

مقاله پژوهشی

تولید بارش شبکه‌بندی با استفاده از ترکیب بهینه پایگاه‌های داده بارش جهانی

علی گرجی زاده*^۱، علی محمد آخوندعلی^۲، علی شهبازی^۳، فاطمه سلمان نیا^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

۱-دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز ایران

۲-استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳-دفتر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران

۴-دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: Aligorzade@gmail.com

چکیده

از آنجایی که داده‌های شبکه‌بندی شده راه‌حل جدیدی از برآورد میزان بارش با تنوع مکانی و زمانی ارائه می‌دهند این تحقیق به ارزیابی عملکرد سه مجموعه داده باران شبکه‌بندی شده PERSIANN، CMORPH و GLDAS و ترکیب آن‌ها با روش گام به گام در بالادست ایستگاه هیدرومتری ایدنک پرداخته است و خروجی این محصولات با داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در سطح زمین در ایستگاه‌های دهنو، قلعه ریسی، ایدنک و مارگون مقایسه شد. نتایج بیانگر این است که داده‌های ترکیبی بر اساس مقادیر RMSE در کلیه ایستگاه‌ها بهترین عملکرد را داشته و کمترین این مقدار در ایستگاه مارگون با مقدار ۵/۵ میلی‌متر برآورد شده است؛ همچنین از نظر پارامتر ضریب همبستگی نیز داده‌های ترکیب شده همبستگی خطی بیشتری با داده‌های مشاهداتی ارائه می‌نماید به‌گونه‌ای که بیشترین ضریب همبستگی خطی برابر با ۰/۴۹۷ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب داده‌ها سبب بهبود توزیع مکانی باران در دو فصل تر و خشک خواهد شد. نتایج تحقیق بر روی توزیع میزان بارش بیانگر این است که ترکیب داده‌ها در برآورد تعداد واقعه‌های باران به تفکیک کلاس‌های مختلف موفق نبوده و مجموعه داده PERSIANN نتایج مناسب‌تری را ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تخمین بارندگی، ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده، شاخص‌های ارزیابی، حوضه سد مارون

Derivation of rainfall events using the gridded rainfall data using optimal combination of global rainfall datasets

Ali Gorjizade^{1*}, Alimohammad Akhoond-Ali², Ali Shahbazi³, Fateme Salmannia⁴

Received: December 18, 2019

Accepted: March 14, 2021

1- PhD Graduate in Water Resources Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

2- Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

3- Water Resources basic study office, Khuzestanwater and power authority

4- M. Sc Graduate in Civil- Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

*Corresponding Author, Email: AliGorzizade@gmail.com

Abstract

Since Gridded data provide a new solution for estimating rainfall with spatial and temporal variability, this study evaluates the performance of three gridded rainfall data sets PERSIANN, CMORPH and GLDAS and combines them with stepwise method in Upstream of the Idenak hydrometric station, the output of these products was compared with the rainfall data measured at the ground at the Dehno, Qaleh-Raeisi, Idenak and Margon stations. The results show that the combined data based on RMSE values had the best performance in all stations and the lowest value was estimated in Margon station with a value of 5.5 mm; Also, in terms of correlation coefficient parameter, the combined data provide more linear correlation with observational data, so that the maximum linear correlation coefficient is equal to 0.497. The results also show that the use of data combination will improve the spatial distribution of rainfall in both wet and dry seasons. The results of research on rainfall distribution indicate that the data combination has not been successful in estimating the number of rainfall events by different classes and the PERSIANN data set provides more appropriate results.

Keywords: Rainfall Estimation, Combination of Gridded Data, Evaluation Indicators, Maroon Dam basin

مقدمه

همکاران (۲۰۰۳). از باران سنج‌ها برای اندازه‌گیری دقیق بارندگی استفاده می‌شود، اما باران سنج‌های کم در یک مکان نمی‌توانند توزیع مکانی بارش در مناطق وسیع و مناطق کوهستانی را نشان دهند (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). به عبارت دیگر اندازه‌گیری باران سنج‌ها در مقیاس نقطه‌ای و توزیع آن‌ها به‌ویژه در مناطق کوهستانی و بیابانی بسیار پراکنده است. به غیر از خطای نمونه‌گیری (اندازه‌گیری باران سنج)، گسترش اطلاعات بارندگی از مقیاس نقطه به سطح منبع دیگری از خطا محسوب می‌شود (ویلارینی و همکاران ۲۰۰۸، تپادور و همکاران ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر رویکرد جدیدی از بارش پهنه‌ای به نام داده‌های بارش شبکه‌بندی ارائه شده است که استفاده از آن و بهره‌گیری از قابلیت‌های آن در حال

برآورد دقیق بارش برای درک جامع از تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی و آب و هوا، به‌ویژه برای کشورهای خشک و نیمه خشک بسیار مهم است (کتیرایی بروجردی و همکاران ۲۰۱۷). داده‌های بارشی با کیفیت بالا به عنوان یکی از مهم‌ترین ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین برای درک تعادل هیدرولوژیکی و بررسی چگونگی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر چرخه هیدرولوژیکی مورد نیاز است (تن و همکاران ۲۰۲۰)؛ علاوه بر این، اطلاع در مورد توزیع مکانی و زمانی طولانی‌مدت بارش، به عنوان یک بخش اصلی در بهبود تشخیص آب و هوا و همچنین بهینه سازی مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا عمل می‌کند (آدلر و

داده‌های شبکه‌بندی پرداخته شده است که از جمله این تحقیقات عبارتند از تحقیق تن و همکاران (۲۰۱۸)، آرور و همکاران (۲۰۱۷)، ونگ و همکاران (۲۰۱۷)، یوان و همکاران (۲۰۱۷)، ژو و همکاران (۲۰۱۷)، کیم و همکاران (۲۰۱۷) به عنوان مثال جاو و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق دو مدل بارش شبکه‌بندی شده *CHIRPS* و *PERSIANN-CDR* در چین پرداختند. همچنین ونگ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی چهار مجموعه داده *CHIRPS*، *CMORPH*^۴، *GLDAS*^۵ و *TRMM*^۶ در حوضه رودخانه یانگتز در چین پرداختند. تمامی مطالعات پیشین به ارزیابی عمق، شدت و یا تعداد رویدادهای بارشی مدل‌های مختلف پرداخته‌اند. آنچه که تحقیق حاضر را از سایر مطالعات انجام گرفته متمایز می‌نماید این است که علاوه بر ارزیابی عملکرد سه مجموعه داده باران شبکه‌بندی شده *PERSIANN*، *CMORPH* و *GLDAS*، به ترکیب نمودن این داده‌ها با روش گام به گام و مقایسه آن‌ها با مقادیر باران مشاهداتی پرداخته است. متأسفانه ایستگاه‌های هواشناسی در ایران پراکنده و دارای اطلاعات ناقص هستند؛ لذا مقایسه و ارزیابی عملکرد و داده‌های بارش شبکه‌بندی شده جهت تکمیل سری زمانی داده‌های باران و حتی جایگزین مناسب ادوات باران‌سنجی در منطقه‌ای که اطلاعات بارشی وجود ندارد مورد استفاده قرار گیرد. این مطالعه اولین مطالعه ایست که به ارزیابی عملکرد ترکیب داده‌های شبکه‌بندی می‌پردازد. اهداف اصلی این فرآیند به شرح زیر است: (۱) بررسی دقت کمی برآورد مقدار بارندگی و توانایی تشخیص روزهای بارشی در هر محصول بارشی؛ (۲) توزیع میزان بارش روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف و توزیع مکانی محصولات؛ (۳) ارائه روش تشکیل یک مجموعه داده جدید با ترکیب هر سه محصول با توجه به مزایای آن‌ها در هر جنبه؛ و (۴) نشان دادن تأثیر

افزایش می‌باشد. داده‌های شبکه‌بندی شده که نوعی دیگر از داده‌های بارش در دسترس می‌باشند را می‌توان به چهار دسته تقسیم‌بندی نمود (دوان و همکاران ۲۰۱۶): الف) داده‌هایی که بر مبنای فقط باران‌سنج می‌باشند که تنها بر اساس مشاهدات ایستگاه باران‌سنج با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی تولید شده و به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این محصولات اغلب در یک مقیاس مکانی بزرگتر از ۰/۵ درجه در دسترس هستند؛ ب) داده‌های باران حاصل از تحلیل دوباره داده‌های تاریخی توسط مدل‌های جوی و یا عددی پیش‌بینی آب و هوا که با استفاده از ترکیب ماهواره و مشاهدات خصوصیات جوی در مکان خاص، به عنوان ورودی این مدل‌ها، تولید می‌شوند. این داده‌ها، داده‌های تحلیل مجدد نامیده می‌شوند (بالزامو و همکاران ۲۰۱۵)؛ ج) داده‌هایی که تنها ماهواره‌ای هستند بدین معنی که بر اساس استفاده از امواج مادون قرمز، اطلاعات ماکروویو و یا ترکیب آن‌ها استخراج می‌شوند؛ د) داده‌هایی که از ترکیب داده‌های گروه‌های باران‌سنجی و ماهواره‌ای (گروه‌های الف و ج) تولید شده‌اند. مطالعات گسترده‌ای در رابطه با کاربرد و همچنین ارزیابی این داده‌ها در ایران صورت پذیرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات زنگنه این الو و همکاران (۲۰۱۹)، کتیرایی بروجردی و همکاران (۲۰۱۷)، شریفی و همکاران (۲۰۱۶)، معظمی و همکاران (۲۰۱۳)، جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد؛ برای مثال گرجی زاده و همکاران (۲۰۱۹a) به مقایسه و ارزیابی سه مجموعه داده *ERA*^۱-*Interim*، *PERSIANN-CDR*^۲ و *CHIRPS*^۳ در بالا دست حوضه مارون پرداختند؛ همچنین گرجی زاده و همکاران (۲۰۱۹b) از اطلاعات دو پایگاه داده با وضوح مکانی بالا جهت ارزیابی بارش بهره بردند. همچنین تحقیقات زیادی در خارج از ایران به بررسی مجموعه

³- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data

⁴- CPC MORPHing technique

⁵- Global Land Data Assimilation System

⁶- Tropical Rainfall Measuring Mission

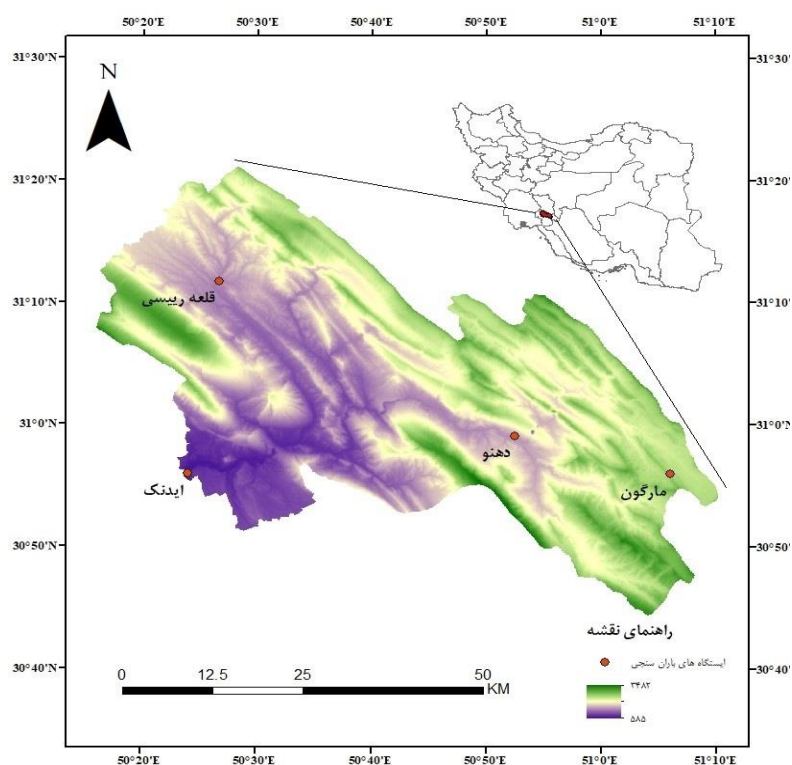
¹- Ecmwf ReAnalysis

²- Precipitation Estimation from Remotely Sensed

Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record

ایران است که از رشته‌کوه زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد سرچشمه می‌گیرد و با عبور از بهبهان و آغاجری در استان خوزستان جریان می‌یابد و به نام

ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده جهت بهبود عملکرد این نوع داده‌ها، تا علاوه بر اینکه در بهبود عملکرد نسخه‌های آینده داده‌های بارش شبکه‌بندی مفید واقع شود، شیوه‌های ترکیب این داده‌ها مورد بررسی و آزمون قرار گیرد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (بالادست ایستگاه هیدرومتری ایدنک)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	انحراف معیار (میلی‌متر)	ضریب چولگی
	طول (درجه)	عرض (درجه)				
ایدنک	۵۰/۴	۳۰/۹۳۳	۵۸۵	۵۴۶	۱۸۰	-۰/۶۶۸
قلعه‌ریزی	۵۰/۴۴۴	۳۱/۱۹۵	۱۳۰۰	۵۹۴	۲۲۸	۰/۰۹۸
دهنو	۵۰/۸۷۵	۳۰/۹۸۵	۱۳۸۳	۸۹۸	۲۸۱	-۰/۷۵۱
مارگون	۵۱/۱	۳۰/۹۳۳	۲۲۲۰	۵۹۵	۱۷۱	-۰/۱۴۵

الگوریتم واسنجی داده‌های مادون قرمز با برآوردهای میکروویوهای غیرفعال است این کار توسط بروزرسانی پارامترها در هر زمان که برآورد PMW^1 در دسترس باشد، انجام می‌گیرد. در واقع تخمین‌ها توسط IR^2 انجام می‌شود و سپس توسط PMW واسنجی می‌شود.

مجموعه داده CMORPH

مدل $CMORPH$ در سال ۲۰۰۴ در مرکز پیش‌بینی اقلیم $NOAA$ ارائه شد (جویس و همکاران ۲۰۰۴) خروجی این مدل، مقدار بارش بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای است و اطلاعات آن از دسامبر ۲۰۰۲ تاکنون بر روی وب‌سایت $NOAA$ قرار دارد. تفکیک زمانی و مکانی این مدل به ترتیب ۳ ساعت و ۰/۲۵ درجه می‌باشد. نسخه دیگری از مدل فوق نیز ارائه شده است که دارای تفکیک زمانی و مکانی ۳۰ دقیقه و ۸ کیلومتر می‌باشد. این مدل از عرض ۶۰ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی را پوشش می‌دهد.

مجموعه داده GLDAS

مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمین ($GLDAS$) به‌طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (ناسا)، مرکز فضایی پروازهای گودارد، سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی و مرکز بین‌المللی پیش‌بینی محیط‌زیست به منظور تولید محصولات مختلف توسعه داده شده است (رودل و همکاران ۲۰۰۴) این مدل در واقع با هدف ادغام محصولات ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی با استفاده از مدل‌سازی و تکنیک‌های پیشرفته همسان‌سازی به منظور برآوردهای مطلوب از شار سطح زمین و منابع آب و انرژی طراحی شده است (زایتچیک و همکاران ۲۰۱۰).

در این مطالعه از ارتفاع بارش روزانه (میلی‌متر) سه مجموعه داده فوق‌الذکر به شرح جدول ۲ استفاده

موارد روش‌ها

۱-۱ منطقه مورد مطالعه

مارون یا رودخانه مارون، از رودخانه‌های جنوب غربی رود جراحی، به تالاب شادگان و در فصل‌های پرآب، به خلیج فارس می‌ریزد. حوضه آبخیز سد مارون یکی از زیر حوضه‌های رودخانه مارون- جراحی بوده که در جنوب غربی ایران در استان کهگیلویه و بویر احمد قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی مورد نظر در این مطالعه بالادست ایستگاه هیدرومتری ایدنک می‌باشد در جایی که منبع اصلی تأمین آب ورودی به سد مارون تأمین می‌شود. مساحت این محدوده حدود ۲۷۵۰ کیلومترمربع می‌باشد و در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی واقع شده است. شکل ۱ محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. در این محدوده، ۴ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو موجود و هیچ ایستگاهی مربوط به سازمان هواشناسی وجود ندارد. در مطالعه حاضر با توجه به داده‌های تأیید شده وزارت نیرو از آمار بارندگی روزانه ایستگاه‌های ایدنک، قلعه‌ریبسی، دهنو و مارگون موجود در محدوده مطالعاتی در فاصله زمانی سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲-۹۳ (۲۰۰۳-۲۰۱۴) که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده، استفاده گردیده است؛ همچنین لازم به ذکر است در این مطالعه ۶ ماه اول سال به عنوان فصل خشک و ۶ ماه دوم سال به عنوان فصل تر در نظر گرفته شده است.

مجموعه داده PERSIANN

$PERSIANN$ یک الگوریتم تخمین بارندگی با استفاده از سنجش از دور با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد سو و همکاران (۱۹۹۷) این الگوریتم را در دانشگاه آریزونا توسعه دادند. رویکرد این

2- Inferred

1- Passive microwave

شده است.

ترکیب مجموعه داده‌ها با روش گام به گام

به‌طور کلی، در یک مدل کالیبراسیون، برخی متغیرهای ورودی تأثیر قابل توجهی در متغیرهای خروجی ندارند؛ بنابراین استفاده از متغیرهایی که باعث بهبود خروجی مدل می‌شود قابل توجه است (جیاو و ۲۰۱۰) و خروجی مدل نیز مقدار باران می‌باشد، که قابل مقایسه با مقدار اندازه گرفته شده در زمین است. روش تجزیه و تحلیل رگرسیون مرحله‌ای به‌طور معمول به عنوان یک رگرسیون خطی جایگزین برای انجام تحلیل حساسیت کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ونگ و همکاران ۲۰۱۶). روش ورود متغیرهای مستقل به مدل رگرسیونی به‌صورت گام به گام می‌باشد، در واقع این روش متغیرها را یک به یک وارد مدل می‌کند، یعنی ابتدا متغیری که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌کند. دومین متغیری که وارد تحلیل می‌شود، متغیری است که پس از تفکیک متغیر مقدم بر آن، موجب بیشترین افزایش در مقدار ضریب تعیین می‌شود. در این روش، ورود متغیرها به مدل را یک به یک و تا زمانی انجام می‌دهیم که معنی‌داری متغیر به ۹۵ درصد برسد؛ یعنی سطح خطا ۵ درصد گردد. سپس عملیات متوقف می‌شود. این روش می‌تواند متغیرهای آماری قابل توجهی را برای یک مدل رگرسیون ارائه دهد (کیم و همکاران ۲۰۱۸). سه روش اصلی برای انتخاب متغیر مرحله‌ای وجود دارد: انتخاب پیش‌رو، حذف پس‌رو و

رگرسیون گام به گام. انتخاب پیش‌رو با هیچ متغیری شروع نمی‌شود (یک مدل صفر)، و متغیری را اضافه می‌کند که به بهترین وجه به لحاظ آماری قابل وابسته دارند اولین گزینه حذف از معادله هستند) را نداشته باشند، تک تک حذف می‌شوند. رگرسیون گام به گام، ترکیبی از دو روش فوق است این نوع رگرسیون، تعدیل روش انتخاب پیش‌رو می‌باشد که در آن در هر قدم همه متغیرهای رگرسیونی از قبل وارد شده به مدل با آماره F - جزئی خودشان مجدداً ارزیابی می‌شوند. یک متغیر رگرسیونی اضافه شده در قدم قبل ممکن است به لحاظ ارتباط با متغیرهای رگرسیونی که اکنون در معادله‌اند زائد باشد. اگر آماره F - جزئی برای یک متغیر کمتر از $F(out)$ از پیش تعیین شده باشد، آن متغیر از مدل کنار گذاشته می‌شود. به عبارتی در این روش متغیرهای مستقل به معادله رگرسیون اضافه می‌شود و اگر نقش معنی‌داری در رگرسیون نداشته باشند از آن حذف می‌شوند.

در تحقیق حاضر، جهت بسط مدل رگرسیون، از روش رگرسیون گام به گام استفاده شده است، زیرا مزایای ارائه شده توسط انتخاب پیش‌رو و حذف پس‌رو را در برمی‌گیرد (ونگ و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۲- مشخصات داده‌های شبکه‌بندی مورد استفاده در تحقیق

نام مجموعه داده	نوع	تفکیک مکانی (درجه)	تفکیک زمانی	بازه زمانی (سال)	آدرس دریافت داده‌ها
PERSIANN	ماهواره مینا	۰/۲۵*۰/۲۵	روزانه	۲۰۱۴-۲۰۰۳	https://chrsdata.eng.uci.edu
CMORPH	ماهواره- باران سنج	۰/۲۵*۰/۲۵	روزانه	۲۰۱۴-۲۰۰۳	https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cmorph-cpc-morphing-technique-high-resolution-precipitation-60s-60n
GLDAS	ماهواره- باران سنج	۰/۲۵*۰/۲۵	روزانه	۲۰۱۴-۲۰۰۳	https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/gldas-get-data

۱-۱-۱ شاخص‌های ارزیابی

در این مطالعه از ۳ شاخص ارزیابی خطای نسبی^۱، ریشه میانگین مربعات خطا^۲ و ضریب همبستگی استفاده شده است. خطای نسبی (RB) نشان‌دهنده این است که مقادیر شبیه‌سازی شده چه میزان تفاوت با مقادیر مشاهده شده دارند. اگر این مقدار بزرگ‌تر از صفر باشد نشان‌دهنده این است که مدل، میزان بارش باران را بیشتر تخمین زده است و اگر کوچک‌تر از صفر باشد نشان‌دهنده این است که میزان بارش توسط مدل کمتر برآورد شده است و اگر مقدار آن برابر صفر باشد نشانگر عدم وجود خطا می‌باشد. جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) بیانگر اختلاف توزیع داده‌های مشاهداتی و توزیع تخمین‌های ماهواره‌ای می‌باشد و یک میانگین وزنی مطابق با جذر خطا را محاسبه می‌کند (ورکل و همکاران ۲۰۱۴). ضریب همبستگی (R) نشان‌دهنده درجه همبستگی خطی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی می‌باشد که مقدار آن از -۱ تا ۱ تغییر می‌کند. $R=0$ بیانگر این است که هیچ همبستگی خطی بین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده وجود ندارد و مقدار -۱ و ۱ همبستگی کامل منفی و مثبت را

نشان می‌دهد (تن و همکاران ۲۰۱۸).

شاخص‌های تشخیصی^۳

سه شاخص آماری تشخیصی مورد استفاده شامل نرخ هشدار اشتباه، احتمال آشکار سازی و شاخص آستانه موفقیت جهت ارزیابی دقت مدل در تشخیص وقوع بارش مورد استفاده قرار گرفت. نرخ هشدار اشتباه^۴، نسبت تعداد بارش ثبت شده زمینی نادرست به کل بارش‌های ثبت شده می‌باشد و نشان‌دهنده قسمتی از نقاط بارانی برآورد شده توسط مدل است که در ایستگاه زمینی فاقد بارندگی می‌باشد. مقدار بهینه آن صفر است. احتمال آشکار سازی^۵، نسبت تعداد بارش برآوردی صحیح توسط مدل به کل بارش‌های ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی می‌باشد و مقدار بهینه آن یک است. شاخص آستانه موفقیت^۶، تابعی از مقادیر POD و FAR است که ترکیبی از اخطارهای اشتباه برآورد و رویدادهای از دست رفته است. این نمایه احتمال شناخت درست روزهای بارانی و غیر بارانی را بیان می‌کند. مقدار بهینه آن یک است.

جدول ۳ نشان‌دهنده روابط و مقادیر بهینه شاخص‌های ارزیابی هواشناسی و تشخیصی تحقیق

4- False Alarm Rate (FAR)

5- Probability Of Detection (POD)

6- Critical Success Index (CSI)

1- Relative Bias

2- Root Mean Square Error

3- diaganostic

حاضر می‌باشد که در آن مقدار پیش‌بینی شده و G_i مقدار مشاهده شده است و H تعداد دفعاتی است که باران مشاهده شده به‌درستی تشخیص داده شده M مقدار مشاهده شده است و F تعداد دفعاتی است که بارش رخ نداده است ولی مدل وقوع بارش را نشان داده است.

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی و شاخص‌های تشخیصی مورد استفاده در تحقیق حاضر

منبع	مقدار بهینه	معادله	شاخص آماری
گرگی زاده و همکاران (۲۰۲۰)	۱	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$	ضریب همبستگی
	۰	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)^2}{n}}$	ریشه میانگین مربعات خطا
	۰	$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n (G_i)}$	خطای نسبی
	۱	$POD = \frac{H}{H + M}$	احتمال آشکارسازی (POD)
	۰	$FAR = \frac{F}{H + F}$	نرخ هشدار اشتباه (FAR)
	۱	$CSI = \frac{H}{H + M + F}$	شاخص آستانه موفقیت (CSI)

نتایج و بحث

ترکیبی (Prec.) بوده و داده‌های باران روزانه هر کدام از محصولات بارشی PERSIANN، GLDAS و CMORPH به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده که واحد آن‌ها میلی‌متر می‌باشد.

ترکیب داده‌های باران شبکه‌بندی شده روابط مستخرج از روش گام به گام جهت ترکیب مجموعه داده‌های باران شبکه‌بندی شده در جدول ۴ آمده است. در این روابط متغیر وابسته میزان باران

جدول ۴- روابط بسط داده شده با روش گام به گام در ایستگاه‌های مورد مطالعه ترکیب داده‌های باران شبکه‌بندی

ایستگاه	فرم ریاضی مدل
دهنو	$Prec. = (0.665 \times PERSIANN + 0.148 \times GLDAS - 0.086 \times CMORPH) + 0.566$
قلعه ریسی	$Prec. = (0.683 \times PERSIANN + 0.057 \times GLDAS - 0.052 \times CMORPH) + 0.292$
ایدنک	$Prec. = (0.757 \times PERSIANN - 0.147 \times GLDAS + 0.059 \times CMORPH) + 0.247$
مارگون	$Prec. = (0.644 \times PERSIANN + 0.082 \times GLDAS) + 0.273$

می‌شود که ترکیب داده نتوانسته باعث بهبود نتایج گردد به گونه ای که برای مثال در بارش‌های سبک (بارش‌های ۰ تا ۳ میلی متر) بیشترین اختلاف در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد و بهترین عملکرد از بین مجموعه داده‌های مورد بررسی، مربوط به مجموعه داده *PERSIANN* می‌باشد. با توجه به شکل ۲ نتیجه می‌شود که در تمامی ایستگاه‌ها، داده‌های شبکه‌بندی شده در بارش‌های سبک بیش برآورد عمل می‌نمایند بارش‌های متوسط (بارش‌های بین ۳ تا ۱۰ میلی متر) در ایستگاه‌ها و مجموعه داده‌های مختلف عملکرد متفاوتی از لحاظ بیش برآوردی و کم برآوردی دارند، اما در بارش‌های بیش از ۱۰ میلی متر در تمامی داده‌های شبکه‌بندی شده و تمامی ایستگاه‌ها به جز مجموعه داده *PERSIANN* در ایستگاه آیدنک کم برآورد عمل می‌نمایند. لازم به ذکر است که مجموعه داده *PERSIANN* در ایستگاه قلعه ریسی و مارگون در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ یک واقعه از باران حداکثری را تخمین نموده‌اند؛ درحالی‌که در این ایستگاه‌ها داده‌های مشاهداتی چنین بارشی را شامل نشده‌اند.

ارزیابی پایگاه‌های داده شبکه‌بندی شده و ترکیب آن‌ها

۱-۲ توزیع میزان بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف

شکل ۲ نشان‌دهنده مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی مختلف (نمودارهای خطی) و درصد بارش مربوط به آن‌ها (نمودار میله‌ای) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی می‌باشد؛ با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که ترکیب داده‌ها با روش گام به گام نتوانسته بهبودی در نتایج توزیع بارش در کلاس‌های بارشی مختلف داشته باشد به‌گونه‌ای که در هیچ‌یک از کلاس‌های بارشی بهبودی نسبت به تک تک مجموعه داده‌ها صورت نگرفته است. در تمامی ایستگاه‌ها روزهای بدون بارش در داده‌های مشاهداتی بیشتر از داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد و *داده‌های PERSIANN* بیشترین تشابه را از لحاظ تعداد روزهای بدون بارش با داده‌های مشاهداتی دارد. به همین ترتیب در سایر کلاس‌های بارشی تعداد روزهای دارای بارش مشاهداتی و شبکه‌بندی شده و ترکیب داده‌های شبکه‌بندی نیز آمده است که به‌صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه داده *PERSIANN* عملکرد قابل‌قبول‌تری نسبت به سایر مجموعه داده‌های شبکه‌بندی شده ارائه می‌کند. همچنین در مجموع بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف که به‌صورت نمودار خطی نشان داده شده است ملاحظه

جدول ۵- نتایج ارزیابی پایگاه‌های داده و ترکیب آن‌ها در ایستگاه‌های منتخب

CSI	FAR	POD	R	RMSE (mm)	RB	Datasets Name	۳ ۳
۰/۳۲۱	۰/۳۷۶	۰/۳۹۸	۰/۴۳۷	۹/۸۳۹	-۰/۴۶۹	PERSIANN	
۰/۱۸۸	۰/۳۷۶	۰/۲۱۳	۰/۲۰۶	۱۰/۷۱۲	-۰/۷۱۷	CMORPH	

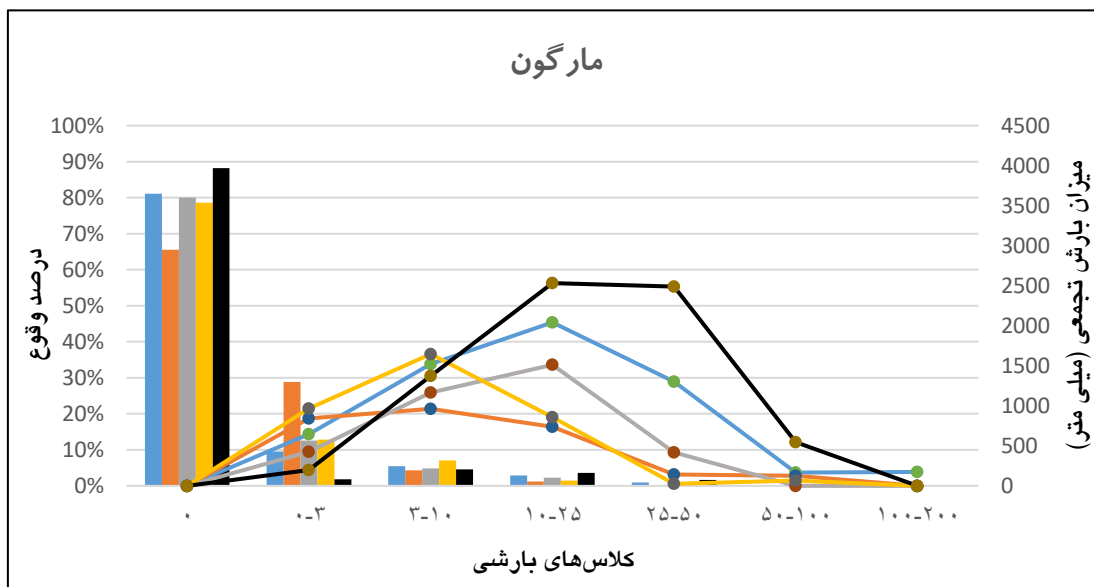
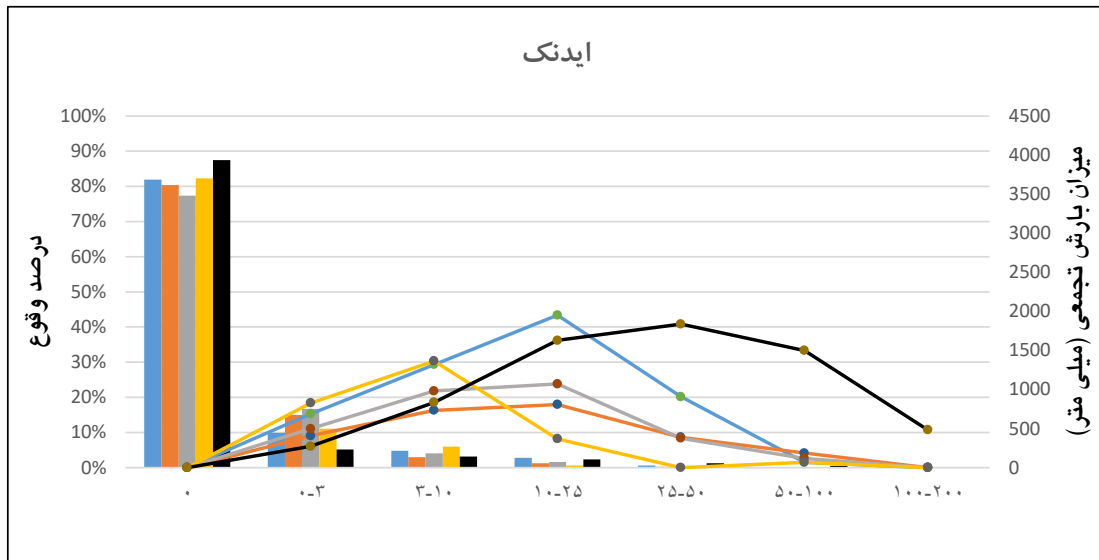
۰/۱۶۴	۰/۶۲۰	۰/۲۳۳	۰/۲۵۵	۱۰/۵۷	-۰/۶۸۷	GLDAS	قلعه ریسی
۰/۲۶۹	۰/۲۸۷	۰/۳۰۲	۰/۴۷۹	۹/۹۱	-۰/۶۲۷	Stepwise	
۰/۲۸۴	۰/۳۴۷	۰/۳۳۵	۰/۳۶۴	۷/۰۱	-۰/۲۵۱	PERSIANN	
۰/۱۴۸	۰/۲۸۴	۰/۱۵۷	۰/۲۹۰	۶/۸۶	-۰/۵۴۹	CMORPH	
۰/۱۶۵	۰/۵۲۰	۰/۲۰۰	۰/۲۵۹	۷/۰۱	-۰/۵۳۶	GLDAS	
۰/۲۵۸	۰/۳۴۵	۰/۲۹۸	۰/۴۳۶	۶/۵۵۷	-۰/۶	Stepwise	
۰/۳۲۸	۰/۳۹۶	۰/۴۱۹	۰/۳۸۶	۷/۳۶۵	-۰/۲۱۵	PERSIANN	ایدنک
۰/۳۰۲	۰/۴۰۵	۰/۳۸۱	۰/۳۲۲	۷/۲۶۲	-۰/۶۱۵	CMORPH	
۰/۲۰۴	۰/۵۲۵	۰/۲۶۳	۰/۲۶۷	۷/۴۲۴	-۰/۵۳۶	GLDAS	
۰/۳۱۷	۰/۴۲۰	۰/۴۱۱	۰/۴۵۲	۶/۹۵۹	-۰/۵۹۹	Stepwise	
۰/۳۳۹	۰/۳۴۰	۰/۴۱۱	۰/۴۵۴	۶/۰۶۶	-۰/۱۸۱	PERSIANN	مادرگون
۰/۲۰۱	۰/۳۴۴	۰/۲۲۴	۰/۲۵۰	۶/۲۰۸	-۰/۶۰۶	CMORPH	
۰/۱۶۳	۰/۶۲۳	۰/۲۲۲	۰/۲۴۴	۶/۳۱۳	-۰/۵۰۷	GLDAS	
۰/۳۰۶	۰/۳۴۰	۰/۳۶۴	۰/۴۹۷	۵/۵۱۸	-۰/۵۰۱	Stepwise	

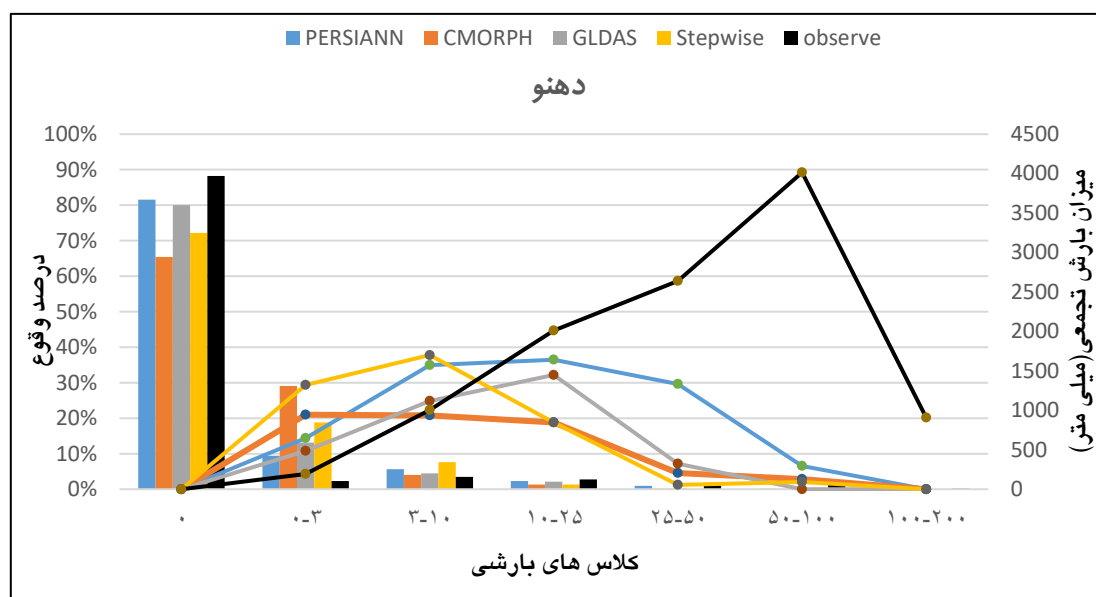
۱-۳ توزیع میزان بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف

شکل ۲ نشان‌دهنده مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی مختلف (نمودارهای خطی) و درصد بارش مربوط به آن‌ها (نمودار میله‌ای) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی می‌باشد؛ با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که ترکیب داده‌ها با روش گام به گام نتوانسته بهبودی در نتایج توزیع بارش در کلاس‌های بارشی مختلف داشته باشد به گونه‌ای که در هیچ‌یک از کلاس‌های بارشی بهبودی نسبت به تک تک مجموعه داده‌ها صورت نگرفته است. در تمامی ایستگاه‌ها روزهای بدون بارش در داده‌های مشاهداتی بیشتر از داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد و داده‌های PERSIANN بیشترین تشابه را از لحاظ تعداد روزهای بدون بارش با داده‌های مشاهداتی دارد. به همین ترتیب در سایر کلاس‌های بارشی تعداد روزهای دارای بارش مشاهداتی و شبکه‌بندی شده و ترکیب داده‌های شبکه‌بندی نیز آمده است که به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه داده PERSIANN

عملکرد قابل‌قبول‌تری نسبت به سایر مجموعه داده‌های شبکه‌بندی شده ارائه می‌کند. همچنین در مجموع بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف که به صورت نمودار خطی نشان داده شده است ملاحظه می‌شود که ترکیب داده نتوانسته باعث بهبود نتایج گردد به گونه‌ای که برای مثال در بارش‌های سبک (بارش‌های ۰ تا ۳ میلی متر) بیشترین اختلاف در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد و بهترین عملکرد از بین مجموعه داده‌های مورد بررسی، مربوط به مجموعه داده PERSIANN می‌باشد. با توجه به شکل ۲ نتیجه می‌شود که در تمامی ایستگاه‌ها، داده‌های شبکه‌بندی شده در بارش‌های سبک بیش برآورد عمل می‌نمایند بارش‌های متوسط (بارش‌های بین ۳ تا ۱۰ میلی متر) در ایستگاه‌ها و مجموعه داده‌های مختلف عملکرد متفاوتی از لحاظ بیش برآوردی و کم برآوردی دارند، اما در بارش‌های بیش از ۱۰ میلی متر در تمامی داده‌های شبکه‌بندی شده و تمامی ایستگاه‌ها به جز مجموعه داده PERSIANN در ایستگاه ایدنک کم برآورد عمل می‌نمایند. لازم به ذکر

است که مجموعه داده *PERSIANN* در ایستگاه قلعه ریسی و مارگون در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ یک واقعه از باران حداکثری را تخمین نموده‌اند؛ درحالی‌که در این ایستگاه‌ها داده‌های مشاهداتی چنین بارشی را شامل نشده‌اند.





شکل ۲- مجموع بارش روزانه در کلاس‌های بارندگی مختلف (نمودارهای خطی) و درصد بارش مربوط به آن‌ها (نمودار میله‌ای) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

توزیع مکانی بارش

جهت نمایش توزیع مکانی بارش، میانگین ماهانه داده‌های باران در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در نظر گرفته شد و سپس در دو فصل تر و خشک دسته‌بندی گردید و بر مبنای این فصول نقشه‌های توزیع مکانی با استفاده از روش *IDW* در محیط نرم‌افزار *GIS* تولید شد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نشان‌دهنده توزیع مکانی بارش در محدوده مطالعاتی در دو فصل تر و خشک می‌باشند.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان بارندگی مشاهداتی در حدود مرکز حوضه در جایی که ایستگاه دهنو و کمترین میزان بارندگی در نیمه غربی حوضه در نزدیکی ایستگاه‌های قلعه ریسی و ایدنک واقع است این در حالی است که بیشتر بارندگی حوضه بر اساس پایگاه داده *CMORPH* در شمال غربی حوضه قرار دارد، بدین معنی که بیشترین میانگین باران ماهانه شبکه‌بندی شده در حوالی ایستگاه قلعه ریسی ثبت شده

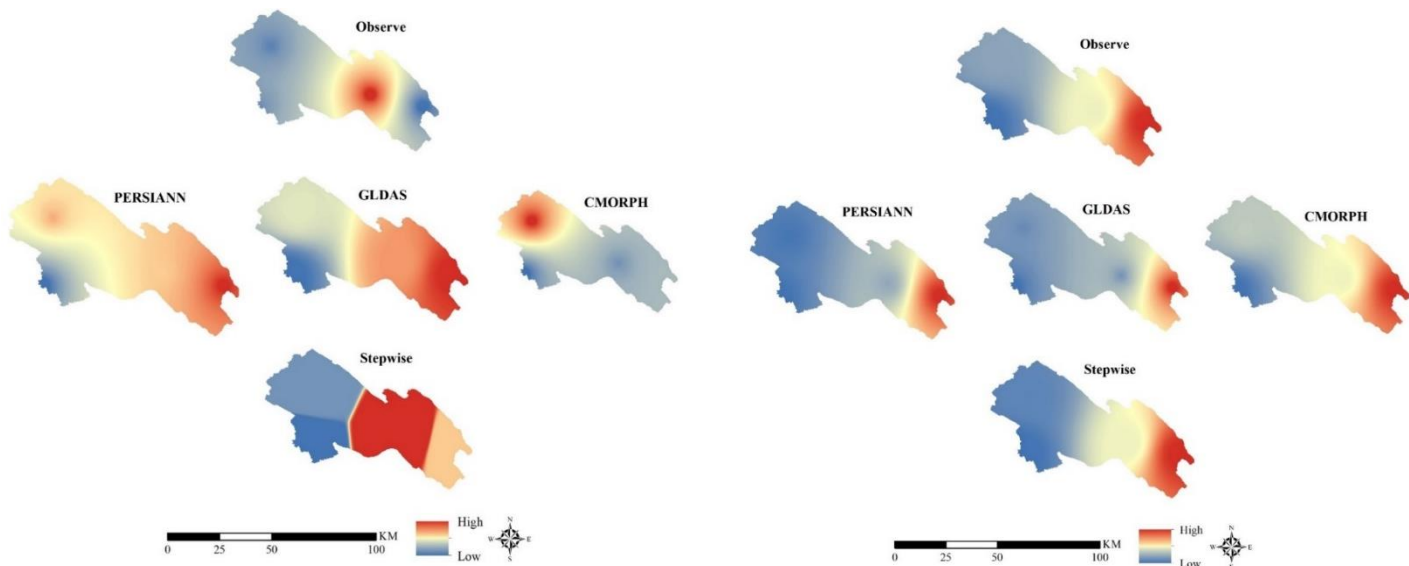
این درحالی است که بر اساس توزیع باران مشاهداتی آن قسمت دارای کمترین میزان مشاهداتی است. همچنین همان‌طور که توزیع مکانی باران داده‌های *GLDAS* نشان می‌دهند، بیشترین میزان بارش در شرق حوضه و کمترین میزان باران در شمال غرب حوضه و خروجی حوضه رخ خواهد داد. بر اساس داده‌های پایگاه داده *PERSIANN* نیز بیشترین و کمترین میزان بارندگی در فصل تر در شرق حوضه و خروجی حوضه می‌باشد؛ اما ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده با روش گام به گام توانسته تا حدودی پراکندگی بارش را به نسبت تک تک مجموعه داده‌ها بهتر برآورد نماید، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان بارش در فصل تر را در مرکز حوضه و کمترین این پارامتر را در خروجی حوضه برآورد نماید. با توجه به Error! Reference source not found. نیز مشاهده

می‌شود که تغییرات باران در محدوده مطالعاتی در داده‌های مشاهداتی و شبکه‌بندی کمتر می‌باشد که این

نتیجه گیری

این مطالعه به بررسی سه مجموعه داده شبکه‌بندی شده باران شامل داده‌های ماهواره مینای PERSIANN و CMORPH و داده‌های ماهواره-باران‌سنجی GLDAS و ترکیب داده‌های ذکر شده به روش گام به گام در بالادست سد مارون پرداخته است هدف از این مطالعه بررسی کارایی استفاده جداگانه داده‌های شبکه‌بندی شده و ترکیب این داده‌ها با یکدیگر بوده است. لذا جهت ارزیابی دقت داده‌های ذکر شده از داده‌های مشاهداتی ۴ ایستگاه دهنو، قلعه ریسی، ایدنک و مارگون

به دلیل کمتر بودن میزان بارش در فصل خشک می‌باشد. همچنین نتیجه می‌شود که داده‌های شبکه‌بندی PERSIANN و GLDAS دقت کمتری در برآورد میزان بارش در فصل خشک دارند و مجموعه داده CMORPH این توزیع را با دقت بیشتری نشان داده است اما داده‌های ترکیبی با روش گام به گام توانایی بیشتری را به نسبت تک تک مجموعه داده‌ها در نمایش توزیع مکانی را نشان داده است. لذا نتیجه می‌شود که ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده می‌تواند باعث بهبود نمایش توزیع مکانی بارش شود.



شکل ۳- توزیع مکانی بارش در فصل تر در محدوده مطالعاتی

ایستگاه‌ها پس از ترکیب مقادیر RMSE کاهش یافته بدین معنی که دقت ارزیابی بیشتر شده است. همچنین لازم به ذکر است که پس از ترکیب این داده‌ها مقدار ضریب همبستگی افزایش یافته به این معنی که جهت تکمیل سری‌های داده، ترکیب این داده‌ها مناسب‌تر از تک تک این داده‌ها عمل می‌نماید. بر اساس تقسیم‌بندی در کلاس‌های بارشی مختلف ترکیب داده‌ها نتوانسته نتایج مناسبی را به تفکیک کلاس‌های بارشی مختلف ارائه دهد. بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی بارش ماهانه در دو فصل تر و خشک نیز مشاهده می‌شود که داده‌های ترکیبی توانایی بیشتری در نمایش توزیع مکانی باران دارند.

در بالادست سد مارون در دوره زمانی ۱ ژانویه ۲۰۰۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۴ استفاده گردید. جهت ارزیابی روزانه داده‌های شبکه‌بندی شده و تأثیر ترکیب بر این داده‌ها، شاخص‌های ارزیابی RMSE، RB و ضریب همبستگی جهت مشخص شدن دقت برآورد بارش و شاخص‌های تشخیصی FAR، POD و CSI جهت مشخص شدن دقت تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی انجام پذیرفت. همچنین، توزیع بارش‌های روزانه در کلاس‌های بارشی مختلف انجام پذیرفت و جهت دستیابی به توزیع مکانی این داده‌ها در سطح محدوده مطالعاتی، نقشه‌های پهنه‌ای بارش با تکنیک IDW استخراج شد. نتایج ارزیابی نشان‌دهنده بهبود وضعیت تخمین بارش پس از ترکیب داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشد به گونه‌ای که بر اساس مقادیر RMSE در تمامی

منابع مورد استفاده

- Adler RF, Huffman GJ, Chang A, Ferraro R, Xie PP, Janowiak J, *et al.* 2003. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *J Hydrometeorol* 4(6):1147-67.
- Arvor D, Funatsu B, Michot V, Dubreuil V, Arvor D, Funatsu BM, *et al.* 2017. Monitoring Rainfall Patterns in the Southern Amazon with PERSIANN-CDR Data: Long-Term Characteristics and Trends. *Remote Sens* 9(9):889.
- Balsamo G, Albergel C, Beljaars A, Boussetta S, Brun E, Cloke H, *et al.* 2015. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrol Earth Syst Sci* 19(1):389-40
- 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. *Sci Total Environ* 573:1536-53.
- Gao F, Zhang Y, Chen Q, Wang P, Yang H, Yao Y, *et al.* 2018. Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmos Res* 212:150-157.
- Gorjizade A, Akhond-Ali AM, Shahbazi A and Moridi A, 2020. Evaluation and comparison of high spatial resolution gridded precipitation by TRMM, ERA5 and PERSIANN-CCS datasets on the upstream of the maroon basin, Iran [En ligne]. Amirkabir University of Technology
- Gorjizade A, Akhond-Ali A, Shahbazi A and Moridi A, 2019a. Comparison and Evaluation of precipitation estimated by ERA-Interim, PERSIANN-CDR and CHIRPS models at the upstream of Maroon dam. *Iran-Water Resour Res* 15(1):267-79. (in Persian with English abstract)
- Gorjizade A, Akhond-Ali A, Shahbazi A and Moridi A, 2019b. Comparison of Two High-resolution Gridded Precipitation Data Sets at the Upstream of Maroun Dam in Iran. *Water Soil Resarch J* 50(3):527-41. (in Persian with English abstract)
- Guo H, Chen S, Bao A, Behrangi A, Hong Y, Ndayisaba F, *et al.* 2016. Early assessment of Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. *Atmos Res* 176-177:121-33.

- Hsu K, Gao X, Sorooshian S and Gupta H V, 1997. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks. *J Appl Meteorol* 36(9):1176-90.
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu MI, Bodaghjamali J and Kawamoto H, 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM-3B42 over Iran. *Adv Geosci* 25:119-25.
- Jiao L and Li H, 2010. QSPR studies on the aqueous solubility of PCDD/Fs by using artificial neural network combined with stepwise regression. *Chemom Intell Lab Syst* 103(2):90-5.
- Joyce RJ, Janowiak JE, Arkin PA, Xie P, Joyce RJ, Janowiak JE, *et al.* 2004. CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *J Hydrometeorol* 5(3):487-503.
- Katiraie-Boroujerdy PS, Akbari Asanjan A, Hsu K lin and Sorooshian S, 2017. Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmos Res* 2017:
- Kim T, Shin JY, Kim S and Heo JH, 2018. Identification of relationships between climate indices and long-term precipitation in South Korea using ensemble empirical mode decomposition. *J Hydrol* 2018:
- Kim K, Park J, Baik J and Choi M, 2017. Evaluation of topographical and seasonal feature using GPM IMERG and TRMM 3B42 over Far-East Asia. *Atmos Res* 187:95-105.
- Moazami S, Golian S, Kavianpour MR and Hong Y, 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *Int J Remote Sens* 2013:
- Rodell M, Houser PR, Jambor U, Gottschalck J, Mitchell K, Meng CJ, *et al.* 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bull Am Meteorol Soc* 2004:
- Sharifi E, Steinacker R and Saghafian B, 2016. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sens* 8(2):135.
- Tan X, Ma Z, He K, Han X, Ji Q and He Y, 2020. Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings. *J Hydrol* 582:124455.
- Tan ML and Santo H, 2018. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmos Res* 202:63-76.
- Tan ML and Duan Z, 2017. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sens* 9(7):720.
- Tapiador FJ, Turk FJ, Petersen W, Hou AY, García-Ortega E, Machado LAT, *et al.* 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications [En ligne]. *Atmospheric Research*. 2012. p 70-97.
- Villarini G, Mandapaka P V., Krajewski WF and Moore RJ, 2008. Rainfall and sampling uncertainties: A rain gauge perspective. *J Geophys Res* 113(D11):D11102.
- Wang W, Lin H, Chen N and Chen Z, 2021. Evaluation of multi-source precipitation products over the Yangtze River Basin. *Atmos Res* 249:105287.
- Wang W, Lu H, Zhao T, Jiang L and Shi J, 2017. Evaluation and comparison of daily rainfall from latest GPM and TRMM products over the Mekong River Basin. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 10(6):2540-9.
- Wang M, Wright J, Brownlee A and Buswell R, 2016. A comparison of approaches to stepwise regression on variables sensitivities in building simulation and analysis. *Energy Build* 2016:
- Worqlul AW, Maathuis B, Adem AA, Demissie SS, Langan S and Steenhuis TS, 2014. Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEG and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia. *Hydrol Earth Syst Sci* 18(12):4871-81.
- Xu R, Tian F, Yang L, Hu H, Lu H and Hou A, 2017. Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. *J Geophys Res* 122(2):910-24.
- Yang Y and Luo Y, 2014. Evaluating the performance of remote sensing precipitation products CMORPH, PERSIANN, and TMPA, in the arid region of northwest China. *Theor Appl Climatol* 118(3):429-45.
- Yuan F, Zhang L, Wah Win KW, Ren L, Zhao C, Zhu Y, *et al.* 2017. Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data sparse mountainous watershed in Myanmar. *Remote Sens* 9(3):302.

- Zaitchik BF, Rodell M and Olivera F, 2010. Evaluation of the Global Land Data Assimilation System using global river discharge data and a source-to-sink routing scheme. *Water Resour Res* 2010:
- Zangene Inaloo mohammad R, Ghahraman B and Faridhosseini A, 2019. Comparison of Observed Rainfall and PERSIANN and CMORPH Satellite Rainfall Data in Hourly and Daily Scale (Case Study: Shapoor Basin). *Iran-Water Resour Res* 14(4):1-13. (in Persian with English abstract)