخص پوشش گیاهی در این است که یک شاخص جهانی است. این به معنای آن است که شاخص پوشش گیاهی در تمامی مناطق جهان یک نتیجه واحد می‌دهد و نتایج آن در همه‌جا به‌صورت یکسان تفسیر می‌شود.

5.

$$NDVI = \frac{NIR - IR}{NIR + IR}$$

سطح تابش خورشیدی

سطح تابش خورشیدی به میزان قدرت تابش الکترومغناطیسی خورشید بر واحد سطح تابش خورشیدی گفته می‌شود که در

12. Kernel density

13. Rapid map

10. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>

11. NDVI



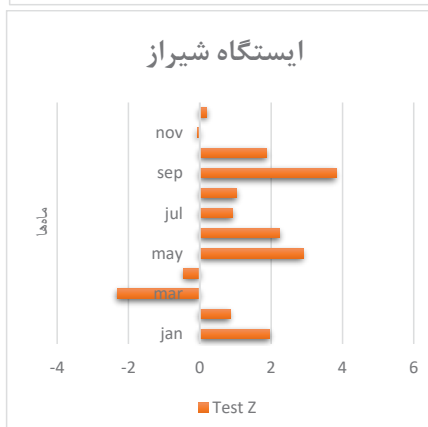
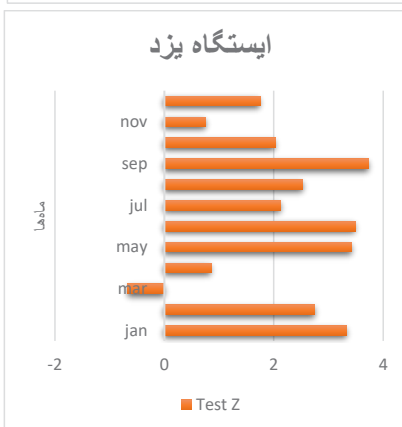
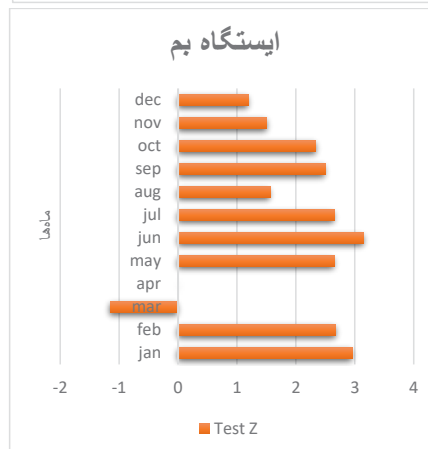
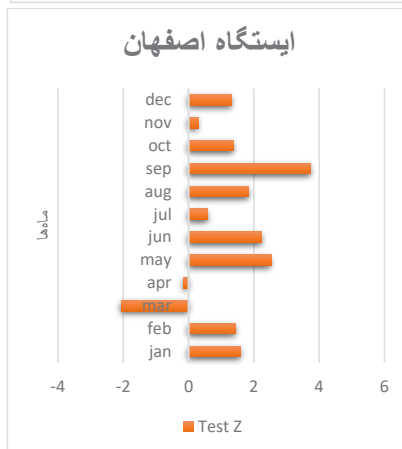
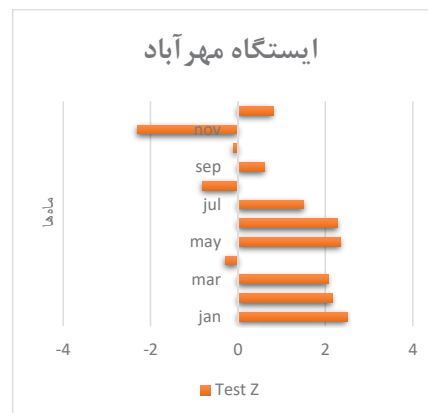
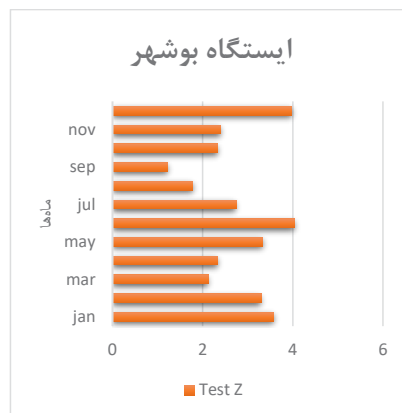
مخصوصاً در ماه ژوئیه که این افزایش روند دما طی دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ در بازه زمانی ۳۲ ساله، قابل توجه است. نتایج این پژوهش با مطالعاتی (شیرغلامی و قهرمان، ۱۳۸۴؛ راهدان و همکاران، ۱۳۹۳؛ مکاری و عباس‌نیا، ۱۳۹۹؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۳) همخوانی و مطابقت دارد.

بررسی توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) ایران

توپوگرافی یک منطقه پایدارترین متغیر در مثلث رفتار آتش است. ارتفاع، شیب و جهت شیب از جمله ویژگی‌هایی هستند که در گسترش آتش اثرگذار بوده‌اند. بلندترین نقطه ایران از لحاظ ارتفاع، دماوند در ۵۶۱۰ متری و پایین‌ترین نقطه دریای کاسپین در ۲۸ متری از سطح دریاهای آزاد است. بنابراین ارتفاع نمی‌تواند به تنهایی معیاری باشد که به‌طور مستقیم بر وقوع آتش‌سوزی جنگلی اثرگذار باشد، بلکه باید همیشه در کنار شیب و جهت شیب مدنظر گرفته شود. این معیار تنها شرایط اقلیمی را که به‌طور مستقیم بر آتش‌سوزی اثر دارد تعادل می‌بخشد. با افزایش ارتفاع کاهش دما صورت می‌گیرد و بارش در این ارتفاع زیادتر از نواحی با ارتفاع پایین‌تر است. اما از طرفی با افزایش ارتفاع خطر صاعقه بیشتر می‌شود. به‌خصوص در فصل تابستان و همراه خشکی و افزایش دمای هوا این امر محتمل‌تر است. در یکی از این موارد در سال ۱۳۹۸، در مناطق کوه‌دیل، کوه نارک، دریا، خامی و کوه آبک نامکان در شهرستان گچساران در پی آتش‌سوزی جنگلی بر اثر صاعقه، حدود ۸ هکتار پوشش گیاهی دچار حریق شد (محمدی‌تبار، ۱۳۹۸؛ جانبازقبادی، ۱۳۹۸). تصویر شماره ۴ شیب و جهت شیب ایرا ران در مقیاس ۱:۱۰/۰۰۰/۰۰۰ نشان داده است. در نقشه شیب همان‌طور که مشخص است نواحی روشن‌تر شیب کمتری را نشان می‌دهند، در حالی که نواحی‌ای که قرمز رنگ هستند دارای شیب بیشتری بوده‌اند. باتوجه به اینکه ایران در نیم‌کره شمالی قرار گرفته است، به‌طور کلی خصوصیات جهت شیب باتوجه به اثرات گرما به این صورت بوده است که نواحی‌ای که در جهت غربی بوده‌اند دیرتر گرم می‌شوند و دیرتر سرد می‌شوند که درست عکس نواحی بوده است که در جهت شرقی قرار داشته‌اند. مناطقی که در جهت جنوب بوده‌اند بالاترین میانگین دما را داشته‌اند و زودتر دچار حریق شده‌اند (دانشگاه آریزونا، ۲۰۱۲). باتوجه به تصویر شماره ۴ منازل مسکونی‌ای که در بالای یک شیب قرار دارند، در معرض خطر بیشتر افزایش طول شعله هستند. آتش‌سوزی‌ها در جنگل در مقایسه با زمین‌های هموار، سریع‌تر و شدیدترند. یک منطقه دارای شیب تندتر به آتش‌سوزی سریع‌تر با طول شعله بیشتر منجر خواهد شد. طبق نقشه شیب تصویر شماره ۵، شیب‌های متوسط یا تند بیش از ۲۱ درصد بسیار خطرناک هستند. هر شیب به‌طور بالقوه می‌تواند میزان گرمایی که یک سازه در طول آتش‌سوزی در معرض آن قرار می‌گیرد را افزایش دهد. دامنه‌های شمالی که دارای پوشش گیاهی متراکم‌تری هستند، به دلیل برخورد

پارامترهای شکل‌گیری اقلیم بوده است که به موجب آن هرگونه تغییر در این عنصر می‌تواند ساختار اقلیمی یک منطقه را تغییر دهد. تصویر شماره ۳ نتایج سری زمانی ماهانه آزمون من‌کنندال ایستگاه‌های مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر در دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد را نشان داده است. طبق بررسی روند افزایشی در کلیه ایستگاه‌ها مشاهده شد. به‌طوری‌که در ایستگاه مهرآباد در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می و ژوئن روند افزایشی در سطح ۹۵ درصد بوده است. اما در ماه‌های آوریل، اوت، اکتبر و نوامبر روند کاهشی بود که در این میان ماه نوامبر در سطح ۹۵ درصد، معنی‌دار بود. نتایج ایستگاه بوشهر روند افزایشی دما در کلیه ماه‌ها را در سطح معنی‌داری ۹۹ و ۹۵ درصد نشان داده است که تنها در ماه اوت در سطح صدک ۸۰ مشاهده شده است. این نشان می‌دهد ایستگاه به سمت گرم‌تر شدن پیش می‌رود. نتایج ایستگاه بم نشان داده است روند افزایش دما در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، ژوئن، ژوئیه و اوت بوده است. اما در ماه‌های سپتامبر و اکتبر روند افزایشی دما در این ایستگاه در سطح ۹۵ درصد بوده است. با این تفاوت که در ماه مارس در ایستگاه بم روند کاهشی نشان داده شده است. بررسی نتایج ایستگاه اصفهان در ماه‌های می و ژوئن روند افزایشی دما در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داده است. این در حالی بوده است که در این ایستگاه در ماه مارس روند کاهشی دما در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مشاهده شد و تنها در ماه سپتامبر روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد و در ماه اوت روند معنی‌داری افزایشی دما در صدک ۸۰ بود. از طرفی در ایستگاه شیراز در ماه‌های ژانویه و ژوئن روند صعودی دما در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و در ماه‌های می و سپتامبر روند صعودی دما در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد و ماه اوت روند افزایشی در سطح ۰/۱ صدک ۸۰ بوده است. تنها در ماه مارس روند کاهشی دما در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد بوده است. در نهایت در ایستگاه یزد در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، ژوئن و سپتامبر روند صعودی در سطح اطمینان ۹۹ درصد مشاهده شده است که تنها در ماه‌های ژوئیه و اوت در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد روند افزایشی داشته است. اما در ماه دسامبر در این ایستگاه روند افزایشی در سطح صدک ۸۰ بوده است.

در جمع‌بندی کلی تحلیل پارامتر دما در مناطق مورد مطالعه باید گفت اقلیم این مناطق روند افزایشی دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کنند و این ایستگاه‌ها به سمت گرم‌تر شدن پیش می‌روند. متغیر دما در این مناطق دارای روند هستند. بنابراین همان‌گونه که تشریح شد روند معنی‌داری صعودی در کلیه ایستگاه‌های ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای است که می‌تواند در اثر رشد صنعت، افزایش جمعیت، توسعه شهری و تغییرات کاربری در کلان‌شهرهایی همچون تهران، اصفهان، شیراز و غیره باشد که موقعیت صنعتی و تجاری دارند. همان‌طور که مشاهده شد نتایج برخی ماه‌ها در ایستگاه‌ها بسیار به هم شباهت دارند،

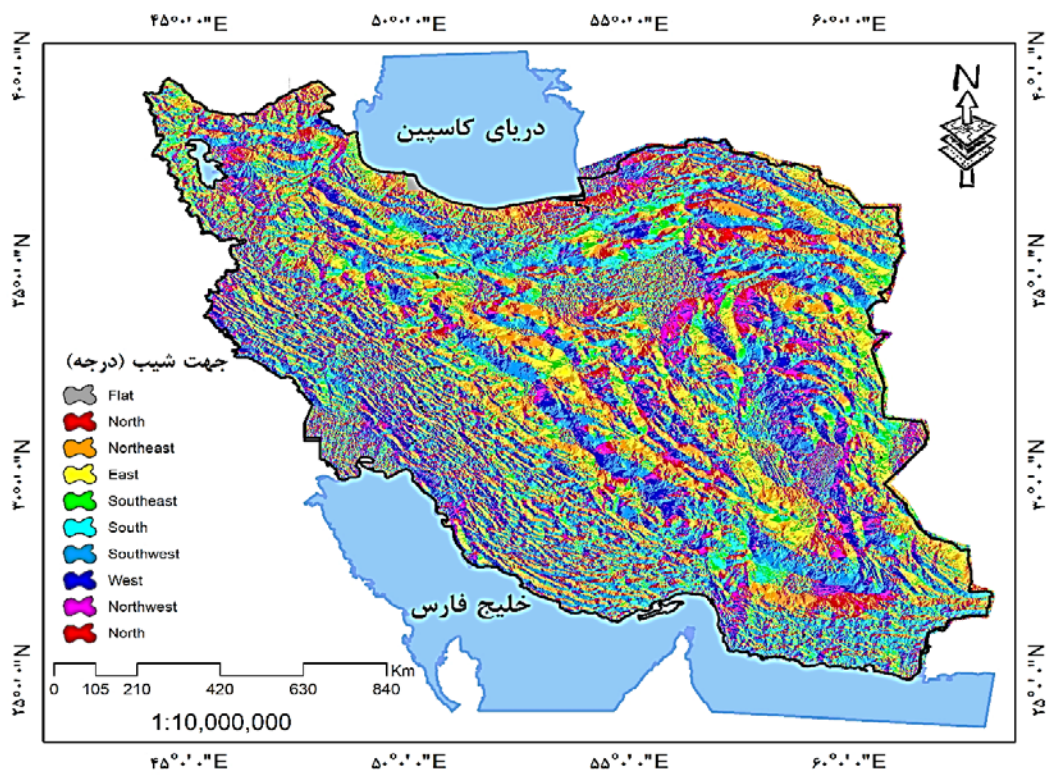
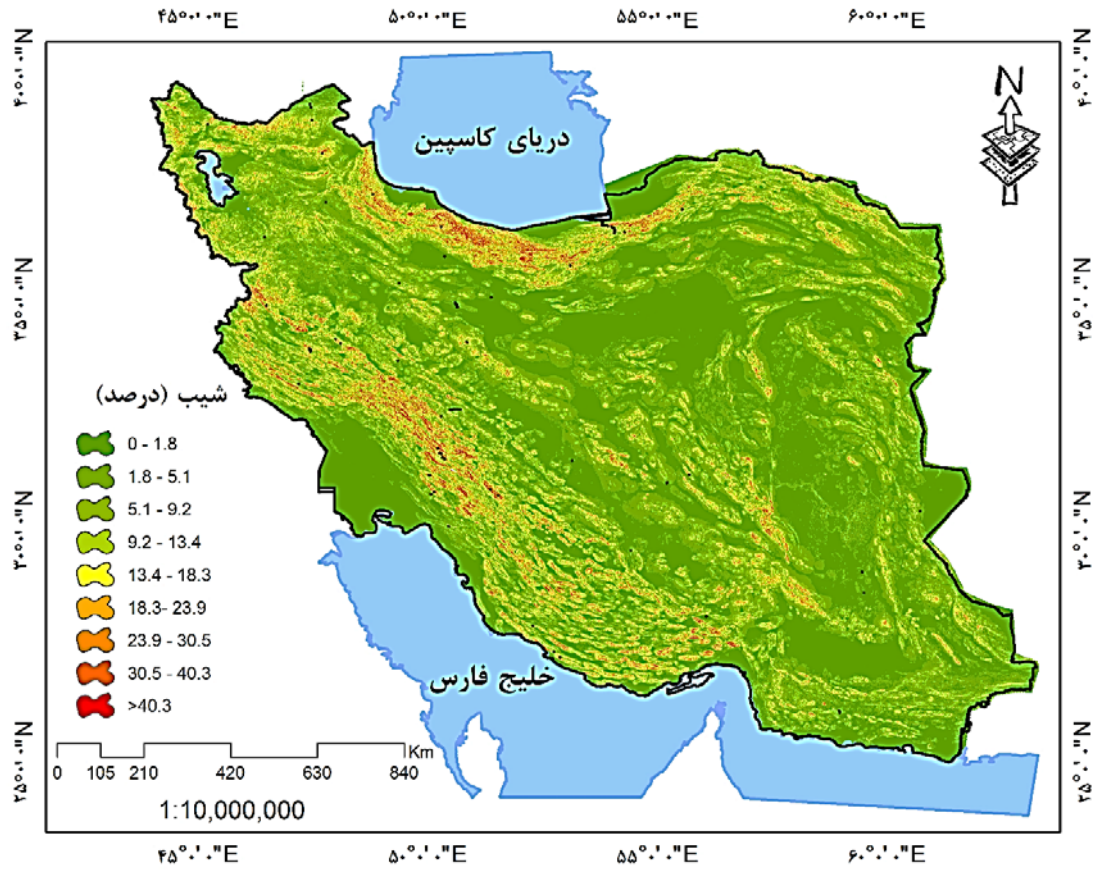


تصویر ۳. مقدار Z من کندانال ایستگاه‌های مهرآباد، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰.

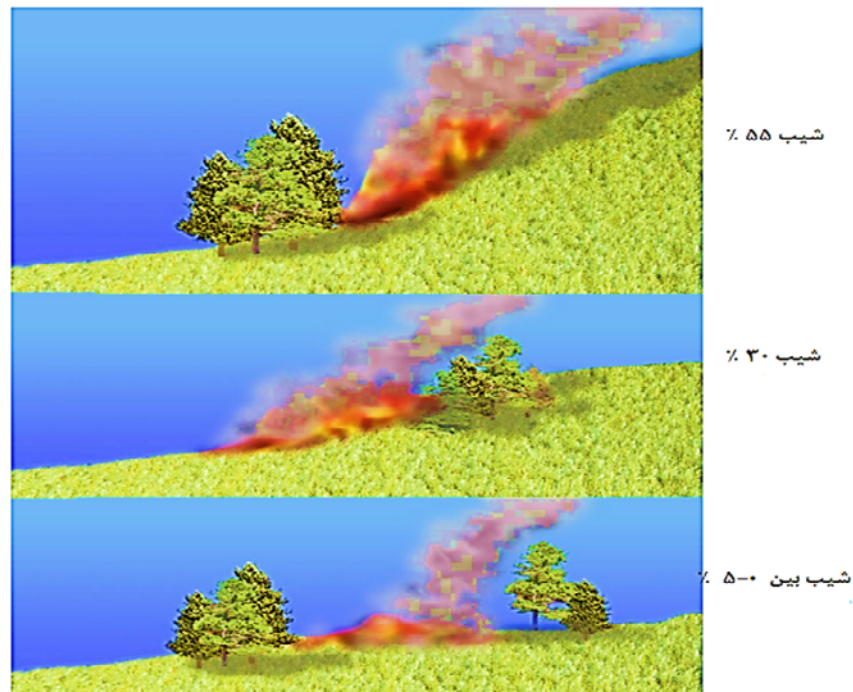
بررسی سطح تابش خورشیدی ایران

عملکرد تجزیه و تحلیل تابش خورشیدی کاربر را توانمند می‌کند تا اثرات خورشید را بر روی یک منطقه جغرافیایی برای دوره زمانی خاص تجزیه و تحلیل کند. با توجه به اینکه تابش دریافتی از خورشید منبع اولیه انرژی است، بسیاری از فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی زمین را هدایت می‌کند. درک اهمیت آن برای مقیاس‌های گوناگون برای درک طیف گسترده‌ای از فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی کلیدی است. با توجه به موقعیت ایران، توپوگرافی یک عامل اصلی تعیین‌کننده تغییرپذیری فضایی تابش

صاعقه بیشتر می‌توانند در معرض خطر آتش‌سوزی قرار گیرند. از طرفی نواحی با شیب کمتر که ارتفاع پایین‌تری هم دارند در فصل گرما، بر اثر هوای گرم و همرفتی همراه خشکی، بیشتر مستعد خطر آتش‌سوزی هستند. در شیب‌های پایین یا کناره‌های تپه‌ای، گسترش آتش به دلیل وزش باد غیرقابل پیش‌بینی است. در حالی که دره‌های باریک می‌توانند سرعت و جهت باد را تغییر دهند. رفتار آتش در زمین‌های ناهموار می‌تواند نامنظم‌تر باشد (فوست و همکاران، ۲۰۱۳).



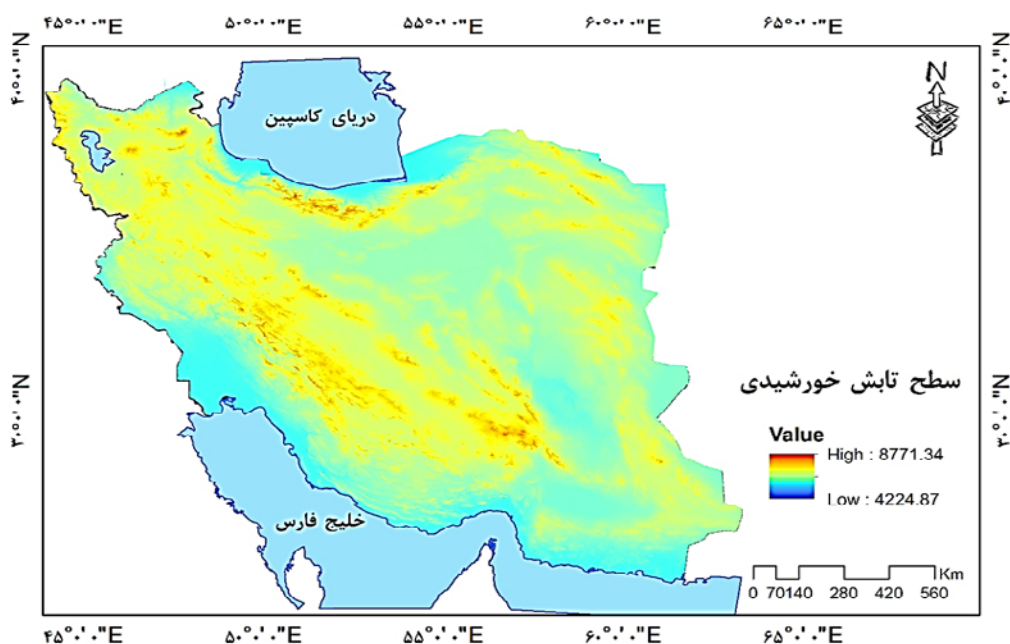
تصویر ۴. نقشه شیب و جهت شیب ایران



تصویر ۵. موقعیت گسترش آتش‌سوزی باتوجه‌به درصد شیب (دانشگاه آریزونا، ۲۰۱۲).

گیت‌هاب، ۲۰۲۳). بنابراین خروجی نقشه در تصویر شماره ۶ پهنه تابشی خورشیدی را از ساعت ۴ صبح الی ۲۱ شب در اولین روز تابستان سال ۲۰۲۰ در کل ایران بر واحد وات ساعت بر متر مربع را نشان داده است. بنابراین مناطق ارتفاعات شمالی تهران، در نواحی کناره‌های خزری و پهنه‌های شمالی ایران، شمال غرب ایران (اردبیل و تبریز)، نواحی مرکزی (کرمان، شیراز، اصفهان، یزد و شیراز) و به عبارت دیگر ناحیه رویشی خزری، ناحیه رویشی

است. تنوع در ارتفاع، شیب و جهت شیب و سایه‌های ایجادشده توسط ویژگی‌های توپوگرافی، همگی بر میزان تابش دریافتی در مکان‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. این تنوع نیز با زمان روز و زمان سال تغییر می‌کند و به‌نوبه خود به تغییرپذیری ریزاقلیم، از جمله عواملی مانند رژیم‌های دمایی هوا و خاک، تبخیر و تعرق، الگوهای ذوب برف، رطوبت خاک و نور موجود برای فتوسنتز و مستعد شدن مناطق برای آتش‌سوزی کمک می‌کند (تارنمای



تصویر ۶. نقشه پهنه تابش خورشیدی ایران از ساعت ۴ صبح الی ۱۲ شب

ارسباران، ناحیه رویشی زاگرس و ناحیه رویشی ایرانی تورانی از ارزش پیکسلی بالایی برخوردار هستند و میزان پهنه دریافتی تابشی خورشیدی در آن‌ها نسبت به سایر مناطق ایران بیشتر است.

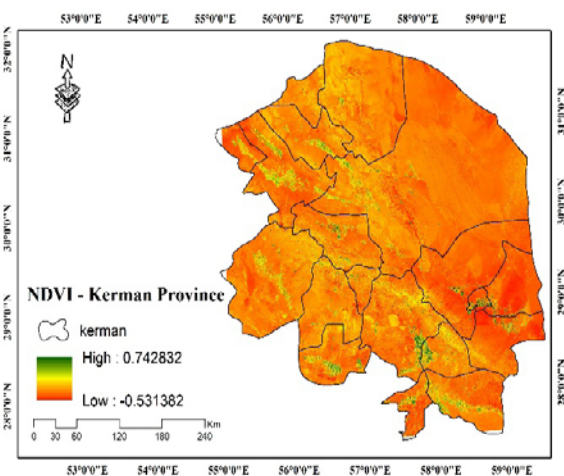
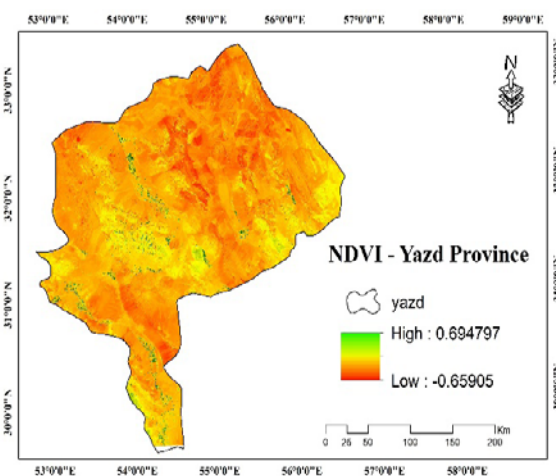
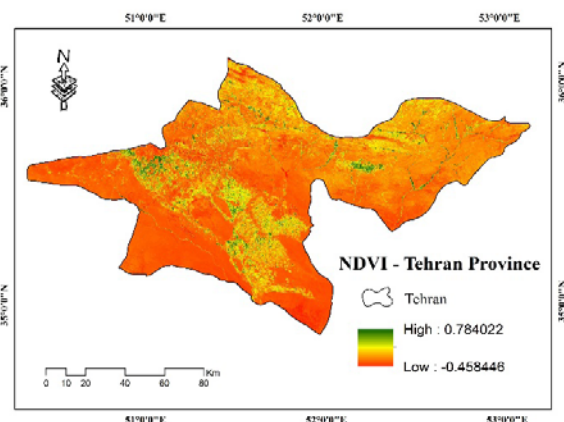
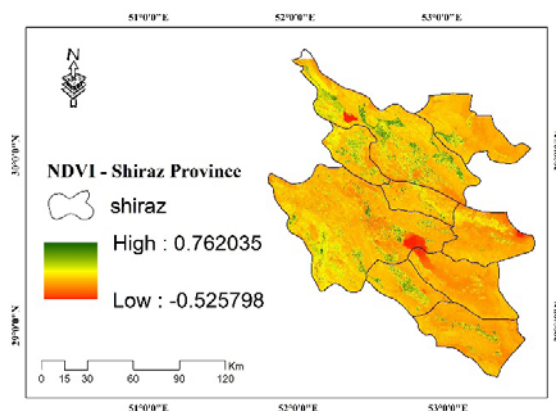
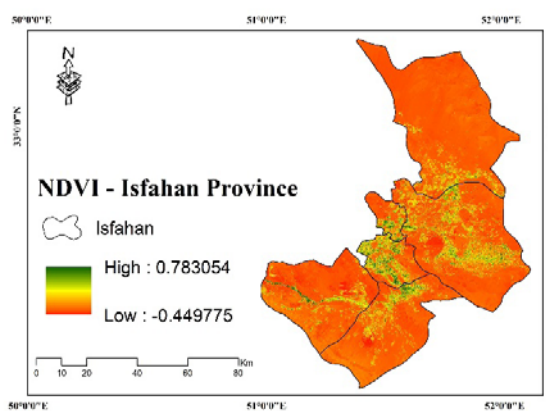
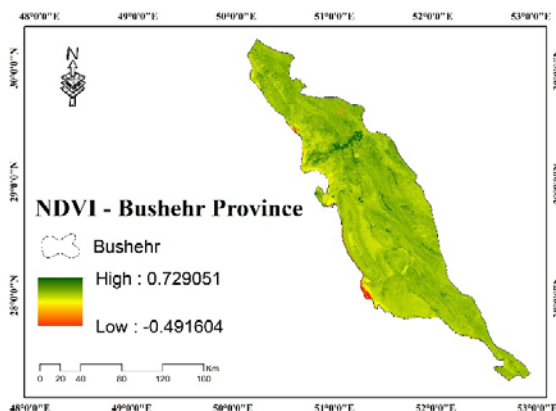
نقشه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی

عامل گیاهی نقش مهمی در مطالعه آتش‌سوزی جنگل دارد. شاخص به‌هنگار شده پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ تصاویری در محدوده باند‌های قرمز و نزدیک به مادون قرمز تولید می‌کند که برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی ایدئال است و برای بررسی دقیق‌تر نواحی رویشی در **تصویر شماره ۷** ارائه شد. مقدار پوشش گیاهی در **تصویر شماره ۷** در استان‌های تهران، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ قابل مشاهده است. مقادیر منفی شاخص پوشش گیاهی عمدتاً به‌خاطر ابرها، آب و برف است. اعداد نزدیک به صفر آن نیز به علت وجود سنگ‌ها و خاک‌های عاری از پوشش گیاهی است. مقادیر بسیار کوچک (۰/۱ و کمتر) تابع پوشش گیاهی نشان‌دهنده مناطق خالی از پوشش گیاهی، متشکل از سنگ، ماسه یا برف است. اعداد متوسط در این شاخص (بین ۰/۲ تا ۰/۳) نشان‌دهنده درختچه‌ها و علفزارهاست. مقادیر بزرگ (۰/۴ تا ۰/۸) هم جنگل‌های معتدل و گرمسیری را نشان می‌دهند. بنابراین مقادیر بین صفر و ۱- نشان‌دهنده گیاهان مرده یا اجسام غیرآلی مانند سنگ‌ها، جاده‌ها و منازل مسکونی هستند. مقادیر شاخص پوشش گیاهی برای گیاهان زنده بین صفر تا ۱ است که ۱ سالم‌ترین و صفر کم‌ترین مقدار سلامت را نشان می‌دهد. از آنچه تشریح شد، در **تصویر شماره ۷** مقادیر بالای مثبت شاخص پوشش گیاهی (سبز) به معنی پوشش گیاهی بلند و متراکم است. مناطق شهری و پهنه‌های آبی نیز مقادیر منفی با رنگ قرمز و زرد هستند. در استان بوشهر مقدار ۰/۷ نشان‌دهنده بالاترین پوشش گیاهی و ۰/۴- نشان‌دهنده کمترین مقدار پوشش گیاهی است. در استان اصفهان بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی ۰/۷ بوده است و کمترین شاخص پوشش گیاهی ۰/۴- را نشان داده است که بیان‌کننده مناطق شهری و مسکونی بوده است. در استان تهران بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی ۰/۷ بوده است که نشان‌دهنده بالاترین تراکم پوشش گیاهی است. اما پایین‌ترین میزان شاخص پوشش گیاهی در این استان ۰/۴- است که نشان‌دهنده مناطق شهری و مسکونی و عاری از پوشش گیاهی بوده است. استان شیراز هم با شاخص پوشش گیاهی مثبت ۰/۷ بالاترین تراکم پوشش گیاهی را نشان داده است این در حالی بوده است که کمترین میزان شاخص پوشش گیاهی ۰/۵- بوده که می‌تواند برای نواحی شهری باشد. استان اصفهان با شاخص پوشش گیاهی مثبت ۰/۷ بالاترین تراکم پوشش گیاهی را نشان داده است این در حالی بوده است که کمترین میزان شاخص پوشش گیاهی، ۰/۵- بوده

که می‌تواند برای نواحی شهری باشد. در نهایت استان یزد از بین سایر استان‌ها کمترین مقدار شاخص پوشش گیاهی را نشان داده است. به‌طوری‌که بالاترین میزان شاخص پوشش گیاهی در این استان ۰/۶ بوده است و پایین‌ترین مقدار شاخص پوشش گیاهی هم ۰/۶- بوده است. این مطالعه نسبی است و برای برآورد شاخص پوشش گیاهی در حدود دوره ۱ سال کفایت داشته است. بنابراین براساس تصاویر، شاخص پوشش گیاهی که به مقدار ۰/۷ نشان داده شده است و به دلیل دارا بودن پوشش گیاهی متراکم، در مناطق جنگلی تهران (چیتگر، لویزان، وردآورد، سوهانک، غزال و سرخه‌حصار) که در سال ۱۳۹۹ جنگل لویزان، نزدیک ۲ هکتار اراضی جنگلی، و در سال ۱۳۹۶ سوهانک، پارک پردیسان تهران در ۲۰ خرداد ۱۴۰۱ به‌علت گرمای تابستان و برگ خشک در کناره ضلع جنوبی پارکینگ آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کردند. مناطق جنگلی بوشهر (حرا، گلوبردکان و نخلستان‌های عسلویه)، جنگل‌های کرمان (پردیسان قائم و منطقه پاسیب)، جنگل‌های بیضا (شیراز) در سال ۱۳۹۶ و دشت ارژن در سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ و جنگل باغ شادی یزد (**نجفی و همکاران، ۱۳۹۴**) آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کردند. همچنین مناطق جنگلی اصفهان (پشندگان، داغباشی، اردسته، برنجگان، لایبدک) در آتش‌سوزی بهار و تابستان ۱۳۹۹ در عرصه جنگلی داغباشی در سمیرم (اصفهان) ۵۵۷ هکتار از اراضی جنگلی خود را از دست دادند (**سهیل اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۳**). تمام این مناطق مستعد و با خطر آتش‌سوزی بالایی مواجه بوده‌اند.

نقشه پراکندگی و شدت تراکم ریسک نقاط آتش‌سوزی جنگلی

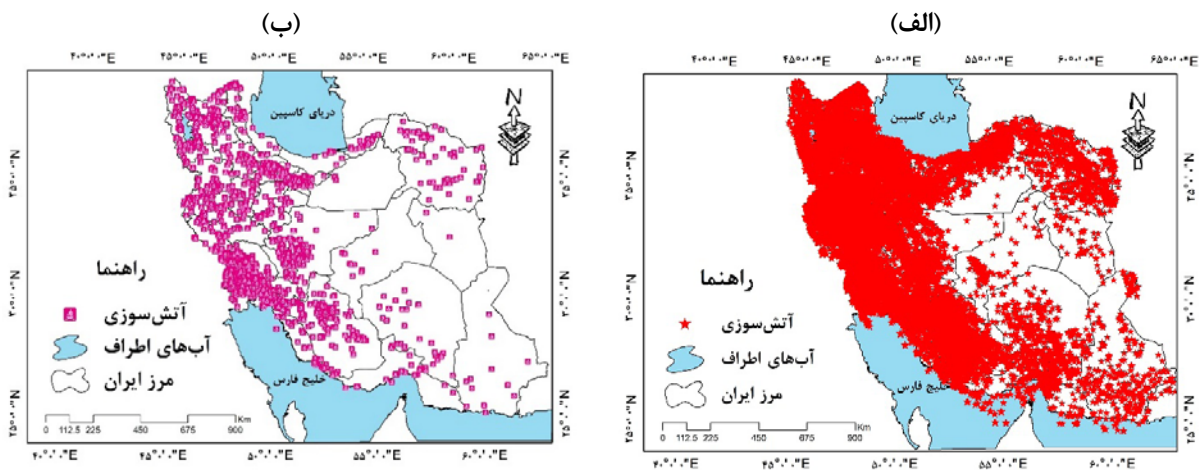
تصویر شماره ۸ پراکندگی آتش‌سوزی جنگلی در ایران بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ را نشان داده است. در **تصویر شماره ۸** (الف) بازه زمانی ۲۳ ساله تا اول ژوئیه ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. در طی این دوره آماری ۴۵۵۴۰۴ مورد آتش‌سوزی در سرتاسر ایران رخ داده است. اما **تصویر شماره ۸** (ب) یک دوره ۷ ماهه از آتش‌سوزی‌های جنگلی از ۲۰۲۳/۰۱/۰۱ الی ۲۰۲۳/۰۷/۰۱ را نشان داده است، در این بازه زمانی کوتاه ایران ۱۶۱۳۸ مورد آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کرده است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند ایران همچنان با افزایش ریسک آتش‌سوزی جنگلی مواجه است. که باتوجه به **تصویر شماره ۸** (ب) این مقدار در مقابل بازه زمانی ۲۳ ساله بیشتر هم بوده است. در **تصویر شماره ۹** نقشه پهنه‌بندی شدت تراکم آتش‌سوزی جنگلی با روش کرنل نشان داده شده است. این پهنه‌بندی براساس داده‌های ماهواره‌ای در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ محاسبه شده است. نقاطی را نشان داده است که در بازه زمانی ۲۳ ساله بیشترین آتش‌سوزی در این مناطق رخ داده است. این نقشه براساس شدت تراکم به ۵ دسته طبقه‌بندی شده است. هرچه محدوده به نقطه آتش‌سوزی قرمز رنگ نزدیک شود، دارای بیشترین خطر و هرچه از نقاط موردنظر فاصله گرفته شود ریسک خطر وقوع آتش‌سوزی کمتر خواهد بود. **تصویر شماره ۹** اطراف محدوده‌های مراتع و مناطق



تصویر ۷. نقشه پوشش گیاهی استان‌های تهران، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲

مستعد ریسک بالاتری از افزایش آتش‌سوزی جنگلی هستند. نتایج این پژوهش از لحاظ پراکندگی مناطق آتش‌سوزی جنگلی در نواحی جنوب غربی استان‌های ایلام و خوزستان با مطالعات (شجاعی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲) مطابقت و همخوانی دارد.

حفاظت‌شده در جنوب و غرب زاگرس را نشان داده است. به نظر شدت تراکم آتش‌سوزی‌ها در مناطق منطقه حفاظت‌شده کوه دیل و خائیز در استان کهگیلویه و بویراحمد، منطقه اطراف ارتفاعات و نخلستان‌های عسلویه، شکارممنوع کوه‌سیاه در استان بوشهر کمتر است. در این بین استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان



تصویر ۸. نقشه پراکندگی آتش‌سوزی جنگل‌های ایران در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ براساس داده‌های ماهواره‌ای مودیس

نتیجه‌گیری

یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر در دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ افزایش و معنی‌دار است. افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق شده و در نتیجه موجب خشک شدن مواد سوختنی می‌شود، که این امر یکی از عوامل مؤثر در آتش‌سوزی جنگلی است. بررسی سطح تابشی خورشیدی در ایران نشان داد نواحی شمالی تهران، نواحی رویشی خزری و ارسباران، نواحی رویشی ایرانی‌تورانی و زاگرس از ارزش پیکسل سائزهای بالایی برخوردارند و میزان پهنه دریافتی خورشید نسبت به سایر مناطق بیشتر است. بررسی پوشش گیاهی در استان‌های تهران، یزد، بم، شیراز، اصفهان و بوشهر نشان داد مناطقی که دارای ارزش ۰/۷ بوده‌اند از تراکم بالای پوشش گیاهی برخوردار بودند اما مناطقی که ارزش ۰/۴- را نشان داده است فاقد پوشش گیاهی بودند (منازل مسکونی، محدوده‌های شهری و جاده‌ای). در مناطقی که دارای پوشش

طی چند سال گذشته، به موجب رخداد تغییرات اقلیمی الگوی آتش‌سوزی‌های جنگلی در ایران نیز تغییر کرده است و به‌سادگی آتش‌سوزی رخ می‌دهد و سطح گسترده‌ای را نابود می‌کند. افزایش دما، کاهش بارش، خشکسالی، وزش باد و عوامل انسانی در سال‌های اخیر صدمات بسیاری را بر جنگل‌ها وارد کرده است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر تغییر الگوی آتش‌سوزی‌ها، تغییرات اقلیمی است که موجب تشدید گرمای هوا و کاهش رطوبت شده است. بنابراین مناطق جنگلی و پوشش‌های علفی که در ایران وجود دارند مستعد آتش‌سوزی می‌شوند. سرزمین ایران جزو آن کشورهایی است که ضریب تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی در آن بالاست. نتایج بررسی روند پارامتر دما در ایستگاه‌های مهرآباد،



تصویر ۹. نقشه پهنه‌بندی شدت تراکم آتش‌سوزی جنگلی با روش کرنل



گیاهی بالایی هستند و طی سال‌های اخیر آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کرده‌اند، بیشتر از سایر مناطق مستعد خطر آتش‌سوزی هستند. شاخص پوشش گیاهی می‌تواند جایگزین مناسبی جهت ارزیابی و شناسایی مناطق مستعد آتش‌سوزی باشد. نقشه پراکنندگی نقاط آتش‌سوزی ایران در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳، ۴۵۵۴۰۴ مورد آتش‌سوزی جنگلی را نشان داده است. طبق نقشه پهنه‌بندی شدت تراکم، استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان بیشترین آتش‌سوزی جنگلی را تجربه کرده‌اند و مستعد ریسک بالاتری از افزایش آتش‌سوزی جنگلی بوده‌اند. نتایج این مطالعه با پژوهش‌هایی (مکاری و عباس‌نیا، ۱۳۹۹؛ حجازی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ شجاعی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۳) مطابقت داشت. بسیاری از تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های آتی کشور، نیازمند اطلاع از مخاطرات مؤثر بر شهرها به‌ویژه از نظر شرایط آب‌وهوایی است. بنابراین با توجه به بروز مخاطراتی نظیر تغییر اقلیم و آتش‌سوزی جنگلی در دهه‌های اخیر، بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته برنامه‌ریزی و مدیریت نظام‌مندی را در سطوح راهبردی و عملیاتی برای مدیریت ریسک‌های ناشی از تغییر اقلیم و سازگاری با شرایط آن در پیش گرفته‌اند. در ایران به دلیل افزایش دما و موقعیت جغرافیایی و از طرف دیگر مهاجرت بادهای غربی به عرض‌های بالاتر، بارش کم‌تری رخ می‌دهد که در نتیجه شرایط خشکی را در کشور ایجاد است که موجب ریسک افزایش آتش‌سوزی جنگلی در مناطق مستعد خواهد شد. ایران با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی مواجه شده است. از این جهت اقلیم جدید ایران هوای گرم‌تر و خشک‌تری را سپری خواهد کرد. اقتصاد ایران بیش از هر چیزی تحت تأثیر پیامدهای تغییرات اقلیم قرار دارد. آتش‌سوزی جنگلی با خسارت‌های مالی و جانی همراه است و از لحاظ اقتصادی و اجتماعی بر ایران اثرات منفی خواهد گذاشت. بنابراین برنامه‌های جامع برای کاهش اثر تغییر اقلیم و آینده‌نگری‌های اقلیمی باید مورد توجه قرار گیرد. این امر موجب کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، ویرایش، نگارش نسخه اولیه مقاله: نیلوفر محمدی؛ راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج: زهرا حجازی‌زاده.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., & Humphreys, S., et al. (2018). Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge: Cambridge University Press. [Link]
- Amatulli, G., Pérez-Cabello, F., & de la Riva, J. (2007). Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological Modelling*, 200(3-4), 321-333. [DOI:10.1016/j.ecolmodel.2006.08.001]
- Ardakani, A., Valadan-zooj, M. J., & Mansourian, A. (2010). [Spatial analysis of fire potential in Iran using RS and GIS (Persian)]. *Journal of Environmental Studies*, 35(52), 25-34. [Link]
- Azizi, M., Khosravi, M., & Pourreza, M. (2020). [Frequency of fire incidence in relation to Zagros forests and rangelands physiography (Kermanshah province) using MODIS active fire data (Persian)]. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 18(1), 42-55. [DOI:10.22092/IJFRPR.2020.342093.1421]
- Azizi, Gh. (2004). [Climate change (Persian)]. Tehran: Ghomes. [Link]
- Barani, N., & Karami, A. (2020). [Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran (Persian)]. *Environmental Sciences*, 17(4), 75-90. [Link]
- Belcher, C. M., Yearsley, J. M., Hadden, R. M., McElwain, J. C., & Rein, G. (2010). Baseline intrinsic flammability of Earth's ecosystems is estimated from paleo atmospheric oxygen over the past 350 million years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(52), 22448-22453. [DOI:10.1073/pnas.1011974107] [PMID]
- Choi, Y., Suh, J., & Kim, S. M. (2019). GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment: A review. *Applied Sciences*, 9(9), 1960. [DOI:10.3390/app9091960]
- Diffenbaugh, N. S., Konings, A. G., & Field, C. B. (2021). Atmospheric variability contributes to increasing wildfire weather but not as much as global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(46), e2117876118. [DOI:10.1073/pnas.2117876118] [PMID]
- Dubayah, R., & Rich, P. M. (1995). Topographic solar radiation models for GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(4), 405-419. [DOI:10.1080/02693799508902046]
- Eskandari, S. (2015). [Investigation on the relationship between climate change and fire in the forests of Golestan Province (Persian)]. *Iranian Journal of forest and Range protection Research*, 13(1), 1-10. [DOI:10.22092/IJFRPR.2015.102383]
- Eskandari, S. (2021). [Fire of Iranian forests, consequences, opposition methods and solutions (Persian)]. *Human & Environment*, 19(1), 175-187. [Link]
- Eskandari, S., & Jalilvand, H. (2017). [Effect of weather changes on fire regime of Neka and Behshahr forests (Persian)]. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(1), 30-39. [DOI:10.22092/IJFRPR.2017.113331]
- Fawcett, R. J. B., Thurston, W., Kepert, J., & Tory, K. (2013). Modelling the fire weather of Black Saturday. *Proceedings of Bushfires CRC and AFAC 2012 Conference Research Forum*, 28, 135-149. [Link]
- Garavand, S., Yaralli, N., & Sadeghi, H. (2013). [Spatial pattern and mapping fire risk occurrence at natural lands of Lorestan province (Persian)]. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2), 231-242. [DOI:10.22092/IJFRPR.2013.3865]
- Gari, A. (2016). [Assessing the risk of forest fire in Golestan National Park according to climate change scenarios (Persian)] [MA thesis]. Golestan: Golestan University. [Link]
- Ghobadi, Gh. (2019). [Investigation of forest fire risk areas in Golestan province, based on fire risk index using GIS technique (Persian)]. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(3), 89-102. [Link]
- Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A., & Mohammadi, N. (2022). [Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province (Persian)]. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 87-105. [DOI:10.22098/MMWS.2022.9958.1075]
- IPCC. (1997). *The regional impacts of climate change: An assessment of vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press. [Link]
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. [Link]
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC. [Link]
- Khaleghi, F. (2015). [Investigating management methods in order to anticipate, control and reduce the fire crisis in Iran's forests, a case study of Khabar-Kerman National Park (Persian)]. Paper presented at: International Conference on Research in Science and Technology, Tehran, Iran, 14 December 2015. [Link]
- Koutsias, N., Balatsos, P., & Kalabokidis, K. (2014). Fire occurrence zones: Kernel density estimation of historical wildfire ignitions at the national level, Greece. *Journal of Maps*, 10(4), 630-639. [DOI:10.1080/17445647.2014.908750]
- Li, S., & Banerjee, T. (2021). Spatial and temporal pattern of wildfires in California from 2000 to 2019. *Scientific Reports*, 11(1), 8779. [DOI:10.1038/s41598-021-88131-9] [PMID]
- Mansoor, S., Farooq, I., Kachroo, M. M., Mahmoud, A. E. D., Fawzy, M., & Popescu, S. M., et al. (2022). Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change. *Journal of Environmental Management*, 301, 113769. [DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113769] [PMID]
- Margaret, S., Evan, M., & Jeremy, F. (1998). Will climate change spark more damage. *LNBL Report*, No. 42572, 1-10. [Link]
- Mohamadi, N. (2021). [Effects of climate change on torrential rains in Tehran province (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Kharazmi University. [Link]
- Mohamaditabar, V. (2019). [Lightning caused fire in the forests of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad (Persian)]. Retrieve from: [Link]
- Mohammadi, H., & Yolmeh, I. (2013). [Statistical and synoptic analysis of forest fire in Golestan Province (case study: 16 December 2005 and 9 March 2006) (Persian)]. *Journal of Climate Research*, 1392(15), 63-80. [Link]



- Mokari, M., & Abbasnia, M. (2020). [Trends analysis of maximum temperature by using Mann-Kendall and Spearman Tests in various regions of Iran (Persian)]. *Nivar*, 44(108-109), 31-44. [DOI:10.30467/NIVAR.2020.211885.1143]
- Mosaedi, A., Kavakebi, Gh., Rafigh, E., & Alavizade, F. (2011). [Revealing climate changes and their impact on fires in natural areas (Persian)]. Paper presented at: The First International Conference in fire in natural resources fields, Gorgan, Iran, 26-28 October 2011. [Link]
- Najafi, A., Iranrjad, M. H., Sotode, A., Mokhtari, M. H., & Kiani, B. (2016). [Modeling and risk mapping of forest fires using remote sensing and GIS (Case Study: Baghe-Shadi Protected Area, Yazd Province) (Persian)]. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4 (14), 13-26. [DOI:10.18869/acadpub.ijae.4.14.13]
- Opitz, T. (2023). Editorial: EVA 2021 data challenge on spatiotemporal prediction of wildfire extreme in the USA. *Extremes*, 26, 241-250. [Link]
- Pitman, A. J., Nasrisma, G. T., & McAneney, J. (2007). The impact of climate change on the risk of forest and grassland fires in Australia. *Climatic Change*, 84, 383-401. [DOI:10.1007/s10584-007-9243-6]
- Prichard, S. J., Hessburg, P. F., Haggmann, R. K., Povak, N. A., Dobrowski, S. Z., & Hurteau, M. D., et al. (2021). Adapting western North American forests to climate change and wildfires: 10 common questions. *Ecological Applications*, 31(8), e02433. [DOI:10.1002/eap.2433] [PMID]
- Rahdan, H., Moradi, H. R., & Sharifikia, M. (2015). [Investigating the changes and trends of rainfall and temperature in Isfahan city (Persian)]. Paper presented at: 10th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Birjand, Iran, 18-19 February, 2015. [Link]
- SadatRazavi, A., Shafiepour Motlagh, M., Noorpoor, A., & Ehsani, A. H. (2020). [Investigation of wildfires status in IPCC Climate change scenarios (Persian)]. *New Science and Technology*, 2(2), 228-231. [Link]
- Salehi, S., & Zarei, Z. (2018). [Zoning of high-risk areas in forests using GIS (case study of forests of Kermanshah province) (Persian)]. *Geography and Human Relationships*, 1(1), 304-319. [Link]
- Sharif, M., & Kiani, A. (2022). [Estimation of fire area in Iranian vegetation using MODIS and Alos-2 data (Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(3), 103-124. [Link]
- Shirgholami, H., & Ghahraman, B. (2005). [Study of time trend changes in annual mean temperature of Iran (Persian)]. *Journal of Water and Soil Science*, 9(1), 9-24. [Link]
- Shojaeizadeh, K., Ahmadi, M., & Dadashi-Roudbari, A. (2023). [Spatiotemporal changes of forest fire in vegetation areas of Iran based on MODIS sensor (Persian)]. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(36), 41-60. [Link]
- Shuo, Z., Jingyu, Z., Zhengxiang, Z., & Jianjun, Z. (2021). Identifying the density of grassland fire points with kernel density estimation based on spatial distribution characteristics. *Open Geosciences*, 13(1), 796-806. [DOI:10.1515/geo-2020-0265]
- Soheili Esfehiani, S., Shahmohamadi, A., & Shamli, M. (2014). [The impact of fire on forest reserve (case study: Semirom City- Isfahan Province) (Persian)]. Paper presented at: The 4th International Conference on Environmental Challenges & Dendrochronology, Sari, Iran, 14 May 2014. [Link]
- Torn, M. S., & Fried, J. S. (1992). Predicting the impacts of global warming on wildland fire. *Climatic Change*, 21, 257-274. [DOI:10.1007/BF00139726]
- Taylor, C. (2011). Miramichi Fire of 1825", her life & times. Retrieved from: [Link]
- Wastl, C., Schunk, C., Leuchner, M., Pezzatti, G. B., & Menzel, A. (2012). Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162-163, 1-13. [DOI:10.1016/j.agrformet.2012.04.001]
- Wilby, R. L. (2007). A review of climate change impacts the built environment. *Built Environment*, 33(1), 31-45. [DOI:10.2148/benv.33.1.31]
- Ye, T., Wang, Y., Guo, Z., & Li, Y. (2017). Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China. *PLoS One*, 12(2), e0172110. [DOI:10.1371/journal.pone.0172110] [PMID]
- World Meteorological Organization (WMO). (2023). *Canada Local Weather Services*. Geneva: World Meteorological Organization. [Link]
- Bureau of Meteorology. (2023). Meteorological organisations. Retrieve from: [Link]
- SuperMap Software Co., Ltd. (2023). Solar radiation analysis. Retrieve from: [Link]
- University of Arizona. (2012). *Effects of topography on fire behavior*. Arizona: University of Arizona. [Link]
- Ministry of Agriculture Jihad. (2020). [The Official Website of Natural Resources and Watershed Management Organization (Persian)]. Retrieve from: [Link]
- Zadenaviri, N. (2002). [The effect of climate change on forest fires in the north of the country (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Islamic Azad University.

This Page Intentionally Left Blank