



General Characteristics of the Lightning Phenomenon in Iran

Hamzeh Alizadeh ¹, Hossein Asakareh ^{2*}, Kohzad Raispour³

¹Ph.D. Candidate in Climatology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 28 August 2024

Revised: 11 July 2025

Accepted: 12 July 2025

Available Online: 25 July 2025

Keywords:

Lightning

Spatial variables

Spatial relationships

Frequency of occurrence

Iran

ABSTRACT

Lightning is a significant atmospheric phenomenon characterized by the transfer and discharge of electricity between clouds and the Earth. This phenomenon poses risks to both humans and the environment, necessitating comprehensive examination of its climatological characteristics. This phenomenon, along with the transfer and discharge of electricity between the clouds and the ground, causes strong sound and light. Cloud formation begins at a height above the condensation level. Below the altitude with a temperature of zero degrees, water droplets form and ice crystals form above it. Water drops or ice crystals grow gradually and reach such a size that they finally descend with a speed of about 8 meters per second. If the speed of droplet descent is lower than the speed of cloud ascent, water droplets and ice crystals move up and down in the atmosphere and collide. This process continues until, first, the droplets and crystals become larger, and secondly, the negative electric charge in the droplets and crystals at the bottom of the cloud and the positive charge in the droplets and fine crystals at the top of the cloud condense. This study analyzes various statistical and geostatistical aspects of lightning frequency across Iran from 2000 to 2022, utilizing data from 382 synoptic stations. The investigation includes descriptive statistics, such as the mean and coefficient of variation of lightning events, as well as their correlation with geographic coordinates (latitude and longitude) and altitude. Regression analysis was employed to model these relationships. The findings indicate that the spatial distribution of lightning frequency in Iran operates as a stochastic process, exhibiting significant annual variability. Among the spatial variables considered, longitude and latitude demonstrated a relatively stronger correlation with annual lightning frequency in Iran.

* Corresponding author: Hamzeh Alizadeh

E-mail address: hamzeh.alizadeh72@gmail.com

How to cite this article: Alizadeh, H., Asakareh, H., & Raispour, K. (2025). General Characteristics of the Lightning Phenomenon in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, ?(?), ?-?. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.89265.1508>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Lightning is a natural phenomenon, sometimes accompanied by danger, that takes the lives of more than two thousand people worldwide every year and occurs especially in regions with variable climates. This phenomenon, along with the transfer and discharge of electricity between clouds and the ground, has numerous consequences. This phenomenon has various effects on the environment and humans. For example, lightning can cause fires, financial losses and human lives when it strikes tall objects such as trees and buildings. This phenomenon ranks second among atmospheric hazards in terms of mortality. Lightning on Earth has shown a direct relationship with the Earth's climate, especially under the influence of temporal-spatial variations in solar radiation. The maximum global distribution of lightning occurrence is in the three tropical regions of the Americas, Africa and the oceans. About 78% of the occurrence of this phenomenon occurs between 30 degrees south latitude and 30 degrees north latitude of the Earth. Analysis of satellite data shows that the frequency of lightning is usually higher in tropical regions and areas with a more humid climate. Lightning events in coastal areas account for approximately 70% of all ocean lightning and occur more often on the east coasts of continents than on the west coasts. Therefore, the spatial distribution of lightning shows significant spatial variation. The maximum of lightning often occurs in the morning and afternoon and its minimum at night. The location of lightning occurrence also varies under the influence of different seasons. Monthly changes in lightning show that the highest lightning activity occurs in July. Studies conducted in different parts of the country showed that the phenomenon of lightning occurs with diverse temporal-spatial patterns. The northern regions of Khuzestan Province and the southern regions of Lorestan Province had the highest frequency of lightning, and the central and flat interior regions of the country had the lowest frequency of lightning.

Data and study method

Study area

The study area in this study is the mainland of Iran with an area of about 1648195 square kilometers within the following coordinates.

Data In this study

The frequency of lightning events between 2000 and 2022 was collected from 411 active synoptic stations throughout Iran. After reviewing the lightning data of the existing synoptic stations, a number of stations that did not have sufficient statistics were removed from the study process. After removing the aforementioned stations, 382 stations that had statistical competence were used as the basis for statistical analyses. Figure 1 shows the spatial distribution of these stations. In this study, the frequency of daily lightning events between 01/01/2000 and 12/31/2022 for 382 stations was extracted from the website of the Iranian Meteorological Organization (IRIMO: <https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>). An examination of the altitudinal distribution of the stations (Table 1) showed that about 56 percent of the stations (212 stations) are located at an altitude of 500 to 2000 meters and about 3 percent of the stations are located in low-altitude areas, i.e. -22 to 0 meters. From an altitude of 2000 meters to high altitude areas (2500 to 3500 meters), the number of stations was reduced, so that there was only one station above an altitude of 3000 meters.

This study was conducted to investigate the long-term (climatic) frequency of lightning and its relationship with geographical coordinates (longitude, latitude) and altitude. To achieve this goal, some descriptive characteristics of lightning (including annual average and coefficient of variation) were first calculated and estimated, and the spatial distribution of these values was presented in maps.

Results and Discussion

General Characteristics

The maximum lightning occurrence occurred in the northwest of Iran. Precipitation in the northwest of Iran is mainly the result of convective activities, mountain ascent, and local fronts. This region also faces stronger temperature and pressure differences resulting from topographic contrasts. The annual average frequency of lightning occurrence in the southern regions of Iran with a hot and humid climate was almost close to the annual average frequency of lightning occurrence in the western regions. The annual average of lightning occurrence at the stations in the north of the country is relatively high. These areas have a temperate and humid climate, which provides favorable conditions for the occurrence of this phenomenon. The average coefficient of variation of the stations was about 25.5%. A coefficient of variation of less than 25.5 indicates an event with a stable average. If this value is more than 25.5, it indicates an irregularity in the occurrence of lightning from year to year and indicates its strong annual differences.

Probability analysis

The highest probability of occurrence corresponds to the high and mountainous areas of the Zagros and Alborz mountain ranges. Among the reasons for the highest probability of occurrence in this area can be attributed to factors such as the mountainous nature of the region, which is the place where numerous weather masses pass, and the inequality in the distribution of solar energy radiation on the sun-exposed slopes, which in turn leads to the formation of instability and the ascent of warm and humid air due to slope convection in some days of the year. The western half of Iran, and especially the northwestern region of Iran, is the place where various air masses, including westerly winds, Mediterranean cyclones, and short waves with them, pass into the country during the cold season, which provides conditions for instability and the occurrence of thunderstorms. After this area, the northern region of Iran also provides conditions for the occurrence of thunderstorms due to its access to the moisture of the Caspian Sea, its considerable altitudes, and the influence of this area on various weather masses, including the western migratory air mass on the one hand and the Siberian high pressure on the other. In addition to the aforementioned geographical areas, scattered areas of star_border.



مشخصات عمومی پدیده رعدوبرق در ایران

حمزه علی زاده^{۱*}، حسین عساکره^۲، کوهزاد رئیس پور^۳

^۱ دانشجوی دکتری آب وهواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳ استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	رعد و برق، به عنوان یکی از پدیده های مهم جوی - طبیعی، با انتقال الکتریسته و تخلیه برق بین ابرها و زمین می تواند توأم با اثرات مثبت (نظیر تاثیر بر فرایندهای زیستی) و منفی (نظیر مخاطراتی برای انسان و محیط زیست) باشد. بنابراین، شناخت عمیق از ویژگی های اقلیم شناختی این پدیده از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه، جنبه هایی از این ویژگی ها شامل فراوانی رویدادهای رعد و برق سالانه بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در ۳۸۲ ایستگاه همدیدی ایران جمع آوری و تحلیل شد. با استفاده از این داده ها، برخی ویژگی های توصیفی (نظیر میانگین و ضریب تغییرات) فراوانی رخداد رعد و برق و نیز ارتباط (همبستگی) آن با مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و ارتفاع محاسبه، برآورد و بررسی شد. برای الگوسازی این روابط از روش های رگرسیونی استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که توزیع مکانی فراوانی رخداد رعدوبرق در ایران فرایندی بی نظم و با تغییرات سال به سال شدید است. از میان متغیرهای مکانی (مختصات جغرافیایی و ارتفاع)، طول و عرض جغرافیایی رابطه نسبتاً قوی تری را با فراوانی سالانه رخداد رعدوبرق ایران نشان می دهند. مناطق مختلف ایران، احتمال وقوع رعدوبرق متفاوتی دارند که با عواملی همچون جغرافیا و شرایط آب و هوایی مرتبط است. مناطقی مانند شمال غرب و جنوب شرق ایران بیشترین میزان وقوع را دارند، در حالی که مناطق دیگر در اولویت های بعدی قرار می گیرند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱	
کلمات کلیدی:	
رعدوبرق	
متغیرهای مکانی	
روابط مکانی	
فراوانی رخداد	
ایران	

مقدمه

پدیده رعدوبرق یکی از پدیده‌های طبیعی، بعضاً توأم با مخاطره است که در سطح جهان سالانه جان بیش از دو هزار نفر را گرفته و به‌ویژه در مناطق با اقلیم متغیر رخ می‌دهد. کلینیک و برینگر (Kilinc & Beringer, 2007)، این پدیده همراه با انتقال و تخلیه الکتریسته بین ابرها و زمین، پیامدهای متعددی دارد (Adhikari, 2023). در فرایند تشکیل ابر و حرکات قائم همراه با آن اولاً قطرات و بلورها درشت‌تر می‌شوند و ثانیاً دو قطب الکتریکی منفی (در قطرات و بلورهای پایین ابر) و مثبت (در قطرات و بلورهای ریز بالای ابر)، ایجاد و به رعد و برق منجر می‌شود (Kaviani & Alijani, 2004).

این پدیده دارای اثرات مختلفی بر محیط زیست و انسان‌ها است. به‌عنوان مثال، رعدوبرق در برخورد با اشیاء بلند مانند درختان و ساختمان‌ها می‌تواند آتش سوزی، خسارات مالی و جانی به‌همراه داشته باشد. این پدیده در میان مخاطرات جوی، دومین مرتبه را به‌لحاظ میزان مرگ و میر دارد. رعدوبرق علاوه بر خطرات مستقیم، از راه‌های غیرمستقیم بر جامعه انسانی نیز تأثیر می‌گذارد. این پدیده یکی از عوامل اصلی تخریب درختان و جنگل‌ها است. از مجموع رعدوبرق‌هایی که در ترازهای بالای جو رخ می‌دهد، حدود ۲۰ درصد از آن‌ها به زمین می‌رسد و سالانه حدود ۲۴۰۰ کشته در سطح جهان به‌دنبال دارد و صدمات زیادی ایجاد می‌کند (Shindo, Matsubara, Suda & Miki, 2012).

رعدوبرق در کره زمین، با آب و هوای زمین، به‌ویژه تحت تأثیر تباین‌های زمانی - مکانی تابش رسیده از خورشید، رابطه مستقیم نشان داده است (Mofokeng, Adelabu, Adepoju & Adam, 2019). از این‌رو، این باور وجود دارد که فراوانی رخداد و فعالیت رعد و برق تحت تأثیر عوامل مکانی (نظیر موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و توپوگرافی) به‌طور همسان در کره زمین توزیع نشده است. عوامل مکانی (نظیر موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و توپوگرافی) به‌طور همسان در کره زمین توزیع نشده است (Thomson, 1980; Rasuli, Khorshiddoust & Fakhari Vahed, 2018; Gao et al., 2022). علاوه‌براین، گرمایش روزانه و فصلی سطح زمین نوسانات شدید دما را در پی دارد و در نهایت بر ناپایداری جوی و شکل‌گیری - گسترش طوفان‌های توأم با رعد و برق تأثیر می‌گذارد. از این‌رو گفته می‌شود که رخداد رعد و برق در مقیاس‌های زمانی کوتاه با شرایط سطح زمین، از جمله دماهای سطحی نیز مرتبط است و از رویدادهای قابل تأمل در ارتباط با پیامدهای گرمایش جهانی است (Price, 2009). بدین دلیل شناخت روابط زمانی - مکانی رعد و برق از مسائل پیش‌روی اقلیم‌شناسان بشمار می‌آید.

توزیع جهانی بیشینه رخداد رعد و برق در سه ناحیه گرمسیری قاره آمریکا، آفریقا و اقیانوس‌ها است. حدود ۷۸ درصد از رخداد این پدیده بین ۳۰ درجه عرض جنوبی تا ۳۰ درجه عرض شمالی کره زمین رخ می‌دهد. تحلیل داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد در مناطق استوایی و مناطق با آب و هوای مرطوب‌تر معمولاً فراوانی رعد و برق بیشتر است. رویداد رعد و برق در مناطق ساحلی تقریباً ۷۰ درصد از کل رعد و برق اقیانوس‌ها را به خود اختصاص داده و وقوع آن در سواحل شرقی قاره‌ها بیشتر از سواحل غربی رخ می‌دهد. بنابراین، توزیع مکانی رعد و برق گویای تباین قابل توجه مکانی است. بیشینه رعد و برق اغلب در صبح و بعد از ظهر و کمینه آن در شب اتفاق می‌افتد. محل رخداد رعد و برق نیز تحت تأثیر فصول مختلف، متفاوت است. تغییرات ماهانه رعد و برق نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت رعدوبرق در ماه جولای رخ می‌دهد. گودمن و همکاران (Goodman et al., 2013)، رافی و مصطفی (Rafi & Mostafa, 2022)، کاپلان و لو (Kaplan & Lau, 2021)، کاپلان و لو (Kaplan & Lau, 2022)، فیشر و همکاران (Fischer et al., 2024)، آنیزی و همکاران (Aniezi et al., 2024)، تاسارک و همکاران (Taszarek et al., 2019) نشان دادند که مناطق مدیترانه مرکزی، کوه‌های آلپ و شبه‌جزیره بالکان بیشترین فراوانی رعد و برق را در اروپا به‌ویژه در ماه‌های ژوئیه و اوت دارند. همچنین، تعداد روزهای رعد و برق در کوه‌های آلپ و شرق اروپا افزایش یافته، در حالی که در جنوب غربی کاهش یافته است. گائو و همکاران (Gao et al., 2022) ارتباط بین فراوانی انتقال رعد و برق ابر به زمین را با عوامل توپوگرافی در استان یونان چین بررسی کردند و دریافتند که توپوگرافی نقش مهمی در ویژگی‌های رعد و برق منطقه‌ای ایفا می‌کند. رسولی و همکاران

(Rasouli et al., 2018) در مطالعه رابطه رعدوبرق با ارتفاع از سطح دریا نشان دادند که فراوانی رعد و برق در دامنه‌های جنوبی ناحیه شمال غرب ایران بیشتر است، به‌طوری‌که بیشینه فراوانی رعد و برق در دامنه‌های جنوبی و در ارتفاع بین ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر قرار دارد.

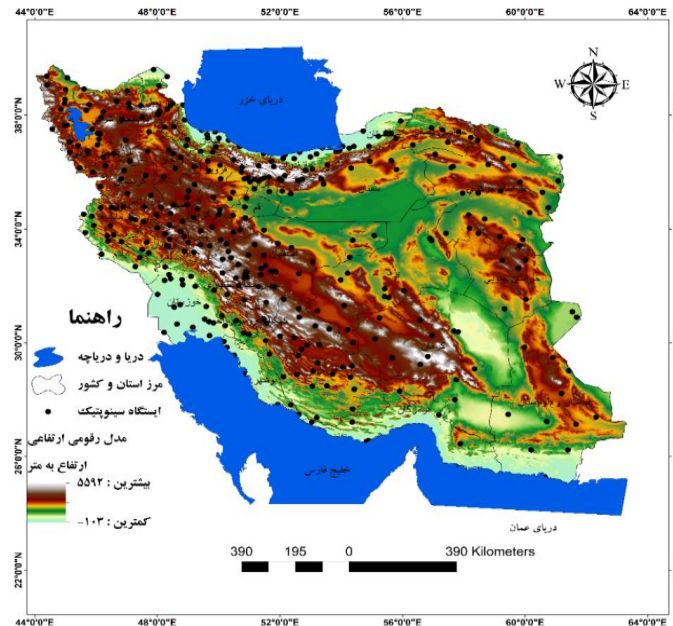
مطالعات انجام شده در نواحی مختلف کشور نشان داد که پدیده رعد و برق با الگوهای زمانی - مکانی متنوعی رخ می‌دهد. براساس بررسی‌های صورت گرفته توسط خورشید دوست و همکاران (Khorshiddoust, Rasouly & Fakhari Vahed, 2017) فراوانی رعدوبرق ایران در ماه‌های می و آوریل بیشینه و در ماه‌های ژانویه و سپتامبر کمینه بود. علاوه براین، بیشینه فراوانی رعدوبرق بین ساعات ۱۲:۳۰ تا ۲۰:۳۰ و کمینه فراوانی بین ساعات ۳:۳۰ تا ۹:۳۰ مشاهده شد. همچنین مناطق شمال استان خوزستان و جنوب استان لرستان دارای بیشترین فراوانی رعدوبرق بوده و مناطق مرکزی و هموار داخلی کشور دارای کمترین فراوانی رعدوبرق بوده‌اند. رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2018) نیز نشان دادند که بیشینه فراوانی رعد و برق در ماه‌های مارس تا آگوست مشاهده شده و تغییرات روزانه فعالیت‌های رعد و برقی، در بازه زمانی ساعات ۱۳ تا ۱۶ (به وقت محلی) به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. جوان و عزیززاده (Javan & Azizzade, 2018). با بررسی رعدوبرق شمال غرب ایران در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و ژوئیه در ۱۹ ایستگاه همدید نشان دادند که احتمال وقوع رعد و برق در بخش‌های مرکزی و شمال غربی این منطقه بیشتر است درحالی‌که در مناطق جنوبی و شمال شرقی کم‌تر است. در پژوهشی دیگری که توسط اسماعیلی محمودآبادی و صادقی (Esmaeili Mahmoudabadi & Sadeghi, 2023) در بازه زمانی یازده ساله (۲۰۱۶ - ۲۰۰۶) روی ایران انجام گرفت، نشان دادند که بیشینه رعد و برق ایران عمدتاً در استان‌های شمال و شمال غرب و کمینه آن در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی رخ می‌دهد. بنابراین به دلیل پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم حاصل از پدیده رعدوبرق، شناخت ویژگی‌های آن به عنوان یکی از مخاطرات اقلیمی بسیار ضروری است. همچنین مطالعه این پدیده، ضمن فهم الگوی زمانی - مکانی آن، می‌تواند ما را در آگاهی بخشی، محافظت و حتی مدیریت آن یاری دهد. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، علاوه بر فهم الگوی رفتار زمانی - مکانی رعد و برق، برآورد و پهنه‌بندی این رویداد در گستره ایران جهت اتخاذ تدابیر و اعمال مدیریت مناسب و متناسب است. بر همین اساس، این تحقیق می‌تواند به پر کردن خلاهای موجود به ما کمک نماید تا در مواجهه با آسیب‌پذیری از پدیده رعد و برق، اتخاذ راهکارهای دقیق و علمی برای شناسایی خطرات و تهدیدهایی که این رویداد ممکن است به همراه داشته باشند، صورت گیرد. جهت دستیابی به اهداف مطرح شده، به بررسی و تحلیل ویژگی‌های عمومی (نظیر میانگین و ضریب تغییرات) فراوانی رخداد رعدوبرق در سراسر ایران پرداخته شد تا الگوهای زمانی - مکانی موجود در کشور، براساس داده‌ها و روش‌های متفاوت از گذشته شناسایی شده و درک بهتری از ویژگی‌های زمانی - مکانی رعدوبرق در سطح کشور به‌دست آید. بدین منظور از داده‌های روزانه تعداد ۳۸۲ ایستگاه همدیدی در بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰ و نیز روش‌های آماری - احتمالاتی برای واکاوی داده‌ها، استفاده شد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، گستره سرزمین اصلی ایران با مساحتی حدود ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در چارچوب مختصات زیر است (شکل ۱):

$N : 24^{\circ} 40' - 39^{\circ} 46'$

$E : 44^{\circ} 00' - 63^{\circ} 19'$



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و توزیع مکانی ایستگاه‌های منتخب

Fig.1. Study area and spatial distribution of selected stations

داده‌ها

در این مطالعه، فراوانی رویدادهای رعدوبرق بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در ۳۸۲ ایستگاه همدیدی در سراسر ایران جمع‌آوری شد. شکل ۱ توزیع مکانی این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. در این مطالعه، فراوانی رخداد‌های روزانه رعدوبرق در فاصله زمانی ۲۰۰۰/۰۱/۰۱ تا ۲۰۲۲/۱۲/۳۱ برای ۳۸۲ ایستگاه از تارنمای سازمان هواشناسی کشور (IRIMO: <https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>) استخراج شد. لازم به ذکر است تعداد ایستگاه‌ها طی دوره مورد مطالعه افزایش یافتند (جدول ۱).

بررسی توزیع ارتفاعی ایستگاه‌ها (جدول ۱) نشان داد که حدود ۵۶ درصد ایستگاه‌ها (۲۱۲ ایستگاه) در ارتفاع ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و حدود ۳ درصد از ایستگاه‌ها در نواحی کم ارتفاع یعنی ۲۲- تا ۰ متر قرار دارند. از ارتفاع ۲۰۰۰ متر به سمت مناطق مرتفع (۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر)، از تعداد ایستگاه‌ها کاسته می‌شد، به طوری که از ارتفاع ۳۰۰۰ متر به بالا فقط یک ایستگاه وجود داشت. با تقسیم کشور به چهار ربع، توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها در این ربع‌ها نیز بررسی شد (جدول ۱). در ربع دوم (شمال غرب)، بیشینه سهم ایستگاه‌ها با ۵۰ درصد و ربع چهارم (جنوب شرقی) و اول (شمال شرقی) به ترتیب ۲۱ و ۲۰ درصد ایستگاه‌ها را به خود اختصاص دادند، یعنی حدوداً بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌ها در این سه ربع قرار داشتند و ربع سوم (جنوب غربی) نیز با ۳۴ ایستگاه، حدود ۹ درصد ایستگاه‌های کشور را دارا بود.

جدول ۱- برخی مشخصات زمانی - مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Some time-spatial characteristics of the studied stations

توزیع زمانی تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه							
Time distribution of the number of stations studied							
تعداد ایستگاه Number of stations	سال Year	تعداد ایستگاه Number of stations	سال year	تعداد ایستگاه Number of stations	سال سال	تعداد ایستگاه Number of stations	سال Year
367	2018	345	2012	273	2006	172	2000
371	2019	349	2013	289	2007	180	2001
376	2020	347	2014	304	2008	191	2002
375	2021	351	2015	315	2009	210	2003
377	2022	361	2016	318	2010	225	2004
		366	2017	328	2011	239	2005
توزیع ارتفاعی ایستگاه‌های مورد مطالعه							
Altitude distribution of the studied stations							
تعداد ایستگاه Number of stations		فاصله‌ی طبقات ارتفاعی (به متر) Distance between floors (in meters)					
11		-22 – 0					
73		0 – 500					
55		500 – 1000					
113		1000 – 1500					
99		1500 – 2000					
28		2000 – 2500					
2		2500 – 3000					
0		3000 – 3500					
1		3500 - +3500					
پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در چهار ربع کشور							
Distribution of study stations in the four quadrants of the country							
تعداد ایستگاه (به درصد) Number of stations (in percent)	تعداد ایستگاه Number of stations	مختصات جغرافیایی Geographic coordinates	مناطق جغرافیایی Geographic coordinates				
21 درصد 21 percent	80	N: 32 ° 00-39 ° 46 E: 52 ° 00-63 ° 19	ربع اول (شمالشرق) First quadrant (northeast)				
50 درصد 50 percent	191	N: 32 ° 00-39 ° 46 E: 44 ° 00-52 ° 00	ربع دوم (شمالغرب) Second quadrant (northwest)				
9 درصد 9 percent	34	N: 44 ° 40-32 ° 00 E: 44 ° 00-52 ° 00	ربع سوم (جنوبغرب) Third quadrant (southwest)				
20 درصد 20 percent	77	N: 24 ° 40-32 ° 00 E: 52 ° 00-63 ° 19	ربع چهارم (جنوبشرق) Fourth quadrant (southeast)				

در این پژوهش از داده‌های روزانه رعدوبرق ایستگاه‌های همدیدی برای تعیین فراوانی این پدیده در گستره ایران زمین استفاده شد. تعداد رعدوبرق‌ها در ایستگاه‌های همدیدی با کدهای ۱۳، ۱۷، ۲۹، و ۹۱ تا ۹۹ ثبت می‌شود (جدول ۲). فراوانی روزانه رعدوبرق براساس فراوانی تعداد کدهای روزانه استخراج شد. روزهای فاقد داده در تمام ایستگاه‌ها، شناسایی و محاسبات بدون در نظر گرفتن این مقادیر (بدون بازسازی آماری) انجام شد. داده‌های روزانه رخداد رعد و برق به صورت سری‌های زمانی روزانه برای هریک از ایستگاه‌ها آماده شد. به فراخور تحلیل‌های مورد نظر، فراوانی رعد و برق، به سری‌های زمانی ماهانه و سالانه تبدیل شد.

جدول ۲- کدهای مربوط به پدیده رعدوبرق

Table 2- Codes related to the phenomenon of lightning (Lashkari, 2011)

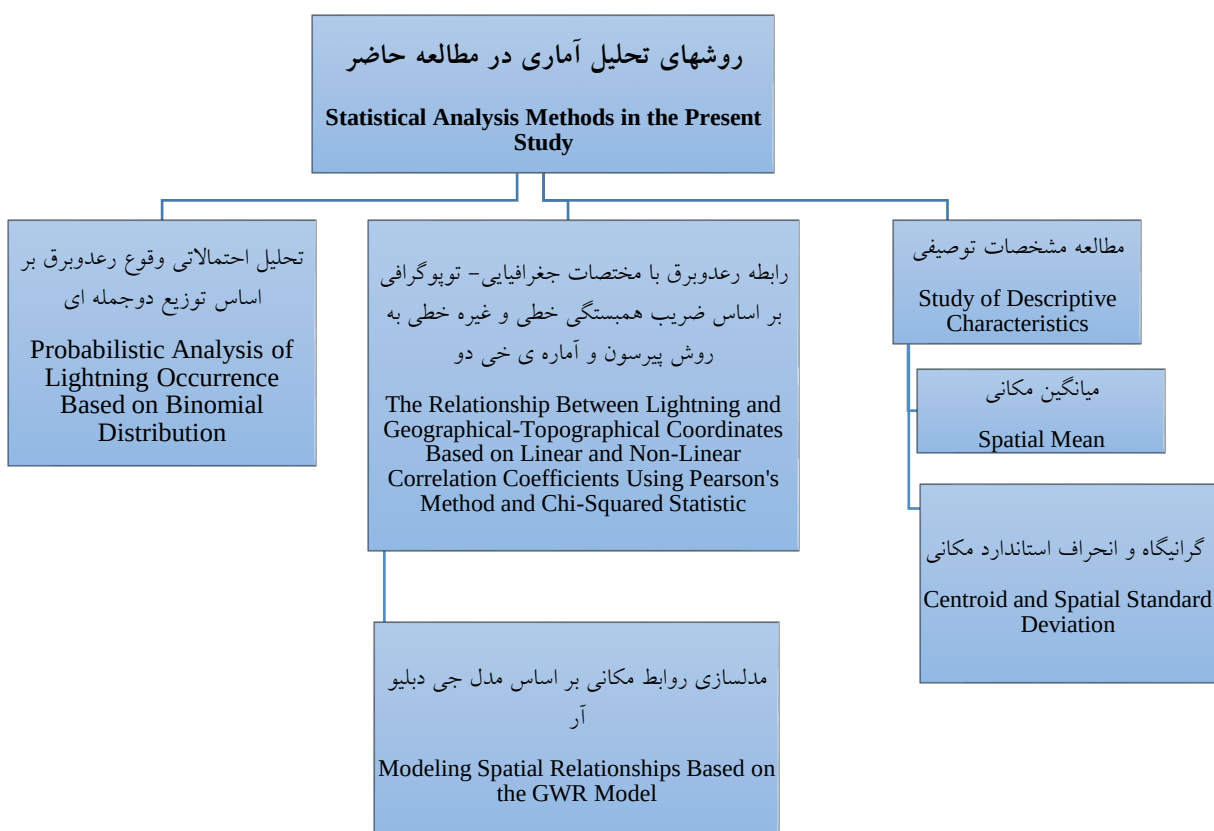
تعریف کد Code definition	کد پدیده Phenomenon code	تعریف کد Code definition	کد پدیده Phenomenon code
توفان رعدوبرق در زمان دیده بانی (توفان رعدوبرق، سبک یا متوسط بدون تگرگ، اما همراه با باران یا برف در زمان دیده بانی) Thunderstorm during watch (light or moderate thunderstorm without hail, but with rain or snow during watch)	95	برق مشاهده شده، ولی رعد شنیده نشده است. Lightning was seen, but thunder was not heard.	13
توفان رعدوبرق در زمان دیده بانی (توفان رعدوبرق، سبک یا متوسط همراه با تگرگ، و در زمان دیده بانی) Thunderstorm during watch (light or moderate thunderstorm with hail, and during watch)	96	توفان رعدوبرق (همراه یا بدون بارش) Thunderstorm (with or without precipitation)	29
توفان رعدوبرق در زمان دیده بانی (توفان رعدوبرق سنگین، بدون تگرگ، اما همراه با باران یا برف در زمان دیده بانی) Thunderstorm during watch (severe thunderstorm, without hail, but with rain (or snow during watch)	97	توفان رعدوبرق در طول ساعت قبلی، اما در زمان دیده بانی پدیده مشاهده نشده است (باران سبک در موقع مشاهده ابر CF) Thunderstorm during the previous hour, but not observed at the time of observation (light rain at the time of observation of the CF cloud)	91
توفان رعدوبرق در زمان دیده بانی (توفان رعدوبرق همراه با گردوغبار یا توفان ماسه در زمان دیده بانی) Thunderstorm during watch time (thunderstorm accompanied by dust or sandstorm during watch time)	98	توفان رعدوبرق در طول ساعت قبلی، اما در زمان دیده بانی پدیده مشاهده نشده است (باران متوسط یا سنگین در زمان دیده بانی) Thunderstorm during the previous hour, but no thunderstorms were observed during the observation period (moderate or heavy rain during the observation period)	92
توفان رعدوبرق در زمان دیده بانی (توفان رعدوبرق، سنگین، همراه با تگرگ در زمان دیده بانی) Thunderstorm during watch (Thunderstorm, heavy, with hail during watch)	99	توفان رعدوبرق در طول ساعت قبلی، اما در زمان دیده بانی پدیده مشاهده نشده است (برف سبک، یا مخلوط برف و باران یا تگرگ در زمان دیده بانی) Thunderstorm during the previous hour, but no phenomenon observed during the observation period (light snow, or mixed snow and rain, or hail during the observation period)	93

توفان رعدوبرق در طول ساعت قبلی، اما در
زمان دیده‌بانی پدیده مشاهده نشده است (برف
متوسط یا سنگین یا مخلط برف باران یا تگرگ
در زمان دیده‌بانی)
Thunderstorm during the previous
hour, but no phenomenon was
observed during the observation period
(moderate or heavy snow or mixed
snow, rain or hail during the
observation period)

94

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی درازمدت (اقلیمی) فراوانی رخداد رعد و برق و رابطه آن با مختصات جغرافیایی (طول و عرض) و ارتفاع انجام شده است. برای دستیابی به این هدف ابتدا برخی مشخصات توصیفی رعد و برق (شامل میانگین سالانه و ضریب تغییرات) محاسبه و برآورد گردید و توزیع مکانی این مقادیر در نقشه‌هایی ارائه شد. روندنمای مطالعه حاضر در شکل ۲ آمده است:



شکل ۲- روند نمای مطالعه‌ی حاضر

Fig. 2. The shape of the current study's outline

از سوی دیگر، توزیع جهت دار به معنای وجود یک روند فضایی در عوارض واقع در منطقه مورد مطالعه می باشد. وجود روند معمولاً با یک بیضی شمانیک با عنوان بیضی انحراف استاندارد نشان داده می شود که قطر بزرگ آن نمایانگر جهت توزیع می باشد (Rahman, Yang & Di, 2018).

برای شناسایی گرانیگاه توزیع فضایی مشاهدات، مرکز میانگین برآورد گردید. مرکز میانگین، نقطه‌ای در یک نقشه است که از آن به‌منظور خلاصه‌سازی توزیع پدیده‌ها استفاده می‌شود. این آماره مرسوم‌ترین سنجه گرایش مرکزی برای داده‌های فضایی است که به‌صورت یک نقطه ارائه می‌شود. از این رو مختصات جغرافیایی مکان همچون طول (x)، عرض (y) اهمیت پیدا می‌کند (Wong & Wang, 2018). برای محاسبه مرکز میانگین، یک شبکه مختصات، با تعدادی مساوی از محورهای افقی و عمودی بر روی نقشه مورد نظر قرار داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان مختصات هریک از نقاط را به‌دست آورد. در صورتی که مختصات نقطه i با x_i و y_i و ارزش عددی وابسته به این نقطه با p_i نشان داده شود، مختصات مرکز میانگین با $\bar{X}_c$ و $\bar{Y}_c$ نشان داده و از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$\bar{X}_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

$$\bar{Y}_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2)$$

جهت‌گیری مکانی (محدوده تغییر احتمالی) میانگین و محدوده پراکندگی متوسط آن با یک بیضی با عنوان بیضی انحراف استاندارد نشان داده می‌شود. مختصات کشیدگی این بیضی (S_x و S_y) براساس تعداد ایستگاه‌ها (n) مختصات ایستگاه (x_i و y_i) و مختصات مرکز میانگین ($\bar{X}_c$ و $\bar{Y}_c$) از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود (Vahidi Asl, 2011).

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_c)^2} \quad (3)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_c)^2} \quad (4)$$

برای برآورد روابط بین متغیرهای مورد بررسی، با استفاده از روش‌های آماری همبستگی (خطی و غیرخطی؛ کمی و طبقه‌ای) میانگین سالانه و ضریب تغییرات آن با مختصات جغرافیایی (طول و عرض) و ارتفاع محاسبه و برآورد شد. در نهایت تلاش شد که این روابط در خانواده روش‌های رگرسیونی، الگوسازی شوند:

از آن‌جا که روابط متغیرهای اقلیمی همیشه به‌شکل خطی نیستند، از روش‌های غیرخطی محاسبه همبستگی استفاده شد. در این راستا از تبدیل شبه‌نرمال باکس-کاکس استفاده شد. این روش از نوع تبدیل‌های توانی است و معمولاً برای مشاهدات نامنفی (بیش‌از صفر) به‌کار می‌رود. تبدیل باکس - کاکس به شکل رابطه (۵) انجام می‌شود (Asakereh, 2011):

$$\frac{x^\lambda - 1}{\lambda} - 3 \leq \lambda \leq +3 \quad (5)$$

در این پژوهش، با استفاده از رابطه (۵) تمامی تبدیلات ممکن برای هر جفت متغیر (میانگین فراوانی رعدوبرق و ضریب تغییرات آن با مختصات جغرافیایی و ارتفاع) در دامنه ۳ تا -۳ با نمو ۰/۱ برای λ انجام شد. جایگشت تمام داده‌ها (میانگین فراوانی و ضریب تغییرات آن با مختصات جغرافیایی و ارتفاع) در تمامی حالات ممکن بررسی شدند. در نهایت برای ۳۸۴۳ حالت همبستگی‌ها محاسبه شد. هدف از انجام این محاسبات یافتن بهترین همبستگی بین هر جفت متغیر بود. قوی‌ترین همبستگی در هر یک از حالات مشخص شد. با محاسبه ضریب تعیین می‌توان درصد تغییرات (پراش) توأم (مشترک) دو متغیر (x و y) را برآورد کرد. این ضریب مجذور ضریب همبستگی دو متغیر است و می‌توان آن را به شکل درصد نشان داد (Asakereh, 2011). اگرچه

روش باکس - کاکس برای تبدیل داده‌ها و شناسایی الگوهای غیرخطی پیچیده مناسب است، اما نتایج حاصل از روش غیرخطی نشان داد که ضریب همبستگی به طور قابل توجهی تغییر نکرد. بنابراین، استفاده از روش پیچیده‌تر، نتایج مشابهی به دست آمد. از این‌رو، و براساس اصل امساک، تحلیل خطی به‌عنوان روشی مناسب برای بررسی ارتباط بین داده‌ها انتخاب گردید. آزمون ساده و پرکاربرد خی‌دو^۱ یکی از مهم‌ترین آزمون‌های پارامتری برای ارزیابی استقلال حالات دو متغیر است و از رابطه (۶) قابل برآورد است (Asakereh, Masoodian & Tarkarani, 2021):

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (E_{ij} - O_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (6)$$

در این فرمول X^2 مقدار کای دو، O_i تعداد مشاهدات واقعی هر دسته، E_i تعداد مشاهدات مورد انتظار هر دسته می باشد. برای بررسی بسامد رویداد رعد و برق از تحلیل‌های احتمالاتی استفاده شد. در این زمینه و براساس روش‌های آزمون و خطا، توزیع دوجمله به‌عنوان توزیع مناسب و برازنده بر مشاهدات تشخیص داده شد. توزیع دوجمله‌ای، قادر است توزیع احتمالاتی تعداد رخدادها در یک فرایند مستقل را شبیه‌سازی و مدل‌سازی کند و از رابطه (۷) قابل برآورد است (Asakereh, 2011):

$$p(X = x) = \binom{p}{x} p^x q^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x} \quad (7)$$

در این رابطه $P(X=x)$ احتمال وقوع x رویداد از متغیر X می باشد، n تعداد کل رویدادها با تکرار، P احتمال رخداد و q احتمال عدم رخداد است.

در این راستا با استفاده از روش بیشینه درستنمایی، احتمال رخداد رعد و برق محاسبه و براساس رابطه (۷) توالی و تداوم رعد و برق برآورد شد.

تحلیل روابط مکانی رعد و برق با استفاده از روش رگرسیون جغرافیایی موزون (GWR)^۲ انجام شد. این روش یک روش آماری-محلی است که اساس آن بر پایه قانون جغرافیایی «اصل نزدیکی همانندی» می باشد. این روش در تحلیل‌های مکانی بسیار مناسب و با دقت بالایی از واقعیت‌های محیطی برآورد و الگوسازی را به انجام می‌رساند. براین اساس، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی چند متغیره و بر پایه موقعیت نقاط مجاور و وزن‌دهی آماری به هریک از آنها الگوسازی انجام می‌شود، (Asakereh & Seifipour, 2012). برای الگوسازی مکانی رابطه بین میانگین فراوانی رخداد رعد و برق با مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی-ارتفاع)، از روش رگرسیون جغرافیایی موزون (GWR) استفاده شد. به هر متغیر مستقل متناسب با موقعیت جغرافیایی یک وزن اختصاص داده شد. این وزن‌ها نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر متغیر مستقل در مدل رگرسیونی هستند. در این روش، به دلیل وجود همبستگی میان متغیرهای توضیحی، نتایج قابل قبولی به دست نیامد. بنابراین، از پارامترهای موجود به‌طور مستقل از عرض جغرافیایی و ارتفاع، و همچنین از طول جغرافیایی و ارتفاع، با میانگین سالانه رعد و برق، دو نقشه تهیه گردید. مدل ارائه شده برای این رابطه به شرح رابطه (۸) است:

$$R_i = b_0(\phi_i, \lambda_i) + \sum_{k=1}^k b_k(\phi_i, \lambda_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (8)$$

1- χ^2

2- Geographically Weighted Regression

در مدل رگرسیونی موزون R_i متغیر وابسته، $b_0(\emptyset_i, \lambda_i)$ که به مختصات جغرافیایی $(\emptyset_i, \lambda_i)$ وابسته است که همان عرض از مبدأ می‌باشد. $b_k(\emptyset_i, \lambda_i)$ ضرایب رگرسیون برای متغیرهای مستقل X_k که به مختصات جغرافیایی $(\emptyset_i, \lambda_i)$ وابسته است، $x_{ik} : k$ متغیرهای مستقل برای مشاهده i ، ε_i خطای تصادفی می‌باشند (Lu, Charlton, Harris & Fotheringham, 2014).

نتایج و بحث

ویژگی‌های عمومی

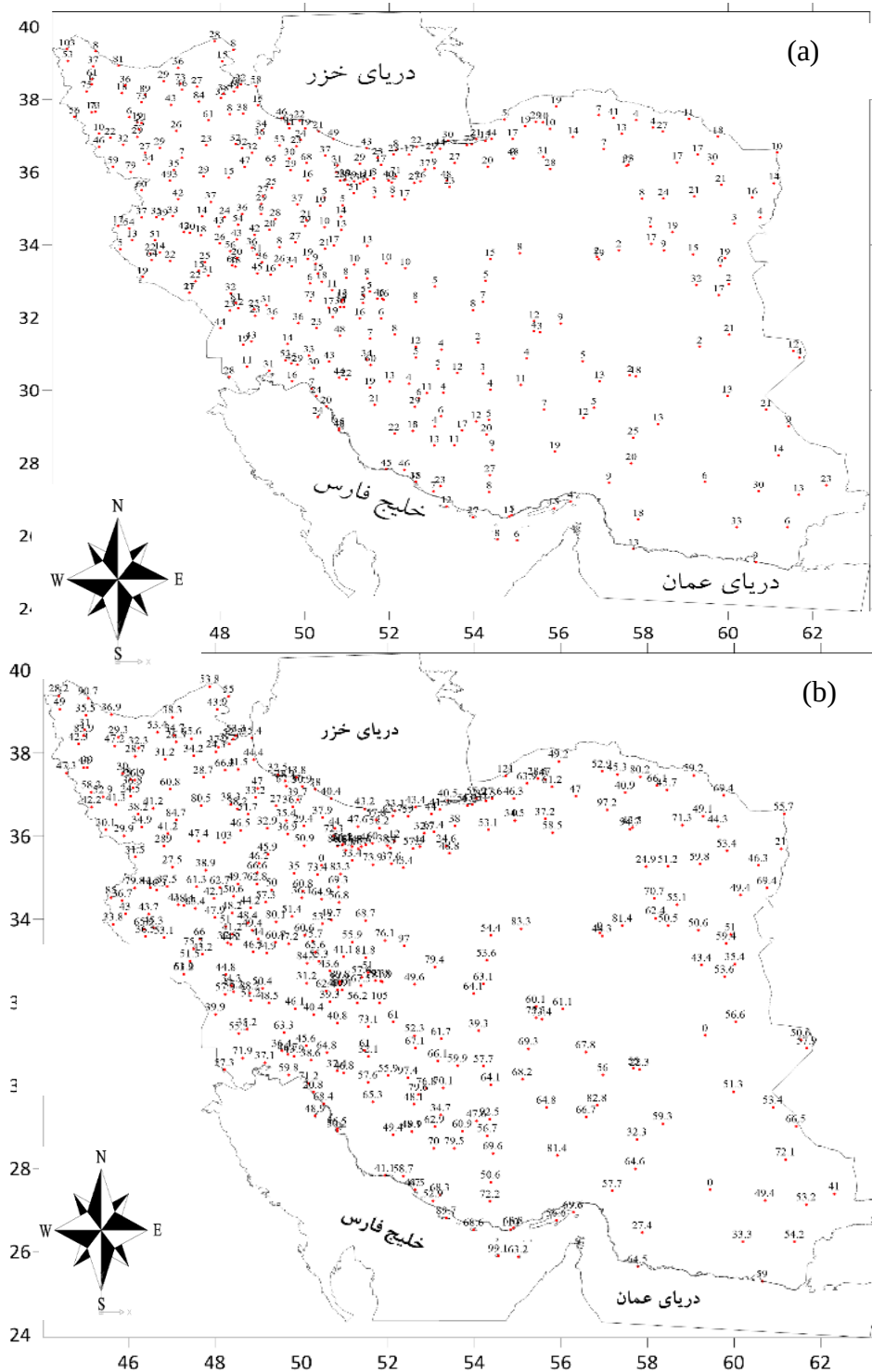
شکل ۳ توزیع مکانی میانگین (a)، ضریب تغییرات (b) و مرکز میانگین - بیضی استاندارد (c) سالانه فراوانی رعدوبرق را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۳ (a) می‌توان دید، بیشینه رخداد رعد و برق در شمال غربی ایران رخ داد. بنابر نظر عساکره و رزمی قلندری (Asakere & Razmi Qalandari, 2014)، بارش‌های شمال غرب کشور ایران عمدتاً حاصل فعالیت‌های همرفتی، صعود کوهستانی و جبهه‌های محلی است. همچنین این ناحیه با اختلافات دمایی و فشاری قوی‌تر حاصل از تباین‌های توپوگرافیک مواجه است. بنابر نظر عساکره و همکاران (Asakereh et al., 2020)، تباین الگوهای فشار تراز دریا حاصل حضور پرفشار سیبری و کم‌فشارهای دیگر است. همچنین، حضور پشته غربی، ضمن ریزش هوای سرد به داخل ناوه مستقر بر منطقه، شرایط برخورد هوای سرد شمال اروپا و هوای گرم تر مدیترانه شرقی و شکل‌گیری جبهه‌ها را فراهم می‌کند. از این‌رو این ناحیه از کشور شرایط جوی مناسبی برای رخداد رعد و برق را تجربه می‌کرد.

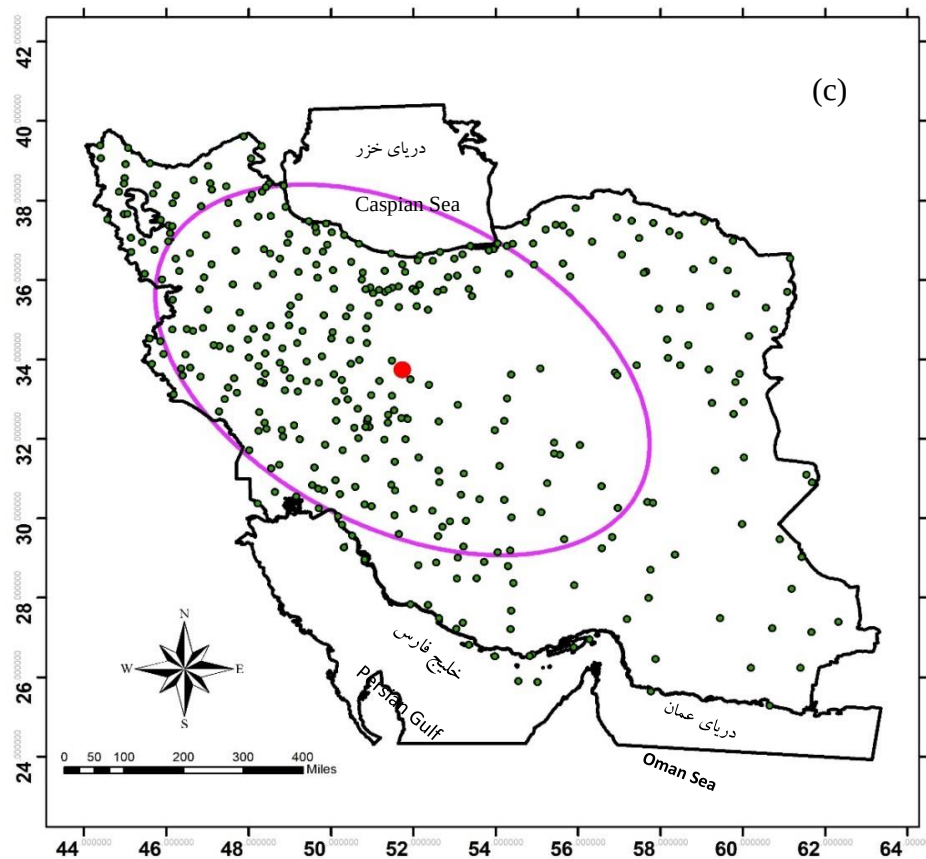
میانگین سالانه فراوانی رخداد رعد و برق در نواحی جنوبی ایران با اقلیم گرم و مرطوب، تقریباً نزدیک به میانگین سالانه فراوانی رخداد رعد و برق در مناطق غربی بود. عوامل مرتبط با احتمال رخداد رعدوبرق در یافته‌های فتاحی و حجازی‌زاده (Fattahi & Hejazizadeh, 2006) توصیف شده است. ایشان وجود یک پرفشار در سطح زمین مستقر بر روی دریای عمان و شرق شبه‌جزیره عربستان را توأم با ریزش هوای گرم و مرطوب دریای عمان به سوی جنوب غربی ایران را پربسامدترین الگوی جوی می‌دانند. میانگین سالانه رعدوبرق، ایستگاه‌های شمال کشور، نسبتاً بالا است. این مناطق دارای آب و هوای معتدل و مرطوب هستند، که شرایط مطلوبی برای ایجاد این پدیده فراهم می‌کند. بنابر نظر مرادی (Moradi, 2004)، فرابار سیبری، سیستم‌های کم فشار و واپرخندهای مهاجر، الگوهایی هستند که شمال ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بارش‌های فرابار سیبری از دریای خزر، کم فشارها و واپرخندهای مهاجر از منابع دیگر (نظیر دریای سیاه، مدیترانه یا اقیانوس اطلس) رطوبت می‌گیرند. هرگاه در ساحل جنوبی دریای خزر، در سطح زمین پشته پرفشار کوتاه ناشی از گسترش هوای سرد در منطقه استقرار یابد و در ترازهای میانی و بالایی جو نیز ناوه وجود داشته باشد، شرایط لازم برای وقوع بارش‌های شدید و نیز فعالیت‌های رگباری - رعدوبرق در منطقه مهیا می‌شود. علاوه بر این، در دامنه‌های شمالی البرز و کوهپایه‌های این ناحیه به‌ویژه در نواحی شرقی، بارش‌های همرفتی که از صفات اقلیمی نواحی مذکور هستند، نیز از عوامل شکل‌گیری تندر در این ناحیه است (Alizadeh-Choobari & Najafi, 2018).

میانگین سالانه رعدوبرق در ایستگاه‌های شرق کشور، نسبتاً کم‌تر از سایر مناطق است. آب و هوا در شرق ایران بیشتر خشک یا نیمه خشک است، با شرایط نیمه گرمسیری، در این منطقه با وجود برخی ناهمواری‌های زمین، شرایط برای ایجاد رعدوبرق به‌سختی فراهم می‌شود.

مناطق مرکزی ایران دارای اقلیم خشک و کم باران هستند، میانگین سالانه کم‌تری نسبت به کل ایران نشان می‌دهند؛ زیرا شرایط آب و هوایی مناسب برای تشکیل ابرهای تندری کم است. بنابر نظر علیجانی (Alijani, 1995) توده‌های هوای مرطوب (دریای مدیترانه‌ای - خزری) پس از تخلیه بخار آب در غرب کوه‌های زاگرس و شمال کوه‌های البرز به این ناحیه می‌رسند. در تابستان نیز این ناحیه محل استقرار پرفشار جنب حاره‌ای است و ناهمواری‌های شرقی از ورود رطوبت احتمالی خلیج بنگال و کوه‌های زاگرس

جنوبی و بشاگرد از ورود رطوبت دریای عمان و خلیج فارس جلوگیری می‌کنند. از این‌رو شکل‌گیری ناپایداری‌های جوی توأم با تندر بسیار محدود است.





شکل ۳- (a) میانگین، (b) ضریب تغییرات سالانه فراوانی رعدوبرق و (c) مرکز میانگین و بیضی استاندارد
Fig.3. a) Mean, f) annual coefficient of variation of lightning frequency, and c) mean center and standard ellipse

شکل ۳ (b) توزیع مکانی ضریب تغییرات فراوانی رعد و برق، به عنوان نمایه‌ای از میزان پایداری در دفعات رخداد، را نشان می‌دهد. متوسط ضریب تغییرات ایستگاه‌ها حدود ۲۵/۵ درصد حاصل شد. مقدار ضریب تغییرات کم‌تر از ۲۵/۵ نشانه رخداد با ثبات‌تر حول میانگین است. هرچه این مقدار بیش از ۲۵/۵ درصد باشد، دال بر بی‌نظمی سال به سال وقوع رعد و برق و گویای تفاوت‌های شدید سالانه آن است. همچنین بر اساس شکل مربوط می‌توان دریافت که ضریب تغییرات داده‌های رعدوبرق در اکثر نقاط کشور با بی-نظمی مشخص می‌شود. این نامنظمی را می‌توان به تغییرات عواملی نظیر شرایط اقلیمی و نقش عوامل جغرافیایی نسبت داد. بنابر نظر علیجانی (Alijani, 1995) تنوع اقلیمی ایران با تفاوت‌های چشمگیر دما، رطوبت، و بارش به وضوح مشهود است؛ به عنوان مثال مناطق کوهستانی با بارش فراوان و دمای پایین، مناطق جنوبی با دماهای بالا و بارش کم، و مناطق شمالی با تنوع دمایی و بارش سالانه و چشمگیر، هر یک جلوه‌هایی از این تنوع هستند. همچنین وجود مراکز فشار متنوع و در نتیجه ظهور جبهه‌های هوایی، تنوع اقلیمی را در پی دارد. این تنوع در اقلیم ایران تظاهرات مختلفی دارد. یکی از این تظاهرات تنوع در عناصر، پدیده‌ها و مخاطرات اقلیمی است. در این زمره تنوع در پدیده رعد و برق را می‌توان یاد نمود.

مرکز میانگین و بیضی استاندارد در شکل ۳ (c) ارائه شده است. همانطوری که در این نقشه مشخص است، محل قرارگیری مرکز میانگین به صورت دایره‌ای قرمز رنگ در مختصات ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۲ درجه طول شرقی مشاهده می‌شود. این نقطه به عنوان مرکز ثقل رعدوبرق در ایران است. این نقطه در واقع میانگین فضایی رخداد رعد و برق را نشان می‌دهد و مشابه میانگین در

آمار کلاسیک است. از این نقطه به سمت شمال و غرب کشور متوسط فراوانی رعد و برق افزایش و به سمت شرق و جنوب کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، دفعات رخداد رعد و برق ناحیه کم‌وسعت شمال - غرب برابر با فراوانی گستره فراخ جنوب و شرق این نقطه است. شایسته است که به این نکته اشاره شود که این نقطه ثابت نبوده و در طول دوره آماری جابه‌جا می‌شده است. پهنه‌ای که مرکز میانگین، به‌طور متوسط در آن جابه‌جا می‌شد، به‌وسیله بیضی استاندارد نشان داده شده است. بیضی استاندارد ارائه شده، به‌طور ساده جهت‌گیری جنوب‌شرقی - شمال‌غربی مرکز میانگین را نشان می‌دهد.

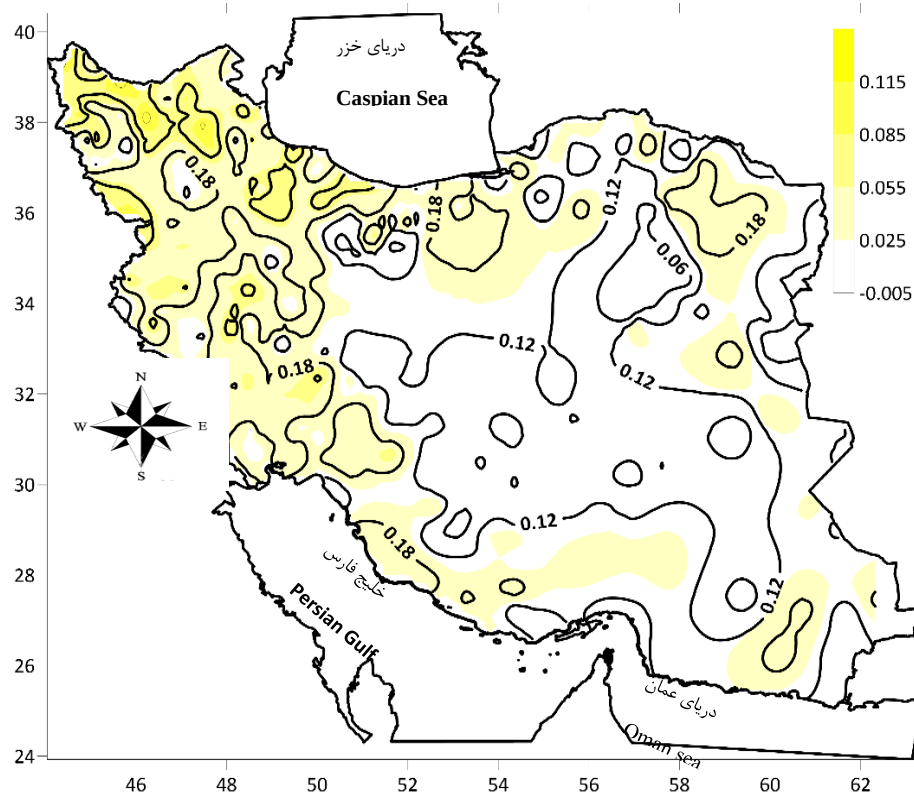
تحلیل احتمالاتی

تحلیل‌های این بخش براساس اصول احتمالات، و برازش توزیع احتمال دوجمله‌ای بر روی داده‌های رعد و برق در ایران ارائه می‌شود. این تحلیل شامل ارزیابی فراوانی وقوع رعد و برق در مناطق مختلف ایران و با استناد به نتایج به دست آمده، الگوهای مختلف وقوع این پدیده‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج این تحلیل در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است: شکل ۴ توزیع مکانی احتمال وقوع رعدوبرق (پس‌زمینه رنگی) و انحراف معیار داده‌ها (خطوط هم‌مقدار) را طی بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار احتمال وقوع منطبق بر نواحی مرتفع و کوهستانی سلسله جبال زاگرس و البرز می‌باشد. از جمله دلایل بیشترین احتمال رخداد در این منطقه می‌توان، به عاملی از قبیل کوهستانی بودن منطقه، که محل عبور توده‌های متعدد آب و هوای و نابرابری در توزیع تابش انرژی خورشیدی بر دامنه‌های آفتاب‌گیر بوده که خود منجر به شکل‌گیری ناپایداری و صعود هوای گرم و مرطوب ناشی از همرفت دامنه‌ای در برخی از ایام سال است. نیمه غربی ایران و به‌ویژه ناحیه شمال‌غرب ایران، در دوره سرد سال محل عبور توده‌های هوای متعددی از جمله بادهای غربی، چرخندهای مدیترانه‌ای و امواج کوتاه همراه آنها به درون کشور می‌باشد که شرایط را برای ایجاد ناپایداری و وقوع پدیده رعدوبرق فراهم می‌کند. بدین ترتیب طبق نظر علیجانی (Alijani, 1995) همه‌ی عوامل یاد شده در ایجاد رعدوبرق در این نواحی مؤثر هستند. پس از این ناحیه، ناحیه شمالی ایران نیز به‌دلیل دسترسی به رطوبت دریای خزر و ارتفاعات قابل ملاحظه و تاثیر پذیری این ناحیه از توده‌های آب‌وهوای متعددی از جمله توده هواهای مهاجر غربی از یک سو و پرفشار سیبری از سوی دیگر، شرایط را برای ایجاد رخداد پدیده رعدوبرق فراهم می‌آورد. یافته‌های عساکره و همکاران (Asakereh, Khosravi, Doostkamian & Solgimoghaddam, 2020) این موضوع را تایید کرده است.

علاوه بر نواحی جغرافیایی مذکور، نواحی پراکنده‌ی دیگری از جمله شمال شرق و جنوب ایران از در اولویت‌های احتمالاتی بعدی قرار می‌گیرند. در ناحیه شمال شرقی ایران وجود کوه‌های نسبتاً مرتفعی از جمله کپه داغ و هزار مسجد شرایط را برای صعود اجباری توده هواهای عبوری از این منطقه، شرایط وقوع رعدوبرق را فراهم می‌آورد. در نواحی شرقی ایران گره‌های کوهستانی پراکنده‌ای اشاره نمود که به‌دلیل قرارگیری مسیر توده هوای غرب و ایجاد ناپایداری در مقیاس محلی فراهم نموده و منجر به افزایش میزان وقوع پدیده‌ی مذکور در این نواحی می‌شود. نتایج این بخش در پژوهش عساکره و همکاران (Asakereh et al., 2020) ذکر شده است. در نواحی جنوبی ایران به‌دلیل همجواری با پهنه‌های وسیع رطوبتی (از جمله خلیج فارس و دریای عمان) از یک سو و تاثیرپذیری از شرایط آب و هوای متعددی از جمله جریان‌های غربی و جریانات جنوبی و جنوب‌شرقی (نظیر سامانه‌های موسمی) در هنگام برخورد با ارتفاعات پراکنده این نواحی، منجر به مهیایی شرایط برای رخداد پدیده رعدوبرق می‌شود. بعداز ارتفاعات شمال‌غرب، ارتفاعات جنوب‌شرقی به‌خصوص منطقه سراوان از بیشترین میزان احتمال وقوع پدیده رعدوبرق برخوردار است. براساس این نقشه فراوانی احتمال پدیده رعد و برق با نتایج تحقیقات دکتر علیجانی (Alijani, 2004) منطبق است همان‌طور که ایشان اشاره کردند، بیشینه رعدوبرق ایران در شمال غرب و جنوب شرق رخ می‌دهد.

در مناطق مرکزی ایران به‌دلیل فقدان ارتفاع قابل ملاحظه در مسیر توده‌های مهاجر غربی و شمالی از یک سو و از سوی دیگر به‌دلیل این‌که توده‌های هوایی مهاجر بخش اعظم رطوبت خود را در طی مسیر رسیدن به این ناحیه از دست می‌دهند، احتمال

وقوع پدیده رعدوبرق به خوبی مهیا نبوده و به همین دلیل این ناحیه هم به لحاظ فراوانی وقوع و هم احتمال وقوع پدیده رعدوبرق به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. قانیدی (Ghaedi, 2021) در پژوهش خود این نتیجه را تایید کرده است. توزیع مکانی انحراف معیار احتمال رخداد رعد و برق نشان می‌دهد مناطقی که از بیشترین انحراف معیار برخوردار است، منطبق بر نواحی توأم با بیشترین احتمال وقوع است. از این قبیل می‌توان به نواحی شرقی کشور اشاره نمود. این امر بر این واقعیت دلالت دارد که واداشت‌های رعد و برق در این نواحی، واداشت‌های ثابت یا منظمی نیستند. از این رو قطعیت احتمالات ارائه شده همچون میزان احتمالات کم است. به عبارت دیگر، تغییرات اندک در واداشت‌های مورد بحث، نتایج احتمالات را به طور قابل توجهی تغییر می‌دهند. در نواحی نظیر ایران مرکزی که مقدار انحراف معیار پایین است، گواهی بر ثبات در کمبود پدیده رعد و برق و ثبات نسبی در تمام ایام سال دارد. بنابراین حاکمیت این شرایط باعث می‌گردد که مقدار انحراف معیار پدیده رعدوبرق در این ناحیه کم باشد.



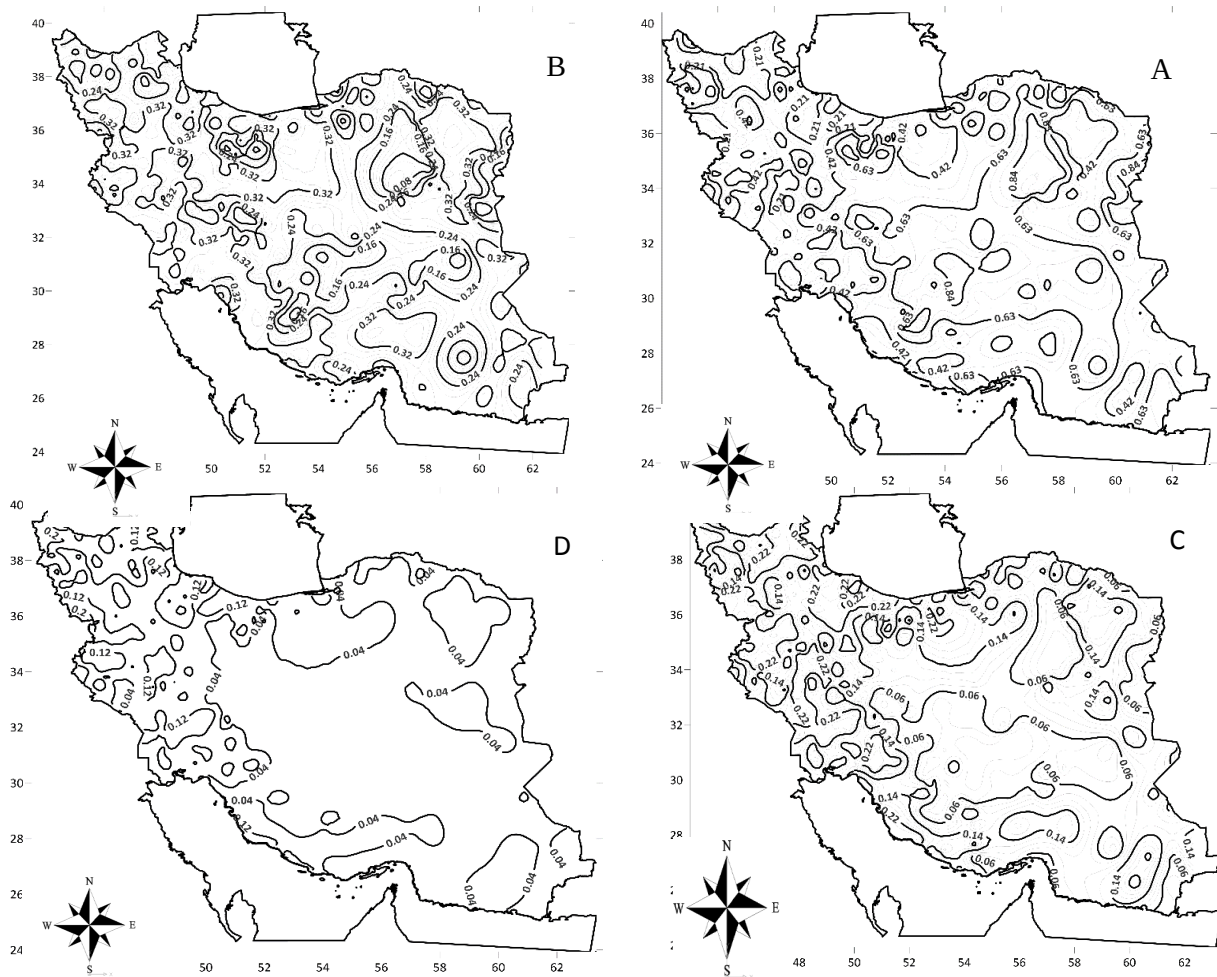
شکل ۴- احتمال وقوع رعدوبرق (پس زمینه رنگی) و انحراف معیار داده‌ها (خطوط هم‌مقدار)

Fig.4. Probability of lightning occurrence (colored background) and standard deviation of data (equal value lines)

نقشه‌های اشکال شماره ۵ A تا F احتمال تداوم روزهای بدون رعد و برق و روزهای توأم با ۱ روز تا ۵ روز رعد و برق در طی ۳۰ روز متوالی (یک ماه) را نشان می‌دهد، به عنوان مثال همان طور که در شکل شماره ۴ (A) مربوط به احتمال ۳۰ روز متوالی بدون رخداد پدیده رعدوبرق مشاهده می‌شود، در نواحی بیابانی احتمال عدم وقوع رعدوبرق در ۳۰ روز متوالی بسیار بالا و حدود ۸۴ درصد است. در نواحی مرکزی این احتمال تا ۶۳ درصد و نواحی جنوبی و جنوب غربی نیز تا حدود ۴۲ درصد کاهش می‌یابد. نواحی شمال غربی و ساحلی دریای خزر این احتمال تا حدود ۲۱ درصد مشخص می‌شود. با افزایش تعداد روزهای توأم با رعد و برق در

طی ۳۰ روز، اگرچه احتمال رخداد کاهش می‌یابد، اما الگوی فضایی تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر، مطابق شکل ۵ (B)، احتمال وقوع دست کم یک رعد و برق در یک ماه، در نواحی شمال غرب، شمال و شمال شرقی کشور، به دلیل شرایط آب و هوایی مناسبی که شامل ظهور و گذر سامانه‌های ناپایداری جوی فراوان و تشکیل ابرهای کولونیمبوس، بیشینه (حدوداً ۳۲ درصد) است. در نواحی مرکزی و جنوب شرقی کشور، احتمال وقوع حداقل یک رعدوبرق در سی روز حدوداً ۲۴ درصد است. در نواحی بیابانی کشور، کمترین میزان احتمال وقوع یک رعد و برق در ماه (حدوداً ۱۶ درصد) است.

مطابق شکل ۵ (C)، احتمال وقوع دو روز توفان با رعدوبرق در ۳۰ روز متوالی در نواحی ارتفاعات البرز و زاگرس بیشینه (حدوداً ۲۴ درصد) است. در نواحی مرکزی، جنوبی، جنوب شرقی و شمال شرقی کشور، احتمال وقوع رعدوبرق، حدوداً ۱۴ درصد است که کم‌تر از مناطق مرتفع است. در نواحی بیابانی کشور، کمترین احتمال وقوع دو روز توفان رعدوبرق در طی یک ماه تا حدوداً ۶ درصد برآورد شد. مطابق شکل ۵ (D)، احتمال وقوع ۵ روز توفان با رعدوبرق در ۳۰ روز متوالی، با درصد بسیار پایین نزدیک به ۰/۰۱ در نواحی زاگرس مرتفع و غرب دریای خزر بیشینه مقادیر احتمالاتی قابل مشاهده است و در دیگر مناطق کشور احتمال بسیار نزدیک به صفر است.



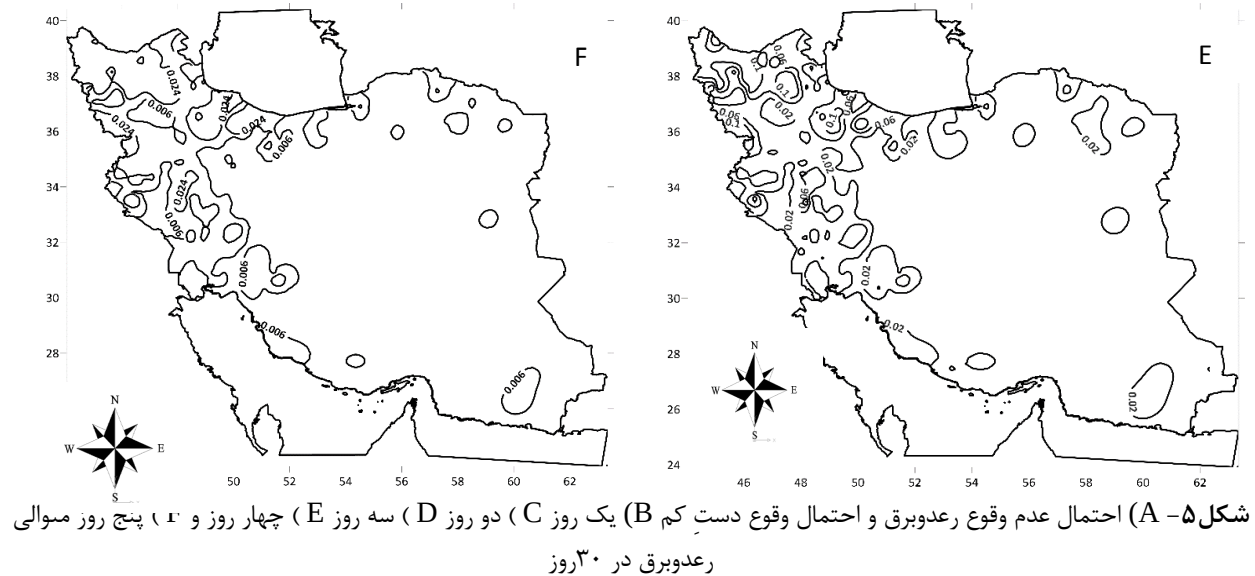
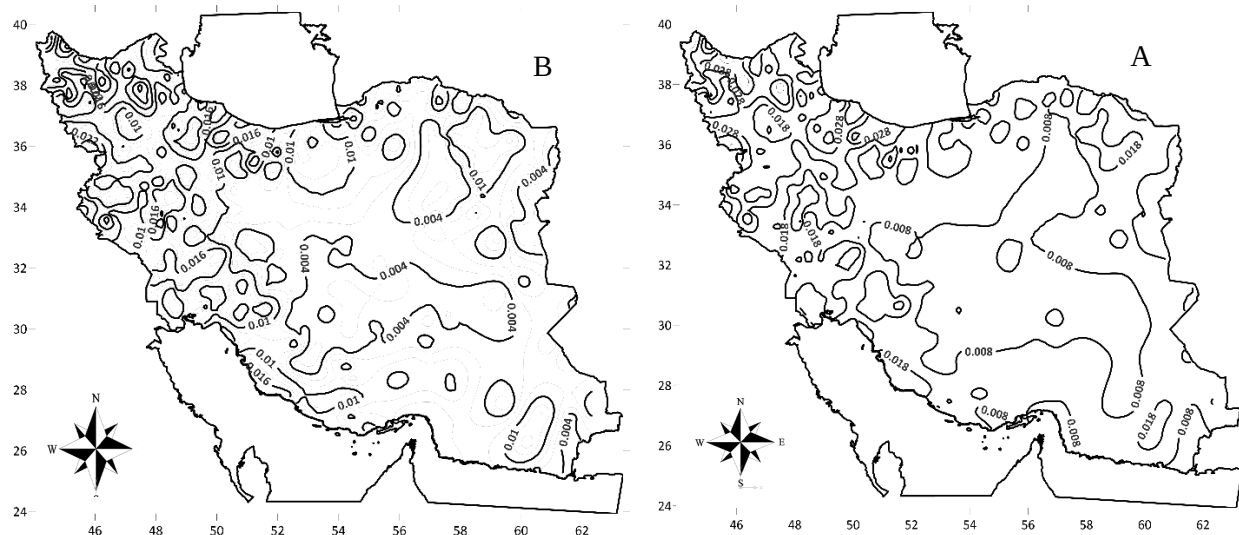


Fig.5. A) Probability of no lightning and probability of at least B) one day, C) two days, D) three days, E) four days, and F) five consecutive days of lightning in 30 days.

شکل ۶ A) و B) به ترتیب شبیه سازی داده های احتمال وقوع رعدوبرق برای ۲۳ سال آینده (۲۰۲۳-۲۰۴۶) و ۴۶ سال آینده (۲۰۶۹-۲۰۲۷) به شرط ثابت بودن احتمال وقوع های کنونی را نشان می دهند. براساس شکل ۶ A) (توزیع مکانی احتمال به شبیه سازی ۲۳ سال آینده)، احتمال وقوع رعدوبرق برای مناطق شمال غرب و نوار غربی سواحل دریای خزر ۰/۰۲۸ است. بنابراین پیش بینی می شود که در آینده، بیشترین احتمال وقوع پدیده رعدوبرق در این ناحیه باشد. احتمال وقوع حاصل از شبیه سازی مربوط به نواحی جنوبی و شمال شرق و جنوب شرقی ۰/۰۱۸ می باشد. در نواحی ایران مرکزی، منطبق بر بیابان های داخلی نیز احتمال وقوع رعدوبرق به ۰/۰۰۸ می رسد.

در شکل ۶ B)، شبیه سازی داده های احتمال وقوع رعدوبرق برای دو برابر دوره آماری (۲۰۶۹-۲۰۴۷) نشان می دهد، در آینده نواحی زاگرس و شمال غرب، ۰/۰۲۲ احتمال وقوع رعدوبرق وجود دارد. در نواحی شمالی و جنوب غربی ۰/۰۱۶ و در نواحی ایران مرکزی نیمه شرقی کشور حدوداً ۰/۰۰۴ احتمال رخداد رعدوبرق مورد انتظار است.



شکل ۶- شبیه‌سازی داده‌های رعدوبرق برای طول دوره‌های آینده

Fig.6. Lightning data simulation for future periods

تحلیل و الگوسازی روابط

جدول ۳ ضریب همبستگی بین مختصات مکانی - ارتفاع با میانگین و ضریب تغییرات سالانه فراوانی رعدوبرق در گستره ایران زمین را نشان می‌دهد. براساس این جدول اگرچه تمامی روابط خطی بین متغیرهای مورد بررسی به لحاظ آماری معنی‌دار است، اما میزان همبستگی خطی بسیار کم است. به عنوان مثال بیشترین رابطه (معکوس) بین میانگین سالانه فراوانی رعدوبرق و طول جغرافیایی حدود ۰/۳۲۸- بود. یعنی با افزایش طول جغرافیایی میانگین سالانه داده‌های رعدوبرق کاهش می‌یابد براین اساس و براساس ضریب تعیین تنها حدود ۱۱ درصد تغییرات سالانه فراوانی رعدوبرق به وسیله طول جغرافیایی توجیه می‌شود. بنابراین علیجانی و هرمان (Alijani & Harman, 1985) اقلیم ایران، به ویژه نیمه غربی آن به دلیل واقع شدن در نزدیکی جبال زاگرس و کوهستان‌های البرز و نیز مجاورت با بیابان‌های همجوار، نظیر صحرای عربستان، و ایران مرکزی به طور معمول تحت تأثیر توده هوای گوناگون است، به طوری که این ناحیه محل برخورد توده‌های گرم و خشک با توده‌های هوای سرد است. بنابراین، با توجه به تأثیر توده‌های هوایی مختلف و جبهه‌های هوا، اقلیم نیمه غربی ایران دارای شرایط هواشناسی متنوع و پویا است که ممکن است منجر به وقوع پدیده‌های هواشناسی گوناگون، نظیر رعد و برق، گردد. اما در نیمه شرقی کشور این شرایط کاهش می‌یابد؛ در نتیجه شرایط برای ایجاد رعدوبرق به سختی فراهم می‌شود. رابطه ضریب تغییرات میانگین سالانه رعدوبرق ایران و طول جغرافیایی نیز مثبت اما بسیار ضعیف و فاقد معنی آماری است. این ارتباط ضعیف بر تصادفی بودن ضریب تغییرات فراوانی رعد و برق دلالت دارد. از این رو، این رابطه نمی‌تواند به صورت قاطع برای پیش‌بینی یا توصیف تغییرات در وقوع رعدوبرق مورد استناد قرار گیرد.

ضریب همبستگی مثبت بین میانگین سالانه رعدوبرق ایران و عرض جغرافیایی نشان‌دهنده وجود یک رابطه مثبت بین این دو متغیر است. بدین مفهوم که با افزایش عرض جغرافیایی میانگین سالانه رعدوبرق افزایش پیدا می‌کند. بنابراین عساکره و رزمی قلندری (Asakere & Razmi Qalandari, 2014)، الگوهای بارشی در منطقه شمال غرب ایران (عرض‌های جغرافیایی بالا) نشان می‌دهد که در این منطقه، رژیم بارش به صورت یکنواخت‌تر و پایدارتر است. این مناطق دارای کم‌ترین ضریب تغییرات و بیشترین یکنواختی بارش هستند، که نشان از وجود الگوهای بارشی یکنواخت و پایدار در این مناطق دارند. این ویژگی‌ها می‌توانند نشان‌گر فعالیت مستمر و پایدار سامانه‌های باران‌زا در این نواحی باشد. همچنین بنابراین علیجانی و هرمان (Alijani & Harman, 1985)

مناطق غرب و شمال غرب به جهت نزدیکی به منابع رطوبتی و گذر فراوان بادهای غربی در این منطقه از همگنی مناسبی برخوردار هستند. رابطه ضریب تغییرات میانگین سالانه رعدوبرق ایران با عرض جغرافیایی با مقدار معکوس و بسیار کم ($-0/2$) مشخص می‌شود. براساس علامت این همبستگی، با افزایش عرض جغرافیایی، ضریب تغییرات سالانه رعدوبرق ایران کاهش می‌یابد. بنابر نظر اسماعیلی محمودآبادی و صادقی (Esmaeili Mahmoudabadi & Sadeghi, 2023)، این رابطه به دلیل تغییر الگوهای باد و توپوگرافی است. با افزایش عرض جغرافیایی، پایداری در الگوهای بارش افزایش یافته و بر رویدادهای هیدروالکتریک از جمله پدیده رعدوبرق تأثیر می‌گذارد.

از سوی دیگر ضریب همبستگی بین میانگین سالانه رعدوبرق ایران و ارتفاع نشان دهنده یک ارتباط بسیار ضعیف بین این دو متغیر است. بدین صورت که افزایش ارتفاع تأثیر بسیار کمی بر روی تغییرات میانگین سالانه رعدوبرق دارد و نمی‌توان به طور قطعی از وجود رابطه قوی بین آن‌ها سخن گفت. به عبارت دیگر، این ضریب همبستگی نشان می‌دهد که هرچند ممکن است یک ارتباط ملموس بین این دو متغیر وجود داشته باشد، اما این ارتباط در قالب ارتباط خطی از قطعیت بالایی برخوردار نیست. بنابر نظر عساکره و همکاران (Asakereh et al., 2020)، عوامل بیرونی به طور قابل توجهی بر بارش‌های ایران و به‌ویژه نواحی شمال غربی کشور تأثیر دارند، در حالی که نواحی حاشیه‌ای از جمله کوه‌های زاگرس، سواحل خزر، و مرزهای شرقی ایران، بیشتر از عوامل درونی تأثیر می‌پذیرند. بنابر نظر رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2018)، با بررسی رابطه فراوانی رعد و برق‌ها با ارتفاع نشان دادند که بیشینه فراوانی رعد و برق‌ها در دامنه‌های جنوبی و قبل از رسیدن به قله اصلی و در ارتفاع بین ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر رخ خواهند داد. بنابراین اگرچه ارتفاعات نقش مهمی در توزیع مکانی بارش ایفا می‌کنند؛ اما از آن‌جا که ارتفاعات در نواحی غربی و شمالی کشور متمرکز شده‌اند، مطالعه آنها در مقیاس ملی این نقش را نهان می‌سازد. از این‌رو تمرکز این تأثیرات متناسب با تمرکز ارتفاعات (شکل ۳ - a) است. با توجه به همبستگی بسیار ضعیف میان ضریب تغییرات میانگین سالانه رعدوبرق ایران با ارتفاع که ($0/04$)، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب تغییرات میانگین سالانه رعدوبرق ایران با افزایش ارتفاع ایران تغییر چندانی پیدا نمی‌کند.

جدول ۳- ماتریس همبستگی خطی مشخصات سالانه رعدوبرق میانگین و ضریب تغییرات) با مختصات جغرافیایی - ارتفاع

Table 3- Linear correlation matrix of annual lightning characteristics (mean and coefficient of variation) with geographical coordinates - altitude

متغیرها Variables	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع Height	میانگین فراوانی Average frequency	ضریب تغییرات فراوانی Frequency coefficient of variation
طول جغرافیایی Longitude	1				
عرض جغرافیایی Latitude	-0.4010	1			
ارتفاع Height	-0.1229	0.1747	1		
میانگین داده‌ها Average data	-0.3280	0.2212	0.0520	1	
ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.0931	-0.2011	0.0437	0.1993	1

به‌منظور واریسی وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها، متغیرهای مورد اشاره در جدول ۳ برای تمام حالات ممکن و به‌وسیله تبدیل شبه نرمال باکس - کاکس اعمال شد. بالاترین میزان همبستگی به‌ازای مقادیر ۱ مختلف استخراج شد. نتایج این بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول میزان ۱ برای هر دو متغیر، که در آن بالاترین همبستگی حاصل گردید، ارائه گردیده است.

همان گونه که مشاهده می شود، بهترین برآورد ضریب همبستگی میانگین سالانه رعدوبرق با طول جغرافیایی که در روش خطی ۰/۳۲- بوده است در روش غیرخطی به ۰/۴۵- ارتقاء یافت. اما در بقیه موارد میزان همبستگی تغییرات چندانی نیافت. به عنوان مثال برای عرض جغرافیایی این عدد در روش خطی ۰/۲۲ و در روش غیرخطی ۰/۳۲ و میانگین سالانه با متغیر ارتفاع در روش خطی ۰/۰۵ و در روش غیر خطی ۰/۰۶ حاصل آمد. برای ضریب تغییرات داده ها با طول جغرافیایی نیز در روش خطی ۰/۰۹ و در روش غیر خطی ۰/۱۰، با عرض جغرافیایی در روش خطی ۰/۲۰- و در روش غیر خطی ۰/۱۹- و برای ارتفاع در روش خطی ۰/۰۴ و در روش غیرخطی ۰/۰۶ برآورد شد.

جدول ۴- بالاترین متوسط همبستگی عوامل جغرافیایی و میانگین فراوانی سالانه رعدوبرق و ضریب تغییرات آن

Table 4- Highest average correlation between geographical factors and average annual lightning frequency and its coefficient of variation

	طول جغرافیایی Longitude		عرض جغرافیایی Latitude		ارتفاع Height	
	ضریب همبستگی Correlation coefficient	λ	ضریب همبستگی Correlation coefficient	λ	ضریب همبستگی Correlation coefficient	λ
میانگین فراوانی	-0.45	3				
رخداد رعد و برق			0/32	3		
Average frequency of lightning occurrence		1/8			1/6	0.06
ضریب تغییرات	0/1	3				
Coefficient of variation		0.7	-0.19	-3		
		0.1			2/2	0.60

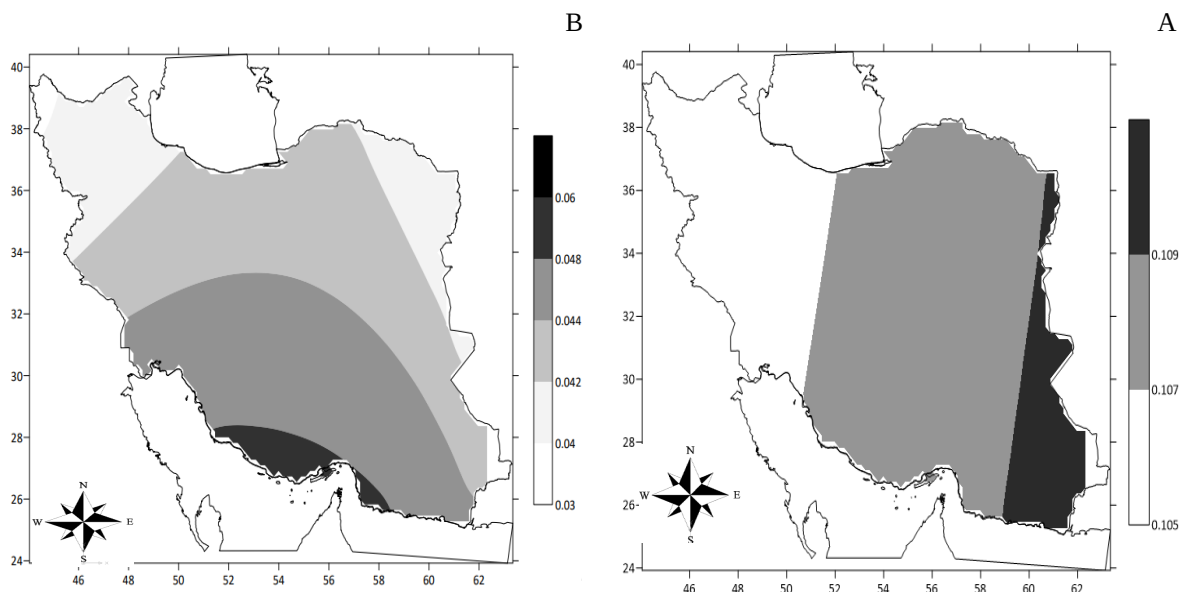
با عنایت به آن چه که گفته شد و با توجه به ضریب همبستگی کم، نمی توان رابطه ای قطعی و تاثیرگذار بین این متغیرها استنباط نمود. این عدم قطعیت، را می توان به عوامل مختلفی نسبت داد. به عنوان مثال فقدان تراکم ایستگاهی در طیف های ارتفاعی مختلف در این زمره است؛ در مناطق شمال غربی کشور، تعداد ایستگاه سینوپتیک از تمرکز بالای برخوردار می باشند در حالی که در مناطق مرکزی و شرقی تعداد آن ها به شدت کاهش می یابد. حال آن که علاوه بر مختصات جغرافیایی - ارتفاع، عواملی احتمالی متعددی نظیر موقعیت جغرافیایی ارتفاعات، جهت گیری ارتفاعات، قرارگیری آن ها در مسیر توده هواهای عبوری و نیز میزان برخورداری از رطوبت و نیز میزان دما بر فراوانی پدیده رعدوبرق اثرگذار است. این توزیع نامتوازن امکان پایش دقیق را محدود می سازد. علاوه براین، وجود خلاءهای آماری در داده های ایستگاه های همدید و نیز بی نظمی در رخداد رعد و برق را می توان از محدودیت های قابل تأمل برشمرد.

برای بررسی اثر توأم مختصات جغرافیایی - ارتفاع بر میانگین فراوانی سالانه رعد و برق و نیز ارائه دیداری از الگوی فضایی این رابطه، از رگرسیون جغرافیایی موزون استفاده شد. در این زمینه دو نقشه تهیه شد. در نقشه اول (شکل ۷ A) توزیع مکانی ضریب

تعیین دومتغیر طول جغرافیایی - ارتفاع با متوسط فراوانی رخداد رعد و برق و در نقشه دوم (شکل ۷ B) توزیع مکانی ضریب تعیین دو متغیر عرض جغرافیایی - ارتفاع با متوسط سالانه رخداد رعد و برق ارائه شد.

همان گونه که در شکل ۷ A) مشخص است، آستانه همبستگی از ۰/۱ تا ۰/۱۱ متغیر است. این مقادیر فاقد معنی آماری هستند. با این وجود، میزان ضریب تعیین از غرب به سمت شرق به طور نسبی افزایش می یابد، به طوری که بیشترین میزان ضریب تعیین در شرق و جنوب شرق کشور (مناطق مرتفع سراوان و کوه های مکران) دیده می شود. به نظر می رسد ارتفاعات موجود در شرق کشور به دلیل همجواری با منابع رطوبتی جنوب ایران و تعامل توده های موسمی با ارتفاعات، شرایط نسبتاً مناسبی برای رخداد پدیده رعدوبرق در این نواحی فراهم می آورد. بنابر نظر علیجانی و هرمان (Alijani & Harman, 1985)، و رضایی و همکاران (Rezaei, Ahmadi & Mohamadi, 2019) در مطالعات خود نشان دادند که، شرق و جنوب شرقی ایران به دلیل توده های هوایی گرم و مرطوب از سمت جنوب و جنوب شرق، سامانه های همرفتی محلی ناشی از تابش شدید خورشید و جبهه های هوایی سرد از سمت شمال و شمال غرب می توانند شرایط را برای ایجاد ناپایداری هوا و بارش های رگباری یا رعدوبرق در این مناطق مهیا سازند. ارتفاعات موجود در این مناطق باعث ایجاد سامانه های همرفتی محلی می شوند که در اثر تابش شدید خورشید در طول روز شکل می گیرند. همچنین این سامانه های همرفتی محلی می توانند باعث ابرناکی و ناپایداری های تأم با بارش های رگباری در برخی ساعات روز شوند.

در شکل ۷ B) توزیع مکانی ضریب تعیین عرض جغرافیایی - ارتفاع با پدیده رعدوبرق طی دوره آماری ۲۳ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۲) را نشان می دهد، همان طوری که می توان دید حداکثر مقدار ضریب تعیین ۰/۰۶ است. همین مقدار ضریب تعیین که به لحاظ آماری معنی دار نیست در جنوب بیشتر و به سمت عرض های شمالی کاهش می یابد. این ویژگی را می توان به برخورد رطوبت ناشی از آب های گرم سواحل جنوبی به ارتفاعات در عرض های شمال یتر و تکوین شرایط برای همرفت های ناگهانی و رخداد رعدوبرق نسبت داد. بنابر نظر رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019)، توده های هوای مرطوب که از دریای عرب و خلیج فارس به جنوب ایران وارد می شوند، نقش مهمی در افزایش رطوبت نسبی و بارش های موسمی در فصول انتقالی بهار و پاییز ایفا می کنند. همچنین، تداخل و برخورد توده هواهای سرد و گرم، شرایط آب و هوایی متغیر و ناپایدار را در جنوب ایران ایجاد می کند و منجر به بروز پدیده های جوی ناگهانی و شدید از جمله، رگبارهای شدید و طوفان های محلی می شود. این تغییرات سریع در شرایط آب و هوایی، نوسانات شدید دمایی و رطوبتی را در این مناطق به دنبال دارد.



شکل ۷- ضریب تعیین حاصل از مدل رگرسیون موزون برانده بر (A) طول جغرافیایی و ارتفاع و (B) عرض جغرافیایی و ارتفاع

Fig.7. Coefficient of determination resulting from the weighted regression model fitted to A: (longitude and altitude) and B: (latitude and altitude)

نتیجه گیری

پدیده‌ی رعد و برق یکی از پدیده‌های طبیعی است که در سطح جهان، به‌ویژه در مناطق با اقلیم متغیر مانند ایران، رخ می‌دهد. با بررسی ویژگی‌های عمومی این پدیده در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۲ در محدوده‌ی ایران زمین با استفاده از روش‌های آماری مشخص شد. مختصات جغرافیایی و ارتفاع در پراکندگی و فراوانی رعدوبرق تاثیر خطی قابل توجهی بر جای نمی‌گذارند. همچنین با بررسی نقشه‌ی ضریب تغییرات داده‌های رعدوبرق، نتایج دال بر بی‌نظمی وقوع پدیده‌ی رعد و برق و گویای تفاوت‌های شدید سالانه این پدیده در ایران است. بررسی همبستگی بین مختصات جغرافیایی - ارتفاع و فعالیت رعدوبرق در ایران نشان می‌دهد که ارتباطات معنی داری خطی کم است. با این وجود عرض جغرافیایی با میانگین فعالیت رعدوبرق رابطه ضعیفی دارد، اما همین رابطه کم در عرض‌های شمالی‌تر، افزایش می‌یابد. همچنین، طول جغرافیایی با میانگین رعدوبرق رابطه منفی و متوسطی دارد، به طوری که با افزایش طول (به سمت شرق کشور)، میانگین سالانه رعدوبرق کاهش پیدا می‌کند.

بررسی توزیع احتمال دوجمله‌ای بر داده‌های رعدوبرق در ایران نتایج نشان می‌دهد، که مناطق مختلف ایران، احتمال وقوع رعدوبرق متفاوتی دارند که با عواملی همچون جغرافیا و شرایط آب و هوایی مرتبط است. مناطقی مانند شمال غرب و جنوب شرق ایران بیشترین میزان وقوع را دارند، در حالی که مناطق دیگر در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

به نظر می‌رسد که پدیده رعدوبرق در گستره ایران زمین یک پدیده تصادفی بوده و به لحاظ فضایی ارتباط خطی معنی داری با مختصات جغرافیایی - ارتفاع نشان نمی‌دهند. بنابراین، اگرچه مختصات جغرافیایی و ارتفاع در مقیاس محلی می‌توانند بر پدیده رعد و برق اثرگذار باشند، اما تأثیر آنها به طور خطی و ساده قابل مشاهده نیست. از این رو با تغییر طول و عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع، تأثیر قطعی بر فراوانی و شدت رخداد رعد و برق مشاهده نمی‌شود. عوامل دیگری مانند شرایط جوی، پوشش ابری و زمینه‌های محلی می‌توانند نقش مؤثرتری در بروز این پدیده داشته باشند. مطالعات پرشماری از جمله رسولی و همکاران (Rasuli et al., 2018)، علیجانی (Alijani, 1995)، عساکره و رزمی (Asakere & Razmi Qalandari, 2014)، عساکره و همکاران

(Asakereh et al., 2020)، قائدی (Ghaedi, 2021)، صادقی (Esmaeili Mahmoudabadi & Sadeghi, 2023) این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. امروزه پایش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و توسعه مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی رویدادهای اقلیمی، امکان دسترسی به داده‌های تقریباً به هنگام و دقیق را فراهم کرده‌است. داده‌های ماهواره‌ای از جمله داده‌های سنجنده LIS ماهواره TRMM در کنار داده‌های ایستگاهی و یا بعضاً در مکان‌های فاقد داده مورد استفاده قرار می‌گیرد که در پژوهش‌های مختلف اعتبار این داده‌ها مورد بررسی و تأیید قرار گرفته‌است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی از داده‌های ماهواره‌ای استفاده گردد. زیرا داده‌های ماهواره‌ای به دلیل پوشش زمانی - مکانی مناسب، نقاط ضعف داده‌های ایستگاهی را پوشش داده و ضمن برآورد دقیق‌تری از توزیع زمانی و مکانی پدیده رعد و برق، شناخت جامع‌تری از ویژگیهای این پدیده در اقالیم مختلف ایران ارائه خواهد داد.

References

- Adhikari, P. B. (2023). Different Measurement System of Lightning. *European Journal of Applied Physics*, 5(3), 26-30. <https://10.24018/ejphysics.2023.5.3.264>
- Alijani, B., & Harman, J. R. (1985). Synoptic climatology of precipitation in Iran. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(3), 404-416. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1985.tb00075.x>
- Alijani, B. (1995). *Iranian Meteorology*. Tehran: Payam-Noor Publication. [In Persian]
- Alijani, B. (2004). *Iran's Climate*. Tehran: Payam-Noor University Publications. [In Persian]
- Alizadeh-Choobari, O., & Najafi, M. S. (2018). Extreme weather events in Iran under a changing climate. *Climate Dynamics*, 50(1), 249-260. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3602-4>
- Asakere, H., & Razmi Qalandari, R. (2014). Temporal distribution and precipitation regime in northwest Iran. *Geographical Research*, 29(1), 145-160. [In Persian] <http://georesearch.ir/article-1-421-en.html>
- Asakere, H., & Seifipour, Z. (2012). Spatial modeling of annual precipitation in Iran. *Geography and Development*, 10(29), 15-30. [In Persian] https://gdij.usb.ac.ir/article_117.html
- Asakereh, H. (2011). *Fundamentals of Statistical Climatology*. Zanjan: Zanjan University Press. [In Persian]
- Asakereh, H., Khosravi, Y., Doostkamian, M., & Solgimoghaddam, M. (2020). Assessment of spatial distribution and temporal trends of temperature in Iran. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 56(4), 549-561. <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00150-9>
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. (2021). Variation in the spatial factors affecting precipitation in relation to the decadal changes of annual precipitation in Iran. *Geography and Environmental Planning*, 32(3), 129-146. [In Persian] https://gep.ui.ac.ir/article_25816_en.html
- Asakereh, H., Tarkarani, F., & Soltani, S. (2014). Circulation Patterns of Heavy Rains in the North West of Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 1(1), 85-96. [In Persian] <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2316-fa.html>
- Esmaeili Mahmoudabadi, A., & Sadeghi, F. (2023). Spatial-statistical analysis of lightning events in Iran. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-2786331/v1>
- Fattahi, E., & Hejazizadeh, Z. (2006). Temporal and spatial analysis of air masses and its application in monitoring dry and wet periods in southwestern basins of Iran. *Geographical Research*, 21(2), 99-119. [In Persian]

- Fischer, J., Groenemeijer, P., Holzer, A., Feldmann, M., Schröer, K., Battaglioli, F., ... & Antonescu, B. (2024). Invited perspectives: Thunderstorm Intensification from Mountains to Plains. *EGUsphere*, 2024, 1-41. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2798>
- Gao, Z. Y., Chen, Q. X., Gao, P., Huang, C. L., Yuan, Y., & Tan, H. P. (2022). Global flash clustering and infrared radiance characteristics: Analysis of TRMM/LIS data. *Infrared Physics & Technology*, 123, 104202. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104202>
- Ghaedi, S. (2021). Anomalies of precipitation and drought in objectively derived climate regions of Iran. *Hungarian Geographical Bulletin*, 70(2), 163-174. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.70.2.5>
- Goodman, S. J., Blakeslee, R. J., Koshak, W. J., Mach, D., Bailey, J., Buechler, D., ... & Stano, G. (2013). The GOES-R geostationary lightning mapper (GLM). *Atmospheric Research*, 125, 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.006>
- Javan, K., & Azizzade, M. R. (2018). Spatial-Temporal Modeling of Thunderstorm Occurrence in the Northwest Iran. *Physical Geography Research*, 50(1), 87-100. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.229988.1007027>
- Kaplan, J. O., & Lau, K. H. K. (2021). The WGLC global gridded lightning climatology and time series. *Earth System Science Data*, 13(7), 3219-3237. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3219-2021>
- Kaplan, J. O., & Lau, K. H. K. (2022). World wide lightning location network (WWLLN) global lightning climatology (WGLC) and time series, 2022 update. *Earth System Science Data*, 14(12), 5665-5670. <https://doi.org/10.5194/essd-14-5665-2022>
- Kaviani, M. R., & Alijani, B. (2004). *Fundamentals of Meteorology*. Tehran: Samt Publications. [In Persian]
- Khorshiddoust, A. M., Rasouly, A. A., & Fakhari Vahed, M. (2017). Spatio-temporal Distribution of Lightning Phenomenon in Iran Using TRMM Lightning Image Sensor (LIS) Data. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(1), 89-107. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v6i1.53347>
- Kilinc, M., & Beringer, J. (2007). The spatial and temporal distribution of lightning strikes and their relationship with vegetation type, elevation, and fire scars in the Northern Territory. *Journal of Climate*, 20(7), 1161-1173. <https://doi.org/10.1175/JCLI4039.1>
- Lashkari, H. (2011). *Principles and foundations of preparation and interpretation of climatic maps and diagrams*. Tehran: Shahid Beheshti University Publications. [In Persian]
- Lu, B., Charlton, M., Harris, P., & Fotheringham, A. S. (2014). Geographically weighted regression with a non-Euclidean distance metric: a case study using hedonic house price data. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(4), 660-681. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.865739>
- Mofokeng, D. O., Adelabu, A. S., Adepoju, K., & Adam, E. (2019). Spatio-temporal analysis of lightning distribution in golden gate highlands national park (gghnp) using geospatial technology. Paper presented at the Proceedings of IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium In IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8897912>
- Moradi, H. R. (2004). The role of Caspian Sea in the precipitation of northern coasts of Iran. *Journal of Marine Technics and Sciences of Iran, second periods* (2-3), 77-88. [In Persian]

- Price, C. (2009). *Thunderstorms, lightning and climate change*. In *Lightning: Principles, instruments and applications: Review of modern lightning research*. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9079-0_24
- Rafi, M. H., & Mostafa, M. G. (2022). Global lightning phenomena and time series model of lightning flash radiance. Paper presented at the Proceedings of the 2022 International Conference on Energy and Power Engineering (ICEPE). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEPE56629.2022.10044878>
- Rahman, M. S., Yang, R., & Di, L. (2018). Clustering Indian Ocean tropical cyclone tracks by the standard deviational ellipse. *Climate*, 6(2), 39. <https://doi.org/10.3390/cli6020039>
- Rasuli, A. A., Khorshiddoust, A. M., & Fakhari Vahed, M. (2018). Investigating the frequency distribution of lightning and its relation with elevation in Southeast of Iran. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 169-178. [IN Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32340>
- Shindo, T., Matsubara, H., Suda, T., & Miki, T. (2012). Development of a lightning risk assessment program (LIRAP). *IEEE Transactions on Power and Energy*, 132(8), 747-753. <https://dx.doi.org/10.1541/ieejpes.132.747>
- Taszarek, M., Allen, J., Púčik, T., Groenemeijer, P., Czernecki, B., Kolendowicz, L., ... & Schulz, W. (2019). A climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources. *Journal of Climate*, 32(6), 1813-1837. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>
- Thomson, E. M. (1980). The dependence of lightning return stroke characteristics on latitude. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 85(C2), 1050-1056. <https://doi.org/10.1029/JC085iC02p01050>
- Vahidi Asl, M. S. (2011). *Characteristics of Statistics and Probability in Geography*. Tehran: Payam-e-Noor University. [InPersian]
- Wong, D. W., & Wang, F. (2018). Spatial Analysis Methods. In *Comprehensive geographic information systems*. Oxford: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09598-1>