



ارزیابی پایگاه‌های جهانی داده‌های بارش و کاربرد آن‌ها در پایش خشکسالی (مطالعه موردی): حوضه کرخه

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۹

چکیده

داده‌های معتبر و بلند مدت بارندگی به عنوان پیش‌نیاز اغلب مطالعات هواشناسی و منابع آب در اکثر نقاط کشور دارای نقصان و کمبود است. در این مقاله امکان استفاده از اطلاعات جهانی بارش به عنوان یک جایگزین برای داده‌های برداشت شده زمینی، مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور اطلاعات بارندگی سه پایگاه جهانی بارش شامل APHRODITE، GPC و CRU برای سه ایستگاه همدیدی در حوضه کرخه (کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان) برای سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ دریافت و مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر ارزیابی مستقیم مقدار بارش، عملکرد این اطلاعات در پایش خشکسالی در سه ایستگاه مذکور نیز بررسی شد. پایش خشکسالی بر اساس شاخص استاندارد بارندگی (SPI) انجام گردید. نتایج نشان داد که عملکرد پایگاه‌های مختلف در مناطق مختلف، متفاوت است؛ اما به طور کلی در ایستگاه کرمانشاه عملکرد CRU و در ایستگاه خرم‌آباد و همدان پایگاه APHRODITE بهتر عمل نموده است. در پایش خشکسالی، بر اساس شاخص SPI سالانه در ایستگاه کرمانشاه، CRU با ۸۳ درصد تشخیص صحیح کلاس خشکسالی و در ایستگاه خرم‌آباد و همدان، GPC به ترتیب با ۸۳ و ۷۰ درصد تشخیص صحیح کلاس خشکسالی بهترین عملکرد را داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: بارش، حوضه کرخه، APHRODITE، GPC، CRU

مقدمه

شبکه‌ای و با وضوح نسبتاً مناسب نموده‌اند. این اطلاعات عموماً از طریق ایستگاه‌های زمینی، اطلاعات ماهواره‌ای و یا ترکیبی از هر دو حاصل می‌شوند. میزان دقت اطلاعات این پایگاه‌ها در دست بررسی و سنجش است و تا به امروز پایگاه داده‌ای که بتواند اطلاعات بارش را با دقت مناسب برای کل زمین تخمین بزند، معرفی نشده است. پایگاه‌های جهانی ارائه دهنده اطلاعات بارش به طور کلی حسب طریقه محاسبه بارش به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول، اطلاعات را به صورت روزانه و یا ماهانه از یک زمان مشخص در گذشته تا چند سال اخیر ارائه می‌دهند (یک سری زمانی طولانی‌مدت)؛ که این پایگاه‌ها معمولاً از اطلاعات زمینی درون‌یابی شده برای ارائه اطلاعات خود استفاده می‌کنند. دسته دوم که از داده‌های ماهواره‌ای برای تولید اطلاعات بارندگی بهره می‌گیرند معمولاً سری زمانی طولانی مدتی از اطلاعات بارندگی

در اکثر نقاط کشور یکی از محدودیت‌های اصلی پژوهش‌ها در زمینه هواشناسی و علوم آب، عدم وجود اطلاعات پایه هواشناسی نظیر بارش است. مناطقی هم که دارای آمار و اطلاعات هستند، معمولاً پاسخگوی کامل نیازهای اطلاعاتی یک پژوهش نیستند چون که اطلاعات موجود یا از نظر دوره آماری ثبت اطلاعات کوتاه مدت هستند و یا اینکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری اطلاعات از نظر مکانی در فاصله‌های دوری از هم واقع شده‌اند. البته این مشکل تنها محدود به کشور ما نیست و در اکثر کشورهای در حال توسعه وجود دارد. در سال‌های اخیر تعدادی از مراکز تحقیقاتی جهانی اقدام به ارائه اطلاعات بارندگی در سرتاسر جهان به صورت

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۲ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: Araghinejad@ut.ac.ir

ندارند اما اطلاعات بارندگی را نزدیک به زمان واقعی^۱ در بازه‌های زمانی کوتاه مدت ارائه می‌دهند. دسته سوم ترکیبی از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای را برای تولید محصولات بارش خود استفاده می‌کنند (www.climatedataguide.ucar.edu). گام اصلی پیش از استفاده از این اطلاعات در کارهای عملی، پاسخ به این سوال است که دقت داده‌های پایگاه‌های جهانی بارش در چه حدی است و چه میزان خطا قابل پذیرش است؟ از این رو محققین زیادی به دنبال پاسخگویی به این سوال هستند. در این زمینه جامعی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی دقت داده‌های APHRODITE^۲ با داده‌های درون‌یابی شده توسط روش‌های زمین‌آمار در استان خوزستان پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد، دقت داده‌های درون‌یابی به روش رگرسیون کریجینگ^۳ بیشتر از داده‌های APHRODITE است. حاجی حسینی و همکاران (۱۳۹۳) به منظور بررسی تغییرات متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در بالادست حوضه هیرمند در قرن گذشته، از اطلاعات CRU^۴ استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان دهنده عملکرد مناسب اطلاعات CRU در منطقه مورد مطالعه بود. شکوهی و مروتی (۱۳۹۳) به ارزیابی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از شاخص شناسایی خشکسالی^۵ (RDI) و شاخص استاندارد بارندگی^۶ (SPI) پرداختند. ایشان شاخص‌های SPI و RDI را بر اساس بارش حاصل از پایگاه GPCP^۷ و دمای حاصل از NCEP^۸/NCAR^۹ داد که دریاچه ارومیه در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ دچار خشکسالی بوده ولی از سال ۲۰۰۰ به بعد به شرایط نرمال نزدیک شده است، اما با این وجود، سطح دریاچه کاهش یافته است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) اطلاعات سه پایگاه جهانی بارش شامل GPCP

GPCP^{۱۰} و CMAP^{۱۱} در ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اطلاعات GPCP همبستگی بالایی با داده‌های مشاهداتی به خصوص در ماه‌های پر بارش دارند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی اطلاعات بارش APHRODITE، GPCP و DEL^{۱۲} در چند ایستگاه باران‌سنجی در ایران پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد APHRODITE در نواحی شمال غربی و داخلی ایران مناسب است و GPCP برای مناطق غربی، شمال شرقی، جنوب و جنوب شرقی عملکرد بهتری دارد. پژوهش‌های بین‌المللی زیادی نیز در این زمینه انجام شده است، که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. رضیعی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی کارایی اطلاعات GPCP و NCEP/NCAR در پایش خشکسالی در ایران پرداختند. نتایج نشان داد هر دو پایگاه، عملکرد نسبتاً مناسبی در پایش خشکسالی دارند. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۱) اقدام به پایش خشکسالی در ایران کردند. ایشان پایش خشکسالی را با استفاده از اطلاعات APHRODITE و برای سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ انجام دادند. نتایج نشان داد که سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۹۰، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱-۱۹۹۸ مقدار بارندگی از میانگین کمتر بوده است و خشکسالی رخ داده است. استج و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۵) به منظور پایش خشکسالی هواشناسی در اروپا از اطلاعات GPCP و CRU استفاده کردند. در این مقاله از شاخص SPI و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده^{۱۴} (SPEI) استفاده شد، که نتایج نشان داد ناهنجاری‌های ۲ تا ۱۲ ماهه شاخص‌ها، بر روی تولید کشاورزی تاثیر می‌گذارد. زارچ و همکاران^{۱۵} (۲۰۱۵) به ارزیابی تاثیر گرمایش جهانی بر خشکسالی در جهان بر اساس دو شاخص SPI و RDI پرداختند. در این مقاله به منظور محاسبه این دو شاخص از اطلاعات CRU استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص SPI و RDI در مناطق خشک، تطابق بهتری نسبت به مناطق مرطوب دارند. در مناطق مرطوب روند کاهشی شاخص RDI بیشتر از SPI بوده است. با توجه به تعداد محدود ایستگاه‌های

¹ Near Real Time

² Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources

³ Kriging

⁴ Climatic Research Unit

⁵ Reconnaissance Drought Index

⁶ Standard Precipitation Index

⁷ Global Precipitation Climatology Centre

⁸ National Centers for Environmental Prediction

⁹ National Center for Atmospheric Research

¹⁰ Global Precipitation Climatology Project

¹¹ CPC Merged Analysis of Precipitation

¹² University of Delaware

¹³ Stage et al.

¹⁴ Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

¹⁵ Zarch et al.

در عرض جغرافیایی ۳۴/۲۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷/۰۹ درجه شرقی واقع شده است. متوسط بارش سالانه این ایستگاه ۴۳۰ میلی‌متر است. ایستگاه خرم‌آباد با متوسط بارش سالانه ۴۹۶ میلی‌متر در ارتفاع ۱۱۴۷/۸ متر، عرض جغرافیایی ۳۳/۲۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۱۷ درجه شرقی قرار دارد. ایستگاه همدان در عرض و طول جغرافیایی ۳۴/۵۲ و ۴۸/۳۲ درجه قرار دارد. متوسط بارش سالانه در این ایستگاه ۳۱۵ میلی‌متر و ارتفاع آن ۱۷۴۱/۵ متر است.

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

مکی^۱ و همکاران (۱۹۹۳) برای پایش خشکسالی، شاخصی تحت عنوان شاخص بارندگی استاندارد (SPI) ارائه نمودند. SPI تنها به اطلاعات بارندگی نیازمند است و می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردد. مسئله اصلی در محاسبه SPI برازش توزیع آماری مناسب بر روی اطلاعات بارندگی می‌باشد. تجربه نشان داده است که توزیع گاما، توزیع مناسبی برای برازش روی داده‌های بارندگی است، در صورتی که فرض کنیم بارندگی در یک منطقه از توزیع گاما تبعیت می‌کند و x مقادیر بارندگی باشد، تابع چگالی احتمال دو پارامتری گاما طبق معادله ۱ تعریف می‌شود.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس توزیع و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که طبق معادله ۲ تعریف می‌گردد.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

ضرائب α و β بهینه نیز از طریق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند (تام^۲، ۱۹۵۸).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

اندازه‌گیری بارش و عدم پراکنش مکانی یکنواخت آنها، استفاده از داده‌های جهانی بارش می‌تواند کمک شایانی به انجام مطالعات در زمینه هواشناسی و منابع آب کند. اما براساس مطالعات گذشته نتیجه مشخص و قطعی در مورد دقت داده‌های پایگاه‌های جهانی در نقاط مختلف زمین گزارش نشده است. بنابراین دقت داده‌ها این پایگاه‌ها همچنان در حال بررسی است. گرچه پژوهش‌های زیادی در مورد کاربردهای اطلاعات بارش پایگاه‌های جهانی در ایران انجام شده است، اما مقایسه و ارزیابی جامع دقت آنها، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله پژوهش‌های جامع در این زمینه، می‌توان به پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) اشاره کرد. ایشان عملکرد اطلاعات بارش پایگاه WorldClim و دو نسخه از پایگاه CRU را در کل ایران با استفاده از اطلاعات بارش ۱۴۴۱ ایستگاه مشاهداتی بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. این مطالعه جامع‌ترین ارزیابی صورت گرفته از پایگاه‌های بارش جهانی در کشور از نظر حجم اطلاعات مشاهداتی برای انجام ارزیابی‌ها می‌باشد. با این حال، پایگاه‌های بارش دیگری نیز وجود دارند، که ارزیابی جامع آنها و همچنین کاربرد آنها در زمینه‌های دیگر مانند خشکسالی، می‌تواند زمینه مناسبی برای پژوهش‌های آتی باشد. پژوهش پیش رو با هدف یک بررسی اولیه از دقت اطلاعات بارش سه پایگاه APHRODITE، GPCC و CRU، در پایش خشکسالی مربوط به سه ایستگاه سینوپتیک (کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان) واقع در حوضه کرخه انجام شده است. گرچه مقیاس مکانی و تعداد ایستگاه‌های مشاهداتی در نظر گرفته شده نسبت به پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) بسیار کمتر است؛ اما با این حال می‌تواند یک نقطه شروع مناسب و پیش آگاهی از دقت این پایگاه‌ها در حوضه کرخه باشد. در ادامه روند کار تشریح شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

در این پژوهش از اطلاعات بارش سه ایستگاه همدیدی واقع در حوضه کرخه شامل، کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان در بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ استفاده شد. ایستگاه کرمانشاه با ارتفاع ۱۳۱۸/۶ متر،

¹ McKee et al.

² Thom

نمی‌باشد و بایستی توزیع احتمالاتی بهینه برای هر سری زمانی به صورت جداگانه تعیین گردد. به همین دلیل در این پژوهش برای تعیین توزیع بهینه بارندگی در ایستگاه‌های مورد بررسی، شش توزیع آماری از طریق آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۲ (K-S) مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس بر اساس توزیع آماری بهینه، اقدام به محاسبه شاخص SPI گردید. توزیع‌های آماری مورد بررسی علاوه بر توزیع گاما، توزیع نرمال، توزیع لوگ نرمال، توزیع ویبول، پیرسون و لوگ پیرسون می‌باشند.

پایگاه APHRODITE

پروژه APHRODITE در سال ۲۰۰۶ به وسیله پژوهشکده انسان و طبیعت و موسسه پژوهش‌های هواشناسی ژاپن آغاز شده است. این پایگاه بارش‌های روزانه را برای آسیا با تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه در اختیار کاربران قرار می‌دهد (یاتاگای و همکاران^۳، ۲۰۱۲). در این پایگاه تعداد روزهای سال ۳۶۵ روز و با در نظر گرفتن سال‌های کبیسه (۳۶۶ روز) است. اطلاعات این مرکز از درون‌یابی اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های زمینی، به روش عکس فاصله وزن‌دار حاصل شده است. اطلاعات مربوط به منطقه خاورمیانه این پایگاه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ موجود است که در این مقاله از اطلاعات بارندگی مربوط به سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ استفاده شده است (یاتاگای و همکاران، ۲۰۱۲). اطلاعات بارندگی این پایگاه را می‌توان از درگاه اینترنتی <http://www.chikyu.ac.jp/precip/> دریافت نمود.

پایگاه CRU

مرکز پژوهش‌های اقلیمی (CRU) در دانشکده آنگلیا^۴ شرقی در انگلستان در سال ۱۹۷۲ تاسیس شد. این پایگاه اطلاعات اقلیمی مختلفی را با تفکیک‌های مکانی متفاوت برای کل جهان ارائه می‌دهد. پایگاه CRU اطلاعات بارندگی خود را از درون‌یابی اطلاعات ایستگاه‌های زمینی به دست می‌آورد. در این پژوهش از سری زمانی اطلاعات بارندگی این مرکز به نام CRU

در معادله مربوط به محاسبه A، پارامتر n تعداد مشاهدات بارندگی می‌باشد. در محاسبه شاخص SPI از توزیع احتمال تجمعی گاما استفاده می‌شود، که معادله آن به صورت معادله ۵ است.

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

$$t = x/\beta$$

از آنجا که در معادله ۵ مقدار لگاریتم صفر تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، لذا در این شرایط احتمال تجمعی از معادله ۶ قابل محاسبه است.

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \quad (6)$$

در این معادله q احتمال بارندگی صفر می‌باشد. برای محاسبه q می‌توان از معادله کالیفرنیا (معادله ۷) استفاده نمود.

$$q = \frac{m}{n} \quad (7)$$

در این معادله m تعداد داده‌های صفر موجود در سری زمانی و n تعداد کل داده‌های بارندگی می‌باشد. گام بعد در محاسبه SPI، انتقال احتمال تجمعی H(x) که از توزیع گامای تجمعی به دست آمده به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف معیار یک می‌باشد. در واقع SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد، که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر در توزیع گاما مساوی باشد. جدول ۱ طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI

مک‌کی و همکاران، (۱۹۹۳)	
مقدار SPI	طبقه خشکسالی
بزرگ‌تر از ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۱/۴۹ تا ۱/۰	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
کوچکتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

گاتمن^۱ (۱۹۹۹) نشان داد که فرض پیروی همیشگی داده‌های بارندگی از توزیع گاما صحیح

^۲ Kolmogorov-Smirnov test

^۳ Yatagai et al.

^۴ Anglia

^۱ Guttman

(RMSE) است که این معیار با توجه به اینکه از جنس داده‌های مورد بررسی است، نسبت به معیار r متمایز است. مقدار این معیار از صفر تا مثبت بی‌نهایت متغیر است و مقدار کم آن نشان‌دهنده کارایی بهتر است. این معیارها با استفاده از معادله‌های ۸ و ۹ محاسبه می‌شوند.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (9)$$

که در آن X_i بارش مشاهداتی در گام زمانی Y_i ، Y_i بارش حاصل از پایگاه‌های بارش جهانی در گام زمانی نام، \bar{X} میانگین بارش مشاهداتی در دوره مورد مطالعه، \bar{Y} میانگین بارش پایگاه‌های بارش جهانی در دوره مورد مطالعه و n تعداد داده‌های مورد مقایسه است.

نتایج و بحث

نتایج پژوهش حاضر به دو قسمت تقسیم شده است. در قسمت اول، به ارائه نتایج حاصل از بررسی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه با بارش پایگاه‌های APHRODITE، CRU و GPCC پرداخته شده است. در قسمت بعد نتایج استفاده از این اطلاعات در پیش‌خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و همچنین به صورت سالانه ارائه شده است.

مقایسه بارش ایستگاه‌های همیدی با بارش

پایگاه‌های بارش جهانی

پس از دریافت اطلاعات بارش مشاهداتی و بارش پایگاه‌های جهانی مربوط به هر ایستگاه، مقایسه بین بارش‌ها انجام شد. نتایج نشان داد، متوسط بارش سالانه حاصل از APHRODITE برای سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان به ترتیب برابر ۴۲۷، ۴۷۰ و ۳۵۰ میلی‌متر است، که نسبت به بارش مشاهداتی به ترتیب ۱-، ۵- و ۱۱ درصد اختلاف دارد. همچنین متوسط بارندگی سالانه CRU برای ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان به ترتیب ۴۵۲، ۴۹۶ و ۴۲۱ میلی‌متر (به ترتیب اختلاف پنج، صفر و ۳۳ درصدی) و برای GPCC،

TS 3.21 استفاده شده است. این اطلاعات با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۲ برای کل جهان در دسترس هستند. داده‌های بارندگی مربوط به سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ این مجموعه در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات اقلیمی مختلف پایگاه CRU بر روی درگاه اینترنتی به نشانی <http://www.cru.uea.ac.uk/data> در دسترس است.

پایگاه GPCC

پایگاه بارش GPCC در سال ۱۹۸۹ به درخواست سازمان جهانی هواشناسی (WMO) تأسیس شد و توسط سازمان هواشناسی آلمان اداره می‌شود. این پایگاه اطلاعات بارش را با تفکیک‌های مکانی 2.5×2.5 ، 1×1 و 0.5×0.5 درجه، در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. این پایگاه نسخه‌های مختلفی از اطلاعات بارش را ارائه می‌دهد. در این پژوهش از اطلاعات بازکاوی^۲ شده نسخه ۶ این پایگاه با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه استفاده شد. اطلاعات بارش بازکاوی شده این مرکز از اطلاعات بارندگی ۶۴۴۰۰ ایستگاه زمینی در ترکیب با داده‌های سنسور از دور و مدل‌های عددی ایجاد شده‌اند. اطلاعات بارش در این مجموعه برای سال‌های ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ موجود است که در این مقاله از اطلاعات بارندگی ماهانه این مرکز که مربوط به سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ می‌باشد، استفاده شده است. اطلاعات بارندگی پایگاه GPCC بر روی درگاه اینترنتی به نشانی

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html> قابل دریافت است.

معیارهای کارایی

به‌منظور در دست بودن معیاری برای قضاوت در مورد چگونگی عملکرد پایگاه‌های بارش مورد استفاده در این مقاله، دو معیار کارایی در نظر گرفته شد. معیار اول ضریب همبستگی^۳ (r) است که مقدار این معیار بین منفی یک تا یک متغیر است و مقادیر نزدیک به یک آن نشان‌دهنده همبستگی مستقیم بین دو سری زمانی است. معیار دوم، ریشه میانگین مربعات خطا^۴

¹ World Meteorological Organization

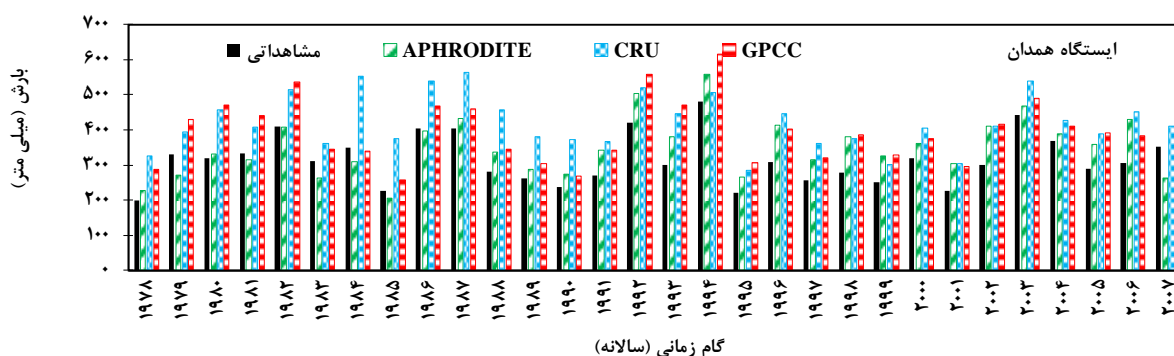
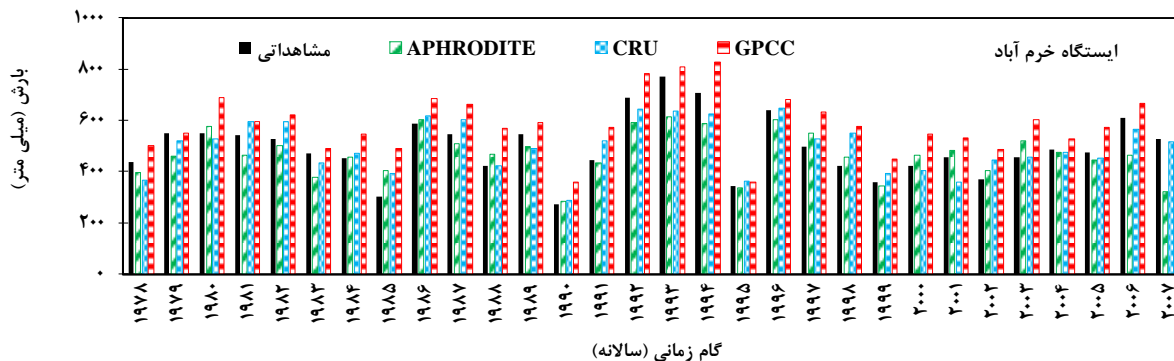
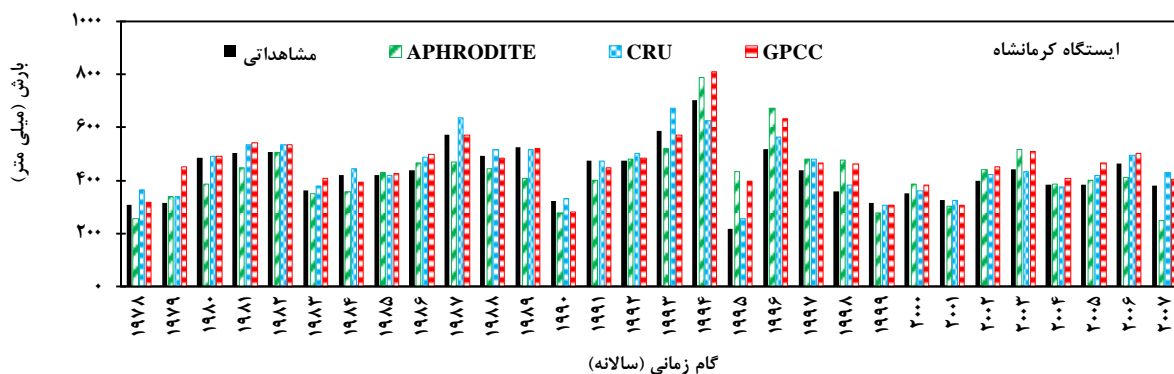
² Reanalysis

³ Correlation Coefficients

⁴ Root Mean Square Error

می‌دهد. با توجه به شکل ۱ بیشترین اختلاف بارش مشاهداتی ایستگاه کرمانشاه با داده‌های پایگاه‌های بارش مربوط به سال ۱۹۹۵ پایگاه APHRODITE و برابر ۲۱۸ میلی‌متر و کمترین اختلاف آن در سال ۱۹۸۵ پایگاه داده CRU و برابر ۰/۷ میلی‌متر است.

۴۶۶، ۵۸۳ و ۳۹۴ میلی‌متر (به ترتیب اختلاف ۸، ۱۸ و ۲۵ درصدی) بوده است. با توجه به نتایج، پایگاه‌ها جهانی بارش در اکثر موارد بارش را بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده‌اند. شکل ۱ مقدار بارندگی ۳۰ ساله سه ایستگاه مورد بررسی را در کنار داده‌های بارش حاصل از CRU، APHRODITE و GPCC نشان



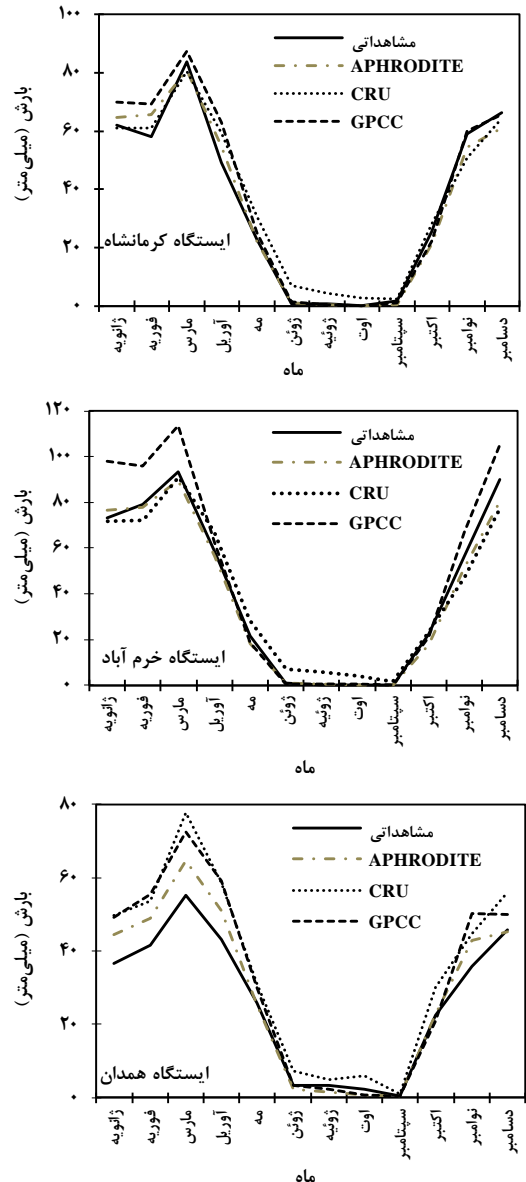
شکل ۱- بارندگی سالانه مشاهداتی در ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان در کنار اطلاعات بارش حاصل از CRU، APHRODITE و GPCC برای این سه ایستگاه

کمترین مقدار اختلاف بارش ایستگاه همدان با داده‌های پایگاه‌های بارش، به ترتیب برای سال ۱۹۸۴ پایگاه CRU به میزان ۲۰۲ میلی‌متر و در سال ۱۹۸۲ پایگاه APHRODITE به میزان ۲/۵۴ میلی‌متر است. شکل ۲ رژیم بارندگی حاصل از بارش مشاهداتی در ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان را در کنار

در ایستگاه خرم‌آباد بیشترین اختلاف بارش مشاهداتی با بارش APHRODITE، CRU و GPCC به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ (۲۰۶- میلی‌متر)، ۱۹۹۳ (۱۳۴- میلی‌متر) و ۱۹۸۵ (۱۸۶ میلی‌متر) و کمترین اختلاف با بارش مشاهداتی در سال ۱۹۸۸ (۱/۲ میلی‌متر) و برای پایگاه CRU بوده است. بیشترین و

محل را شناسایی کرده‌اند. در ماه‌های کم بارش (ژوئن تا سپتامبر)، CRU بارش را بیشتر از مقدار مشاهداتی ارائه کرده است؛ در حالی که دو پایگاه دیگر به خوبی رژیم را تشخیص داده‌اند. به طور کلی هر سه پایگاه در این ایستگاه عملکرد مناسبی داشته‌اند. در ایستگاه خرم‌آباد اطلاعات GPCC در سه ماه نخست تا ۳۰ میلی‌متر بیشتر از مقدار مشاهداتی بوده است؛ اما دو پایگاه دیگر عملکرد مناسبی داشته‌اند. در این ایستگاه به طور کلی APHRODITE بهتر از دو پایگاه دیگر عمل نموده است. تعیین رژیم بارش در ایستگاه همدان توسط سه پایگاه مورد بحث، ضعیف‌تر از دو ایستگاه قبل بوده است. اختلاف بین رژیم بارش مشاهداتی این ایستگاه با رژیم حاصل از APHRODITE، CRU، GPCC و در نیمه اول سال میلادی بیشتر از نیمه دوم سال است. در تعیین رژیم بارش این ایستگاه APHRODITE بهتر عمل نموده است. علت عملکرد ضعیف‌تر پایگاه‌های بارش در ایستگاه همدان را شاید بتوان در ارتفاع بیشتر این ایستگاه جستجو کرد. از آنجایی که پایگاه‌های بارش مورد استفاده، بارش را درون‌یابی می‌کنند بنابراین خطای آنها در مناطق مرتفع ممکن است بیشتر باشد. جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر معیارهای کارایی RMSE و r را بین اطلاعات بارش مشاهداتی و بارش پایگاه‌های بارش نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۲ مقدار کمینه متوسط RMSE ماهانه برای ایستگاه کرمانشاه برابر ۹/۷۷ میلی‌متر و مربوط به CRU می‌باشد. همچنین برای کل سری زمانی بارش نیز، کمینه RMSE مربوط به CRU و برابر ۱۰/۸۸ میلی‌متر است. در ایستگاه‌های خرم‌آباد و همدان، APHRODITE دارای کمترین مقدار میانگین RMSE ماهانه و کمینه RMSE در کل سری زمانی است. که برای ایستگاه خرم‌آباد به ترتیب برابر ۱۰/۵۹ و ۱۲/۸۸ میلی‌متر و برای ایستگاه همدان به ترتیب برابر ۱۱/۴۵ و ۱۲/۷۴ میلی‌متر به دست آمده است. در جدول ۲ مقادیر کمینه RMSE با کشیدن خط بر زیر آن‌ها مشخص شده‌اند. از آنجا که پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) یک پژوهش جامع در زمینه ارزیابی پایگاه CRU در ایران است، در این قسمت به مقایسه نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر با پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) پرداخته شده است.

رژیم بارش حاصل از APHRODITE، CRU و GPCC نشان می‌دهد. در ایستگاه کرمانشاه در دو ماه نخست سال (ژانویه و فوریه) بیشترین اختلاف بین رژیم بارش‌ها دیده می‌شود. در این دو ماه اطلاعات GPCC با حدود ۱۰ میلی‌متر اختلاف، بیشترین تفاوت را با داده‌های مشاهداتی دارد. اطلاعات APHRODITE در این دو ماه حدود ۵ میلی‌متر اختلاف و CRU اختلاف جزئی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- رژیم بارندگی مشاهداتی و حاصل از APHRODITE، CRU و GPCC در ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان

در این ایستگاه حداکثر بارش در ماه مارس اتفاق افتاده است که به جز GPCC که کمی بارش را بیشتر تخمین زده است، دو پایگاه داده دیگر به خوبی این

جدول ۲- مقادیر معیار RMSE مربوط به بارش به صورت ماهانه و کل سری زمانی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

RMSE	همدان			خرم آباد			کرمانشاه		
	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC
ژانویه	۱۸/۴۲	۲۱/۳۷	۱۷/۵۸	۱۵/۸۰	۱۱/۵۶	۲۹/۶۰	۱۵/۸۲	۵/۰۳	۱۵/۶۱
فوریه	۱۶/۳۸	۱۵/۵۳	۱۹/۶۴	۲۱/۱۳	۲۹/۵۶	۲۵/۷۵	۲۵/۳۳	۴/۵۶	۲۰/۱۴
مارس	۲۰/۴۱	۲۸/۰۴	۲۲/۷۳	۱۷/۹۳	۱۸/۷۱	۲۸/۶۶	۲۱/۷۶	۱۲/۰۴	۱۴/۹۰
آوریل	۱۴/۹۷	۲۲/۰۶	۱۹/۶۸	۱۲/۷۵	۱۸/۹۱	۱۷/۶۸	۲۳/۹۹	۱۳/۵۱	۲۱/۷۱
مه	۹/۹۱	۱۲/۵۵	۱۳/۰۶	۷/۸۷	۱۳/۴۲	۶/۳۷	۱۴/۲۶	۱۰/۱۶	۱۴/۰۹
ژوئن	۳/۸۵	۷/۶۰	۴/۸۶	۲/۰۴	۱۷/۲۶	۱/۶۷	۲/۴۱	۱۳/۳۳	۲/۳۵
ژوئیه	۷/۹۸	۱۱/۹۲	۷/۳۴	۰/۹۷	۱۶/۰۷	۰/۹۷	۱/۸۶	۱۰/۷۳	۱/۷۴
اوت	۷/۲۱	۹/۴۸	۷/۲۲	۰/۹۵	۱۱/۷۱	۱/۰۰	۰/۱۴	۶/۸۸	۰/۱۳
سپتامبر	۰/۷۸	۲/۶۱	۰/۹۵	۰/۶۱	۴/۱۸	۰/۶۷	۷/۲۷	۸/۴۴	۶/۳۴
اکتبر	۱۲/۶۷	۱۴/۰۳	۷/۸۰	۱۴/۳۸	۱۸/۸۶	۹/۵۴	۱۰/۲۳	۵/۷۷	۷/۴۶
نوامبر	۱۲/۹۱	۲۴/۸۴	۲۰/۱۷	۱۵/۳۰	۱۸/۵۸	۱۹/۹۴	۱۷/۹۰	۲۱/۷۷	۱۲/۲۹
دسامبر	۱۱/۹۶	۱۳/۹۶	۱۳/۱۷	۱۷/۳۶	۲۲/۸۹	۲۴/۱۵	۲۲/۹۶	۴/۹۶	۱۵/۹۰
میانگین	۱۱/۴۵	۱۵/۳۳	۱۲/۹۳	۱۰/۵۹	۱۶/۸۱	۱۳/۸۳	۱۳/۶۶	۹/۷۷	۱۱/۰۵
سری زمانی	۱۲/۷۴	۱۶/۹۲	۱۴/۶۸	۱۲/۸۸	۱۷/۸۷	۱۷/۷۷	۱۶/۲۳	۱۰/۸۸	۱۳/۰۷

یکی از مواردی که می‌توان مورد توجه قرار گیرد، عملکرد گزارش شده توسط خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) برای پایگاه CRU در ارتفاع‌های مختلف است. در آن پژوهش بیان گردیده است که پایگاه CRU، همبستگی بهتری با بارش‌های مشاهده‌ای در مناطق با ارتفاع بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، نسبت به مناطق با ارتفاع ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۲۰۰۰-۱۵۰۰۰ داشته است. از آنجا که ارتفاع ایستگاه‌های خرم‌آباد، کرمانشاه و همدان به ترتیب با ارتفاع ۱۱۴۷، ۱۳۱۸ و ۱۷۴۱ متر از سطح دریا است، بر اساس نتایج پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴)، انتظار می‌رفت که بیشترین مقدار همبستگی در ایستگاه کرمانشاه و بعد از آن در ایستگاه خرم‌آباد مشاهده شود. در مقیاس سالانه همبستگی بین اطلاعات CRU و اطلاعات مشاهده‌ای در ایستگاه کرمانشاه برابر ۰/۹۵، در ایستگاه خرم‌آباد ۰/۸۶ و برای ایستگاه همدان ۰/۸۴ به دست آمده است؛ این نتایج، با نتایج حاصل از تحقیق خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) سازگار است. علاوه بر این، در بررسی همبستگی بارش ماهانه برای ۱۱ ایستگاه منتخب که در پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) انجام شد، همبستگی در ایستگاه‌های نواحی مرکزی، جنوبی و غربی کشور، همبستگی قوی و معنی‌داری بوده است. برای مثال در شهرکرد همبستگی ۰/۹۷، در آبادان همبستگی ۰/۹۸ و در سنجند همبستگی ۰/۹۶ را گزارش کرده‌اند. بنابراین می‌توان به طور کلی، همبستگی‌های (مربوط به سری

زمانی بارش ماهانه) ۰/۹۱ در ایستگاه همدان، ۰/۹۳ در ایستگاه خرم‌آباد و ۰/۹۷ در ایستگاه کرمانشاه که در پژوهش حاضر به دست آمده است را با نتایج خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) سازگار دانست. جدول ۳ مقادیر معیار r بین داده‌های بارش مشاهده‌ای ایستگاه‌ها و اطلاعات پایگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در بررسی ماهانه همبستگی‌ها، در ماه‌های اوت و سپتامبر، که ماه‌های خشک محسوب می‌شوند، کمینه همبستگی دیده شده است و برعکس در ماه‌های پر بارش همبستگی مناسبی بین اطلاعات مشاهده می‌شود. بر اساس معیار r پایگاه GPCC بهترین عملکرد را داشته است به نحوی که متوسط CC ماهانه برای تمام ایستگاه‌ها بر اساس اطلاعات GPCC حداکثر مقدار است. در بررسی معیار r برای کل سری زمانی در ایستگاه کرمانشاه CRU با همبستگی ۰/۹۷، در ایستگاه خرم‌آباد APHRODITE و GPCC با همبستگی ۰/۹۷ و در ایستگاه همدان GPCC با ضریب همبستگی ۰/۹۳ بهترین عملکرد را داشته‌اند. مقادیر بیشینه r در جدول ۳ با کشیدن خط بر زیر آن‌ها مشخص شده‌اند. به طور کلی بر اساس معیار r عملکرد پایگاه‌های مورد مطالعه در ماه‌ها پربارش بهتر از ماه‌های خشک است. این نتایج، با نتایج دینکو و همکاران^۱ (۲۰۰۸) که در پژوهش خود به بررسی دقت

^۱ Dinku et al.

را دارد. وضعیت مشابه معیار RMSE برای معیار r نیز وجود دارد، با این تفاوت که بر اساس این معیار در ایستگاه کرمانشاه در مقیاس سه ماه SPI عملکرد CRU و GPCC یکسان بوده است. مقادیر کمینه RMSE و بیشینه r در جدول ۴ با کشیدن خط بر زیر آن‌ها مشخص شده‌اند. شکل ۳ مقدار شاخص SPI سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ در ایستگاه کرمانشاه شاخص SPI حاصل از CRU بیشترین تطابق را با شاخص محاسبه شده با استفاده از بارش مشاهداتی دارد. در ایستگاه خرم‌آباد عملکرد پایگاه‌های داده تقریباً مشابه است. بیشترین خطا در این ایستگاه مربوط به سال ۲۰۰۷ داده‌های APHRODITE است. در ایستگاه همدان شاخص SPI حاصل از GPCC بهتر عمل نموده است و تطابق بیشتری بین شاخص SPI محاسباتی توسط GPCC با شاخص SPI حاصل از اطلاعات مشاهداتی وجود دارد. APHRODITE در سال ۲۰۰۷ در ایستگاه کرمانشاه و همدان نیز دارای خطای زیادی است. عملکرد APHRODITE در پایش خشکسالی، در سال ۲۰۰۷ ضعیف‌تر از سال‌های قبل است، از آنجا که این سال، آخرین سال ارائه اطلاعات توسط APHRODITE برای خاورمیانه است، این احتمال وجود دارد که اطلاعات زمینی (مشاهداتی) مورد استفاده در تهیه پایگاه APHRODITE در سال ۲۰۰۷، برای حوضه کرخه موجود نبوده و به همین دلیل این پایگاه تخمین‌های ضعیفی در این سال داشته است. این مسئله برای سال ۲۰۰۶ نیز با شدت کم‌تر مشاهده می‌شود. جدول ۵، درصد اختلاف کلاس خشکسالی^۱ (DC) محاسباتی از طریق بارش مشاهداتی و بارش سه پایگاه APHRODITE، CRU و GPCC را بر اساس شاخص SPI سالانه نشان می‌دهد. در جدول ۵، اگر اختلافی بین کلاس خشکسالی بر اساس داده‌های مشاهداتی و داده‌های پایگاه‌های مختلف وجود نداشته باشد، DC برابر صفر است؛ در صورت یک کلاس اختلاف DC برابر یک و به همین صورت DC برابر دو و سه به ترتیب دو و سه کلاس اختلاف را نشان می‌دهند.

پایگاه‌های بارش در افریقا پرداخته بودند، سازگار است. همچنین نتایج مشابهی توسط مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) که به بررسی اطلاعات GPCC در ایران پرداخته بودند، گزارش شده است. علت این موضوع را می‌توان، در جزئی بودن بارش در ماه‌های خشک جستجو کرد؛ به نحوی که تفاوت‌های کم بین بارش مشاهداتی و بارش حاصل از پایگاه جهانی می‌تواند، مقادیر نامناسبی را برای معیار r نتیجه دهد. در یک جمع‌بندی کلی، بر اساس نتایج به‌دست آمده در این قسمت، مقدار RMSE مربوط به پایگاه APHRODITE بهتر از دو پایگاه دیگر بوده است؛ که نشان دهنده اختلاف کمتر اطلاعات بارش این پایگاه با بارش مشاهداتی است. در حالی که، بر اساس معیار r ، پایگاه GPCC بهتر عمل کرده است. این مسئله، نشان دهنده پایگاه GPCC به خوبی رفتار و تغییرات بارندگی را تخمین زده است، اما در تخمین مقدار دقیق بارش، دارای خطا بیشتری نسبت به APHRODITE است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در مقاله خود که اطلاعات بارش APHRODITE، GPCC در چند ایستگاه باران‌سنجی در ایران ارزیابی نمودند؛ نشان دادند، GPCC بر اساس ضریب همبستگی بهتر از APHRODITE عمل می‌کند؛ اما بر اساس شاخص RMSE، پایگاه APHRODITE بر GPCC برتری دارد.

پایش خشکسالی با استفاده از پایگاه‌های بارش جهانی

در این قسمت به نتایج پایش خشکسالی با استفاده از پایگاه‌های بارش مورد بحث و مقایسه آن با نتایج حاصل از بارش مشاهداتی پرداخته شده است. جدول ۴ معیارهای ارزیابی RMSE و r را برای شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار RMSE مربوط به شاخص SPI در ایستگاه کرمانشاه با استفاده از اطلاعات CRU کمترین مقدار در تمام مقیاس‌های زمانی محاسبه SPI بوده است. در ایستگاه خرم‌آباد کمینه RMSE در محاسبه شاخص SPI سه ماهه مربوط به APHRODITE و در سایر مقیاس‌ها مربوط به GPCC است. همچنین GPCC در کلیه مقیاس‌های محاسبه SPI در ایستگاه همدان کمترین مقدار RMSE

¹ Difference in Classes

جدول ۳- مقادیر معیار r مربوط به بارش به صورت ماهانه و کل سری زمانی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

r	همدان			آباد خرم			کرمانشاه		
	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC
ژانویه	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۸۷
فوریه	۰/۷۷	۰/۹۳	۰/۸۱	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۳	۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۸۳
مارس	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹۴
آوریل	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۸۷
مه	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۷۶	۰/۹۹	۰/۸۰
ژوئن	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۴۶
ژوئیه	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۶۵	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۸۷	۰/۰۲	۰/۸۳
اوت	۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۶۲
سپتامبر	۰/۸۸	۰/۰۷	۰/۷۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۴۸
اکتبر	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹
نوامبر	۰/۹۷	۰/۸۰	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۸
دسامبر	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۸۹
میانگین	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۸۰
زمانی سری	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۶

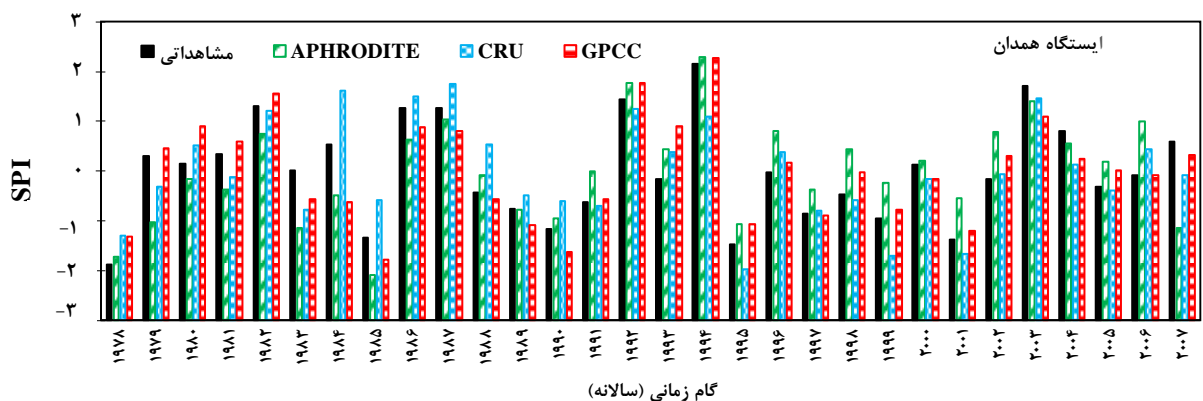
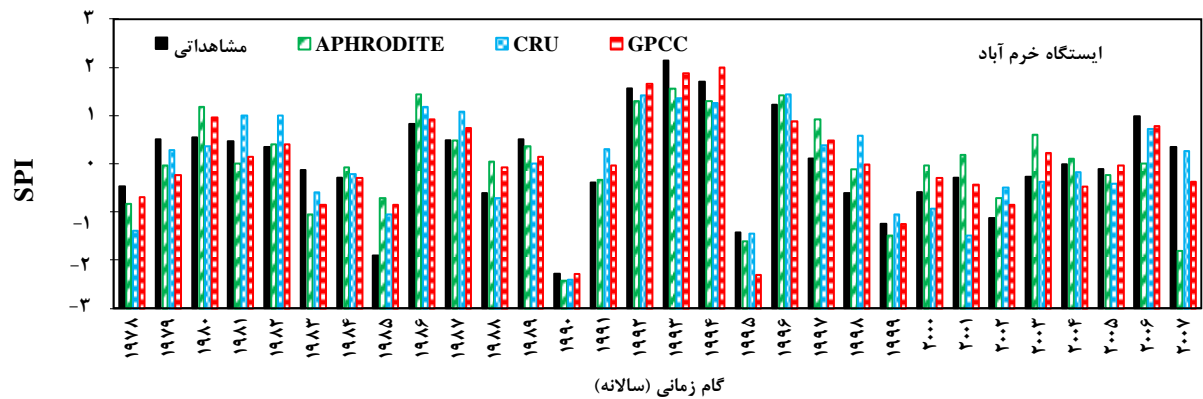
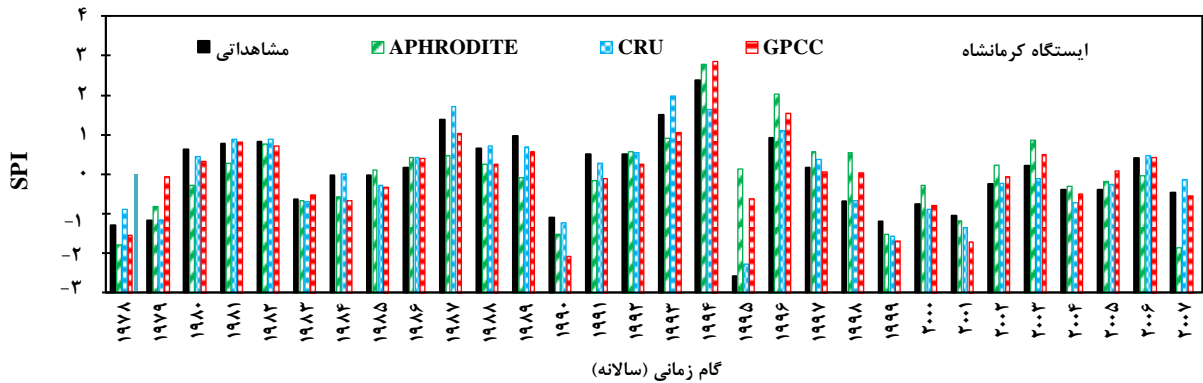
جدول ۴- مقادیر معیارهای کارایی مربوط به شاخص SPI محاسبه شده با استفاده از اطلاعات بارش جهانی

RMSE	همدان			آباد خرم			کرمانشاه		
	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC
SPI 3	۰/۶۰	۰/۸۷	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۴۸
SPI 6	۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۶۶	۰/۳۲	۰/۴۹
SPI 9	۰/۷۰	۰/۹۰	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۷۳	۰/۳۵	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۵۳
SPI 12	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۷۴	۰/۳۶	۰/۷۱	۰/۲۹	۰/۵۴
SPI 24	۰/۸۱	۰/۹۸	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۷۴	۰/۳۰	۰/۷۳	۰/۲۵	۰/۵۲

r	همدان			آباد خرم			کرمانشاه		
	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC
SPI 3	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۸۸	۰/۸۸
SPI 6	۰/۷۹	۰/۶۱	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۹۵	۰/۸۸
SPI 9	۰/۷۵	۰/۵۹	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۹۶	۰/۸۶
SPI 12	۰/۷۳	۰/۵۶	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۹۳	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۸۶
SPI 24	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۳	۰/۹۵	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۸۷

پایگاه دیگر دارد و همبستگی بیشتری بین شاخص‌های محاسباتی توسط اطلاعات این پایگاه با شاخص SPI محاسبه شده بر اساس بارش‌های مشاهده‌ای وجود دارد. در این رابطه کتیرایی بروجردی و همکاران (۲۰۱۵) که به مقایسه اطلاعات بارش APHRODITE و GPCC در پایگاه خشکسالی پرداخته بودند، به نتایج مشابهی رسیده‌اند.

بر اساس نتایج جدول ۵ در ایستگاه کرمانشاه پایگاه خشکسالی با استفاده از بارش CRU بهترین عملکرد را دارد و در ۸۳ درصد مواقع کلاس خشکسالی به درستی تعیین شده است و در ۱۰۰ درصد مواقع حداکثر با یک کلاس اختلاف، خشکسالی پایش شده است. در ایستگاه خرم‌آباد و همدان نیز به ترتیب شاخص SPI حاصل از GPCC با ۸۳ درصد و ۷۰ درصد توانایی در تشخیص بدون خطا کلاس خشکسالی، بهترین عملکرد را داشته است. در خصوص پایش خشکسالی، نتایج نشان داد که پایگاه GPCC در مجموع عملکرد بهتری نسبت به دو



شکل ۳- مقدار شاخص SPI سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس پایگاه‌های داده مختلف

جدول ۵- درصد اختلاف کلاس (DC) شاخص SPI سالانه محاسبه شده از طریق بارش مشاهداتی و بارش پایگاه‌های جهانی

کرمانشاه			آباد خرم			همدان			DC
APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	APHRODITE	CRU	GPCC	
۷۳/۳۳	۸۲/۳۳	۷۳/۳۳	۶۶/۶۷	۶۶/۶۷	۸۲/۳۳	۶۳/۳۳	۶۶/۶۷	۷۰/۰۰	۰
۱۳/۳۳	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۲۶/۶۷	۳۰/۰۰	۱۰/۰۰	۳۳/۳۳	۲۳/۳۳	۳۰/۰۰	۱
۶/۶۷	۰/۰۰	۶/۶۷	۶/۶۷	۳/۳۳	۶/۶۷	۳/۳۳	۱۰/۰۰	۰/۰۰	۲
۶/۶۷	۰/۰۰	۳/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳

سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ استفاده شد و همچنین اطلاعات بارش سه پایگاه مذکور برای این دوره دریافت شد. در گام اول به مقایسه داده‌های بارش پایگاه‌ها با مقدار بارش مشاهداتی پرداخته شد؛ که نتایج نشان داد، در ماه‌های پرباران دقت اطلاعات بیشتر از ماه‌های خشک است و

نتیجه‌گیری

هدف از مقاله حاضر بررسی دقت اطلاعات سه پایگاه جهانی بارش شامل APHRODITE، CRU و GPCC در سه ایستگاه کرمانشاه، خرم‌آباد و همدان بود. به این منظور از اطلاعات بارش مشاهداتی این سه ایستگاه در طول

انجام گیرد. پژوهش خلیلی و رحیمی (۲۰۱۴) در رابطه با ارزیابی پایگاه CRU، می‌تواند مبنای بسیار مناسبی برای انجام یک ارزیابی جامع و کامل از دو پایگاه مذکور باشد.

سپاسگزاری

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

منابع

جامعی، م.، موسوی بایگی، م.، بنیان اول، م. ۱۳۹۳. اعتبارسنجی برآوردهای بارندگی روزانه شبکه APHRODITE و برآوردهای حاصل از درون‌یابی مکانی بارندگی در استان خوزستان. نشریه آب و خاک، ۲۸(۳): ۶۳۸-۶۲۶.

حاجی حسینی، ح. ر.، حاجی حسینی، م. ر.، نجفی، ع. ر.، مرید، س.، دلآور، م. ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در بالادست حوضه هیرمند طی سده گذشته با استفاده از داده‌های اقلیمی CRU و مدل SWAT. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰(۳): ۵۲-۳۸.

شکوهی، ع. ر.، مروتی، ر. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد شاخص‌های شناسایی خشکسالی و بارش استاندارد از وضعیت خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۳): ۲۶-۳۳.

عزیزی، ق.، صفرراد، ط.، محمدی، ح.، فرجی سبکبار، ح. ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکای شده بارش جهت استفاده در ایران. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱): ۴۹-۳۳.

مسعودیان، س. ا.، کیخسروی، کیانی، م. ص.، رعیت‌پیشه، ف. ۱۳۹۳. معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده GPCP، GPC و CMAP. نشریه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱): ۸۸-۷۳.

Dinku, T., Connor, S. J., Ceccato, P., Ropelewski, C. F. 2008. Comparison of global gridded precipitation products over a mountainous region of Africa. *Int. J. Climatol.*, 28(12), 1627-1638.

Guttman, N. B. 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 35(2): 311-322.

Javanmard, S., Jamali, J., Yatagai, A., Mahdavi, E. 2011. Spatial and Temporal Analysis of Precipitation over Iran Using Gridded

بیشترین خطا در تابستان رخ داده است. همچنین مقایسه عملکرد سه پایگاه، برتری کامل یکی از آن‌ها را بر دو پایگاه دیگر نشان نداد، بنابراین نمی‌توان به صورت قطعی پایگاه داده‌ای را به عنوان بهترین پایگاه داده معرفی کرد. بر اساس شاخص RMSE در ایستگاه کرمانشاه بهترین عملکرد مربوط به پایگاه CRU و در ایستگاه‌های خرم‌آباد و همدان، APHRODITE دارای کمترین مقدار RMSE بوده است. اما بر اساس شاخص r عملکرد نسبتاً مشابهی از CRU و GPC در ایستگاه کرمانشاه مشاهده شد و در دو ایستگاه خرم‌آباد و همدان GPC بهترین پایگاه بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که GPC در تخمین رفتار و تغییرات بارندگی بهتر از پایگاه‌های دیگر بوده است، اما در تشخیص مقدار بارندگی ضعیف‌تر از APHRODITE است. در ادامه از اطلاعات بارش این سه پایگاه در پایش خشکسالی در سه ایستگاه همدیدی ذکر شده استفاده شد. خشکسالی بر اساس شاخص SPI و در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه و سالانه انجام شد. در این قسمت در ایستگاه کرمانشاه پایش خشکسالی با استفاده از بارش CRU بهترین عملکرد را داشت به نحوی که در ۸۳ درصد مواقع کلاس خشکسالی به درستی تعیین شده بود. در ایستگاه خرم‌آباد و همدان نیز به ترتیب شاخص SPI سالانه حاصل از GPC با ۸۳ درصد و ۷۰ درصد توانایی در تشخیص بدون خطا کلاس خشکسالی، بهترین عملکرد را داشته است. از آنجا که در مراحل محاسبه شاخص SPI استانداردسازی صورت می‌گیرد، وجود اختلاف نسبتاً ثابت به صورت بیش تخمینی یا کم تخمینی، در اطلاعات تأثیری چشم‌گیری در نتیجه شاخص SPI نمی‌گذارد. بنابراین از آنجا که تشخیص رفتار بارش (نه مقدار دقیق آن) توسط GPC بهتر از APHRODITE بوده است، در زمینه پایش خشکسالی با استفاده از شاخص SPI بهتر از APHRODITE عمل نموده است. همانطور که در انتهای مقدمه اشاره شده بود، پژوهش حاضر تنها یک دید ابتدایی نسبت به عملکرد پایگاه‌های بارش مورد استفاده در این پژوهش، در حوضه کرخ ارائه داده است. نتیجه‌گیری کلی در مورد عملکرد این پایگاه‌ها نیازمند استفاده از طیف گسترده‌تری از ایستگاه‌ها بارش مشاهداتی است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، تحقیق حاضر در مقیاس کل کشور برای پایگاه‌های GPC و APHRODITE به صورت جامع

- Iran. Water. Resour. Manag., 25(4): 1075-1086.
- Stagge, J. H., Kohn, I., Tallaksen, L. M., Stahl, K. 2015. Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. *J. Hydrol.*, 530: 37-50.
- Thom, H. C. S. 1958. A note on gamma distribution. *Monthly Weather Rev.*, 86: 117-122.
- 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. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93(9): 1401-1415.
- Zarch, M. A. A., Sivakumar, B., Sharma, A. 2015. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *J. Hydrol.*, 526: 183-195.
- Precipitation Data of APHRODITE. *Glob. Envir. Res.*, 15, 157-164.
- Katirai-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L., Sorooshian, S. 2015. Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region. *Theor. Appl. Climatol.*, 1-12.
- Khalili, A., Rahimi, J. 2014. High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: a comparative study with three global-precipitation datasets. *Theor. Appl. Climatol.*, 118(1-2): 211-221.
- McKee T. B., Doesken N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22): 179-183.
- Raziei, T., Bordi, I., Pereira, L. S. 2011. An application of GPCC and N•CEP/NCAR datasets for drought variability analysis in



Assessment of global precipitation datasets and their application in drought monitoring (Case study: Karkhe basin, Iran)

S. M. Hosseini-Moghari¹, Sh. Araghinejad^{2*}, K. Ebrahimi²

Received: 30/01/2016

Accepted: 18/01/2017

Abstract

Lack of reliable long term data of precipitation, required for hydrometeorological studies, is a major challenge in most of weather stations of Iran. The present study aims to analyze the possibility of using global precipitation data as an alternative to the in situ observations. For this purpose, precipitation data collected from three global datasets namely APHRODITE, GPCC, and CRU were studied over a period of 30 years (1978-2007) for three synoptic stations located within Karkhe basin; Kermanshah, Khoram-Abad, and Hamedan. In addition to the total amount of precipitation the Standardized Precipitation Index (SPI) was also calculated using data retrieved from these three datasets. The obtained values were compared with observed ones. The obtained results revealed that different global databases perform differently in various climatic regions. However, in general, CRU at Kermanshah station, and APHRODITE at Khoram-Abad and Hamadan station, outperformed the others. For drought monitoring, based on annual SPI index, CRU by 83 percent of correct drought class recognition at Kermanshah station and GPCC by 83 and 70 percent of correct drought class recognition at Khoram-Abad and Hamadan stations, respectively, showed the best performance.

Keywords: Karkheh basin, APHRODITE, CRU, GPCC, Iran



¹ Ph.D. Candidate of Water Resources Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Professor, University of Tehran, Karaj, Iran

(*Corresponding author's email address: araghinejad@ut.ac.ir)