

بررسی قدرت تفکیک مکانی مناسب داده‌های بارش روزانه پایگاه ERA-Interim در شمال شرق ایران

عاطفه عرفانی^۱، ایمان باباییان^۲، علیرضا انتظاری^۳

۱. دانشجوی دکترا اقلیم‌شناسی دانشگاه حکیم سبزواری،

۲. استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی،

۳. استادیار، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

در این پژوهش دقت ۱۱ سری از داده‌های بازکاوی روزانه ERA-Interim مربوط به مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت ECMWF با تفکیک‌های مکانی ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۱۲۵، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درجه با داده‌های مشاهداتی ۱۷ ایستگاه هواشناسی شمال شرق (خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی)، در یک دوره زمانی ۲۶ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۵) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از آماره‌های ضریب تبیین، شاخص توافق، آریبی نسبی و NRMSE استفاده شد. نتایج نشان دادند که بر اساس آماره NRMSE دقت تمامی تفکیک‌های مکانی مورد مطالعه زیر ۱۰ قرار دارد که در محدوده عالی می باشد، اما سری داده‌های با تفکیک مکانی ۰/۴ در سه نمایه آماری دیگر (ضریب تعیین، آریبی نسبی و ضریب توافق) بهترین عملکرد را دارا است و هماهنگی بهتری در مقایسه با سایر داده‌های ERA-Interim دارد و می‌تواند برای تکمیل خلاءهای آماری و مناطق فاقد آمار مورد استفاده قرار گیرد. در سری داده‌های با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه، بیشترین ضریب تبیین در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایستگاه مشهد مشاهده شد که ممکن است ناشی از بالا بودن بارش آن، پایین بودن تغییرپذیری بارش آن در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها و نیز سابقه آماری بالای این ایستگاه و لحاظ داده‌های آن در سامانه داده‌گذاری جهانی داده‌ها است که به‌عنوان داده‌های پایه در آغازگری مدل پیش‌بینی عددی ECMWF استفاده می‌شود. کمترین مقدار نرمال شده جذر میانگین مربع خطاها در ایستگاه‌های تقریباً پربارش شمالی منطقه شامل مشهد، بجنورد و قوچان و بیشترین خطای مقدار نرمال شده جذر میانگین مربع خطاها در ایستگاه‌های تقریباً خشک و کم بارش مشاهده شد. رفتار شاخص توافق کم و بیشتر شبیه NRMSE است. قدر مطلق بایاس نسبی در تمامی ایستگاه‌های کمتر از ۰/۰۱ است که بیشترین خطای مربوطه در ایستگاه‌های تقریباً کم بارش مرکز و جنوب منطقه مشاهده شد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، داده‌های بازکاوی روزانه ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه می‌توانند برای تکمیل خلاءهای آماری و مناطق فاقد آمار بارش در خراسان مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: ERA-Interim، خراسان، بارش، آریبی.

۱- مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که اندازه‌گیری دقیق و وجود داده‌های پایه روزانه آن، با پراکندگی مناسب در سطح یک منطقه، کاربرد بسیار زیادی در مدیریت منابع آب، کشاورزی، خشک‌سالی (کتیرایی بروجردی، ۱۳۹۴)، واسنجی و پس پردازش برون‌داد مدل‌های اقلیمی و پیش‌آگاهی وقوع بارندگی سنگین دارد. به‌روز نبودن آمار موجود در سطح ایستگاه‌های اندازه‌گیری، پراکندگی و تراکم نامناسب و تازه تأسیس بودن ایستگاه‌ها و همچنین وجود خلأهای آماری، از جمله موانعی است که پژوهشگران در بخش‌های بزرگی از جهان و به‌ویژه کشورهای دارای تنوع زیاد توپوگرافی، با آن مواجه هستند. در مناطقی که امکان داده‌برداری وجود ندارد یا به علل مختلف طول دوره آماری موجود برای پژوهش‌های اقلیمی کافی نیست، کمبود آمار با استفاده از ایستگاه‌های همسایه که ممکن است با نقطه موردنظر فاصله زیادی داشته، برآورد می‌شود که طبیعتاً با واقعیت تفاوت زیادی خواهد داشت. از این‌رو محققان بر آن شدند تا روش‌های مختلف برآورد و تولید داده‌های بارش را بررسی نمایند. استفاده از روش‌های رادیومتری ماهواره‌ای از جمله نخستین روش‌های به کار گرفته‌شده در این زمینه است که بر پایه داده‌های مرئی و مادون‌قرمز بوده و شدت بارش را به کمک بازتابش حاصل از ابرها (به‌صورت مرئی) و دمای بالایی ابرها (به‌صورت مادون‌قرمز) برآورد می‌کند. از جمله روش‌های ماهواره پایه می‌توان به سنجنده TRMM^۱ اشاره کرد. استفاده از سنجنده یادشده موجب افزایش توانایی ثبت بارش در منطقه حاره از سال ۱۹۹۷ شده است (کامرو^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین سنجنده^۳ GPM که در ۲۷ فوریه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد، مأموریت اندازه‌گیری داده‌های دیدبانی را از سنسورهای ریزموج نصب‌شده بر روی ماهواره‌های مدار پایین را برای مشخص کردن توزیع جهانی بارش در بازه‌های سه‌ساعته بر عهده دارد (گروبر^۴ و همکاران، ۲۰۰۸؛ هو^۵ و همکاران،

۲۰۰۸). هرچند سنجنده‌های مادون‌قرمز حرارتی، اطلاعات بیشتری نسبت به بارش به دست می‌دهند، اما به دلیل وقفه زمانی و مکانی، نیاز به الگوریتم‌هایی است تا مشاهدات را با یکدیگر ترکیب کند (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰؛ هافمن^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های مشاهداتی سطح زمین و استفاده از روش‌های زمین‌آماری، داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی بالا به وجود آمده‌اند که به آن‌ها داده‌های شبه‌دیدبانی یا بازکاوی می‌گویند (جوسی^۷ و همکاران، ۲۰۰۴). از جمله، مجموعه داده‌های^۸ CMORPH که در مطالعات اخیر به‌وفور به آن استناد می‌شود از تلفیق داده‌های بارش برآورد شده از سنجنده‌های ریزموج غیرفعال ماهواره‌های مدار پایین^۹ و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌های زمینگرد^{۱۰} به‌دست آمده‌اند (جوسی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴). نمونه دیگری از داده‌هایی که با الگوریتم مشابه تولید می‌شوند، PERSIANN^{۱۲} است که تفکیک زمانی و مکانی آن به ترتیب نیم‌ساعته و 0.25×0.25 درجه بوده و از سال ۲۰۰۰ تاکنون در دسترس هستند (سروشیان و همکاران، ۲۰۰۰). با حفظ الگوریتم مکانی - زمانی بارش PERSIANN و حذف آریبی آن‌ها توسط داده‌های بارش ماهانه حاصل از پروژه جهانی اقلیم‌شناسی بارش^{۱۳}، داده‌ها-PERSIANN CDR^{۱۴} توسط عاشوری و همکاران (۲۰۱۵) تهیه شدند. مجموعه داده‌ها^{۱۵} TMPA نیز از الگوریتم مشابهی در تهیه داده‌های بارش استفاده می‌کند. تفکیک زمانی آن سه‌ساعته و تفکیک مکانی آن 0.25×0.25 درجه است و از سال ۱۹۹۸ تاکنون در دسترس می‌باشند. داده‌های طرح اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCP) توسط سازمان جهانی هواشناسی تحت عنوان برنامه پژوهشی اقلیم زمین بنیان نهاده شد که

⁶ Huffman.G at al

⁷ Joyce R

⁸ Climate Precipitation center (CPC) Morphing Technique

⁹ Low Earth Orbit Satellite

¹⁰ Geosynchronous Satellite

¹¹ Joyce R

¹² Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using Artificial Neural Network

¹³ Global Precipitation Climatology Project

¹⁴ -PERSIANN Climate Data Report

¹⁵ -TRMM Multi – satellite Precipitation

Analysis

¹ Tropical Rainfall Measuring Mission

² Kummerow

³ Global precipitation Measurement

⁴ Gruber

⁵ Hou.A. at al

آغازگری مدل‌های پیش‌بینی عددی استفاده می‌کنند. داده‌های بازکاوی^۵ از ترکیب داده‌های مشاهداتی از منابع مختلف (ماهواره، رادار، سودار، رادیوسوند، ایستگاه‌های سنجش زمینی، کشتی‌ها و هواپیماهای داوطلب) و نتایج پیش‌بینی‌های عددی وضع هوای (NWP)^۶ بسیار کوتاه مدت، معمولاً کمتر از شش ساعت که دارای خطای بسیار کمی می‌باشند، و همچنین با در نظر گرفتن روابط فیزیکی و دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره‌زمین و پهله اقیانوس‌ها و جنگل‌ها، به دست می‌آید. (دی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بالسامو و همکاران، ۲۰۱۵).

با استفاده از رویکرد فوق، ECMWF توانست پس از مجموعه داده‌های بازکاوی ERA-15 و ERA-40، داده‌های سری ERA-interim را عرضه کند که نسل پیشرفته‌تری از دو نسخه پیشین است (دی و همکاران، ۲۰۱۱). تحلیل داده‌های ERA-interim چهار بار در روز برای ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲، ۱۸ به وقت گرینویچ انجام می‌گیرد. به لحاظ تفکیک مکانی پایگاه ERA-interim دارای ۱۱ نسخه با تفکیک‌های ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۱۲۵، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد. اسززیپتا و همکاران^۷ (۲۰۱۱) داده‌های نسخه جدید ERA-interim را از پایگاه داده‌های ECMWF بر روی کشور فرانسه ارزیابی کردند. آن‌ها برای سنجش دقت داده‌های این پایگاه، مقادیر برآورد شده سنجش‌های بارش، دما، رطوبت، تابش ورودی خورشید و سرعت باد را با مقادیر پایگاه داده ملی کشور فرانسه (SAFRAN) با تفکیک مکانی ۸ کیلومتر مقایسه کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که اگرچه مقادیر برآورد شده بارش این پایگاه ۲۷ درصد کمتر از مقادیر مشاهده شده است، اما همبستگی بسیار خوبی با داده‌های بارش پایگاه ملی دارد. خان^۸ و همکاران (۲۰۱۵) به کمک داده‌های شبکه‌بندی بارش، تغییرپذیری مکانی بارش در ارتفاعات مختلف حوضه سند و هندوکش - کاراکورام - هیمالیا را بررسی کردند. آن‌ها از داده‌های هشت پایگاه داده APCMAP، CRU، CPC، GPCP، APHRODITE

قدرت تفکیک مکانی آن ۲/۵×۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی است و داده‌های آن از ژانویه ۱۹۷۹ تا امروز در دسترس است. مجموعه داده‌های تحلیلی بارش تلفیقی (CMAP)^۱ در مقیاس مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی هستند که از سال ۱۹۷۹ تاکنون در دسترس هستند. این داده‌ها برای ورودش زمانی و مکانی بارش در استوا مناسب می‌باشند و برای عرض‌های میانه توصیه نمی‌شوند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۲). داده‌های واحد تحقیقات آب‌وهوایی (CRU)^۲، وابسته به دانشگاه شرق‌گرای با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۴ در دسترس است که تمام خشکی‌های کره‌زمین به جز قطب جنوب را پوشش می‌دهد. این مجموعه داده شامل شش متغیر آب و هوایی مستقل (دمای متوسط، دامنه تغییرات دمای روزانه، بارش، تعداد روزهای بارانی، فشار بخار آب و پوشش ابر) می‌باشد. داده‌های^۳ GPCC که از طریق درون‌یابی داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های زمینی سرتاسر کره‌زمین (۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ایستگاه همدید و کلیماتولوژی) تولید شده‌اند، نیز در سه تفکیک مکانی ۱×۲، ۱/۵×۲/۵ و ۰/۵×۰/۵ درجه جغرافیایی هر دو سال یکبار به‌روز شده و به‌صورت رایگان در اختیار پژوهشگران جهان قرار می‌گیرد. این داده‌ها از سال ۱۹۰۱ به بعد در دسترس هستند. در سال ۲۰۰۶ پروژه افرودیت^۴ باهدف ایجاد سری داده‌های بارش روزانه در سلول‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا برای سراسر آسیا اجرا شد. تفکیک مکانی آن ۰/۲۵ تا ۱ درجه طول و عرض جغرافیایی و برای اوراسیا و خاورمیانه تا سال ۲۰۰۷ در دسترس می‌باشد. فاز جدید پروژه مذکور برای به‌روزرسانی داده‌ها تا ۲۰۱۶ در حال انجام می‌باشد (یاتاجی و همکاران، ۲۰۱۲).

مراکز پیش‌بینی بین‌المللی مانند مرکز پیش‌بینی‌های محیطی آمریکا (NCEP) و مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت (ECMWF)، هر یک از داده‌های بازکاوی اختصاصی برای

^۱ -CPC Merged Analysis of Precipitation
^۲ Climate Research Unit
^۳ Global Precipitation Climatology Center
^۴ Asian Precipitation –Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation

^۵ Reanalysis

^۶ Numerical Weather Prediction

^۷ Szczypta

^۸ Khan

روزانه سراسر کشور به دست می‌دهد. دارند و زند کریمی (۱۳۹۴)، داده‌های ساعتی بارش ERA-interim را با داده‌های ایستگاه‌های همدید و پایگاه ملی درون‌یابی شده اسفزاری مورد مقایسه قرار دادند و هماهنگی خوبی بین بارش ERA-interim و داده‌های زمینی پیدا کردند نتیجه این پژوهش نشان داد که ERA-interim بیشترین دقت را در برآورد بارش مناطق کوهستانی زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور دارد. رضیئی و فتاحی (۱۳۹۰)، امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش NCEP/NCAR را به‌منظور استفاده در پایش خشکسالی ایران ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند این داده‌ها روند تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران را به‌خوبی نشان می‌دهد و برای پایش بهنگام خشکسالی در کشور مناسب است. کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۳۹۲)، داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN را با داده‌های زمینی مقایسه کرد و نشان داد که داده‌های PERSIANN الگوی تغییرات مکانی بارش را به‌خوبی نمایش می‌دهد. ولی مقدار آن در اغلب نقاط ایران کم و در بعضی مناطق خشک کویری زیاد برآورد می‌شود. همچنین مشخص شد که این داده‌ها بارش منطقه زاگرس را کم، بارش کرانه خزری را به‌شدت کم، و بارش منطقه خشک شرق را زیاد برآورد می‌کند. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، با مقایسه داده‌های پایگاه اسفزاری و سه پایگاه بارش جهانی GPCP، GPCP و CMAP در پهنه ایران نشان دادند که میان داده‌های پایگاه اسفزاری و سه پایگاه موردبررسی به‌ویژه GPCP همبستگی بالایی به‌خصوص در فصل‌های پر بارش دیده می‌شود. در مطالعه‌ای که برای شناخت نواحی همگن بارشی ایران بر پایه پایگاه داده افروودیت توسط دارند (۱۳۹۴)، انجام شد این نتیجه حاصل شد که داده‌های افروودیت از دقت مناسبی برای پایش زمانی مکانی بارش روزانه بر روی ایران زمین برخوردارند. همچنین در ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی شده بارش جهت استفاده در ایران، عزیزی و همکاران (۱۳۹۳)، به این نتیجه دست یافتند که داده‌های افروودیت برای مناطق شمال، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و نواحی داخلی کشور مناسب‌تر است و داده‌های GPCP، در مناطق غرب، جنوب، جنوب شرق و شمال شرق کشور به نتایج بهتری منتهی می‌شود.

TRMM، ERA-interim، NCEP/NCAR و همچنین از داده‌های سنجنده MODIS بهره گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار بارش برآورد شده در همه پایگاه‌های داده بارش، به‌طور چشمگیری کمتر از مقدار مشاهده‌شده بر روی ایستگاه می‌باشد و در بین این پایگاه‌ها، NCEP/NCAR و ERA-interim نسبت به دیگر پایگاه‌ها تشابه بیشتری با داده‌های زمینی دارند. دلیو^۱ و همکاران (۲۰۱۴) ویژگی‌های بارش روزانه و ماهانه انگلستان و ولز را با پایگاه داده ERA-interim مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که همبستگی زیادی بین داده‌های ERA-interim و مشاهده‌ای ایستگاه‌های انگلستان وجود دارد. آن‌ها مقدار این همبستگی را ۰/۹۱ برآورد کردند و بیان داشتند که ERA-interim همه ویژگی‌های آماری بارش‌های فرین منطقه را نیز به‌خوبی به دست می‌دهد. همچنین نشان داد که ERA-interim بارش روزانه را در بیشتر بخش‌های منطقه موردبررسی حدود ۲۲٪ کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. در تحقیق دیگری رودرز^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی توان-ERA-interim در برآورد ویژگی‌های بارش‌های فرین، یک تا ۷ روزه انگلستان و ولز پرداختند و ارتباط بسیار قوی بین بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه و مقدار برآورد شده با ERA-interim یافتند. کیشور^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، بارش هند را در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ به کمک پایگاه‌های داده ERA-interim، JRA-25، GPCP، CSFR و داده‌های شبکه‌بندی شده IMD (داده‌های ملی هند) بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بین پایگاه‌های داده واکاوی شده، داده‌های پایگاه ERA-interim نسبت به دیگر پایگاه‌ها بهتر عمل می‌کند.

دقت داده‌های بازکاوی بارش در نقاط گوناگون ایران موردبررسی قرار گرفته است. صدودی و همکاران (۲۰۱۰)، بارش روزانه شبکه باران‌سنجی کشور را برای سال ۲۰۰۱ با داده‌های پایگاه ECMWF مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که ECMWF برآورد قابل‌اعتمادتری از بارش

¹ deLeeuw

² Rhodes

³ Kishore

منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود. بر اساس آخرین تقسیم‌بندی سیاسی، خراسان دارای ۳۵ شهرستان می‌باشد که در تعداد کمی از آن‌ها ایستگاه هواشناسی تأسیس شده است؛ به دلیل تراکم کم ایستگاه‌های هواشناسی و وجود خلأهای آماری منطقه خراسان در اغلب مطالعات آماری که نیازمند داده‌های آماری بلندمدت هست، از داده‌های کمتر از ۱۰ ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. به دلیل تفاوت‌های اقلیمی بین شمال و جنوب خراسان و توپوگرافی نسبتاً پیچیده منطقه، نیاز به تطویل و تکمیل خلأهای آماری با به‌کارگیری داده‌های بازکاوی ضروری است. بر این اساس هدف این مقاله معرفی مناسب‌ترین سری از مجموعه داده‌های بازکاوی ERA-Interim مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت می‌باشد.

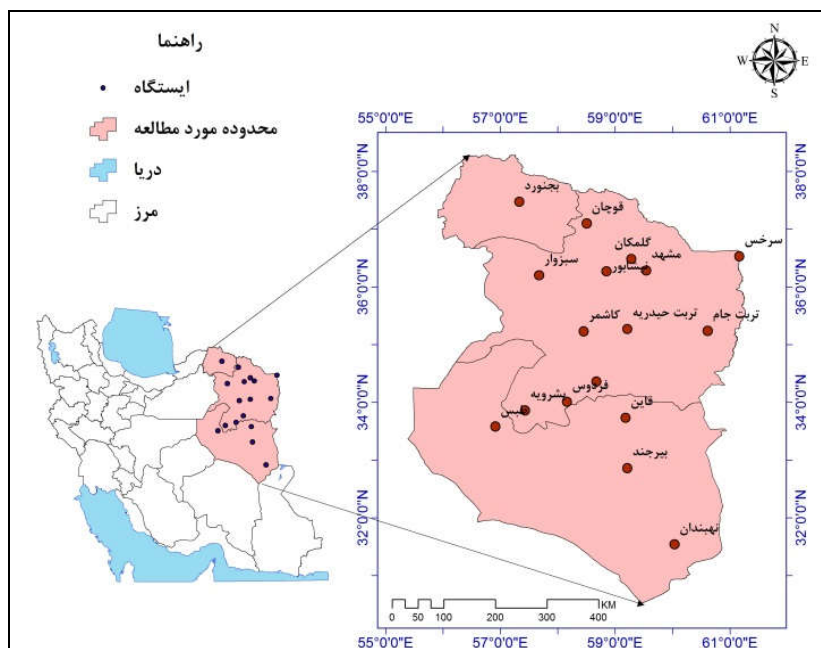
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شمال شرق کشور شامل استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی می‌باشد که در محدوده ۲۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد. بر اساس آخرین تقسیم‌بندی جغرافیایی، سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در مجموع دارای ۳۵ شهرستان می‌باشند. در این مطالعه از داده‌های تعداد ۱۷ ایستگاه هواشناسی که دارای آمار بارندگی روزانه کامل‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۰ (۲۶ سال) بودند، استفاده شد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های یادشده را نشان می‌دهد.

بابایان و همکاران (۱۳۹۶)، به تهیه داده‌های تلفیقی بارش ماهانه برای حوضه‌های آبریز جنوب غرب کشور با استفاده از داده‌های شبکه‌ای APHRODITE و مشاهده‌ای پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که داده‌های APHRODITE به‌خوبی قادر به نمایش الگوی بارندگی در حوضه آبریز جنوب غرب کشور به‌ویژه در ماه‌های سرد و پربارش می‌باشد. رضی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی داده‌های ECMWF در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران پرداختند و بیان کردند که داده‌های ERA-interim ضمن داشتن همبستگی بسیار قوی، مقدار بارش را برای مناطق خزر کمتر از مقدار واقعی و برای مناطق شمال شرق بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند.

به‌طور کلی داده‌های شبکه‌بندی دارای مزایای زیادی در مقایسه با داده‌های زمینی هستند، که می‌توان از جمله به پوشش یکنواخت و پیوسته کره زمین با تفکیک افقی زیاد، در دسترس بودن داده‌ها و به‌روز بودن آن‌ها اشاره کرد (کلینگ‌اگان، ۲۰۱۰)، این داده‌ها را می‌توان به‌عنوان منبعی مناسب و قابل اطمینان برای طیف گسترده‌ای از پژوهش‌های کاربردی آب‌شناسی مانند مدل‌سازی سیل مورد استفاده قرار داد (ساکهان و همکاران، ۲۰۱۱). به دلیل صحت زیاد و قابل اعتماد بودن داده‌های بازکاوی، می‌توان آن‌ها را برای مقاصد مختلف از جمله پر کردن خلأهای آماری و واسنجی برونداد مدل‌های گردش کلی استفاده نمود. در این پژوهش دقت داده‌های ERA-interim بر روی منطقه خراسان (شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی) بررسی شده و مناسب‌ترین تفکیک مکانی داده‌های یاده شده از بین ۱۱ تفکیک مکانی مختلف برای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش در ایران و منطقه مورد مطالعه

این پایگاه داده به داده‌های ایستگاهی، برای مقایسه و ارزیابی انتخاب شد. در صورتی که در یک یاخته بیش از یک ایستگاه مشاهداتی وجود داشته، میانگین بارش هر دو ایستگاه به عنوان نماینده بارش مشاهداتی یاخته در نظر گرفته شد.

شاخص‌های راستی آزمایی

برای راستی آزمایی داده‌های بارش پایگاه ERA-Interim در مقایسه با داده‌های ایستگاهی، شاخص‌های زیر به کاررفته شد:

ضریب تعیین (R^2): مقدار ضریب تعیین که نشان‌دهنده وردایی کل بارش می‌باشد، بین صفر تا یک متغیر است. ویلموت (۱۹۸۴)

$$R = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

شاخص آریبی نسبی (RB_{ais}): این شاخص میانگین تمایل مدل را در بیش برآورد کردن یا کم برآورد کردن مقادیر مشاهده نشان می‌دهد. مقدار آریبی نسبی برابر با صفر نشان‌دهنده این است که مدل به خوبی توانسته مقادیر را پیش‌بینی کند. مقادیر مثبت و منفی به ترتیب بیانگر بیش برآورد کردن و کم برآورد کردن مدل است.

در این پژوهش هدف، انتخاب بهترین تفکیک مکانی داده‌های روزانه ERA-Interim با کمترین خطا نسبت به داده‌های مشاهداتی بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لذا شاخص‌های آماری راستی آزمایی برای هر یک از تفکیک‌های مکانی‌های مختلف محاسبه شد و بهترین تفکیک مکانی داده‌های یاد شده برای پرکردن خلاءهای آماری و داده‌های گم شده استفاده شد. داده‌های ERA-Interim با ۱۱ تفکیک مکانی شامل ۰/۲۵، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۱۲۵، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درجه از پایگاه ECMWF اخذ گردیدند^۱. فرمت داده‌های یاد شده netCDF بوده و کلیه محاسبات آماری با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت. دوره آماری روزانه مشترک بین دو سری داده ERA-Interim و مشاهداتی، ۱۹۹۰-۲۰۱۵ (۲۶ سال) در نظر گرفته شد. ابتدا با توجه به طول و عرض ایستگاه‌ها، یاخته (سلول) مربوط به هر یک از آن‌ها در تفکیک مکانی‌های مختلف استخراج گردید. از آنجایی که پایگاه ERA-Interim دارای تفکیک مکانی متفاوتی نسبت به داده‌های مشاهداتی است، نزدیک‌ترین یاخته‌های مکانی

¹ <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>

هرچه مقدار توافق بین دو سری زمانی داده کمتر باشد IA به نسبت کمتر است.

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{P}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (۴)$$

که در آن P_i مقدار برآورد شده بارش توسط پایگاه ERA-Interim و O_i مقادیر بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های منتخب و N فراوانی داده‌ها است. نتایج و بحث:

رابطه و ایازش بین سری بارش بازکاوی ERA-Interim و مشاهداتی در منطقه شمال شرق در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ در شکل (۲)، آمده است. بر روی هر یک از نمودارها تفکیک مکانی داده‌های بازکاوی مشخص شده است. برای پرهیز از طولانی شدن مقاله، نمودارهای مربوط به تفکیک‌های مکانی ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۲/۵ درجه نشان داده نشده‌اند. پراکنش نقاط و ایازش پیرامون خط و ایازش در تفکیک‌های مکانی مختلف نشان‌دهنده ارتباط کم‌وبیش مناسب بین داده‌های مشاهداتی و واکاوی است. بهترین ارتباط بین دو سری از داده‌ها به ترتیب در تفکیک‌های مکانی ۰/۴ و ۰/۲۵ درجه دیده می‌شود، درحالی‌که کمترین ارتباط متعلق به تفکیک‌های مکانی ۲ و ۲/۵ درجه است. این نتیجه نشان می‌دهد که به‌طور میانگین بین قدرت تفکیک مکانی و مقدار و ایازش ارتباط مستقیمی وجود دارد. درحالی‌که انتظار می‌رود با افزایش تفکیک مکانی، نقطه مشخصه یاخته به موقعیت مکانی ایستگاه هواشناسی نزدیک گردیده و رفتار واقعی‌تری از بارش منطقه را نشان دهد، اما بیشترین ارتباط و ایازش بر بیشترین تفکیک مکانی داده‌های واکاوی منطبق نیست. این موضوع ممکن است ناشی از این باشد که در مواردی به دلیل توپوگرافی پیچیده منطقه در فاصله اندکی، تغییرات توپوگرافی در اطراف ایستگاه وجود دارد که موجب تغییر در مقدار بارش در فاصله نزدیکی از ایستگاه می‌گردد.

$$RBias = \frac{1/N \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (۲)$$

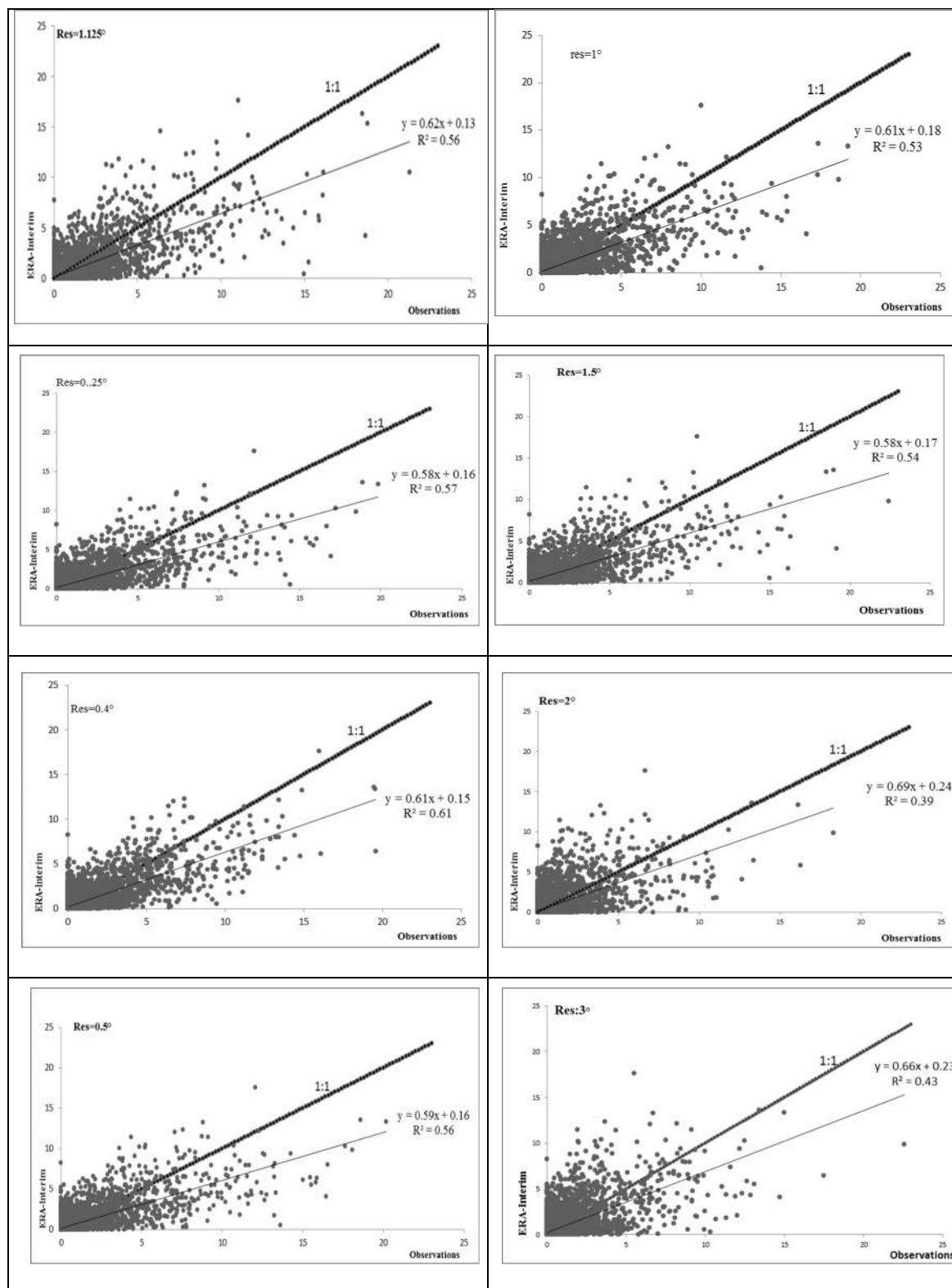
ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE): این شاخص بیانگر تفاوت بین مقادیر برآورد شده بارش با مقادیر مشاهده شده است. توضیحات کامل این شاخص در رینالدی و همکاران (۲۰۰۴) تشریح شده است. این شاخص به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر برآورد شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود که مقادیر کمتر از ۱۰ درصد نشان‌دهنده توافق عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان‌دهنده توافق خوب و بین ۲۰ تا ۳۰ درصد توافق قابل قبول را بین داده‌های مشاهداتی و مدل نشان می‌دهند. علاوه بر نمایه‌های آماری یادشده از نمودار یک به یک برای شناسایی میزان توافق داده‌ها استفاده شد. دقت NRMSE در مقایسه با RMSE، به‌ویژه در پژوهش‌هایی که تعداد داده‌ها زیاد است، به‌منظور تفسیر روند تغییرات مقدار مؤثر خطای پیش‌بینی شده، می‌تواند کارایی به مراتب بهتری داشته باشد. همچنین در NRMSE به دلیل حذف اثر دامنه تغییرات، دقت مقدار پیش‌بینی با مقدار مشاهدات قابل مقایسه می‌شود (حدادیان سنو و همکاران، ۱۳۹۴).

(۳)

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\frac{N}{\bar{O}}}} \quad (۱۹۸۱)$$

نمایه ایی بدون بُعد را

ارائه داد که هدف از ارائه آن این بود که حساس نبودن شاخص‌های مبنی بر همبستگی را به تفاوت بین میانگین و پراش مقادیر داده‌های مشاهده شده و برآورد شده، حل کند. این نمایه مقدار توافق بین دو سری داده ارائه شده را می‌سنجد. مقدار عاری بودن از خطای مقادیر برآورد شده را ارزیابی می‌کند. این نمایه بین صفر و یک در نوسان است. عدد یک توافق کامل دو سری داده را در IA نشان می‌دهد و



شکل ۲- رابطه خطی بین داده‌های مشاهداتی روزانه بارش منطقه شمال شرق و داده‌های ERA-Interim در قدرت تفکیک‌های مختلف

موجود، در تفکیک مکانی ۰/۴ درجه مشاهده شد. در مرتبه بعد تفکیک مکانی‌های ۰/۲۵ و ۱/۱۲۵ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۵۷ و ۰/۵۶ قرار دارند. نتایج نشان دادند که بیشترین هماهنگی بین مقادیر روزانه بارش واکاوی و داده‌های مشاهداتی ۱۷ ایستگاه در منطقه شمال شرق کشور، در ایستگاه گناباد و در تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ با $Corr=0/93$ محاسبه شد. در مرتبه بعد ایستگاه نیشابور در قدرت تفکیک ۰/۲۵ با $Corr=0/83$ قرار دارد. به‌طور میانگین ضریب همبستگی (R) در اکثر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۶۶ بوده و همگی معنی‌دار هستند. اما در برخی از ایستگاه‌ها نظیر نهبندان، تربت حیدریه و گل‌مکان میزان همبستگی به نسبت کمتر و مقدار آن بین ۰/۴۳ تا ۰/۳۷ قرار دارد. به‌طور میانگین بالاترین ضریب همبستگی در قدرت تفکیک ۰/۴ (۰/۶۸) $Corr=$ مشاهده شد.

در صورتی که مقادیر شبیه‌سازی‌شده دقیقاً برابر مقادیر دیده‌بانی باشند، تمامی داده‌ها بر روی خط یک‌به‌یک قرار می‌گیرند. با توجه به شکل (۲)، هنگامی که خط رگرسیون زیرخط یک به یک باشد، در آن صورت بارش شبیه‌سازی‌شده کمتر از بارش دیده‌بانی است.

در جدول ۱، مقادیر شاخص‌های آماری به تفکیک ایستگاه و مقدار تفکیک مکانی داده‌ها آورده شده است. از دیدگاه ایستگاهی (میانگین تمام قدرت تفکیک‌ها، برای یک ایستگاه)، بالاترین ضریب تعیین برآورد شده به مقدار ۰/۸۶ مربوط به ایستگاه گناباد و کمترین ضریب تعیین در ایستگاه قوچان به مقدار ۰/۰۱ محاسبه شده است. با توجه به بررسی ضریب تعیین در منطقه شمال شرق و در بین قدرت تفکیک‌های مختلف، بیشترین ضریب تعیین برای مقادیر روزانه بارندگی به مقدار ۰/۶۲، در بین ۱۱ تفکیک مکانی

جدول ۱- وضعیت شاخص‌های راستی آزمایی موردبررسی در قدرت تفکیک‌های افقی مختلف برای ایستگاه‌های موردبررسی

ایستگاه	شاخص/تفکیک	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۴	۰/۵	۰/۷۵	۱	۱/۱۲۵	۱/۵	۲	۲/۵	۳
مشهد	R2	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۲۶	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۳۹
	IA	۰/۴	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۵۳
	RBais	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶
	NRMSE	۴/۳۹	۳/۳۵	۳/۳۳	۳/۳۶	۴/۳۷	۳/۵	۴/۸۱	۴/۸۱	۳/۷	۳/۶۹	۴/۱۲
سبزوار	R2	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۲۱	۰/۵۴	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۵۵
	IA	۰/۳۸	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۳۳	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۶۱
	RBais	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۱
	NRMSE	۴/۵۱	۳/۸۱	۳/۹۲	۳/۸۱	۴/۶۱	۳/۸۷	۳/۹۳	۳/۳۴	۴/۱۹	۴/۸۲	۴/۰۱
قوچان	R2	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۴۲
	IA	۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۶۸	۰/۵۳	۰/۱۲	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۵۴
	RBais	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱
	NRMSE	۳/۷۱	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۶۹	۳/۱۲	۶/۵	۱۰/۰۱	۳/۴	۳/۴۱	۳/۴۵
نیشابور	R2	۰/۱۶	۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۴۳
	IA	۰/۲۷	۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۵	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۵۶
	RBais	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱
	NRMSE	۴/۱۹	۳/۹۶	۳/۷۳	۳/۹۶	۴/۱۶	۳/۹۵	۴/۰۲	۴/۳۲	۴/۰۶	۴/۴۷	۴/۰۱
کاشمر	R2	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۳۷
	IA	۰/۵۳	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۲۴	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۵۳
	RBais	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۱۴	-۰/۰۰۳
	NRMSE	۵/۶۹	۵/۶۲	۵/۷۳	۵/۶۲	۵/۳۵	۵/۶	۵/۶۲	۴/۳۲	۵/۲۴	۵/۳۹	۵/۲۸
فردوس	R2	۰/۲۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۳

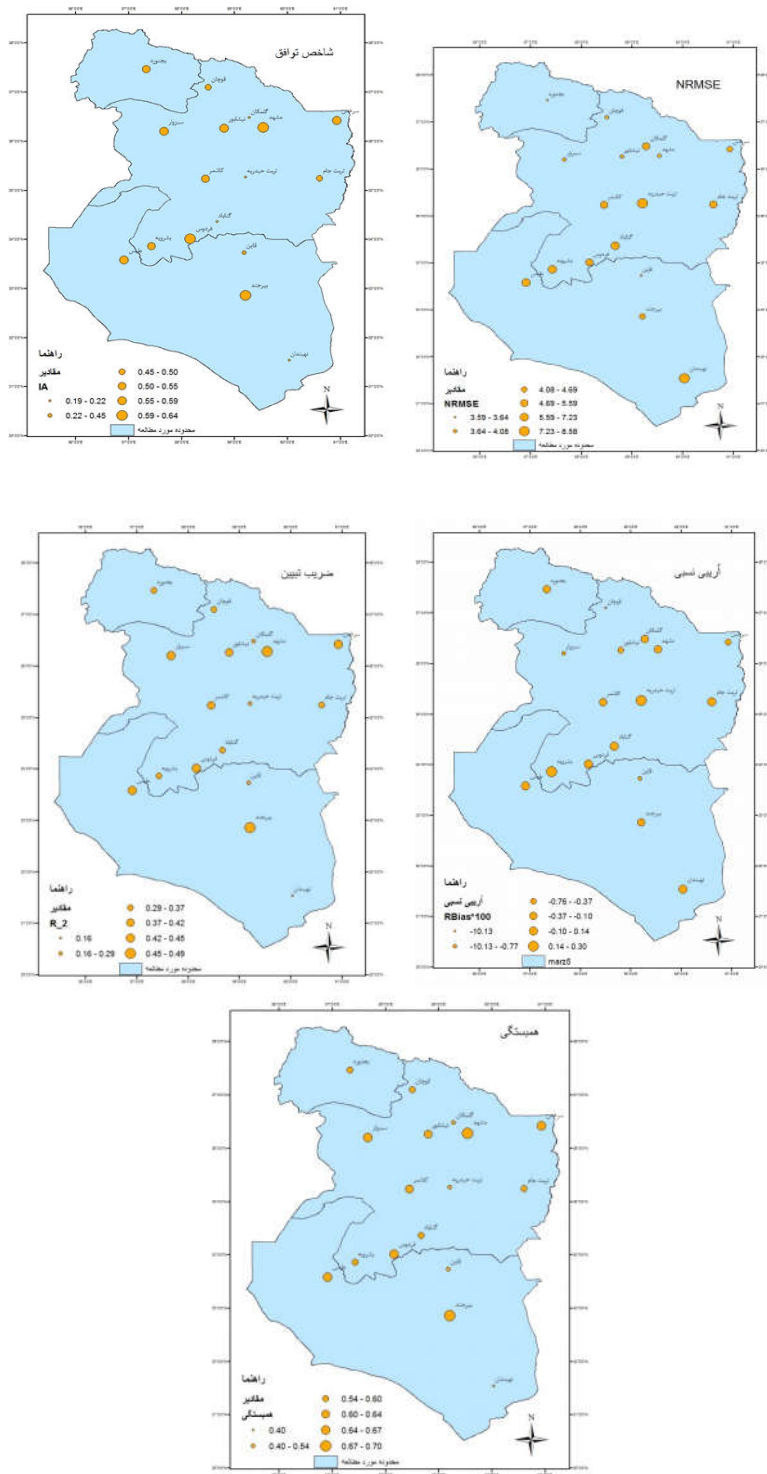
۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۵	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	IA	
-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	RBais	
۵/۲۸	۵/۳۹	۵/۲۴	۳/۹۲	۴/۵	۵/۶۲	۵/۳۵	۵/۶۲	۵/۸۱	۵/۶۲	۵/۶۹	NRMSE	
۰/۱۲	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۰۹	۰/۸۶	R2	گناباد
۰/۲	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۳	IA	
-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	RBais	
۶/۵۶	۶/۷۴	۶/۱	۷/۲۵	۷/۲۸	۷/۵۲	۷/۵۲	۷/۹	۷/۶۷	۷/۵۴	۷/۵	NRMSE	
۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۹	R2	طبس
۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۶۶	IA	
۰/۰۰۲	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	RBais	
۶/۳۳	۶/۶۳	۷/۱	۶/۱۷	۶/۲	۶/۱۵	۶/۶۵	۶/۲۶	۴/۴۹	۵/۸۹	۶/۳۲	NRMSE	
۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۰۲۳	۰/۰۶۵	۰/۵۹	۰/۰۷	۰/۵۲	R2	گلمکان
۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۵۷	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۰۶۹	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۷	IA	
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۷	-۰/۰۰۲	RBais	
۵/۲۳	۶/۰۳	۴/۷	۳/۹۲	۴/۲۴	۵/۳۲	۴/۷۲	۸/۲۵	۵/۸۱	۵/۴۹	۴/۵۲	NRMSE	
۰/۵۱	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۱۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۱۱	R2	سرخس
۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۲۹	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۳۱	IA	
-۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰	۰	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۱	RBais	
۴/۸	۵/۳۲	۴/۴۶	۷/۳۷	۵/۵۴	۴	۴/۷۹	۳/۸۱	۳/۷۷	۳/۸۱	۴/۸۲	NRMSE	
۰/۰۲۴	۰/۰۳۶	۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۰۶۷	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۲۲	R2	تریت حیدریه
۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۱	IA	
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳	RBais	
۸/۴۵	۷/۹۱	۸/۷	۹/۵	۹/۲	۸/۴۷	۷/۸۴	۸/۴۹	۹/۳۷	۸/۸۸	۸/۲	NRMSE	
۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۲۸	R2	تریت جام
۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۴۶	IA	
۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰	RBais	
۵/۹	۴/۶۷	۵/۲	۵/۶	۵/۲	۵/۴	۵/۵۷	۵/۴۹	۶/۶۴	۶/۱۲	۵/۳۳	NRMSE	
۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۲	۰/۵۴	۰/۵	۰/۱	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۵	۰/۰۹	۰/۵۵	R2	بیجنورد
۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۳۴	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۲۸	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۷	۰/۲۷	IA	
-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۸	RBais	
۳/۷۸	۳/۴۹	۳/۸	۳/۴	۳/۱۲	۳/۳۴	۴/۲۸	۳/۳۴	۳/۴۱	۳/۳۴	۴/۲۶	NRMSE	
۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۴	R2	بشرویه
۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۸	IA	
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	RBais	
۶/۶۳	۷/۱۵	۷/۴	۷/۸	۷/۲	۶/۵۴	۶/۶۵	۶/۶۴	۷/۷۹	۶/۹۳	۷/۱۴	NRMSE	
۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۳	۰/۲۹	۰/۳۶	R2	قائن
۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۵۳	IA	
-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۵	RBais	
۳/۸	۳/۴	۳/۷	۳/۵	۳/۵	۳/۶۹	۳/۵۳	۳/۶۷	۳/۶	۳/۶۷	۳/۴	NRMSE	

۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۲۵	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۸	R2	نهبندان
۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱۳	IA	
-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	RBais	
۸/۱۵	۷/۳۹	۷/۸	۷/۸	۷/۶	۷/۶۷	۸/۹	۷/۸۲	۷/۱	۷/۸۱	۸/۹۷	NRMSE	
۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۳۶	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۳۹	R2	بیرجند
۰/۵۷	۰/۶	۰/۵۶	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۵۷	IA	
-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	RBais	
۴/۵۸	۴/۵۵	۴/۵	۳/۴	۴/۳۲	۴/۳۵	۵/۶۵	۴/۲۲	۴/۳۱	۴/۲۴	۵/۶۸	NRMSE	

میلی‌متر تا $+۰/۰۰۳$ میلی‌متر است. یعنی اختلاف داده‌های بازکاوی نسبت به مشاهداتی جزئی و ناچیز است. کمترین مقدار شاخص اریبی نسبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مربوط به قدرت تفکیک $۰/۲۵$ و $۰/۵$ درجه در ایستگاه قوچان است. در جدول ۲، خلاصه نمایه‌های آماری مختلف برای بررسی دقت داده‌های بارش ERA-Interim در تفکیک‌های مختلف بر روی شمال شرق کشور آورده شده است. شاخص‌هایی که بهترین مقدار را دارا می‌باشند به صورت پررنگ نشان داده شده‌اند. مطابق جدول، تفکیک افقی $۰/۴$ درجه از بین ۴ شاخص آماری مورد بررسی، در چهار شاخص ضریب تبیین، شاخص توافق و بایاس نسبی دارای بهترین عملکرد می‌باشد.

شکل ۳، میانگین شاخص‌های صحت شمال سنجی مورد بررسی را بین ۱۱ قدرت تفکیک مکانی موجود در پایگاه داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی، در منطقه شرق کشور را نشان می‌دهد. مقدار اریبی نسبی در ایستگاه‌های منطقه بسیار ناچیز بوده و برای نشان دادن و گویا بودن این مقادیر بر روی نقشه، مقادیر آن در ۱۰۰ ضرب گردید.

مقادیر NRMSE در تمامی ایستگاه‌ها و در همه قدرت تفکیک‌ها، نشان می‌دهد که انحراف بارش روزانه داده‌های ERA-Interim با داده‌های مشاهداتی عمدتاً کمتر از ۱۰ درصد بوده که بیانگر برآورد عالی داده‌های بازکاوی می‌باشد. کمترین مقدار NRMSE در ایستگاه قوچان ($NRMSE=۳/۰۸$) و در قدرت تفکیک‌های $۰/۲۵$ ، $۰/۴$ و $۰/۵$ و بیشترین مقدار آن نیز در همین ایستگاه و در قدرت تفکیک $۱/۵$ مشاهده شد (جدول ۱). بر اساس شاخص NRMSE در بین قدرت تفکیک‌های مختلف، $۰/۲۵$ و $۰/۴$ درجه کمترین مقدار NRMSE را دارا می‌باشند. مقدار شاخص توافق (IA) نشان می‌دهد که ایستگاه مشهد در قدرت تفکیک $۰/۲۵$ و $۰/۵$ درجه، مقادیر بارش برآورد شده نزدیک به بارش مشاهداتی ایستگاه بوده است. نزدیک‌ترین مقدار برآورد شده بارش روزانه بر اساس شاخص توافق ابتدا در قدرت تفکیک $۰/۲۵$ و $(IA=۰/۷۷)۰/۴$ و بعد از آن در قدرت تفکیک ۱ درجه ($IA=۰/۷۴$) مشاهده شد (جدول ۱). بر اساس شاخص اریبی نسبی، انحراف مقادیر بارش داده‌های بازکاوی از بارش مشاهداتی در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه منطقه شمال شرق، بسیار پایین و بین ۵-



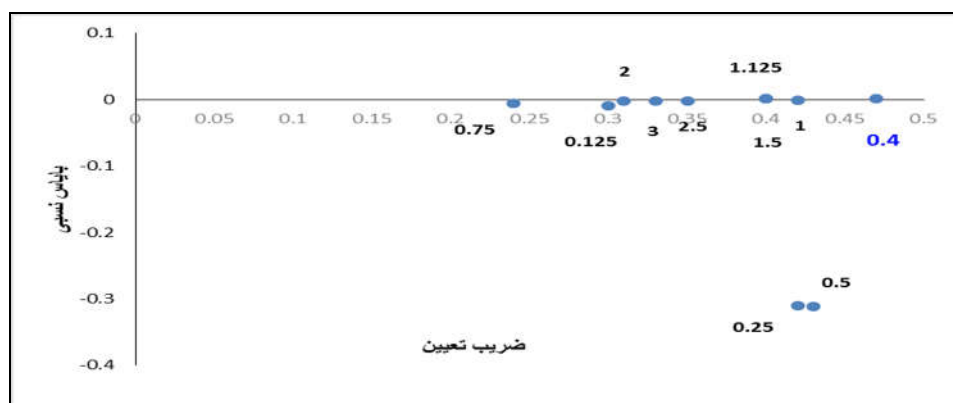
شکل (۳)، مقادیر ضریب تعیین (R^2)، ضریب کارایی (E)، توافقی (IA) و همبستگی در تمام رزولوشن‌ها، بین داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های شمال شرق

جدول ۲- میانگین کارایی قدرت تفکیک‌های مختلف داده‌های بارش ERA-Interim بر روی شمال شرق کشور بر اساس نمایه‌های آماری مختلف

تفکیک	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۴	۰/۵	۰/۷۵	۱	۱/۱۲۵	۱/۵	۲	۲/۵	۳
ضریب تعیین	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۳۳
شاخص توافق	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۶
NRMSE	۵/۵۵	۵/۱۸	۵/۳۰	۵/۳۰	۵/۵۱	۵/۳۱	۵/۲۵	۵/۶۰	۵/۲۴	۵/۲۷	۵/۲۸
R-bias	-۰/۰۰۹	-۰/۳۱	۰/۰۰۰۴	-۰/۳۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲۳	-۰/۰۰۲۹

نزدیک‌تر بوده و در انتهای آن قرار گیرد، دارای دقت بیشتری است. شکل نشان می‌دهد که داده‌های با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه منتهی الیه محور افقی و بر روی آن قرار داشته و در موقعیت بهینه از دو دیدگاه همبستگی و آریبی نسبی قرار دارد.

در شکل ۴، موقعیت هر یک از تفکیک‌های مکانی مختلف در صفحه مشخصه همبستگی-آریبی درج شده است. محور X مقدار همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و واکاوی و محور Y مقدار آریبی نسبی داده‌های بازکاوی را نشان می‌دهد. مطابق شکل هر چه موقعیت نقطه به محور X



شکل ۳- موقعیت هر یک از تفکیک افقی‌های مختلف داده‌های بازکاوی ERA-Interim در محور مختصات همبستگی-آریبی (اعداد مندرج بر روی هر نقطه تفکیک افقی آن را نشان می‌دهد).

مشاهداتی (مانند ایستگاه‌های زمینی، هواپیما و کشتی‌های داوطلب و سنجش‌ازدور) با داده‌های پیش‌بینی‌های بسیار کوتاه‌مدت ایجاد کرد. مجموعه داده‌های بازکاوی ERA-Interim دارای ۱۱ تفکیک مکانی مختلف از ۰/۱۲۵ تا ۳ درجه می‌باشد. در این مطالعه ۱۱ سری داده‌های بازکاوی یادشده با داده‌های مشاهداتی بارش روزانه ۱۷ ایستگاه هواشناسی منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ مقایسه گردید و دقت آن‌ها با استفاده از چهار شاخص آماری ضریب تبیین، آریبی نسبی، شاخص توافق و جذر میانگین مربع خطای نرمال شده (NRMSE) بررسی شد. مقایسه شاخص‌های آماری مورد استفاده برای تفکیک مکانی‌های

۳- نتایج

منطقه خراسان شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی دارای ۳۵ شهرستان است که تنها ۱۷ شهرستان آن دارای داده‌های بارش بلندمدت بوده و بیش از نیمی از شهرستان‌های آن دارای خلأ آماری یا فاقد ایستگاه هواشناسی می‌باشند، برای انجام مطالعات هواشناسی، اقلیم‌شناسی، کشاورزی و منابع آب نیاز به داده‌های بلندمدت بارش و سایر متغیرهای هواشناسی وجود دارد. مرکز اروپایی برای پیش‌بینی‌های میان‌مدت، داده‌های بازکاوی ERA-Interim را از طریق تلفیق داده‌های

به صورت روزانه بررسی شد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، داده‌های بازکاوی روزانه ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه می‌تواند برای تکمیل خلاءهای آماری و مناطق فاقد آمار بارش مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. باباییان، ایمان؛ کریمیان، مریم؛ عاشوری، حامد؛ راهله، مدیریان؛ خزانه داری، لیلی؛ ملبوسی، شراره؛ کوهی، منصور؛ محمدیان، آزاده؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۶). تهیه داده های تلفیقی بارش ماهانه برای حوضه های آبریز جنوب غرب کشور با بکارگیری داده های شبکه ایی APHRODITE و مشاهداتی، نشریه آب و خاک، شماره ۳
۲. دارند، محمد (۱۳۹۵)، شناخت نواحی همگن بارشی ایران بر پایه پایگاه داده افرودیت (۰/۲۵ درجه قوسی)، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد (۲۳)، شماره (۲)، صص ۹۹-۱۱۳
۳. دارند، محمد؛ زندکریمی، سومما (۱۳۹۴)؛ ارزیابی دقت داده های بارش مرکز اقلیم شناسی بارش جهانی بر روی ایران؛ مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۴، دوره ۳۷، صص ۶۷۴-۶۵۲
۴. رضیئی، طیب؛ ستوده، فاطمه (۱۳۹۶)؛ بررسی دقت مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جوی (ECMWF) در پیش بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران، نشریه فیزیک زمین و فضا، شماره ۱، صص ۱۴۷-۱۳۳.
۵. رضیئی، طیب؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۰)؛ ارزیابی کاربرد داده های بارش NCAR/NCEP در پیش خشکسالی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۲، دوره ۳۷، صص ۲۲۵-۲۴۷.
۶. حدادیان سنو، هادی؛ کریمی، علیرضا؛ اسفندیارپور بروجنی، عیسی؛ حق نیا، غلامحسین (۱۳۹۴)، مقایسه کارایی RMSE و NRMSE برای محاسبه مقدار خطای مدل با مجموعه داده های آموزش متفاوت، چهارمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولیعصر رفسنجان. صص ۲۲۰-۲۱۸
۷. عزیزی، قاسم؛ صفرزاده، طاهر، محمدی، حسین؛ فرجی سبکیبار، حسنعلی (۱۳۹۵)؛ ارزیابی و مقایسه داده های بازکاوی شده بارش جهت استفاده در ایران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، صص ۴۹-۳۳

مختلف نشان دادند که داده‌های بازکاوی ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۴ درجه در مجموع هماهنگی مناسبی با داده‌های مشاهداتی شمال شرق کشور داشته و می‌تواند برای تکمیل خلاءهای آماری و مناطق فاقد آمار مورد استفاده قرار گیرد. در تفکیک مکانی ۰/۴ درجه، کمترین ضریب تبیین در ایستگاه‌های مرکزی این ناحیه شامل نهندان، تربت جام، قاین و گناباد دیده می‌شود. یکی از خصیصه‌های ایستگاه‌های یادشده، واقع شدن آن‌ها در مناطق نسبتاً خشک، پایین بودن مقدار بارش سالانه و بالا بودن تغییرپذیری بارش آن‌ها می‌باشد که موجب عدم آشکارسازی مناسب آن‌ها توسط پایگاه بازکاوی ERA-Interim شده است. بیشترین ضریب تبیین در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایستگاه مشهد مشاهده شد که ممکن است ناشی از بالا بودن بارش آن، پایین بودن تغییرپذیری بارش آن در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها و نیز سابقه آماری بالای این ایستگاه و لحاظ داده‌های آن در سامانه داده‌گذاری جهانی داده‌ها می‌باشد که داده‌های پایه برای آغازگری مدل پیش‌بینی عددی ECMWF است. کمترین مقدار نرمال شده جذر میانگین مربع خطاها در ایستگاه‌های نسبتاً پرباران شمالی منطقه شامل مشهد، بجنورد و قوچان و بیشترین مقدار نرمال شده جذر میانگین مربع خطاها در ایستگاه‌های نسبتاً خشک و کم باران مشاهده شد. رفتار شاخص توافق نیز کم‌و بیش شبیه NRMSE است. قدر مطلق آریبی نسبی در تمامی ایستگاه‌های کمتر از ۰,۰۱ می‌باشد که بیشترین مقدار آن در ایستگاه‌های تقریباً کم بارش مرکز و جنوب منطقه مشاهده می‌شود.

دارند و کریمی (۱۳۹۴) و رضیئی و ستوده (۱۳۹۶) مطالعه جامعی باهدف بررسی دقت داده‌های ERA-Interim با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ درجه برآورد بارش ایران انجام دادند. به دلیل اینکه طول دوره آماری مورد استفاده آن‌ها بیشتر بود (به ترتیب ۳۵ و ۳۶ سال)، در مطالعات خود به ترتیب از داده‌های تعداد ۶ و ۸ ایستگاه هواشناسی خراسان به صورت استفاده کردند؛ اما در مطالعه حاضر از ۱۷ ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری ۲۶ سال استفاده شده است. همچنین در این مطالعه دقت تمامی ۱۱ سری داده‌های بازکاوی ERA-Interim، از ۰/۱۲۵ درجه تا ۳ درجه

16. Fu, Y., Xia, J., Yang, W., Xu, B., We, X., Chen, Y. and Zhang, H., (2014), Assessment of multiple precipitation products over major river basins of China, *Theor Appl Climatol*, 1-12.
17. Gruber A., Levizzani V. (2008). Assessment of global precipitation products. Technical Report-WRCP-128, WMO/TD-No. 1430, 55 pp. Available online at: www.gewex.org/reports/2008AssessmentGlobalPrecipReport.pdf]
18. Hou, A., Jackson G. S., Kummerow C., Shepherd J. M. (2008). Global precipitation measurement. *Precipitation: Advances in Measurement, Estimation, and Prediction*, S. Michaelides, Ed., Springer: 131-170.
19. Hou A., Jackson G. S., Kummerow C., Shepherd J. M. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission.
20. Huffman, G.J., Adler, R.T., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K., Hong, Y., Stocker, E.F. and Wolff, D.B. (2007). "The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales". *J. Hydrometeorol.* No. 8: 38-55.
21. Joyce R. J., Janowiak J. E., Arkin P. A., and Xie P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5:487-503.
22. Kishore, P., Jyothi, S., Basha, G., Rao, S.V. B., Rajeevan, M., Velicogna, I. and Sutterley, T.C. (2015). "Precipitation climatology over India: validation with observations and reanalysis datasets and spatial trends". *Climate Dynamics*: 1-16.
23. Kalinga, O. A. and Gan, T. Y., (2010), Estimation of rainfall from infrared-microwave satellite data for basin-scale hydrologic modeling, *Hydrol. Process*, 24, 2068-2086.
24. Khan, A., Richards, K.S., Parker, G.T., McRobie, A., Booij, M.J., Duan, Z. and Khan, M. (2015). "Spatial and altitudinal variation of precipitation and the correction of gridded precipitation datasets for the Upper Indus Basin and the Hindukush-Karakoram-Himalaya". *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 17. EGU 2015-7770-2.
25. Kummerow C., Barnes W., Kozu T., Shiue J., Simpson J. (2000). The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two
 ۸. کتیرایی بروجردی، پری سیما (۱۳۹۲)، مقایسه داده های بارش ماهانه ماهواره ایی و زمینی در شبکه ای با تفکیک زیاد روی ایران؛ مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۴، صص ۱۶۰-۱۴۹.
۹. مسعویان، ابوالفضل، کیخسروی کیانی، مجمد صادق؛ رعیت پیشه، فاطمه؛ معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفرازی با پایگاه های داده GPCP، GPCC و CMAP
10. Ashouri H., Hsu K. L., Sorooshian S., Braithwaite D. K., Knapp K. R., Cecil L. D., Nelson B. R., Prat O. (2015). PERSIANN-CDR Daily precipitation Climate Data Record from Multi-satellite Observations for Hydrological and Climate Studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1):69-83.
11. A. Haensler, S. Hagemann and D. Jacob (2011): Dynamical downscaling of ERA40 reanalysis data over southern Africa: added value in the simulation of theseasonal rainfall characteristics. *international journal of climatology*. *Int. J. Climatol.* 31: 2338-2349
12. Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., Dee, D., Dutra, E., Muñoz-Sabater, J., Appenberger, F., deRosnay, P., Stockdale, T. and Vitart, F., (2015), ERA-Interim/Land: a global land surfacereanalysis data set, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19,389-407.
13. Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., H'olm, E. V., Isaksen, I., Kallberg, P., Kohler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J. J., Park, B. K., Peubey, C., deRosnay, P., Tavolato, C., Th'epaut, J. N. and Vitart, F., (2011), The ERA-Interim reanalysis, configuration and performance of the dataassimilation system, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597.
14. DeLeeuw, J., Methven, J. and Blackburn, M., 2014, Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 141, 798-806.
15. Feidas, H., (2010), Validation of satellite rainfall products over Greece, *Theor Appl Climatol*, 99, 193-216.

31. Sorooshian, S., Hsu, K., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B. and Braithwaite, D. (2000). "Evaluation of PERSIANN systemsatellite-based estimates of tropical rainfall". Bull. Amer. Meteor. Soc.. No. 81: 2035–2046.
32. Suk Han, W., Burian, S. J. and Shepherd, J. M.,(2011), Assessment of satellite-based rainfall estimates in urban areas in different geographic and climatic regions, Nat Hazards, 56(3), 733747.
33. Szczypta, C., Calvet, J.C., Albergel, C., Balsamo, G., Bousetta, S., Carrer, D., Lafont, S. and Meurey, C. (2011). "Verification of the new ECMWF ERA-Interim reanalysis over France". Hydrol. Earth Syst. Sci.. No. 15:647–666.
34. Willmott, C. J., 1984, On the validation of models: Phys. Geogr., 2, 184–194.
35. Yatagai, A.; Kamiguchi, K.; Arakawa, O.; Hamada, A.; Yasutomi, N.; Kitoh, A. (2012). APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(9): 1401-1415.
- years in orbit, Journal of Applied Meteorology, 39:1965–1982
26. Legates, D. R., and McCabe Jr., G. J., (1999), Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation: Water Resour. Res., 35 (1), 233–241.
27. Meng J, Li L, Hao Z, Wang J, Shao Q. (2014). Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. Journal of Hydrology, 509: 320-332.
28. Rhodes, R. I., Shaffrey, L. C. and Gray, S. L.,(2015), Can reanalyses represent extreme precipitation over England and Wales, Q. J. R. Meteorol. Soc, 141, 1114-1120.
29. Rinaldi, G.M.,(2004). Water availability at sowing and nitrogen management of durum wheat: a seasonal analysis with the CERES-wheat model. FieldCrops Research,89(1):27-37.
30. Sodoudi, S., Noorian, A. M., Manfred, G. and Eberhard, R., (2010), Daily precipitation forecast of ECMWF verified. TheorApplClimatol, 99, 39-51.