

ارزیابی دقت داده‌های بارش مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی بر روی ایران

محمد دارند^{۱*} و سوما زندکریمی^۲

^۱استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی کاربردی، دانشگاه کردستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۰۲، تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۵)

چکیده

برای انجام این پژوهش داده‌های بارش ماهانه سه پایگاه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC)، اسفزاری و ایستگاه‌های همدیدی بر روی ایران طی بازه زمانی ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. برای سنجش دقت مقادیر برآوردی بارش پایگاه داده GPCC ابتدا به کمک تابع نزدیک‌ترین همسایه تفکیک مکانی همسان‌سازی شد. رویکرد تراکم بیشتر به تراکم کمتر برای گزینش یاخته‌های مکانی و مقایسه پایگاه‌ها به کار گرفته شد. از هفت نمایه واکاوی ارزیابی دقت مقادیر بارش در ابعاد زمان و مکان استفاده شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش بیانگر هماهنگی و همبستگی زمانی بسیار بالای بارش برآورد شده این پایگاه با دو پایگاه داده ملی اسفزاری و ایستگاهی است. کاربست شاخص‌های ارزیابی دقت بر روی سری زمانی مقادیر بارش پایگاه داده GPCC نشان داد که علاوه بر هماهنگی زمانی در افت‌وخیزهای بارش، مقادیر بارش برآورد شده این پایگاه بسیار نزدیک به مقادیر بارش مشاهده و ثبت شده است. اگرچه در برخی مناطق مقادیر بارش برآورد شده همراه با آریبی است ولی نسبت خطای مقادیر برآورد شده به مقدار کل بارش مشاهده شده بسیار کوچک است. از لحاظ پراکنش مکانی دقت این پایگاه در برآورد بارش بر روی نیمه غربی رشته کوه‌های زاگرس و شمال شرق کشور بیشینه است. بر روی این‌گونه مناطق شاخص توافق و ضریب تعیین نزدیک به عدد یک است. بیشترین مقدار شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی در مناطق بسیار خشک مرکزی و بیابان لوت مشاهده می‌شود. در مناطق پربارش میزان شاخص یاد شده به نسبت بسیار کوچک‌تر است. از لحاظ زمانی بیشترین هماهنگی در سری زمانی مقادیر بارش برآورد شده این پایگاه با دو پایگاه ملی اسفزاری و ایستگاهی در ماه‌های پربارش دیده می‌شود. برپایه یافته‌های حاصل از شاخص کارایی ناش-سانتکلیف می‌توان گفت که کاربست و کارایی مقادیر بارش برآورد شده این پایگاه بسیار بهتر از به کارگیری مقادیر میانگین بارش بر روی اغلب گستره ایران زمین است. یافته‌های این پژوهش تأییدی بر یافته‌های سایر پژوهشگران در ارتباط با دقت بالای مقادیر بارش برآورد شده پایگاه GPCC است.

واژه‌های کلیدی: پایگاه داده، GPCC، بارش، ایران

۱ مقدمه

دسترسی به داده‌های بهنگام با تفکیک مکانی بالا یکی از گام‌های مهم در انجام پژوهش‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی است. بارش متغیر مهم جوی است که وردایی بسیار زیادی در زمان و مکان از خود نشان می‌دهد. پیش این سنجه جوی برای درک کلی سامانه نظام‌مند اقلیم، چرخه آب‌شناختی، مدیریت منابع آب، کشاورزی و مدیریت بحران بسیار ضروری است (کید و هافمن، ۲۰۱۱). شناخت ویژگی‌های بارش در یک مکان برپایه ایستگاه‌ها به پراکنش ایستگاه‌ها مربوط است و در مناطق بیابانی، کوه‌ها، اقیانوس‌ها و مناطق وسیع با جمعیت کم، بسیار سخت و نیازمند صرف هزینه بسیار زیاد است. امروزه با توجه به محدودیت‌های داده‌های زمینی، پایگاه‌های داده بارش بسیار زیادی توسط موسسات پژوهشی و پژوهشگران در مقیاس محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی ایجاد شده است. این پایگاه‌های داده بارش کاربردهای فراوانی در آب‌شناسی و کشاورزی دارند. برای نمونه می‌توان به پایش خشکسالی و سیل برپایه آنها اشاره کرد. همچنین برای واکاوی تغییر اقلیم و اعتبارسنجی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا و اقلیم، داشتن یک پایگاه داده بارش با تفکیک مکانی و زمانی مناسب امری ضروری است. برپایه پایگاه‌های داده شبکه‌ای بارش اطلاعات مهمی در ارتباط با پراکنش و وردایی بارش در طول زمان بر روی مکان می‌توان به‌دست آورد (تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۰۶؛ بوسیلویچ و همکاران، ۲۰۰۸)، ولی بدون شک نمی‌توان از خطای برآورد بارش آنها غافل بود. لذا لازم است که قبل از به‌کارگیری داده‌های شبکه‌ای بارش برای انجام هرگونه پژوهشی در ارتباط با ویژگی‌های بارش، دقت آنها در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای ارزیابی شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوهن و همکاران، ۲۰۱۲؛ سیلا و همکاران، ۲۰۱۳؛ لین و همکاران، ۲۰۱۴؛ تونگ و همکاران، ۲۰۱۴).

پایگاه داده GPCC را سازمان هواشناسی آلمان به درخواست سازمان هواشناسی جهانی (WMO) در سال ۱۹۸۹ ایجاد کرده است. پژوهشگران زیادی این پایگاه داده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند که در اینجا به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. بلوپریا و همکاران (۲۰۱۱) بارش جزیره ایبری را با استفاده از داده‌های GPCC، CRU، ERA-40 و IBO2 (داده‌های مختص اسپانیا و پرتغال) در فاصله سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده آنها، پایگاه GPCC بهترین پایگاه برای بررسی و شناخت ویژگی‌های بارش جزیره ایبری است. در کاری تقریباً مشابه، ژو و همکاران (۲۰۱۵) به واکاوی بارش ماهانه آسیای مرکزی با داده‌های شبکه‌بندی‌شده پرداختند. در این پژوهش از داده‌های CRU نسخه 3.21، داده‌های بارش دانشگاه دی‌لور نسخه 3.01، داده‌های مرکز بارش جهانی GPCC نسخه 6 و PREC/L در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. برای ارزیابی دقت داده‌ها از داده‌های پیمونگ‌های زمینی کشور چین استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر بارش برآوردشده کلیه پایگاه‌های داده مورد استفاده برای شبیه‌سازی بارش در مناطق کم‌ارتفاع مناسب هستند. بیشترین خطای مقادیر بارش برآوردشده پایگاه‌های داده مورد واکاوی در فصل تابستان دیده می‌شود. در بین پایگاه‌های داده مورد واکاوی، داده‌های بارش پایگاه CRU نسبت به بقیه بیشترین ریشه دوم میانگین خطا (RMSE) را دارد (ژو و همکاران، ۲۰۱۵). پارکاش و همکاران (۲۰۱۱) نیز با استفاده از دو پایگاه GPCC، GPCP و تصاویر ماهواره KALPANDA-1 دوره فعالیت بارش‌های موسمی در سال ۲۰۰۹ را بر روی شبه قاره هندوستان و مناطق پیرامون آن مطالعه و مقایسه کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که با استفاده از مقادیر بارش برآوردشده پایگاه‌های یادشده به‌خوبی می‌توان میزان بارش‌های موسمی را از نظر کمی و کیفی

قرار دادند. بر اساس نتایج این پژوهش مقادیر بارش برآوردشده پایگاه‌های به‌کار گرفته شده در مناطق غربی رشته‌کوه زاگرس بهترین عملکرد را دارند، ولی تمام پایگاه‌های مورد استفاده در سواحل دریای خزر عملکرد نسبتاً ضعیفی دارند.

اگرچه پژوهش‌هایی بر روی ارزیابی دقت داده‌های این پایگاه بر روی ایران‌زمین انجام شده است ولی هنوز پرسش‌هایی در ارتباط با دقت این پایگاه بر روی ایران‌زمین وجود دارد که این پژوهش به دنبال پاسخ به آنهاست. دقت برآورد داده‌های بارش حاصل از این پایگاه بر روی گستره ایران‌زمین به چه صورت است؟ به لحاظ زمانی دقت برآورد بارش مربوط به این پایگاه در ماه‌های مختلف سال چقدر است؟ بر پایه نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی کیفیت به‌کار گرفته شده در این پژوهش آیا می‌توان به داده‌های بارش این پایگاه اعتماد کرد؟

۲ داده‌ها و روش‌شناسی

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه داده مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) است. برای نیل به این هدف سری زمانی ماهانه داده‌های بارش سه پایگاه داده مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC)، پایگاه داده ملی اسفزاری (ASFZARI) و ایستگاه‌های همدیدی (Stations) بر روی ایران به‌کار گرفته شد. برای آنکه داوری درستی از دقت داده‌های بارش پایگاه GPCC داشته باشیم، نخست سری زمانی مشترکی برای هر سه پایگاه داده انتخاب شد. اگرچه مقادیر بارش پایگاه GPCC طی بازه زمانی ۱۹۰۱/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ دردسترس است ولی به‌دلیل نبود داده‌های کافی ایستگاهی بر روی ایران‌زمین بر آن شدید تا بازه زمانی ۱۹۶۲/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ را به‌عنوان بازه زمانی مشترک برگزینیم. از آن جایی که توان تفکیک مکانی داده‌های

اندازه‌گیری کرد (پارکاش و همکاران، ۲۰۱۱). چونکنگ‌موانگ و چو (۲۰۰۴) به ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه‌های GPCC، TRMM 3B42 و TRMM 3B43 در مقایسه با داده‌های زمینی در تایلند پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شباهت داده‌های GPCC و داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه بسیار بالا است. در کاری مشابه دینکو و همکاران (۲۰۰۸) دقت داده‌های بارش سه پایگاه GPCC و NOAA-CPC و UEA-CRU را در یک منطقه کوهستانی در آفریقا با داده‌های مشاهده‌ای زمینی مقایسه کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که همبستگی زیادی بین پایگاه‌های داده بارش به‌کار بسته شده و داده‌های پیمونگه‌های زمینی وجود دارد و بالاترین سازگاری میان پایگاه‌های بارش جهانی و پایگاه بارش ملی در پربارش‌ترین فصل مشاهده می‌شود، درحالی‌که در فصل‌های خشک این سازگاری ضعیف است (دینکو و همکاران، ۲۰۰۸).

در ایران نیز مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) مقادیر بارش پایگاه ملی اسفزاری را با مقادیر برآوردشده بارش پایگاه‌های GPCC، GPCP و CMAP مقایسه کردند. نتایج بررسی آنها نشان می‌دهد که بین پایگاه ملی و پایگاه‌های جهانی بارش به‌ویژه پایگاه داده GPCP همبستگی بالایی به‌ویژه در فصل‌های پربارش دیده می‌شود. رضیئی و همکاران (۲۰۱۱) نیز از داده‌های بارش پایگاه‌های GPCC و NCEP/NCAR برای واکاوی خشکسالی در ایران در فاصله زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مقادیر بارش پایگاه GPCC ابزار مناسبی برای نظارت بر خشکسالی در ایران است و وردایی بارش را به‌خوبی نشان می‌دهد. در کاری مشابه کتیرایی بروجردی و همکاران (۲۰۱۶) درستی و دقت داده‌های بارش پایگاه‌های GPCC، MERRA و GLDAS را در نظارت بر خشکسالی طی بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی

که $IranP_i$ میانگین وزنی بارش پهنه ایران زمین در ماه i ام و P_{ij} میزان بارش دریافتی بر روی یاخته z ام در ماه i ام است.

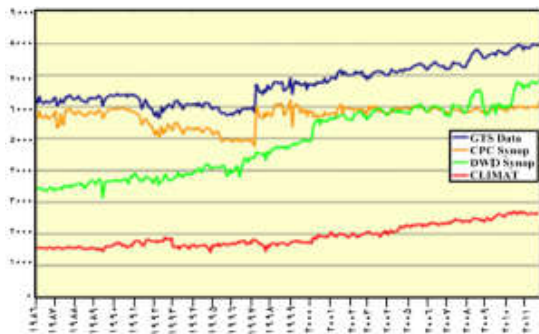
۱-۲ مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC)

این مرکز امکان دسترسی رایگان به داده‌های شبکه‌ای بارش را برای کاربران فراهم می‌کند. هدف اصلی این مرکز کمک به کاربران برای تحلیل بارش شبکه‌ای با دقت و زمان مناسب است. این محصول شامل داده‌های ماهانه بارش بر روی یک شبکه منظم با تفکیک مکانی $2/5^\circ$ ، 1° و $0/5^\circ$ درجه قوسی است. داده‌های این مرکز از پیمونگه‌هایی برگرفته شده‌اند که به لحاظ کیفیت کنترل کیفی بر روی آنها صورت گرفته است. محصولات این مرکز در دو نسخه منتشر شده است: الف) نسخه نخست آن واکاوی برپایه کل داده‌ها نام دارد که برای بازه زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ در اختیار است. به پیشنهاد مرکز این نسخه برای انجام پژوهش‌ها بر روی بیلان آب در مقیاس جهانی و منطقه‌ای مناسب است. داده‌های این نسخه برپایه داده‌های بارش برآورد شده سنجش از دور (ماهواره‌ای) و اسنجی و درستی‌سنجی شده‌اند و مدل‌های آماری مطمئنی در آن به کار گرفته شده است. نسخه دوم آن (ب) سری زمانی داده‌های بارش ۵۰ ساله VASCLIMO است که به پیشنهاد مرکز، برای شناخت تغییرات اقلیمی و واکاوی روند مناسب هستند. داده‌های نسخه اول این مرکز در شش نسخه ویرایشی انتشار یافته که جدیدترین نسخه آن GPCC V6 است. بین داده‌های نسخه ۶ و نسخه‌های قدیمی‌تر (۴ و ۵) این پایگاه بر روی برخی نقاط در برخی ماه‌ها تفاوت‌هایی دیده می‌شود که ناشی از اضافه شدن تعداد زیادی ایستگاه به آنها طی سال‌های اخیر است. دلیل دیگر تفاوت بین نسخه جدید و نسخه‌های قبلی اصلاح کردن برخی خطاهای شناسایی شده در فرایند کنترل کیفیت است که در نسخه ۶ اینگونه خطاها برطرف شده

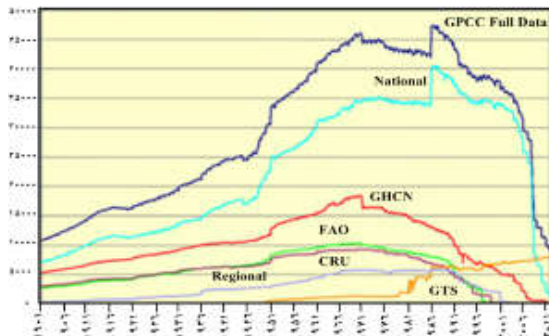
به کار گرفته شده در این پژوهش متفاوت است، در گام بعد نیازمند آنیم که تفکیک مکانی داده‌ها را یکسان کنیم. بدون انجام این کار ارزیابی دقت مکانی داده‌های بارش این پایگاه با خطا همراه خواهد بود. دقت مکانی داده‌های پایگاه GPCC، $0/5^\circ \times 0/5^\circ$ درجه قوسی است، در حالی که توان تفکیک مکانی داده‌های پایگاه ملی اسفزاری $15^\circ \times 15^\circ$ کیلومتر است. برای نمونه در عرض 35° درجه شمالی تفکیک مکانی داده‌های GPCC حدود $45/5$ کیلومتر است. در عرض یاد شده توان تفکیک مکانی داده‌های پایگاه GPCC درشت‌تر از توان تفکیک مکانی داده‌های پایگاه ملی اسفزاری و حدود سه برابر بزرگ‌تر است. در این پژوهش برای همسان‌سازی داده‌ها از نظر مکانی از تابع نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. تابع به گونه‌ای تعریف شد که نزدیک‌ترین یاخته مکانی پایگاه داده ریزمقیاس‌تر (اسفزاری) به یاخته مکانی پایگاه داده درشت‌مقیاس‌تر (GPCC) برگزیده شود. حاصل این رویکرد دو پایگاه داده با تفکیک مکانی یکسان بود و مبنای قضاوت و داوری ما در این پژوهش قرار گرفت. برای ارزیابی دقت بارش پایگاه GPCC در مقایسه با داده‌های پیمونگه‌های نیز چنین رویکردی صورت پذیرفت. تفکیک مکانی داده‌های به کار گرفته شده پایگاه GPCC، $0/5^\circ \times 0/5^\circ$ درجه طول و عرض قوسی است و با افزایش عرض جغرافیایی مساحت یاخته‌ها کاهش می‌یابد. در عرض جغرافیایی 24° ، 30° و 36° درجه به ترتیب فاصله بین دو یاخته این پایگاه در راستای محور طول (X) برابر با $50/78$ ، $48/14$ و $44/97$ کیلومتر خواهد بود. لذا برای برآورد میانگین وزنی بارش بر روی گستره ایران زمین به عنوان یک واحد مطالعاتی، کسینوس عرض جغرافیایی (Lat) به عنوان وزن داده‌ها در نظر گرفته شد.

$$IranP_i = \frac{\sum_{j=1}^N \cos(lat)_j P_{i,j}}{\sum_{j=1}^N \cos(lat)_j} \quad (1)$$

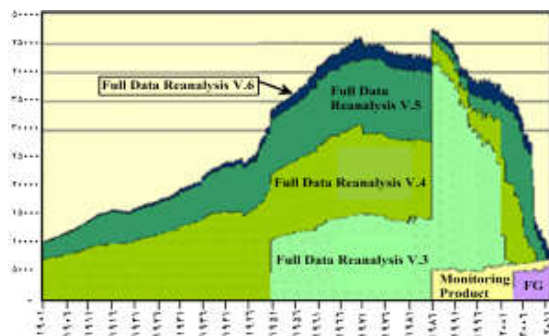
آنها گزارش‌ها نزدیک به زمان واقعی ارائه می‌شوند. شمار کل پیمونگ‌های در دسترس سامانه GTS که مقادیر بارش ماهانه را ثبت و گزارش می‌کنند روبه افزایش است. همان‌طور که در شکل ۱-الف پیداست در سال ۱۹۸۶، شمار آنها ۶۰۰۰ پیمونگ است ولی در سال‌های اخیر تعداد آنها به ۸۰۰۰ پیمونگ رسیده است.



(الف)



(ب)



(ج)

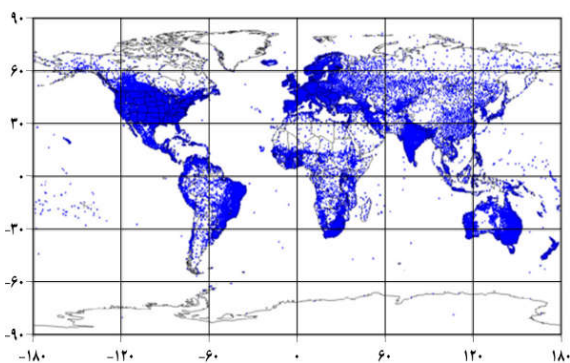
شکل ۱. (الف) شمار ایستگاه‌ها و سهم هر کدام از منابع داده بارش نزدیک به زمان واقعی، (ب) کل منابع داده و سهم آنها و (ج) سیر زمانی نسخه‌های مختلف واکاوی کامل داده‌های GPCC.

است. داده‌های GPCC از نظر مکانی کل کره زمین از ۹۰ درجه جنوبی تا ۹۰ درجه شمالی و ۰ تا ۳۶۰ درجه شرقی را دربرمی‌گیرد. این داده‌ها از نظر زمانی فاصله بین سال‌های ۱۹۰۱/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ را پوشش می‌دهند. این مرکز یکی از بزرگ‌ترین مراکز ارائه داده‌های شبکه‌بندی‌شده بارش است. از جمله ویژگی مناسب داده‌های این مرکز بهنگام بودن، و تفکیک زمانی و مکانی مناسب است.

منابع داده پایگاه GPCC برای برآورد بارش متفاوت است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آنها را برپایه برخط بودن داده‌ها به دو گروه دسته‌بندی کرد: (الف) داده‌های در دسترس نزدیک به زمان واقعی و (ب) داده‌هایی با تأخیر زمانی بیشتر. داده‌های نزدیک به زمان واقعی داده‌هایی هستند که مربوط به گزارش‌های حاصل از مشاهدات ثبت شده در پیمونگ‌های هم‌دیدگی و اقلیمی است که بین خدمات هواشناسی ملی از طریق سامانه ارتباطات از راه دور جهانی (GTS) سازمان هواشناسی جهانی (WMO) مبادله می‌شود. دلیل به کارگیری داده‌های نزدیک به زمان واقعی در این پایگاه، واکاوی‌های نزدیک به زمان واقعی شرایط جوئی است که کاربردهای متفاوتی برای برنامه‌های بین‌المللی دارد. داده‌های نزدیک به زمان واقعی را می‌توان در سه گروه جداگانه دسته‌بندی کرد: (الف) مجموع بارش ماهانه‌ای که به صورت گزارش‌های سینوپ (SYNOP) از سازمان هواشناسی آلمان، اوفنباخ (DWD) دریافت می‌شوند، (ب) مجموع بارش ماهانه گزارش‌های سینوپ که از مرکز پیش‌بینی اقلیمی سازمان NOAA (CPC) واشنگتن دریافت می‌شوند و (ج) ترکیبی از گزارش‌های ماهانه CLIMAT که از DWD، سازمان هواشناسی ژاپن (JMA)، توکیو و سازمان هواشناسی انگلستان دریافت می‌شوند. داده‌هایی که از این منابع به دست می‌آیند، کنترل کیفی شده و برای آنکه پوشش مکانی مناسبی در واحد مکان داشته باشند، با هم ترکیب می‌شوند. سرانجام برپایه

۱۳۵۵۰ پیمونگاه از FAO است. داده‌های بارش شوروی سابق بالغ بر ۲۱۸۶ پیمونگاه برای دوره ۱۸۹۱ تا ۲۰۰۱ است که با داده‌های بارگیری شده مربوط به ۵۱۸ پیمونگاه اخذ شده از نهادهای تحقیقاتی مرکز داده و اطلاعات جهانی هیدرومتئورولوژی روسیه، تا سال ۲۰۰۹ به روز شده است. آرشیو داده‌های بارش آفریقایی نیکلسون (۱۹۸۶، ۱۹۹۳، ۲۰۰۸) که شامل ۱۳۳۸ پیمونگاه تا سال ۱۹۹۸ است نیز سهم عمده‌ای در منابع داده بارش برای پایگاه GPCP هستند. در شکل ۱-ب سهم هر کدام از منابع داده بارش در پایگاه GPCP به طور جداگانه آمده است. شکل ۱-ج نیز سیر زمانی نسخه‌های مختلف واکاوی کامل داده‌های GPCP را نشان می‌دهد (اشنايدر و همکاران، ۲۰۱۴).

در شکل ۲ پراکنش مکانی پیمونگاه‌های به کار گرفته شده در پایگاه GPCP آمده است. برپایه تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه قوسی پایگاه GPCP به کار گرفته شده در این پژوهش، ۶۱۹ یاخته در داخل مرز سیاسی ایران زمین قرار می‌گیرد (شکل ۳).



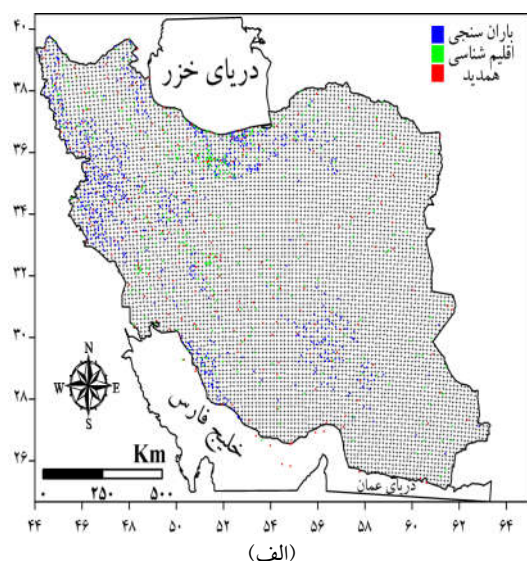
شکل ۲. پراکنش مکانی ایستگاه‌های به کار گرفته شده در پایگاه GPCP.

۲-۲ پایگاه داده بارش اسفزاری

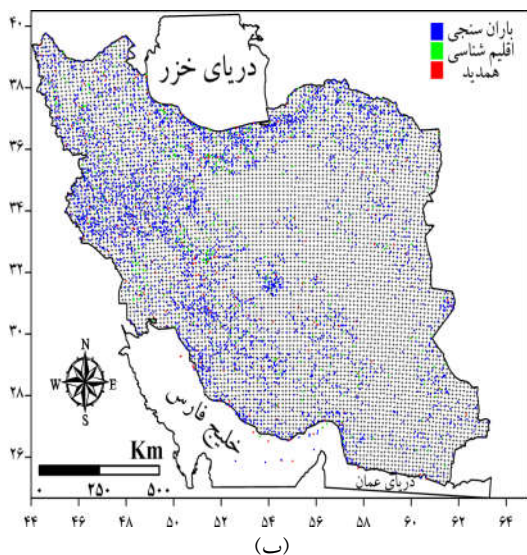
پایگاه داده بارش اسفزاری را مسعودیان (۱۳۸۴) در دانشگاه اصفهان ایجاد کرده است. نسخه نخست این پایگاه داده به کمک داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ پیمونگاه همدیدی، اقلیمی و باران‌سنجی طی بازه زمانی ۱۹۶۱/۳/۲۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ فراهم شده است (شکل ۴-۴).

همان‌طور که یاد شد گروه دوم داده‌ها از منابعی به دست می‌آیند که نسبت به گروه اول برخط نیستند و تأخیر دارند. دقت واکاوی پایگاه‌های بارش مبتنی بر پیمونگاه‌های باران‌سنجی، عمدتاً بستگی به تراکم مکانی پیمونگاه‌های به کار گرفته شده دارد. اگر هدف محاسبه میانگین پهنه‌ای بارش به کمک داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی $2/5$ درجه قوسی باشد و بخواهیم میزان خطا بیش از ۱۰ درصد نباشد، بسته به شرایط پستی و بلندی (اوروگرافیک) و اقلیمی، به ازای هر یاخته شبکه نیازمند آنیم که ۸ الی ۱۶ پیمونگاه داشته باشیم (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۸۵؛ رودولف و همکاران، ۱۹۹۴). در نتیجه، شمار کل پیمونگاه‌های مورد نیاز بر روی خشکی‌های کره زمین حدود ۴۰۰۰۰ است. بنابراین پایگاه GPCP برای آنکه دقت بهتری در برآورد بارش داشته باشد، نیازمند اطلاعات جامع‌تری از بارش پیمونگاه‌های سازمان‌های هواشناسی ملی، نهادهای تحقیقات آب و غیره می‌باشد. اگرچه شروع جمع‌آوری داده‌های پایگاه GPCP از سال ۱۹۸۶ بود ولی به پیشنهاد مسئولان طرح‌های WCRP سامانه پایش اقلیم جهانی (GCOS)، مبادله آب و انرژی جهانی (GEWEX) و تغییرپذیری و قابلیت پیش-بینی اقلیم (CLIVAR) این مرکز فعالیت خود را به لحاظ زمانی به قبل از سال ۱۹۸۶ نیز گسترش داد. تاکنون سازمان‌های هواشناسی و نهادهای تحقیقات آب حدود ۱۹۰ کشور به طور داوطلبانه، از طریق سازمان هواشناسی جهانی و یا از طریق هماهنگی‌های دوجانبه به عمل آمده توسط خود مرکز، داده‌های خود را در اختیار مرکز اقلیم-شناسی بارش جهانی (GPCP) قرار می‌دهند. علاوه بر آن داده‌های جمع‌آوری شده از CRU، GPCP V.2 و FAO که شامل حجم زیادی از داده‌های تاریخی هستند به منابع داده پایگاه بارش GPCP افزوده شده‌اند. شمار پیمونگاه-های باران‌سنجی این مراکز قابل ملاحظه است و شامل ۱۱۸۰۰ پیمونگاه از CRU، ۳۴۸۰۰ پیمونگاه از GPCP و

برگزیده، ثبت داده‌های بارش به‌طور کامل و دقیق بر روی آنها نسبت به داده‌های پیمونگاه‌های همدیدی و باران‌سنجی دیگر گستره ایران زمین، طی بازه زمانی مشترک ۱۹۶۲/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ بود. موقعیت مکانی پیمونگاه‌های همدیدی به‌کارگرفته شده در این پژوهش در شکل ۵ آمده است.



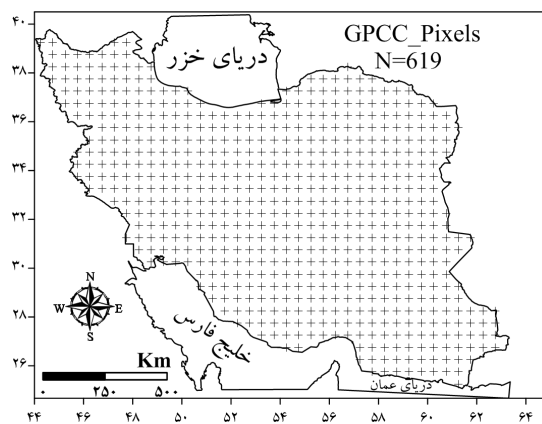
(الف)



(ب)

شکل ۴. (الف) موقعیت مکانی یاخته‌ها و ایستگاه‌های همدیدی، اقلیمی و باران‌سنجی بر روی ایران در نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری و (ب) نسخه دوم.

الف). برای انجام درون‌یابی از روش زمین‌آماری کریجینگ استفاده شده است. این پایگاه به افتخار اقلیم‌شناس برجسته ایرانی، ابوحاتم اسفزاری نامگذاری شده است. مقادیر بارش بر روی یاخته‌های ۱۵×۱۵ کیلومتر مربع بر روی پهنه ایران برآورد شده که حاصل آن ماتریسی گاه‌جای در ابعاد ۷۱۸۷×۱۵۹۹۲ است که بر روی ردیف‌ها زمان (روز) و بر روی ستون‌ها مکان (یاخته‌ها) قرار دارند. علاوه بر سنجه بارش برای سایر سنجه‌های جوئی از جمله دما و رطوبت نیز داده‌ها موجود و در دسترس است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳). نسخه دوم این پایگاه داده بر پایه داده‌های روزانه ۴۴۲۰ پیمونگاه همدیدی، اقلیمی و باران‌سنجی برای بازه زمانی ۲۰۰۵/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ با همان رویکرد به‌کارگرفته شده در نسخه اول به‌روز رسانی شده است (شکل ۴-ب). به بیانی دیگر مقادیر بارش ۳۲۸۷ روز دیگر به نسخه نخست پایگاه داده اسفزاری اضافه شد و در نهایت ماتریسی به بزرگی ۱۹۲۷۹×۷۱۸۷ به‌دست آمد.



شکل ۳. موقعیت مکانی یاخته‌های ۰/۵ × ۰/۵ درجه قوسی مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCCC).

۲-۳ پایگاه داده بارش ایستگاهی

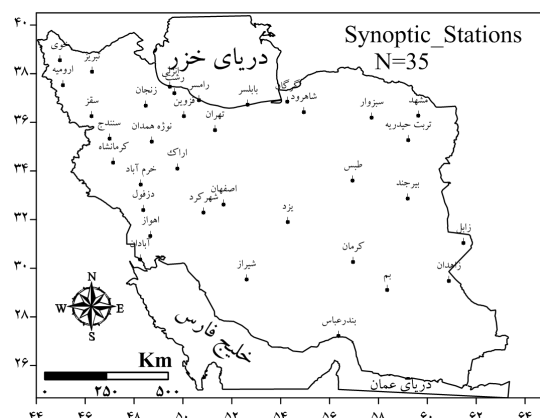
داده‌های بارش مربوط به ۳۵ پیمونگاه همدیدی بر روی گستره ایران زمین، سومین پایگاه داده بارش مورد واکاوی در این پژوهش است. دلیل انتخاب ۳۵ پیمونگاه همدیدی

توسط پایگاه GPCC و بارش مشاهده شده (o_i) پایگاه اسفزاری یا پیمونگاهی همدیدی به صورت $p_i = Ao_i + B$ باشد، آنگاه به ازای هر مقدار غیر صفر A و هر مقدار B ، میزان R^2 برابر با یک خواهد بود، حتی اگر بزرگی و تغییرپذیری مقادیر دو سری A و B تفاوت خیلی زیادی با هم داشته باشند. به بیانی دیگر تفاوت بین مقادیر بارش دو پایگاه مورد مقایسه در این شاخص در نظر گرفته نمی شود. محدودیت های این شاخص در پژوهش های ویلموت (1981)، موور (1991)، کیسلر و نیس (1994) و لیگیتس و دیویس (1997) به طور کامل آمده است.

ضریب کارایی ناش-ساتکلیف: این نمایه را ناش و ساتکلیف در سال 1970 ارائه دادند. مقادیر حاصل از آن بی بعد و بین یک تا منفی بینهایت متغیر است. هر چقدر مقدار شاخص به عدد یک نزدیک تر باشد، هماهنگی بین دو سری بیشتر است. دقت این شاخص (E) در ارزیابی مقادیر برآورد شده بیشتر از ضریب تعیین (R^2) است چرا که میزان ضریب تعیین به اندازه تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده حساسیتی ندارد. از آن جایی که تفاوت مقادیر دو سری در این رابطه به توان دو می رسد، همانند ضریب تعیین میزان E نیز بیش از حد به مقادیر فرین حساس است (لیگیتس و مک کیب، 1999):

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}, \quad (3)$$

که o_i مقدار بارش برآورد شده توسط پایگاه داده اسفزاری یا پیمونگاه های مورد استفاده و p_i برابر با مقدار بارش برآورد شده پایگاه داده GPCC است. شاخص E نسبت میانگین مربع خطا (MSE) به پراش داده های مشاهده شده است که از واحد یک کم می شود. اگر توان دوم تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده هم اندازه میزان تغییرپذیری داده های مشاهده شده باشد،



شکل 5. موقعیت مکانی ایستگاه های همدیدی مورد واکاوی بر روی گستره ایران.

برای ارزیابی دقت و درستی داده های بارش پایگاه GPCC در مقایسه با داده های پایگاه ملی اسفزاری و داده های ایستگاهی، شاخص های زیر به کار گرفته شد:

ضریب تعیین (R^2): ضریب تعیین توان دوم ضریب همبستگی بین دو پایگاه داده است و مقدار کل وردایی مقادیر بارش مشاهده شده که با مدل خطی توضیح داده می شود را می سنجد و میزان آن بین صفر تا یک متغیر است:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2, \quad (2)$$

که p_i مقدار بارش برآورد شده توسط پایگاه داده GPCC و o_i مقادیر بارش مشاهده شده پایگاه داده اسفزاری و یا مقادیر بارش مشاهده شده بر روی پیمونگاه های همدیدی است. از آن جایی که ضریب تعیین تنها رابطه خطی بین دو متغیر را می سنجد قدرت آن در حد استاندارد کردن تفاوت میانگین و پراش مقادیر مشاهده شده و برآورد شده است. بنابراین نسبت اختلاف بین داده ها را در نظر نمی گیرد (ویلموت، 1984). به زبان ریاضی فرض کنید که رابطه بین بارش پیش بینی شده (p_i)

که مقدار Est بارش برآوردشده پایگاه داده GPCC و obs مقادیر مشاهده‌شده بارش پایگاه داده ملی اسفزاری یا مقادیر مشاهده شده بارش پیمونگاه‌های همدیدی است. این شاخص، نسبت بین توان دوم خطا (صورت) و خطای بالقوه (مخرج) را در تعداد داده‌ها ضرب می‌کند و سپس حاصل را از یک کم می‌کند. خطای بالقوه که در مخرج کسر آمده است، مجموع توان دوم قدر مطلق تفاوت مقادیر برآوردشده Est از میانگین \overline{obs} و مقادیر مشاهده‌شده obs از میانگین \overline{obs} است و بزرگ‌ترین مقدار تفاوتی که می‌تواند بین مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده ($Est - obs$) وجود داشته باشد را نشان می‌دهد. همانند شاخص E ، شاخص کارایی بهتر از ضریب تعیین عمل می‌کند ولی با توجه به توان دوم رساندن تفاوت‌ها همچنان به مقادیر فرین حساسیت نشان می‌دهد.

شاخص آریبی ($Bias$): میانگین تفاوت مقادیر بارش برآورده شده از مقادیر مشاهده‌شده را نشان می‌دهد. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده می‌شود (کوهن لیچتی و همکاران، ۲۰۱۲):

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (p_i - o_i)}{N}, \quad (6)$$

که p_i مقادیر بارش برآوردشده پایگاه GPCC و o_i مقادیر بارش مشاهده‌شده پایگاه داده اسفزاری و یا داده‌های مشاهده‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدیدی و N فراوانی داده‌ها است.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE): این شاخص بیانگر تفاوت بین مقادیر برآوردشده بارش با مقادیر مشاهده‌شده است. برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2}{N}}, \quad (7)$$

مقدار E برابر با صفر خواهد بود و اگر توان دوم تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده بزرگ‌تر از میزان تغییرپذیری داده‌های مشاهده‌شده باشد، مقدار E کوچک‌تر از صفر خواهد بود. به بیانی دیگر به کارگیری میانگین مقادیر مشاهده‌شده \overline{obs} بهتر از مقادیر برآوردشده p_i خواهد بود. اگر مقدار E صفر شود بین میانگین مقادیر مشاهده‌شده \overline{obs} و مقادیر برآوردشده p_i تفاوتی وجود ندارد. در صورتی که مقدار E کوچک‌تر از صفر شود به کاربستن میانگین مقادیر مشاهده‌شده \overline{obs} پیش‌بینی‌کننده بهتری نسبت به مقادیر برآورد شده p_i خواهد بود (ویلکاکس و همکاران، ۱۹۹۰):

$$MSE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2. \quad (4)$$

شاخص توافق (IA): شاخصی بی‌بعد است که ویلموت در سال ۱۹۸۱ ارائه داد. هدف وی آن بود که عدم حساسیت شاخص‌های مبنی بر همبستگی را به تفاوت بین میانگین و پراش مقادیر داده‌های مشاهده‌شده و برآوردشده را با ارائه این شاخص حل کند. این شاخص میزان توافق بین دو سری داده مقایسه‌ای را می‌سنجد. در این شاخص، اندازه‌گیری و سنجش همبستگی مورد نظر نیست بلکه میزان عاری بودن از خطا را برای مقادیر برآوردشده ارزیابی می‌کند. مقدار شاخص IA بین دو عدد صفر و یک متغیر است. اگر دو سری داده با هم توافق کامل داشته باشند، مقدار IA برابر با یک است، ولی هرچه حاصل شاخص کمتر از یک باشد میزان توافق بین دو سری زمانی مورد مقایسه به نسبت کمتر می‌شود. برای محاسبه شاخص توافق IA از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Est - obs)^2}{\sum_{i=1}^N (|Est - \overline{obs}| + |obs - \overline{obs}|)^2}, \quad (5)$$

که N و o_i, p_i همچون مقادیر متناظرشان در رابطه (۶) تعریف می‌شوند.

ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE): از آن جایی که میزان بارش دریافتی در مناطق مختلف پهنه ایران زمین یکدست و هم‌اندازه نیست، برای شناخت بهتر دقت مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده GPCC و داشتن یک دید کلی در ارتباط با داده‌های این پایگاه به کار بستن شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی بسیار مفید و سودمند است (جونزی و همکاران، ۲۰۱۲):

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2}{\bar{o}}}, \quad (۸)$$

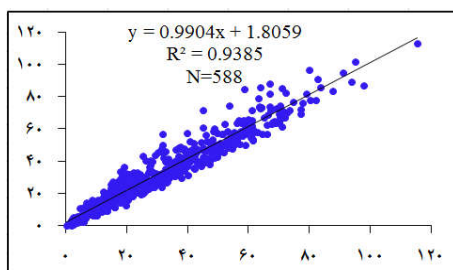
که کمیت‌های آن به تناظر با کمیت‌های رابطه (۳) تعریف می‌شوند.

۳ یافته‌های پژوهش

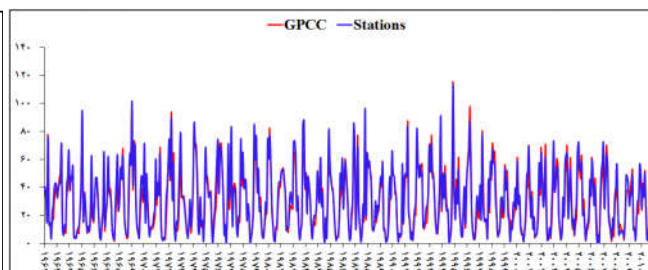
۱-۳ دقت پایگاه GPCC در مقایسه با داده‌های

مشاهده‌شده پیمونگاه‌های همدیدی

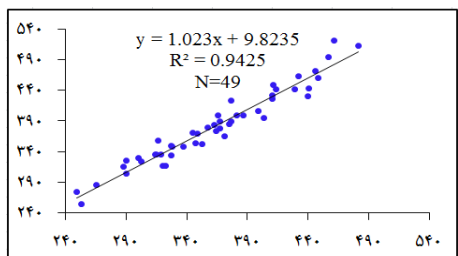
سری زمانی مقادیر میانگین بارش ماهانه پهنه ایران زمین مربوط به دو پایگاه داده مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) و پیمونگاه‌های همدیدی (Stations) طی بازه زمانی ۱۹۶۲/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ در شکل ۶-الف آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین میانگین بارش پهنه ایران زمین دو پایگاه مورد واکاوی هماهنگی بسیار خوبی وجود دارد. رابطه خطی بین سری زمانی بارش مربوط به دو پایگاه داده نیز در شکل ۶-ب نشان داده شده است. میزان ضریب تعیین (R^2) مربوط به ارتباط بین مقادیر این دو سری طی بازه زمانی مورد مطالعه (۵۸۸ ماه) برابر با ۰/۹۳۸ است. سری زمانی مقادیر بارش سالانه پهنه ایران زمین برای دو پایگاه در شکل ۶-ج نشان داده شده



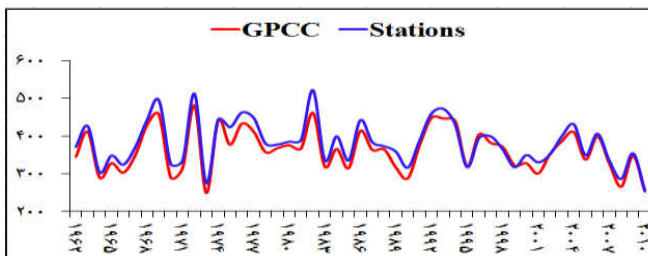
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶. سری زمانی میانگین ماهانه بارش پهنه ایران (به میلی‌متر) برپایه پایگاه داده مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) و ایستگاه‌های همدیدی (Stations) (الف)، رابطه خطی بین مقادیر ماهانه بارش دو سری زمانی (ب)، سری زمانی میانگین سالانه بارش پهنه ایران مربوط به دو پایگاه (ج) و رابطه خطی بین مقادیر سالانه بارش دو سری زمانی (د).

که مقادیر مربوط به سری زمانی بارش ماهانه اغلب پیمونگاه‌های همدیدی ایران‌زمین هماهنگی بالایی با مقادیر برآوردشده پایگاه GPCP نشان می‌دهند و در بیش از ۹۰٪ موارد به مقادیر برآوردشده بارش پایگاه GPCP می‌توان اعتماد کرد. میزان اعتماد به داده‌های بارش این پایگاه در برخی از پیمونگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر و مرکزی ۰/۷۳ الی ۰/۷۴ است. مقادیر بیش‌برآورد و کم‌برآورد پایگاه داده GPCP در مقایسه با مقادیر بارش داده‌های ایستگاهی به‌کمک شاخص آریبی سنجیده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷-الف پیداست بر روی اغلب پیمونگاه‌های همدیدی گستره ایران‌زمین مقادیر برآوردشده بارش حاصل از پایگاه GPCP کمتر از مقادیر ثبت‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدیدی است. طبیعی است که بر روی مناطق پربارش میزان این اختلاف بیشتر از مناطق کم‌بارش است. بر روی سواحل جنوب‌غرب دریای خزر (انزلی و رشت) میزان آریبی مقادیر بارش پایگاه به‌نسبت بیشتر از سایر مناطق ایران‌زمین است. به‌طور متوسط در هر ماه از سال به ترتیب ۲/۲۰ و ۸/۱۱ میلی‌متر میزان بارش کمتر از مقادیر ثبت‌شده بر روی پیمونگاه‌های همدیدی انزلی و رشت برآورد می‌شود، درحالی‌که در پیمونگاه همدیدی زاهدان در جنوب‌شرق ایران‌زمین میزان آریبی به‌طور متوسط حدود ۰/۰۳ میلی‌متر در هر ماه از سال است. ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز که بیانگر میزان خطای برآورد بارش در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای است نشان داد که در پیمونگاه‌های پربارش سواحل جنوبی دریای خزر در مقایسه با سایر پیمونگاه‌های کشور مقدار RMSE به‌نسبت بیشتر است. بیشترین و کمترین مقدار RMSE به‌ترتیب در پیمونگاه‌های انزلی و تربت حیدریه به میزان ۱۰۱ و ۵/۲ میلی‌متر است. همان‌طور که از نتایج پیداست اگرچه مقدار RMSE بر روی دو پیمونگاه انزلی و بم بسیار متفاوت است ولی مقدار RRMSE در دو پیمونگاه یاد شده تقریباً با همدیگر برابر

است. همان‌طور که در بخش داده و روش‌شناسی یاد شد در این پژوهش ۳۵ پیمونگاه همدیدی که بر روی آنها طی بازه زمانی مورد واکاوی داده بارش ثبت شده بود، انتخاب شد. به‌دلیل آنکه پراکنش مکانی پیمونگاه‌های همدیدی برگزیده شده بر روی گستره ایران‌زمین یکسان نیست و اغلب پیمونگاه‌های همدیدی گزینش شده در مناطق نسبتاً پربارش ایران‌زمین قرار گرفته‌اند، میانگین بارش سالانه پهنه ایران‌زمین برای دو پایگاه بیشتر از میانگین بارش واقعی پهنه ایران‌زمین است. اگرچه مقادیر برآورد بارش سالانه پهنه ایران‌زمین برپایه پایگاه داده GPCP در برخی از سال‌ها کوچک‌تر از مقادیر مشاهده‌شده پیمونگاه‌های همدیدی است ولی به‌طور کلی در مقیاس سالانه نیز هماهنگی بسیار مناسبی بین مقادیر دو سری دیده می‌شود. میزان ضریب تعیین در بازه زمانی سالانه بین دو سری زمانی برابر با ۰/۹۴۲ است (شکل ۶-د).

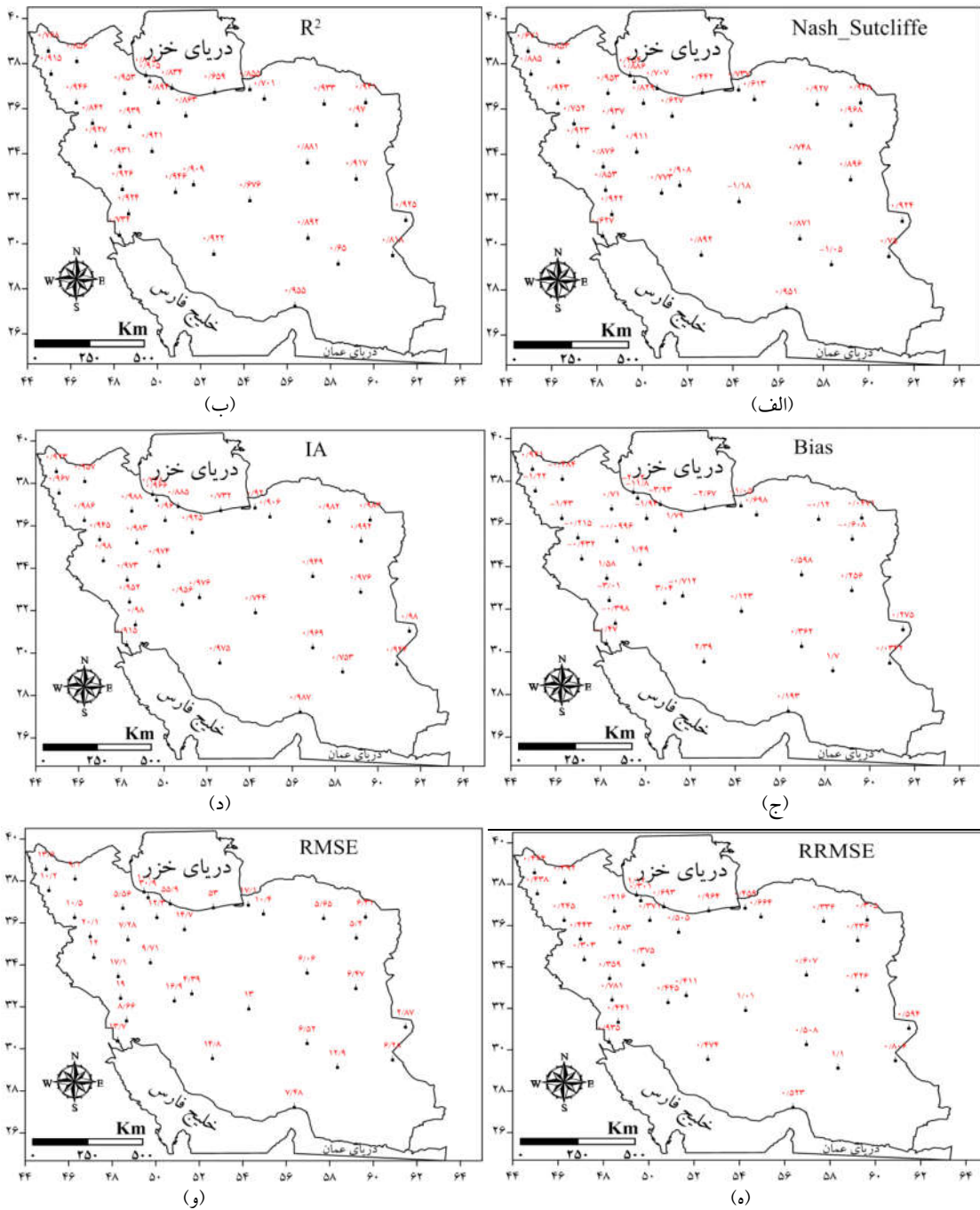
ضریب تعیین بین داده‌های ماهانه بارش پایگاه‌های GPCP و پیمونگاه‌های همدیدی نشان داد که در اغلب پیمونگاه‌های همدیدی مورد واکاوی گستره ایران‌زمین میزان این شاخص بالاست. به غیر از برخی پیمونگاه‌های همدیدی در سواحل جنوبی دریای خزر، بر روی مناطق پربارش کشور میزان ضریب تعیین سری زمانی دو پایگاه به‌نسبت بیشتر از مناطق کم‌بارش است. در برخی پیمونگاه‌های همدیدی ساحل جنوبی دریای خزر (انزلی و بابلسر)، آبادان و مناطق مرکزی ایران (بم و یزد) به‌نسبت پیمونگاه‌های دیگر ضریب تعیین پایین‌تر است. محاسبه شاخص ناش-ساتکلیف نشان داد که بر روی کلیه پیمونگاه‌های همدیدی ایران‌زمین، به غیر از دو پیمونگاه همدیدی یزد و بم، داده‌های بارش مربوط به پایگاه داده GPCP دقت مناسبی از خود نشان می‌دهند. همان‌طور که از نام شاخص توافق (IA) پیداست، این شاخص میزان هماهنگی و توافق بین مقادیر دو سری زمانی را آشکار می‌سازد. نتایج حاصل از به‌کارگیری این شاخص نشان داد

آوریل مشاهده می‌شود. ضریب تعیین در این ماه از سال ۰/۹۷۵ است. برپایه دو شاخص ضریب کارایی ناش-ساتکلیف و ضریب توافق (IA)، به کارگیری داده‌های بارش پایگاه GPCC و هماهنگی و شباهت آنها با مقادیر بارش ثبت شده بر روی پیمونگاه‌های همدیدی در سه ماهه نخست سال میلادی (فصل زمستان) و ماه مه به نسبت سایر ماه‌های سال بیشتر است. در شش ماه از سال (ژانویه، اوت تا دسامبر) مقادیر برآورد بارش پایگاه GPCC کمتر از مقادیر واقعی بارش مشاهده شده روی پیمونگاه‌های همدید ایران زمین است. این در حالی است که طی شش ماهه دیگر سال (فوریه تا ژوئیه) بیش‌برآورد بارش پایگاه GPCC بر روی پیمونگاه‌های همدیدی مشاهده می‌شود. طی ماه‌های آوریل و اکتبر به ترتیب بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی بارش بیشینه است. اگرچه ماه ژانویه یک ماه پربارش برای گستره ایران زمین به حساب می‌آید ولی همان‌طور که پیداست طی این ماه از سال پایگاه GPCC بارش ثبت شده بر روی پیمونگاه‌های همدیدی را تنها ۰/۶۱۲ میلی‌متر کمتر برآورد می‌کند.

است. دلیل تفاوت RMSE در دو پیمونگاه یادشده تفاوت مقدار بارش دریافتی این دو پیمونگاه است. بارش دریافتی پیمونگاه انزلی به طور متوسط حدود ۸ برابر بارش پیمونگاه بم است. به بیانی دیگر بر پایه شاخص RRMSE دقت مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده GPCC برای دو پیمونگاه یادشده هم‌اندازه و یکسان است. به طور کلی جدا از برخی پیمونگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر و برخی پیمونگاه‌ها در نیمه جنوبی ایران (بم، یزد، آبادان و زاهدان) دقت پایگاه GPCC در برآورد بارش بر روی اغلب گستره ایران زمین بسیار بالاست. برای آنکه به لحاظ زمانی دقت برآورد داده‌های بارش پایگاه GPCC را بر روی پهنه ایران زمین در قالب یک واحد بسنجیم، برای هر یک از ماه‌های سال جداگانه شاخص‌های به کار گرفته شده در این پژوهش حساب شد. همان‌طور که از جدول ۱ پیداست ضریب تعیین یا هم‌زمانی و هماهنگی در مقادیر بارش دریافتی بر روی پیمونگاه‌های همدیدی با مقادیر برآوردی بارش پایگاه GPCC در کلیه ماه‌های سال بیش از ۰/۹ است. در ماه‌های پربارش هماهنگی بارش بین دو پایگاه به نسبت بیشتر است. بیشترین هماهنگی بارش در ماه

جدول ۱. مقادیر ماهانه شاخص‌های مورد واکاوی بر پایه داده‌های بارش پایگاه GPCC و ایستگاه‌های همدیدی.

RRMSE	RMSE	Bias	IA	Nash-Sutcliffe	R ²	
۰/۰۷۷	۳/۸۵	-۰/۶۱۲	۰/۹۸۹	۰/۹۶	۰/۹۶۱	ژانویه
۰/۰۷۸	۳/۲۹۹	۱/۲۳۴	۰/۹۸۸	۰/۹۵۶	۰/۹۶۲	فوریه
۰/۰۹	۴/۳۹۴	۳/۲۳۸	۰/۹۸۴	۰/۹۳۳	۰/۹۷۳	مارس
۰/۱۳	۴/۸۷۱	۴/۱۲	۰/۹۷۸	۰/۹۰۹	۰/۹۷۵	آوریل
۰/۱۴۵	۳/۳۶۷	۲/۴۱۳	۰/۹۸۴	۰/۹۳۶	۰/۹۷۳	مه
۰/۱۹۷	۱/۷۲۳	۰/۳۲۶	۰/۹۷۱	۰/۸۹۴	۰/۸۹۷	ژوئن
۰/۲۳۱	۰/۴۹۹	۰/۴۳۲	۰/۹۸۳	۰/۹۳۸	۰/۹۴۶	ژوئیه
۰/۳۰۵	۳/۰۸۴	-۲/۱۶۶	۰/۹۳	۰/۷۸۴	۰/۹۵۱	اوت
۰/۳۳۶	۶/۹۸۹	-۵/۸۴۷	۰/۸۲۳	۰/۴۱۱	۰/۹	سپتامبر
۰/۳۱۱	۱۲/۲۱۳	-۱۰/۸۰۶	۰/۸۸۴	۰/۵۷۸	۰/۹۳۵	اکتبر
۰/۱۸۴	۸/۲۴۲	-۶/۴۵۸	۰/۹۶۳	۰/۸۶۵	۰/۹۵۱	نوامبر
۰/۱۰۸	۵/۵۱۲	-۴/۰۵۷	۰/۹۷۶	۰/۹۰۹	۰/۹۵۹	دسامبر



شکل ۷. ضریب تعیین، شاخص ناش-ساتکلیف، شاخص توافق (IA)، شاخص ارزیابی (Bias)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) بین داده‌های ماهانه بارش پایگاه GPCP و ایستگاه‌های هم‌مدیدی (Stations).

ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) دقت داده‌های بارش برآورد شده توسط پایگاه GPCP طی ماه‌های پربارش ایران زمین بسیار بیشتر از ماه‌های کم‌بارش است. در سه ماهه فصل زمستان به نسبت

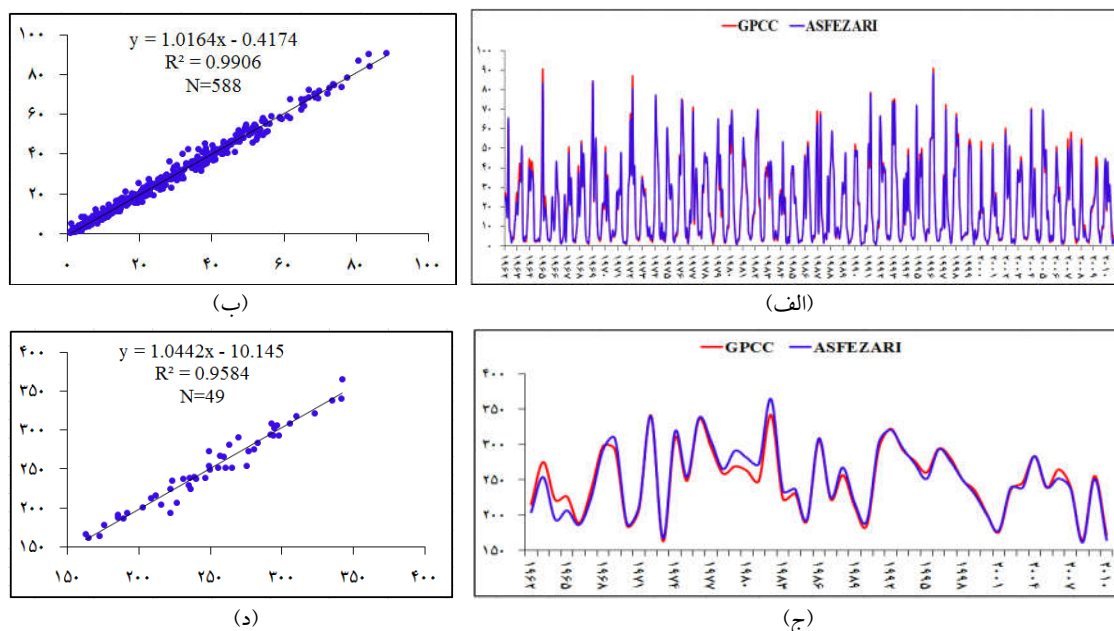
ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) در ماه اکتبر به نسبت سایر ماه‌های سال بیشتر و برابر با ۱۲/۲۱ میلی‌متر است. برپایه ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی

می‌شود. این هماهنگی نه تنها در آهنگ زمانی بردایی بلکه در مقادیر سری نیز مشاهده می‌شود (شکل ۸-الف). رابطه خطی ارتباط بین سری زمانی بارش ماهانه این دو پایگاه در شکل ۸-ب آمده است. ضریب تعیین ارتباط بین بارش در ۵۸۸ ماه مورد واکاوی بسیار بالا و برابر با ۰/۹۹ است. از آن جایی که پراکنش مکانی یاخته‌های پایگاه داده GPCC بر روی گستره ایران زمین یکنواخت است، لذا میانگین بارش سالانه پهنه ایران زمین بر پایه دو پایگاه به میانگین واقعی بارش پهنه ایران (۲۵۰ میلیمتر) نزدیک است. همانند سری زمانی ماهانه، سری زمانی میانگین وزنی سالانه بارش پهنه ایران زمین نیز در هر دو پایگاه هماهنگی بسیار بالایی با هم دارند (شکل ۸-ج). رابطه خطی سری زمانی میانگین وزنی سالانه بارش پهنه ایران زمین در شکل ۸-د آمده است. ضریب تعیین ارتباط خطی بین این دو سری زمانی برابر با ۰/۹۵۸ است.

سایر ماه‌های سال دقت مقادیر برآورد بارش بیشتر است. همچنین در سه ماه اوت، سپتامبر و اکتبر دقت پایگاه GPCC به نسبت کمتر است.

۲-۳ دقت پایگاه GPCC در مقایسه با داده‌های پایگاه ملی اسفزاری

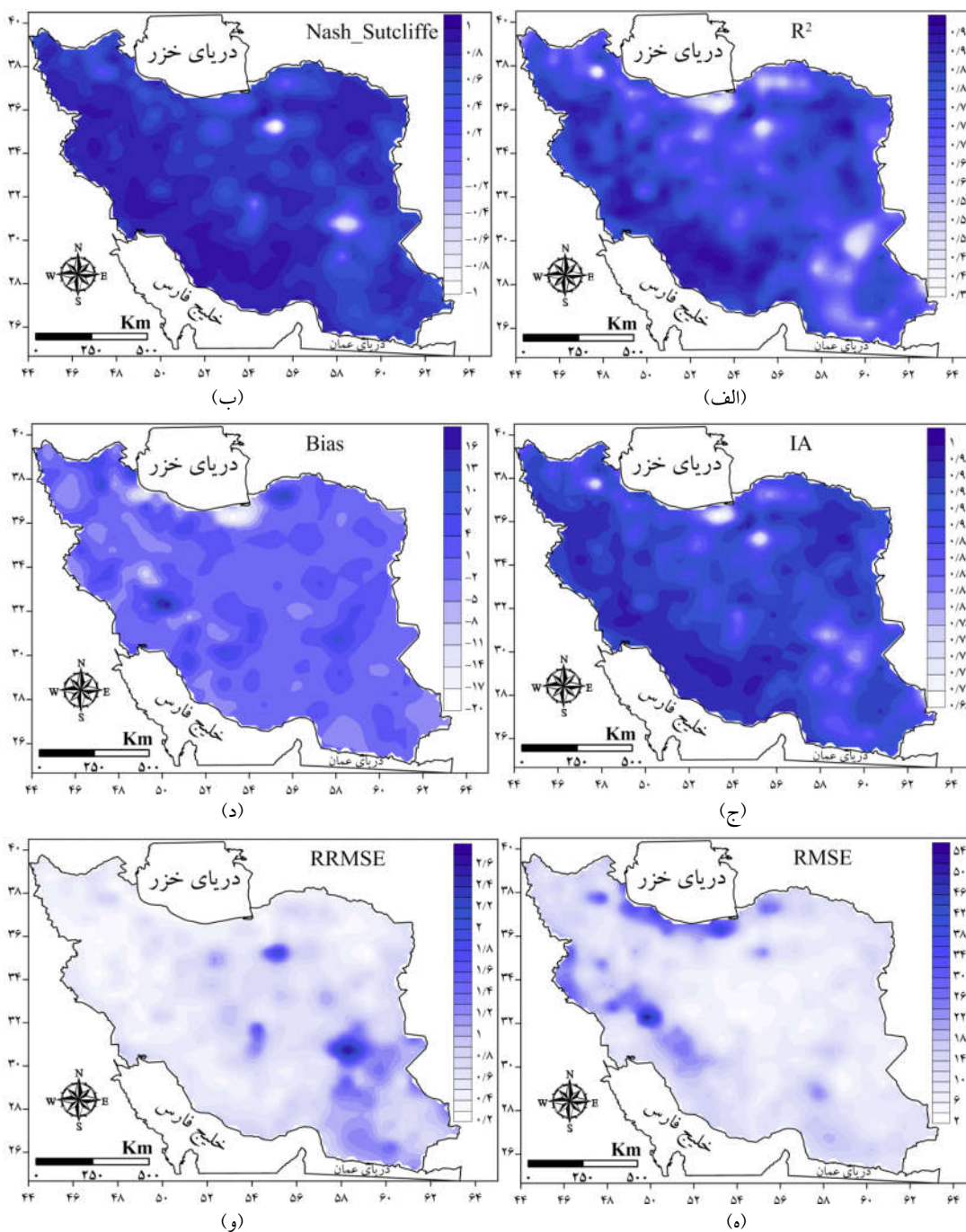
بر پایه تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه قوسی پایگاه داده بارش GPCC، ۶۱۹ یاخته مکانی در داخل مرز سیاسی ایران زمین قرار می‌گیرد. نزدیک‌ترین یاخته مکانی پایگاه داده ملی بارش اسفزاری به اندازه 15×15 کیلومتر مربع به ۶۱۹ یاخته پایگاه GPCC به کمک تابع نزدیک‌ترین همسایه برای مقایسه و ارزیابی برگزیده شدند. میانگین وزنی بارش ماهانه پهنه ایران زمین بر پایه دو پایگاه طی بازه زمانی ۱۹۶۲/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ نشان داد که هماهنگی بسیار بالایی در سری زمانی بارش این دو پایگاه دیده



شکل ۸ الف) سری زمانی میانگین ماهانه بارش پهنه ایران بر پایه پایگاه داده مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) و پایگاه داده ملی بارش اسفزاری (ASFEZARI)، ب) رابطه خطی بین مقادیر ماهانه بارش دو سری زمانی، ج) سری زمانی میانگین سالانه بارش پهنه ایران مربوط به دو پایگاه و د) رابطه خطی بین مقادیر سالانه بارش دو سری زمانی.

پربارش ایران زمین، سواحل جنوبی دریای خزر و هسته پربارش روی زاگرس به نسبت سایر مناطق میزان RMSE بیشتر است. ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) برای ارزیابی دقت مقادیر بارش برآوردشده پایگاه داده GPCC و مقایسه مناطق مختلف با هم بسیار مناسب است. نقشه پراکنش این شاخص نشان داد که در مناطق بسیار کم‌بارش ایران زمین، بیابان لوت و بخش‌هایی از مناطق مرکزی میزان شاخص RRMSE بیشتر از سایر مناطق است. این در حالی است که بر روی مناطق پربارش ایران زمین میزان RRMSE بسیار پایین است. به بیانی دیگر اگرچه مقدار شاخص RMSE در مناطق پربارش نسبت به سایر مناطق گستره ایران (به ویژه مناطق کم‌بارش) بیشینه است ولی از آن جایی که میانگین بارش دریافتی این گونه مناطق در طول سال بالاست لذا حاصل نسبت RMSE به میانگین بارش دریافتی در قالب شاخص RRMSE، بسیار کوچک خواهد بود. محاسبه شاخص‌های به کار بسته شده در این پژوهش طی ماه‌های مختلف سال برای شناخت دقت مقادیر برآوردشده بارش پایگاه GPCC در مقایسه با پایگاه داده ملی بارش اسفزاری روشن ساخت که بین میانگین وزنی بارش دو پایگاه طی ماه‌های مختلف هماهنگی بسیار بالایی وجود دارد. میزان هماهنگی میانگین وزنی مقادیر بارش برآوردشده پایگاه GPCC برای ایران زمین با پایگاه داده بارش اسفزاری در مقایسه با پایگاه داده بارش پیمونگاه‌های همدیدی بیشتر است. دلیل آن استفاده از شمار بیشتری یاخته و گزینش یاخته‌ها با فواصل کمتر از یاخته‌های پایگاه GPCC است. میزان ضریب تعیین طی ماه‌های پربارش بیشتر از سایر ماه‌های سال است. در اغلب ماه‌های پربارش سال میزان ضریب تعیین برابر و بیشتر از ۰/۹۸ است. اگرچه در ماه‌های کم‌بارش میزان ضریب تعیین نیز بالاست ولی به نسبت، کمتر از ماه‌های پربارش سال هستند. محاسبات دو شاخص کارایی ناش-ساتکلیف و توافق (IA) نیز طی ماه‌های

مقادیر حاصل از برآورد شاخص‌های به کار گرفته شده بر روی ۶۱۹ یاخته مکانی گستره ایران در شکل ۹ آمده است. نقشه ضریب تعیین بین مقادیر ماهانه بارش برآورد شده پایگاه GPCC با پایگاه داده ملی بارش اسفزاری نشان می‌دهد که بر روی گستره ایران زمین هماهنگی در وردایی بارش ماهانه این دو پایگاه در بُعد زمان بسیار بالاست، ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود بر روی مناطق مختلف هم‌اندازه و یکسان نیست. مقدار ضریب تعیین از ۰/۳۸ بر روی برخی مناطق در شمال و جنوب شرق تا حدود ۱ بر روی برخی مناطق غرب، جنوب غرب و شمال شرق متغیر است. به بیانی دیگر بر روی اغلب گستره ایران زمین به غیر از برخی مناطق در شمال و جنوب شرق کشور، بخش بزرگی از وردایی بارش ماهانه ایران زمین به کمک تغییرپذیری بارش پایگاه GPCC توجیه می‌شود. بر پایه نقشه شاخص ضریب کارایی ناش-ساتکلیف بر روی اغلب گستره ایران زمین مقدار شاخص بالای صفر است. شاخص ضریب توافق (IA) بین سری زمانی بارش ماهانه پایگاه GPCC و اسفزاری بر روی گستره ایران زمین بیانگر هماهنگی بسیار بالای مقادیر بارش این دو پایگاه است. بر روی بلندی‌های زاگرس از شمال غرب تا جنوب شرق کشور و شمال شرق میزان توافق به نسبت سایر مناطق بالاتر است. پراکنش مقادیر حاصل از محاسبه آریبی بر روی گستره ایران زمین نشان داد که بر روی سواحل جنوبی دریای خزر و برخی مناطق پراکنده، مقادیر برآورد بارش ماهانه پایگاه داده GPCC کمتر از مقادیر بارش ماهانه پایگاه داده اسفزاری است. در جنوب غرب و جنوب شرق دریای خزر، به طور متوسط پایگاه GPCC مقادیر بارش را حدود ۲۰ میلی‌متر کمتر برآورد می‌کند، در حالی که بر روی هسته پربارش روی زاگرس (یاسوج و شهرکرد)، مقادیر بارش را حدود ۱۶ میلی‌متر بیشتر برآورد می‌کند. بر پایه نقشه پراکنش ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، بر روی مناطق



شکل ۹. ضریب تعیین، شاخص ناش-سانتلیف، شاخص توافق (IA)، شاخص اریبی (Bias)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) بین داده‌های ماهانه بارش پایگاه GPCP و پایگاه داده ملی بارش اسفزاری.

اسفزاری بالاست. برپایه این دو شاخص بیشترین کارایی داده‌های این پایگاه و توافق آن با پایگاه داده اسفزاری در ماه‌های فوریه و نوامبر مشاهده می‌شود. مقادیر ماهانه

مختلف نشان داد که در اغلب ماه‌های سال کارایی و به‌کارگیری مقادیر برآوردشده بارش پایگاه GPCP و هماهنگی مقادیر بارش آن با پایگاه داده ملی بارش

جدول ۲. مقادیر ماهانه شاخص‌های مورد واکاوی برپایه داده‌های بارش پایگاه GPCC و اسفزاری

RRMSE	RMSE	Bias	IA	Nash-Sutcliffe	R ²	
۰/۰۶۳	۲/۹۶۱	۱/۰۳۱	۰/۹۹۴	۰/۹۷۹	۰/۹۸۲	ژانویه
۰/۰۵۷	۲/۰۵۹	۰/۰۹۶	۰/۹۹۶	۰/۹۸۴	۰/۹۸۴	فوریه
۰/۰۷۵	۳/۰۸۲	۱/۷۲۵	۰/۹۹۲	۰/۹۷	۰/۹۸	مارس
۰/۰۵۸	۱/۷۴۹	-۰/۶۷۱	۰/۹۹۵	۰/۹۸۲	۰/۹۸۵	آوریل
۰/۱۱۴	۱/۸۵۶	-۱/۰۵۹	۰/۹۹	۰/۹۶۴	۰/۹۷۸	مه
۰/۲۰۹	۰/۹۸۴	-۰/۱۴۳	۰/۹۷۴	۰/۹۰۷	۰/۹۱۱	ژوئن
۰/۲۱۲	۰/۸۱۷	-۰/۰۸۴	۰/۹۷۱	۰/۸۹۸	۰/۹	ژوئیه
۰/۲۴۲	۰/۹۰۳	-۰/۵۶۲	۰/۹۲۷	۰/۷۴۷	۰/۸۴۹	اوت
۰/۱۷۷	۰/۸۳۲	-۰/۵۵۷	۰/۹۴۹	۰/۸۰۵	۰/۸۹۳	سپتامبر
۰/۱۴۳	۱/۷۲	-۱/۱۰۵	۰/۹۸۷	۰/۹۵۵	۰/۹۷۷	اکتبر
۰/۰۷۶	۱/۶۲۸	-۰/۳۷۸	۰/۹۹۶	۰/۹۸۴	۰/۹۸۵	نوامبر
۰/۰۷۶	۲/۷۲۲	۰/۸۱۳	۰/۹۹۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۷	دسامبر

۴ نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی دقت داده‌های برآوردشده بارش مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCC) بود. برای انجام آن داده‌های ماهانه بارش پایگاه ملی اسفزاری و ایستگاهی همدیدی با مقادیر بارش پایگاه GPCC طی بازه زمانی ۱۹۶۲/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲ بر روی گستره ایران مقایسه شدند. نتایج حاصل از کاربست شاخص‌های ارزیابی داده‌های بارش پایگاه GPCC نشان داد که هماهنگی بسیار بالایی بین داده‌های برآوردشده این پایگاه با داده‌های بارش مشاهده شده بر روی ایستگاه‌های همدیدی و پایگاه داده ملی اسفزاری بر روی ایران وجود دارد. ضریب تعیین ارتباط بین داده‌های میانگین بارش برآوردشده ایران پایگاه GPCC در مقیاس ماهانه (سالانه) با داده‌های بارش ثبت‌شده بر روی ایستگاه‌های همدیدی ۰/۹۳۸ (۰/۹۴۲) و با مقادیر بارش پایگاه داده اسفزاری ۰/۹۹ (۰/۹۵۸) است. علاوه بر هماهنگی زمانی در افت‌وخیزهای بارش، ضریب توافق (IA) نشان داد که مقادیر بارش برآوردشده پایگاه GPCC نیز شباهت بسیار

آرایی نشان داد که در اغلب ماه‌های سال تفاوت بسیار اندکی بین مقادیر بارش برآورد شده پایگاه GPCC و پایگاه داده ملی اسفزاری برای پهنه ایران زمین وجود دارد. در اغلب ماه‌های سال (از آوریل تا نوامبر) مقادیر بارش برآورد شده ایران‌زمین پایگاه GPCC نسبت به مقادیر بارش پایگاه اسفزاری کمتر است. برعکس، در ماه‌های نوامبر و ژانویه تا مارس مقادیر برآورد بارش پایگاه GPCC بیشتر است. بیشترین آرایی مقادیر بارش این پایگاه حدود ۱/۷ میلیمتر است که در ماه مارس مشاهده می‌شود. اگرچه بیشترین آرایی و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) مربوط به این ماه از سال است ولی از آن جایی که مقادیر بارش دریافتی ایران‌زمین طی این ماه از سال به‌طور متوسط بیشتر از اغلب ماه‌های سال است، در مقایسه با اغلب ماه‌های سال (به‌ویژه ماه‌های کم‌بارش تابستانی)، ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) کمتری از خود نشان می‌دهد. کمترین مقدار RRMSE مربوط به ماه فوریه است. ماه آوریل در مرتبه بعدی قرار دارد.

کم‌بارش مرکزی و بیابان لوت است. نسبت خطا به مقدار کل بارش دریافتی در ایستگاه‌ها و مناطق پربارش بسیار کوچک‌تر از ایستگاه‌ها و مناطق بسیار کم‌بارش است. نتایج حاصل از این پژوهش کاملاً هماهنگ با یافته‌های چوکنگ‌موانگ و چو (۲۰۰۴) و بیلو-پیریرا و همکاران (۲۰۱۱) است. به لحاظ زمانی دقت مقادیر برآوردشده بارش ایران برپایه پایگاه داده GPCC در ماه‌های پربارش بیشتر از ماه‌های کم‌بارش است و این امر تأییدی بر یافته‌های دینکو و همکاران (۲۰۰۸) و ژو و همکاران (۲۰۱۵) است.

مراجع

مسعودیان، س.ا.، کیخسروکیانی، م.، و رعیت‌پیشه، ف.، ۱۳۹۳، معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه GPCC، GPCP و CMAP: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱)، ۷۳-۸۸.

- Belo-Pereira, M., Dutra, E., and Viterbo, P., 2011, Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula: *J. Geophys. Res., Atmospheres*, **116**, D20101, doi: 10.1029/2010JD015481.
- Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., and Adler, R. F., 2008, Evaluation of global precipitation in reanalyses: *J. Applied Meteorology and Climatology*, **47**(9), 2279-2299.
- Chokngamwong, R., and Chiu, L. S., 2004, Comparisons of daily Thailand rain gauge with GPCC and TRMM satellite precipitation measurements: in the 2nd TRMM International Science Conference.
- Cohen Liechti, T., Matos, J. P., Boillat J. L., and Schleiss, A. J., 2012, Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **16**, 489-500.
- Dinku, T., Connor, S. J., Ceccato, P., and Ropelewski, C. F., 2008, Comparison of global gridded precipitation products over a mountainous region of Africa: *International J. Climatology*, **28**(12), 1627-1638.

زیادی با مقادیر بارش ثبت‌شده بر روی ایستگاه‌های همدیدی و پایگاه داده اسفزاری دارد. اگرچه در برخی مناطق مقادیر بارش پایگاه دارای اُریبی است، ولی همان‌طور که ضریب ناش-ساتکلیف نشان داد مقادیر اُریبی، به‌ویژه در برخی مناطق پربارش، نسبت به مجموع بارش دریافت شده بسیار ناچیز است و کاربست مقادیر بارش برآوردشده پایگاه GPCC در صورت نبود داده‌های ایستگاهی و پایگاه داده اسفزاری بسیار مفید و سودمند است. همان‌طور که پراکنش شاخص‌های ارزیابی دقت داده‌های بارش این پایگاه نشان داد در برخی مناطق، به‌ویژه بر روی مناطق پربارش نیمه غربی و شمال شرق کشور، دقت برآورد بارش بسیار بالاست و ضریب توافق و تعین نزدیک به عدد یک است. در مناطق مرکزی و سواحل جنوبی دریای خزر (جنوب‌غرب و جنوب‌شرق دریای خزر)، دقت مقادیر بارش برآوردشده این پایگاه نسبت به سایر مناطق کمتر است. در سواحل جنوبی دریای خزر سازوکار رخنمود بارش طوری است که پراکنش مکانی مقادیر بارش وردایی بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد. به دلیل تفکیک مکانی ۰/۵ درجه قوسی پایگاه GPCC، بر روی جنوب‌غرب و جنوب شرق دریای خزر هیچ یاخته‌ای قرار نمی‌گیرد و برای ارزیابی دقت برآورد بارش بر روی این‌گونه مناطق از یاخته‌هایی استفاده شده است که در فاصله‌ای بیش از ۴۳/۸ کیلومتری جنوب، غرب یا شرق آن قرار دارد. در مناطق مرکزی ایران نیز شمار ایستگاه‌های همدیدی موجود و ایستگاه‌های به‌کار بسته شده توسط پایگاه GPCC اندک است. بنابراین طبیعی است که دقت ارزیابی در این‌گونه مناطق به نسبت سایر مناطق کمتر باشد. اگرچه بیشترین ریشه دوم میانگین مربعات خطای مقادیر بارش برآوردشده پایگاه GPCC بر روی مناطق پربارش ایران‌زمین در سواحل جنوبی دریای خزر و زاگرس مشاهده می‌شود ولی بیشترین ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی مربوط به مناطق بسیار

- Raziei, T., Bordi, I., and Pereira, L. S., 2011, An application of GPCP and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran: *Water Resources Management*, **25**(4), 1075–1086.
- Rudolf, B., Hauschild, H., Rueth, W., and Schneider, U., 1994, Terrestrial precipitation analysis: Operational method and required density of point measurements: *Global precipitations and climate change*: Springer Berlin Heidelberg, **26**, 173-186.
- Shneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christofer, A., Ziese, M., and Rudolf, B., 2014, GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle: *Theor. Appl. Climatol.*, **115**, 15–40.
- Silva, V. B. S., Kousky, V. E., and Higgins, R. W., 2011, Daily precipitation statistics for South America: An intercomparison between NCEP reanalyses and observations: *J. Hydrometeorology*, **12**, 101–117.
- Sohn, S.-J., Tam, C.-Y., Ashok, K., and Ahn, J.-B., 2012, Quantifying the reliability of precipitation datasets for monitoring large-scale East Asian precipitation variations: *International J. Climatology*, **32**, 1520–1526.
- Sylla, M. B., Giorgi, F., Coppola, E., and Mariotti, L., 2013, Uncertainties in daily rainfall over Africa: Assessment of gridded observation products and evaluation of a regional climate model simulation: *International J. Climatology*, **33**, 1805–1817.
- Takahashi, K., Yamazaki, N., and Kamahori, H., 2006, Trends of heavy precipitation events in global observation and reanalysis datasets: *SOLA*, **2**, 96–99.
- Tong, K., Su, F., Yang, D., Zhang, L., and Hao, Z., 2014, Tibetan Plateau precipitation as depicted by gauge observations, reanalyses and satellite retrievals: *International J. Climatology*, **34**, 265–285.
- Wilcox, B. P., Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., and Wight, J. R., 1990, Predicting runoff from rangeland catchments: A comparison of two models: *Water Resour. Res.*, **26**, 2401–2410.
- Willmott, C. J., 1981, On the validation of models: *Phys. Geogr.*, **2**, 184–194.
- Zhu, X., Zhang, M., Wang, S., Qiang, F., Zeng, T., Ren, Z., and Dong, L., 2015, Comparison of monthly precipitation derived from high-resolution gridded datasets in arid Xinjiang, central Asia: *Quaternary International*, **358**, 160–170.
- Junzhi, L., A-Xing, Zh., and Zheng, D., 2012, Evaluation of TRMM 3B42 precipitation product using rain gauge data in Meichuan Watershed, Poyang Lake Basin, China: *J. Resour. Ecol.*, **3**(4), 359–366.
- Katiraie-Boroujerdy, S.P., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., and Sorooshian, S., 2016, Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region: *Theor. Appl. Climatol.*, **123**, 387-398.
- Kessler, E., and Neas, B., 1994, On correlation with application to the radar reengage measurement of rainfall: *Atmos. Res.*, **34**, 217–229.
- Kidd, C., and Huffman, G., 2011, Global precipitation measurement: *Meteor. Appl.*, **18**, 334–35.
- Legates, D. R., and Davis, R. E., 1997, The continuing search for an anthropogenic climate change signal: Limitations of correlation-based approaches: *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2319–2322.
- 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.
- Lin, R., Zhou, T., and Qian, Y., 2014, Evaluation of global monsoon precipitation changes based on five reanalysis datasets: *J. Climate.*, **27**, 1271–1289.
- Moore, D. S., 1991, *Statistics Concepts and Controversies*, New York.
- Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models, I. A discussion of principles: *J. Hydrol.*, **10**, 282–290.
- Nicholson, S.E., 1986, The spatial coherence of African rainfall anomalies: Interhemispheric teleconnections: *J. Climate. Appl. Meteor.*, **25**, 1365–1381.
- Nicholson, S.E., 1993, An overview of African rainfall fluctuations of the last decade: *J. Climate.*, **6**, 1463–1466.
- Nicholson, S.E., 2008, The intensity, location and structure of the tropical rainbelt over West Africa as a factor in interannual variability: *Int. J. Climatology*, **28**, 1775–1785.
- Prakash, S., Mahesh, C., and Gairola, R. M., 2011, Large-scale precipitation estimation using Kalpana-1 IR measurements and its validation using GPCP and GPCC data: *Theor. Appl. Climatol.*, **106**(3-4), 283–293.