نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۶، شماره ۸۱، فصل پاییز، سال۱۴۰۱، صفحات ۱۱۳-۹۷

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

ارتباط سنجی و تحلیل فضایی بارش زمستانه ایران از طریق تابش موج بلند خروجی زمین

بهروز ساری‌صراف [۱]
هاشم رستم‌زاده [۲]
محمد دارند [۳]
امید اسکندری [٤]

چکیده

بارش از مهم‌ترین و متغیرترین عنصر اقلیمی است که در بستر زمان و مکان تغییر می‌کند. بارش‌های بحرانی در مقیاس‌های مختلف زمانی به‌ویژه روزانه، خسارات سنگینی به جوامع انسانی مناطق پرجمعیت شهری و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کنند و بسیاری از اقتصادهای مناطق خشک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تابش موج بلند خروجی زمین به عنوان پارامتری مهم جهت شناسایی ابرها و برآورد این نوع بارش، موردمطالعه قرار می‌گیرد. 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 نرم‌افزار Arc GIS برای چهار ماه سرد سال (دسامبر تا مارس) کشور ایران، به مدت ۱۷ سال آماری بررسی نماید. از روش‌های همبستگی، رگرسیون و برآورد سطح اطمینان به‌منظور ارتباط سنجی و نحوه تغییرات آن استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده در تمام ماه‌های مورد مطالعه، کل کشور به جزء جنوب شرقی حوضه دریای خزر در ژانویه، قسمت‌هایی از فلات مرکزی و مرزی شرق ایران، همبستگی منفی از ۱۰ تا ۹۲ درصد وجود دارد که نشان از رطوبت دار بودن جو کشور می‌باشد و مانع خروج تابش موج بلند شده است. در مناطق بارشی غرب رشته‌کوه زاگرس همبستگی‌های منفی ۶۰ درصد به بالا و تابش موج بلند خروجی کمتر از ۲۶۰ وات بر مترمربع متر می‌باشد که دلیل آن ابرناکی و جو پر از رطوبت، همراه با بارش بوده است. در دسامبر و فوریه، مناطق بارشی حوضه دریای خزر در همبستگی‌های منفی ۴۰ درصد به بالا و تابش کمتر از ۲۳۵ وات بر مترمربع بارش صورت می‌گیرد و دلیل مقدار عددی کمتر تابش موج بلند خروجی حوضه دریای خزر جهت پیش‌بینی، وجود رطوبت نسبی زیاد منطقه می‌باشد که عامل خروج کمتر آن می‌گردد.

واژگان کلیدی: بارش، تابش موج بلند خروجی، سنجده AIRS، ماهواره GPM، ایران.

مقدمه

یکی از شرایط جوی که اقلیم را شکل می‌دهد و خود نیز تحت تاثیر اقلیم است عنصر بارش می‌باشد (عساکره و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳۸). بارش از مهم‌ترین و متغیرترین عنصر اقلیمی است که در بستر زمان و مکان تغییر می‌کند. بارش‌های بحرانی در مقیاس‌های مختلف زمانی بویژه روزانه، خسارات سنگینی به جوامع انسانی مناطق پرجمعیت شهری و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کنند. تغییرپذیری بارش در مقیاس‌های مختلف دلیل اصلی سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها به شمار می‌آید (ترنبرث[5] ۲۰۰۶ : ۱). افزایش گرمای

[۱] . استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

[۲]. استادیار، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

Email : h-rostamzadeh@tabrizu.ac.ir–Tel:0914820143

[۳]. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه کردستان

[۴] . دانشجوی دکتری آب و هواشناسی ماهواره‌ای، دانشگاه تبریز

5 Trenberth

جهانی یکی از عوامل مؤثر بر توزیع بارش است (پاپالکسی و مونتنری[1] ۲۰۱۹ : ۴۹۱۰) که بسیاری از اقتصادهای مناطق خشک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (موگوم و همکاران، ۲۰۱۷ : ۱). بیش از یک‌سوم سطح زمین از اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک تشکیل شده است (نیلسون و بول[2] ۲۰۱۵ : ۱۴۰۷) کشور ایران نیز در کمربند عرض جغرافیایی مناطق خشک و نیمه‌خشک کرۀ زمین واقع شده است، مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از ۶۰ درصد کشور را پوشش می‌دهد و بارش آن ازنظر زمانی، مکانی، مقدار و مدت‌زمان بارش بسیار متغیر می‌باشد (مدرس و همکاران، ۲۰۰۷ : ۳۴۵). متوسط بارندگی در سراسر کشور ۲۵۲ میلی‌متر در سال است که کمتر از یک‌سوم جهان می‌باشد (علیزاده و کشاورز، ۲۰۰۵: ۹۵) و این درحالی‌که است که مهم‌ترین متغیر برای مدیریت آب و کشاورزی دیم در ایران محسوب می‌شود (دین پژوه وهمکاران، ۲۰۰۴: ۱۱۰). بیشتر بارش ایران به دلیل بادهای غربی مدیترانه‌ای در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۴۰) و در فصل پاییز ۴۲ درصد از کشور چرخه روزانه قابل‌توجهی از بارش را نشان می‌دهد (کیانی و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۴۱۹). به دلیل اهمیت تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش در ایران و نقش آن در ارتباطات و مخاطرات اقتصادی مناطق، مشکلات امنیت غذایی و بسیاری موارد دیگر، موضوع مذکور، در سال‌های اخیر موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است و مطالعه مقادیر بارش و رویدادهای ناشی از آن، از اهمیت ویژه‌ای در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، مدیریت آب، شهرسازی و ساختمان سازی و راه و ترابری برخوردار است. بنابراین یک رویکرد مناسب برای تخمین بارش در سال برای اقدامات محلی پیشگیرانه و کاهش خسارت‌ها لازم است. تابش موج بلند خروجی زمین (OLR[3]) یکی از متغیرهای اساسی آب‌وهوا و جزء اصلی بودجه تابش زمین است (اسچریک و همکاران[4]،۲۰۱۸: ۱) که به عنوان پارامتری مهم در برنامه‌های کاربردی و جهت شناسایی ابرها و برآورد بارش موردمطالعه قرار می‌گیرد به‌طوری که در بین مؤلفه‌های خصوصیات فیزیکی ابر، نوع ابر بیشترین اثربخشی را دارد (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۲۵) و عاملی در جهت کاهش تابش موج‌بلند است. اندازه‌گیری بلندمدت تابش بلند زمینی برای درک کمی از شرایط آب‌وهوایی ازنظر بودجه انرژی تابشی در مدل‌های تعادل انرژی و مدل‌های گردش عمومی ضروری است (رامانتان و همکاران[5]،۱۹۹۳: ۲۳). مقادیر زیاد تابش موج‌بلند خروجی مناطق پاک در ارتباط با سطح گرمسیری است و در مناطق ابری تابش موج‌بلند خروجی مربوط به دمای بالای ابر یا ابرهای مرتفع است که مقادیر کمتری ایجاد می‌کنند و این رابطه، تابش موج‌بلند خروجی را به یک فاکتور مناسب برای پیش‌بینی همرفت و بارش در مناطق استوایی تبدیل می‌کند، زیرا همرفت شدید از ابرهای با ارتفاع بالا با دمای بالای ابر سرد و در نتیجه کاهش آن می‌باشد (لیبمین و اسمیت[6] ۱۹۹۶: ۱۲۷۶). در ایران پژوهش‌هایی مرتبط با این موضوع انجام شده است که می‌توان به این موارد اشاره نمود:

کفایت مطلق و همکاران (۹۷: ۲۰۳) به نقل از موقری(۱۳۹۴)، آستانه بهینه تابش بلند زمینی ۲۶۰ وات بر مترمربع را جهت شناسایی ابرهای همرفتی عمیق، در منطقه همگرایی میان حاره‌ای استفاده نموده است. مقادیر کمتر از این آستانه نشان‌دهنده منطقه بیشینه همرفت و منطبق بر کمربند همگرایی میان حاره‌ای می‌باشد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶: ۱)، به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آلبدو ایران 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 رشته کوه‌های زاگرس به میزان ۱ تا ۱/۵ واحد است و ازنظر زمانی در مقیاس فصلی در زمستان به مقدار ۲۶٪ واحد و حداقل مقدار بازتابشی در فصل بهار با ۲۳٪ می‌باشد و درمجموع مناطق غرب و مرکز کشور دارای بیشترین و مناطق شمال و شمال غرب کشور دارای کمترین آلبدو هستند. سلیقه و همکاران (۱۳۹۷: ۲۹)، در مطالعه «بارش بهاری و تابش طول‌موج بلند خروجی زمین(مطالعه موردی بارش ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ شمال غرب ایران)» نشان دادند که عامل اصلی وقوع بارش شمال غرب ایران در ۲۶ فروردین، ورود سامانه‌های بارشی از اروپای شرقی و همراهی توده هواهای غربی با این سامانه بوده است و اثر همرفت محلی بسیار ناچیز

[1] Papalexiou & Montanari
[2] Nielsen & Ball
[3] Outgoing long Wave Radiation
[4] Schreck & al
[5] Ramanathan & al
[6] Liebmann, & Smith

می‌باشد .کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۷: ۱۲۸)، نشان دادند که روند تابش زمینتان کره‌زمین در هر دهه ۰/۴ وات بر مترمربع در حال افزایش است، درحالی‌که روند تابش زمینتان ایران در هر دهه بیش از ۳ برابر روند جهانی است، به طوری که به‌ازای هر دهه ۱/۴ وات بر مترمربع افزایش می‌یابد. کفایت مطلق و همکاران (۱۳۹۸: ۱۹۹)، نشان دادند که بیشینه‌ی تابش موج‌بلند زمینی در منطقهٔ خاورمیانه و شمال آفریقا با مقادیر بیش از ۲۹۰ وات بر مترمربع رخ می‌دهد که ایران نیز بخشی از آن به‌حساب می‌آید. همچنین با تحلیل فضایی الگوهای تمرکز نقاط داغ و سرد با استفاده از آمارهٔ جی استار (GI) بر روی ایران نشان داد که نزدیک به ۴۳ درصد از گستره ایران ازنظر تابش موج‌بلند زمینی لکه‌های سرد (در سطح اطمینان ۹۰ درصد)، ۴۰ درصد لکه‌های داغ (در سطح اطمینان ۹۰ درصد) و ۱۸ درصد خنثی است که متأثر از عرض جغرافیایی و تنوع پوشش زمینی می‌باشد.

محققین زیادی تنوع و روند بارندگی در ارتباط با تابش موج‌بلند خروجی را در مناطق مختلفی از جهان مطالعه نموده‌اند که نتایج قابل تامل می‌باشد. اکسای و ارکین[1] (۱۹۹۸: ۱۳۷)، نشان دادند که ضریب رگرسیون مربوط به ناهنجاری بارش به تابش موج‌بلند خروجی ازنظر فضایی ناهمگن و وابسته به فصلی است و براین‌اساس یک روش برای تخمین بارش ماهانه از داده‌های تابش موج‌بلند ایجاد کردند که با استفاده از ضریب مناسب از ناهنجاری‌های آن، بارش سال بعد تخمین زده می‌شود و بارش مبتنی بر تابش موج‌بلند زمینی قادر به نمایش با در مقیاس بزرگ و باکیفیت بالا در سطح یکنواخت جهانی و ازنظر زمانی پایدار است. کوسکی[2](۱۹۸۸: ۲۱۷)، به این نتیجه رسید که شرایط هواشناسی از داده‌های ماهواره‌ای پنج‌روزه تابش موج بلند خروجی زمین در مورد مناطقی که دارای همرفت قابل‌توجهی هستند قابل پیش‌بینی می‌باشد، همچنین مقدار تابش موج‌بلند خروجی زمین، $۲۴۰W^{m2}$ می‌تواند به‌عنوان آستانه باران‌های همرفتی و شروع و پایان تاریخ فصول بارانی باشد. پراساد و بانسود[3](۲۰۰۰: ۱)، نشان دادند که بارش باران در سراسر هند برای هر یک از ماه‌های موسمی (ژوئن تا سپتامبر) رابطه معنی‌داری با دوره هم‌زمان تابش موج‌بلند خروجی نشان می‌دهد و به‌طور مخصوص برای مناطق غربی و مرکزی هند و همچنین در بعد زمانی نیمه دوم (اوت–سپتامبر) در مقایسه با نیمه اول (ژوئن تا ژوئیه) قوی‌تر می‌باشد. لیم و همکاران[4](۲۰۱۱: ۷۸۶)، با استفاده از داده‌های ماهواره اداره ملی اقیانوسی و جوی (NOAA)[5] و ماهواره ماموریت سنجش بارندگی گرمسیری (TRMM)[6] همبستگی منفی بالا بین تابش موج‌بلند خروجی و میزان بارندگی در مناطق با عرض جغرافیایی کمتر در مقایسه با عرض جغرافیایی بالاتر را تایید کردند. سوسیکند و همکاران[7](۲۰۱۲: ۱)، در مشاهدات تغییرات سالانه تابش موج‌بلند به‌وسیله سنجنده‌های (AIRS)[8] و (CERES)[9] نشان دادند که سری‌های زمانی ناهنجاری‌های تابش موج‌بلند خروجی جهانی و مناطق گرمسیری به‌صورت قوی دارای همبستگی با تغییرات ال‌نینو و لانینا می‌باشند، بدین‌صورت که مقادیر مثبت در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ با رخدادهای ال‌نینو و مقادیر منفی در بیشتر اوقات سال ۲۰۰۸ تا بهار سال ۲۰۰۹ با شرایط لانینا مطابقت دارند. کارناس کاس و لی[10](۲۰۱۶: ۷۱۵۲) بامطالعه تابش موج‌بلند بر فراز قاره آفریقا قادر به پیش‌بینی با دقت بسیار بالای فعالیت طوفان‌های فصلی اقیانوس اطلس شدند و پیش‌بینی‌های تابش موج‌بلند از طوفان‌ها در قبل از شروع سال برای ماه ژوئیه به میزان ۸۷ درصد دقیق‌تر و موفقیت‌آمیزتر از طوفان‌های ماه اوت بوده است. سو و همکاران (۲۰۱۷: ۷۸۲۰)، روند تابش موج‌بلند خروجی شبانه و روزانه به دلیل شرایط آغاز دوره ال‌نینو و شرایط پایانی لانینا در منطقه حاره را کاهشی نشان دادند ولی کاهش تابش موج‌بلند خروجی شبانه و روزانه میزان‌های متفاوتی را نشان دادند که کاهش تابش موج‌بلند خروجی در طی روز سریع‌تر از شب بود که می‌تواند ناشی از تغییرات شرایط ابرناکی در روز و شب

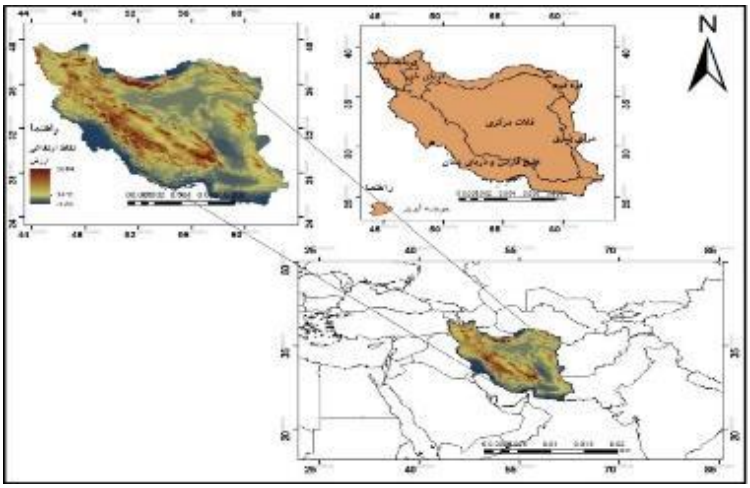
[1] Xie & Arkin
[2] Kousky
[3] Prasad & Bansod
[4] Lim & al
[5] National Oceanic and Atmospheric Administration
[6] Tropical Rainfall Measuring Mission
[7] Susskind & al
[8] atmospheric infra-red sounder
[9] Clouds and the Earth's Radiant Energy System
[10] Karnauskas, & Li
[11] Su $ al

باشد. فیو و استاین اشنایدر(۲۰۱۹: ۱۱۷)، به این نتیجه رسیدند که همرفت اقیانوس آرام به دنبال گرمای فصلی است که از طریق امواج بلند خروجی اندازه‌گیری می‌شود و شدت بیشتری دارد و ازنظر شاخص انسو مبتنی بر دمای سطح دریا مربوط به بارش زمستانی دریاچه‌های بزرگ است و خط اعتباری متقاطع رگرسیون بر اساس سیگنال‌های تابش موج‌بلند در ماه اکتبر تا ۳۲ درصد از تنوع بارش خارج از محدوده حوضه دریاچه‌های بزرگ را تایید می‌کند.

مطالعاتی در ایران روندهای مکانی و زمانی بارش و تابش موج‌بلند خروجی زمین را به‌صورت جداگانه موردبررسی قرار داده‌اند اما پژوهشی در مورد ارتباط سنجی و پیش بینی بارش با استفاده از تابش موج‌بلند خروجی انجام نگرفته است. پژوهش حاضر بر آن است جهت رفع خلاءهای مطالعاتی موجود از محصولات سنجنده (AIRS) ماهواره آکوا و ماهواره (GPM)، استفاده کرده و ارتباط و تحلیل متغیرهای تابش موج‌بلند زمینی و مقادیر بارش را در محیط نرم‌افزار (Arc GIS) به مدت ۱۷ سال آماری بررسی نماید.

داده‌ها و روش‌ها

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع، مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع‌شده است. بیشترین مساحت سرزمین ایران در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد و کوهستان‌های اطراف آن ازلحاظ زیست آب و هوایی دو اثر متضاد بر محیط طبیعی ایران بر جای گذاشته‌اند. (علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۹-۵).



شکل(۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

داده‌ها:

به منظور انجام پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده (AIRS) ماهواره آکوا برای سنجش تابش موج‌بلند زمینی باقدرت تفکیک مکانی ۲*۲ درجه (AIRSL3M3OLR61) از سایت https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/?id= dsp (Content&cid= 14) و تصاویر بارش کشور ایران از سنجنده (GPM) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱ * ۰/۱ درجه (GPM-31MERGMv06) از سایت https://giovanni.gsfc.nasa.gov/ بمدت ۱۷ سال آماری (۲۰۰۲/۰۷/۰۱ تا ۰۱-۰۷-۲۰۱۹) استفاده‌شده است.

[1] F & Steinschneider

روش تحقیق:

این مطالعه روشی تحلیلی-آماری است. و تمامی محاسبات در نرم‌افزار Arc GIS انجام‌شده است.

در گام اول ضریب همبستگی پیرسون هر یاخته به‌صورت میانگین ماهانه ۱۷ سال مطالعاتی بین بارش و تابش موج‌بلند خروجی از طریق رابطه (۱) محاسبه و توسط نقشه نمایش داده شد.

رابطه(۱).

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

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 است.

در گام بعدی، با تحلیل رگرسیون سعی شد که مقدار متوسط متغیر بارش برای ماه‌های مورد مطالعه براساس مقادیر تابش موج‌بلند خروجی تخمین زده و پیش‌بینی گردد. از معادله رگرسیون طبق رابطه(۲) ضریب تغییرات برای هر پیکسل محاسبه گردید.

رابطه(۲).

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

در این معادله α عرض از مبدا خط، β شیب‌خط، x تابش موج‌بلند خروجی و y به‌عنوان بارش در نظر گرفته شد. جهت برآورد پارامترهای α وβ به‌نحوی‌که 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 به‌گونه‌ای به دست آمد که مقدار $D = \sum_{i=1}^{n} d_i^2$ مجموع مربعات مانده‌ها به حداقل ممکن برسد، کمیت‌های a و b به دست آمده به ترتیب با $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ پارامترهای رگرسیون هستند. بنابراین بهترین خط برای برآورد رابطه بین x و y عبارت است از رابطه(۳).

رابطه(۳).

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

و با نمادهای پایه‌ای ذکرشده کمترین مربعات برای $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ طبق معادلات رابطه(۴) محاسبه شدند.

رابطه(۴).

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_I \quad \text{و} \quad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

$$syy = \sum_{i=1}^{n}(y - \bar{y})^2 \quad \text{و} \quad sxx = \sum_{i=1}^{n}(x_I - \bar{x})$$

$$sxy = \sum_{i=1}^{n}(x_I - \bar{x})(x_i - \bar{x})$$

یکی از هدف‌های تحقیق حاضر از برآورد رگرسیون، استفاده از خط رگرسیون برای تعیین برآورد امید ریاضی طبق رابطه (۵)و پاسخ متناظر با یک سطح معین از متغیر مستقل است که انحراف معیار تابش موج‌بلند خروجی میانگین ماه‌های سال به تفکیک برآورده شده و با اضافه نمودن این مقدار به متغیر x در دو حالت حداکثری و حداقلی به برآورد بارش برای ماه متناظر سال آینده طبق رابطه(۵) پرداخته شد.

رابطه(۵).

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

و سپس با محاسبه $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ مجموع مربعات مانده‌ها جهت نمایش انحرافات پیش‌بینی از طریق رابطه(۶) به دست آمد.

رابطه(۶).

$$\hat{\beta} = \frac{sxy}{sxx}$$

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

$$SSE = syy - \hat{\beta}^2 sxx$$

یکی از موارد موردنیاز جهت پیش‌بینی مقادیر بارش همرفتی بر اساس برآورد سطح اطمینان میانگین برای جامعه آماری بارش، به دست آوردن بالاترین و پایین‌ترین احتمال رخداد بارش براساس متغیر تابش موج‌بلند خروجی می‌باشد. بر این اساس رابطه(۷) برای آزمون فرضیه در مورد ضرایب α و β مورداستفاده قرار گرفت و با آزمون تی استیودنت (t-student) دامنه تغییرات میانگین نمونه آماری برای جامعه موردنظر به دست آمد.

رابطه(۷).

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

ازآنجاکه مقدار تابش موج‌بلند خروجی کمتر از عدد ۲۶۰ مناطق دارای ابرناکی و مستعد بارش را نشان می‌دهد، با استفاده از این آستانه نواحی بارشی ایران مشخص شد و از فاصله اطمینان برای y به ازای x از طریق رابطه(۸) زیر استفاده گردید(پانچاوغ[1] ۲۰۰۶: ۱۷۲ و هتا و میتسوتا[2] ۱۹۹۳: ۱۲۴۵).

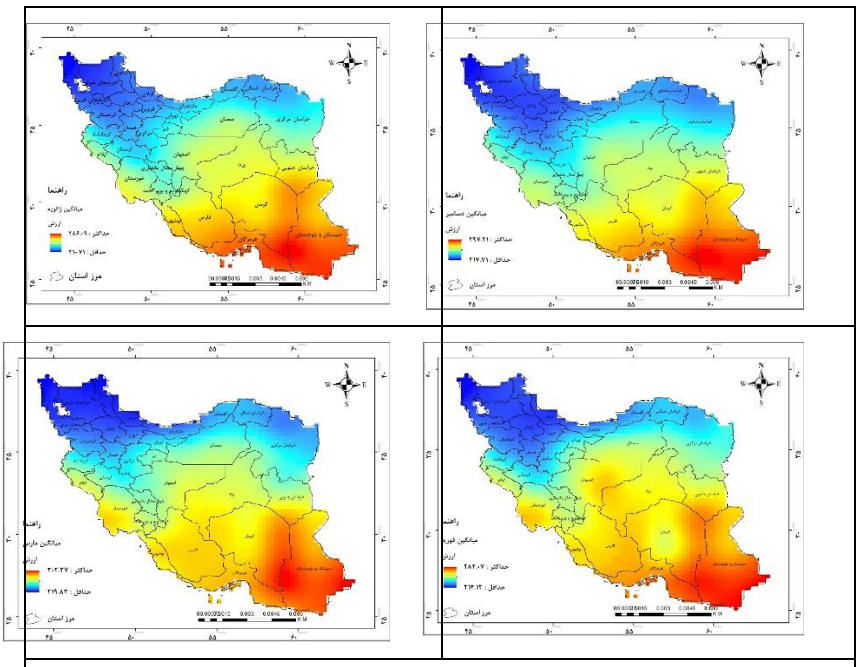
رابطه(۸).

$$y=a+b(x<۲۶۰)$$

نتایج و بحث

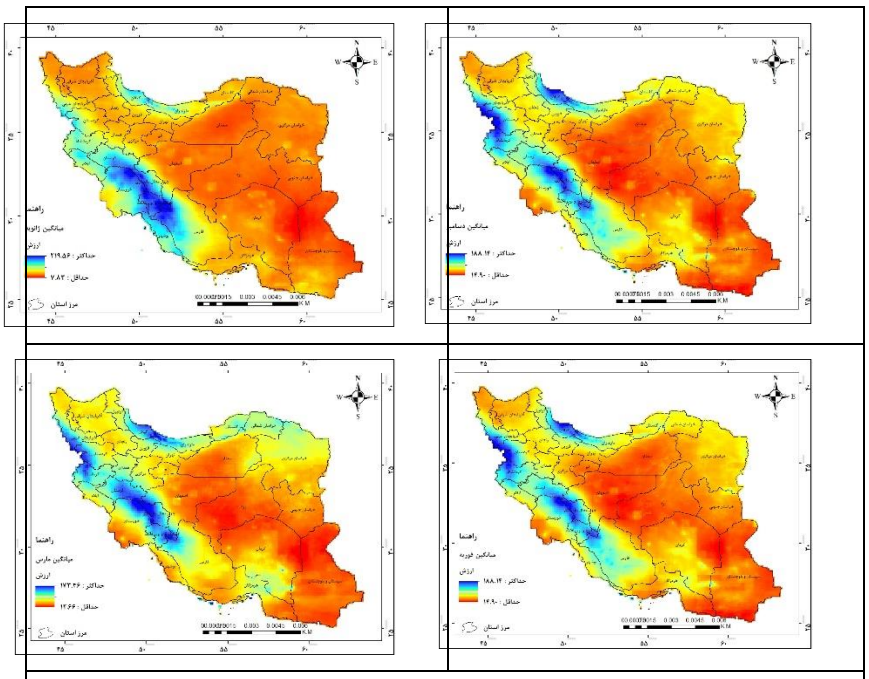
اندازه‌گیری و ایجاد نقشه‌های میانگین، توزیع و شدت متغیر موردمطالعه در فضا را به ما نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های میانگین تابش موج بلند خروجی شکل(۲)، طی ۱۷ سال مطالعه در این پژوهش می‌توان گفت، در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس بیشینه تابش موج‌بلند خروجی زمین در جنوب و جنوب شرق ایران با ۲۸۰ تا ۲۹۷ وات بر مترمربع وکمینه آن در منطقه شمال غرب با ۲۱۷ تا ۲۳۳ وات بر مترمربع می‌باشد و به تبعیت از مناطق کوهستانی و عرض جغرافیایی کمینه تابش موج‌بلند خروجی زمین در ماه دسامبر تا ماه فوریه به عرض‌های بالاتر انتقال پیدا می‌کند. ارتفاعات البرز و زاگرس به‌صورت نواری ممتد مقادیر یکسانی از ۲۴۰ تا ۲۵۰ وات بر مترمربع را نشان می‌دهد. در ماه فوریه کمینه‌ای در ارتفاعات استان کرمان با ۲۵۵ وات بر مترمربع مشاهده شد ولی بیشینه تابشی تا شمال استان اصفهان کشیده شده است و شرایط تابشی ماه مارس همانند دسامبر است با این تفاوت که یک بیشینه در استان خوزستان با ۲۸۰ وات ظاهر می‌شود.

[1] Panchawagh
[2] Heta, & Mitsuta



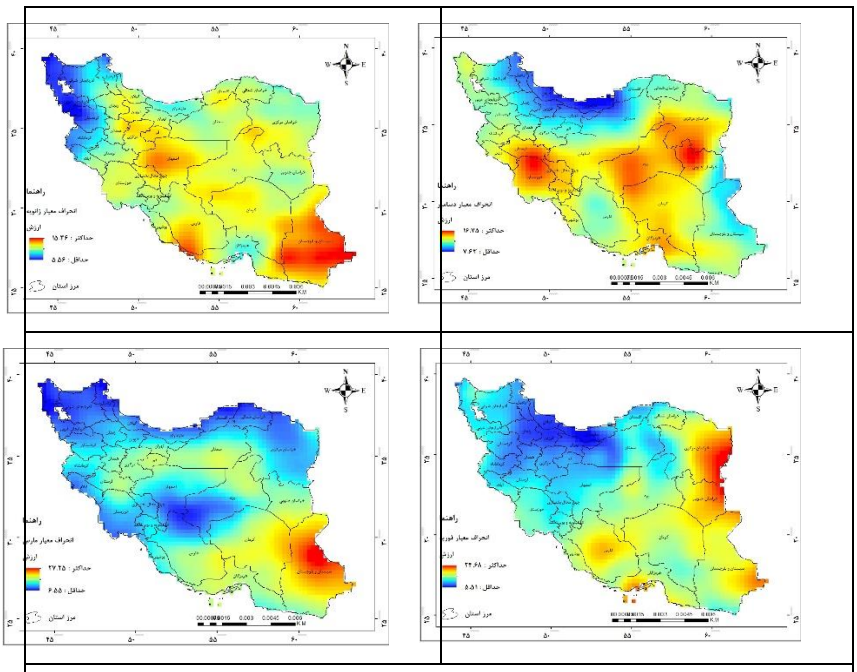
شکل(۲). نقشه میانگین تابش موج‌بلند خروجی دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

وضعیت بارشی نواحی شمالی ایران دارای تنوع مکانی و زمانی گوناگونی می‌باشد، به‌طوری که ایستگاه‌های ساحلی نواحی جنوب غربی دریای خزر بیشترین بارش را دریافت می‌کنند(خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۴) و با توجه به نتایج نقشه‌های میانگین ماهواره GPM شکل(۳)، بیشینه بارشی در ماه دسامبر در منطقه غرب ایران در محدوده استان‌های خوزستان، لرستان و کهکیلویه و بویر احمد از ۱۵۰ تا ۲۱۵ میلی‌متر و قسمت‌های جنوب غربی دریای خزر با بارش متوسط ۱۵۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر مشاهده شد و سایر مناطق ایران به تبعیت از ارتفاعات و کوهستان‌ها بارش دریافت می‌کنند. در ماه ژانویه بیشینه‌های بارشی به‌صورت نقاط پراکنده در استان‌های مازندران و گیلان و به‌طور کامل به غرب رشته‌کوه زاگرس با بیشترین مقدار در محدوده استان‌های کهکیلویه و بویر احمد، لرستان و خوزستان با مقادیر ۱۵۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر می‌باشد. در ماه فوریه بیشینه‌ای در جنوب غربی دریای خزر با ۱۳۰ تا ۱۷۰ میلی‌متر ظاهر و بارش‌های غرب زاگرس تا مناطق عرض‌های جغرافیایی بالاتر در محدوده استان آذربایجان غربی با متوسط ۱۰۰ تا ۱۸۵ میلی‌متر مشاهده می‌شوند و همچنین بیشینه‌هایی در ارتفاعات شمال شرقی و ارتفاعات مرکزی ایران ازجمله استان کرمان و شمال استان هرمزگان با مقادیر ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر ظاهرشده است. الگوی بارشی کشور در ماه مارس همانند فوریه با افزایش پراکندگی بارش در ایران می‌باشد. مؤلفه‌های اصلی بارش سالانه در نیمه جنوبی ایران توسط گردش‌های جوی کنترل می‌شوند و بارش سالانه در نیمه جنوبی ایران اساساً به کم‌فشار سودانی و مدیترانه ارتباط داده می‌شود (پوراصغر و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۷).



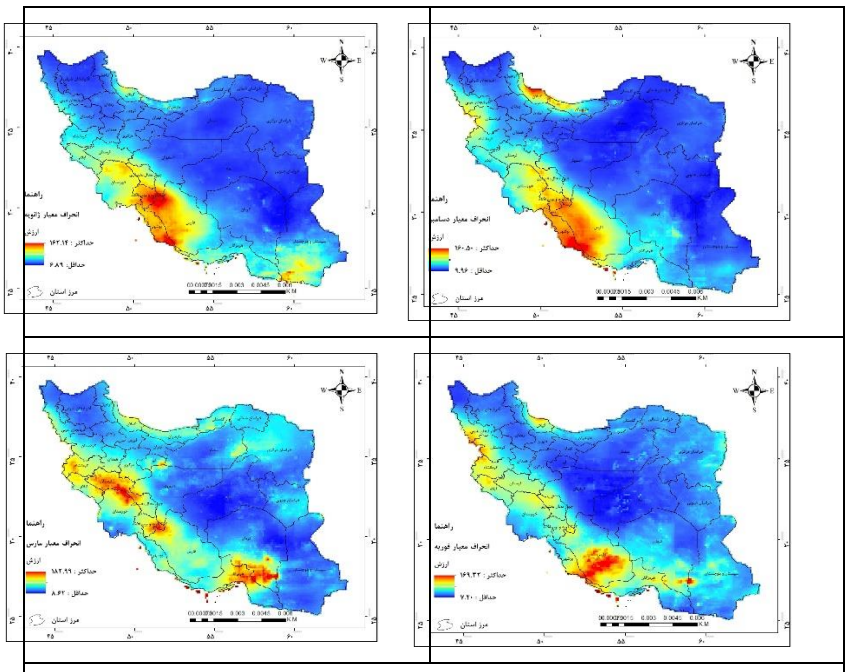
شکل(۳). نقشه میانگین بارش ماهواره GPM دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از انحراف معیار تابش موج‌بلند خروجی زمین شکل(۴)، می‌توان گفت که بیشترین انحراف معیار تابش موج‌بلند خروجی زمین در ماه دسامبر در مناطق مرکزی ایران به‌صورت سه لکه بر روی استان‌های خراسان جنوبی در شرق، استان یزد در مرکز و استان‌های خوزستان و کهکیلویه و بویر احمد در غرب ایران و کمترین انحراف معیار در مناطق شمالی رشته‌کوه البرز دیده می‌شود. در ماه ژانویه کمترین مقدار انحراف معیار مربوط به شمال غرب کشور و بیشترین انحراف معیار در جنوب شرق و جنوب ایران می‌باشد. در ماه فوریه شمال و شمال غرب دارای کمترین انحراف معیار و در مناطق شرقی و جنوب شرقی بیشترین انحراف از معیار مشاهده شد. در ماه مارس نیز قسمت‌های زیادی از کشور به‌جز جنوب شرق (استان سیستان و بلوچستان)، انحراف معیارهای کمتری مشاهده می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت که در ماه‌های دسامبر و ژانویه که مناطق شمالی، غرب و جنوب غربی کشور دارای بیشترین رطوبت جو و ابرناکی می‌باشد که عاملی در جذب تابش موج بلند خروجی می‌باشد و دارای انحراف معیار کمتری نسبت به سایر مناطق کشور است و به تدریج در ماه‌های فوریه و مارس این تغییرات رطوبت جو و ابرناکی به مناطق جنوبی کشور را در بر می‌گیرد و انحراف معیار آن کمتر می‌شود.



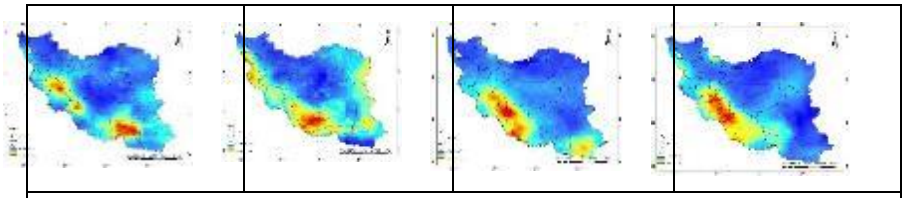
شکل(٤). نقشه انحراف معیار تابش موج‌بلند خروجی دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

باتوجه‌به نتایج حاصل از نقشه‌های انحراف معیار GPM شکل (۵)، در تمام ماه‌های موردمطالعه بیشترین انحراف از معیار در مناطق بارشی کشور ازجمله شمال رشته کوه‌های البرز (استان‌های مازندران و گیلان) و به‌صورت نواری از شمال‌غرب به سمت جنوب در قسمت‌های غربی رشته‌کوه زاگرس مشاهده گردید و در ماه مارس به‌طرف جنوب شرق (غرب استان هرمزگان) نیز کشیده شده است. می‌توان گفت که تغییرات و گسترده شدن رطوبت جو و ابرناکی در سایر مناطق کشور به‌ویژه در جنوب کشور عامل افزایش انحراف معیار بارش گردیده است.



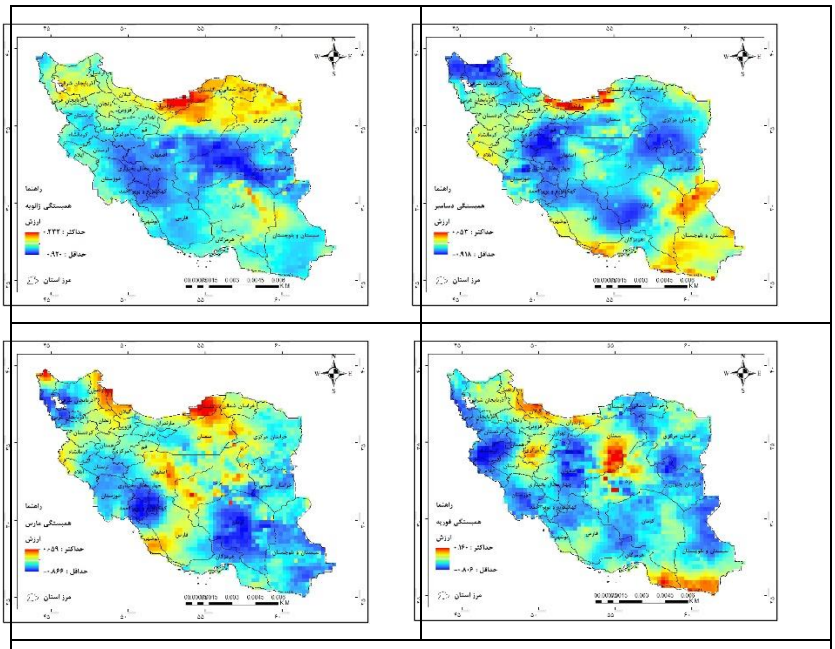
شکل ۵- نقشه انحراف معیار بارش ماهواره GPM دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

طبق نتایج به‌دست‌آمده از نقشه‌های کوواریانس شکل(۶)، در نشان دادن همبستگی بین تابش موج‌بلند خروجی و بارش، در تمام ماه‌ها اکثر نقاط بدون بارش ایران همبستگی مثبت کم را نشان می‌دهد. در ماه‌های دسامبر و ژانویه قسمت غربی رشته‌کوه زاگرس در جنوب غرب ایران که دارای بیشترین بارش‌های زمستانه هستند همبستگی منفی مشاهده گردید و در ماه‌های فوریه و مارس در غرب زاگرس همچنان که بارش‌ها به مناطق شمالی در غرب زاگرس هدایت می‌شوند همبستگی‌های منفی نیز به تبعیت از آن بیشتر می‌گردد.



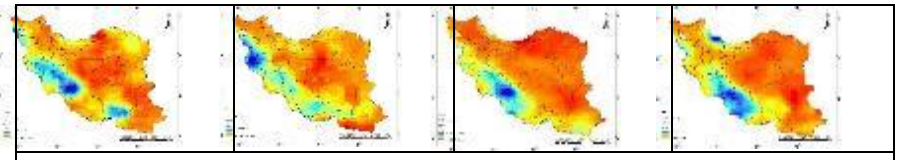
شکل(٦). نقشه کوواریانس تابش موج‌بلند و بارش دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

در این مطالعه همچنین میزان همبستگی بین تابش موج‌بلند خروجی و بارش به‌دست‌آمده است، با توجه به نقشه‌های به‌دست‌آمده از این تحلیل‌ها شکل(۷)، می‌توان گفت که کل کشور در تمام ماه‌های موردمطالعه به‌جز نقاط محدودی در ماه‌های ژانویه و فوریه همبستگی منفی را نشان می‌دهد و هیچ‌گونه رابطه مثبت معنی‌داری دیده نشد. در نواحی بارشی شمال کشور در ماه دسامبر در محدوده استان‌های مازندران و گیلان از منفی ۳۰ تا منفی ۷۰ درصد و در جنوب غرب در دسامبر از منفی ۶۷ تا منفی ۸۲ درصد مشاهده شد. میزان همبستگی در مناطق بارشی در ماه ژانویه از منفی ۲۰ تا ۳۰ درصد در شمال تا مقادیر منفی ۶۵ تا منفی ۸۰ درصد در جنوب غرب مشاهده گردید. در ماه فوریه و مارس نیز در مناطق بارشی شمال کشور همبستگی‌های منفی ۱۵ تا منفی ۵۰ درصد و در مناطق بارشی غرب زاگرس از منفی ۶۰ درصد تا منفی ۸۵ درصد مشاهده گردید. به‌نظر می‌رسد رطوبت جو و ابرناکی بودن آسمان ایران در این چهار ماه از دلایل همبستگی منفی بالا بین تابش موج‌بلند خروجی و بارش باشد.

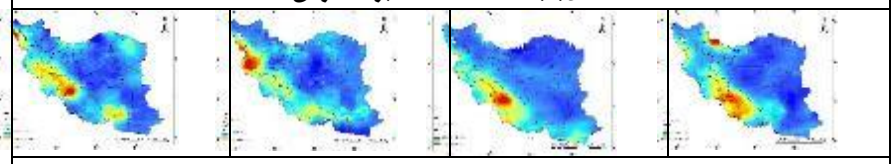


شکل ۷- نقشه همبستگی تابش موج‌بلند و بارش دسامبر تا مارس(۲۰۰۲ – ۲۰۱۹)

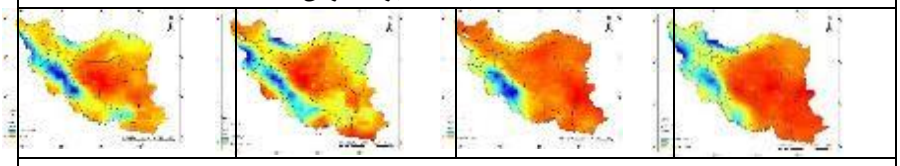
باتوجه به محاسبات حاصل از معادله رگرسیون اشکال(۸ تا ۱۶)، و درنظرگرفتن نقشه تابش موج‌بلند خروجی آخرین سال (۲۰۱۹)، برای هرماه به‌عنوان متغیر مستقل، نتایج نشان می‌دهد که در ماه دسامبر بیشترین بارش‌ها برای مناطق جنوب غربی و شمال و غرب ایران برآورد گردید. در ماه ژانویه بیشترین بارش‌ها در جنوب غرب کشور و در سایر نقاط بارندگی به‌صورت پراکنده برآورد شد. در ماه فوریه به‌صورت نواری از شمال غرب به سمت جنوب غربی در غرب رشته‌کوه زاگرس و شمال رشته‌کوه البرز در محدوده استان‌های گیلان و مازندران بیشترین بارش برآورده شده است. در ماه مارس همان الگوی بارشی فوریه با اضافه‌شدن یک بیشینه دیگر در جنوب شرق ایران در محدوده استان هرمزگان مشاهده شد. به‌طورکلی می‌توان گفت که همبستگی نقشه برآورد شده در ماه‌های ژانویه و فوریه با ضریب همبستگی ۹۲ درصد دارای بیشترین انطباق با نقشه میانگین سالانه و در ماه دسامبر با همبستگی ۶۴ درصد می‌باشد. در دسامبر و مارس مناطق شمال غربی را بیشتر از میانگین سالانه برآورد کرده است که می‌توان ابرناکی زیاد در این مناطق را دلیل آن دانست. نتایج حاصل از رگرسیون با در نظر گرفتن نقشه تابشی موج‌بلند خروجی آخرین سال با اضافه و کم کردن انحراف معیار ۱۷ سال نشان از آن دارد که در صورت اضافه کردن آن برآوردهای بارش به‌طرف مناطق عرض‌های جغرافیایی بالاتر و بالعکس به‌طرف جنوب کشور می‌باشد.



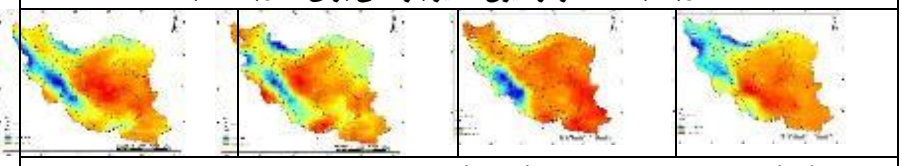
شکل(۸). نقشه آلفا دسامبر تا مارس



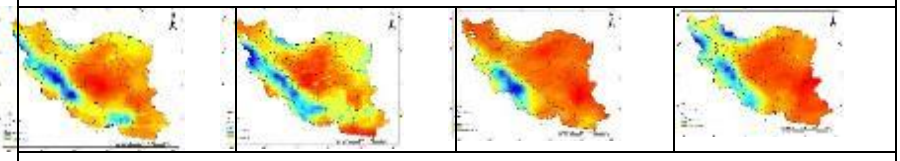
شکل(۹). نقشه بتا دسامبر تا مارس



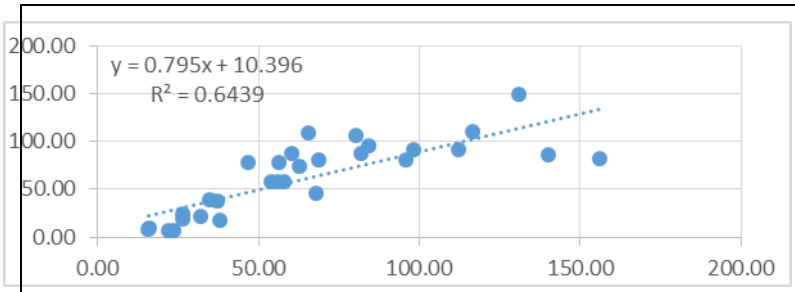
شکل(۱۰). نقشه رگرسیون متغیر بارندگی برای سال(۲۰۲۰)



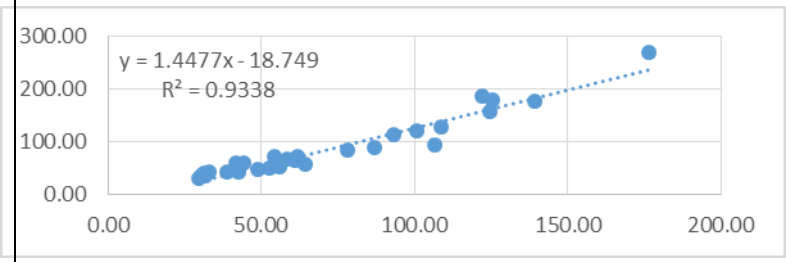
شکل(۱۱). نقشه احتمال رخداد بارش(۲۰۲۰) بر اساس معادله رگرسیون y=a+b(x+std)



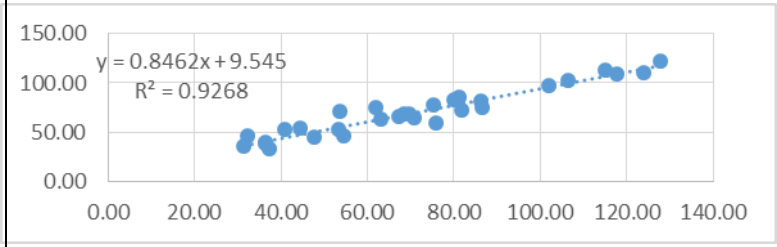
شکل(۱۲). نقشه احتمال رخداد بارش(۲۰۲۰) بر اساس معادله رگرسیون y=a+b(x-std)



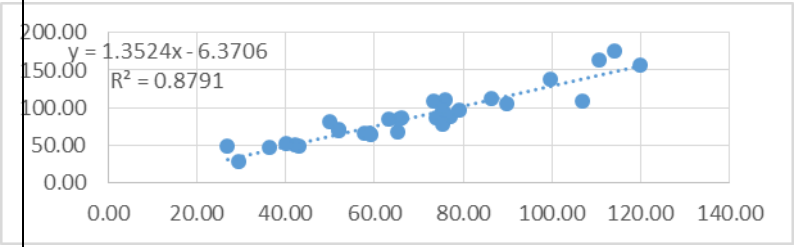
شکل(۱۳). همبستگی بارش پیش‌بینی شده با میانگین بارش دسامبر(۲۰۰۲-۲۰۱۹)



شکل(۱٤). همبستگی بارش پیش‌بینی شده با میانگین بارش ژانویه(۲۰۰۲-۲۰۱۹)

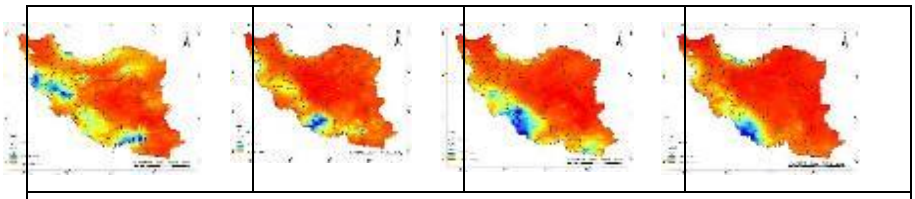


شکل(۱۵). همبستگی بارش پیش‌بینی شده با میانگین بارش فوریه(۲۰۰۲-۲۰۱۹)



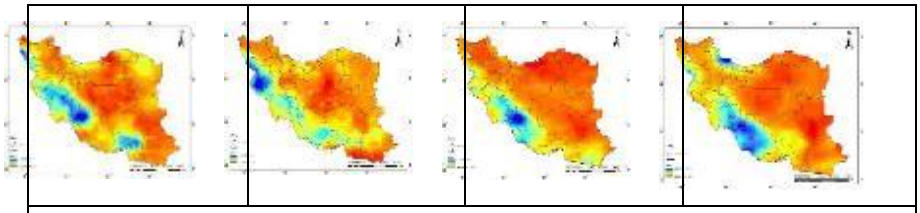
شکل(۱٦). همبستگی بارش پیش‌بینی شده با میانگین بارش ژانویه(۲۰۰۲-۲۰۱۹)

با توجه به معادله مجموع مربعات مانده و صحت سنجی رگرسیون از نقشه‌ها، شکل(۱۷)، نتایج نشان می‌دهد که در تمام ماه‌های موردمطالعه به غیر از جنوب شرق ایران در ماه ژانویه تمامی مناطق دارای بارش کمترین خطاها برآورد شده است و کاملاً منطبق با پیش‌بینی ما می‌باشد. می‌توان گفت که مناطق دارای بارش کم ایران که قسمت اعظم آن می‌باشد مقدار خطا را کمتر از واقعیت نشان می‌دهد و مناطق کمتری از ایران که دارای شرایط ابرناکی یا شرجی می‌باشد و بارش انجام نگرفته است را بیشتر از واقعیت نشان می‌دهد.



شکل(۱۷). نقشه محاسبه مجموع مربعات خطا(SSE) برای دسامبر تا مارس

ازآنجاکه در مطالعاتی مناطق دارای OLR کمتر از ۲۶۰ وات بر مترمربع مناطق دارای احتمال رخداد بارش در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش نیز باتوجه‌به این حد آستانه و نتایج حاصل از برآورد احتمال رخداد بارش شکل(۱۸) در ماه‌های موردمطالعه مناطق بارشی ایران از عرض جغرافیایی ۲۹ درجه به بالا ازجمله شمال، شمال‌غرب و دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس مستعد بارش می‌باشند و در فوریه ارتفاعات استان کرمان به‌صورت یک خوشه میانگین ماهانه کمتر از ۲۶۰ وات بر مترمربع را تجربه می‌کند و مستعد بارش در مناطق مرکزی می‌شود و قسمت‌های جنوبی از ۲۹ درجه عرض جغرافیایی به پایین مقادیر بالای ۲۶۰ وات بر مترمربع را تجربه می‌کنند.



شکل(۱۸). نقشه احتمال رخداد بارش دسامبر تا مارس بر اساس معادله رگرسیون
y=a+b(x<260)

نتایج حاصل از جداول اطلاعاتی شش حوضه اصلی ایران(۱ تا ۴) نشان داد که کمینه تابش موج‌بلند خروجی طی چهار ماه مطالعاتی در حوضه دریاچه ارومیه و دریای خزر و بیشینه در حوضه مرزی شرق و فلات مرکزی قرار دارد. میانگین بیشینه بارش در حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان و سپس دریای خزر و کمینه در حوضه مرزی شرق و فلات مرکزی مشاهده شد. بیشترین همبستگی تابش موج‌بلند خروجی و بارش در ماه دسامبر و فوریه می‌باشد. بیشترین همبستگی بارش برآورد شده و میانگین بارش ۱۷ سال در حوضه دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان می‌باشد و تخمین در مناطق خشک و کم‌بارش با انحراف بیشتری می‌باشد.

جدول(۱). مقادیر اطلاعاتی حوضه‌های آبریز دسامبر(۲۰۱۹-۲۰۰۲)

حوضه آبریز	تابش موج بلند خروجی	بارش	همبستگی پیرسون (بارش و تابش موج‌بلند خروجی)	بارش پیش بینی شده
دریای خزر	230.9	73.17	-0.64	70.21
خلیج فارس و دریای عمان	266.1	79.70	-0.63	76.81
دریاچه ارومیه	227.0	71.88	-0.68	61.06
فلات مرکزی	259.4	42.18	-0.69	47.67
مرزی شرق	271.6	40.01	-0.61	57.12
قره قوم	238.4	60.86	-0.63	74.91

جدول(۲). اطلاعاتی حوضه‌های آبریز ژانویه(۲۰۱۹-۲۰۰۲)

حوضه آبریز	تابش موج بلند خروجی	بارش	همبستگی پیرسون (بارش و تابش موج‌بلند خروجی)	بارش پیش بینی شده
دریای خزر	226.9	60.77	-0.30	58.51
خلیج فارس و دریای عمان	259.0	95.48	-0.58	121.37
دریاچه ارومیه	221.6	58.83	-0.35	56.78
فلات مرکزی	254.6	37.71	-0.53	45.71
مرزی شرق	263.4	29.10	-0.58	31.77
قره قوم	237.0	41.50	-0.28	40.33

جدول(۳). مقادیر اطلاعاتی حوضه‌های آبریز فوریه(۲۰۱۹-۲۰۰۲)

حوضه آبریز	تابش موج بلند خروجی	بارش	همبستگی پیرسون (بارش و تابش موج‌بلند خروجی)	بارش پیش بینی شده
دریای خزر	228.0	73.17	-0.37	70.21
خلیج فارس و دریای عمان	260.9	79.70	-0.47	76.81
دریاچه ارومیه	225.6	71.88	-0.48	61.06
فلات مرکزی	257.8	42.18	-0.46	47.67
مرزی شرق	264.4	40.01	-0.55	57.12
قره قوم	240.3	60.86	-0.44	74.91

جدول(٤). مقایر اطلاعاتی حوضه‌های آبریز مارس(۲۰۱۹-۲۰۰۲)

حوضه آبریز	تابش موج بلند خروجی	بارش	همبستگی پیرسون (بارش و تابش موج‌بلند خروجی)	بارش پیش بینی شده
دریای خزر	233.3	73.38	-0.35	81.00
خلیج فارس و دریای عمان	273.2	71.09	-0.58	102.72
دریاچه ارومیه	229.5	71.50	-0.66	99.76
فلات مرکزی	268.1	42.85	-0.50	50.60
مرزی شرق	275.1	33.56	-0.61	48.93
قره قوم	240.6	67.00	-0.53	73.51

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به مشاهدات به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل بیشینه تابش موج‌بلند خروجی جنوب ایران (جنوب حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان، مرزی شرق و فلات مرکزی) در نقشه میانگین ماه‌های دسامبر تا مارس به دلیل زاویه تابش عمودی و مدت‌زمان طولانی‌تر تابش خورشید می‌باشد که سبب انرژی ورودی زیاد به سطح زمین است و آسمان صاف و فاقد ابرناکی نیز عامل خروج قسمت زیادی از انرژی ورودی می‌باشد. زاویه مایل خورشید، کوتاه بودن روز و رطوبت موجود جو در عرض‌های جغرافیایی بالاتر (مناطق بیابانی مرکزی کشور، شمال حوضه خلیج‌فارس، دریای خزر و دریاچه ارومیه) مانع انرژی ورودی خورشید و همچنین کاهش خروج تابش موج‌بلند می‌گردد. بنابراین در فصل سرد تابش موج‌بلند خروجی تابعی از عرض جغرافیایی، ارتفاعات و ضخامت‌جوّ می‌باشد. عامل بارش‌های حوضه دریای خزر را می‌توان فرابار سیبری و همرفت وزشی و بارش‌های غرب رشته‌کوه زاگرس (حوضه دریاچه ارومیه، خلیج‌فارس و دریای عمان) نیز بادهای غربی و رطوبت آن‌ها دانست. با توجه به نقشه‌های همبستگی در ماه‌های موردمطالعه، در کل حوضه‌های آبریز کشور به‌غیراز قسمت‌هایی از فلات مرکزی و مرزی شرق همبستگی منفی وجود دارد که نشان از رطوبت دار بودن جو می‌باشد که مانع خروج تابش موج بلند شده است. در مناطق بارشی غرب رشته‌کوه زاگرس می‌توان همبستگی‌های منفی ۷۰ درصد به بالا و مقادیر کمتر از ۲۶۰ وات بر مترمربع جهت بارش در نظر گرفت. در مناطق بارشی شمال رشته‌کوه البرز(حوضه دریای خزر) در دسامبر و فوریه همبستگی از منفی ۳۰ درصد به بالا و در تابش کمتر از ۲۳۵ وات بر مترمربع بارش انجام می‌گیرد و دلیل مقدار عددی کمتر در حوضه دریای خزر وجود رطوبت نسبی زیاد در منطقه می‌باشد که عامل خروج کمتر تابش موج بلند خروجی زمین گردیده است.

منابع

- پور اصغر، فرناز؛ جهانبخش، سعید؛ ساری صراف؛ بهروز؛ قائمی، هوشنگ؛ تدینی، معصومه. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی رژیم بارش در نیمه جنوبی ایران. *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۷، شماره(۴۴): ۴۶-۲۷.
- حجازی زاده، زهرا؛ بزمی، نسرین؛ رحیمی، علیرضا؛ طولایی نژاد، میثم؛ بساک، عاطفه. (۱۳۹۶). مدلسازی فضایی- زمانی آلبدو در گستره‌ی ایران زمین. *نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی*، سال هفدهم، شماره (۴۷): ۱۷-۱.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ شیرزاد، علی اصغر. (۱۳۹۳). بررسی و تحلیل بارش‌های ناحیه شمال ایران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص. *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۸، شماره (۴۹): ۱۱۸-۱۰۱.
- رستم‌زاده، هاشم؛ رسولی، علی اکبر؛ وظیفه‌دوست، مجید؛ ملکی، ناصر. (۱۳۹۹). ارزیابی و تحلیل نقش خصوصیات فیزیکی ابر در مقدار بارش محتمل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MSG منطه مورد مطالعه: غرب ایران. *نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۴، شماره(۷۲): ۲۴۵-۲۲۵.
- سلیقه، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین؛ غفاری، علی. (۱۳۹۷). بارش بهاری و تابش طول موج بلند خروجی زمین)مطالعه موردی بارش ۱۵ آوریل ۲۰۱۶ شمال غرب ایران). *فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی - پژوهشی*، سال پانزدهم، شماره (۵۷): ۴۷- ۲۹.
- عساکره، حسین؛ رزمی، رباب. (۱۳۹۰). اقلیم‌شناسی بارش شمال غرب ایران، *جغرافیا وتوسعه*، شماره ۲۵، زمستان (۱۳۹۰): ۱۵۸-۱۳۷.
- علایی طالقانی، محمود. ۱۳۸۲. *رئومورفولوژی ایران*، نشر قومس، تهران، چاپ دوم، ص۹-۵.
- فلاح قالهری، غلام عباس. (۱۳۹۰). ***اصول و مبانی و هواشناسی***، انتشارات پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد، چاپ اول، ص۸۲.
- کفایت مطلق، امید رضا؛ 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/.
- کفایت مطلق، امید رضا؛ خسروی، محمود؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۸). تحلیل میانگین دراز مدت تابش بلند زمینی ایران با داده‌های سنجش از دور. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، دوره ۲۸، شماره (۱۰۹): ۲۰۹-۲۰۰.
- کفایت مطلق، امید رضا؛ خسروی، محمود؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ کیانی، کیخسروی؛ حمیدیان‌پور، محسن. (۱۳۹۸). تغییرات زمانی و مکانی تابش زمینتاب ایران (دوره آماریی ۱۳۹۶-۱۳۶۷). *مجله ژئوفیزیک ایران*، جلد ۱۳، شماره (۲): ۸۴-۷۳.
- Alizadeh, A., Keshavarz, A.,)2005). **Status of agricultural water use in Iran**. Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an IranianAmerican Workshop: 94–105.
- Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., Mirnia, M.,)2004). **Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods**. Journal of Hydrology(297): 109–123.
- Fu, W., & Steinschneider, S. (2019). **A diagnostic-predictive assessment of winter precipitation over the Laurentian Great Lakes**: Effects of ENSO and other teleconnections. *Journal of Hydrometeorology*, *20*(1): 117-137.
- Heta, Y., & Mitsuta, Y. (1993). **An evaluation of evaporation over the tropical Pacific Ocean as observed from satellites**. *Journal of Applied Meteorology*, *32*(7): 1242-1247.
- Karnauskas, K. B., & Li, L. (2016). **Predicting Atlantic seasonal hurricane activity using outgoing longwave radiation over Africa**. *Geophysical Research Letters*, *43*(13): 7152-7159.
- Kiany, M. S. K., Balling Jr, R. C., Cerveny, R. S., & Krahenbuhl, D. S. (2018). **Diurnal variations in seasonal precipitation in Iran from TRMM measurements**. *Advances in Space Research*, *62*(9): 2418-2430.

- Kousky Vernon E (1988). **Pentad Outgoing long wave Radiation Climatology for the south American Sector**. Revista Brasileira de Meteorologia, vol 3.
- 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.
- 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.* 785-790.
- 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.
- Nielsen, U. N., & Ball, B. A. (2015). **Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystems**. *Global change biology*, *21*(4): 1407-1421.
- 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.
- Papalexiou, S. M., & Montanari, A. (2019). **Global and regional increase of precipitation extremes under global warming**. *Water Resources Research*, *55*(6): 4901-4914.
- Prasad k.p and Bansod S.D (2000). **Interannual Variations of Outgoing Longwave Radiation and Indian Summer Monsoon Rainfall**. International Journal of climatology. 20.
- Ramanathan, V., Barkstrom, B. R., & Harrison, E. F. (1992, March). **Climate and the earth's radiation budget**. In *AIP Conference Proceedings* American Institute of Physics. vol(247): 55-77.
- Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A.A., Pereira, L.S., Bordi, I.,)2009). **Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran**. Water Resour. Manage(23): 439–455.
- Schreck, C. J., Lee, H. T., & Knapp, K. R. (2018). **HIRS outgoing longwave radiation—Daily climate data record: Application toward identifying tropical sub seasonal variability**. *Remote Sensing*, *10*(9): 1325.
- 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).
- Trenberth, K. E. (2006). **The impact of climate change and variability on heavy precipitation, floods, and droughts**. *Encyclopedia of hydrological sciences*.
- Xie, P., & Arkin, P. A. (1998). **Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing longwave radiation**. *Journal of Climate*, *11*(2): 137-164.
- سSu, 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.