Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰



# ارزیابی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره GPM با مقادیر بارندگی ایستگاه‌های زمینی با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

**معصومه اردونی[۱]، هادی معماریان*[۲]، مرتضی اکبری[۳]، محسن پور رضا بیلندی[۴]**

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری دانشگاه بیرجند

۲. *دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند

۳. استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵

**نوع مقاله: علمی- پژوهشی**

## چکیده

این تحقیق باهدف ارزیابی و مقایسه مقادیر بارندگی برآورده شده ماهواره هواشناسی GPM با ایستگاه‌های زمینی و با استفاده از آزمون نا پارامتری کلموگروف-اسمیرنوف دونمونه‌ای در حوزه آبخیزگرگانرود استان گلستان انجام شد. در این پژوهش به دلیل شروع به کار ماهواره GPM از سال ۲۰۱۴ و همچنین عدم دسترسی به داده‌های زمینی به‌روز، از آمار بارندگی ۱۶ ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه موردمطالعه، به‌عنوان داده‌های مرجع با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۳/۲۰ و از داده‌های بارندگی روزانه ماهواره GPM با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار متلب و با استفاده از تابع توزیع تجمعی تجربی انجام گردید. نتایج نشان داد که ازلحاظ آماری در ایستگاه‌های باغ سالیان، دشت شاد، قوچمز، حق الخواجه، زرینگل مقادیر P-value از سطح معنی-داری $\alpha$ بالاتر بوده و به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۳۶، ۰/۱۱، ۰/۹۵، ۰/۳۳ است. یعنی اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای با مشاهدات ایستگاه زمینی معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از بررسی مقادیر P-value مربوط به مقایسه آمار روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با داده‌های ماهواره GPM، نشان داد که این آماره با مقدار ۰/۹۵، بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای را در ایستگاه حق‌الخواجه نشان داده و کمترین میزان مطابقت با مقدار ۰/۰۰۱ مربوط به ایستگاه شیرآباد می‌باشد. بنابراین، برای بهبود محصولات ماهواره GPM، به‌ویژه در مدیریت منابع آب ازجمله مدیریت سیلاب در مناطق مختلف با توزیع گسترده فضایی و تغییرات زمانی بارش، باید واسنجی محصولات بارش ماهواره‌ای در دستور کار قرار گیرد تا دقّت آن‌ها در اندازه‌گیری بارش روزانه بهبود یابد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای اولین بار برای بررسی انطباق داده‌های روزانه ماهواره GPM با داده‌های مشاهداتی انجام و مشخص گردید در همه‌ی ایستگاه‌هایی که فرض H0 پذیرفته‌شده است، مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی**: اندازه‌گیری بارش، آزمون‌های آماری، مدیریت منابع آب، ماهواره‌های هواشناسی.

## مقدمه

بارندگی بخش حیاتی چرخه‌ی آب است که زمین، اقیانوس و اتمسفر را به هم ارتباط می‌دهد (Guo et al., 2016). به عبارتی بارش یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعادل آب و انرژی در جهان و متغیرهای هواشناسی است (Kidd & Huffman, 2011). برنامه‌ریزی، طراحی، توسعه و مدیریت اغلب سیستم‌های آبیاری و زهکشی و به‌طورکلی کشاورزی نیازمند دانستن اطلاعاتی در مورد بارندگی است (حقیقت‌جو، ۱۳۸۱؛ یوسفی سنگانی و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعات

[1] Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir نویسنده مسئول: هادی معماریان



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

صورت گرفته در ایران و جهان مشخص‌شده که جهت برآورد احتمال بارش و سیل بر پایه روش‌های ریاضی و توزیع آماری، استفاده از توزیع فراوانی و روش‌های مختلف آماری و تعیین درجه احتمال بر اساس آزمون‌های آماری مطرح بوده است (Akbari et al., 2016 ؛ علیجانی و افشارمنش، ۱۳۹۴؛ TOM, 1968؛ یزدان‌پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). درواقع، یکی از راه‌های بررسی فراوانی وقوع پدیده‌ها و پاسخ‌گویی به سؤال‌های مرتبط با آن، استفاده از توابع توزیع احتمال است. به کمک این توابع، می‌توان توزیع‌های احتمال را بر داده‌ها برازش داده و با محاسبه پارامترهای توزیع برازش یافته پی به برخی از ویژگی‌های داده‌ها برد. پارامترهای توزیع نوعی عبارات ریاضی انتزاعی هستند که شکل، مقیاس و موقعیت توزیع داده‌ها را مشخص می‌کنند (wilks, 2006؛ یوسفی سنگانی و همکاران، ۱۳۹۶). روش‌های ناپارامتری در آمار به رویکردهای استنباطی اطلاق می‌شود که نسبت به روش‌های پارامتری کمترین مفروضات ممکن را در مورد توزیع جمعیت آماری در نظر می‌گیرند (Gibbons & Chakraborti, 2003). آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[1] (KS)، ابزاری کلاسیک و مشهور برای آزمایش فرضیه غیر پارامتری است (Sadhanala et al., 2019; Kolmogorov, 1933; Smirnov, 1948). آزمون کلموگروف - اسمیرنوف یک نمونه‌ای و دو نمونه‌ای است. در مورد آزمون یک نمونه‌ای، داده‌های تجربی را می‌توان در برابر توزیع شناخته‌شده برازش داد تا هم قوارگی توزیع یک نمونه با توزیعی که برای جامعه فرض شده است، ارزیابی شود. درحالی‌که آزمون دو نمونه‌ای با مقایسه دو مجموعه داده و بدون پیش‌بینی توزیع‌های اساسی انجام می‌شود (Lall, 2015). آزمون KS یکی از متداول‌ترین آزمون‌های برازندگی مدل است. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای برای بررسی تفاوت بین دو جمعیت آماری مستقل بر اساس تنها یک متغیر مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از ابزارهای مهم در تعیین آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای، استفاده از تابع توزیع تجربی در نمونه‌های مستقل با استفاده از داده‌های دقیق است (Hesamian & Chachi, 2015 ; Dimitrova et al., 2017).

پژوهش‌های متعددی در خصوص بررسی تغییرات مکانی و زمانی توزیع‌های فراوانی متغیرهای مختلف هیدرولوژیکی در جهان، توسط آزمون یک نمونه‌ای کلموگروف – اسمیرنوف صورت گرفته است. حقیقت‌جو (۱۳۸۱)، در بررسی تابع چگالی احتمال بارندگی‌های ماهانه و سالانه ایستگاه‌های قدیمی ایران مانند بوشهر، مشهد، تهران، جاسک و اصفهان به این نتیجه رسید که توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ بهترین برازش را بر بارندگی ماهانه دارد و بارندگی سالانه از توزیع واحدی پیروی نمی‌کند. در تحقیقی که جهت ارزیابی بارش سالانه در ۶۵ ایستگاه مازندران و گلستان پرداخته‌شده بود، مشخص گردید که توزیع نرمال دو پارامتری بهترین برازش را برای منطقه خزری دارد و در بررسی تأیید طول دوره آماری مشخص گردید که توزیع پیرسون در دوره‌های ۱۵ ساله بهترین برازش رادارند (Mahdavi et al., 2010). در پژوهشی دیگر، نصرآبادی (۱۳۹۳)، به واکاوی تغییر توزیع فراوانی بارش روزانه پایگاه آفرودیت با آزمون KS یک نمونه‌ای در ایران پرداخته است که در این مطالعه مقادیر P-value بین ۰/۷۶-۰/۰۳ قرار داشته است. امّا پژوهش‌هایی نیز توسط آزمون دو نمونه‌ای کلموگروف–اسمیرنوف صورت گرفته است. در تحقیقی دیگر چهار متغیر در آزمون کلموگروف–اسمیرنوف برای مجموعه داده‌های دوبعدی مورد آزمایش قرارگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق نشان داد که آزمون‌های مقایسه نمونه، توزیع آزمون‌های طاووس[2]، فاسانو[3] و فرانچسینی[4] را پایدارتر از سایر آزمون‌ها معرفی کردند (Lopes et al., 2007). آزمون اسمیرنوف دو نمونه‌ای برای داده‌های بازه‌ای پیوسته توسط (Lin et al., 2010) موردبررسی قرارگرفته است. در ارتباط با آزمون کلموگروف–اسمیرنوف می‌توان به سایر پژوهش‌ها نیز اشاره نمود. برای نمونه در کاربرد آزمون کلموگروف–اسمیرنوف یک نمونه‌ای و دو نمونه‌ای (Okeniyi & Okeniyi, 2012)، استفاده از الگوریتم تطبیقی را برای دسته‌بندی توابع توزیع احتمال تجمعی[5] (More & Lopes et al., 2007)، یک رویکرد جدید برای آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای در حالتی که داده‌های

1 Kolmogorov-Smirnov
2 Peacock
3 Fasano
4 Franceschini
5 cumulative probability distribution functions



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

مشاهداتی از متغیرهای تصادفی فازی هستند (Chachi & Hesamian, 2015)، و مقایسه عملکرد آزمون یک نمونه و دونمونه‌ای کلموگروف–اسمیرنوف (Zhou & Berger, 2014)، اشاره نمود.

مطالعات زیادی در مورد مطابقت داده‌های ماهواره GPM و داده‌های ایستگاه‌های زمینی انجام‌شده است. برآورد خسارت ناشی از حوادث طبیعی از قبیل سیل، خشک‌سالی، زمین‌لغزش، طوفان و غیره با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بسیار متداول است. به‌طورکلی داده‌های بارندگی با وضوح زمانی و مکانی بالا به‌عنوان ورودی کلیدی در مدل های هیدرولوژی و هواشناسی جهت افزایش دقّت پیش‌بینی در مدیریت منابع آب ضروری می‌باشند (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین ماهواره‌ها می‌توانند تصویر بهتری از توزیع باران و برف در کره زمین نسبت به ایستگاه‌های زمینی، به‌ویژه در مناطقی که کمبود ایستگاه‌های زمینی وجود دارد فراهم نمایند (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از سامانه GPM در اندازه‌گیری بارش نقاط مختلف کره‌ی زمین، قابلیت پیش‌بینی سیل و رانش زمین، ارزیابی و پیش‌بینی منابع آب شیرین در مقیاس حوضه‌های متوسط تا بزرگ، بهبودیافته است. به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، و مناطقی که با تراکم کم باران‌سنج‌ها مواجه هستیم (Hou et al., 2014). همانطورکه اشاره شد در ارتباط با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، با توجّه به الگوریتم مورداستفاده در این سامانه، یکی از دقیق‌ترین و معتبرترین سامانه‌های ماهواره‌ای تخمین بارش، سامانه GPM است (اردونی و همکاران، ۱۳۹۹). در این میان می‌توان به برخی از مطالعات شامل: Sharifi و همکاران (۲۰۱۶)، در مقایسه عملکرد نتایج تولیدات بارش در ماهواره GPM و TRMM، در ارزیابی صحت برآورد بارش‌های سنگین حاصل از داده‌های ماهواره GPM و داده‌های هواشناسی گیلان ( Zomordian et al., 2018)، اکبری ینگه قلعه و همکاران (۱۳۹۶) جهت برآورد میزان بارش و بررسی تغییرات زمانی- مکانی از داده‌های محصول بارش ماهواره TRMM برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا۲۰۱۰ میلادی با شبکه‌های ۰/۲۵ درجه (تفکیک مکانی) در استان خراسان رضوی، در کشور ایران و همچنین در مقایسه محصولات GPM جهت تولید داده‌های بارشی موردنیاز در فصل وقوع سیل به‌منظور بررسی‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی زمان واقعی سیل، اشاره نمود (Wang et al., 2017). علاوه بر این (Longenecker et al., 2017) در بررسی همبستگی هیدروگراف‌های فصل بهار با داده‌های GPM برای حفاظت از منابع آب کارستی پنسیلوانیا (آمریکای شمالی) نتیجه گرفتند که این روش تأثیر قابل‌توجهی در بهبود سرعت و صحت ارزیابی ویژگی‌های هیدرودینامیکی حوزه با تأکید بر برنامه‌های کاربردی حفاظت منابع آب و اکتشافات آب‌های زیرزمینی دارد.

لازم به توضیح است تاکنون مطالعـه‌ای در ارتباط با ارزیابی مقادیر بـارش در مقیاس‌های مختلف زمـانی با استفاده از آزمون کلموگروف -اسمیرنوف دو نمونه‌ای انجام‌نشده اسـت. بـه همـین سـبب، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تابع توزیـع تجمعی تجربی برازش یافته بـر بارش در مقیاس‌های زمانی روزانه با تعداد ۱۶ ایستگاه مطالعاتی قابل‌استفاده و طـول دوره آماری مشترک در شمال شرق ایران (حوضه آبخیز گرگانرود) انجام شد. درصورتی‌که توابع توزیـع تجمعی تجربی برازش یافته بـر مقادیر بارش ایستگاه‌های زمینی و ماهواره GPM به هم نزدیک باشند؛ یعنی ماهواره مقادیر بارش را درست پیش‌بینی کرده و می‌توان به‌جای داده‌های زمینی از داده‌های ماهواره در نقاط فاقد ایستگاه استفاده کرد و داده‌ها را به سطح تعمیم داد. نتایج این تحقیق علاوه بر نوآوری می‌تواند برای کارشناسان، مدیران و برنامه‌ریزان اجرایی در موضوع مدیریت منابع آبی، کشاورزی، جنگلداری و در برآوردهای آماری روش‌های مدل‌سازی، شاخص‌های برآورد خشکسالی و مخاطرات سیلاب‌ها کارآمد و مفید باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه موردمطالعه

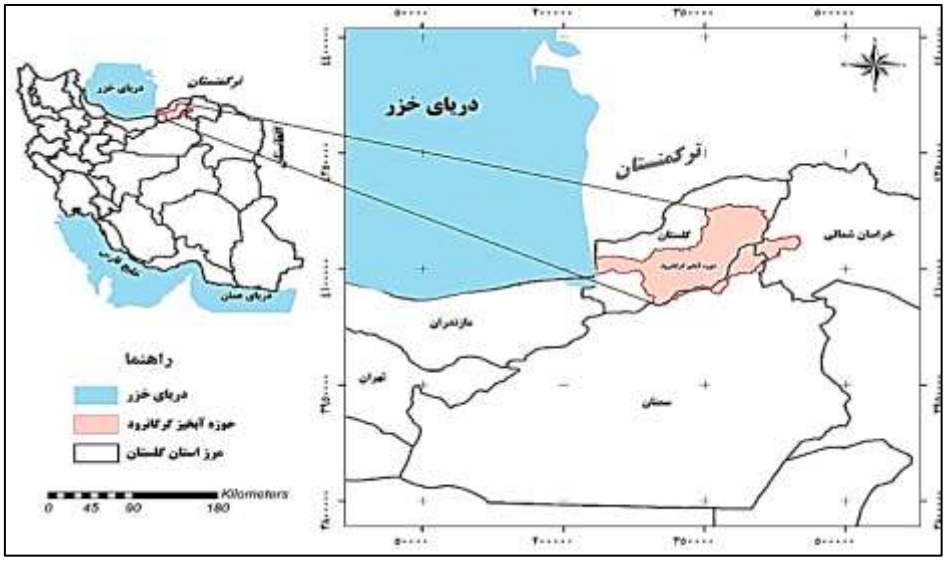
ازنظر موقعیت جغرافیایی، حوزه آبخیز گرگانرود در شمال شرقی ایران و در محدوده ´۴۲ °۵۳ تا ´۲۸ °۵۶ طول جغرافیایی و ´۴۳ °۳۶ تا ´۴۹ °۳۷ عرض جغرافیایی واقع‌شده است (آذری و همکاران، ۱۳۹۲). حداکثر ارتفاع از سطح آب‌های آزاد ۳۶۰۰ متر و حداقل ارتفاع (۱۲-) متر می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۸۷). استان گلستان در طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم متفاوت می‌باشد که در این منطقه نوار شمالی استان دارای اقلیم خشک و



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

نوار پایین‌تر آن دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. همچنین دو منطقه بسیار مرطوب در داخل نواحی مرطوب و پنج منطقه مرطوب در داخل نواحی نیمه مرطوب قرار دارد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). مرطوب‌ترین ماهای این منطقه شامل آذر، دی، بهمن، اسفندماه بوده و خشک‌ترین ماه آن شهریور است (شیخ و همکاران، ۱۳۸۸). میانگین سالانه بارش در حوزه از حدود ۲۰۰ میلی‌متر در بخش‌های شمالی تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی و جنوبی آن متغیر بوده و روند تغییرات سالانه بارندگی شبه مدیترانه‌ای است. میانگین سالانه دما در این حوزه از حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد در نواحی کم ارتفاع تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی متغیر است (Modarresi et al., 2010؛ اردونی و همکاران، ۱۳۹۹). مساحت حوزه آبخیز گرگانرود ۱۱۳۸۰ کیلومترمربع و معادل ۴۸ درصد سطح استان گلستان می‌باشد که ۵۶ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۴۴ درصد آن را دشت‌ها تشکیل داده‌اند (موسوی ندوشنی و همکاران، ۱۳۹۷). و ۶۷ درصد آب سطحی استان، یعنی ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوزه جریان دارد (شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان ۱۳۹۸). رودخانه گرگانرود یکی از سه رودخانه اصلی استان گلستان است که نقش پایه و اساسی در عرضه آب دارد؛ منبع مهمی برای تأمین آب استفاده‌شده برای مصارف صنعت، شرب کشاورزی و دامداری است (قاضیانی و همکاران، ۱۳۹۹). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد.




**شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در ایران و استان گلستان**

**معرفی کلی ماهواره GPM**

سنجش جهانی بارندگی که به‌اختصار GPM[1] نامیده می‌شود، نام پروژه‌ای مشترک بین آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA)[2] و ناسا و دیگر آژانس‌های فضایی بین‌المللی است که هدف آن دیده‌بانی پیوسته (هر نیم ساعت) بارندگی زمین است. این پروژه بخشی از برنامه ناسا به نام مأموریت‌های روش‌مند زمین است که با در اختیار داشتن مجموعه‌ای از ماهواره‌ها به‌منظور تأمین پوشش کلی کره زمین فعالیت می‌کند. این پروژه نقشه‌های بارش جهانی را تهیه می‌کند که به پژوهشگران درزمینه مطالعه اقلیم جهان، پیش‌بینی حوادث و مخاطرات طبیعی و بهبود کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در زمینه کمک به جامعه بشری یاری می‌رساند (Hou et al., 2014; NASA, 2016). این ماهواره، با استفاده از ابزار تصویربردار مایکروویو (GMI[3]) و رادار بارش دو فرکانسه (DPR[4])، می‌تواند بارش برف و باران را مشاهده کرده و محصول نهایی آن IMERG[5] نام دارد که ترکیبی از اطلاعات چندین ماهواره مشاهدات زمینی است.

1 Global Precipitation Measurement
2 Japan Aerospace Exploration Agency
3 GPM Microwave Imager
4 Dual-Frequency Precipitation Radar
5 Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

این الگوریتم برای واسنجی، ادغام و میان‌یابی برآوردهای حاصل از داده‌های مایکروویو ماهواره‌ای، همراه با برآورد ماهواره‌ای مادون‌قرمز واسنجی شده با اطلاعات مایکروویو، باران‌سنج‌ها و سایر برآوردگرهای بارش در مقیاس‌های مکانی و زمانی دقیق برای سامانه TRMM و GPM طراحی‌شده است. این الگوریتم چندین بار برای هر زمان مشاهده‌ای اجرا می‌شود، ابتدا یک تخمین سریع می‌زند و با رسیدن اطلاعات بیشتر، پی‌درپی تخمین‌های بهتری ارائه می‌دهد. مرحله آخر نیز از داده‌های اندازه‌گیری ماهانه برای ایجاد محصولات در سطح تحقیقاتی استفاده می‌کند (Huffman et al., 2015). درواقع این محصول می‌تواند بارش‌های برف و باران را با دقّت بالا (تفکیک افقی ۰/۱*۰/۱ درجه و گام زمانی نیم‌ساعته) مشاهده و عرضه نماید (اردونی و همکاران، ۱۳۹۹).

**آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (KS)**

جهت مقایسه توزیع فراوانی مقادیر بارندگی برآورد شده ماهواره GPM و مشاهده‌ای از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف (KS) استفاده شد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (KS) یک نمونه‌ای و دو نمونه‌ای است. در مورد آزمون یک نمونه‌ای، داده‌های تجربی را می‌توان در برابر توزیع شناخته‌شده‌ای برازش داد تا مشخص شود؛ آیا داده‌ها از این توزیع پیروی می‌کنند یا خیر؟ درحالی‌که آزمون دو نمونه‌ای مقایسه دو مجموعه داده بدون پیش‌بینی توزیع انجام می‌شود (Kolmogorov, 1933). آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای برای بررسی تفاوت بین دو جمعیت آماری مستقل بر اساس تنها یک متغیر مورداستفاده قرار می‌گیرد. تابع توزیع تجمعی[1] (CDF) یک جزء جدایی‌ناپذیر از آزمون KS است. به همین ترتیب، با تعیین فیلد CDF، F(x) برای متغیر تصادفی X شروع می‌شود. CDF از X به‌صورت زیر بیان می‌شود: $F(x) = P(X \leq x)$، درحالی‌که x شامل مجموعه‌ای از مقادیر ممکن برای متغیر تصادفی X است. CDF احتمال X را با مقدار کمتر یا برابر x نشان می‌دهد (Hassani & Silva., 2015). در بررسی‌های هیدرولوژی در آزمون یک نمونه‌ای سعی می‌شود داده‌هایی که به‌صورت تجربی اندازه‌گیری و ثبت‌شده‌اند، با توابع توزیع تئوری برازش داده‌شده و بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت دارد به‌عنوان تابع توزیع احتمال برگزیده شود تا از روی آن به ازای هر احتمال موردنظر مقدار متغیر هیدرولوژی به دست آید (Alizadeh et al., 2013).

برای آزمون نیکویی برازش به کمک آزمون یک نمونه‌ای، قدم نخست استفاده از فرض صفر (بین توزیع تئوری و توزیع داده‌های تجربی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد) است. قدم دوم انتخاب یک سطح اعتماد ($\alpha$) برای آزمون می‌باشد. مثلاً سطح اعتماد ۵ درصد ($\alpha$=۰/۰۵) این پژوهش به این معنی است که آزمون در ۵ درصد موارد اشتباه و در ۹۵ درصد موارد صحیح است (علیجانی، ۱۳۹۴). توزیع آماره‌ی آزمون (Dn) به توزیع فرضیه F(x) بستگی دارد و آماره‌ی این آزمون یعنی Dn در رابطه‌ی یک مشخص‌شده است (Huffman et al., 2015; Burr, 1964). آزمون کلموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای کلاسیک تک‌بعدی، آزمون ناپارامتری برای مقایسه دو توزیع تجربی است که بزرگ‌ترین اختلاف مطلق بین دو تابع توزیع تجمعی را به‌عنوان معیار اختلاف در نظر می‌گیرد (Xiao, 2007; Lopes et al., 2007).

$$D_n = max_x|F_n(x) - F(x)| \qquad (۱)$$

آماره آزمون کلموگراف- اسمیرنوف حداکثر مقدار $|F_n(x) - F(x)|$است (Hajek & Sidak, 1967; Xiao et al., 2007). در این‌جا Fn(x) احتمال تجمعی تجربی است که مانند $Fn(x(i)) = i/n$ برای کوچک‌ترین مقدار i امین داده برآورد می‌شود و F(x) تابع توزیع تجمعی نظری است که در x ارزیابی می‌شود. بنابراین آماره‌ی Dn آزمون کلموگراف - اسمیرنوف بیشینه‌ی قدر مطلق تفاضل تابع توزیع تجربی و نظری را آشکار می‌کند (wilks, 2006؛ Burr, 1964). البته مقدار سطح اعتماد ($\alpha$) بر رد فرض صفر اثر دارد (wilks, 2006). فرض صفر وقتی رد می‌شود که مقدار Dn از یک مقدار بحرانی انتخاب‌شده معین، تجاوز کند (علیجانی و افشارمنش، ۱۳۹۴). در مقابل آزمون یک نمونه‌ای KS، آزمون دو نمونه‌ای KS، یک آزمون فرضیه ناپارامتری است که تفاوت بین توابع توزیع تجمعی (CDF) دو بردار داده نمونه را در

1 Cumulative Distribution Functions



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

محدوده x در هر مجموعه داده ارزیابی می‌کند. درواقع آزمون دو نمونه‌ای KS، تابع توزیع تجمعی تجربی (ECDF[1]) را با دو متغیر تصادفی مقایسه می‌کند تا بتوان تعیین کرد که آیا هر دو متغیر تصادفی توزیع یکسان را به اشتراک می‌گذارند و یا از توزیع‌های مختلف به دست می‌آیند. یک مزیّت قابل‌توجه آن در مقابل آزمون یک نمونه‌ای این است که می‌توان آن را برای مقایسه دو مجموعه داده بدون دانستن در مورد توزیع‌های اساسی آن‌ها استفاده کرد. با فرض دو متغیر تصادفی X و Y، آزمون KS دو نمونه‌ای خواهد بود (Lal, 2015). ازآنجایی‌که بر اساس ارزش مطلق انجام می‌شود، دوطرفه نامیده می‌شود (Pratt & Gibbons, 1981). همان‌طور که ذکر شد آزمون KS یک آزمون ناپارامتری سریع و باهدف کلی است؛ امّا داشتن یک آزمون باهدف کلی به معنای آن است که به‌طور سیستماتیک نسبت به برخی از انواع و اقسام موارد خاص، حساسیت کمتری دارد. به‌عنوان‌مثال به این دلیل که CDF های تجربی $F_{X,n_1}(x)$ و $F_{n_2}(x)$ باید هر دو به صفر تمایل داشته باشند (رابطه شماره ۲) (Sadhanala et al., 2019).

$$D_{n_1,n_2} = max_x\left|F_{X,n_1}(x) - F_{Y,n_2}(x)\right| \qquad (۲)$$

برای محاسبه آماره KS، باید حداکثر $\left|F_{X,n_1}(x) - F_{Y,n_2}(x)\right|$ پیدا شود. به عبارتی آزمون دو نمونه‌ای KS بر اساس حداکثر اختلاف تابع است (Pratt & Gibbons, 1981). خوشبختانه، به‌جای اینکه همه‌ی این‌ها (احتمالات ناممکن) بررسی شود، می‌توان از این واقعیت استفاده کرد که توزیع تجربی گسسته است و فقط در مقادیر x بررسی می‌شود (Lal, 2015). همان‌طور در تمام آزمون‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری نیاز به محاسبه مقادیر احتمالی دارد (Hajek & Sidak, 1967؛ Hanson & Vogel, 2009) برای آزمون KS، فرمول‌های مختلفی برای محاسبه مقدار p وجود دارد که هرکدام دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند (Hassani & Silva, 2015). در آزمون دو نمونه‌ای KS، تصمیم به رد فرضیه صفر مبتنی بر مقایسه مقدار p با سطح اهمیت آلفا است، نه با مقایسه آماری آزمون دو نمونه‌ای KS با یک مقدار بحرانی. برای آزمون دو نمونه‌ای، فرضیه صفر در سطح α هنگامی‌که برابر با رابطه (۳) باشد، رد می‌شود (Lal, 2015).

$$\sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1+n_2}} Dn_1, n_2 > K_\alpha \qquad (۳)$$

**داده‌های آماری مورداستفاده در تحقیق**

در این تحقیق از آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان گلستان به‌عنوان داده‌های مرجع و از داده‌های بارش روزانه که توسط ماهواره GPM (تمام‌روزهای سال بدون بارش و بارشی به دلیل احتمال تخمین بارش، توسط ماهواره برای یک روز خاص نیز لحاظ گردیده است.) برآورد شدند استفاده گردید. به دلیل شروع به کار ماهواره GPM از سال ۲۰۱۴، داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی دوره آماری از ۲۰۱۴/۳/۲۰ تا ۲۰۱۶/۳/۲۰ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان برای انجام این پژوهش جمع‌آوری گردید. ایستگاه‌های منتخب دارای آمار کافی و معتبر به‌صورت سری زمانی روزانه بودند. در این تحقیق از داده‌های نرخ بارندگی روزانه و الگوریتم IMERG سامانه ماهواره‌ای GPM با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه برای مطالعه و بررسی استفاده شد. این ماهواره تخمین‌های بارش ماهانه، روزانه و نیم‌ساعته را در شبکه‌های ۰/۱ درجه طولی و عرضی برای محدوده ۶۰ درجه شمالی و جنوبی تولید می‌کند. در ابتدا مقادیر بارش IMERG برای تاریخ‌های موردنظر با فرمت TIF از سایت ناسا[2] دریافت (NASA, 2016) و در محیط نرم‌افزاری GIS، نقشه‌های رستری (۰/۱*۰/۱) مربوطه فراخوانی شدند. سپس مقادیر بارش روزانه تمام ایستگاه‌ها استخراج و در محیط نرم‌افزار اکسل ثبت گردیدند؛ و در نرم‌افزار متلب نسخه ۹,۰ نمودارهای تابع توزیع تجمعی تجربی رسم شد و سپس با استفاده از مقدار P-value در مورد رد یا پذیرش فرضیه صفر (H0 نشان از مطابقت توزیع یکسان مقادیر بارش زمینی با مقادیر برآورد شده بارش ماهواره GPM دارد، درحالی‌که فرضیه متناظر H1 بیان می‌کند که

1 Empirical Cumulative Distribution Function
2 https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

مقادیر بارش زمینی و مقادیر برآورد شده بارش ماهواره GPM توزیع مشابهی را به اشتراک نمی‌گذارند)، تصمیم‌گیری شد. جهت مقایسه توزیع فراوانی مقادیر بارندگی برآورد شده ماهواره GPM و مشاهده‌ای از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (KS) استفاده شد. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تابع توزیـع تجمعی تجربی آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دونمونه‌ای برازش یافته بـر بارش ثبت‌شده ایستگاه‌های زمینی و بارندگی برآورد شده ماهواره GPM در حوزه آبخیز گرگانرود انجام شده است. ذکر این نکته ضروری است که در این مطالعه بارش ثبت‌شده ایستگاه‌های زمینی و بارندگی برآورد شده ماهواره GPM در مقیاس زمانی روزانه با تعداد ۱۶ ایستگاه مطالعاتی (آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۸) قابل‌استفاده و با مدت دوره آماری مشترک (دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۳/۲۰) موردبررسی قرار گرفتند. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی حوزه گرگانرود را نشان می‌دهد.

**جدول (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی حوزه آبخیز گرگانرود (آب منطقه‌ای استان گلستان ۱۳۹۸)**

| ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) | میانگین بارش سالانه (میلی‌متر) |
|---|---|---|---|---|
| سرمو | ۵۴° ۴۹ ' | ۳۶° ۴۸ ' | ۵۰۰ | ۸۹۲ |
| تقی‌آباد | ۵۴° ۳۸ ' | ۳۶° ۵۲ ' | ۱۴۸ | ۶۳۱ |
| زرینگل | ۵۴° ۵۷ ' | ۳۶° ۵۲ ' | ۳۰۷ | ۵۹۱ |
| کبودوال | ۵۴° ۵۳ ' | ۳۶° ۵۳ ' | ۱۳۰ | ۴۱۶ |
| شیرآباد | ۵۵° ۰۲ ' | ۳۷° ۰۰ ' | ۱۳۰ | ۹۰۸ |
| نوده | ۵۵° ۱۵ ' | ۳۷° ۰۴ ' | ۲۵۵ | ۹۲۶ |
| حق‌الخواجه | ۵۵° ۵۹ ' | ۳۷° ۰۸ ' | ۳۴۴ | ۲۱۰ |
| باغسالیان | ۵۴° ۴۳ ' | ۳۷° ۰۸ ' | ۱۴ | ۳۱۱ |
| قزاقلی | ۵۵° ۰۱ ' | ۳۷° ۱۳ ' | ۳۸ | ۳۷۰ |
| گنبد | ۵۵° ۱۱ ' | ۳۷° ۱۴ ' | ۶۴ | ۴۸۰ |
| گالیکیش | ۵۵° ۲۶ ' | ۳۷° ۱۵ ' | ۲۱۳ | ۹۵۱ |
| دشت شاد | ۵۵° ۴۵ ' | ۳۷° ۱۶ ' | ۱۵۹۶ | ۴۱۲ |
| تنگراه | ۵۵° ۴۵ ' | ۳۷° ۲۳ ' | ۴۳۸ | ۸۱۶ |
| قوچمز | ۵۵° ۳۰ ' | ۳۷° ۲۳ ' | ۲۰۴ | ۵۶۰ |
| قرناق | ۵۵° ۴۲ " | ۳۷° ۴۲ ' | ۵۰۰ | ۴۵۳ |
| آق‌قلا | ۵۴° ۳۰ ' | ۳۷° ۰۱ ' | -۱۲ | ۳۹۴ |

## نتایج و بحث

آزمون دو نمونه‌ای KS، ECDF را از دو متغیر تصادفی به دست می‌آورد تا بتوان تعیین نمود که آیا هر دو متغیر تصادفی توزیع یکسانی را به اشتراک می‌گذارند و یا از توزیع‌های مختلف به دست می‌آیند؟ (Lal, 2015). H1 نشان‌دهنده رد فرضیه صفر در سطح معنی‌داری آلفا و H0 نشانگر پذیرش فرضیه صفر در سطح معنی‌داری آلفا است. مقدار P بدون علامت از آزمون، بین (۰،۱) قرار می‌گیرد. مقدار p بدون علامت برای اندازه‌های بزرگ نمونه بسیار دقیق می‌شود و فرض بر این است که برای اندازه‌های نمونه n1 و n2 بسیار منطقی است. همان‌طور که در جدول دو دیده می‌شود فرضیه صفر (H0) نشان از مطابقت توزیع یکسان مقادیر بارش زمینی با مقادیر برآورد شده بارش ماهواره GPM دارد، درحالی‌که فرضیه متناظر (H1) بیان می‌کند که مقادیر بارش زمینی و مقادیربرآوردشده بارش ماهواره GPM توزیع مشابه را به اشتراک نمی‌گذارند. مقدار فرض H0 در ایستگاه‌های باغ سالیان، دشت شاد، قوچمز، حق-الخواجه، زرینگل پذیرفته‌شده است و در بقیه ایستگاه‌ها فرض متناظر (H1) قبول‌شده است. درواقع نتایج نشان داد که ازلحاظ آماری در ایستگاه‌های باغ سالیان، دشت شاد، قوچمز، حق الخواجه، زرینگل مقادیر P-value معنی‌دار نبوده و به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۳۶، ۰/۱۱، ۰/۹۵، ۰/۳۳ است. درنتیجه بر اساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف دوطرفه تفاوت آماری معنی‌داری بین پیش‌بینی سایر ایستگاه‌ها (آق‌قلا، گالیکیش، قزاقلی، قرناق، گنبد، کبودوال، نوده، سرمو،



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

شیرآباد، تقی‌آباد، تنگراه) با مشاهدات زمینی وجود دارد، زیرا در این ایستگاه‌ها مقادیر p از آستانه ۰/۰۵ کمتر است. با توجّه به مقادیر P-value این پژوهش که بین ۰/۹۵-۰/۰۰۱ در نوسان است؛ بیشترین و کمترین عدد به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های حق‌الخواجه (فرض H0 پذیرفته‌شده) و شیرآباد (فرض H1 پذیرفته‌شده) است. در تمام ایستگاه‌هایی که مقدار فرض H0 پذیرفته‌شده است می‌توان گفت مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. بنابراین در ایستگاه‌هایی که داده‌های زمینی با داده‌های ماهواره مطابقت دارند، داده‌های ماهواره می‌تواند به‌جای داده‌های بارش ایستگاه استفاده‌شده و در برآورد خسارت ناشی از مخاطرات طبیعی نیز از قبیل سیل و خشکسالی مورداستفاده مؤثر قرار بگیرند.

به‌طورکلی داده‌های بارندگی با وضوح زمانی و مکانی بالا به‌عنوان ورودی کلیدی در مدل‌های هیدرولوژی و هواشناسی جهت افزایش دقّت پیش‌بینی‌ها کاربرد دارند. در نمودارهای ECDF در شکل (۲) دیده شد که آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دوطرفه برای بررسی وجود تفاوت آماری قابل‌توجه بین دو پیش‌بینی مفید است. همچنین این شکل نشان داد در ایستگاه‌های باغ سالیان، دشت شاد، قوچمز، حق‌الخواجه، زرینگل که فرض صفر قبول‌شده است اختلاف دو تابع تجمعی تجربی ناچیز است و برعکس در بقیه ایستگاه‌ها که فرض صفر رد شده اختلاف دو تابع تجمعی زیاد است. نتایج این تحقیق در مقایسه با پژوهش‌های انجام‌شده در ایران (حقیقت‌جو، ۱۳۸۱؛ Mahdavi et al., 2010؛ نصرآبادی، ۱۳۹۳) که با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای به بررسی مقادیر بارش پرداختند، متفاوت است. درواقع آن‌ها بهترین توزیع را نسبت به بقیه توزیع‌های برازش داده‌شده مشخص نمودند؛ امّا در این مطالعه دو مجموعه از مقادیر بارش ایستگاه زمینی و ماهواره GPM باهم مقایسه شده است. مقادیر P-value در مطالعات انجام‌شده توسط نصرآبادی (۱۳۹۳) بین ۰/۷۶-۰/۰۳ و توسط Lin و همکاران (۲۰۱۰) بین ۰/۱۷-۰/۰۱ بوده است؛ ولی سایر مطالعات (Lopes et al., 2007; Ecuyer & Simard, 2011)، که با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دونمونه‌ای انجام‌شده در رابطه با مقایسه مقادیر بارش نبوده است.

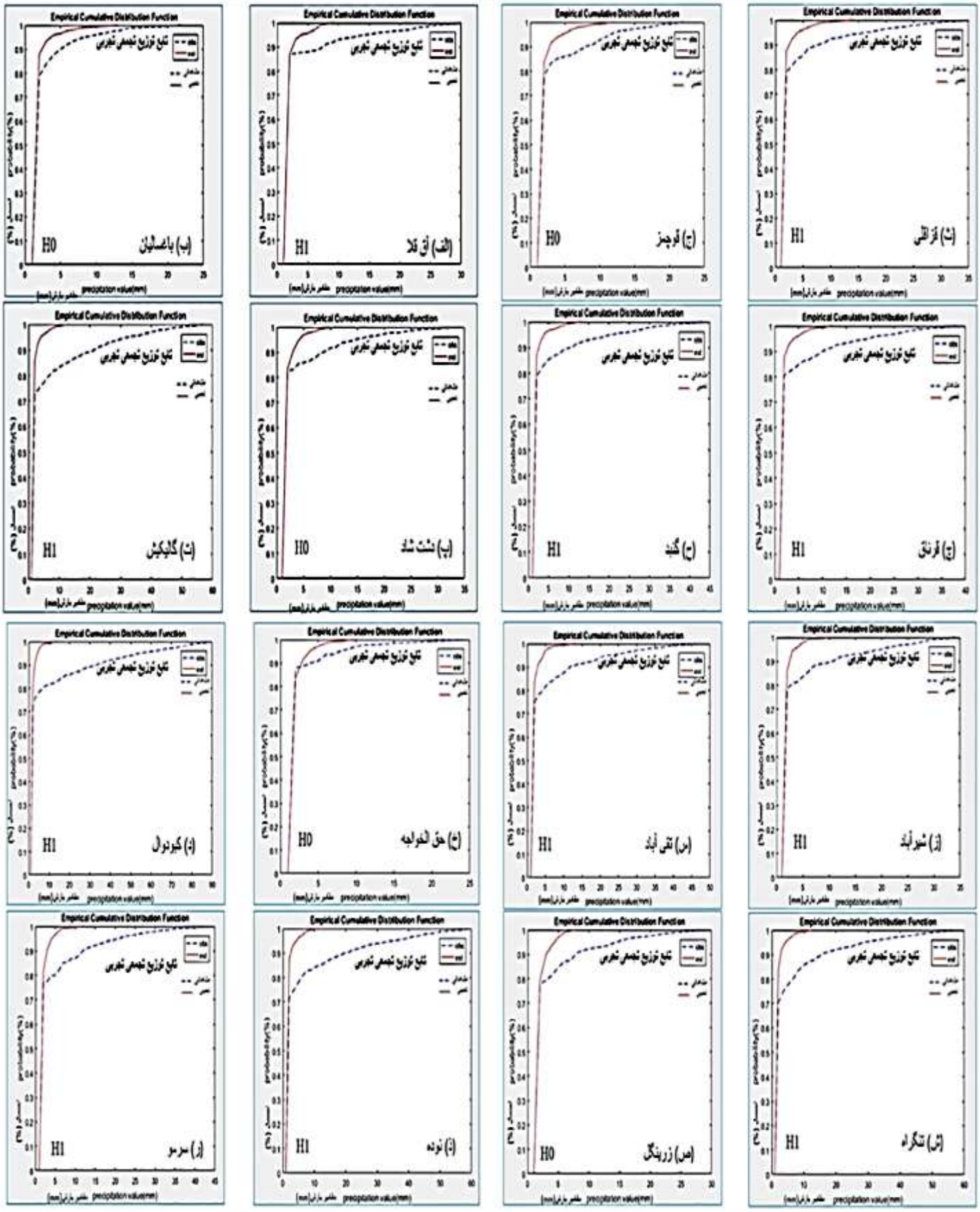
در جدول (۲) مقادیر p و فرض اعتماد پذیرفته‌شده ایستگاه‌های مطالعاتی مشخص‌شده است. در نمودارهای تابع توزیع تجمعی (شکل ۲) نیز ایستگاه‌هایی که فرض صفر در آن‌ها رد شده است، اختلاف دو تابع زیاد و برعکس در ایستگاه‌هایی که فرض صفر در آن‌ها پذیرفته‌شده، اختلاف ناچیز می‌باشد.

**جدول (۲): مقادیر آماره آزمون کلموگروف – اسمیرنوف در ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آبخیز گرگانرود**

| ردیف | ایستگاه | p-value | K | فرض پذیرفته‌شده |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | آق‌قلا | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۹ | H1 |
| ۲ | باغسالیان | ۰/۸۳ | ۰/۰۲ | H0 |
| ۳ | دشت شاد | ۰/۳۶ | ۰/۰۳ | H0 |
| ۴ | گالیکیش | ۰/۰۵ | ۰/۱۳ | H1 |
| ۵ | قزاقلی | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۸ | H1 |
| ۶ | قوچمز | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ | H0 |
| ۷ | قرناق | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | H1 |
| ۸ | گنبد | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۸ | H1 |
| ۹ | حق‌الخواجه | ۰/۹۵ | ۰/۰۰۸ | H0 |
| ۱۰ | کبودوال | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸ | H1 |
| ۱۱ | نوده | ۰/۰۷ | ۰/۱۵ | H1 |
| ۱۲ | سرمو | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۸ | H1 |
| ۱۳ | شیرآباد | ۰/۰۰۱ | ۰/۱۲ | H1 |
| ۱۴ | تقی‌آباد | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۸ | H1 |
| ۱۵ | تنگراه | ۰/۰۸۳ | ۰/۱۳ | H1 |
| ۱۶ | زرینگل | ۰/۳۳ | ۰/۰۵ | H0 |



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

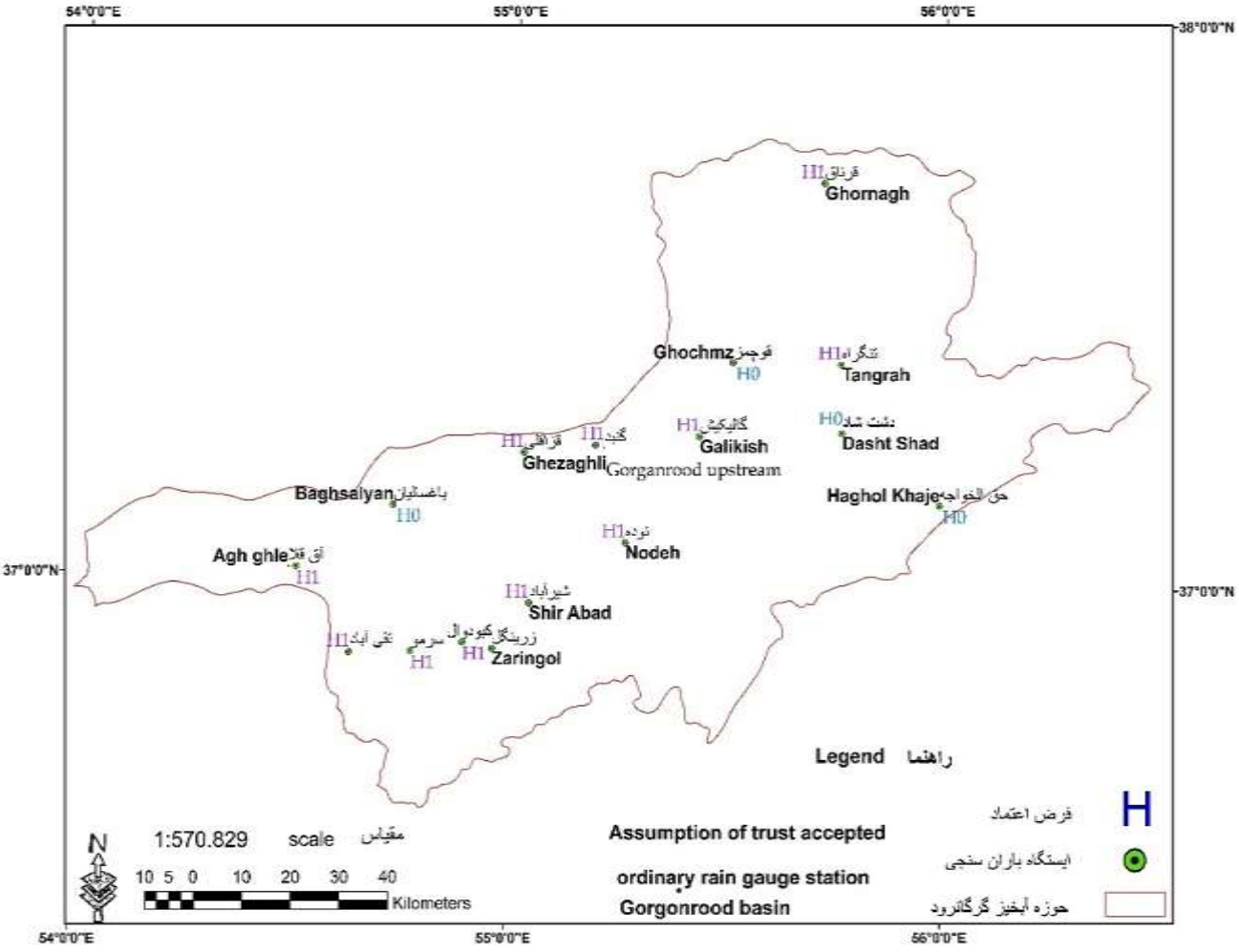



**شکل (۲): تابع توزیع تجمعی تجربی آزمون کلموگروف–اسمیرنوف برازش یافته بر بارش ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود**



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

همان‌طور که در نمودارها نیز ملاحظه می‌شود خطوط قرمز نمودارها نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی تجربی مقادیر بارش ماهواره و خطوط آبی نیز نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی تجربی مقادیر بارش در ایستگاه‌های زمینی می‌باشد. به‌عبارتی‌دیگر درصورتی‌که تابع توزیع تجمعی تجربی برازش یافته بر مقادیر بارش ایستگاه‌های زمینی و ماهواره GPM باهم نزدیک باشند، ماهواره مقادیر بارش را درست پیش‌بینی کرده و می‌توان به‌جای داده‌های زمینی از داده‌های ماهواره در نقاط فاقد ایستگاه استفاده کرد و داده‌ها را به سطح تعمیم داد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌هایی که فرض H0 پذیرفته‌شده است، مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Zomorodian et al., 2018)، که با شاخص‌های دیگری مانند ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و... به ارزیابی صحت مقادیر بارش ماهواره GPM پرداختند متفاوت است. یافته‌های آن‌ها حاکی از دقّت مطلوب در اکثر ایستگاه‌ها است درحالی‌که در این پژوهش رکوردهای بارندگی GPM فقط در برخی از ایستگاه‌ها از مطابقت نسبی با داده‌های مشاهده‌ای برخوردار است.




**شکل (۳): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی با قبول یا رد فرض صفر**

در شکل (۳) نیز می‌توان ایستگاه‌هایی که فرض صفر در آن‌ها پذیرفته‌شده و ایستگاه‌هایی که فرض متناظر پذیرفته‌شده را مشاهده کرد. ایستگاه‌هایی که فرض صفر در آن‌ها پذیرفته‌شده در سطح حوضه به‌صورت پراکنده هستند و آنچه‌که مسلم است نمی‌توان محدوده خاصی را برای مطابقت یا عدم مطابقت مشاهدات زمینی با داده‌های ماهواره‌ای تفکیک کرد و به‌عنوان‌مثال گفت که ایستگاه‌های شمال یا جنوب حوضه با داده‌های ماهواره از مطابقت بیشتری برخوردار هستند.



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

## نتیجه‌گیری

آگاهی از توزیع مکانی و زمانی باران در هر منطقه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی بسیار مفید باشد. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تابع توزیع تجمعی تجربی برازش یافته بر بارش در مقیاس‌های زمانی روزانه در حوزه آبخیز گرگانرود و مقایسه این تابع برازش یافته بین بارش تخمین زده‌شده از ماهواره GPM و ایستگاه‌های زمینی انجام شد. در نرم‌افزار متلب نمودارهای تابع توزیع تجمعی تجربی تک‌تک ایستگاه‌ها رسم شد و با استفاده از آزمون دونمونه‌ای کلموگروف-اسمیرنوف، شباهت یا اختلاف بین دو تابع با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که ازلحاظ آماری در ایستگاه‌های باغ سالیان، دشت شاد، قوچمز، حق الخواجه، زرینگل مقادیر P-value از سطح معنی-داری $\alpha$ بالاتر بوده و به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۳۶، ۰/۱۱، ۰/۹۵، ۰/۳۳ است. یعنی اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای با مشاهدات ایستگاه زمینی معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از بررسی مقادیر P-value مربوط به مقایسه آمار روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با داده‌های ماهواره GPM، نیز نشان داد که این آماره با مقدار ۰/۹۵، بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای را در ایستگاه حق‌الخواجه نشان داده و کمترین میزان مطابقت با مقدار ۰/۰۰۱ مربوط به ایستگاه شیرآباد می‌باشد. نتایج این تحقیق مشخص نمود که در همه‌ی ایستگاه‌هایی که مقدار فرض H0 پذیرفته‌شده است، مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. این پژوهش جهت بررسی مطابقت داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی با داده‌های ماهواره‌ای GPM با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای انجام‌شده و تاکنون تحقیق دیگری به این موضوع نپرداخته است. به همین دلیل می‌توان به نتایج این تحقیق در مقایسه با تحقیقات دیگر که بر اساس آزمون یک نمونه‌ای بوده است، اطمینان بیشتری داشت. زیرا در آزمون یک نمونه‌ای بهترین توزیعی که به داده‌ها برازش می‌یابد مشخص می‌شود و فقط یک جامعه آماری موردبررسی قرار می‌گیرد. پیش‌بینی و اندازه‌گیری بارندگی با داده‌های ماهواره‌ای را می‌توان به مدیریت منابع آب و مخاطرات محیطی (رواناب حاصل از بارندگی و مدیریت سیل و...) تعمیم داد. این کار می‌تواند کیفیت پروژه‌های هواشناسی، مدیریت منابع آب و مخاطرات محیطی را بهبود بخشد. درصورتی‌که داده‌های بارش ماهواره GPM از برازش مناسبی بر داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی برخوردار باشد، می‌تواند کمک مؤثری در اندازه‌گیری سریع بارش جهت طراحی سامانه‌های پشتیبان تصمیم مدیریت منابع آب و مخاطرات محیطی باشد. این تحقیق با دوره آماری کوتاه‌مدت انجام‌شده است، لذا، پیشنهاد می‌شود که داده‌های بارش در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در سایر حوزه‌های آبخیز کشور نیز و با دوره‌های آماری طولانی‌تر مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین می‌توان صحت‌سنجی داده-های ماهواره‌ای را برای وقایع رگباری و سیل که در سیستم‌های هشدار مخاطرات محیطی کاربرد دارد، بررسی و تحلیل نمود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به دلیل در اختیار قرار گذاشتن آمار و اطلاعات موردنیاز این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

## منابع

۱. آذری، م.، ح. مرادی، ب. ثقفیان و م. فرامرزی (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبخیزگرگانرود. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳): ۵۴۷-۵۳۷.

۲. اردونی، م.، ه. معماریان، م. اکبری و م. پور رضا (۱۳۹۹). صحت سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرگانرود). پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۷(۴): ۱۴۹-۱۶۶.

۳. اکبری ینگه قلعه، م.، ح. ثنایی نژاد، ع. فرید حسینی و م. اکبری (۱۳۹۶). بررسی زمانی-مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. (پژوهش‌های اقلیم‌شناسی)، ۸(۲۹):۱۸-۱.



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

۴. حقیقت‌جو، پ. (۱۳۸۱). بررسی تابع چگالی احتمال بارندگی‌های ماهانه و سالانه ایستگاه‌های قدیمی ایران، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران، ۳: ۴۱-۴۸.
۵. شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران و گلستان. (۱۳۸۷). گزارش بهنگام‌سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبخیز رودخانه قره‌سو و گرگان‌رود، جلد دوم. ۲۴۷ صفحه.
۶. شریفی، ا.، ب. ثقفیان و ر. اشتاینا‌کر (۱۳۹۵). بررسی کارایی جدیدترین نسل محصولات بارش ماهواره‌ای با وضوح زمانی- مکانی بالا. کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، دانشگاه کردستان. شماره ۶.
۷. شیخ، و.، ا. واحد بردی، و. بابایی و ی. موشخیان (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات رژیم بارش حوضه‌ی آبریز گرگانرود. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران, ۳(۸): ۳۸-۲۹.
۸. عرفانیان، م.، س. کاظم پور و ح. حیدری (۱۳۹۵). واسنجی داده‌های باران سری ۳ B42 و ۳ B43 ماهوارهٔ TRMM در زون‌های اقلیمی ایران .پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۲): ۳۰۳-۲۸۷.
۹. علیجانی، ب. و ح. افشارمنش (۱۳۹۴). تجزیه‌وتحلیل آماری مقادیر طولانی‌مدت بارش جهت برازش توزیع آماری مناسب (مطالعه موردی ایران)، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، ۷(۲۵): ۹۵-۷۳.
۱۰.قاضیانی، س.، ع. حشمت پور، م. فراستی و ف. رستمی (۱۳۹۹). ارزیابی کیفی رودخانه‌ی گرگان‌رود با استفاده از شاخص NSFWQI در منطقه‌ی شهری گنبدکاووس. مجله اکو هیدرولوژی، ۷(۲):۳۸۲-۳۷۳.
۱۱.شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان. (۱۳۹۸). گزارش مطالعات منابع آب یکپارچه برای حوزه رودخانه قره‌سو و گرگانرود. ۲۴۷ صفحه.
۱۲.مصطفی‌زاده، ر.، خ. حاجی، ا. اسمعلی‌عوری و س. میرزایی (۱۳۹۷). برآورد کمبود جریان ماهانه در دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه گرگانرود. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۸):۱۹۶-۱۹۰.
۱۳.موسوی ندوشنی، س.، س. علی‌محمدی، ا. آهنی و م. موسوی (۱۳۹۷). تحلیل فراوانی دومتغیره خشکسالی در حوزه آبریز قره‌سو-گرگانرود با استفاده از توابع مفصل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۵(۴): ۹۱-۷۱.
۱۴.نصرآبادی، ن. (۱۳۹۳). واکاوی تغییر توزیع فراوانی بارش روزانه پایگاه آفرودیت در ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۳ (۹۲): ۷۹-۶۷.
۱۵.یزدان‌پناهی، ا.، م. اکبری و م. بهرنگ منش (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کمّی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت مشهد. نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری،۶(۲۰):۳۴-۲۵.
۱۶.یوسفی سنگانی، ک.، ح. محمدزاده و م. اکبری (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی کوه‌های هزار مسجد با استفاده از مدل تلفیقی فازی و AHP مطالعه موردی: شمال‌شرقی کوه‌های هزار مسجد در استان خراسان رضوی، اولین همایش ملّی بحران آب و پیامدهای ناشی از آن.
17. Akbari M., Ownegh M., Asgari H., Sadoddin A. and Khosravi H. *(2016). Drought Monitoring based on the SPI and RDI Indices under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid Areas of West Golestan Province)*. ECOPERSIA. *4:1585-1602.*
18. Alizadeh M., Namiranian K., Zobeiri M., Hourfar M. and Marvie Mohajer A. *(2013). Modeling of frequency distribution of tree's height in uneven- aged stands (Case study: Gorazbon district of Khyroud forest)*. Journal of Forest and Wood Production. *2: 322–362.*
19. Berger V.W. and Zhou Y. *(2014). Kolmogorov–smirnov test: Overview*. Wiley statsref: Statistics reference online.
20. Burr E. *(1964). Distribution of the two-sample Cram´er-von Mises W2 and Watson's U2*. The Annuals of Mathematical Statistics. *35(3):1091-1098.*
21. Dimitrova D.S., Kaishev V.K. and Tan S. *(2017). Computing the Kolmogorov-Smirnov distribution when the underlying CDF is purely discrete*, mixed or continuous.
22. Gibbons J.D. and Chakraborti S. *(2003). Non-Parametric Statistical Inference*. Fourth Edition, Marcel Dekker, New York.
23. Guo H., Chen S., Bao A., Behrangi A., Hong Y., Ndayisaba F., Hu J. and Stepanian P.M. *(2016). Early Assessment of Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China*. Journal of Atmospheric Research. *176(177): 121-133*. Doi: 10.1016/j.atmosres.2016.02.020.
24. Hajek J. and Sidak Z. *(1967). Theory of Rank Tests.* Academic Press, New York.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

25. Hanson L.S. and Vogel R. *(2009). The probability distribution of daily rainfall in the United States, Dept. of Civil and Environmental.* Engineering, Tufts Univ., Medford, MA 02155.
26. Hassani H. and Silva E.S. *(2015). A Kolmogorov-Smirnov based test for comparing the predictive accuracy of two sets of forecasts.* Econometrics. 3:590–609. http://dx.doi.org/10.3390/econometrics3030590.
27. Hesamian G. and Chachi J. *(2015). Two sample Kolmogorove- Smirnov fuzzy test for fuzzy random variables*. Statistical Papers. *56: 61-82*.
28. Hou A.Y., Kakar R.K., Neeck S., Azarbarzin A.A., Kummerow C.D., Kojima M. and Iguchi T. *(2014). The global precipitation measurement mission*. Bulletin of the American Meteorological Society. 95(5): 701-722.
29. Huffman G.J., Bolvin D.T., Braithwaite D., Hsu K., Joyce R., Xie P. and Yoo S.H. *(2015). NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG).* Algorithm theoretical basis document, version 4.5. 30 p.
30. Kidd C. and Huffman G. *(2011). Global precipitation measurement*. Meteorological Applications. *18(3):334-353*. https://doi.org/10.1002/met.284.
31. Kolmogorov A. *(1933). Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione.* Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari. *4:83–91*.
32. Lall A. *(2015). Data streaming algorithms for the Kolmogorov-Smirnov test*, 2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), October 29 - November 01. *95–104*, http://dx.doi.org/10.1109/BigData.2015.7363746
33. Lin P., Wu B. and Watada J. *(2010). Kolmogorov-Smirnov two sample test with continuous fuzzy data*. Advances in Intelligent and Soft Computing. *68: 175-186.*
34. Longenecker J., Bechtel T., Chen Z., Goldscheider N., Liesch T. and Walter R. *(2017). Correlating Global Precipitation Measurement satellite data with karst spring hydrographs for rapid catchment delineation.* Geophysical Research Letters.
35. Lopes R.H., Reid I.D. and Hobson P.R. *(2007). The two-dimensional Kolmogorov-Smirnov test*. http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/1166
36. Mahdavi M., Osati K., Sadeghi A.N., Karimi B. and Mobaraki J. *(2010). Planning Precipitation Data (A Case Study of Mazandaran and Golestan Provinces).* Journal of Sustainable Development. *3(1): 159-168.*
37. Modarresi F., Araghinejad S.H., Ebrahimi K. and Kholghi M. *(2010). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin*. Journal of Water and Soil. *24(3): 476-489.*
38. NASA. (2016). http://trmm.gsfc.nasa.gov (1/06/2016).
39. Okeniyi J.O. and Okeniyi E.T. (2012). *Implementation of Kolmogorov–Smirnov p-value computation in Visual Basic® : implication for Microsoft Excel library function*. Journal of Statistical Computation and Simulation. *82(12):1727-1741*.
40. Pratt J.W. and Gibbons J.D. *(1981). Kolmogorov-smirnov two-sample tests.* In Concepts of nonparametric theory 318-344. Springer, New York, NY.
41. Sadhanala V., Wang Y.X., Ramdas A. and Tibshirani R.J. *(2019). A higher-order kolmogorov-smirnov test.* arXiv preprint arXiv:*1903.10083*.
42. Sharifi E., Saghafian B. and Steinacker R. *(2016). Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results*. Remote Sensing. *8(2): 135.*
43. Simard R. and L'Ecuyer P. *(2011). Computing the two-sided Kolmogorov-Smirnov distribution.* Journal of Statistical Software. *39(11):1-18.*
44. Smirnov N. *(1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions*. Annals of Mathematical Statistics. *19(2):279–281.*
45. TOM H.C. *(1968). Direct and inversetables of the game distribution environmental data.*
46. Wang Z., Zhong R., La C. and Chen J. *(2017). Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility*. Atmospheric Research. *196: 151-163.*
47. Wilks D.S. *(2006). Statistical methods in the atmospheric sciences, Second Edition, Academic Press*. Elsevier Inc. U. S. A., 627.
48. Xiao Y., Gordon A. and Yakovlev A. *(2007). A C++ program for the Cram´er-von Mises two-sample test*. Journal of Statistical Software (Amercian Statistical Association). *17(8).*
49. Zomorodian M., Vazifehdoust M. and Ismaili Varaki M. *(2018). As a new method for extraction rain water and verifying of GPM introduces its satellite*. The 6th national conference on rainwater catchment systems of Khomeini Shahr Azad University.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]

# Evaluation and Comparison of GPM Satellite Precipitation Data with Meteorological Station using Kolmogorov-Smirnov Test

**Masoumeh Ordouni[1], Hadi Memarian *[2], Morteza Akbari[3], Mohsen Pourreza Bilondi[4]**

1. M.Sc. Graduate, Dept. Watershed Management, University of Birjand, Iran.
2.* Associate Prof., Dept. Watershed Management, University of Birjand, Iran.
3. Assistant Prof., Dept. Desert Area Management, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4. Associate Prof., Dept. Water Science and Engineering, University of Birjand, Iran.

Received: 2021/06
Accepted: 2021/07

**Abstract**

This study aimed to evaluate and compare the estimated rainfall of GPM meteorological satellite with ground stations using non-parametric Kolmogorov-Smirnov in Gorganrood catchment, Golestan province. In this study, 16 stations were used with the statistical period of 20.03.2014 -20.03.2016. The daily rainfall data of the GPM satellite with a spatial resolution of 0.1 degrees were collected. Data analysis was performed in the MATLAB environment**.** The results showed that in Bagh Salian, Dashte Shad, Ghochamz, Hagh-ol-Khaje, Zaringol stations, the P-value were higher than the α significance level and were 0.83, 0.36, 0.11, 0.95, 0.33, respectively. Therefore, it showed that the difference between satellite precipitation data and ground station observations was not significant. The results also showed that (0.95) P-value was the highest correlation of GPM data with observational records in Hagh-ol-Khaje station. The lowest level of compliance with the value of 0.001 is related to Shirabad station. Therefore, to improve GPM satellite products, especially in watersheds with the wide spatial distribution and temporal variations of precipitation, calibration of satellite precipitation products should be on the agenda to improve their accuracy in measuring daily precipitation. The Kolmogorov-Smirnov test was performed for the first time to examine the correlation of daily GPM satellite data with observational data, and there was a relative correlation between satellite data and observed ground station records in all stations where the H0 hypothesis was accepted

**Keywords:** Precipitation measurement, Statistical tests, Water resources management, Meteorological satellites.

* Corresponding Author Email: hadi_memarian @birjand.ac.ir



[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9 ]