مطالعات علوم کاربردی در مهندسی
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳
صفحات ۲۹۰-۲۶۹

Online ISSN: ۲۴۷۶-۴۵۰۷
Print ISSN: ۲۵۳۸-۲۰۵۵
www.irijournals.com

ارزیابی داده‌های بارش پایگاه اطلاعات باز تحلیل شده مرکز ECMWF اروپا در سطح استان اردبیل

ناصر کاظمی[۱]، سمیرا پورفتح اله[۲]، فاطمه پورفتح اله[۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی مدیریت منابع آب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد پارساباد مغان
[۲]کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
[۳]کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند

چکیده

پراکنش نامناسب ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری بارش موجب استفاده از منابع اطلاعاتی دیگر بارش از قبیل منابع ماهواره‌ای، بازتحلیل و منابع بارش شبکه‌بندی شده زمینی در سال‌های اخیر شده است. در این پژوهش یکی از محصولات مهم بارشی به اسم Era5 در سطح استان اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابتدا مشاهدات زمینی در طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ درون‌یابی شده و با داده‌های Era5 در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه مقایسه شدند. ارزیابی‌ها با استفاده از شاخص-های RMSE و ضریب همبستگی و شاخص‌های جدول توافقی که متشکل از POD، FAR، CSI و POFD است، انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که در مقیاس زمانی روزانه در اکثر سلول‌های مورد بررسی ضریب همبستگی برای منبع بارش Era5 بالای ۰/۷۵ و میزان RMSE نیز زیر ۳ میلی‌متر بود. در مقیاس زمانی ماهانه نیز میزان ضریب همبستگی برای منبع Era5 بالای ۰/۸ و شاخص RMSE نیز برای منبع بارش Era5 در اکثر سلول های مورد بررسی زیر ۲۰ میلی‌متر بود. بررسی‌ها با استفاده از شاخص‌های جدول توافقی نشان داد که میزان شاخص POD برای منبع بارش Era5 در سلول‌های مورد مطالعه در محدوده ۰/۷ تا ۰/۸۵، FAR در محدوده ۰ تا ۰/۲۵، POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ و CSI در محدوده ۰/۴ تا ۰/۵ متغیر می‌باشد. در حالت کلی می‌توان گفت که محصول بارشی Era5 در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌تواند بعد از اعمال تحصیح اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش در سطح منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ماهواره بارش؛ بازتحلیل؛ جدول توافقی؛ شبکه‌بندی

مقدمه

آگاهی از شدت و توزیع بارندگی کاربردهای بیشماری در بخش‌های مختلف منابع آبی داشته و محدود به پیش‌بینی وضعیت خشکسالی، کشاورزی و مطالعات آب و هوایی نمی‌شود. اندازه‌گیری میزان بارش که با استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین که متشکل از باران‌سنج‌ها، ایستگاه‌های سینوپتیک، ایستگاه‌های کلیماتولوژی و ... هستند هرچند رکوردهای زمانی خوبی را ارائه می‌دهند، اما هزینه‌های مربوط به نصب آن‌ها برای شبکه‌های بزرگ متراکم بسیار زیاد است. به طور کلی ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی مستقیم‌ترین و دقیق‌ترین اندازه‌گیری‌ها را ارائه می‌دهند با این حال اشکال عمده ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش پراکنش نامناسب به لحاظ مکانی بوده که منجر به تخمین نادرست الگوهای بارش می‌شود.

در حالت کلی مجموعه داده‌های گریدبندی شده بارش جهانی به صورت ذیل طبقه‌بندی می‌شوند: ۱- محصولاتی که مبتنی بر ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش زمینی بوده و با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی توسعه داده شده‌اند. این محصولات در طیف وسیعی از پژوهش‌ها به کار گرفته شده‌اند که نمونه‌ای از این محصولات می‌توان به داده‌های گریدبندی شده بارش مرکز تحقیقات اقلیمی[1] و همچنین داده‌های بارش مرکز اقلیمی جهانی[2] اشاره کرد که در رزولوشن‌های پایین(بالای ۰,۵ درجه) در دسترس هستند. ۲- محصولات گریدبندی شده بازتحلیلی که در واقع این محصولات ترکیبی از مدل‌های پیش‌بینی عددی آب و هوا، ماهواره‌های هواشناسی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش زمینی هستند. نمونه‌ای از این محصولات توسط سازمان‌های مختلف اقلیمی همچون مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپایی و پروژه NCEP/NCAR که یک پروژه مشترک بین مرکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی [3]و و مرکز ملی پژوهش‌های آب و هوایی[4] بوده ارائه شده است. ۳- محصولات ماهواره‌ای که با استفاده از سنجنده‌های مادون‌قرمز، مایکروویو و یا ترکیبی از این دو سنجنده بارش را برآورد می‌کنند. نمونه‌ای از این محصولات ماهواره‌ای را که در مقیاس‌های زمانی (ساعتی، چند ساعته و روزانه) و مکانی بسیار بالا در دسترس هستند می‌توان به محصولات ماهواره‌ای PERSIANN، TRMM و CMORPH اشاره کرد و در نهایت ۴- محصولات بارش گریدبندی شده تلفیقی ماهواره‌ای- زمینی هستند که با استفاده از روش‌های مختلف تصحیح اریبی و یا ترکیب دو محصول بارش ماهواره‌ای و زمینی را با یکدیگر ترکیب می‌کنند و در قالب یک محصول گریدبندی شده بارش در دسترس هستند. از آن‌جایی که محصولات بارش ترکیبی دقت مناسبی در برآورد بارش دارند در سال‌های اخیر این محصولات بارش به طور فزاینده‌ای افزایش یافته‌اند. با توجه به این مساله که محصولات بارش گریدبندی شده جهانی دارای عدم قطعیت‌هایی در برآورد میزان بارش هستند و عملکرد آن‌ها می‌تواند از منطقه به منطقه دیگر متفاوت باشد. ارزیابی این محصولات بارش با سنجه‌های معتبر برای توسعه دهندگان و کاربران مهم بوده به این صورت که برای توسعه‌دهندگان نتایج ارزیابی بازخورد مفیدی را ارائه می‌دهد که آن‌ها را قادر می‌سازد عدم‌قطعیت‌ها را شناسایی کرده و در پروژه‌های آتی این عدم‌قطعیت‌ها را کاهش دهند. همچنین نتایج ارزیابی به کاربران این امکان را می‌دهد تا یک محصول مناسب با دقت و عملکرد مناسب را برای هدف مورد نظر خود استفاده کنند.

مروری بر مطالعات انجام شده

با توجه به اینکه پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده مشکل پیوستگی مکانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش را ندارند ولی به دلیل عدم قطعیت‌هایی که درتخمین بارش دارند، بدون ارزیابی اولیه نمی‌توان از این پایگاه‌های داده استفاده نمود. لذا برای تمامی مطالعات منابع آبی استفاده از این پایگاه‌های داده نیازمند یک سری بررسی‌های اولیه می‌باشد. ارزیابی پایگاه داده‌های بارش در مناطق مختلف به دو شکل مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌پذیرد. در ارزیابی به صورت مستقیم میزان بارش برآوردی پایگاه‌های داده و بارش مشاهداتی ایستگاه‌های بارانسنجی زمینی، با توجه به معیارهای ارزیابی که متشکل از آزمون‌های آماری پارامتری و غیرپارامتری است، مقایسه می‌شوند. در ادامه به بررسی تعدادی از مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شده

[1] CRU
[2] GPCC
[3]NCEP
[4] NCAR

است.

Li و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص‌های آماری دقت داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه بارش TRMM، PERSIANN و CMORPH[۵] را در مقایسه با داده‌های زمینی برای حوضه رودخانه یانگ‌تسه طی دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ ارزیابی کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که داده‌های TRMM مقدار بارش حوضه را بیشتر از مقدار واقعی و داده‌های PERSIANN و CMORPH مقدار بارش حوضه را کمتر از مقدار بارش مشاهداتی برآورد می‌کنند.

Zhao و Yatagai (۲۰۱۴) به منظور بررسی محصول TRMM[۶]-3B42 V6 داده‌های آن را با داده‌های مشاهداتی کشور چین مقایسه نمودند. نتایجی نشان داد که ۱) محصول TRMM-3B42 V6 عملکرد بهتری در تخمین بارش در فصول پربارش را دارد، ۲) بین محصول TRMM-3B42 V6 و بارش مشاهداتی روزانه برای اکثر مناطق شرقی تفاوت تقریبا در حدود ۱۰ درصد بود، ولی برای مناطق غربی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد کم برآوردی مشاهده شد، ۳) از دیگر نتایج مورد بحث می‌توان به عدم تخمین درست مقدار بارش در مقیاس روزانه اشاره کرد در حالی که وقوع و یا عدم وقوع به درستی توسط ماهواره مورد نظر قابل مشاهده بود، ۴) درآخر می توان به کم برآوردی بارش‌های سبک در مناطق شمال‌غربی و همچنین بیش برآوردی بارش‌های سنگین و حدی در مناطق جنوب‌شرقی چین اشاره کرد.

De Leeuw و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی داده‌های بارش بازتحلیل شده ECMWF[۷] با توجه به داده‌های مشاهداتی ولز و انگلستان پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از کم‌برآودی بارش توسط ECMWF به میزان ۲۲ درصد داشت و میزان همبستگی بین داده‌های ECMWF و داده‌های مشاهداتی در مقیاس روزانه ۰/۹۱ بود. در بحث بارش‌های حدی نیز میزان بارش برآوردی توسط ECMWF تفاوت زیادی با داده‌های مشاهداتی نداشته و عملکرد بهتری در این قسمت داشت.

Tan و همکاران (۲۰۱۵) داده‌های بارش CMORPH، PERSIANN، GPCP[۸]، TRMM و APHRODITE[۹] را در مقیاس‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه با داده‌های مشاهداتی در مالزی برای دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که داده‌های GPCP کمترین هماهنگی و داده‌های TRMM-3B42 RT و APHRODITE بیشترین هماهنگی را با ایستگاه‌های زمینی دارند.

Dembele و Zwart (۲۰۱۶) به بررسی هفت منبع بارش با توجه به داده‌های مشاهداتی بوریکینافاسو[۱۰] پرداختند. منابع بارش مورد استفاده در این پژوهش متشکل از PERSIANN، CHIRPS[۱۱]، ARC2[۱۲]، RFE2[۱۳]، TAMSAT[۱۴]، TARCAT[۱۵] و TRMM بود که در مقیاس زمانی روزانه تا سالانه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دهنده این بود که تمام منابع مورد اشاره توانایی تشخیص بارش را داشتند ولی در برآورد مقدار بارش عملکرد مناسبی نداشتند. در واقع هر چقدر گام زمانی افزایش می‌یافت عملکرد منابع بارش نیز بهبود می‌یافت. در بین منابع مذکور RFE و TARCAT به ترتیب بهترین و بدترین عملکرد را نسبت به دیگر منابع از خود نشان دادند. از دیگر یافته‌های این پژوهش می‌توان به اولویت‌بندی منابع بارش با توجه به کاربرد آن‌ها اشاره کرد، به طور مثال برای پایش خشکسالی منابع ARC، TARCAT و RFE مناسب‌تر می‌باشد و برای پیش‌بینی سیلاب از PERSIANN، TRMM وCHIRPS می‌توان بهره برد.

در پژوهشی جامع‌تر Duan و همکاران (۲۰۱۶) بر روی حوضه ادجیه[۱۶] واقع در ایتالیا ۸ منبع بارش را مورد ارزیابی قرار

[5] Climate Prediction Center MORPHing technique
[6] Tropical Rainfall Measuring Mission
[7] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
[8] Global Precipitation Climatology Project
[9] Asian Precipitation – Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources
[10] Burkina Faso
[11] Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station
[12] Africa Rainfall Climatology Version 2
[13] Rainfall Estimation Version 2
[14] Tropical Applications of Meteorology using SATellite
[15] Tropical Applications Rainfall Climatology And Time-series
[16] Adgie

دادند. منابع بارش متشکل از سه نسخه مربوط به CMORPH و PERSIANN-CDR[۱۷]، PGF[۱۸]، CHIRPS، GSMaP_MVK[۱۹] و TRMM-3B42 V7 بودند. ارزیابی در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و همچنین در مقیاس مکانی سلولی و در سطح حوضه انجام پذیرفت. نتایج نشان‌دهنده این بود که سه منبع بارش CHIRPS، TRMM و CMORPH_BLD عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارند. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به خطای زیاد در برآورد بارش زمستانی در مواقعی که میزان بارش کم می‌باشد اشاره کرد.

Ashouri و همکاران (۲۰۱۶) با در نظر گرفتن منابع بارشی PERSIANN-CDR، TRMM، PERSIANN و داده-های تلفیقی رادار- باران‌سنج به عنوان منابع بارش، به این نتیجه رسیدند که منابع بارشی TRMM و PERSIANN-CDR عمکرد بهتری نسبت به دیگر منابع در برآورد بارش دارند. همچنین با در نظر گرفتن منبع PERSIANN-CDR به عنوان تنها منبع بارشی که داده‌های درازمدت بارش را دارا می‌باشد، نتیجه حاصله به این شکل بود که این منبع بارش از توانایی لازم برای شبیه‌سازی رواناب، برخوردار است.

Krogh و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی که روی حوضه رودخانه بیکر[۲۰] واقع در پاتاگونیا[۲۱] انجام دادند، داده‌های شبکه‌بندی شده ECMWF ، CFSR[۲۲] و نیز داده‌های مشاهداتی را به عنوان منابع بارش برای مدل هیدرولوژیکی CRHM[۲۳] مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش مشاهداتی نسبت به دو منبع دیگر از توانایی به مراتب کمتری برای شبیه‌سازی رواناب برخوردار می‌باشند.

در سطح کشور ایران نیز مطالعات بسیاری در این زمینه انجام پذیرفته است که از این بین می‌توان به پژوهشی که Javanmard و همکاران (۲۰۱۰) انجام دادند اشاره کرد. در این پژوهش ابتدا داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک را به داده-های شبکه‌بندی شده تبدیل کردند و سپس به مقایسه با داده‌های بارش استخراجی از ماهواره TRMM-3B43 پرداختند. با بررسی توزیع مکانی بارش برای میانگین بارش سالانه و فصلی دو الگوی اصلی در طول رشته کوه‌های زاگرس و همچنین دریای خزر توسط ماهواره مورد نظر و داده‌های شبکه‌بندی شده محلی نمایان گشت. همچنین از دیگر نتایج اصلی این پژوهش می‌توان به کم برآودی بارش توسط ماهواره TMPA-3B43[۲۴] برای میانگین بارش سالیانه درمقیاس‌های مکانی متشکل از تمام کشور، رشته کوه‌های زاگرس و نیز در مجاورت دریای خزر اشاره کرد.

در تحقیق دیگری که توسط Ghajarnia و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، اطلاعات منابع بارشی APHRODITE، PERSIANN، TRMM و CMORPH در گام‌های زمانی روزانه، سه، پنج، ده و بیست روزه، ماهانه و سالانه با استفاده از روش‌های مقایسه آماری با بارندگی‌های مشاهده شده و شاخص‌های جدول طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مرجع PERSIANN در مقایسه با نسخه‌های اولیه CMORPH و TRMM و حتی نسخه اصلاح شده CMORPH عملکرد بهتری داشته است و در بین منابع فوق، بهترین برآوردهای بارندگی توسط APHRODITE، سپس TRMM-V7 و پس از آن PERSIANN ارائه شده‌اند و بی‌تردید می‌توان گفت که بهترین منبع ارائه کننده برآوردهای زمان واقعی، منبع PERSIANN است.

Moazami و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی چهار پایگاه داده بارش TRMM-3B42 RT، PERSIANN، TRMM-3B42 V7 و CMORPH با استفاده از داده‌های مشاهداتی برای مناطق مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان دهنده برتری TRMM-3B42 RT نسبت به دیگر منابع بارش برای تمام ۶ منطقه مورد بررسی بود. همچنین منابع PERSIANN و TRMM-3B42 RT به ترتیب به میزان ۷۸ و ۳۱ درصد بیش‌برآورد نموده‌اند و این در حالیست که منبع CMORPH

[17] Climate Data Record
[18] Princeton University Global Meteorological Forcing
[19] Global Satellite Mapping of Precipitation
[20] Baker
[21] Patagonia
[22] Climate Forecast System Reanalysis
[23] Cold Regions Hydrological Model
[24] TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis

در حدود ۱۷/۶ درصد مقدار بارش را کم برآورد نموده است.

در سطح کشور نیز در زمینه ارزیابی مستقیم مطالعات مختلفی انجام پذیرفته است که از این بین می‌توان به پژوهشی که در سال۲۰۱۷ Sharifi و همکاران برای کل ایران انجام دادند اشاره کرد. آنها با مقایسه ۳ منبع بارش مهم متشکل از GPM-IMERG، TMPA-3B42 و ERRA-INTERIM و داده‌های مشاهداتی بارش به این نتیجه رسیدند که GPM-IMERG در مقایسه با دو منبع دیگر در برآورد بارش‌های سبک و حدی در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و فصلی عملکرد به مراتب بهتری دارد.

در پژوهشی دیگر که Zangenehinanlu و همکاران (2018) انجام دادند، به ارزیابی اطلاعات بارش ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در حوضه آبریز شاپور پرداخته شده است. نتایج نشان داد که ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند، همچنین با مقایسه داده‌های روزانه ۴۱ رویداد ماهواره‌ها، مشاهده‌ای و روش درونیابی کریجینگ برای ایستگاه هدف (بوشیگان کازرون) نتایج حاکی از دقت پایین‌تر مدل‌های ماهواره‌ای نسبت به روش درونیابی کریجینگ بود.

تمامی مطالعات ذکر شده در مقیاس مکانی یک "کشور" دقت منابع بارش جهانی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این در حالیست که می‌توان به مطالعات دیگری نیز اشاره کرد که در سطح حوضه و یا یک منطقه منابع بارش را مورد ارزیابی قرار داده‌اند، به عنوان مثال در پژوهشی نه محصول مختلف ماهواره‌ای متشکل از TRMM، PERSIANN، CMORPH[۲۵]، GSmap[۲۶] و ERA-interim در چندین منطقه کوهستانی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد محصولات ماهواره‌ای ارتباط مستقیمی با تغییرات بارندگی دارند. به این صورت که در فصل زمستان بسیاری از محصولات ماهواره‌ای کم برآوردی و در فصول خشک بیش‌برآوردی داشتند. همچنین از دیگر نتایج مهم این بود که عملکرد منابع بارش ماهواره‌ای که توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین واسنجی شده بودند منطقه به منطقه متفاوت بوده و بستگی به تعداد باران‌سنج‌ها نیز داشت (*Derin et al.*, 2016). همچنین در پژوهشی جامع‌تر که در حوضه Adgie واقع در ایتالیا انجام پذیرفت، هشت منبع بارش متشکل از سه نسخه مربوط به CMORPH و PERSIANN-CDR، PGF[۲۷]، CHIRPS، GSMaP_MVK و TRMM-3B42V7 در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه، سالانه و در مقیاس مکانی سلولی و در سطح حوضه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده این بود که سه منبع بارش CHIRPS[۲۸]، TRMM و CMORPH-BLD عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارند. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به خطای زیاد در برآورد بارش زمستانی در مواقعی که میزان بارش کم می‌باشد اشاره کرد (*Duan et al.*, 2016). در سطح کشور نیز در حوضه‌های مختلف ارزیابی منابع بارش جهانی انجام پذیرفته است که از مهمترین این پژوهش‌ها در این زمینه می‌توان به پژوهشی که در سطح حوضه سفیدرود انجام پذیرفت اشاره کرد در این پژوهش عملکرد ERA-interim در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی در سطح این حوضه و در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه حاکی از آن بود که این منبع دارای همبستگی بالایی با ایستگاه‌های زمینی به ویژه در بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی حوضه بود. همچنین از نظر شاخص‌های جدول توافقی منبع بارش ERA-interim در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه با دارا بودن مقادیر کم شاخص FAR (گزارش‌های اشتباه)، مقادیر بالای شاخص Accuracy (صحت پیش‌بینی‌های درست) و نیز مقدار بالا در تشخیص روزهای بارانی (POD) دارای عملکرد بسیار مناسبی بود (عزیزیان و رمضانی، ۱۳۹۸؛ شایقی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین یکی دیگر از پژوهش‌های مهمی که در این زمینه انجام پذیرفته است پژوهشی است که در سطح حوضه کارون انجام پذیرفته که در آن شش منبع بارش جهانی در سطح حوضه کارون بزرگ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش منابع بارش متشکل از ERA-interim، APHRODITE، CHIRPS، PERSIANN، PERSIANN-CDR و TRMM-3B42 و ارزیابی‌ها در مقیاس زمانی روزانه به صورت سلول به سلول

[25] CPC MORPHing technique
[26] Global Satellite Mapping of Precipitation
[27] Princeton University Global Meteorological Forcing
[28] Climate Hazards center InfraRed Precipitation with Station data

بود. نتایج حاکی از این بود که در سطح حوضه کارون منابع بارشی APHRODITE و ERA-interim نسبت به دیگر منابع بارشی از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌توانند با تصحیح اریبی جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح حوضه باشند. همچنین از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که از بین منابع بارش ماهواره‌ای، منبع TRMM از عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع برخوردار بوده و منبع بارش CHIRPS بدترین عملکرد را در بین کل منابع بارشی دارد (رحمتی و مساح بوانی، ۱۳۹۸).

مبانی نظری

پایگاه اطلاعات بارش ECMWF

از پایگاه‌های مهم برآورد بارش می‌توان به پایگاه داده‌های بازتحلیل‌شده و یا تحلیل مجدد اشاره کرد. پایگاه اطلاعات ECMWF یکی از پایگاه‌های داده بازتحلیل شده می‌باشد. تحلیل مجدد یک دیدگاه سیستماتیک برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی دوره آماری برای استفاده در پژوهش‌ها و پایش اقلیم می باشد. داده‌های واکاوی یا تحلیل مجدد با استفاده از یک مدل ثابت و از نظر دینامیکی سازگار در داده‌گواری[29] داده‌ها و مدل‌ها که در آن از تمامی داده‌های در دسترس مشاهداتی در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ ساعت دوره مورد تحلیل استفاده می‌شود، به وجود می‌آیند. یکی از مولفه‌هایی که در این فرآیند تغییر می‌کند، داده‌های دیدبانی است. این تغییر در داده‌های ورودی غیر قابل اجتناب است، زیرا هر روزه تعداد زیادی از انواع ورودی‌های هواشناسی شامل داده‌های دریافتی از رادیو سوند، ماهواره، شناورها، هواپیما و کشتی به شبکه ایستگاه‌های کره-زمین افزوده می‌شود. در حال حاضر تخمین زده می‌شود که حدود ۷ تا ۹ میلیون داده‌های دیدبانی شده در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل در فاصله زمانی تولید هر سری از داده‌های واکاوی تغییرات اندکی در رفتار اقلیمی نقاط شبکه‌ای داده‌های واکاوی بروز می‌کند. از طرفی از آنجا که در فرآیند داده‌گواری از پیش‌بینی‌های عددی خیلی کوتاه مدت نیز استفاده می شود، لذا با بهبود و ارتقاء نسخه مدل‌های پیش‌بینی عددی، داده‌های واکاوی نیز بهبود می یابند (Dee و همکاران، ۲۰۱۱).

روش تحقیق

نحوه اندازه‌گیری بارندگی توسط ماهواره‌ها

ایستگاه‌های بارانسنجی اندازه‌گیری خیلی دقیقی از میزان و عمق بارندگی بصورت نقطه‌ای بدست می‌دهند. با این حال کمبود اصلی آنها این است که اندازه‌گیری‌های آنها بصورت نقطه‌ای بوده و پوشش سطحی کافی از منطقه موردنظر را تهیه نمی‌کنند. هر چند نتایج اندازه‌گیری‌ها در مساحت‌های کوچک نسبتاً دقیق است، اما برای حوضه‌های بزرگ کاربردی نیستند. بنابراین با شناسایی این محدودیت‌های کاربردی در ایستگاه‌های زمینی، دانشمندان تکنیک سنجش از دور را به عنوان ابزاری توانا برای تعیین کمی بارش ورودی به زمین بکار بردند. هرچند استفاده از ایستگاه‌ها سرشار از مشکلاتی هست، اما در فراهم نمودن داده ها برای ارزیابی‌های بارش برآورد شده توسط دیگر ابزارها، می‌توانند جهت اعتبارسنجی بکار روند. توزیع نامساوی از ایستگاه های بارانسنجی در حوضه آبریز و فضای نمونه برداری محدود آنها هنگامی که پوشش مکانی مناسبی جهت برآورد بارش موردنیاز می‌باشد، یکی از مشکلات اساسی است. به همین دلیل مانیتورینگ بارش توسط ماهواره که در برگیرنده پوشش زمانی و مکانی می‌باشد، ابزار مناسبی برای غلبه بر مشکل فوق است. ماهواره‌ها اطلاعات را در رابطه با توزیع و مقادیر بارش به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بدست می‌آورند. مشاهدات مستقیم توسط سنجش غیرفعال از انرژی مایکروویو جذب و منتشر شده توسط قطرات بخار آب موجود در هوا و تبدیل این مشاهدات به تخمین‌های بارندگی با توجه به اطلاعات بازتابشی از سطح زمین و ساختن فرضیاتی درباره اندازه توزیع قطرات بخار آب بدست می‌آیند. مشاهدات غیرمستقیم توسط سنجش تشعشع مادون قرمز منتشر شده توسط ابرها، تبدیل نرخ تشعشع به دمای بالای ابر، استفاده از همبستگی‌های تجربی پوشش

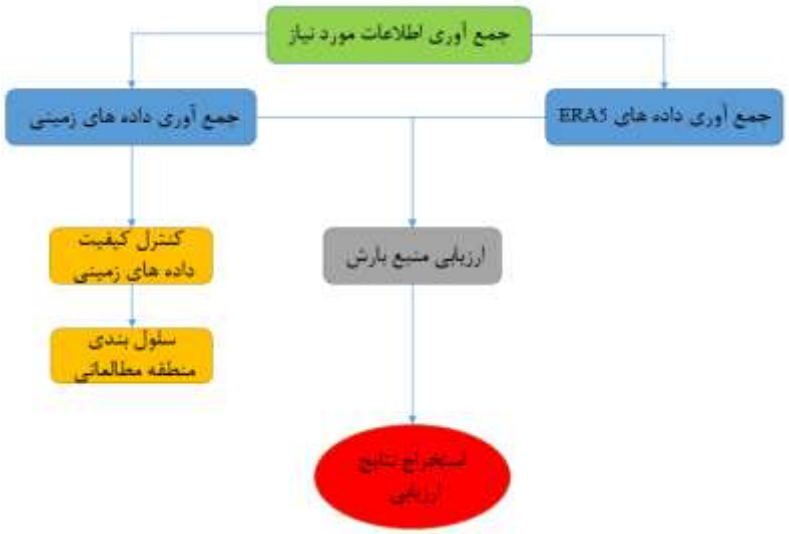
[29] Data Assimilation

زمانی و مکانی ابرها با دمای کمتر از مقدار آستانه و دمای لازم برای ایجاد بارش، حاصل می‌شوند. روشهای برآورد بارش ماهواره برای هر دو ابزار مرئی یا مادون قرمز[۳۰] و و مایکروویو (MW) برای دو دهه است که توسعه داده شده‌اند. موفقیت روش‌های غیر مستقیم (VIS/IR) و مستقیم (MW) خیلی متغیر بوده و وابسته به نوع بارش، سیستم زمان مشاهدات و پوشش مکانی ماهواره از منطقه مطالعاتی می‌باشد (Shrestha، ۲۰۱۱).

شماتیک مراحل انجام پژوهش

در شکل شماره (۱) مراحل انجام پژوهش حاضر بصورت شماتیک ترسیم شده است که شامل مراحل زیر می‌باشد:

- جمع آوری داده های ایستگاه‌های زمینی
- کنترل کیفیت داده ها و حذف داده‌های مشکوک
- هم مقیاس نمودن داده‌های محیطی با داده‌های ERA-5
- جمع آوری داده‌های شبکه‌بندی شده ERA-5
- مقایسه داده‌های شبکه‌بندی شده و داده‌های ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش زمینی
- ارزیابی داده‌های مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای آماری



شکل (۱) شماتیک مراحل اصلی انجام پژوهش

فرضیات

مهم‌ترین فرضیات مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

۱- منبع بارش ERA-5 از دقت مناسبی در برآورد بارش در سطح استان اردبیل برخودار است.

۲- داده‌های ERA-5 تکمیل‌کننده داده‌های دیده‌بانی زمینی هستند.

۳- منبع بارش ERA-5 در ماه‌های خشک و کم‌بارش، متناسب با شرایط اقلیمی مناطق خشک و نیمه خشک عملکرد مناسبی دارد.

۴- منبع بارش ERA-5 در بارش‌های با شدت بالا، متناسب با شرایط اقلیمی مناطق معتدل عملکرد بهتری دارد.

۵- منبع بارش ERA-5 در برآورد تعداد روزهای بارانی از عملکرد مناسبی برخوردار است.

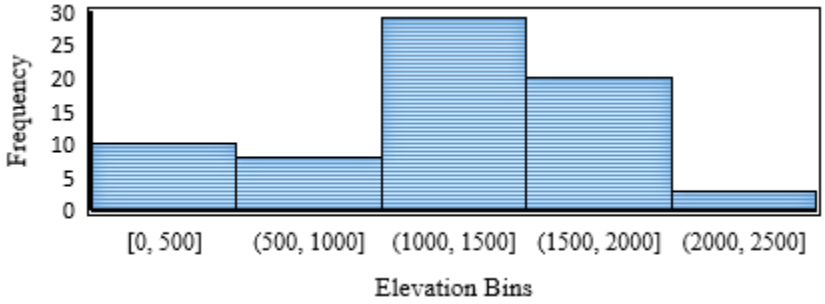
۶- با توجه به شیوه ارزیابی‌های مستقیم منابع بارش، ارزیابی در گام زمانی روزانه انجام خواهد پذیرفت.

[30] Visible/infrared (VIS/IR)

تجزیه و تحلیل داده های پژوهش

پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی

پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی برای نشان دادن فراوانی توزیع مکانی ایستگاه‌های بارانسنجی در ارتفاع‌های مختلف آورده شده است (شکل ۲). نتایج نشان داد که در ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تعداد ایستگاه‌های زمینی برای اندازه‌گیری بارش کم بوده و در این مناطق که با توجه به توپوگرافی استان اردبیل، سطح وسیعی از مناطق را پوشش می‌دهند، برای دستیابی به مقدار بارش ناگزیر به استفاده از منابع بارش جهانی می‌باشیم.

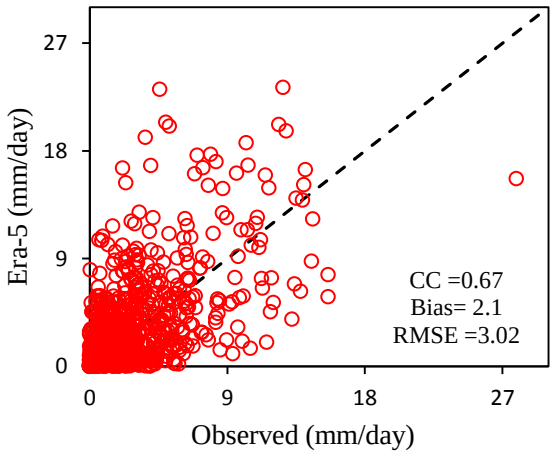


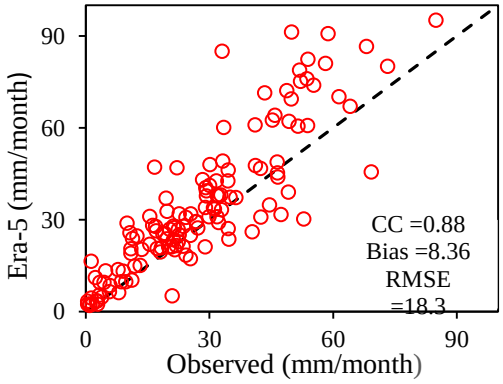
شکل (۲) نمودار هیستوگرام مربوط به توزیع مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی در سطح استان اردبیل

ارزیابی آماری منبع بارش Era5 در برآورد بارش

نمودار پراکنش اطلاعات

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان تطابق منبع بارش Era5 با بارش مشاهداتی منطقه مطالعاتی، نمودار پراکنش اطلاعات میانگین بارش سلول‌های مورد مطالعه در سطح استان در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه، به صورت مجزا در بازه آماری بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ ترسیم شده است. همچنین در ادامه شاخص‌های آماری CC، Bias و RMSE برای میانگین بارش‌ها محاسبه شده و نتایج آن در نمودار آورده شده است.





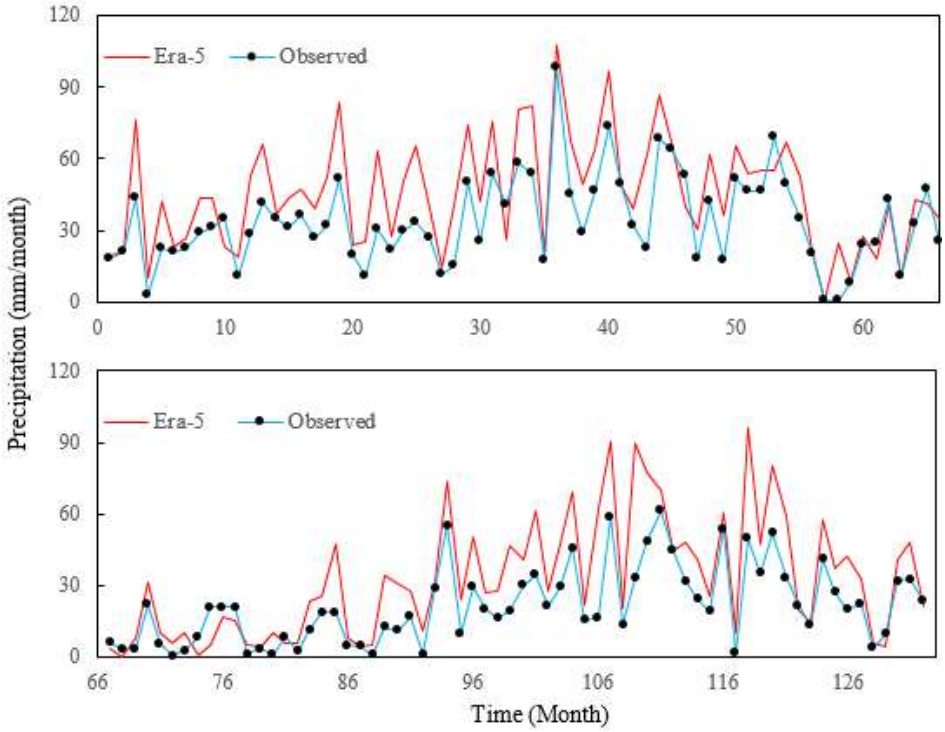
شکل (۳) عملکرد منبع بارشی Era5 در تخمین بارش میانگین روزانه و ماهانه کل ایستگاه‌های مطالعاتی در سطح استان اردبیل

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های آماری مربوط به این منبع بارش Era5، نشان‌دهنده عملکرد بسیار مناسب منبع بارش Era5 نسبت به داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است طبق محاسبات صورت گرفته مقدار شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه نشان‌دهنده همبستگی بسیار مناسب داده‌های بدست آمده از منبع بارش Era5 و داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین با توجه به مقادیر شاخص RMSE که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهداتی و منبع Era5 است، منبع بارش Era5 دارای عملکرد قابل قبولی بوده و خطای منبع بارشی در تخمین مقدار میانگین بارش برآوردی بسیار اندک است. از نظر شاخص Bias نیز که بیانگر بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مقدار بارش بوده و هرچقدر مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد عملکرد منبع بارش قابل قبول است، عملکرد مدل در هر دو مقیاس زمانی مورد بررسی مناسب ارزیابی شده و منبع بارش توانسته است به خوبی مقدار بارش میانگین حوضه در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه را در کل سلول‌های موجود در محدوده مطالعاتی برآورد نماید.

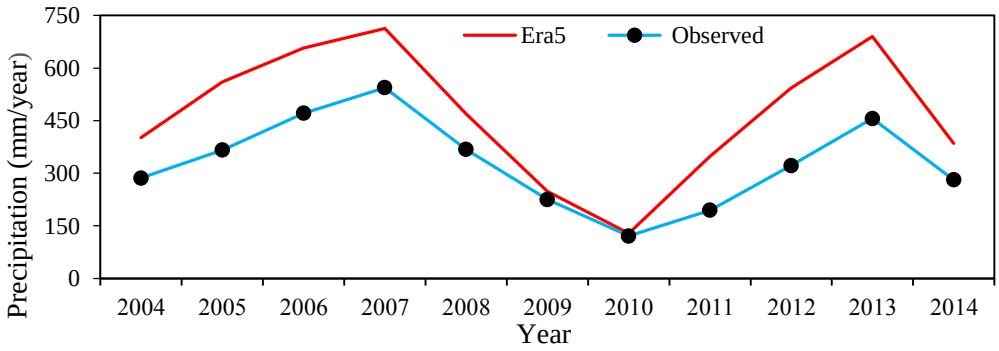
سری زمانی بارش

در شکل‌های (۴) و (۵) به‌ترتیب سری زمانی بارش میانگین ماهانه و سالانه سلول‌های موجود در محدوده مطالعاتی در مقابل سری زمانی بارش میانگین برآوردی منبع بارش Era5 در طول دوره آماری مورد بررسی ترسیم شده است.

در شکل (۴) به‌علت تعداد زیاد ماه‌ها، برای مشاهده بهتر سری زمانی ماه‌های مورد بررسی در دو نمودار به‌صورت پیوسته آورده شده است). با توجه به نتایج بدست آمده منبع بارش Era5 روند تغییرات بارش میانگین سلول‌های محدوده مطالعاتی را دو هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به‌خوبی برآورد نموده به‌طوری که در تعدادی زیادی از ماه‌های دوره آماری مورد بررسی، سری زمانی منبع Era5 منطبق بر سری زمانی بارش مشاهداتی بدست آمده از سلول‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین بررسی بیش‌تر سری زمانی بارش‌ها نشانگر این است که منبع بارش Era5 در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی، مقدار بارش را بیش‌تر از مقدار واقعی آن تخمین زده و نتایج مدل در بین سالهای ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ بسیار دقیق بوده و علاوه بر شناسایی روند تغییرات بارش توانسته است مقدار آن را نیز به درستی تخمین بزند.



شکل (۴) سری زمانی بارش میانگین ایستگاه‌های زمینی و منبع بارش Era5 در مقیاس زمانی ماهانه



شکل (۵) سری زمانی بارش میانگین ایستگاه‌های زمینی و منبع بارش Era5 در مقیاس زمانی سالانه

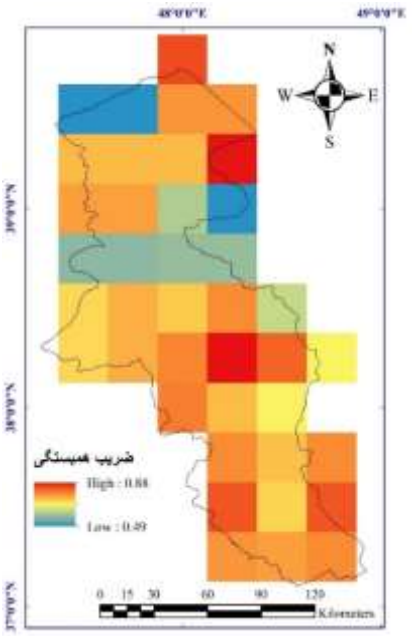
توزیع مکانی شاخص‌های آماری

دقت داده‌های منابع بارش شبکه‌بندی شده جهانی از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و امروزه با اطمینان در مورد صحیح بـودن اطلاعات منبع بارش خاص، نمی‌توان اظهارنظر کرد. بنابراین در چنین شرایطی بررسی و تحلیل مکانی داده‌های بدست آمده از منابع مختلف، یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص دقت هر کدام از این منابع می‌باشد. برای این منظور در شکل‌های (۶) تا (۹) توزیع مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برای ارزیابی کارائی منبع بارش Era5 در سطح کل سلول‌های محدوده مطالعاتی به صورت مجزا ارائه شده است.

مقیاس زمانی روزانه

شاخص ضریب همبستگی (CC)

این شاخص میزان هبستگی دو سری را نشان می‌دهد و مقادیر نزدیک به یک حاکی از بیشترین میزان همبستگی دو سری است. هر چه قدر میزان ضریب همبستگی به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان از عملکرد بهتر منبع بارشی می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد این منبع اطلاعاتی، محاسبات آماری (شاخص CC) در تمامی سلول‌های محاسباتی سطح منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی روزانه انجام گردید که نتایج مربوط در شکل (۶) نشان داده شده است.

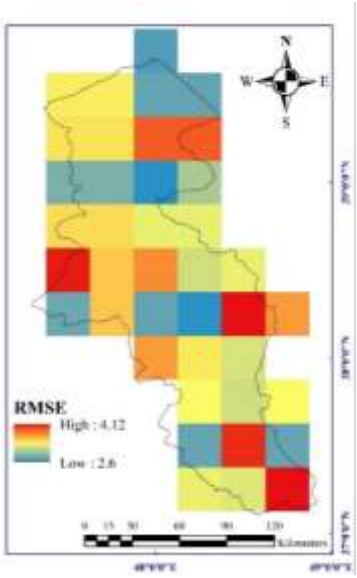


شکل (۶) تغییرات مکانی شاخص‌های CC منبع بارش Era5 دز سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس روزانه)

بررسی شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه برای کل سلول‌های محاسباتی در سطح استان اردبیل نشان داد که نتایج داده-های بدست آمده از Era5 از همبستگی بسیار مناسبی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد (شکل ۶) که منبع بارش Era5 در اکثر سلول‌های منطقه مطالعاتی از دقت بسیار مناسب و قابل قبولی برخوردار بوده به طوری که میزان ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و این منبع در اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۰/۶ تا ۰/۸۸ متغیر بود. بیش‌ترین میزان ضریب همبستگی در حرکت از سمت مرکز به سمت جنوب استان مشاهده می‌شود و به جز چند سلول واقع در قسمت شمالی استان در بقیه سلول‌های مطالعاتی مقدار ضریب همبستگی مناسب و قابل قبول بوده که اکثرا بالای ۰/۷ می‌باشند. یکی از دلایل همبستگی بالای منبع بارش Era5 و سلول‌های مشاهداتی در مناطق جنوبی را می‌توان تراکم بالای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در این مناطق عنوان نمود که روند تغییرات بارش قابل بررسی بوده در حالی که در مناطق مرکزی و شمال غرب استان به دلیل تراکم نامناسب ایستگاهای زمینی میزان بارش را به شکل درستی نمی‌توان بررسی نمود.

شاخص RMSE

شاخص آماری دیگری که در این بخش مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص RMSE می‌باشد. این شاخص در واقع میزان خطای برآوردی منبع بارش Era5 را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به توزیع پراکنش مکانی این شاخص در مقیاس زمانی روزانه در شکل (۷) آورده شده است.



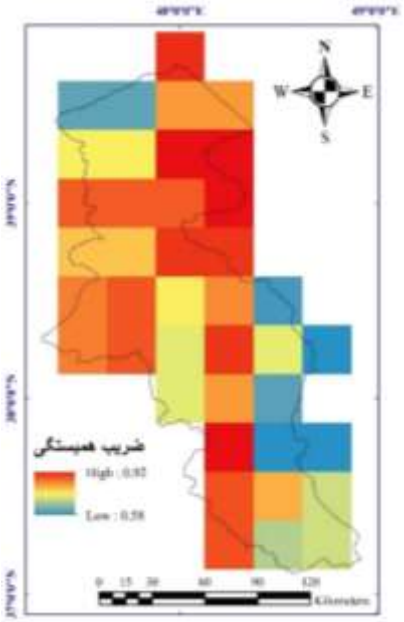
شکل (۷) تغییرات مکانی شاخص‌های RMSE منبع بارش Era5 دز سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس روزانه)

شاخص آماری دیگری که مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص RMSE می‌باشد. این شاخص در واقع میزان خطای برآوردی منبع بارش Era5 را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، می‌توان گفت که در مقیاس زمانی روزانه میزان خطای RMSE برای منبع بارش Era5 برای اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۳ تا ۴ میلی‌متر متغیر می‌باشد. بررسی نتایج مربوط به محدوده مطالعاتی در مقیاس زمانی روزانه نشان‌دهنده عملکرد مناسب و قابل قبول منبع بارش Era5 در اکثر سلول‌های مطالعاتی بوده و منبع بارش توانسته است بخوبی مقدار بارش سلول‌ها را تخمین بزند. همچنین بررسی تغییرات مکانی شاخص RMSE در محدوده استان بیانگر این است که در حرکت از سمت مرکز به سمت مناطق شمالی استان مقدار خطای منبع بارش Era5 کمتر شده و دقت منبع بارش افزایش می‌یابد، همچنین به جز تعدادی کمی از سلول‌های واقع در مرکز و جنوب استان در بقیه سلول‌های مورد بررسی مقدار شاخص RMSE زیر ۳میلی‌متر بوده و مدل از عملکرد بسیار قابل قبولی از نظر شاخص RMSE در مقیاس زمانی روزانه برخوردار است.

مقیاس زمانی ماهانه

شاخص ضریب همبستگی (CC)

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل، برای ارزیابی کارائی منبع بارش Era5 در مقیاس زمانی ماهانه نیز، محاسبات آماری (شاخص CC) در تمامی سلول‌های محاسباتی سطح منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی ماهانه انجام گردید که نتایج مربوط در شکل (۸) نشان داده شده است.



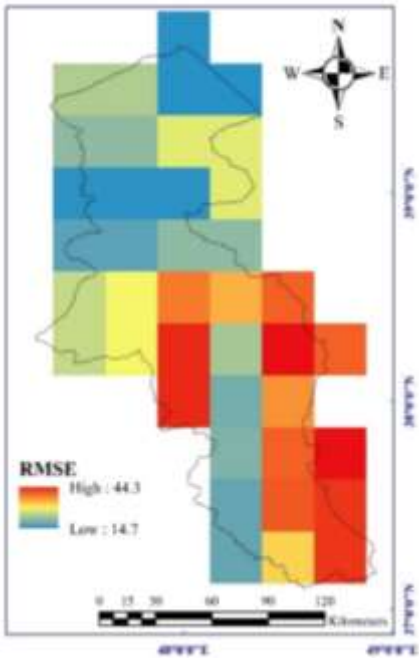
شکل (۸) تغییرات مکانی شاخص‌های CC منبع بارش Era5 دز سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس ماهانه)

در مقیاس زمانی ماهانه میزان شاخص ضریب همبستگی نسبت به مقیاس زمانی روزانه در اکثر سلول‌های مطالعاتی (به‌جزء چند ایستگاه واقع در قسمت جنوب شرقی استان) افزایش پیدا کرده و در اکثر سلول‌ها مقدار شاخص بالای ۰/۷۵ می‌باشد (شکل ۸). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و منبع بارش در مقیاس زمانی ماهانه بسیار بالا بوده و منبع بارش توانسته است به خوبی روند تغییرات بارش را در سلول‌های مطالعاتی برآورد نماید. به صورت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era5 توانسته روند تغییرات بارش را در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه به خوبی برآورد کرده و عملکرد مناسبی از خود نشان داده است.

شاخص RMSE

بررسی نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد که بیش‌ترین میزان این شاخص، مربوط به سلول‌های واقع در جنوب شرقی استان بوده که در محدوده ۳۰ تا ۴۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد و نشان‌دهنده خطای بیش‌تر منبع بارش در این سلول‌ها است (شکل ۹). بررسی نتایج بیان‌گر این است که در سایر مناطق استان میزان شاخص RMSE نسبت به سلول‌های جنوب شرقی کم‌تر بوده و در بیش‌تر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۱۴ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر بوده و عملکرد منبع بارش Era5 در این مناطق قابل قبول می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین استنباط نمود که این منبع بارش ارزشمند از کفایت بسیار مناسبی برای تخمین مقدار بارش برخوردار می‌باشد. همچنین همانطور که روند کلی تغییرات نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه، تقریبا مشابه مقیاس زمانی روزانه است، لذا یکی از دلایل افزایش خطای منبع بارش Era5 در مناطق جنوب شرقی در مقیاس ماهانه به دلیل وقوع بارش‌های فرین در سلول‌های واقع در این مناطق بوده و این خطا دلیلی بر ارتباط ضعیف بین بارش مشاهداتی و بارش پیش‌بینی شده توسط منبع بارش Era5 نیست. در واقع می‌توان چنین استنباط کرد که منبع بارش Era5 در مناطق دارای بارش‌های فرین، دارای کم‌برآوردی بوده و این امر باعث بروز خطای منبع بارشی در برآورد مقدار بارش سلول‌های مورد بررسی واقع در این منطقه و افزایش مقدار شاخص RMSE در این سلول‌ها شده است. با توجه به نتایج توزیع مکانی شاخص‌های CC و RMSE منبع بارش Era5 از عملکرد مناسبی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برخوردار بوده و در اکثر سلول‌های مورد بررسی در سطح استان اردبیل از کارایی مناسبی برخودار است. در نهایت با اعمال روش‌های تصحیح اریبی می‌توان خطای ناشی از برآورد بارش در تعدادی از سلول‌های مورد بررسی را

کاهش داده و این منبع بارش را به عنوان جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی استفاده نمود.



شکل (۹) تغییرات مکانی شاخص‌های RMSE منبع بارش Era5 دز سطح محدوده استان اردبیل (مقیاس روزانه)

شاخص آماری دیگری که مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص RMSE می‌باشد. این شاخص در واقع میزان خطای برآوردی منبع بارش Era5 را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که در مقیاس زمانی روزانه میزان خطای RMSE برای منبع بارش Era5 برای اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۳ تا ۴ میلی‌متر متغیر می‌باشد. بررسی نتایج مربوط به محدوده مطالعاتی در مقیاس زمانی روزانه نشان‌دهنده عملکرد مناسب و قابل قبول منبع بارش Era5 در اکثر سلول‌های مطالعاتی بوده و منبع بارش توانسته است بخوبی مقدار بارش سلول‌ها را تخمین بزند. همچنین بررسی تغییرات مکانی شاخص RMSE در محدوده استان بیانگر این است که در حرکت از سمت مرکز به سمت مناطق شمالی استان مقدار خطای منبع بارش Era5 کمتر شده و دقت منبع بارش افزایش می‌یابد، همچنین به جز تعدادی کمی از سلول‌های واقع در مرکز و جنوب استان در بقیه سلول‌های مورد بررسی مقدار شاخص RMSE زیر ۳میلی‌متر بوده و مدل از عملکرد بسیار قابل قبولی از نظر شاخص RMSE در مقیاس زمانی روزانه برخوردار است.

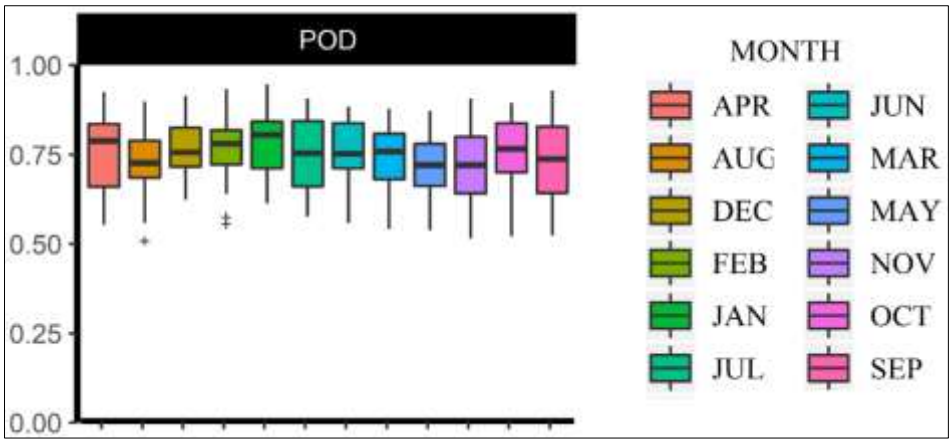
اعتبارسنجی منبع بارش Era5 بر اساس شاخص‌های جدول توافقی

بسیاری از پدیده‌های آب‌وهوایی را می‌توان در حکم پیشامدهای دودویی ساده در نظر گرفت و هشدار در مورد این پیشامدها اغلب به صورت گزارش‌هایی کامل که این پدیده‌ها رخ می‌دهند یا نمی‌دهند صادر می‌شود. این نوع از پیش‌بینی‌ها گاهی اوقات با عنوان پیش‌بینی‌های بله/خیر شناخته می‌شوند (Taghavi و همکاران، ۲۰۱۲). پیشامدهای دودویی برای محاسبه شاخص-های آماری جدول توافقی بارش کاربرد دارد.

در این پژوهش از میانگین ماهانه شاخص‌های POFD، POD، FAR و CSI برای کل سلول‌های منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ جهت اعتبارسنجی داده‌های روزانه بارش، منبع بارش Era5 استفاده شده است، که در ادامه به بررسی یک به یک این شاخص‌ها، بر اساس نمودارهای رسم شده برای منبع بارش مورد استفاده در پژوهش پرداخته می‌شود.

شاخص POD

بر اساس رابطه ارائه شده جهت تعیین شاخص POD برای ارزیابی داده‌های بارش روزانه منبع بارش Era5 در سطح استان اردبیل، اقدام به محاسبه این شاخص گردید .

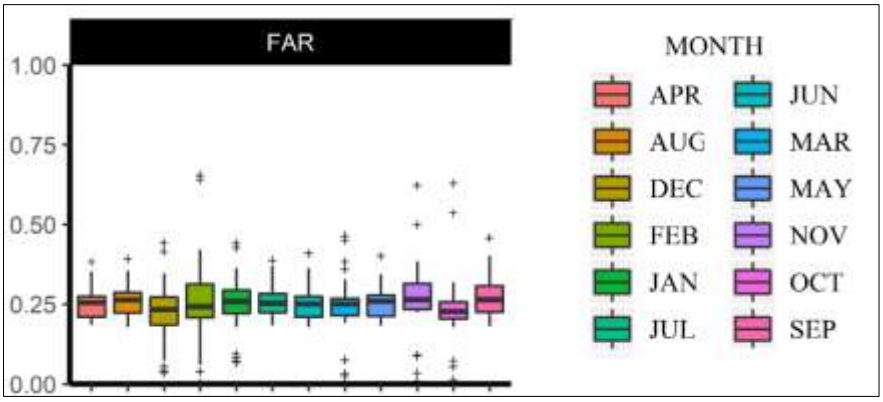


شکل (۱۰) نمودار جعبه‌ای شاخص POD جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

میزان این شاخص که احتمال تشخیص درست وقوع بارندگی را نشان می‌دهد، مقدار عددی بین صفر و یک دارد و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارشی در تشخیص وقوع بارندگی بهتر است. همانطور که در شکل شماره (۱۰) قابل مشاهده است، میزان شاخص POD، در اکثر ماه‌های سال در محدوده ۰/۷ تا ۰/۸۵ متغیر بوده که نشان از عملکرد مناسب منبع بارش Era5 در این ماه‌ها است. با توجه به پراکنش شاخص POD در ماه‌های آوریل، جولای و نوامبر، علارغم پایین بودن مقدار شاخص POD نسبت به سایر ماه‌ها، در این ماه‌ها نیز عملکردهای مناسب ثبت شده است (بیش‌تر از ۰/۷۵) ولی وجود خطا در بعضی از سلول‌ها باعث پایین آمدن میانگین عمکرد منبع بارش Era5 در این ماه‌ها شده است.

شاخص False Alarm Ratio (FAR)

بر اساس رابطه ارائه شده جهت تعیین شاخص FAR برای ارزیابی داده‌های بارش روزانه منبع بارش Era5 در سطح منطقه مطالعاتی، اقدام به محاسبه این شاخص گردید که نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



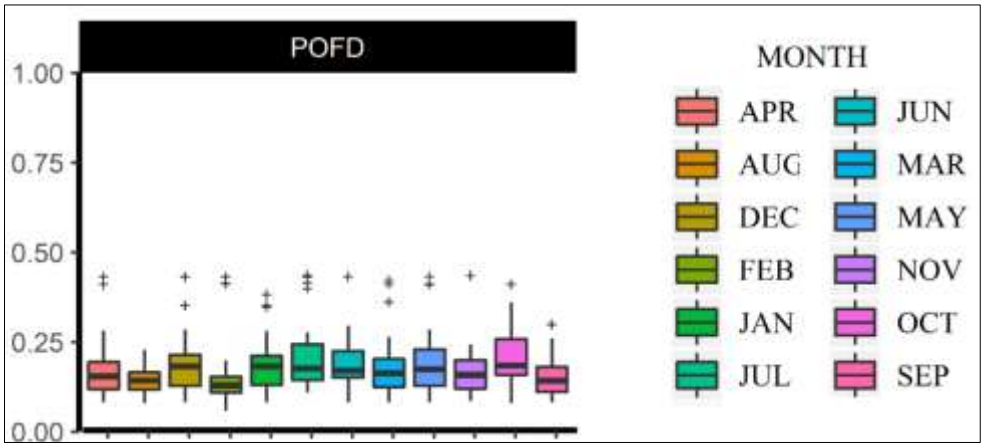
شکل (۱۱) نمودار جعبه‌ای شاخص FAR جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

شاخص FAR بیانگر حالت‌هایی است که در آن داده بدست آمده از منبع بارشی وقوع بارش را نشان داده اما در داده‌های مشاهداتی بارشی ثبت نشده است. میزان این شاخص همواره دارای مقدار عددی بین صفر و یک می‌باشد و دارای جهت‌گیری منفی می‌باشد. بدین صورت که مقادیر کوچکتر آن، برآورد بهتری را نشان می‌دهد. بنابراین هرچه میزان این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، یعنی منبع بارشی عملکرد بهتری در عدم ثبت گزارش‌های اشتباه خواهد داشت. بر اساس نمودار جعبه‌ای مقادیر بدست آمده از رابطه FAR برای منبع بارش Era5 که در شکل (۱۲) قابل مشاهده است، در همه ماه‌های سال (به‌جزء

ماه نوامبر و سپتامبر) عملکرد مدل بسیار مناسب و قابل قبول بوده است. منبع بارش تعداد روزهای بسیار کمی را با خطا برآورد کرده و نتایج حاکی از دقت بالای منبع بارش Era5 در تخمین روزهای بارشی می‌باشد. ثبت گزارش‌های اشتباه فراوان از وقوع بارندگی در ماه‌های نوامبر و سپتامبر می‌تواند به این دلیل باشد که منبع بارشی Era5 در مواقعی توانسته است بارش را به درستی تشخیص دهد، ولی به دلیل حجم کم بارش و تلفات در طی مسیر، بارش در سطح زمین مشاهده و ثبت نگردد که می‌تواند دلیلی بر ثبت گزارش اشتباه از سوی منبع بارشی باشد.

شاخص POFD

بر اساس رابطه ارائه شده جهت تعیین شاخص POFD برای ارزیابی داده‌های بارش روزانه منبع بارش Era5 در سطح منطقه مطالعاتی، اقدام به محاسبه این شاخص گردید که نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

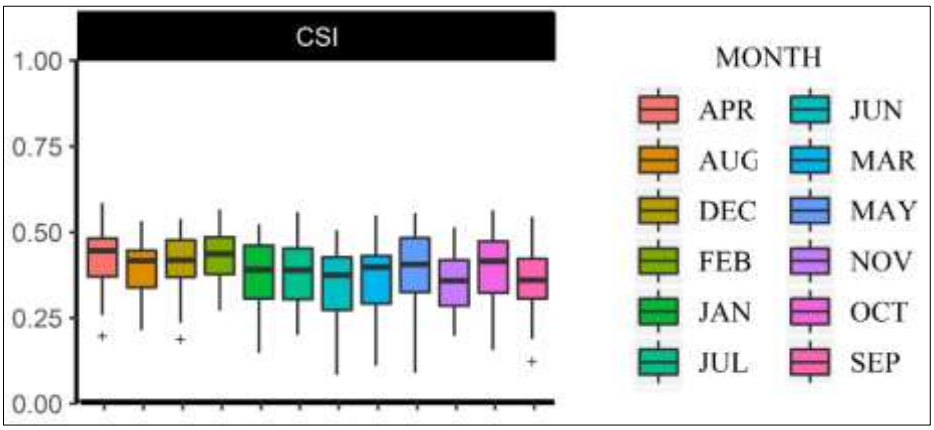


شکل (۱۲) نمودار جعبه‌ای شاخص POFD جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

بررسی مقادیر شاخص POFD که بیانگر خطای منبع بارش در تشخیص نادرست وقوع بارش می‌باشد، (بعبارت دیگر بارشی اتفاق نیفتاده باشد و منبع Era5 بارش ثبت کند) نشان دهنده این است که در همه ماه‌های سال عملکرد منبع بارش Era5 قابل قبول و بسیار مناسب بوده و مقدار شاخص POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲۵ متغیر می‌باشد که نشان از خطای بسیار پایین منبع بارش Era5 در تشخیص صحیح وقوع بارش است.

شاخص CSI

بر اساس رابطه ارائه شده جهت تعیین شاخص CSI برای ارزیابی داده‌های بارش روزانه منبع بارش Era5 در سطح منطقه مطالعاتی، اقدام به محاسبه این شاخص گردید که نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۳) نمودار جعبه‌ای شاخص POFD جدول توافقی طی دوره آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴

میزان این شاخص که بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط منبع بارشی به درستی تشخیص داده شده است، مقدار عددی بین صفر و یک دارد و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارشی در تشخیص وقوع بارندگی بهتر

است. با توجه به نتایج بدست آمده که در شکل (۱۴) قابل مشاهده است، پراکنش شاخص CSI در ماه‌های تر نسبت به ماه-های خشک سال قابل قبول و مناسب‌تر بوده است ولی در ماه‌های خشک عملکرد منبع بارش از نظر این شاخص ضعیف بوده و به جزء ماه آوریل در سایر ماه‌ها از ۰/۴ نیز مقادیر شاخص CSI کم‌تر است.

نتایج کلی پژوهش

نمودار پراکنش اطلاعات

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های آماری مربوط به این منبع بارش Era5، نشان‌دهنده عملکرد بسیار مناسب منبع بارش Era5 نسبت به داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است. طبق محاسبات صورت گرفته مقدار شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه نشان‌دهنده همبستگی بسیار مناسب داده‌های بدست آمده از منبع بارش Era5 و داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین با توجه به مقادیر شاخص RMSE که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهداتی و منبع Era5 است، منبع بارش Era5 دارای عملکرد قابل قبولی بوده و خطای منبع بارشی در تخمین مقدار میانگین بارش برآوردی بسیار اندک است. از نظر شاخص Bias نیز که بیانگر بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مقدار بارش بوده و هرچقدر مقدار آن به صفر نردیک‌تر باشد عملکرد منبع بارش قابل قبول است، عملکرد مدل در هر دو مقیاس زمانی مورد بررسی مناسب ارزیابی شده و منبع بارش توانسته است به خوبی مقدار بارش میانگین حوضه در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه را در کل سلول-های موجود در محدوده مطالعاتی برآورد نماید.

سری زمانی بارش

با توجه به نتایج بدست آمده منبع بارش Era5 روند تغییرات بارش میانگین سلول‌های محدوده مطالعاتی را دو هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به‌خوبی برآورد نموده به‌طوری که در تعدادی زیادی از ماه‌های دوره آماری مورد بررسی، سری زمانی منبع Era5 منطبق بر سری زمانی بارش مشاهداتی بدست آمده از سلول‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین بررسی بیش‌تر سری زمانی بارش‌ها نشانگر این است که منبع بارش Era5 در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در ابتدا و انتهای دوره آماری مورد بررسی، مقدار بارش را بیش‌تر از مقدار واقعی آن تخمین زده است.

توزیع مکانی شاخص‌های آماری

بررسی شاخص CC در مقیاس زمانی روزانه برای کل سلول‌های محاسباتی در سطح استان اردبیل نشان داد که نتایج داده-های بدست آمده از Era5 از همبستگی بسیار مناسبی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که منبع بارش Era5 در اکثر سلول‌های منطقه مطالعاتی از دقت بسیار مناسب و قابل قبولی برخوردار بوده به طوری که میزان ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و این منبع در اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۰/۶ تا ۰/۸۸ متغیر بود. بیش-ترین میزان ضریب همبستگی در حرکت از سمت مرکز به سمت جنوب استان مشاهده می‌شود و به جز چند سلول واقع در قسمت شمالی استان در بقیه سلول‌های مطالعاتی مقدار ضریب همبستگی مناسب و قابل قبول بوده که اکثرا بالای ۰/۷ می-باشند. یکی از دلایل همبستگی بالای منبع بارش Era5 و سلول‌های مشاهداتی در مناطق جنوبی را می‌توان تراکم بالای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در این مناطق عنوان نمود که روند تغییرات بارش قابل بررسی بوده در حالی که در مناطق مرکزی و شمال غرب استان به دلیل تراکم نامناسب ایستگاهای زمینی میزان بارش را به شکل درستی نمی‌توان بررسی نمود.
شاخص آماری دیگری که مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص RMSE می‌باشد. این شاخص در واقع میزان خطای برآوردی منبع بارش Era5 را نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که در مقیاس زمانی روزانه میزان خطای RMSE برای منبع بارش Era5 برای اکثر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۳ تا ۴ میلی‌متر متغیر می‌باشد. بررسی نتایج مربوط به محدوده مطالعاتی در مقیاس زمانی روزانه نشان‌دهنده عملکرد مناسب و قابل قبول منبع بارش Era5 در اکثر

سلول‌های مطالعاتی بوده و منبع بارش توانسته است بخوبی مقدار بارش سلول‌ها را تخمین بزند.
در مقیاس زمانی ماهانه میزان شاخص ضریب همبستگی نسبت به مقیاس زمانی روزانه در اکثر سلول‌های مطالعاتی (به‌جزء چند ایستگاه واقع در قسمت جنوب شرقی استان) افزایش پیدا کرده و در اکثر سلول‌ها مقدار شاخص بالای ۰/۷۵ می‌باشد (شکل ۷). می‌توان گفت که میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و منبع بارش در مقیاس زمانی ماهانه بسیار بالا بوده و منبع بارش توانسته است به خوبی روند تغییرات بارش را در سلول‌های مطالعاتی برآورد نماید. به صورت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era5 توانسته روند تغییرات بارش را در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه به خوبی برآورد کرده و عملکرد مناسبی از خود نشان داده است.
نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان این شاخص، مربوط به سلول‌های واقع در جنوب شرقی استان بوده که در محدوده ۳۰ تا ۴۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد و نشان‌دهنده خطای بیش‌تر منبع بارش در این سلول‌ها است. بررسی نتایج بیان‌گر این است که در سایر مناطق استان میزان شاخص RMSE نسبت به سلول‌های جنوب شرقی کم‌تر بوده و در بیش‌تر سلول‌های مورد بررسی در محدوده ۱۴ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر بوده و عملکرد منبع بارش Era5 قابل قبول می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین استنباط نمود که این منبع بارش ارزشمند از کفایت بسیار مناسبی برای تخمین مقدار بارش برخوردار می‌باشد. همچنین همانطور که روند کلی تغییرات نتایج شاخص RMSE در مقیاس زمانی ماهانه، تقریبا مشابه مقیاس زمانی روزانه است، لذا یکی از دلایل افزایش خطای منبع بارش Era5 در مناطق جنوب شرقی در مقیاس ماهانه به دلیل وقوع بارش‌های فرین در سلول‌های واقع در این مناطق بوده و این خطا دلیلی بر ارتباط ضعیف بین بارش مشاهداتی و بارش پیش‌بینی شده توسط منبع بارش Era5 نیست. در واقع می‌توان چنین استنباط کرد که منبع بارش Era5 در مناطق دارای بارش‌های فرین، دارای کم‌برآوردی بوده و این امر باعث بروز خطای منبع بارشی در برآورد مقدار بارش سلول‌های مورد بررسی واقع در این منطقه و افزایش مقدار شاخص RMSE در این سلول‌ها شده است.
با توجه به نتایج شاخص CC و RMSE منبع بارش Era5 از عملکرد مناسبی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برخوردار بوده و در اکثر سلول‌های مورد بررسی در سطح استان اردبیل از کارایی مناسبی برخودار است. در نهایت با اعمال روش‌های تصحیح اریبی می‌توان خطای ناشی از برآورد بارش در تعدادی از سلول‌های مورد بررسی را کاهش داده و این منبع بارش را به عنوان جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی استفاده نمود.

شاخص‌های جدول توافقی

با توجه به نتایج بدست آمده میزان شاخص POD، که احتمال تشخیص درست وقوع بارندگی را نشان می‌دهد، در اکثر ماه-های سال در محدوده ۰/۷ تا ۰/۸۵ متغیر بوده که نشان از عملکرد مناسب منبع بارش Era5 در این ماه‌ها است. با توجه به پراکنش شاخص POD در ماه‌های آوریل، جولای و نوامبر در این ماه‌ها نیز عملکردهای مناسب ثبت شده است (بیش‌تر از ۰/۷۵) ولی وجود خطا در بعضی از سلول‌ها باعث پایین آمدن میانگین عمکرد منبع بارش Era5 در این ماه‌ها شده است. بررسی مقادیر شاخص POFD نیز که بیانگر خطای منبع بارش در تشخیص نادرست وقوع بارش می‌باشد، (بارشی اتفاق نیفتاده باشد و منبع Era5 بارش ثبت کند) نشان دهنده این است که در همه ماه‌های سال عملکرد منبع بارش Era5 قابل قبول و بسیار مناسب بوده و مقدار شاخص POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲۵ متغیر می‌باشد که نشان از خطای بسیار پایین منبع بارش Era5 در تشخیص صحیح وقوع بارش است. شاخص FAR بیانگر حالت‌هایی است که در آن داده بدست آمده از منبع بارشی وقوع بارش را نشان داده اما در داده‌های مشاهداتی بارشی ثبت نشده است. میزان این شاخص همواره دارای مقدار عددی بین صفر و یک می‌باشد و دارای جهت‌گیری منفی می‌باشد. بدین صورت که مقادیر کوچکتر آن، برآورد بهتری را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار جعبه‌ای مقادیر بدست آمده از رابطه FAR برای منبع بارش Era5، در همه ماه‌های سال (به‌جزء نوامبر و سپتامبر) عملکرد مدل بسیار مناسب و قابل قبول بوده است. منبع بارش تعداد روزهای بسیار کمی را با خطا برآورد کرده و نتایج حاکی از دقت بالای منبع بارش Era5 در تخمین روزهای بارشی می‌باشد. ثبت گزارش‌های اشتباه فراوان از وقوع بارندگی در ماه‌های نوامبر و سپتامبر می‌تواند به این دلیل باشد که منبع بارشی Era5 در مواقعی توانسته است بارش را

به درستی تشخیص دهد، ولی به دلیل حجم کم بارش و تلفات در طی مسیر، بارش در سطح زمین مشاهده و ثبت نگردد که می‌تواند دلیلی بر ثبت گزارش اشتباه از سوی منبع بارشی باشد. با توجه به نتایج بدست آمده پراکنش شاخص CSI در ماه-های تر نسبت به ماه‌ها خشک قابل قبول و مناسب‌تر بوده است ولی در ماه‌های خشک عملکرد منبع بارش از نظر این شاخص ضعیف بوده و به جزء ماه آوریل در سایر ماه‌ها از ۰/۴ نیز مقادیر شاخص CSI کم‌تر است.

نتیجه‌گیری

روشی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت ارزیابی بارش سلول‌های مشاهداتی با سلول‌های متناظر Era5 بود. در تمامی مطالعات منابع آبی استفاده از یک منبع بارش مناسب الزامی بوده به همین منظور در هر مطالعه‌ای ابتدا بایستی منبع بارش بهینه انتخاب شده و مطالعات بعد از آن انجام پذیرد.

در این پژوهش ارزیابی‌ها به دو صورت و با استفاده از شاخص‌های ضریب همبستگی، RMSE و شاخص‌های جدول توافقی در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه انجام پذیرفت. نتایج بیان‌گر این بود که محصول بارشی Era5 همخوانی قابل توجهی با داده‌های مشاهداتی داشته به این صورت که میزان شاخص RMSE و ضریب همبستگی برای این محصول بارش در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برای اکثر سلول‌های منطقه مورد مطالعه قابل قبول و در اکثر سلول‌ها نتایج بسیار مناسبی ارائه داده است. همچنین شاخص‌های جدول توافقی نیز بیان‌گر این بود که محصول بارش Era5 در مقیاس روزانه در برآورد روزهای بارانی و همچنین روزهای بدون باران از عملکرد و دقت مناسبی برخودار می‌باشد. به عنوان مثال برای این محصول بارشی دو شاخص POFD و POD به ترتیب زیر ۰/۲ و بالای ۰/۷ در اکثر سلول‌ها ثبت شده بود. پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی محصولات مختلف بارش در سطح ایران و بین‌المللی انجام پذیرفته است، با این حال به دلیل ارائه محصول بارشی Era5 در ماه‌های اخیر نمی‌توان به پژوهش‌هایی اشاره کرد که از این محصول استفاده کرده‌اند. با این وجود نسخه قبلی این منبع بارش یعنی Era-Interim در پژوهش‌های مختلف در سطح کشور مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفته است. به عنوان مثال پژوهشی که در سطح حوضه کارون انجام پذیرفته بود حاکی از برتری منبع بارش ERA-interim نسبت به منابع بارش دیگر داشت (رحمتی و مساح بوانی، ۱۳۹۸). همچنین در پژوهش دیگری که در سطح حوضه سفیدرود انجام پذیرفت، منبع بارش ERA-interim نسبت به منابع بارش TRMM، PERSIANN-CDR و PERSIANN از عملکرد بهتری در سطح حوضه برخوردار بود (عزیزیان و رمضانی، ۱۳۹۸؛ شایقی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین در پژوهشی که در بالادست سد مارون انجام گرفت، داده‌های منابع ERA-interim، CHIRPS و PERSIANN-CDR را با داده‌های چند ایستگاه مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج این پژوهش نیز حاکی از برتری منبع بارش ERA-interim داشت (گرجی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

پژوهش‌های انجام پذیرفته در سطح کشور که به ارزیابی منابع بارش در مقیاس سلولی و ایستگاهی پرداخته‌اند حاکی از این است که پیش‌بینی‌های بارش که توسط مرکز ECMWF انجام پذیرفته است نسبت به دیگر منابع بارش از عملکرد بهتری در سطح کشور برخودار است که این تاییدی بر نتایج حاکی از این پژوهش که بیانگر عملکرد مناسب و دقیق منبع بارش Era5 است، می‌باشد. به همین منظور در منطقه مورد مطالعه که استان اردبیل می‌باشد منبع بارش Era5 را می‌توان با تصحیح اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های موجود به منظور مطالعات منابع آبی همچون مدلسازی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در مناطق مختلف استان اردبیل به کار گرفت.

پیشنهادات

- کوچکتر کردن تفکیک مکانی سلول: یکی از گزینه‌های پیشنهادی کوچکتر کردن تفکیک مکانی سلول (کوچکتر از تفکیک مکانی مورد استفاده در پژوهش) و بررسی تاثیر آن در بهبود و یا عدم بهبود منبع بارش Era5 است.
- استفاده از سایر اشکال بجز مربع در شبکه بندی منطقه مورد مطالعه و بررسی تاثیرات آن.
- استفاده از سایر منابع اطلاعاتی بارش و مقایسه نتایج حاصل از آنها با نتایج منبع بارش استفاده شده در این پژوهش.
- استفاده از روش‌های دیگر درونیابی برای شبکه‌بندی داده‌های مشاهداتی زمینی بارش و مقایسه نتایج آن با روش

استفاده شده در این پژوهش.

- ارزیابی منبع بارش Era5 در سایر مناطق مطالعاتی مشابه با منطقه مطالعاتی مورد استفاده در این پژوهش و مقایسه نتایج با یکدیگر.

بررسی منبع بارش Era5 در اقلیم‌های مختلف استان اردبیل

منابع و ماخذ

۱- حسینی موغاری، س. م.، عراقی-نژاد، ش. و ابراهیمی، ک. (۱۳۹۶). بررسی دقت اطلاعات بارش شبکه‌بندی شده جهانی در حوضه دریاچه ارومیه، مجموعه مقالات دوره ۴۸، شماره ۳، تحقیقات آب و خاک ایران، ص ۵۸۷-۵۹۸.

۲- غضنفری، م. و همکاران. (۱۳۹۰). مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درونیابی به منظور کاربرد تخمین در مقادیر بارندگی روزانه، نشریه آب و خاک

۳- زینالزاده، م. (۱۳۹۱). ارزیابی قابلیت‌های تولیدات ماهواره‌ای بارش در حوضه دریاچه ارومیه با رویکرد مدلسازی‌های حوضه، مطالعه موردی تولیدات PERSAINN، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین.

۴- بارانی‌زاده، ا. و همکاران. (۱۳۹۰). صحت‌سنجی برآوردهای بارندگی الگوریتم ماهواره‌ای PERSIANN با داده‌های بارش زمینی شبکه‌بندی شده (APHRODITE) در ایران، کنفرانس فیزیک ایران.

۵- عزیزی و همکارن. (۱۳۸۳). مروری بر مقدمات سنجش از دور.

۶- میرمحمدصادقی، م. (۱۳۹۱). پردازش تصاویر ماهواره‌ای در GIS. انتشارات پیام علوی.

۷- صفوی، ح. ر. (۱۳۸۳). هیدرولوژی مهندسی، چاپ سوم، انتشارات ارکان دانش.

۸- طرح جامع آب کشور (وزارت نیرو). منابع آب سطحی و منابع آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز دریای خزر، مرداب انزلی و تالش. ۱۳۷۰، ۲ جلد.

۹- عزیزیان، الف.، شکوهی، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس VIC-3L برای شبیه‌سازی دبی رودخانه و تحلیل حساسیت آن در مقیاس‌های زمانی مختلف (مطالعه موردی: حوضه آبریز چالوس)، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۷، شماره ۲، ۳۹-۵۲.

۱۰- معظمی، ص. (۱۳۹۲). تحلیل عدم قطعیت الگوریتم‌های ماهواره‌ای در تخمین بارش، رساله دوره دکترا، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۱- رحمتی، الف.، مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۸. ارزیابی پایگاه داده‌های جهانی بارش برای استفاده در مدل‌های فیزیکی، مطالعه موردی :حوزه آبریز کارون. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۱): ۱۹۲-۱۷۸.

۱۲- گرجی‌زاده، ع.، آخوندعلی، ع.، شهبازی، ع.، مریدی، ع. ۱۳۹۸. مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های-ERA Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS در بالادست سد مارون. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۱): ۲۷۹-۲۶۷.

۱۳- عزیزیان، الف.، رمضانی اعتدالی، ه. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim در تخمین بارش روزانه و ماهانه. تحقیقات آب و خاک ایران ، ۵۰ (۴): ۷۹۱-۷۷۹.

۱۴- عزیزیان، الف.، شایقی، الف. و بروکا، ل. ۱۳۹۸. ارزیابی کارائی منابع بارشی بازتحلیل شده و مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور جهت مدلسازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل بزرگ مقیاس VIC-3L. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۲): ۷۲-۵۷.

۱۵- طاوسی، ت.، دل‌آرا، ق. ۱۳۸۹. پهنه بندی آب و هوایی استان اردبیل. مجله علمی و فنی نیوار، ۳۴ (۷۰-۷۱): ۴۷-۵۲.

16- Shayeghi, A., Azizian, A., & Brocca, L. (2020). Reliability of reanalysis and remotely sensed precipitation products for hydrological simulation over the Sefidrood River Basin, Iran. Hydrological Sciences Journal, 65(2), 296-310.

17- Abdulla F.A., Lettenmaier D.P. (1997b). Application of Regional Parameter Estimation Schemes to Simulate the Water Balance of a Large Continental River. Journal of Hydrology. 197: 258-285.

18- Anderson J., Dybkjaer G., Jensen K.H., Refsgaard J.C., and Rasmussen K. (2002). Use of Remotely Sensed Precipitation and Leaf Area Index in a Distributed Hydrological Model. Journal of Hydrology. 265: 34-50.

19- Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., and

Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 96(1): 69-83.

20- Ashouri, H., P. Nguyen, A. Thorstensen, K.-l. Hsu, S. Sorooshian and D. Braithwaite. (2016). Assessing the Efficacy of High-Resolution Satellite-Based PERSIANN-CDR Precipitation Product in Simulating Streamflow. Journal of Hydrometeorology. 17(7): 2061-2076.
21- Bitew, M., and M. Gebremichael. (2011). Assessment of satellite rainfall products for streamflow simulation in medium watersheds of the Ethiopian highlands. Hydrology and Earth System Sciences. 15(4): 1147-1155.
22- Broccoli Ai., Manabe S. (1992). The Effects of Orography on Midlatitude Northern Hemisphere Dry Climates. Journal of Climate. 5: 1181-1201.
23- Brooks R.H. Corey A.T. (1964). Hydraulic Properties of Porous Media. Hydrol.Pap.3, Colo. State Univ., Ft. Collins.
24- Chen, M., P. Xie, and Co-authors. (2008). CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipiation, Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August, 2008.
25- Chen, M., W. Shi, P. Xie, V. B. S. Silva, V E. Kousky, R. Wayne Higgins, and J. E. Janowiak. (2008). Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation, J. Geophys. Res., 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
26- Daly Ch., Halbleib M., Smith J.I., Gibson W.P., Doggett M.K. Taylot G.H., Curtis J., and Pasteris P.P. (2008). Physiographically Sensitive Mapping of Climatological Temperature and Precipitation across the Conterminous United States. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002. 1-34.
27- De Leeuw, J., J. Methven., and M. Blackburn. (2015). Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 141(688): 798-806.
28- Dee, D., S. Uppala, A. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. Balmaseda, G. Balsamo., and P. Bauer. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. QJ Roy. Meteor. Soc. 137, 553–597.
29- Dembele, M., and S. J. Zwart. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. International Journal of Remote Sensing. 37(17): 3995-4014.
30- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, C., and Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. Science of The Total Environment. 573: 1536-1553.
31- Dumenil, L., Todini, EA. (1992). rainfall-runoff scheme for use
32- Ebert, E. E., Janowiak, J. E., and Kidd, C. (2007). Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. Bulletin of the American Meteorological Society, 88(1): 47.
33- Ghajarnia, N., Liaghat, A., and Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia BasinIran. Atmospheric Research.158: 50-65.
34- Guo J., Liang X., and Leung L.R. (2004). Impacts of Different Precipitation Data Sources on Water Budgets. Journal of Hydrology. 298: 311-334.
35- Guo, J., Liang, X., and Ruby Leung, L. (2004). Impacts of different precipitation data sources on water budgets. Journal of Hydrology. 298(22): 311-334.
36- Hsu, K.L., Gao, X., Sorooshian, S.and Gupta, H.V. (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. Journal of Applied Meteorology. – 1997, Vol. 36. - pp. 1176-1190.
37- Javanmard, S., A. Yatagai, M. Nodzu, J. BodaghJamali., and H. Kawamoto. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. Advances in Geosciences. 25: 119-125.
38- Katiraie-Boroujerdy, P.-S., N. Nasrollahi, K.-l. Hsu., and S. Sorooshian (2013). Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. Journal of arid environments. 97: 205-219.

39- Li Z., Yang D., and Hong Y. (2013). Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. J. Hydrol. 500, 157-169.
40- Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R., and Hong, Y. (2013). Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. International journal of remote sensing, 34(22): 8156-8171.
41- Moazami, S., S. Golian, Y. Hong, C. Sheng., and M. R. Kavianpour. (2016). Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. Hydrological Sciences Journal. 61(2): 420-440.
42- Sharifi, E., R. Steinacker., and B. Saghafian (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. Remote Sensing. 8(2): 135.
43- Su F., Hong Y., and Lettenmaier D.P. (2007). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin. Journal of Hydrometeorology. 9:622- 640.
44- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, ZH., Cracknell, A. P. and Chaplot, V. (2015). Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. Remote Sens. 7, 1504-1528.
45- Xie, P., A. Yatagai, M. Chen, T. Hayasaka, Y. Fukushima, C. Liu, and Yang, S. (2007). A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia, J. Hydrometeorol., 8, 607. 626.
46- Zhao, T., and A. Yatagai. (2014). Evaluation of TRMM 3B42 product using a new gauge-based analysis of daily precipitation over China. International Journal of Climatology. 34(8): 2749-2762.
47- http://chrs.web.uci.edu/
48- Tong, K., Su, F., Yang, D., Hao, Z. (2014). Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. Journal of Hydrology. 519, 432-437.
49- Krogh, S. A., J. W. Pomeroy., and J. McPhee. (2015). Physically Based Mountain Hydrological Modeling Using Reanalysis Data in Patagonia. Journal of Hydrometeorology 16(1): 172-193.
50- Sorooshian, S. and Sharma K.D., (2008), Hydrological Modeling in Arid and Semi-Arid Areas, Chapter 2.
51- Taghavi, F. Neiestani, A. and Sarmad, gh. (2012). WRF numerical model forecasts to assess short-term rainfall during a month in Iran. Journal of Earth and Space Physics, 39(2): 145-170.