

بررسی دقت اطلاعات بارش شبکه‌بندی شده جهانی در حوضه دریاچه ارومیه

سید محمد حسینی موغاری^۱، شهاب عراقی نژاد^۲، کیومرث ابراهیمی^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۷)

چکیده

در این مقاله به ارزیابی دقت اطلاعات چهار پایگاه بارش شبکه‌بندی شده جهانی شامل CRU، GPCC، PCDR و DEL در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شده است. بدین منظور از بارش مشاهداتی در شش ایستگاه همدیدی شامل ارومیه، مهاباد، تکاب، تبریز، مراغه و سقز بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ استفاده شد. ارزیابی‌ها بر اساس ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE)، ضریب همبستگی (CC)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و Bias انجام گرفت. نتایج در تمام مقیاس‌ها (ماهانه، فصلی و سالانه)، حاکی از عملکرد مناسب GPCC بود. برای مثال در مقیاس سالانه، GPCC به ترتیب با NSE، CC و RMSE برابر با ۰/۸۷، ۰/۹۴ و ۳۱/۱۲ میلی‌متر، بهتر از سایر پایگاه‌ها عمل نموده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد CRU نیز قابل قبول است. این پایگاه بر اساس Bias بهتر از GPCC عمل کرده است. همچنین PCDR و DEL عملکرد قابل قبولی در هیچ مقیاس زمانی نداشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پایگاه بارش، CRU، GPCC، PCDR، DEL.

مقدمه

یکی از محدودیت‌های جدی در انجام مطالعات در حوزه‌ی منابع آب و هیدرولوژی، کمبود اطلاعات مورد نیاز از نظر مکانی-زمانی است. مهم‌ترین پارامتر لازم در این زمینه بارش است که اندازه‌گیری دقیق آن، نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارد. بارش یکی از عناصر مهم چرخه آب است که در زمینه‌های مختلف از قبیل هواشناسی، منابع آب و کشاورزی از اهمیت فراوانی برخوردار است (Ebert *et al.*, 2007). اطلاعات قابل اطمینان و کامل بارش، مهم‌ترین چالش در تجزیه و تحلیل بارش و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب است (Moazami *et al.*, 2013; Jiang *et al.*, 2016) این مسئله در سراسر جهان به‌عنوان یک چالش شناخته می‌شود؛ اما در کشورهای در حال توسعه این مسئله حادث‌تر است (Behrangi *et al.*, 2011; Meng *et al.*, 2014)

به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، توپوگرافی و جغرافیایی، ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری اطلاعات هواشناسی از پراکندگی و تراکم مناسبی برخوردار نیستند (Su *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2016)؛ بنابراین، نمی‌توان دید صحیحی از وقایع مکانی نظیر بارش

با استفاده از تعداد نقاط محدود برداشت اطلاعات در ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی داشت. با پیشرفت علم و نیاز به تحقیقات با مقیاس مکانی-زمانی مختلف در زمینه هواشناسی، هیدرولوژی و منابع آب، پایگاه‌هایی توسعه یافته‌اند که اطلاعات لازم برای انجام این تحقیقات را در اختیار محققان قرار می‌دهند. این پایگاه‌ها با تفکیک مکانی منطقه‌ای یا جهانی و تفکیک زمانی چند ساعته تا ماهانه توسعه یافته‌اند. اطلاعات لازم برای توسعه این پایگاه‌ها از سه منبع مختلف به‌دست می‌آید که عبارتند از داده‌های ایستگاهی؛ مشاهدات ماهواره‌ای و اجرای مدل‌ها اتمسفری-هیدرولوژیکی. برخی پایگاه‌ها تنها از ترکیبی از این منابع اطلاعاتی استفاده می‌کنند و برخی دیگر از ترکیبی از آنها بهره می‌گیرند. برای نمونه پایگاه‌های^۱ APHRODITE و^۲ CRU تنها از اطلاعات زمینی، پایگاه‌های^۳ PERSIANN و^۴ CMAP از اطلاعات ماهواره‌ای، پایگاه‌ها^۵ TRMM و^۶ GPCP از ترکیب اطلاعات زمینی و

1. Asian Precipitation - Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation
2. Climatic Research Unit
3. Precipitation Estimation From Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks
4. CPC Merged Analysis Of Precipitation
5. Tropical Rainfall Measuring Mission
6. Global Precipitation Climatology Project

نتایج ایشان حاکی از آنومالی^۸ مثبت بارش و دما در مناطق شمالی منطقه مطالعاتی و آنومالی منفی در مناطق جنوبی منطقه بود. در مطالعه‌ای دیگر، Guo *et al.* (2016) اطلاعات بارش (PCDR) ^۹ PERSIANN-CDR را به منظور پایش خشکسالی در چین بین سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۴ مورد ارزیابی قرار دادند. شاخص ^{۱۰} SPI به‌عنوان شاخص خشکسالی در مقیاس‌های یک، سه، شش و دوازده ماهه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده الگوی یکسان در نتایج پایش خشکسالی توسط اطلاعات زمینی و PCDR بود. بیشترین هم‌خوانی در مقیاس شش‌ماهه SPI مشاهده شد.

با این که استفاده از اطلاعات پایگاه‌های بارش جهانی دو محدودیت تفکیک مکانی-زمانی مناسب و سری زمانی طولانی مدت بارش که لازمه مطالعات اقلیمی و هیدرولوژی است را مرتفع می‌سازد؛ اما با این وجود نمی‌توان یک پایگاه را به‌عنوان بهترین پایگاه در تمام مناطق معرفی کرد، چون دقت پایگاه‌ها از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است (Duan *et al.*, 2016) و باید بررسی شود که یک پایگاه به تنهایی یا ترکیبی از آنها می‌تواند بهترین نتایج ممکن را حاصل نماید (Tanarhte *et al.*, 2012) در مناطقی با شبکه ایستگاه‌های زمینی پراکنده و کم، مانند ایران، اهمیت استفاده از این پایگاه‌ها دو چندان است. در این راستا در مقاله حاضر، به ارزیابی اطلاعات بارش جدیدترین نسخه GPCC (نسخه ۷)، CRU TS 3.23، PCDR و DEL در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شده است. اطلاعات بارش GPCC، CRU و DEL دارای مقیاس زمانی ماهانه و مقیاس مکانی ۰/۵ درجه هستند و اطلاعات PCDR دارای مقیاس زمانی روزانه و مقیاس مکانی ۰/۲۵ درجه می‌باشد. ویژگی مشترک این پایگاه‌ها، سری زمانی بلندمدت اطلاعات آنها و استفاده از اطلاعات ایستگاهی در ایجاد این پایگاه‌ها است. به منظور مقایسه و ارزیابی اطلاعات شبکه‌بندی بارش، از اطلاعات شش ایستگاه هم‌دیدگی در سطح حوضه در یک دوره ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۳ استفاده شد. در ادامه روش کار و نتایج مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه ارومیه در شمال غرب ایران قرار گرفته و به وسیله بخش

ماهورهای و ^۱ MERRA و ^۲ GLDAS از اجرای مدل‌های سطح زمین حاصل می‌گردند. لذا، موارد اخیر در دسته پایگاه‌های داده‌های سنتز شده جای می‌گیرند.

اطلاعات پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی شده در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه Javanmard *et al.* (2010) به بررسی دقت اطلاعات TRMM 3b42 در گستره ایران بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ پرداختند، نتایج نشان دهنده همبستگی مناسب اطلاعات TRMM 3b42 در ایستگاه‌های مورد بررسی و کم تخمینی اطلاعات این پایگاه بود. در تحقیق دیگری که توسط Ghajarnia *et al.* (2015) انجام شد، اطلاعات APHRODITE، PERSIANN، CMORPH و TRMM در حوضه ارومیه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج برتری اطلاعات APHRODITE را نسبت به سایر پایگاه‌ها نشان داد. (Hajihoseini *et al.* 2015) به‌منظور بررسی تغییرات متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در بالادست حوضه هیرمند در قرن گذشته از اطلاعات CRU استفاده کردند. نتایج این تحقیق کارایی اطلاعات CRU را نشان داد. در تحقیقی دیگر، Azizi *et al.* (2016) به ارزیابی اطلاعات بارش APHRODITE، GPCC و ^۳ DEL در چند ایستگاه باران‌سنجی در ایران پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد APHRODITE در نواحی شمال غربی و داخلی ایران مناسب‌تر است و GPCC برای مناطق غربی، شمال شرقی، جنوب و جنوب شرقی عملکرد بهتری دارد.

تحقیقات بین‌المللی زیادی نیز در این زمینه انجام شده است. برای نمونه Tanarhte *et al.* (2012) به ارزیابی روند بارندگی و دما بر اساس اطلاعات هشت پایگاه شامل CRU، GPCC، ^۴ DEL، ^۵ CPC-PREC، ^۶ CPC GHCN/CAMS، ^۷ ENSEMBLES و ^۸ ECMWF در مناطق مدیترانه و خاورمیانه پرداختند. نتایج آنها نشان داد در اکثر موارد همبستگی اطلاعات پایگاه‌های مختلف مناسب است. تمام پایگاه‌ها روند افزایشی در دما و کاهش در بارش را در منطقه نشان دادند. مطالعه Ongoma and Chen (2016) به بررسی تغییرات مکانی-زمانی دما و بارندگی در شرق آفریقا با استفاده از اطلاعات دما و بارش پایگاه CRU و بارش GPCC پرداخت.

1. Modern-Era Retrospective Analysis For Research And Applications
2. Global Land Data Assimilation System
3. University of Delaware
4. Climate Prediction Center Precipitation
5. Climate Prediction Center Precipitation - Global Historical Climatology Network - Climate Anomaly Monitoring System
6. ENSEMBLES gridded data set
7. ECMWF reanalysis

8. Anomaly

9. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks—Climate Data Record

10. Standardized Precipitation Index

۱۳۱۱۴ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها و حدود ۴۶۳۹ کیلومترمربع آن را نیز دریاچه ارومیه در بر گرفته است. در این تحقیق از آمار بارش ماهانه شش ایستگاه همیدی در سطح حوضه دریاچه ارومیه که دارای آمار بلندمدت (۲۰۱۳-۱۹۸۴) بودند، استفاده شد. این شش ایستگاه شامل ایستگاه‌های ارومیه، مهاباد، تکاب، تبریز، مراغه و سقز می‌باشند. از آنجا که ماهیت پایگاه‌های شبکه‌بندی شده، ارائه مکانی اطلاعات است، بارش این شش ایستگاه با استفاده از روش چندضلعی‌های تیسن به بارش متوسط منطقه‌ای، برای حوضه تبدیل گردید. همچنین علاوه بر مقایسه منطقه‌ای، بررسی بارش به صورت ایستگاه به ایستگاه نیز صورت گرفت. لازم به ذکر است، در مواردی نیاز به بازسازی و تکمیل اطلاعات بود؛ که به این منظور از طریق برازش معادله رگرسیونی نسبت به تکمیل اطلاعات اقدام گردید. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های همیدی مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	ضریب تغییرات بارندگی (درصد)
ارومیه	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۵/۹	۳۱۲	۳۰
مهاباد	۴۵/۷۲	۳۶/۷۷	۱۳۸۵	۴۰۱	۲۴
تکاب	۴۷/۱۲	۳۶/۳۸	۱۷۶۵	۳۳۸	۳۱
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱	۲۴۷	۲۲
مراغه	۴۶/۲۷	۳۷/۴۰	۱۴۷۷/۷	۳۰۲	۳۰
سقز	۴۶/۲۷	۳۶/۲۵	۱۵۲۲/۸	۴۶۳	۲۷

پایگاه اطلاعات CRU

مرکز تحقیقات اقلیمی (CRU) در دانشکده انگلیا^۱ شرقی در انگلستان در سال ۱۹۷۲ تأسیس شد. این پایگاه اطلاعات اقلیمی مختلفی را برای کل جهان ارائه می‌دهد. پایگاه CRU اطلاعات بارندگی خود را از درون‌یابی اطلاعات ایستگاه‌های زمینی به دست می‌آورد. در این مقاله از سری زمانی اطلاعات بارندگی این مرکز به نام CRU TS 3.23 استفاده شده است. این اطلاعات با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ و تفکیک زمانی ماهانه، از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۴ برای کل جهان در دسترس است. داده‌های بارندگی ماهانه مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ این مجموعه در مقاله حاضر مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات اقلیمی مختلف CRU بر روی درگاه اینترنتی به نشانی <http://www.cru.uea.ac.uk/data> در دسترس است.

پایگاه اطلاعات GPCP

پایگاه بارش GPCP در سال ۱۹۸۹ به درخواست سازمان جهانی هواشناسی^۲ (WMO) تأسیس شد و توسط سازمان هواشناسی آلمان اداره می‌شود. این پایگاه اطلاعات بارش با تفکیک‌های مکانی ۰/۲/۵×۰/۲/۵، ۱×۱ و ۰/۵×۰/۵ درجه را به صورت ماهانه در اختیار پژوهش‌گران قرار می‌دهد. این پایگاه تا کنون نسخه‌های مختلفی از اطلاعات بارش را ارائه داده است. در این مقاله از آخرین اطلاعات این مرکز، اطلاعات بازکاوی^۳ شده نسخه ۷ با تفکیک ۰/۵×۰/۵ درجه استفاده شد. اطلاعات بارش بازکاوی شده این پایگاه از اطلاعات بارندگی ۶۴۴۰۰ ایستگاه زمینی در ترکیب با داده‌های سنجش‌ازدور و مدل‌های عددی ایجاد شده‌اند. اطلاعات بارش این مجموعه برای سال‌های ۱۹۰۱ تا

2. World Meteorological Organization

3. Reanalysis

1. Anglia

روش کار

بعد از دریافت اطلاعات بارش از پایگاه‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB اطلاعات مدیریت گردید و برای حوضه ارومیه؛ پنج سری زمانی بارش (داده‌های مشاهداتی، CRU، GPCP، PCDR و DEL) به‌دست آمد. به‌منظور بررسی دقت پایگاه‌های بارش، علاوه بر مقایسه مقدار بارندگی پایگاه‌های مختلف با بارش مشاهداتی، چهار معیار ضریب کارایی نش-ساتکلیف^۵ (NSE)، ضریب همبستگی^۶ (CC)، جذر میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE) و گرایش (Bias) نیز استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (P_t - \hat{P}_t)^2}{\sum_{t=1}^T (P_t - \bar{P})^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t - \bar{P})(\hat{P}_t - \bar{\hat{P}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (P_t - \bar{P})^2 \sum_{t=1}^T (\hat{P}_t - \bar{\hat{P}})^2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (P_t - \hat{P}_t)^2}{T}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$Bias = \frac{\sum_{t=1}^T \hat{P}_t - \sum_{t=1}^T P_t}{\sum_{t=1}^T P_t} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

در روابط فوق P_t : مقدار بارش مشاهده شده در زمان t (میلی-متر)، \hat{P}_t : مقدار بارش پایگاه جهانی مورد نظر در زمان t (میلی-متر) و T : طول دوره مورد مطالعه است. ارزیابی‌ها در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه صورت گرفت و معیارهای کارایی در تمام مقیاس‌ها محاسبه شدند. در قسمت بعد، نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها ارائه شده است.

نتایج و بحث

بررسی دقت پایگاه‌ها جهانی بارش در مقیاس ماهانه

شکل (۱) میانگین بارندگی ماهانه مشاهداتی ایستگاه‌های مورد بررسی را، در کنار بارش به‌دست آمده از پایگاه‌های مختلف

موجود است. در این مقاله، از اطلاعات بارندگی این پایگاه مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳، استفاده شد. اطلاعات بارندگی GPCP بر روی درگاه اینترنتی به نشانی <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html> قابل دریافت است.

پایگاه اطلاعات PERSIANN-CDR

پایگاه PERSIANN-CDR (PCDR) اطلاعات بارش را از سال ۱۹۸۳ تا حال، با تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه و مقیاس زمانی روزانه در اختیار کاربران قرار می‌دهد. اطلاعات این پایگاه که از طریق داده‌های ماهواره‌ای حاصل می‌گردد؛ توسط اطلاعات بارش GPCP اصلاح می‌گردد (Ashouri *et al.*, 2015). با توجه به مقیاس زمانی و مکانی مناسب این پایگاه، PCDR قابلیت استفاده در محدوده‌ی وسیعی از مطالعات در حوزه‌های هیدرولوژی و منابع آب را دارد. در این تحقیق، اطلاعات بارش PCDR بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات بارش PCDR از طریق آدرس <ftp://data.ncdc.noaa.gov/cdr/persiann/files> قابل دریافت است.

پایگاه اطلاعات Delaware Precipitation

پایگاه University of Delaware (DEL) در مقیاس ماهانه دما و بارش را برای کل جهان در اختیار محققان قرار می‌دهد. این پایگاه اطلاعات بارش ایستگاهی را از چندین منبع شامل شبکه جهانی دیرینه اقلیم^۱، سازمان محیط‌زیست کانادا، موسسه هیدرومتئولوژی در سنت‌پترزبورگ روسیه، شبکه اطلاعات اقلیمی گرینلند^۲ و مرکز ملی مطالعات جوی^۳ (NCAR) دریافت می‌کند و با استفاده از روش درون‌یابی^۴ CAI به اطلاعات شبکه‌بندی بارش تبدیل می‌کند. تا به امروز چهار نسخه از اطلاعات DEL منتشر شده است؛ که نسخه چهارم آن دوره ۱۱۴ ساله مربوط به ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۴ را در بر می‌گیرد. در این مطالعه از اطلاعات بارش نسخه چهارم این پایگاه بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ استفاده گردید. قدرت تفکیک مکانی این پایگاه $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ درجه است. درگاه http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDeI_AirT_Precip.htm برای دریافت اطلاعات این پایگاه استفاده شد.

1. Global Historical Climate Network

2. Greenland Climate Network

3. National Center for Atmospheric Research

4. Climatologically Aided Interpolation

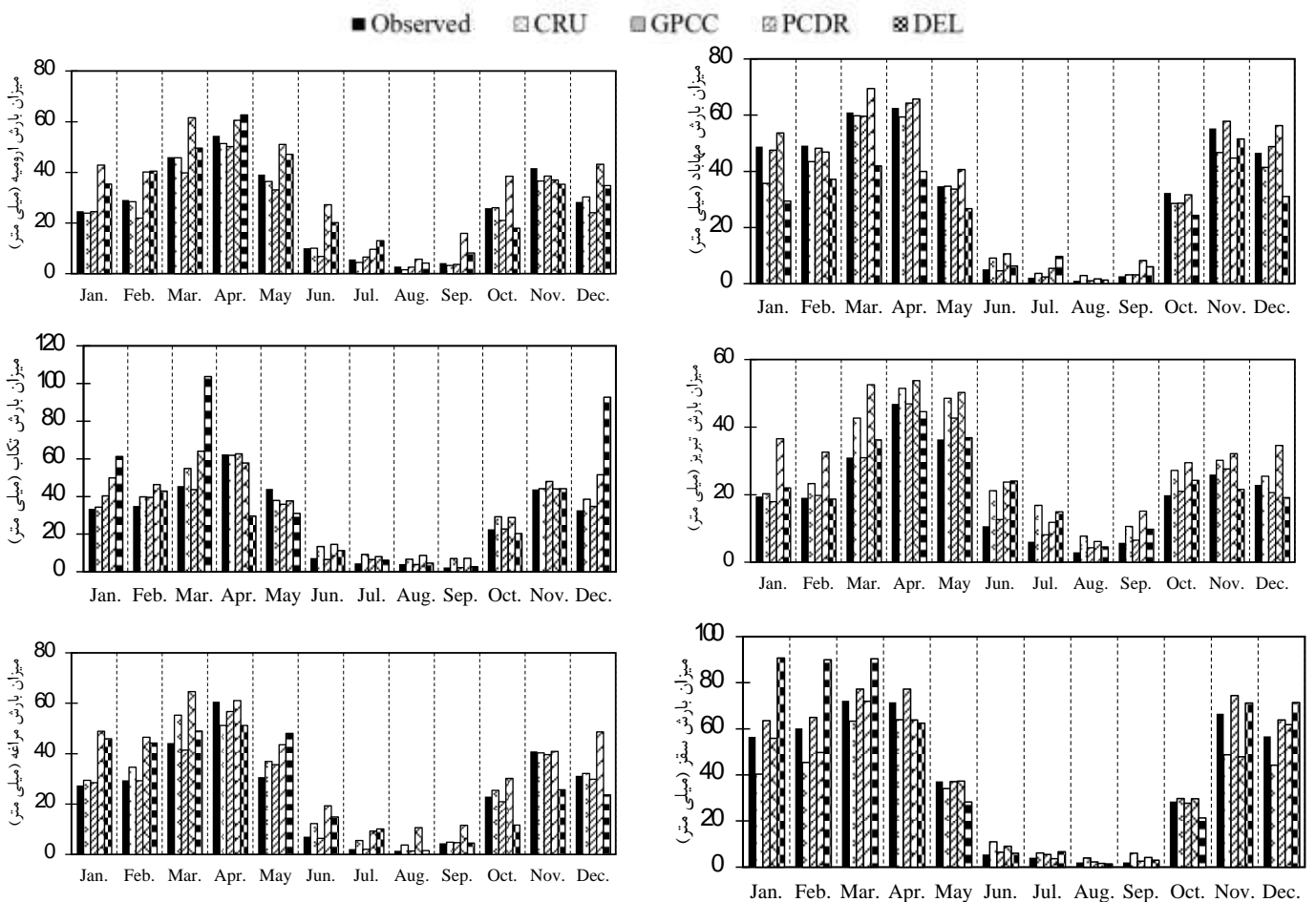
5. Nash-Sutcliffe Efficiency

6. Correlation Coefficient

7. Root Mean Square Error

بارش را بیشتر از مقدار مشاهداتی تخمین زده‌اند. در سایر ایستگاه‌ها به طور متوسط GPCP بهتر از CRU عمل نموده است و مقادیر بارش را نزدیک به مقدار واقعی تخمین زده است. برای مثال در ایستگاه مهاباد متوسط بارندگی ماهانه مشاهداتی ۳۳/۴۴ میلی‌متر بر ماه و بارش متوسط ماهانه حاصل از GPCP برابر ۳۳/۳۱ میلی‌متر بر ماه بوده است. این مقدار برای پایگاه CRU، PCDR و DEL به ترتیب برابر ۳۰/۷۰، ۳۶/۲۷ و ۲۵/۴۴ میلی‌متر بر ماه به دست آمده است.

نشان می‌دهد. بر این اساس، در ایستگاه ارومیه عملکرد CRU و GPCP بهتر از دو پایگاه دیگر است. در این ایستگاه PDCR و DEL در اکثر ماه‌ها بارش را بیش از مقدار مشاهداتی تخمین زده‌اند. بیشترین بیش تخمینی PCDR و DEL به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئن (۱/۷ برابر) و ژوئیه (۱/۳ برابر) بوده است. پایگاه GPCP در این ایستگاه کمی، کم تخمین است؛ به نحوی که در مجموع متوسط ماهانه، حدود ۳۹ میلی‌متر بارش را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده است. وضعیت PCDR و DEL در ایستگاه‌های دیگر نیز به همین صورت است و در اکثر موارد



شکل ۱. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پایگاه‌های جهانی بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه

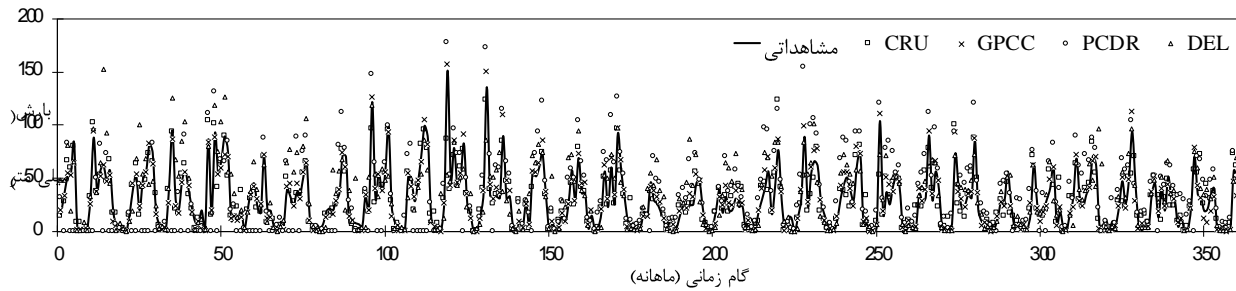
اطلاعات بارش پایگاه‌های جهانی با بارش مشاهداتی، نمودار پراکنش اطلاعات، به صورت مجزا برای هر پایگاه داده، در شکل (۳) ترسیم شده است.

شکل (۳) پراکنش بارش مشاهداتی و بارش حاصل از پایگاه‌های جهانی در سطح حوضه ارومیه را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، اطلاعات GPCP بهترین پراکنش را حول خط $y=x$ دارد. بعد از GPCP، CRU عملکرد مناسبی داشته است، اما این پایگاه، بارش‌های بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر را با اختلاف

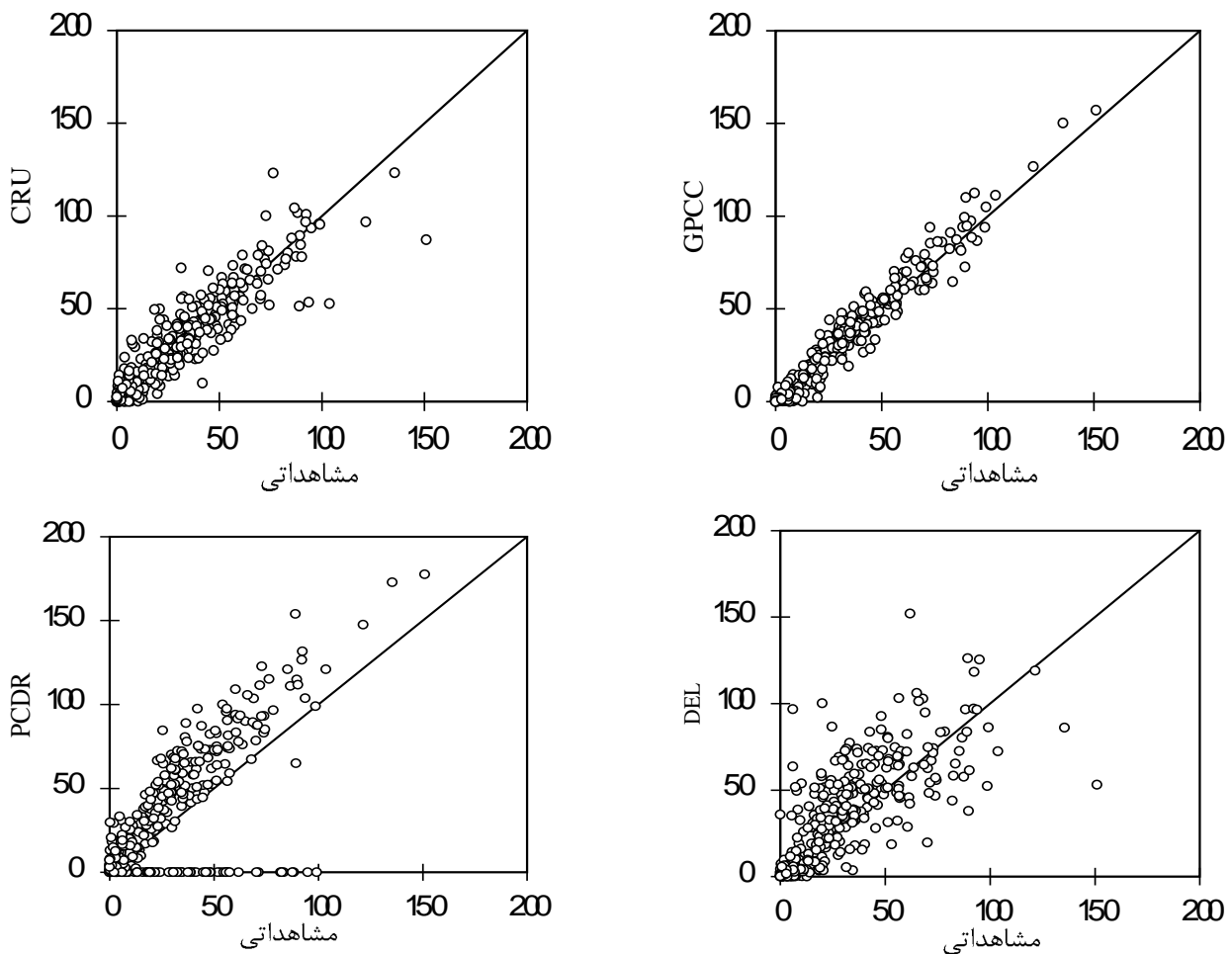
به منظور بررسی مکانی بارش، اطلاعات بارش ایستگاهی، بر اساس روش چندضلعی‌های تیسن به بارش متوسط منطقه‌ای برای حوضه ارومیه تبدیل شد. شکل (۲)، سری زمانی بارش متوسط حوضه ارومیه را برای تمام پایگاه‌های بارش، در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد. در این شکل، بهترین تطابق مربوط به CRU و GPCP بوده و بدترین تطابق مربوط به اطلاعات بارش PCDR است. عدم تطابق پایگاه‌ها در اکثر موارد به صورت بیش برآورد ظاهر شده است. به منظور بررسی دقیق‌تر میزان تطابق

این پایگاه در مقایسه با GPCC و CRU بیشتر است. متوسط بارش ماهانه مشاهداتی حوضه برابر ۲۹/۳۸ میلی‌متر بر ماه و برای CRU برابر ۲۹/۸۸ میلی‌متر بر ماه به‌دست آمده است. این مقدار برای پایگاه‌های GPCC، PCR و DEL به ترتیب برابر ۳۰/۰۴، ۳۵/۲۷ و ۳۴/۴۹ است.

برآورد کرده است. پایگاه PCDR مقدار بارش برخی ماه‌ها را، با وجود بارش مشاهداتی، صفر تخمین زده است، اما در اکثر موارد بارش را بیش از مقدار مشاهداتی برآورد کرده است و اطلاعات آن بالای خط $y=x$ قرار گرفته‌اند. اطلاعات بارش پایگاه DEL وضعیت بهتری نسبت به PCDR دارند، اما نسبت به دو پایگاه دیگر عملکرد مناسبی نداشته است و دامنه پراکنش اطلاعات



شکل ۲. سری زمانی بارش ماهانه مشاهداتی و پایگاه‌های جهانی در حوضه ارومیه

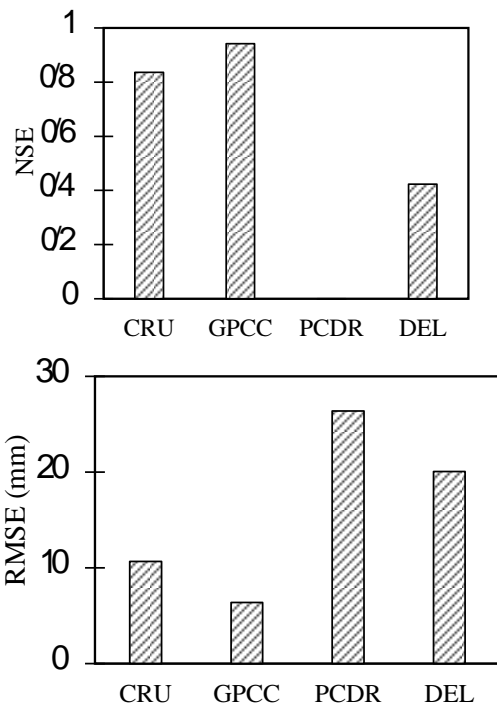


شکل ۳. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پایگاه‌های جهانی در حوضه ارومیه

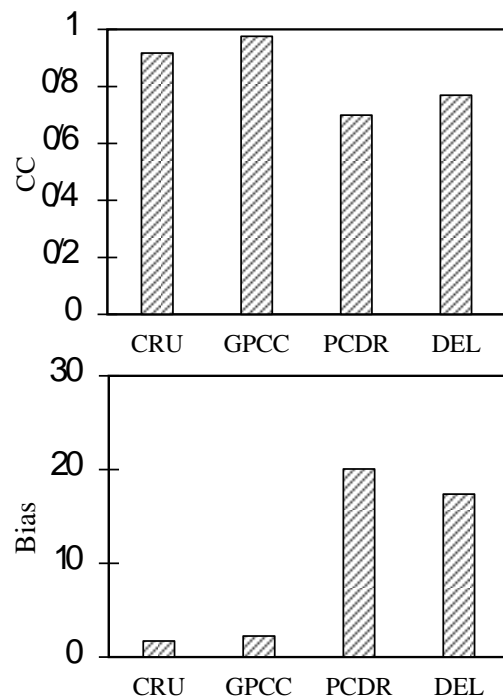
است. بر اساس معیار NSE، به ترتیب GPCC، CRU، DEL و PCDR بهترین تا بدترین عملکرد را در حوضه ارومیه در مقیاس

به‌منظور بررسی دقیق‌تر، چهار معیار ارزیابی اشاره شده، برای تمام پایگاه‌ها محاسبه شد که در شکل (۴) ترسیم شده

بعد از CRU، GPCC با مقدار Bias برابر ۲/۲۷ در رتبه دوم قرار گرفته است. بر اساس این معیار، پایگاه PCDR با Bias حدود ۲۰ درصد، بدترین عملکرد را داشته است و DEL با اندکی برتری نسبت به PCDR با Bias برابر ۱۷/۳۹ درصد، در رتبه سوم قرار گرفته است.



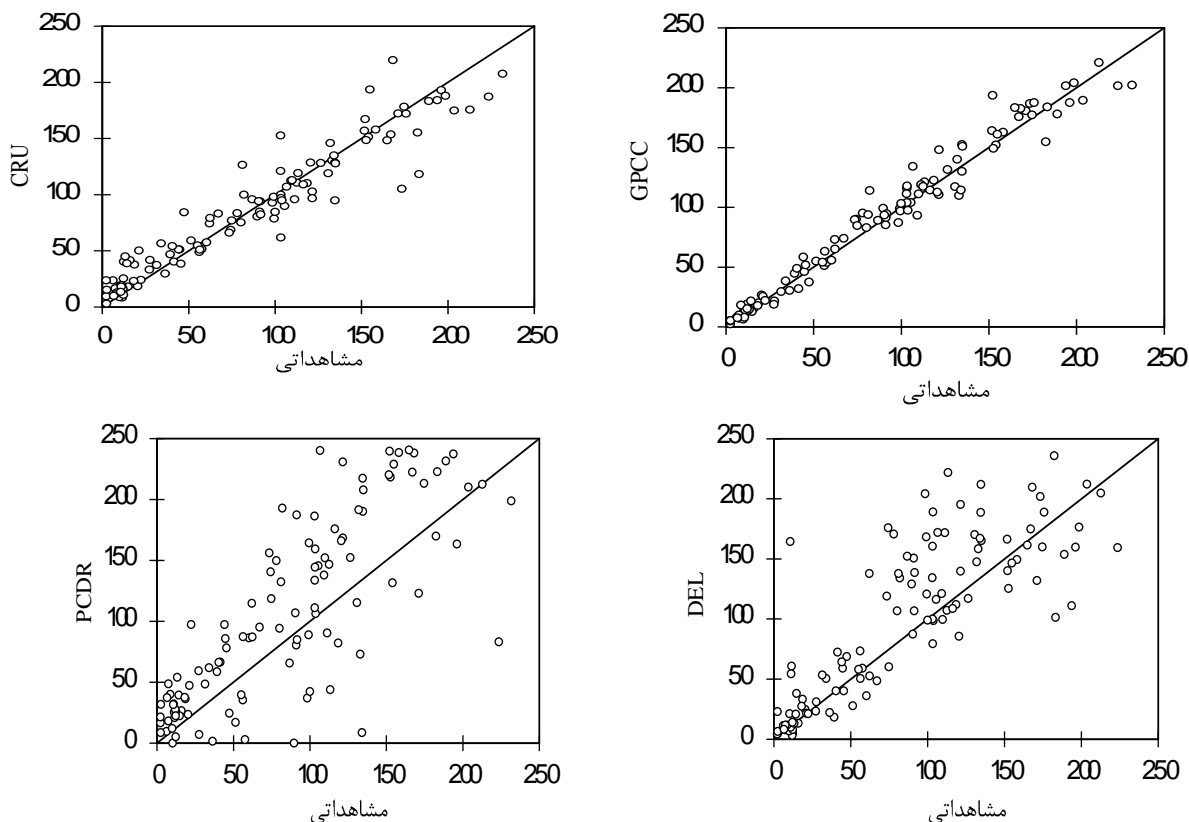
ماهانه داشته‌اند. مقدار شاخص NSE مربوط به GPCC برابر ۰/۹۴ و برای CRU، PCDR و DEL به ترتیب برابر ۰/۸۴، ۰/۴۲ و ۰/۴۲ بوده است. معیار CC و RMSE نیز نتایج مشابهی با شاخص NSE ارائه نموده‌اند، اما در شاخص Bias رتبه CRU بهتر از سایر پایگاه‌ها است. بر اساس معیار Bias پایگاه CRU با بیش‌تخمینی برابر ۱/۷۲ درصد، کم‌ترین Bias را داشته است.



شکل ۴. تغییرات معیارهای کارایی ماهانه در حوضه ارومیه

انحراف معیار بارش در حوضه ارومیه به ترتیب برابر ۸۸/۲۵ و ۶۳/۸۷ میلی‌متر به‌دست آمده است؛ که در این رابطه CRU با متوسط ۸۸/۷۳ میلی‌متر به خوبی توانسته است، متوسط بارندگی را تخمین بزند، در حالی که بر اساس انحراف معیار GPCC با انحراف معیار ۶۳/۵۶ میلی‌متر، بهتر از سه پایگاه دیگر عمل کرده است. پایگاه GPCC بر اساس متوسط بارندگی فصلی با تخمینی برابر با ۹۰/۶۵ میلی‌متر در رتبه دوم قرار گرفته است. بر اساس انحراف معیار، دو پایگاه CRU و DEL به ترتیب با ۱۰- و ۱۰+ درصد اختلاف نسبت به انحراف معیار بارش مشاهداتی، به طور مشترک در رتبه دوم قرار گرفته‌اند. همچنین نتایج مربوط به PCDR نشان داد، این پایگاه در متوسط بارش ۲۲ درصد و در انحراف معیار بارش فصلی ۲۵ درصد با مقدار مشاهداتی تفاوت داشته است که بدترین نتیجه در میان پایگاه‌های مورد بررسی بوده است.

بررسی دقت پایگاه‌ها جهانی بارش در مقیاس فصلی
 در شکل (۵)، داده‌های فصلی بارندگی مشاهداتی در مقابل داده‌های فصلی بارش پایگاه‌های جهانی ترسیم شده‌اند. بر اساس شکل (۴)، اطلاعات GPCC و CRU، پراکنش مناسبی حول خط $y=x$ دارند. اما CRU در مقادیر بالاتر بارش، عملکرد ضعیف‌تری نسبت به مقادیر کم بارش داشته است. این مورد در اطلاعات GPCC نیز مشاهده می‌شود، اما این پایگاه نسبت به CRU بهتر عمل کرده است. عملکرد PCDR و DEL در مقیاس فصلی مناسب نبوده، به نحوی که اکثر اطلاعات بالاتر یا پایین‌تر از خط $y=x$ قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی در تمام پایگاه‌ها، در اکثر موارد تخمین‌ها بیش از مقدار مشاهداتی بوده است، اما شدت آن در پایگاه‌های مختلف، متفاوت است. در این زمینه PCDR و DEL عملکرد مناسبی نداشته‌اند و به طور مشهودی در بیشتر موارد اطلاعات آن‌ها بالاتر از خط $y=x$ واقع شده است. بر اساس نتایج مقیاس فصلی، متوسط بارش فصلی و



شکل ۵. نمودار پراکنش بارش فصلی مشاهداتی در مقابل داده‌های فصلی بارش حاصل از پایگاه‌های بارش جهانی

۰/۵۴ درصد بوده است که نسبت به GPCC، PCDR و DEL با Bias هایی برابر با ۲/۷۲، ۲۲/۳۹ و ۱۶/۷۰ بهتر عمل کرده است.

بررسی دقت پایگاه‌ها جهانی بارش در مقیاس سالانه

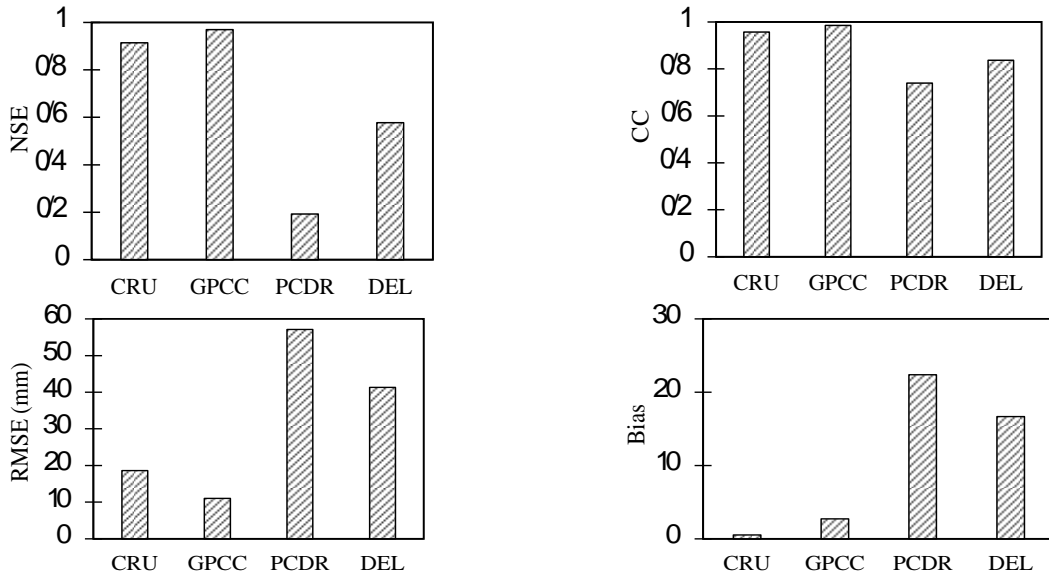
در این قسمت، به بررسی دقت بارش پایگاه‌های مورد مطالعه، در مقیاس سالانه پرداخته شده است. شکل (۶) سری زمانی بارش مشاهداتی را در کنار بارش به‌دست آمده از پایگاه‌های بارش مورد مطالعه نشان می‌دهد. در مقیاس سالانه توافق مناسبی بین اطلاعات مشاهداتی و اطلاعات حاصل از CRU و GPCC دیده می‌شود. اما PCDR و DEL در اکثر سال‌ها، عملکرد مناسبی از خود نشان نداده‌اند. برای بررسی دقیق‌تر، نمودار پراکنش اطلاعات، برای بارش مشاهداتی و هر پایگاه بارش جهانی، به صورت مجزا در شکل (۷) ترسیم شده است.

نمودار پراکنش بارندگی سالانه مشاهداتی در مقابل بارش پایگاه‌های مختلف در شکل (۷) نشان داده شده است. بر این اساس، در حوضه ارومیه در اکثر سال‌ها بارش تخمینی توسط PCDR بیشتر از مقدار مشاهداتی بوده است. پایگاه DEL نیز نتایج مشابه PCDR ارائه نموده است؛ اما مقدار بیش‌تخمینی این پایگاه، کمتر از PCDR است. پایگاه CRU در بارش‌های بیشتر از ۵۰۰ میلی‌متر، بارش سالانه را کمتر از مقدار مشاهداتی

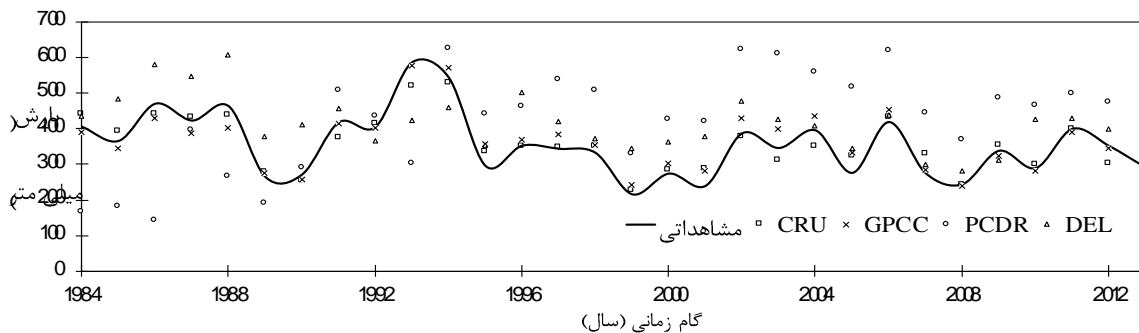
شکل (۶) معیارهای کارایی را در مقیاس فصلی نشان می‌دهد. بر اساس معیار NSE، عملکرد GPCC نسبت به دیگر پایگاه‌ها مناسب‌تر بوده است. مقدار NSE مربوط به GPCC برابر ۰/۹۷ به‌دست آمده است که نسبت به CUR، PCDR و DEL به ترتیب برتری ۶، ۴۰۰ و ۶۸ درصدی را نشان می‌دهد. مقدار معیارهای CC و RMSE نیز نتایج مشابهی با معیار NSE ارائه داده‌اند و بر اساس این دو معیار نیز GPCC بهترین پایگاه بوده است. بر اساس معیار CC عملکرد قابل قبول‌تری برای پایگاه‌های PCDR و DEL به‌دست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد، گرچه این دو پایگاه، دقت خوبی در برآورد مقدار بارش نداشته‌اند، اما رفتار و چگونگی تغییرات بارش را به طور مناسبی برآورد کرده‌اند. بر اساس معیار CC، پایگاه GPCC برتری ۳، ۳۳ و ۱۸ درصدی نسبت به CRU، PCDR و DEL دارد. بررسی معیار RMSE نشان داد، پایگاه PCDR بر اساس این معیار نیز وضعیت مناسبی ندارد و با RMSE حدود ۵۷ میلی‌متر، بدترین عملکرد را داشته است. بر اساس این معیار، GPCC با RMSE برابر ۱۱ میلی‌متر و CRU با RMSE برابر با ۱۹ میلی‌متر به ترتیب رتبه اول و دوم را کسب کرده‌اند. همانند مقیاس ماهانه، در مقیاس فصلی نیز CRU از نظر معیار Bias بهتر از GPCC و دیگر پایگاه‌ها بوده است. مقدار Bias اطلاعات این پایگاه تنها

حاصل از آن انطباق مناسبی در اکثر سال‌ها با بارش مشاهده‌ای داشته است.

تخمین زده است؛ اما در سایر موارد اطلاعات تخمینی پراکنش مناسبی حول خط $y=x$ دارند. نتایج نشان می‌دهد، در میان پایگاه‌های مورد بررسی، GPCC بهتر از سایرین بوده و بارش



شکل ۶. تغییرات معیارهای کارایی فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه



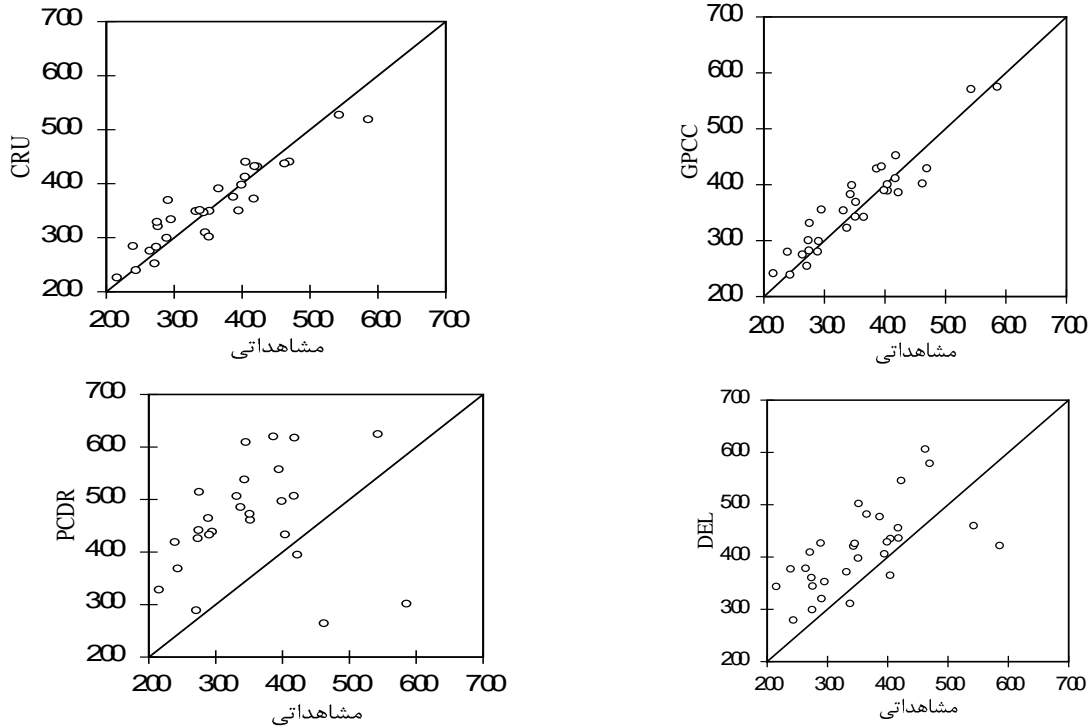
شکل ۶. سری زمانی بارش سالانه مشاهده‌ای و پایگاه‌های جهانی در حوضه ارومیه

توسط GPCC تخمین زده شده است. به منظور بررسی جزئی‌تر، معیارهای ارزیابی در مقیاس سالانه نیز محاسبه شد. مقادیر این معیارها در شکل (۸) آورده شده است. معیار NSE در مقیاس سالانه از ۰/۸۷ برای GPCC تا ۲/۹۵- برای PCDR متغیر است که به ترتیب بهترین و بدترین عملکرد مشاهده شده است. عملکرد CRU نیز بر اساس این معیار مناسب بوده و با مقدار ۰/۸۶ اختلافی جزئی با GPCC داشته است. برخلاف دو پایگاه GPCC و CRU، DEL با NSE برابر ۰/۱۱- عملکرد قابل قبولی را از خود نشان نداده است. بررسی‌ها بر اساس معیار CC، نشان داد که عملکرد GPCC و CRU بر اساس این معیار نیز قابل قبول است و به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۴ و ۰/۹۳ به خوبی رفتار سری زمانی بارش مشاهده‌ای را تخمین زده‌اند. در مقیاس سالانه، مقدار CC مربوط به PCDR مناسب نبوده است و با ضریب همبستگی برابر

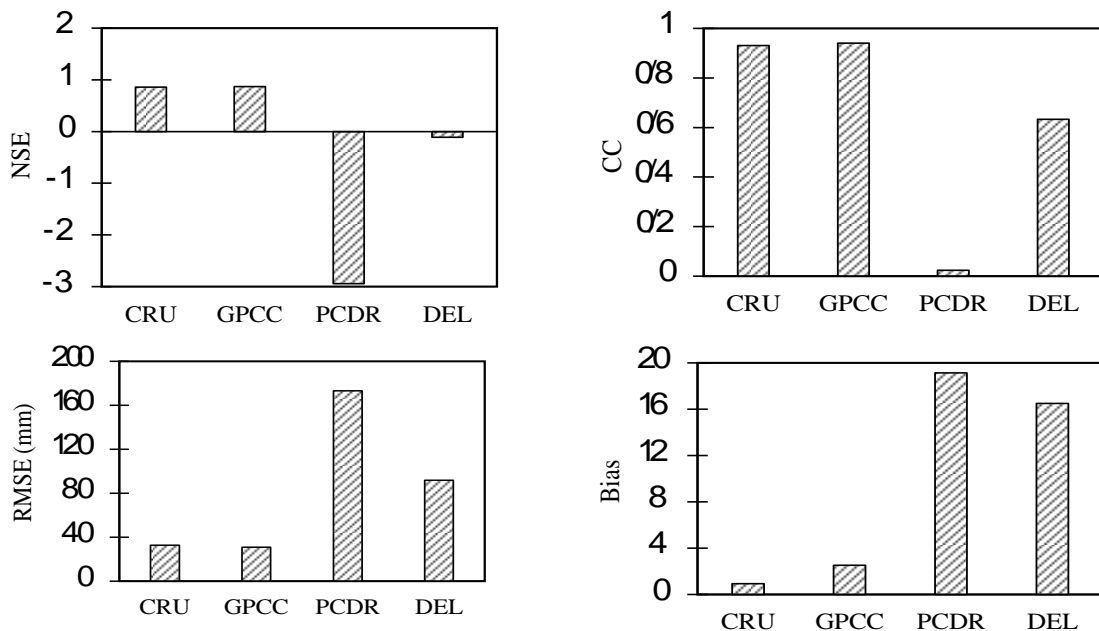
بررسی معیارهای آماری میانگین و انحراف معیار بارش سالانه نشان داد که پایگاه CRU در مقیاس سالانه، متوسط بارندگی سالانه را بهتر از سایر پایگاه‌ها تخمین زده است، اما بر اساس انحراف معیار، GPCC بهترین عملکرد را داشته است. مقدار متوسط بارش سالانه حوضه برابر ۳۵۵ میلی‌متر می‌باشد؛ که این مقدار توسط CRU، GPCC، PCDR و DEL به ترتیب ۳۵۹، ۳۶۴، ۴۲۳ و ۴۱۴ میلی‌متر برآورد شده است. بر اساس انحراف معیار، پایگاه GPCC با اختلافی برابر با ۵/۶- میلی‌متری نسبت به انحراف معیار بارش مشاهده‌ای (۸۹ میلی‌متر) بهترین دقت را داشته است. در این راستا پایگاه PCDR با انحراف معیار ۱۳۸ میلی‌متر (۴۹ میلی‌متر اختلاف) با انحراف معیار بارش مشاهده‌ای بدترین وضعیت را داشته است. انحراف معیار پایگاه CRU و DEL نیز به ترتیب ۷۵ و ۷۸ میلی‌متر بوده است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات بارش با دقت بیشتری

Bias نشان داد، پایگاه CRU به مقدار Bias برابر ۰/۹۵ درصد در برابر مقدار Bias، ۲/۵ درصد مربوطه به GPCC بهتر از این پایگاه عمل نموده است، اما دو پایگاه PCDR و DEL عملکرد مناسبی بر اساس معیار Bias نداشته‌اند.

عملکرد ضعیفی داشته است. بر اساس نتایج مربوط به RMSE به ترتیب GPCC، CRU، DEL و PCDR بهترین تا بدترین عملکرد را داشته‌اند. مقدار RMSE در بهترین حالت برابر ۳۱/۱۲ میلی‌متر مربوط به GPCC و در بدترین حالت برابر ۱۷۲/۲۳ میلی‌متر و مربوط به PCDR بوده است. نتایج معیار



شکل ۷. نمودار پراکنش بارش سالانه مشاهداتی در مقابل داده‌های سالانه بارش حاصل از پایگاه‌های بارش جهانی



شکل ۸. مقدار معیارهای کارایی محاسبه شده در مقیاس سالانه در ایستگاه مورد مطالعه

DEL در تمام مقیاس‌ها عملکرد ضعیفی داشته‌اند. این عملکرد ضعیف، در اکثر موارد به صورت بیش تخمینی پایگاه‌های داده

بر اساس نتایج به دست آمده عملکرد پایگاه‌ها GPCC و CRU در حوضه ارومیه قابل قبول بوده است، اما PCDR و

نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله، به ارزیابی دقت چهار پایگاه جهانی بارش شامل CRU، GPCC، PCDR و DEL در سطح حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. بدین منظور از آمار بارش شش ایستگاه همدیدی شامل ایستگاه‌های ارومیه، مهاباد، تکاب، تبریز، مراغه و سقز در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ استفاده شد. مقایسه‌ها در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه بر اساس چهار معیار CC، NSE، RMSE و Bias صورت گرفت. بررسی نتایج به صورت ایستگاه به ایستگاه، حاکی از عملکرد مناسب CRU در ایستگاه ارومیه و عملکرد مناسب GPCC در پنج ایستگاه دیگر بود. بررسی بارش منطقه‌ای در سطح حوضه ارومیه، نشان‌دهنده عملکرد مناسب GPCC و CRU در این حوضه است. در مقیاس منطقه‌ای نیز مانند بررسی ایستگاهی PCDR و DEL عملکرد مناسبی از خود نشان ندادند. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان GPCC، CRU، DEL و PCDR را به ترتیب به عنوان بهترین تا بدترین پایگاه داده بارش برای حوضه دریاچه ارومیه معرفی کرد. البته توجه به این نکته نیز ضروری است که اطلاعات PCDR در مقیاس روزانه نیز قابل استفاده است و این مزیت در سه پایگاه دیگر وجود ندارد. بر اساس این ویژگی، کاربردهایی از قبیل مطالعات سیلاب توسط PCDR، برای تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه تهران به خاطر تأمین امکانات لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

- 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.
- Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., Faraji Sabokbar, H. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(1): 33-49. (In Farsi)
- Behrangi, A., Khakbaz, B., Jaw, T. C., AghaKouchak, A., Hsu, K., and Sorooshian, S. (2011). Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. *Journal of Hydrology*, 397(3): 225-237.
- Belo Pereira, M., Dutra, E., and Viterbo, P. (2011). Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20).
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G., 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*. In Press.
- 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.
- Ghajarnia, N., Liaghat, A., and Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, 158: 50-65.
- Guo, H., Bao, A., Liu, T., Chen, S., and Ndayisaba, F. (2016). Evaluation of PERSIANN-CDR for

نمایان شده است. در ارزیابی برآورد مقادیر بارش در تمام مقیاس‌ها، عملکرد GPCC بهتر از CRU بوده است، اما در بررسی میانگین بلندمدت بارش، CRU بهتر از GPCC عمل کرده است. این نتیجه نشان می‌دهد که CRU اختلاف‌های بیشتری در گام‌های زمانی مختلف با بارش مشاهداتی نسبت به GPCC دارد، اما این اختلاف‌ها به صورت بیش‌تخمینی و کم-تخمینی ظاهر شده‌اند و در یک میانگین بلندمدت، اثر یک‌دیگر را از بین برده‌اند. این مورد باعث شده است که CRU در معیار Bias نیز بهتر از GPCC عمل کند. با این حال بر اساس سه معیار ارزیابی دیگر (RMSE و CC، NSE) عملکرد GPCC بهتر از CRU بوده است. بنابراین تخمین‌های حاصل از GPCC را می‌توان دقیق‌تر از CRU دانست. بر اساس نتایج ارائه شده، به ترتیب GPCC، CRU، DEL و PCDR به عنوان بهترین تا بدترین پایگاه‌های بارش برای حوضه ارومیه معرفی می‌شوند.

بررسی نتایج تحقیق‌های دیگر، نشان از هم‌خوانی نتایج این تحقیق با سایر پژوهش‌های مشابه هست. برای مثال در تحقیقی که توسط Azizi et al. (2016) به منظور ارزیابی اطلاعات بارش GPCC و DEL در چند ایستگاه باران‌سنجی در ایران انجام شد نیز، دقت GPCC را بهتر از DEL گزارش کرده‌اند. همچنین Belo-Pereira et al. (2011) در تحقیق خود به بررسی دقت اطلاعات GPCC و CRU در حوضه‌ای در اسپانیا پرداختند و نتایج ایشان برتری GPCC بر CRU را نشان داد. نتایج تحقیق Katiraie-Boroujerdy et al. (2016) نیز که به بررسی روند بارش در ایران با استفاده از PCDR پرداختند، نشان‌دهنده بیش‌تخمینی بارش توسط PCDR در شمال غرب ایران بود که نتایج حاصل از این تحقیق را تصدیق می‌کند.

- Meteorological Drought Monitoring over China. *Remote Sensing*, 8(5): 379.
- Hajihosseini, H., Hajihosseini, M., Najafi, A., Morid, S., and Delavar, M. (2015). Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of helmand basin during the last century using CRU data and SWAT model. *Iran-Water Resources Research*, 10(3): 38-52. (In Farsi)
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J., and Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25: 119-125.
- Jiang, S. H., Zhou, M., Ren, L. L., Cheng, X. R., and Zhang, P. J. (2016). Evaluation of latest TMPA and CMORPH satellite precipitation products over Yellow River Basin. *Water Science and Engineering*, 9(2): 87-96.
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Ashouri, H., Hsu, K. L., and Sorooshian, S. (2016). Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-12.
- Meng, J., Li, L., Hao, Z., Wang, J., and 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.
- 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.
- Ongoma, V., and Chen, H. (2016). Temporal and spatial variability of temperature and precipitation over East Africa from 1951 to 2010. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1-14.
- Su, F., Hong, Y., and Lettenmaier, D. P. (2008). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9(4): 622-640.
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., and Lelieveld, J. (2012). Intercomparison of temperature and precipitation data sets based on observations in the Mediterranean and the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D12).
- Xu, H., Xu, C. Y., Chen, S., and Chen, H. (2016). Similarity and difference of global reanalysis datasets (WFD and APHRODITE) in driving lumped and distributed hydrological models in a humid region of China. *Journal of Hydrology*. In Press.