



Research Paper

Estimation of Iran's Spring Rainfall Through Outgoing Longwave Radiation from the Earth (with Emphasis on Northwest Iran)

Omid Eskandari^a , Behrooz Sari Sarraf^b, Hashem Rostamzade^c

^a Ph.D., Department of Climatology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^b Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran

^c Associate professor, Department of Climatology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz,

ARTICLE INFO

Received: 2025/01/07

Accepted: 2025/03/11

PP: 43-56

Use your device to scan and
read the article online



Keywords: Precipitation,
outgoing long wave radiation,
AIRS Sounder, GPM satellite,
.Iran

Abstract

The rains that often occur in the spring season and in the mountainous areas of the northwest of the country cause floods and destroy the environment and human infrastructure. Earth outgoing long-wave radiation is studied as a significant parameter to detect clouds and estimate this type of precipitation. The current study aims to examine the relationship and analysis of outgoing long-wave radiation variables and precipitation values in Arc GIS software environment for 17 statistical years for Iran using AIRS sensor products of Aqua satellite and GPM satellite. Correlation and regression models and confidence interval estimation were used to measure the correlation of outgoing long-wave radiation in predicting precipitation patterns and their changes. Regarding the results obtained in April and May in the northwest of the country, negative correlations above 60% were observed, which may be due to a cloudy factor, In June except in areas in the northwest and southeast of Iran, which indicate a negative correlation between precipitation and outgoing long-wave radiation, other strong negative correlations in other parts of the country were detected due to moisture trapped in the Earth's atmosphere and the lack of rising and instability due to subtropical high pressure, which reduces the radiation of the earth outgoing long-wave radiation. Consequently, using confidence interval maps, the OLR variable can be used to estimate convective precipitation in April in most parts of the country, in May for the northwest, and in June for high latitudes in the northwest and southeast of the country. In other areas, this inverse relationship cannot be used to predict precipitation.

Tabriz, Iran

Citation: Eskandari, O., Sari Sarraf, B & Rostamzade, H. (2025). Estimation of Iran's Spring Rainfall Through Outgoing Longwave Radiation from the Earth (with Emphasis on Northwest Iran), *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(2), 43-56.

DOI: 10.22034/ermr.2025.63416



© The Author(s). **Publisher:** University of Kurdistan Press

* **Corresponding author:** Omid Eskandari, **Email:** eskandariomid95@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

One of the reasons for the variability of rainfall in Iran is the presence of unique geographical and topographical conditions in the country. This creates a suitable environment for the formation of convective precipitation. Considering the role of convective rainfall in damaging natural and human infrastructures, studying these types of rainfall has attracted significant attention from researchers in recent years. It holds special importance in policymaking and planning across various sectors such as agriculture, water management, urban planning, construction, and transportation. Several important factors influence the occurrence of convective precipitation. One of these factors, which is an effective parameter for identifying and forecasting this type of rainfall, is the Outgoing Longwave Radiation (OLR) emitted by the Earth. Long-term measurement of Earth's outgoing longwave radiation is essential for quantitative understanding of climatic conditions. This variable is studied as an important parameter for cloud identification and rainfall estimation. High values of outgoing longwave radiation indicate cloud-free areas and thus warmer land surfaces, whereas cloudy regions have low outgoing longwave radiation, which can be detected by sensors. Therefore, the inverse relationship between outgoing longwave radiation and rainfall can be used to identify areas of convective precipitation.

Methodology

Rainfall events, which mostly occur during the spring season in the mountainous regions of northwestern Iran, often cause floods that lead to the destruction of the environment and human infrastructures. Outgoing Longwave Radiation (OLR) is studied as an important parameter for cloud identification and estimation of this type of precipitation. The aim of the present research is to analyze the relationship between terrestrial outgoing longwave radiation variables and precipitation amounts using AIRS sensor products from the Aqua satellite and data from the GPM satellite. This analysis is conducted statistically over 17 years for Iran within the ArcGIS software environment. Correlation and regression models, along with confidence level

estimations, were employed to investigate the relationship of outgoing longwave radiation in predicting rainfall patterns and their variations.

Results and Discussion

According to the obtained results, in April and May, negative correlations above 60% were observed in northwestern Iran, which can be attributed to cloud cover. In June, except for areas in the northwest and southeast of Iran that show a negative correlation between precipitation and outgoing longwave radiation (OLR), other regions of the country exhibited strong negative correlations due to moisture trapped in the atmosphere and the absence of upward movement and instability caused by the subtropical high-pressure system. This leads to a reduction in outgoing longwave radiation, but no actual precipitation occurs. Therefore, using confidence level maps, the OLR variable can be utilized to estimate convective rainfall in most parts of the country during April, in the northwestern region in May, and in some high-latitude areas in the northwest and southeast in June. However, in other regions, this inverse relationship cannot be used for rainfall prediction.

Conclusion

Based on this research, it can be concluded that in April, in the northwestern regions and mountain slopes where orographic convection occurs, cloud cover is a major factor explaining the high negative correlations exceeding 60%. In areas where precipitation systems originate from outside the country, the negative correlations tend to be lower. In May, most of the rainfall in northwestern Iran, the northeastern mountains, and the central mountains is convective in nature, showing similarly high negative correlations. In June, except for small areas in the northwest and southeast of Iran that exhibit a negative correlation between precipitation and outgoing longwave radiation (OLR), other regions show strong negative correlations caused by moisture trapped in the atmosphere and the lack of upward motion and instability due to the presence of the subtropical high-pressure system. This leads to a reduction in OLR, but no actual precipitation occurs. According to the correlation maps, a negative relationship between daily outgoing longwave radiation and precipitation was observed on monthly and

seasonal timescales. This inverse relationship was statistically significant at the 0.05 error level and 95% confidence, confirmed by the significance test of correlation (t-test). Therefore, using confidence level maps, the OLR variable can be applied to estimate

convective rainfall in most parts of the country during April, in the northwest in May, and in some northern latitudes in the northwest and southeast in June. However, in other regions, this inverse relationship cannot be used for precipitation prediction.

Financial sponsor

According to the responsible author, this article has no financial sponsor.

Contribution of the authors to the research

This article is extracted from the doctoral dissertation of Omid Eskandari, supervised by Dr. Behrooz Sarisraf as the primary advisor and Dr. Hashem Rostamzadeh as the secondary advisor.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest in writing or publishing this article.

Appreciation and thanks

The authors sincerely thank and appreciate all those who collaborated with them in collecting the data.



مقاله پژوهشی

برآورد بارش بهاره ایران از طریق تابش موج بلند خروجی زمین (با تأکید بر شمال غرب ایران)

امید اسکندری* : دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
بهروز ساری صراف: استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
هاشم رستمزاده: دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
بارش هایی که اغلب در فصل بهار و در مناطق کوهستانی شمال غرب کشور اتفاق می افتد، با ایجاد سیلاب موجب تخریب محیط زیست و زیرساخت های انسانی می شوند. تابش موج بلند خروجی زمین به عنوان پارامتری مهم جهت شناسایی ابرها و برآورد این نوع بارش، مورد مطالعه قرار می گیرد. هدف از پژوهش حاضر این است که با استفاده از محصولات سنجنده AIRS ماهواره آکوا و ماهواره GPM، ارتباط و تحلیل متغیرهای تابش موج بلند زمینی و مقادیر بارش را در محیط نرم افزار Arc GIS به مدت ۱۷ سال آماری برای کشور ایران بررسی نماید. از مدل های همبستگی و رگرسیون و برآورد سطح اطمینان به منظور ارتباط سنجی تابش موج بلند خروجی در پیش بینی الگوهای بارشی و نحوه تغییرات آن استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده در ماه آپریل و می در شمال غرب کشور همبستگی های منفی بالای ۶۰ درصد مشاهده شد که عامل ابرناکی می تواند دلیل آن باشد، در ماه ژوئن به جز مناطقی در شمال غرب و جنوب شرق ایران که حاکی از همبستگی منفی بارش و تابش موج بلند خروجی زمین است، همبستگی های منفی قوی دیگر در سایر مناطق کشور به دلیل رطوبت حبس شده در جو زمین و عدم وجود عامل صعود و ناپایداری به دلیل وجود پرفشار جنب حاره ای می باشد که باعث کاهش تابش موج بلند خروجی زمین است، ولی در واقع هیچ گونه بارشی انجام نگرفته است بنابراین با استفاده از نقشه های سطح اطمینان، می توان از متغیر تابش موج بلند خروجی در ماه آپریل در اکثر مناطق کشور، در ماه می در محدوده شمال غرب و در ماه ژوئن در نقاطی در عرض های جغرافیایی بالا در شمال غرب و در جنوب شرق کشور جهت برآورد بارش های همرفتی استفاده کرد، در سایر مناطق این ارتباط معکوس نمی تواند جهت پیش بینی استفاده گردد.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ شماره صفحات: ۴۳-۵۶ از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید  واژه های کلیدی: بارش، تابش موج بلند خروجی، سنجنده AIRS، ماهواره GPM، ایران

استناد: اسکندری، امید؛ ساری صراف، بهروز و رستمزاده، هاشم (۱۴۰۴). برآورد بارش بهاره ایران از طریق تابش موج بلند خروجی زمین (با تأکید بر شمال غرب ایران)، نشریه علمی پژوهش های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۲)، ۴۳-۵۶.

DOI: 10.22034/ermr.2025.63416



مقدمه

رخداد بارندگی یکی از مهم‌ترین عناصر آب و هواشناسی است به‌طوری که در حفظ اکوسیستم‌ها نقش کلیدی به عهده دارد (اسلوت^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). بارندگی به این دلیل که نقش اصلی را در چرخه هیدرولوژیکی و تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی دارد بسیار حائز اهمیت است (هائو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). از طرفی، تغییرات در الگوی بارندگی تأثیر زیادی بر شدت رواناب دارد. نوعی از بارش‌ها هستند که باعث تخریب و سیلاب می‌شوند (میو^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). بارش همرفتی نوعی از این بارش‌ها است که اکثراً در فصل بهار اتفاق می‌افتد و موجب تخریب محیط‌های طبیعی و زیرساخت‌های انسانی می‌شود (ناستوس^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). رخداد این نوع بارش به شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و زمان خاصی از سال آبی بستگی دارد. تگرگ، سرمازدگی دیررس، سرمازدگی زودرس و سیلاب‌ها، پدیده‌هایی هستند که پیامد این نوع بارش می‌باشند. این پدیده‌ها باعث صدمات اقتصادی، معیشتی، حمل و نقل شده و نهایتاً مشکلات اجتماعی را برای جوامع بشری به همراه دارند. با توجه به اینکه کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، نوع و زمان بارش‌ها در این کشور اهمیت بسزایی دارند. مناطق خشک و نیمه خشک بیش از ۶۰ درصد کشور را پوشش می‌دهد و بارش آن از نظر زمانی، مکانی، مقدار و مدت زمان بارش بسیار متغیر می‌باشد (مدرس و همکاران ۲۰۰۷). یکی از دلایل متغیر بودن بارندگی‌ها، وجود شرایط جغرافیایی و توپوگرافی خاص در کشور ایران است. این امر، بستر مناسبی برای ایجاد بارش‌های همرفتی به وجود می‌آورد، با توجه به نقش بارش‌های همرفتی در تخریب زیرساخت‌های طبیعی و انسانی، مطالعه بر روی این بارش‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است و از اهمیت ویژه‌ای در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، مدیریت آب، شهرسازی، ساختمان‌سازی و راه و ترابری برخوردار است. فاکتورهای مهمی در رخداد بارش همرفتی تأثیر دارند. یکی از این فاکتورها که عامل موثری برای شناسایی و پیش‌بینی این نوع بارش‌ها به حساب می‌آید، تابش موج‌بلند خروجی زمین است که به اختصار OLR^۵ گفته می‌شود (اسچرک^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). اندازه‌گیری بلند مدت تابش موج بلند خروجی زمین برای درک کمی از شرایط آب و هوایی ضروری است (کرولی و همکاران، ۱۹۹۱). این متغیر به عنوان پارامتری مهم جهت شناسایی ابرها و برآورد بارش، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مقادیر زیاد تابش موج‌بلند خروجی نشان‌دهنده سطوح بدون پوشش ابر و در نتیجه سطح گرم زمین می‌باشد و برعکس مناطق ابری دارای تابش موج‌بلند خروجی کمی هستند که توسط سنجنده می‌تواند برداشت شود (لیمن و اسمیت^۷ ۱۹۹۶). در نتیجه وجود رابطه معکوس بین مقدار تابش موج‌بلند خروجی و بارندگی را می‌توان در شناسایی مناطق بارش همرفتی بکار برد (حمال و همکاران، ۲۰۲۰).

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

مطالعاتی در ایران روندهای مکانی و زمانی بارش و تابش موج‌بلند خروجی زمین را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند از جمله موقری (۱۳۹۴)، در پژوهشی تغییرات مکانی پدیده منطقه همگرایی میان حاره‌ای و نوسان مادر-جولیان برگردش عمومی جو منطقه و اقلیم ایران (با استفاده از تابش موج‌بلند زمینی ۲۶۰ وات بر مترمربع حد آستانه‌ای جهت شناسایی ابرهای همرفتی عمیق، در منطقه همگرایی میان حاره ای) را بررسی کرده است. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، مدل‌سازی فضایی-زمانی آلوده در گستره‌ی ایران را مطالعه و به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آلوده در طول جغرافیایی ۴۴ تا ۴۵ درجه شرقی به میزان ۲/۸ تا ۳/۳ و کمترین مقدار بازتابش بین ۵۲ تا ۵۳ درجه طول شرقی یعنی دامنه‌های شرقی رشته‌کوه‌های زاگرس به میزان ۱ تا ۱/۵ واحد است و از نظر زمانی در مقیاس فصلی در زمستان به مقدار ۲۶٪ واحد و حداقل مقدار بازتابش در فصل بهار با ۲۳٪ می‌باشد و در مجموع مناطق غرب و مرکز کشور دارای بیشترین و مناطق شمال و شمال غرب کشور دارای کمترین آلوده هستند.

سلیقه و همکاران (۱۳۹۷)، بارش بهاری و تابش طول موج‌بلند خروجی زمین (مطالعه موردی بارش ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ شمال غرب ایران) را بررسی و به این نتیجه رسیدند که در فصل بهار بارش تابشی غلبه دارد. کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۷)، واکاوی روند سالانه تابش زمین تاب ایران و جهان با داده‌های دورسنجی را مطالعه کرده‌اند و همچنین در پژوهشی دیگر کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۸)، تحلیل میانگین دراز مدت تابش بلند زمینی ایران را با داده‌های سنجش دور بررسی و به این نتیجه رسیدند که بیشینه‌ی تابش موج‌بلند خروجی در منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا با مقادیر بیش از ۲۹۰ وات بر مترمربع رخ می‌دهد که ایران نیز بخشی از آن به حساب می‌آید. بررسی اثر تابش طول

¹ Sloat & al

² Hao & al

³ Mu & al

⁴ Nastos & al

⁵ Outgoing long Wave Radiation

⁶ Schreck & al

⁷ Liebmann & Smith

موج بلند خروجی زمین در بارش‌ها به ویژه بارش‌های همرفتی در تحقیقات زیادی برای کشورهای مختلف صورت گرفته است که به آنها اشاره می‌شود. اولین تحقیقاتی که در زمینه استفاده از تابش طول موج بلند زمینی وجود دارد، نشان می‌دهد که این داده‌ها از طریق اندازه گیری‌های ماهواره مدار قطبی NOAA مورد استفاده قرار گرفته است (گروبر و وینستون، ۱۹۷۸). مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است، به عنوان مثال کوسکی (۱۹۹۸)، در کار خود به این نتیجه رسید که تابش موج بلند خروجی زمین با مقدار کم‌تر از ۲۴۰ وات بر مترمربع می‌تواند به عنوان آستانه باران‌های همرفتی و شروع و پایان تاریخ فصول بارانی باشد. پراساد و همکاران (۲۰۰۰)، به این نتیجه رسیدند که بارش باران در سراسر هند برای هر یک از ماه‌های موسمی (ژوئن تا سپتامبر) رابطه معنی‌داری با دوره همزمان تابش موج بلند خروجی نشان می‌دهد. لیو^۳ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی با استفاده از داده‌های تابش موج بلند خروجی ارتباط بین فعالیت‌های همرفت زمستانی در مناطق گرمسیری اقیانوس هند و اقیانوس آرام و بارش‌های بعدی تابستان در چین را مطالعه کردند. لیو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA و TRMM همبستگی منفی بالا بین تابش موج بلند خروجی و میزان بارندگی در مناطق با عرض جغرافیایی کمتر را تایید کردند. کیلادیس^۴ و همکاران (۲۰۱۴) در ارتباط با مدل‌سازی رابطه بین شاخص تابش موج بلند خروجی و عناصر اقلیمی به ارتباط بین این تابش و تغییرات شاخص MJO^۵ اشاره کردند. کارناوسکاس^۶ (۲۰۱۶) با تابش موج بلند بر فراز قاره آفریقا قادر به پیش‌بینی با دقت بسیار بالای فعالیت طوفان‌های فصلی اقیانوس اطلس شدند. سو و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاهش تابش موج بلند خروجی در طی روز سریع‌تر از شب بود که می‌تواند ناشی از تغییرات شرایط ابرناکی در روز و شب باشد. کومار و همکاران (۲۰۲۱) شاخص‌های تعداد روزهای خشک متوالی و تعداد روزهای مرطوب متوالی (CWD) به ترتیب بیش از تقسیم‌بندی‌های هواشناسی همبستگی مثبت و منفی با تابش موج بلند خروجی را نشان دادند. رابطه بین تابش موج بلند خروجی زمین و گرمایش دیاباتیکی نیز توسط ژانگ و راندل (۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین رابطه بین تابش موج بلند خروجی و اثر گازهای گلخانه‌ای در تحقیق کول و کرونین^۷ (۲۰۱۸) بررسی شد. در تحقیقی دیگر رابطه بین تابش موج بلند خروجی زمین و تبخیر و تعرق بالقوه مورد بررسی قرار گرفته است (کوفرونو^۸ و همکاران، ۲۰۱۹). رابطه بین تابش موج بلند و دما و رطوبت را بررسی کردند. روش‌های متفاوتی در مورد ارتباط بین تابش موج بلند خروجی و عناصر آب و هواشناختی استفاده شده است، از جمله زی و آرکین^۹ (۱۹۹۸)، نشان دادند که ضریب رگرسیون مربوط به ناهنجاری بارش به تابش موج بلند خروجی از نظر فضایی ناهمگن و وابسته به فصل است. ساسکیند و همکاران (۲۰۱۲) با روش سری‌های زمانی نشان دادند که ناهنجاری‌های تابش موج بلند خروجی جهانی و مناطق گرمسیری به صورت قوی دارای همبستگی با تغییرات ال‌نینو و لانینا می‌باشند. سو و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل شبیه‌سازی آب و هوایی و استفاده از سناریوهای تاریخی CMIP5 به شناسایی ابرهای کلیدی و تشدید کننده‌های صعود در مناطق گرمسیری با تابش موج بلند زمینی پرداختند. همچنین پوشش‌جالی و همکاران (۲۰۲۰) با روش همبستگی ماهیانه و فصلی رابطه تابش موج بلند خروجی و یافتن جت بر فراز دریای عرب و تاثیر آن بر بارندگی‌های موسمی هند را بررسی کردند.

باتوجه به گسترده بودن کشور ایران و کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی برای سنجش مقدار بارش و همچنین جهت رفع خلاءهای مطالعاتی موجود از جمله عدم ارتباط سنجی و پیش‌بینی بارش با استفاده از تابش موج بلند خروجی، هدف پژوهش حاضر بر آن است با استفاده از محصولات سنجنده AIRS ماهواره آکوا و ماهواره اندازه‌گیری بارش جهانی (GPM)، ارتباط و تحلیل متغیرهای تابش موج بلند زمینی و مقادیر بارش را در محیط نرم افزار Arc GIS به مدت ۱۷ سال آماری بررسی نماید.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع، ما بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع میانگین تمامی کشور ۱۲۵۰ متر است و کوهستان‌های اطراف آن از لحاظ زیست آب و هوایی دو اثر متضاد بر محیط طبیعی ایران بر جای گذاشته‌اند (عالایی طالقانی، ۱۳۸۲).

¹ Gruber & Winston

² Kousky

³ Lio et al

⁴ Kiladis et al

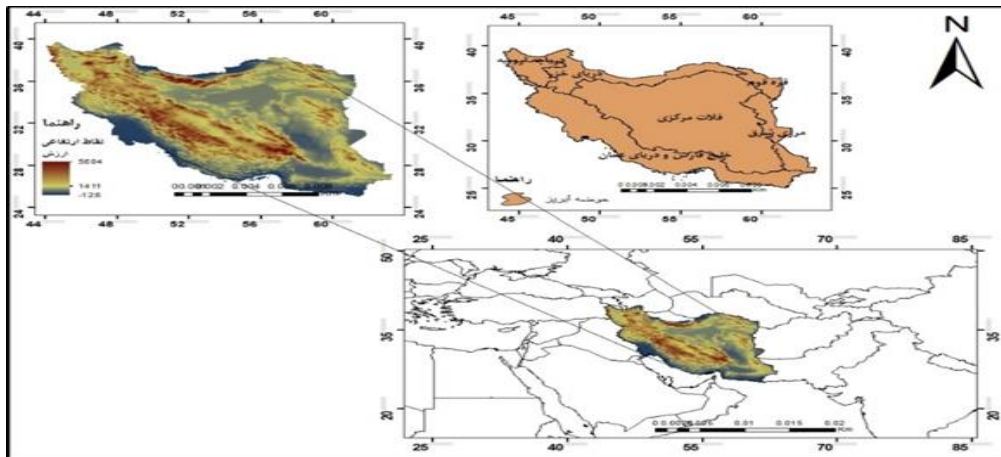
⁵ Madden Julian Oscillation

⁶ Karneauskas et al

⁷ Koll & Cronin

⁸ Kofronova et al

⁹ Xie & Arkin



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در پژوهش حاضر داده‌های ماهواره‌ای سنجنده AIRS2 ماهواره آکوا برای سنجش تابش موج‌بلند خروجی زمین با قدرت تفکیک مکانی 2 * 2 درجه (AIRSL3M3OLR61) از سایت (<https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov>) و تصاویر بارش کشور ایران از سنجنده GPM با قدرت تفکیک مکانی 0/1 * 0/1 درجه (GPM-31MERGMv06) از سایت <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> بمدت ۱۷ سال آماری (2002-07-01 تا ۲۰۱۹-۰۷-۰۱) برای کشور ایران مورد استفاده قرار گرفته است. این پژوهش روشی تحلیلی آماری جهت ارتباط‌سنجی تابش موج‌بلند خروجی در پیش‌بینی الگوهای بارشی در فصل بهار می‌باشد و تمامی محاسبات در نرم افزار Arc GIS انجام شده است. در این پژوهش ابتدا ضریب همبستگی پیرسون هر پیکسل به صورت میانگین ماهانه از طریق رابطه زیر محاسبه و توسط نقشه نمایش داده شد.

$$r_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

در تحلیل همبستگی، هدف اولیه اندازه‌گیری درجه یا میزان همبستگی خطی بین دو متغیر است و مقدار آن بین +۱ و -۱ قرار دارد که به معنای همبستگی مثبت و یا منفی دارد.

در گام بعدی، با تحلیل رگرسیون مقدار متوسط متغیر بارش را براساس مقادیر تابش موج‌بلند خروجی تخمین زده و پیش‌بینی گردید. در این تحقیق داده‌های ماهانه بارش فصل بهار از ماهواره GPM به عنوان متغیر وابسته و داده‌های ماهانه تابش موج‌بلند خروجی به عنوان متغیر مستقل بر روی نقشه‌های رستر تعریف شد. از معادله رگرسیون طبق رابطه زیر، ضریب تغییرات برای هر پیکسل محاسبه گردید.

$$y = \alpha + \beta x$$

در این معادله α عرض از مبدا خط، β شیب خط، x تابش موج بلند خروجی و y به عنوان بارش در نظر گرفته شد. جهت برآورد پارامترهای α و β به نحوی که معادله رگرسیون بهترین نشانه از رابطه بین مقادیر x_i و متغیر وابسته y_i باشد از روش کمترین مربعات خطا (LSE) استفاده شد و مقادیر a و b را به گونه‌ای به دست آمد که مقدار $D = \sum_{i=1}^n d_i^2$ مجموع مربعات مانده‌ها به حداقل ممکن برسد، کمیت‌های a و b بدست آمده را به ترتیب با $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ به عنوان پارامترهای رگرسیون در نظر گرفته شد. بنابراین بهترین خط برای برآورد رابطه بین x و y عبارت است از:

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} x$$

و با نمادهای پایه‌ای ذکر شده کمترین مربعات برای $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ طبق معادلات زیر محاسبه شدند.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$s_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, s_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$s_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

و سپس با محاسبه $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ مجموع مربعات مانده‌ها را جهت نمایش انحرافات پیش‌بینی از طریق رابطه زیر به دست آمد.

$$\hat{\beta} = \frac{s_{xy}}{s_{xx}}$$

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{\beta} \bar{x}$$

$$SSE = s_{yy} - \hat{\beta}^2 s_{xx}$$

یکی از هدف‌های ما از برآورد رگرسیون، استفاده از خط رگرسیون برای تعیین برآورد امید ریاضی طبق رابطه زیر و پاسخ متناظر با یک سطح معین از متغیر مستقل است که انحراف معیار تابش موج بلند خروجی میانگین ماه‌های سال به تفکیک برآورده شده و با اضافه نمودن این مقدار به متغیر x در دو حالت ماکزیمم و مینیمم به برآورد بارش برای ماه متناظر سال آینده پرداخته شد.

$$E(y|x^*) = \alpha + \beta x^*$$

یکی از موارد مورد نیاز جهت پیش بینی مقادیر بارش همرفتی براساس برآورد سطح اطمینان میانگین برای جامعه آماری بارش، بدست آوردن بالاترین و پایین ترین احتمال رخداد بارش براساس متغیر تابش موج بلند خروجی می‌باشد. بر این اساس آماره زیر برای آزمون فرضیه در مورد ضرایب α و β مورد استفاده قرار گرفت و با آزمون t-student دامنه تغییرات میانگین نمونه آماری برای جامعه مورد نظر به دست آمد.

$$p \left[\hat{\beta} - t_{\frac{\alpha}{2}, r} S_{\hat{\beta}} \leq \beta \leq \hat{\beta} + t_{\frac{\alpha}{2}, r} S_{\hat{\beta}} \right] = 1 - \alpha$$

از آنجا که مقدار تابش موج بلند خروجی کمتر از عدد ۲۶۰ مناطق دارای ابرناکی و مستعد همرفت را نشان می‌دهد ما با استفاده از این آستانه نواحی دارای همرفت ایران و احتمال رخداد بارش همرفتی را مشخص نمودیم و از فاصله اطمینان برای y به ازای x از طریق فرمول زیر استفاده کردیم (سانگ^۱ و همکاران، ۱۹۹۲).

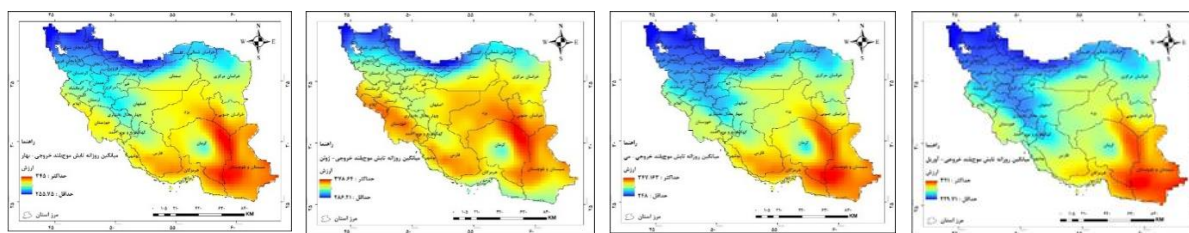
$$y = a + b(x < 260)$$

سپس با استفاده از قضیه حد مرکزی سطح احتمال رخداد بارش براساس آلفای ۰/۰۵ و سطح اطمینان ۰/۹۵ برای ماه‌های متناظر سال ۲۰۲۰ محاسبه شد.

$$P(y/0.95)$$

یافته‌ها و بحث

اندازه گیری و ایجاد نقشه‌های میانگین، توزیع و شدت متغیر مورد مطالعه در فضا را به ما نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده از نقشه های میانگین تابش موج بلند خروجی (شکل شماره ۲) طی ۱۷ سال مطالعه در این پژوهش می‌توان گفت که، در ماه آپریل بیشینه تابش موج بلند خروجی زمین در جنوب شرق ایران با ۳۱۷ وات بر مترمربع و کمینه آن در منطقه شمال غرب با ۲۲۶ وات بر مترمربع می‌باشد و به تبعیت از مناطق کوهستانی و عرض جغرافیایی تابش موج بلند خروجی در این ماه متغیر می‌باشد. در ماه می نیز بیشینه با مقدار ۳۴۴ وات بر مترمربع در جنوب شرق ایران و کمینه آن در منطقه شمال غرب ایران با مقدار ۲۴۰ وات بر مترمربع دیده می‌شود. در ماه ژوئن اکثر مناطق ایران دارای تابش موج بلند بالای ۳۴۰ وات بر مترمربع می‌باشند و کمینه آن در منطقه شمال غرب و شمال ایران در سواحل دریای خزر با مقدار ۲۹۵ وات بر مترمربع مشاهده شد.

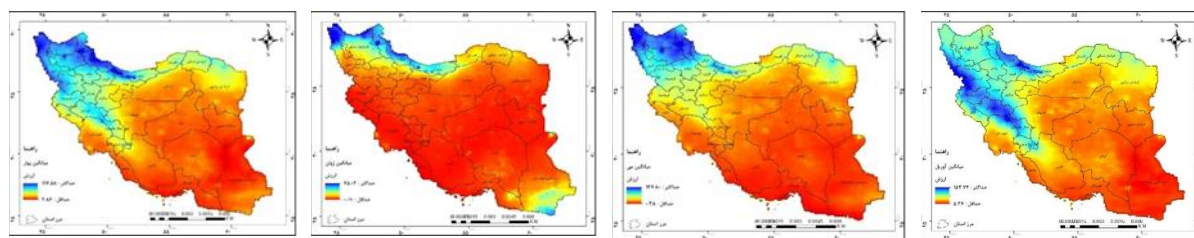


شکل ۲. نقشه میانگین ماهانه و فصلی تابش موج بلند خروجی گذر روز آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۲۱-۲۰۲۳)

با توجه به نتایج نقشه‌های میانگین ماهواره GPM (شکل شماره ۳)، بیشینه بارشی در ماه آپریل در منطقه غرب و شمال غرب ایران و قسمت های غرب شمال ایران با بارش متوسط ۱۲۵ تا ۱۵۳ میلی‌متر مشاهده شد و کمینه بارش در این ماه در جنوب و جنوب شرق و شرق ایران با حداقل ۵ میلی‌متر می‌باشد. در ماه می بیشترین مقدار بارش در منطقه شمال غرب ایران با مقدار ۷۰ تا ۱۴۷ میلی‌متر است و مناطقی از قبیل شمال رشته‌کوه‌های البرز در شمال و غرب رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب و محدوده کوهستانی در شمال شرق و ارتفاعات مناطق مرکزی بارش‌های بین ۳۰ تا ۶۰ میلی‌متر را دریافت می‌کنند. سایر مناطق ایران بدون بارش یا دارای بارش‌های پراکنده به تبعیت از کوهستان‌ها می‌باشند.

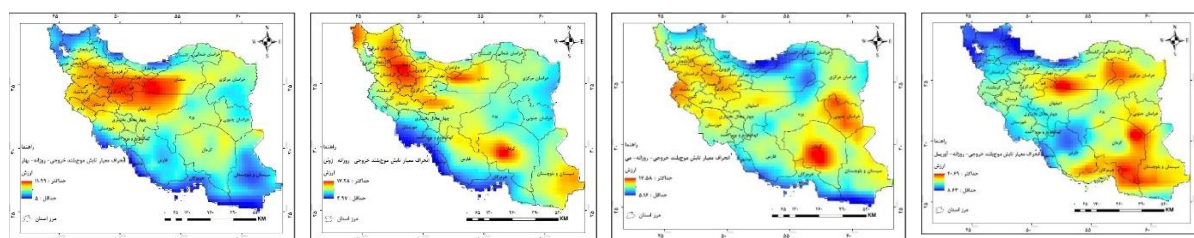
¹ Song et al

باشند. در ماه ژوئن بیشینه بارشی در منطقه شمال غرب و شمال رشته کوه‌های البرز با مقدار ۴۰ تا ۷۵ میلی‌متر است و یک بیشینه در جنوب شرق ایران با متوسط بارش ۳۵ تا ۴۵ میلی‌متر مشاهده شد، در سایر مناطق ایران بارش کم و یا بدون بارش می‌باشد.



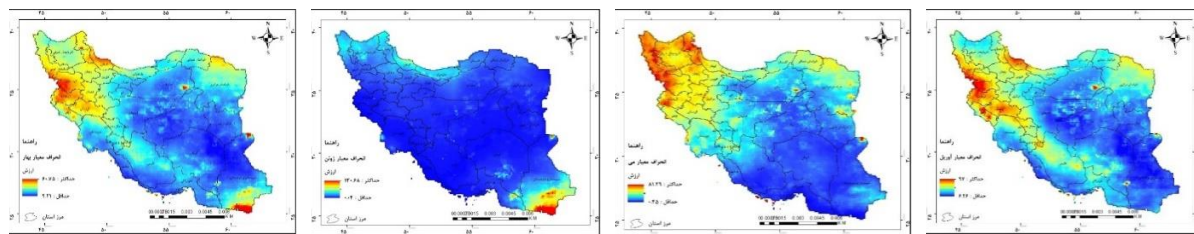
شکل ۳. نقشه میانگین ماهانه و فصلی بارش ماهواره GPM آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۲۳)

نتایج به دست آمده از انحراف معیار تابش موج بلند خروجی زمین (شکل ۴) نشان داد که بیشترین انحراف معیار تابش موج بلند خروجی در ماه آپریل در مناطق جنوب شرقی و مرکزی و مطابق با مناطق کم بارش ایران است و کمترین انحراف معیار در مناطق غربی، شمالی، جنوب غرب و شمال غرب ایران دیده می‌شود. در ماه می کمترین مقدار انحراف معیار مربوط به قسمت‌هایی از شرق شمال ایران و شرق جنوب ایران است و بیشترین انحراف معیار در قسمت‌های شرقی، مرکزی و غرب ایران می‌باشد. ماه ژوئن به صورت نواری از شمال غرب تا جنوب شرق انحراف معیار زیادی از خود نشان داد و در مناطق جنوب غرب و شمال شرق مقدارهای کمتری مشاهده شد. به طور کلی می‌توان گفت که اکثر مناطق ایران در ماه آپریل کمترین انحراف معیار و در ماه ژوئن بیشترین انحراف معیار را دارد.



شکل ۴. نقشه انحراف معیار ماهانه و فصلی تابش موج بلند خروجی گذر روز آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۲۱-۲۰۲۳)

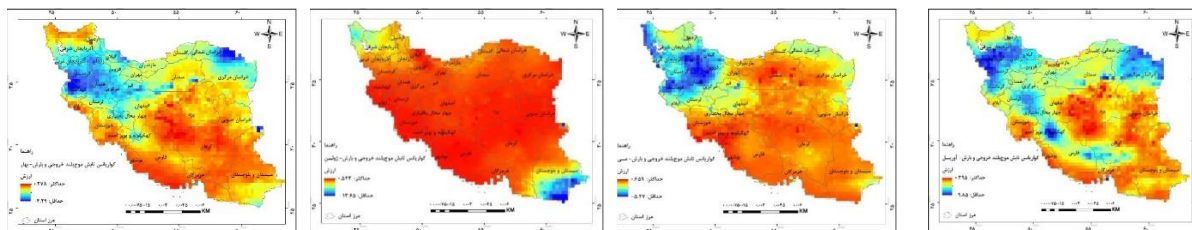
با توجه به نتایج حاصل از نقشه‌های انحراف معیار GPM (شکل شماره ۵)، در ماه آپریل بیشترین انحراف معیار داده‌های بارش در مناطق شمال غرب و شمال ایران می‌باشند که دقیقاً منطبق بر مناطق با انحراف معیار کمتر تابش موج بلند خروجی هستند. مناطق مرکزی و جنوب شرق ایران در این ماه دارای کمترین انحراف معیار هستند. در ماه می بیشترین انحراف از معیار بارش مربوط به مناطق غرب، شمال غرب و شمال شرق کشور می‌باشد و کمترین انحراف معیار در مناطق جنوبی و شرقی و مرکزی ایران مشاهده شد. در ماه ژوئن در جنوب شرق ایران که بارش‌های تابستانه تحت تاثیر بارش‌های موسمی وجود دارد، بیشترین انحراف معیار مشاهده شد و سایر مناطق ایران بجز مناطقی از شمال غربی و شمال مرکزی انحراف از میانگین کمتری را نشان دادند.



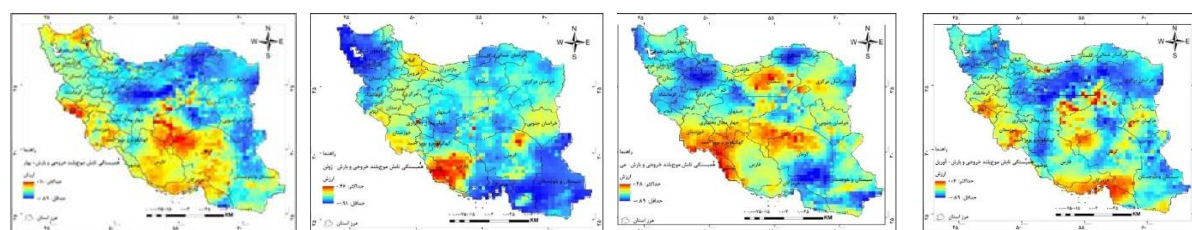
شکل ۵. نقشه انحراف معیار ماهانه و فصلی بارش ماهواره GPM آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۲۳)

طبق نتایج به دست آمده از نقشه‌های کواریانس (شکل شماره ۶) در نشان دادن همبستگی بین تابش موج بلند خروجی و بارش، در ماه آپریل اکثر نقاط ایران همبستگی منفی را نشان می‌دهد. در ماه می نیز تمام ایران به غیر از منطقه شمال غرب دارای همبستگی می‌باشد. در ماه ژوئن به جز قسمت‌هایی از جنوب، شرق و شمال غرب ایران که همبستگی کمی را نشان دادند، سایر مناطق دارای همبستگی بودند.

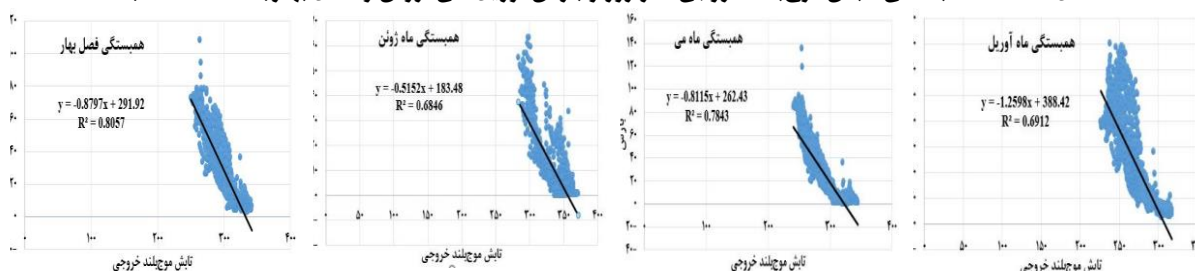
در این مطالعه همچنین میزان همبستگی بین تابش موج بلند خروجی و بارش به دست آمده است، با توجه به نقشه‌های به دست آمده از این تحلیل‌ها (شکل شماره ۷ و ۸) می‌توان گفت که، ماه آپریل در تمام ایران همبستگی منفی بالای ۵۰- درصد را نشان می‌دهد و هیچ‌گونه رابطه مثبت در این ماه دیده نشد. بیشترین همبستگی منطبق بر مناطق بارشی کشور در شمال و شمال غرب ایران است. در ماه می نیز همبستگی منفی با بیشینه‌هایی در شمال غرب، شمال شرق و جنوب شرق مشاهده شد ولی در مناطق جنوب غرب و مرکزی همبستگی‌های مثبت تا ۲۸ درصد وجود دارد. در ماه ژوئن جدا از منطقه جنوب غرب و نقاطی به صورت پراکنده، تمام مناطق ایران همبستگی‌های بالای منفی ۴۰ درصد را نشان دادند.



شکل ۶. نقشه کواریانس تابش موج بلند خروجی گذر روز و بارش آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۰۳)

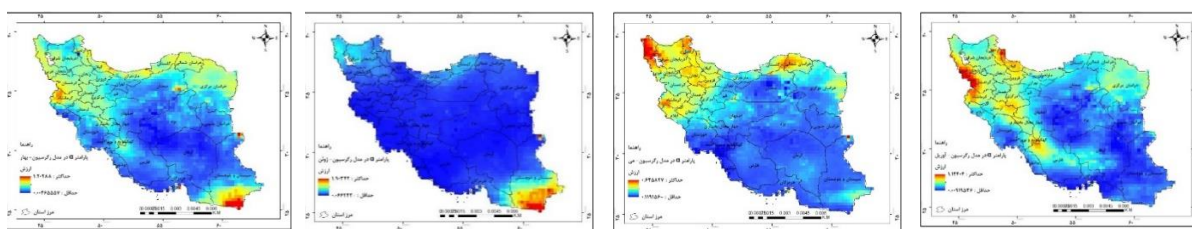


شکل ۷. نقشه همبستگی تابش موج بلند خروجی گذر روز و بارش آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۰۳)

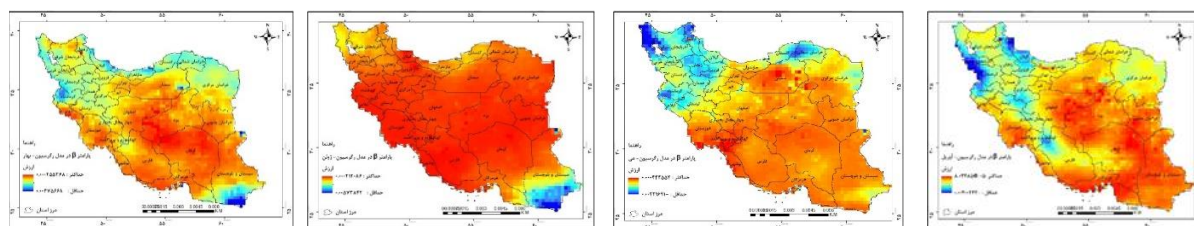


شکل ۸. نمودار همبستگی تابش موج بلند خروجی گذر روز و بارش کشور ایران در مقیاس ماهانه و فصلی

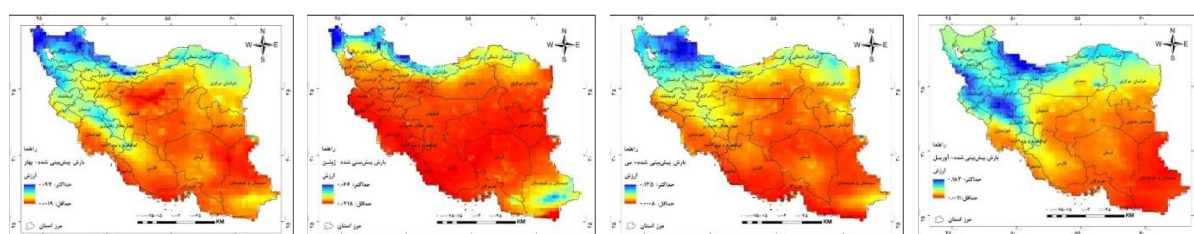
با توجه به محاسبات حاصل از معادله رگرسیون (اشکال شماره ۹ و ۱۰) و در نظر گرفتن نقشه تابش موج بلند خروجی آخرین سال (۲۰۱۹) به عنوان متغیر مستقل، نتایج حاصل از رگرسیون متغیر بارش (شکل شماره ۱۱) نشان می‌دهد که در ماه آپریل بیشترین بارندگی برای مناطق شمال غربی و شمال و غرب ایران برآورد گردید. در ماه می بیشترین بارش‌ها در شمال غرب کشور و سواحل غربی دریای خزر و در سایر نقاط بارندگی به صورت پراکنده برآورد شد. در ماه ژوئن برای مناطق شمال غربی و شمالی و جنوب شرق ایران بیشترین بارش برآورده شده است و از پراکندگی بارش‌های ایران کاسته شده و اکثر مناطق ایران بی بارش هستند.



شکل ۹. نقشه آلفا آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۰۳)

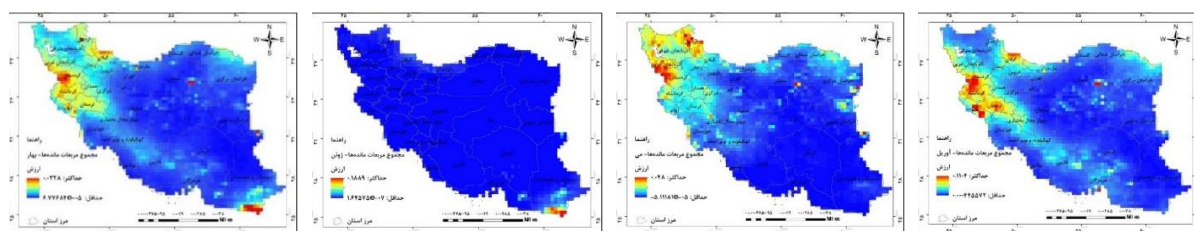


شکل ۱۰. نقشه بتا آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۲۳)



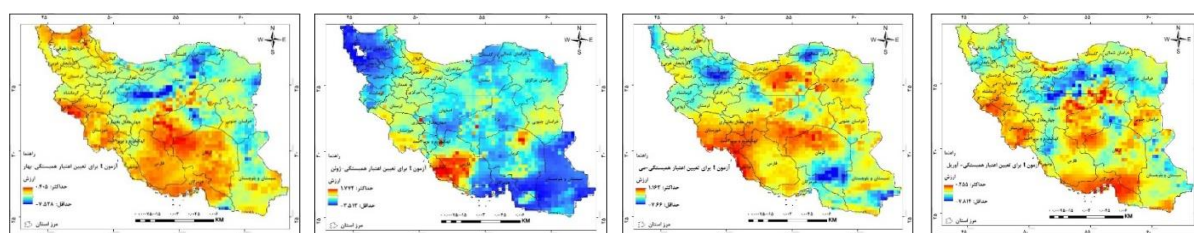
شکل ۱۱. بارش برآورد شده آوریل، می، ژوئن و فصل بهار ۲۰۱۹ با تابش موج بلند خروجی گذر روز

با توجه به معادله مجموع مربعات مانده و صحت سنجی رگرسیون از نقشه‌ها (شکل شماره ۱۲)، نتایج نشان داد که در ماه آپریل برآوردهای مناطق شمال و شمال شرق و دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز با خطاهایی همراه بوده است و سایر مناطق کاملاً منطبق با نقشه‌های برآوردی می‌باشد. در ماه می برآورد ما با استفاده از مجموع مربعات مانده با خطاهایی کمتر منطبق با نقشه رگرسیون است. در ماه ژوئن کمترین انطباق به مناطق شمال غربی و شمالی تعلق دارد.

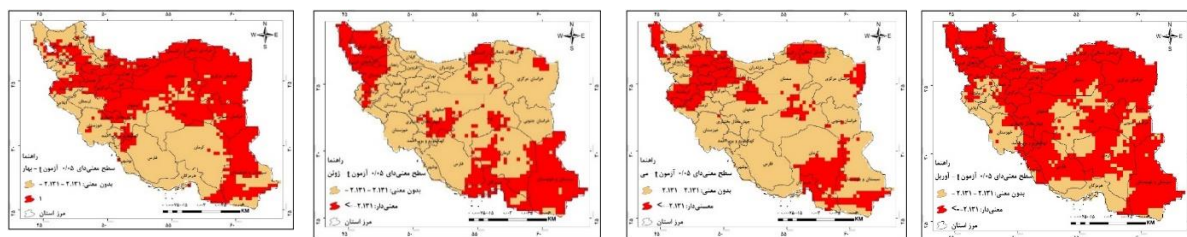


شکل ۱۲. نقشه مجموع مربعات مانده‌ها آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۲۳)

به منظور میزان اعتبار همبستگی از آزمون t استفاده شد که در اشکال ۱۳ و ۱۴ بوضوح قابل مشاهده است، که در مناطق دارای بارش با توجه به ماه‌ها و فصول مختلف سال ارتباط منفی بالایی وجود دارد. معنی‌دار بودن آزمون t به منظور میزان ارتباط تابش موج بلند خروجی روزانه و بارش در کشور در سطح ۰/۰۵ مورد بررسی قرار داده شد و نتایج نشان داد که این آزمون در ماه آوریل در سطح وسیعی از کشور به استثنای دشت کویر، دشت لوت (به دلیل عدم بارش و رطوبت) و جنوب ایران و مناطقی از غرب زاگرس میانی که جو آنها ابری و دارای رطوبت فراوان می‌باشد و تفاوت‌های تابش موج بلند خروجی در این مناطق کم است، معنی‌دار می‌باشد. از اواخر فصل بهار با پیدایش بارش‌های موسمی در جنوب شرق و بارش‌های پراکنده در شمال شرق و شمال غرب کشور سطح معنی‌داری بیشتر می‌شود.

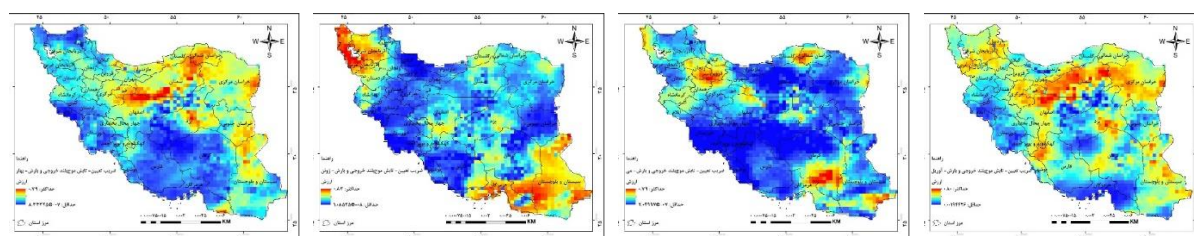


شکل ۱۳. نقشه آزمون t برای تعیین اعتبار همبستگی آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۲۳)



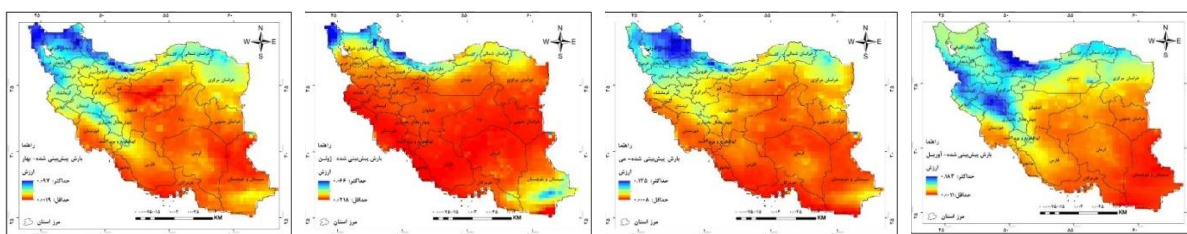
شکل ۱۴. نقشه سطح معنی داری ۰/۰۵ t برای تعیین اعتبار همبستگی آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۰۳)

نتایج حاصل از شکل ۱۵ که نشان دهنده نقشه‌های ضریب تعیین بارش‌های ماهانه فصل بهار از طریق تابش موج بلند خروجی گذر روز می باشد حاکی از آن است که در ماه‌های مختلف در بعضی مناطق خاص تا ۹۰ درصد تغییرات را می‌تواند نشان دهد و بسته به شرایط جوی و عوامل زمینی این تغییرات متفاوت باشد. در آوریل بیشترین تغییرات بارش را در جنوب رشته کوه‌های البرز، جنوب کوه‌های آلاداغ و بینالود، شمال اصفهان و جنوب شرق کشور بالای ۶۰ درصد نشان می‌دهد. در می بیشترین تغییرات بارشی متعلق به استان‌های قزوین، زنجان، شمال شرق کشور در استان خراسان شمالی، جنوب شرق و ارتفاعات استان کرمان با مقدار بالای ۶۵ درصد است. در ژوئن در شمال غرب و جنوب غرب بارش‌های بالای ۷۰ درصد را نشان می‌دهد.

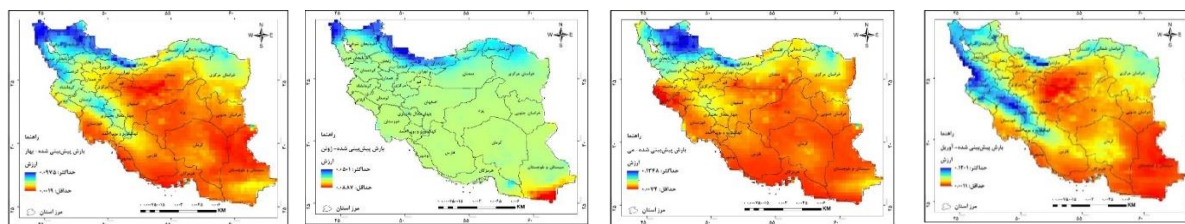


شکل ۱۵. نقشه ضریب تعیین تابش موج بلند خروجی گذر روز و بارش آوریل، می، ژوئن و فصل بهار (۲۰۱۹-۲۰۰۳)

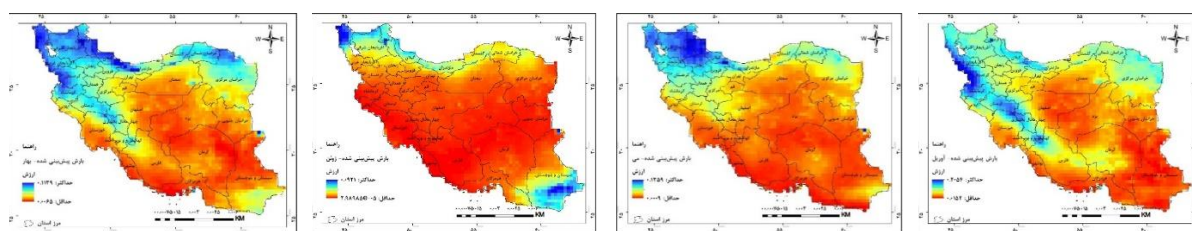
با توجه به پارامترهای بدست آمده معادله رگرسیون، نقشه بارش پیش‌بینی شده برای ماه‌ها و فصول سال ۲۰۱۸-۲۰۱۹ با در نظر گرفتن نقشه متناظر تابش موج بلند خروجی آخرین سال و سپس با اضافه و کم کردن انحراف معیار ۱۷ سال مطالعاتی به عنوان متغیر مستقل بدست آمد. نتایج حاصل از مقایسه بارش‌های پیش‌بینی شده با بارش واقعی سال ۲۰۲۰ اشکال ۱۶ تا ۱۹ نشان داد که در ماه‌های فصل بهار مناطقی را که در نقشه رگرسیون حداقل مربعات معمولی کم برآورد کرده بود با کم کردن مقدار انحراف معیار ۱۷ سال مطالعاتی به مقایسه واقعی نزدیک شده است و مناطقی که مقدار واقعی یا بیشتر برآورد شده بود نیز دارای خطای بیشتری شده و مقادیر بیش از بارش واقعی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت مشکل اینکه سنجنده زود هنگام داده تابش موج بلند خروجی را برداشت می‌کند و باعث کم برآورد شدن بارش می‌گردد، با کم کردن انحراف معیار به تابش آخرین سال، مقدار خطا به حداقل برسد و سایر مناطق بدون در نظر گرفتن انحراف معیار پیش‌بینی شود. نتایج حاصل از نقشه‌هایی که از تابش آخرین سال با اضافه کردن انحراف معیار بدست آمده است، نشان داد مقادیری که بیش از مقدار واقعی برآورد شده بود به مقدار واقعی نزدیک است و خطای مناطق کم برآورد را نیز بیشتر کرد.



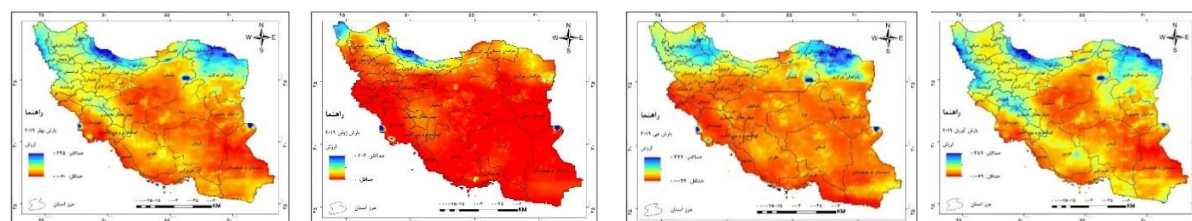
شکل ۱۶. بارش برآورد شده آوریل، می، ژوئن و فصل بهار ۲۰۱۹ با تابش موج بلند خروجی گذر روز



شکل ۱۷. بارش برآورد شده آوریل، می، ژوئن و فصل بهار ۲۰۱۹ با تابش موج بلند خروجی گذر روز و اضافه کردن انحراف معیار (۲۰۰۳-۲۰۱۹)



شکل ۱۸. بارش برآورد شده آوریل، می، ژوئن و فصل بهار ۲۰۱۹ با تابش موج بلند خروجی گذر روز و کم کردن انحراف معیار (۲۰۰۳-۲۰۱۹)



شکل ۱۹. نقشه بارش واقعی ۲۰۱۹ آوریل، می، ژوئن و فصل بهار

از آنجا که در مطالعاتی مناطق دارای تابش موج بلند خروجی کمتر از ۲۶۰ وات بر متر مربع مناطق دارای احتمال رخداد بارش‌های همرفتی در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش نیز با توجه به این حد آستانه و نتایج حاصل از برآورد احتمال رخداد بارش همرفتی در ماه آپریل تمام مناطق بارشی ایران از جمله شمال، شمال شرق، شمال غرب و دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس مستعد بارش‌های همرفتی می‌باشند و در ماه می فقط مناطق شمال غرب ایران میانگین ماهانه کمتر از ۲۶۰ وات بر متر مربع را تجربه می‌کند. در ماه ژوئن تمام مناطق ایران به صورت میانگین تابش بالای ۲۶۰ وات بر متر مربع را دارند.

نتایج حاصل از پیش بینی مقادیر بارش همرفتی و برآورد سطح اطمینان میانگین برای جامعه آماری بارش نشان داد که نقشه‌های برآورد سطح اطمینان میانگین بارش نشان از انطباق و صحیح بودن پیش بینی‌ها در مناطق پربارش ایران از جمله مناطق شمال، شمال غرب و شمال شرق و جنوب غرب ایران در ماه آپریل و می دارد، در ماه ژوئن نیز جنوب شرق ایران را شامل می‌شود.

نتیجه گیری

با توجه به این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت در ماه آوریل در مناطق شمال غرب و دامنه‌هایی که همرفت‌های دامنه‌ای ایجاد می‌گردد عامل ابرناکی از دلایل اصلی وجود همبستگی‌های بالای منفی ۶۰ درصد باشد و در مناطقی که سیستم‌های بارشی از بیرون از کشور وارد می‌شود همبستگی منفی اعداد کمتری را نشان می‌دهد. در ماه می نیز که بیشتر بارش‌ها در مناطق شمال غرب ایران، کوهستان‌های شمال شرق و کوه‌های مرکزی دارای بارش‌های همرفتی است و همچنین همبستگی‌های منفی بالا را نشان می‌دهد. در ماه ژوئن به جز مناطق کوچک در شمال غرب و جنوب شرق ایران که حاکی از همبستگی منفی بارش و تابش موج بلند خروجی زمین است. همبستگی‌های منفی قوی دیگر در سایر مناطق کشور به دلیل رطوبت حبس شده در جو زمین و عدم وجود عامل صعود و ناپایداری به دلیل وجود پرفشار جنب‌حاره‌ای می‌باشد که باعث کاهش تابش موج بلند خروجی زمین است ولی در واقع هیچ گونه بارشی انجام نگرفته است بنابراین با استفاده از نقشه‌های سطح اطمینان، می‌توان از متغیر تابش موج بلند خروجی زمین در ماه آپریل در اکثر مناطق کشور، در ماه می در محدوده شمال غرب و در ماه ژوئن در

نقاطی در عرض‌های جغرافیایی شمالی، شمال غرب و در جنوب شرق کشور جهت برآورد بارش‌های همرفتی استفاده کرد اما در سایر مناطق این ارتباط معکوس نمی‌تواند جهت پیش بینی استفاده گردد.

حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

این مقاله مستخرج از رساله دکتری امید اسکندری است و آقایان دکتر بهروز ساری صراف استاد راهنمای اول و دکتر هاشم رستم‌زاده استاد راهنمای دوم می‌باشند.

تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی افرادی که در گردآوری داده‌ها با آنها همکاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱. حجازی زاده، زهرا؛ بزمی، نسرين؛ رحیمی، علیرضا؛ طولایی نیاد، میثم و بساک، عاطفه. (۱۳۹۶). مدل‌سازی فضایی- زمانی آلوده در گستره‌ی ایران زمین. نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی، ۱۷(۴۷)، ۱-۱۷. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1396.17.47.6.8>
۲. سلیمه، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین و غفاری، علی. (۱۳۹۷). بارش بهاری و تابش طول موج بلند خروجی زمین (مطالعه موردی بارش ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ شمال غرب ایران). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۵(۵۷)، ۳۹-۴۷. <https://sanad.iau.ir/Journal/sarzamin/Article/822838>
۳. علایی طالقانی، محمود. (۱۳۸۲). رئومورفولوژی ایران (چاپ دوم). نشر قومس.
۴. کفایت مطلق، امید رضا و خسروی، محمود. (۱۳۹۷). واکاوی روند سالانه تابش زمین‌تاب ایران با داده‌های دورسنجی. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. <https://civilica.com/doc/781128/>
۵. کفایت مطلق، امید رضا؛ خسروی، محمود و مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۸). تحلیل میانگین درازمدت تابش بلند زمینی ایران با داده‌های سنجنش از دور. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۸(۱۰۹)، ۲۰۹-۲۰۰. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.35647>
۶. موقری، علیرضا. (۱۳۹۴). بررسی تغییر مکانی پدیده منطقه همگرایی میان‌حاره‌ای و نوسان مادر-جولین بر گردش عمومی جو منطقه و اقلیم ایران. (رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی).
7. Crowley, T. J., & North, G. R. (1991). Paleoclimatology.
8. Gruber, A., & Winston, J. S. (1978). Earth-atmosphere radiative heating based on NOAA scanning radiometer measurements. *Bulletin of the American meteorological Society*, 59(12), 1570-1573. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1978\)059%3C1570:EARHBO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1978)059%3C1570:EARHBO%3E2.0.CO;2)
9. Hamal, K., Sharma, S., Baniya, B., Khadka, N., & Zhou, X. (2020). Inter-annual variability of Winter Precipitation coupled with ocean-atmospheric patterns over Nepal during 1987-2015. *Frontiers in Earth Science*, 8, 161. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00161>
10. Hao, S., Li, F., Li, Y., Gu, C., Zhang, Q., Qiao, Y., ... & Zhu, N. (2019). Stable isotope evidence for identifying the recharge mechanisms of precipitation, surface water, and groundwater in the Ebinur Lake basin. *Science of the Total Environment*, 657, 1041-1050. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.102>
11. <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM->
12. Jin, Z., Zhang, Y., Del Genio, A., Schmidt, G., & Kelley, M. (2019). Cloud scattering impact on thermal radiative transfer and global longwave radiation. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 239, 106669. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106669>
13. Karnauskas, K. B., & Li, L. (2016). Predicting Atlantic seasonal hurricane activity using outgoing longwave radiation over Africa. *Geophysical Research Letters*, 43(13), 7152-7159. <https://doi.org/10.1002/2016GL069792>
14. Kiladis, G. N., Dias, J., Straub, K. H., Wheeler, M. C., Tulich, S. N., Kikuchi, K., ... & Ventrice, M. J. (2014). A comparison of OLR and circulation-based indices for tracking the MJO. *Monthly Weather Review*, 142(5), 1697-1715. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00301.1>
15. Kofroňová, J., Tesáň, M., & Šípek, V. (2019). The influence of observed and modelled net longwave radiation on the rate of estimated potential evapotranspiration. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(3), 280-288. DOI: 10.2478/johh-2019-0011

16. Koll, D. D., & Cronin, T. W. (2018). Earth's outgoing longwave radiation linear due to H₂O greenhouse effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(41), 10293-10298. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809868115>
17. Kousky Vernon (1988). Pentad Outgoing longwave Radiation Climatology for the south American Sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol 3.
18. Kumar, A., Sarthi, P. P., Kumari, A., & Sinha, A. K. (2021). Observed Characteristics of Rainfall Indices and Outgoing Longwave Radiation over the Gangetic Plain of India. *Pure and Applied Geophysics*, 178(2), 619-631. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02666-6>
19. Liebmann, B., & Smith, C. A. (1996). Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(6), 1275-1277.
20. Lim, E. S., Wong, C. J., Abdullah, K., & Poon, W. K. (2011, December). Relationship between outgoing longwave radiation and rainfall in South East Asia by using NOAA and TRMM satellite. In *2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering* (pp. 785-790). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CHUSER.2011.6163843>
21. Liu, X., Chen, Q., Yang, Q., Cheng, B., & Hua, W. (2008, December). Study on Teleconnection between Winter Convective Activity over Tropical Indian Ocean and Pacific Ocean and Subsequent Summer Precipitation in China Based on Satellite-Derived Data. In *2008 International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing* (Vol. 1, pp. 149-154). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETTandGRS.2008.84>
22. Modarres, R., & da Silva, V. D. P. R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of arid environments*, 70(2), 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024>
23. Mu, D., Luo, P., Lyu, J., Zhou, M., Huo, A., Duan, W., ... & Zhao, X. (2021). Impact of temporal rainfall patterns on flash floods in Hue City, Vietnam. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1), e12668. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12668>
24. Nastos, P. T., Dalezios, N. R., Faraslis, I. N., Mitrakopoulos, K., Blanta, A., Spiliotopoulos, M., & Tarquis, A. M. (2020). Risk management framework of environmental hazards and extremes in Mediterranean ecosystems. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-32. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1935-2021>
25. Panchawagh, N. V. (2006). Seasonal variation of SST and mean OLR distribution over Indian Ocean warm pool. *J. Ind. Geophys. Union (July 2006)*, 10(3), 167-173.
26. Prasad, K. D., Bansod, S. D., & Sabade, S. S. (2000). Forecasting Indian summer monsoon rainfall by outgoing longwave radiation over the Indian Ocean. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(1), 105-114. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(200001\)20:1%3C105::AID-JOC459%3E3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(200001)20:1%3C105::AID-JOC459%3E3.0.CO;2-1)
27. Pushpanjali, B., Subrahmanyam, M. V., & Murty, K. P. R. (2020). Relation between outgoing longwave radiation and findlater jet over Arabian Sea during summer monsoon and influence on Indian monsoon rainfall. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/54422>
28. Schreck, C. J., Lee, H. T., & Knapp, K. R. (2018). HIRS outgoing longwave radiation—Daily climate data record: Application toward identifying tropical subseasonal variability. *Remote Sensing*, 10(9), 1325. <https://doi.org/10.3390/rs10091325>
29. Sloat, L. L., Gerber, J. S., Samberg, L. H., Smith, W. K., Herrero, M., Ferreira, L. G., ... & West, P. C. (2018). Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. *Nature Climate Change*, 8(3), 214-218. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0081-5>
30. Song, Y., Webster, P. J., & Min, D. (1992). Longitudinal heating gradient: Another possible factor influencing the intensity of the Asian summer monsoon circulation. *Advances in atmospheric sciences*, 9(4), 397-410. <https://doi.org/10.1007/BF02677073>
31. Su, H., Jiang, J. H., Neelin, J. D., Shen, T. J., Zhai, C., Yue, Q., ... & Yung, Y. L. (2017). Tightening of tropical ascent and high clouds key to precipitation change in a warmer climate. *Nature communications*, 8(1), 1-9. DOI: 10.1038/ncomms15771
32. Su, W., Loeb, N. G., Liang, L., Liu, N., & Liu, C. (2017). The El Niño–Southern Oscillation effect on tropical outgoing longwave radiation: A daytime versus nighttime perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(15), 7820-7833. <https://doi.org/10.1002/2017JD027002>
33. Susskind, J., Molnar, G., Iredell, L., & Loeb, N. G. (2012). Interannual variability of outgoing longwave radiation as observed by AIRS and CERES. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D23). <https://doi.org/10.1029/2012JD017997>
34. Talchabhadel, R., Karki, R., Thapa, B. R., Maharjan, M., and Parajuli, B. (2018). Spatio-temporal variability of extreme precipitation in Nepal. *Int. J. Climatol.* 38, 4296–4313. <https://doi.org/10.1002/joc.5669>

35. Xie, P., & Arkin, P. A. (1998). Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing longwave radiation. *Journal of Climate*, 11(2), 137-164. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011%3C0137:GMPEFS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011%3C0137:GMPEFS%3E2.0.CO;2)
36. Yang, Y., & Roderick, M. L. (2019). Radiation, surface temperature and evaporation over wet surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(720), 1118-1129. <https://doi.org/10.1002/qj.3481>
37. Zhang, K., Randel, W. J., & Fu, R. (2017). Relationships between outgoing longwave radiation and diabatic heating in reanalyses. *Climate Dynamics*, 49(7), 2911-2929. DOI 10.1007/s00382-016-3501-0

