

ارزیابی داده‌های TRMM و ECMWF برای پایش زمانی خشکسالی (مطالعه موردی: استان کردستان)

مژگان احمدی^۱، هادی رمضانی اعتدالی^{۱*}، عباس کاویانی^۱ و علیرضا توکلی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۵)

چکیده

مطالعه اثرهای خشکسالی در نواحی کوهستانی به دلیل پراکنش نامناسب ایستگاه، نبود داده‌های طولانی مدت و نواحی فاقد آمار، با مشکلاتی مواجه است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش، بررسی شاخص‌های خشکسالی استان کردستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM و پایگاه ECMWF و همچنین ارزیابی دقت آنها در مقابل داده‌های ایستگاه‌های زمینی استان کردستان است. برای رسیدن به این منظور، ابتدا داده‌های بارش ECMWF برای بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ و بارش TRMM برای بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۰ دریافت و با استفاده از آماره‌های RMSE، MBE و ضریب همبستگی ارزیابی شد. نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین داده‌های بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های زمینی رابطه معناداری در سطح ۵٪ وجود دارد و مقدار این ضریب بین ۰/۹۵-۰/۸۵ بود. مقدار آماره RMSE بین ۳۲/۱۹-۱۱/۲۲ به دست آمد. با توجه به نتایج می‌توان اذعان کرد که بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF در مقیاس زمانی ماهانه از دقت مناسبی در سطح استان کردستان برخوردار است به همین جهت از این دو منبع برای بررسی وضعیت شاخص‌های خشکسالی استفاده شد. شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و ZSI در دوره‌های مختلف ماهانه (۴۸-۱)، PNI در دوره‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در استان کردستان (ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار، سنندج) محاسبه شد. نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین شاخص‌های SPI، ZSI، PNI و SPEI داده‌های پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های زمینی رابطه معناداری در سطح ۵٪ وجود دارد. نتایج ارزیابی شاخص SPI نشان داد کمترین مقدار آماره RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره سه ماهه برابر ۰/۴۵ و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه برابر ۰/۳۵ بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های خشکسالی، TRMM، ECMWF، استان کردستان

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ramezani@eng.ikiu.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که با کمبود بارش و افزایش دما در گستره وسیعی در طول زمان اتفاق می‌افتد (۱). اثرهای زیست‌محیطی خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر از مناطق مرطوب است (۱۸). انواع خشکسالی در چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و اجتماعی و اقتصادی طبقه‌بندی می‌شود (۲۷). یکی از روش‌های تحلیل و ارزیابی خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی است (۲). بارش و تبخیر و تعرق، دو عامل مهم در تعیین وقوع و شدت خشکسالی است (۷).

پژوهشگران زیادی به ارزیابی خشکسالی پرداختند. شکوهی و مروتی (۱۹) به ارزیابی عملکرد شاخص‌های شناسایی خشکسالی و بارش استاندارد در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. آنها از داده‌های جهانی بارش پایگاه GPCC و دمای پایگاه NCEP/NCAR در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که دریاچه ارومیه در سال ۲۰۰۰-۱۹۹۹ دچار خشکسالی شدیدی شده است. امامی و همکاران (۶) به ارزیابی ماهواره TRMM در برآورد بارش ماهانه حوضه آبخیز گرگان‌رود پرداختند. در پژوهش آنها مقدار RMSE بین ۱۵/۸۵ تا ۵۶/۸۲ به دست آمد. همچنین نتایج آنها نشان داد ماهواره TRMM در برآورد بارش ماهانه کارایی خوبی در برآورد بارش منطقه مطالعه شده دارد. پیل‌پایه و همکاران (۱۶) به ارزیابی وضعیت خشکسالی در ایران با استفاده از بارش ECMWF پرداختند. آنها از منبع بارشی Era-interim که محصول مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپایی است استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد منبع بارشی Era-interim در مقیاس زمانی ماهانه از دقت مناسبی در سطح کشور برخوردار است. همچنین، نتایج شاخص SPI در پژوهش آنها نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها شدیدتر شده است. کیانی و همکاران (۸) توانایی محصولات بارشی (مانند CHIRP, GPM, TRMM و ECMWF) Reanalysis v5 (ERA5) را برای ثبت رویدادهای خشکسالی

در ایران مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که GPM و TRMM عملکرد بهتری در پایش خشکسالی دارند در حالی که نتایج CHIRPS کمترین دقت را داشت. چن و همکاران (۴) با استفاده از داده‌های بارش ماهواره CHIRPS, GPM, TRMM و شاخص SPI به ارزیابی خشکسالی در استان هوی چین پرداختند. نتایج آنها نشان داد که GPM بهترین عملکرد را داشت. همچنین، نتایج آنها نشان داد که خشکسالی‌های سالانه شدید اغلب در مناطق شمالی و شمال غربی رخ داده است. واسی و همکاران (۲۵) از داده‌های بارش CHIRPS برای محاسبه شاخص ZSI در منطقه اتیوپی طی سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۱۹) استفاده کردند. نتایج شاخص ZSI در پژوهش آنها نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ با رویدادهای خشکسالی شدید مواجه بودند. مطالعات زیادی (محمودی و همکاران (۱۱)؛ سرایدارا و همکاران (۲۴)؛ سینگ و همکاران (۲۲)؛ نادریان فرد و قرائی (۱۴)؛ شکران و همکاران (۲۰)) در ارتباط با شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر بارش انجام شده است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در محاسبات شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد بارش است. از آنجایی که ایستگاه‌های باران‌سنجی تراکم کافی ندارند و دسترسی به داده‌های بارش معمولاً با تأخیر زمانی همراه است، از این رو استفاده از روش‌های دیگر برای برآورد بارش ضروری است. در این راستا سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. امکان برآورد بارش در محدوده وسیعی از سطح زمین، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر شده است (۱۷). ماهواره‌ها برخی مشکلات موجود در داده‌های زمینی مانند وجود داده گمشده، هزینه خرید داده و پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها را ندارند و از مزایایی چون پوشش یکنواخت و پیوسته سطح زمین، در دسترس بودن رایگان داده‌ها و به‌هنگام‌بودن داده‌ها برخوردارند.

استان کردستان دومین سطح زیر کشت گندم دیم در ایران را دارد. خشکسالی و بارندگی روی محصولات دیم این استان تأثیر

داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود. به طوری که استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. در طبقه‌بندی این شاخص SPI بیشتر یا مساوی +2 در طبقه‌بندی ترسالی حاد و SPI کمتر یا مساوی -2 در طبقه‌بندی خشکسالی حاد قرار دارد. شاخص SPI با نرم افزار DIP محاسبه شده است.

شاخص SPEI

شاخص SPEI داده‌های بارش و تبخیر تعرق پتانسیل را ترکیب می‌کند. نحوه محاسبه شاخص SPEI مانند شاخص SPI است اما در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طبقه‌بندی این شاخص SPEI بیشتر یا مساوی +2 در طبقه‌بندی ترسالی حاد و SPEI کمتر یا مساوی -2 در طبقه‌بندی خشکسالی حاد قرار دارد.

در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به داده‌های تبخیر تعرق پتانسیل ایستگاه‌ها از داده‌های تبخیر تعرق پایگاه CRU با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه استفاده شد. برای محاسبه شاخص SPEI از نرم افزار R استفاده شده است.

شاخص درصد بارندگی (PNI)

درصد نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$PNI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن P_i : بارندگی سال i و \bar{P} : میانگین بارندگی در سال‌های آماری است. این شاخص همواره مثبت بوده و از سمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. در طبقه‌بندی این شاخص، درصد بارش بیشتر از ۸۰ درصد در طبقه بندی نرمال و درصد بارش کمتر از ۴۰ درصد در طبقه‌بندی خشکسالی بسیار شدید قرار دارد.

زیادی دارد. به علاوه کردستان منطقه‌ای کوهستانی است تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی در این منطقه کم است به همین دلیل در این مطالعه به ارزیابی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (SPI, PN, SPEI, ZSI) با استفاده از پایگاه ECMWF و ماهواره TRMM در استان کردستان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

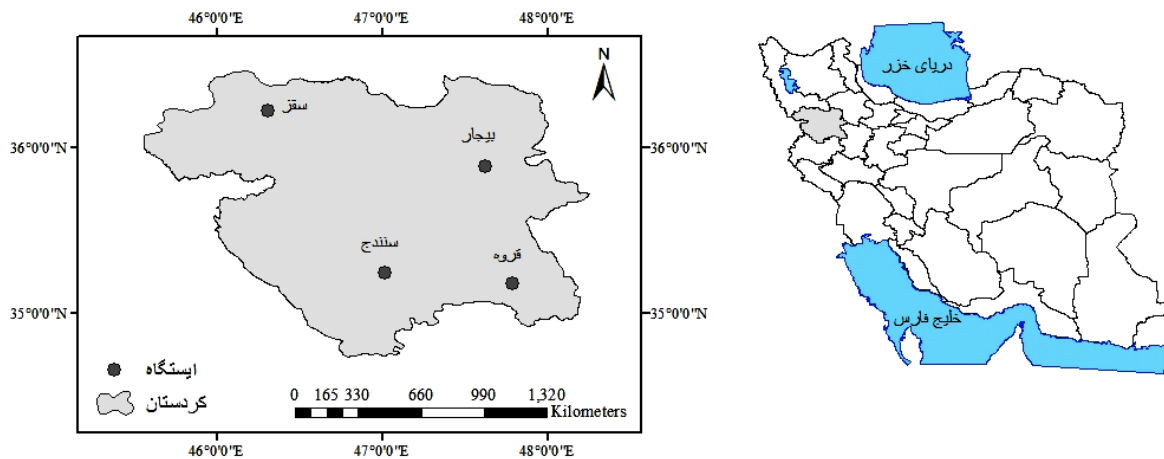
منطقه مورد مطالعه

استان کردستان یکی از استان‌های ایران به مرکزیت سنندج است که در غرب کشور واقع شده است (شکل ۱). مساحت این استان ۲۹/۱۳۷ کیلومتر مربع معادل ۷/۱ درصد مساحت کل کشور ایران است. شهرستان‌های این استان عبارتند از: سنندج، سقز، مریوان، بانه، قروه، کامیاران، بیجار، دیواندره، دهگلان و سروآباد. این استان منطقه‌ای کاملاً کوهستانی است. میزان نزولات جوی در قسمت مرکزی استان (شهرهای سقز و سنندج) نزدیک به پانصد میلی‌متر در سال است. تمام قلمرو استان در بهار و تابستان آب و هوایی خنک و معتدل دارد. در این مطالعه از بارش ایستگاه‌های بیجار، سقز، قروه و سنندج در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ استفاده شده است. آمار متوسط مجموع بارندگی و میانگین دمای ۲۰ ساله در جدول ۱ آورده شده است.

شاخص‌های خشکسالی

شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

این شاخص توسط مک‌کی و همکاران (۱۳) از دانشگاه ایالت کلرادو در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. برای محاسبه شاخص SPI می‌توان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه‌ماهه، شش‌ماهه و ...) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پیرسون تپ سه برازش داد. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | ارتفاع (متر) | متوسط بارش (میلی متر) | متوسط دما (درجه) |
|-------------|----------------------|----------------------|--------------|-----------------------|------------------|
| بیجار | ۳۵/۸۹ | ۴۷/۶۲ | ۱۸۸۳/۴ | ۳۱۹/۴۷ | ۱۱/۹۰ |
| سقز | ۳۶/۲۲ | ۴۶/۳۱ | ۱۵۲۲/۸ | ۴۲۴/۱۹ | ۱۱/۶۲ |
| قروه | ۳۵/۱۸ | ۴۷/۷۷ | ۱۹۰۶ | ۳۲۱/۳۲ | ۱۲/۶۴ |
| سنندج | ۳۵/۲۵ | ۴۷/۰۱ | ۱۳۷۳/۴ | ۳۵۵/۲۸ | ۱۴/۵۳ |

شاخص Z-Score (ZSI)

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و معادله آن به صورت رابطه (۲) است.

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

که در آن P_i : بارندگی سال i و SD : انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} : میانگین بارندگی بلندمدت است. در طبقه‌بندی این شاخص $Z < -1/5$ در دوره طبقه مرطوب و $Z < -1/5$ در دوره خشکی شدید قرار دارد.

در این مطالعه، برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی از نرم‌افزار DIP استفاده شده است.

شاخص‌های ارزیابی داده

در این مطالعه، از بارش ایستگاه‌های قروه، بیجار، سقز، سنندج و همچنین بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF برای

محاسبه شاخص‌های خشکسالی استفاده شده است.

ماهواره TRMM، محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شده است (۹). ماهواره TRMM دارای حس‌گرهایی همچون رادار آب و هوایی، چند تشعشع‌سنج ماکروویو غیرفعال و تشعشع‌سنج بسیار پیشرفته با وضوح بالا است (۲۱). این ماهواره برای قدرت تفکیک مکانی بهتر در ارتفاع به نسبت کم ۳۵۰ کیلومتری حرکت می‌کند (۲۶). قدرت تفکیک مکانی محصولات بارش این ماهواره ۰/۲۵ درجه و قدرت تفکیک زمانی آن سه ساعته و روزانه است. این ماهواره از عرض ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی را پوشش می‌دهد (۲۳). در این مطالعه از بارش ماهانه TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ استفاده شده است.

مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) یکی دیگر از مراکز بازتحلیل شده به شمار می‌آید. این مرکز نخستین

نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین داده‌های بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه، سنندج و بیجار رابطه معناداری در سطح ۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0.05$) وجود دارد. کمترین مقدار RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و کمترین مقدار RMSE برای پایگاه ECMWF در ایستگاه بیجار بود. نتایج MBE نشان می‌دهد که ماهواره TRMM در ایستگاه بیجار کم‌برآورد داشته است. میانگین بارش ماهانه در ایستگاه‌های بیجار، قروه، سنندج و سقز به ترتیب ۲۶/۷۸، ۲۷/۰۱، ۲۹/۷۶ و ۳۵/۸۹ میلی‌متر بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده همواره مقدار RMSE، از میانگین بارش ماهانه کمتر و مدل دارای اعتبار است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که داده‌های بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF همبستگی خوبی با داده‌های زمینی دارند.

عزیزیان و رمضان‌اعتدالی (۳) به ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل شده ECMWF در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه سفیدرود در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پایگاه ECMWF دارای همبستگی بالایی با ایستگاه‌های زمینی است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

شاخص SPI

با استفاده از بارش ECMWF و بارش ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ و TRMM در بازه ۲۰۰۰-۲۰۱۹ شاخص SPI در دوره‌های مختلف ماهانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸) محاسبه شد. نتایج ارزیابی آماری، TRMM و ECMWF با ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در شکل ۴ آورده شده است.

نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین شاخص SPI داده‌های ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه و سنندج رابطه معناداری در سطح ۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0.05$) برای دوره‌های ۱ تا ۴۸ ماهه وجود دارد، اما بین شاخص SPI داده‌های ماهواره TRMM

بار داده‌های شبکه‌ای جو را با تفکیک زیاد برای ۳۱ تراز طی یک دوره ۱۵ ساله فراهم کرد (ERA-15). دومین بازتحلیل این مرکز با نام (ERA-40) در ۶۰ تراز با بهره‌مندی از داده‌های ماهواره‌ای انجام شد (۱۲). داده‌های ERA-40 نسبت به داده‌های قبلی از نظر دقت مکانی و ارتفاعی به مراتب بیشتر بود. به‌تازگی مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF) داده‌های بازتحلیل جدیدی را با نام ERA5 منتشر کرده است. این داده‌ها از تلفیق داده‌های دیدبانی با داده‌های مدل‌های عددی بدست آمده است. در این مطالعه از داده‌های ماهانه بارش ERA5 با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱ درجه در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ استفاده شده است.

در این مطالعه برای ارزیابی شاخص‌های خشکسالی از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ضریب اسپیرمن استفاده شده است.

RMSE میانگین مقادیر انحراف شبیه‌سازی شده را از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. هرچه مقدار RMSE کوچکتر باشد به معنی مطلوب بودن مدل است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

شاخص MBE با استفاده از فرمول (۴) محاسبه می‌شود.

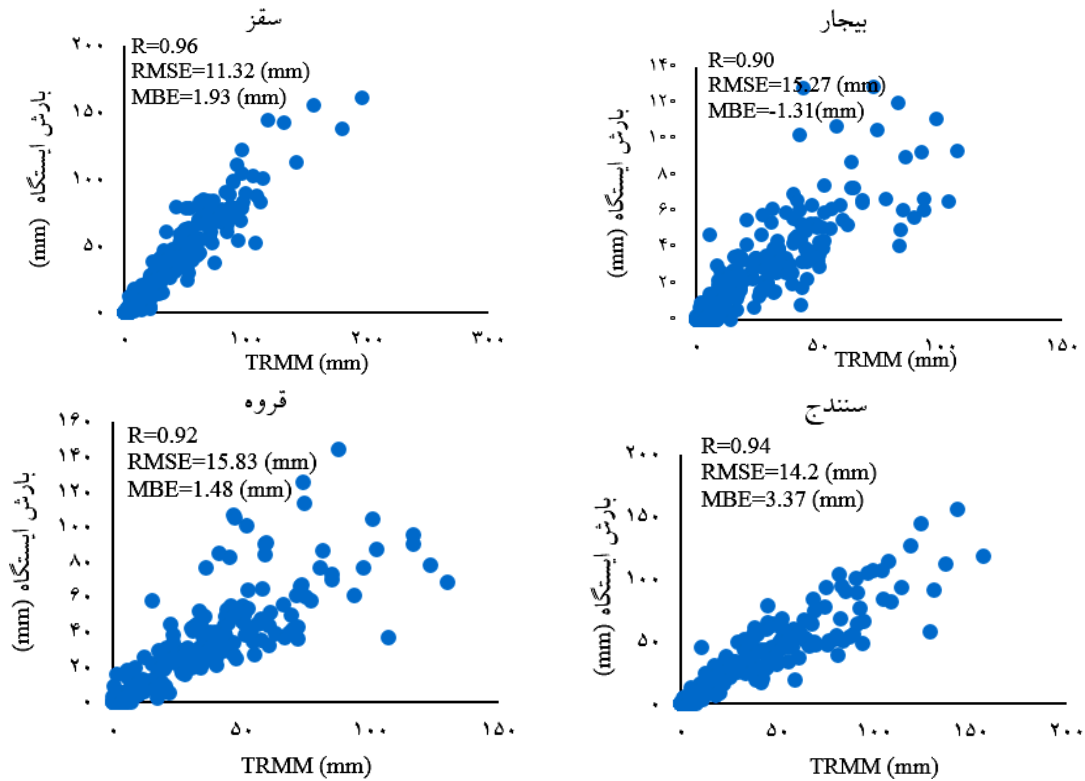
$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (4)$$

مقدار MBE بیانگر میزان اریبی روش است در یک تخمین به‌نسبت دقیق بایستی نزدیک به صفر باشد. در روابط یاد شده O_i مقادیر واقعی و P_i مقادیر پیش‌بینی شده با پایگاه‌های اطلاعاتی است.

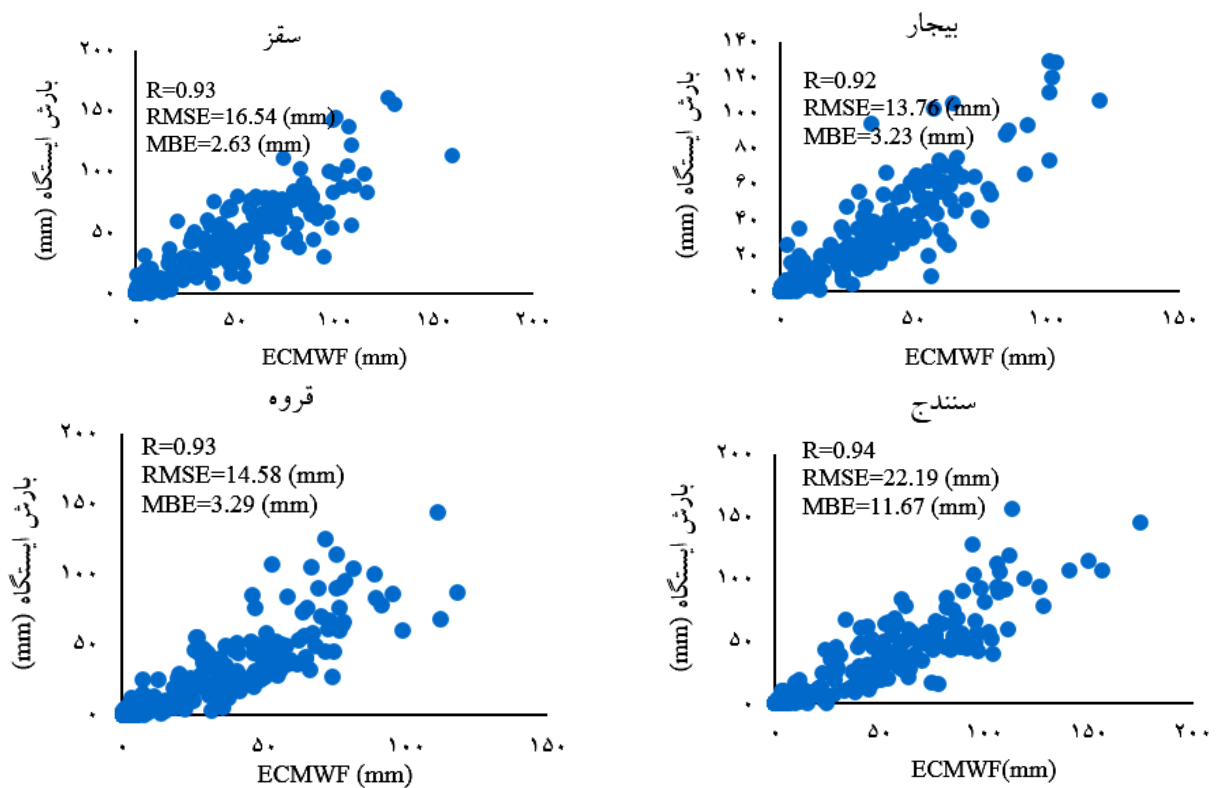
نتایج و بحث

ارزیابی بارش TRMM و ECMWF

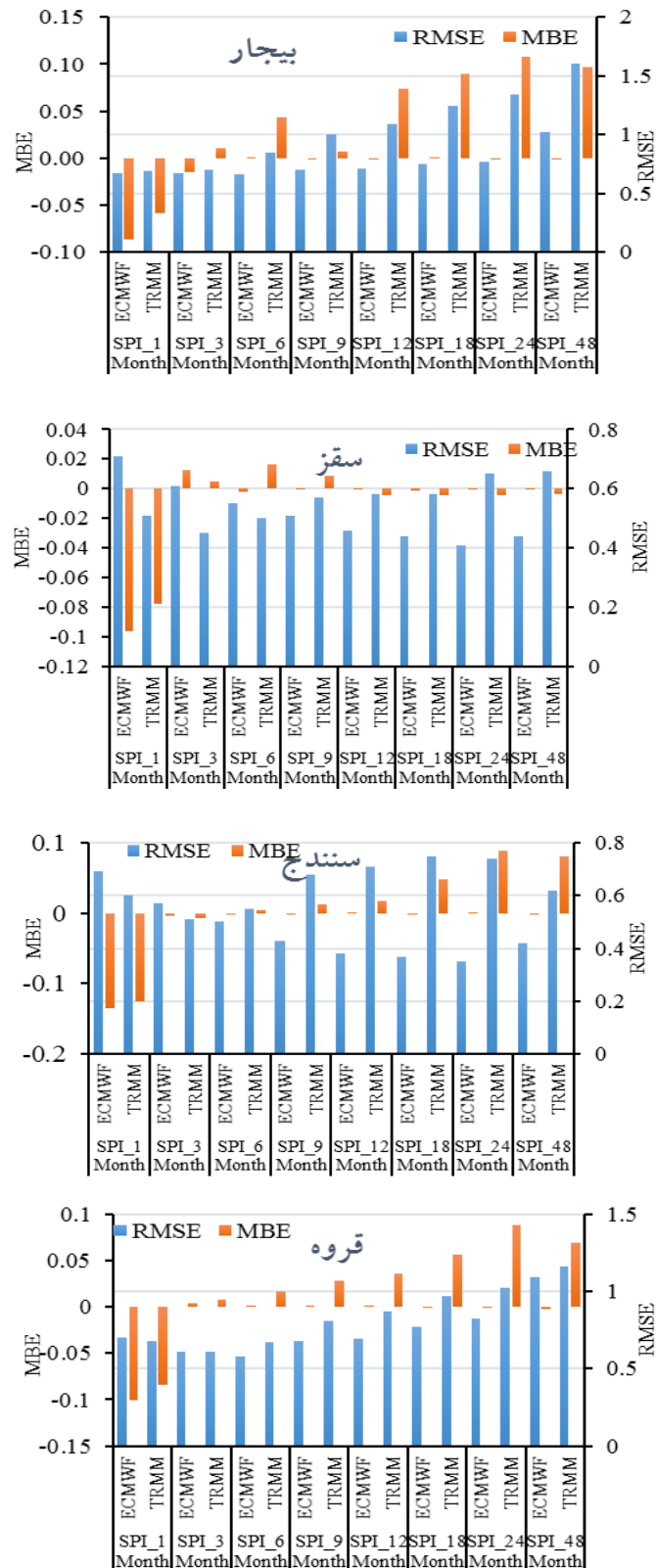
داده‌های بارش ماهواره TRMM به‌صورت ماهانه برای بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ و بارش پایگاه ECMWF به‌صورت ماهانه برای بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ با ایستگاه‌های زمینی ارزیابی شدند (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲. ارزیابی آماری بارش ماهانه ماهواره TRMM با ایستگاه‌های سقز، بيجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۰



شکل ۳. ارزیابی آماری بارش ماهانه ماهواره ECMWF با ایستگاه‌های سقز، بيجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰



شکل ۴. ارزیابی آماری ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار و سنندج برای شاخص SPI (رنگی در نسخه الکترونیکی)

ندارد. کمترین مقدار شاخص RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره ۳ ماهه برابر ۰/۴۶ و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه برابر ۰/۳۲ بود. بیشترین مقدار شاخص RMSE برای TRMM در ایستگاه بیجار و دوره ۴۸ ماهه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه قروه و دوره ۴۸ ماهه بود. نتایج MBE نشان داد که ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF در ایستگاه قروه در تمام دوره‌ها بیش‌برآورد داشته‌اند. به‌طور کلی نتایج شاخص RMSE نشان می‌دهد ماهواره TRMM در دوره‌های ۳، ۶ ماهه و پایگاه ECMWF در دوره‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه عملکرد بهتری نسبت به سایر دوره‌ها داشته‌اند.

شاخص SPEI

با استفاده از بارش ECMWF و بارش ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ و TRMM در بازه ۲۰۰۰-۲۰۱۹ شاخص SPEI در دوره‌های مختلف ماهانه (۱،۳،۶،۹،۱۲،۱۸،۲۴،۴۸) محاسبه شد. به‌دلیل عدم دسترسی به داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های یاد شده، از داده‌های تبخیر و تعرق پایگاه CRU استفاده شد. نتایج ارزیابی آماری، TRMM و ECMWF با ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در شکل ۶ آورده شده است.

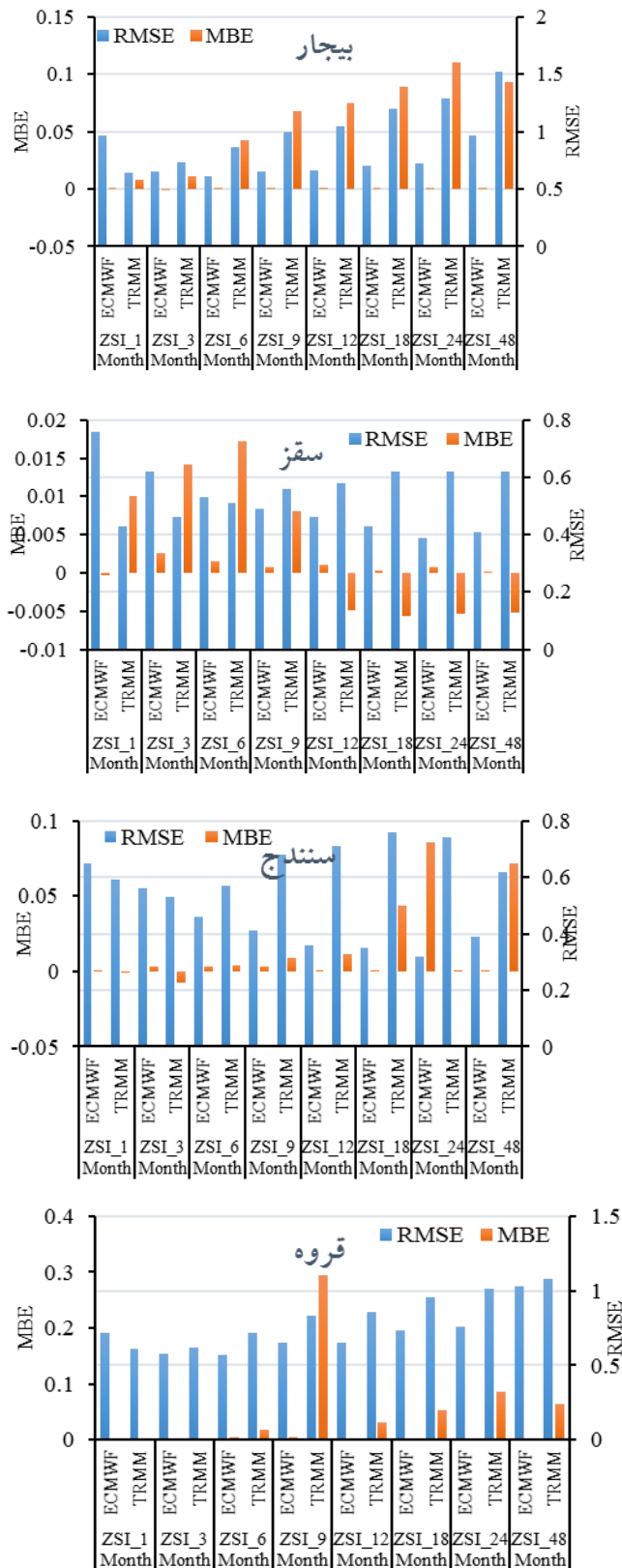
نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین شاخص SPEI داده‌های ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه و سنندج رابطه معناداری در سطح ۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0.05$) برای دوره‌های ۱ تا ۴۸ ماهه وجود دارد، اما بین شاخص SPEI داده‌های ماهواره TRMM و ایستگاه بیجار در دوره ۱۸ و ۲۴ ماهه رابطه معناداری در سطح ۵٪ وجود ندارد. کمترین مقدار شاخص RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره ۳ ماهه برابر ۰/۴۷ و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه برابر ۰/۳۵ بود. بیشترین مقدار شاخص RMSE برای TRMM در ایستگاه بیجار و دوره ۴۸ ماهه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه قروه و دوره

ایستگاه بیجار در دوره ۱۸ و ۲۴ ماهه رابطه معناداری در سطح ۵ درصد وجود ندارد. کمترین مقدار آماره RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره سه ماهه برابر ۰/۴۵ و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه برابر ۰/۳۵ بود. بیشترین مقدار شاخص RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه بیجار و دوره ۴۸ ماهه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه قروه و دوره ۴۸ ماهه بود. نتایج MBE نشان داد که ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF در ایستگاه سقز در اکثر دوره‌ها کم‌برآورد داشته‌اند. به‌طور کلی نتایج شاخص RMSE نشان می‌دهد که ماهواره TRMM در دوره‌های ۳، ۶ و ۹ ماهه و پایگاه ECMWF در دوره‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه‌های سقز و سنندج عملکرد بهتری نسبت به سایر دوره‌ها داشته‌اند. در پایگاه ECMWF مقیاس‌های سالانه نسبت به ماهانه برای ایستگاه‌های سقز و سنندج رو به بهبود است، دلیل آن را می‌توان به میزان بارش مرتبط دانست. همچنین، ممکن است بنا به دلایلی در برخی از مشاهده‌ها، این روند با خطا روبرو شود که علت آن نبود بارش در آن ایستگاه یا دوره است.

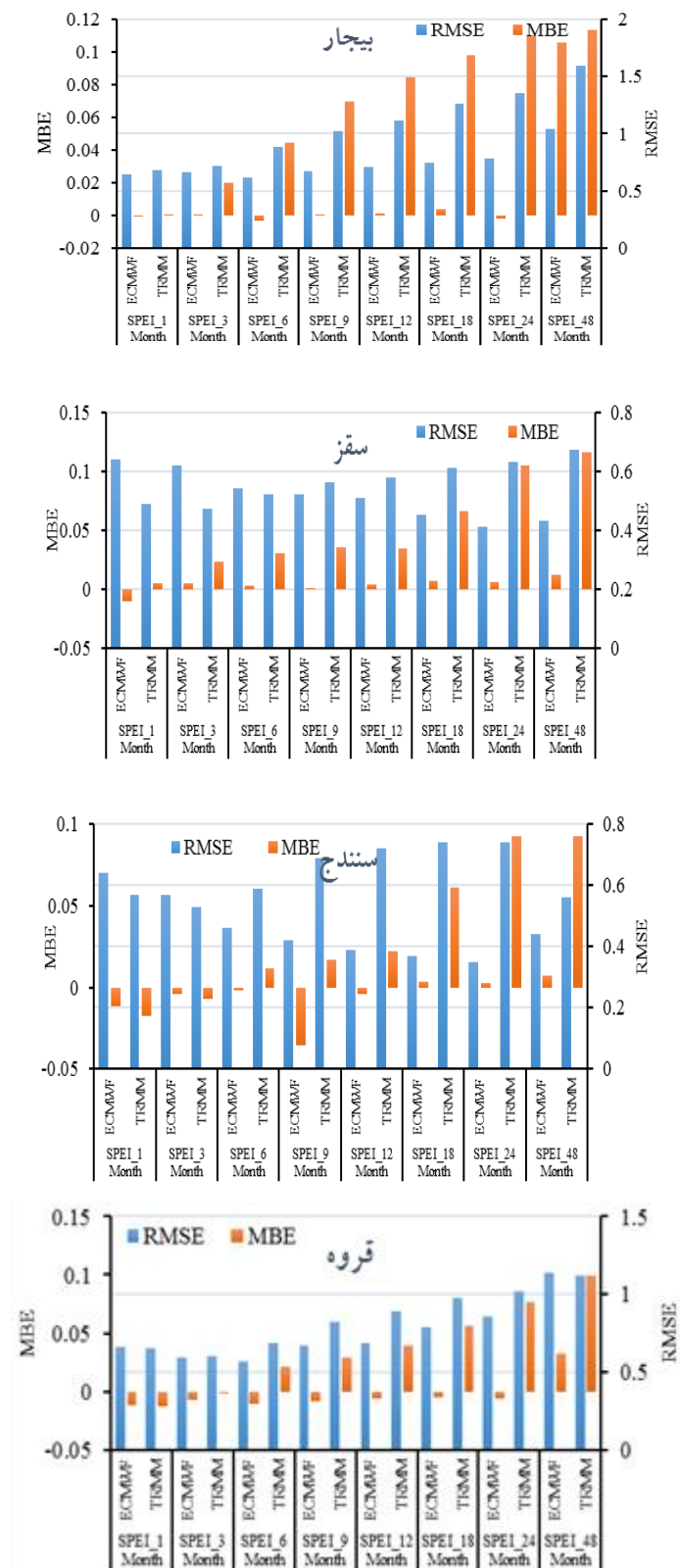
شاخص ZSI

با استفاده از بارش ECMWF و بارش ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ و TRMM در بازه ۲۰۰۰-۲۰۱۹ شاخص ZSI در دوره‌های مختلف ماهانه (۱،۳،۶،۹،۱۲،۱۸،۲۴،۴۸) محاسبه شد. نتایج ارزیابی آماری، TRMM و ECMWF با ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در شکل ۵ آورده شده است.

نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین شاخص ZSI داده‌های ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه و سنندج رابطه معناداری در سطح ۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0.05$) برای دوره‌های ۱ تا ۴۸ ماهه وجود دارد، اما بین شاخص ZSI داده‌های ماهواره TRMM و ایستگاه بیجار در دوره ۲۴ ماهه رابطه معناداری در سطح ۵ درصد وجود



شکل ۵. ارزیابی آماری ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار و سنندج برای شاخص ZSI (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. ارزیابی آماری ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار و سنندج برای شاخص SPEI (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نقشه شدت خشکسالی SPI در سطح اطمینان ۹۵ درصد برخوردار بوده است. مددی و همکاران (۱۰) به ارزیابی تصاویر ماهواره TRMM جهت پایش زمانی و مکانی خشکسالی در حوضه مرزی غرب پرداختند. آنها از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که بین شاخص SPI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در همه مقیاس‌های بررسی شده ارتباط نزدیکی وجود دارد. دی ژسوس و همکاران (۵) با استفاده از داده‌های بارش TRMM به پایش خشکسالی در کشور مکزیک پرداختند. نتایج آنها نشان داد که انطباق خوبی بین داده‌های بارش TRMM و ایستگاه‌های زمینی وجود دارد و استفاده از داده‌های TRMM برای پایش خشکسالی عملکرد مناسبی دارند.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری‌های میدانی برای تولید شاخص‌های خشکسالی دقت بالایی دارند، اما تهیه این شاخص‌ها در پهنه‌های وسیع به دلیل تراکم ناکافی ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی، هزینه‌های بالای احداث و نگهداری این ایستگاه‌ها و کیفیت نامطلوب داده‌های شبکه‌های اندازه‌گیری زمینی باعث کاهش توانایی در نشان دادن الگوی مکانی و دقیق این شاخص‌ها می‌شود. از این رو لازم است منابع داده‌ای، که بتوانند این کمبودها را مرتفع سازند، شناسایی کرده و پس از ارزیابی، مورد استفاده قرار گیرند. مشاهده‌های فضایی با قابلیت دریافت اطلاعات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی در سطح وسیعی از زمین، امکان‌پذیر پایش خشکسالی‌ها را با استفاده از تکنولوژی سنجنش از دور فراهم می‌نماید. بر همین اساس در این پژوهش از خروجی بارش TRMM و ECMWF شاخص‌های خشکسالی SPI، SPEI و ZSI در دوره‌های مختلف ماهانه (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸)، PNI در دوره‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه در استان کردستان (ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار، سنندج) محاسبه و با داده‌های ایستگاه سینوپتیک ارزیابی شد. در

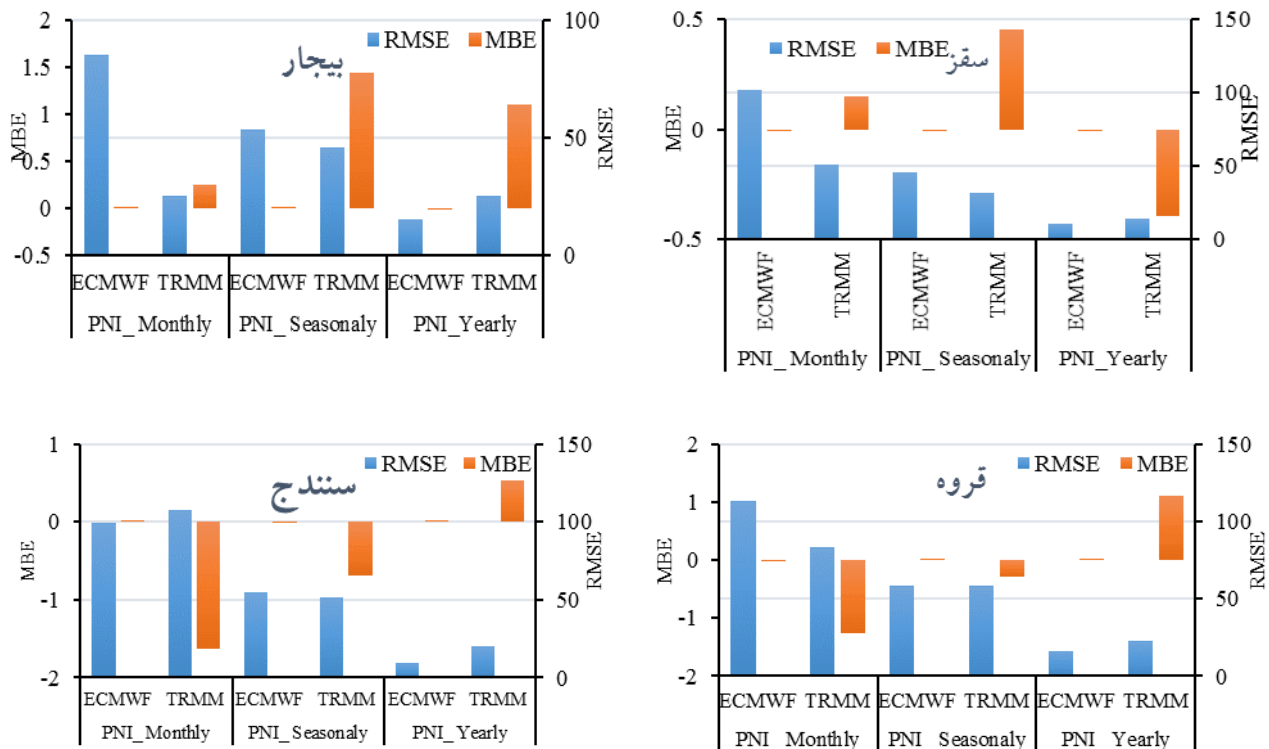
۴۸ ماهه بود. نتایج MBE نشان داد که ماهواره TRMM در ایستگاه سقز در تمام دوره‌ها بیش‌برآورد و پایگاه ECMWF در دوره ماهانه کم‌برآورد داشته‌اند.

شاخص PNI

با استفاده از بارش ECMWF و بارش ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در بازه ۲۰۲۰-۲۰۰۰ و TRMM در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۰ شاخص PNI در دوره‌های مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) محاسبه شد. نتایج ارزیابی آماری، TRMM و ECMWF با ایستگاه‌های سقز، بیجار، قروه و سنندج در شکل ۷ آورده شده است.

نتایج ارزیابی ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین شاخص PNI داده‌های ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه و سنندج رابطه معناداری در سطح ۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0.05$) برای دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه وجود دارد، اما بین شاخص PNI داده‌های ماهواره TRMM و ایستگاه بیجار در دوره فصلی رابطه معناداری در سطح ۵ درصد وجود ندارد. کمترین مقدار شاخص RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره سالانه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره سالانه بود و بیشترین مقدار RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سنندج و دوره ماهانه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه قروه و دوره ماهانه بود. نتایج MBE نشان داد که ماهواره TRMM در ایستگاه بیجار در تمام دوره‌ها بیش‌برآورد و پایگاه ECMWF در دوره سالانه کم‌برآورد داشته‌اند. به‌طور کلی ارزیابی آماری نشان می‌دهد که ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF در دوره سالانه عملکرد بهتری داشتند.

نیازی و همکاران (۱۵) از خروجی رطوبت خاک حاصل از GLDAS جهت تهیه نقشه توزیع مکانی خشکسالی در طی دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۰۱ در محدوده ایران مرکزی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شدت خشکسالی برآورد شده به‌وسیله شاخص GLDAS-SMDI از همبستگی معنی‌داری با



شکل ۷. ارزیابی آماری ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF با ایستگاه‌های سقز، قروه، بیجار و سنندج برای شاخص PNI (رنگی در نسخه الکترونیکی)

کمترین مقدار شاخص RMSE برای ماهواره TRMM در ایستگاه سقز و دوره سالانه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره سالانه بود. بنابراین، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که بارش ماهواره TRMM و پایگاه ECMWF می‌تواند برای برآورد سریع و کم‌هزینه شدت خشکسالی مبتنی بر بارش به کار گرفته شود.

TRMM ارزیابی شاخص خشکسالی SPI و SPEI کمترین مقدار RMSE برای TRMM در ایستگاه سقز و دوره ۳ ماهه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه بود. در ارزیابی شاخص ZSI کمترین مقدار شاخص RMSE برای ایستگاه سقز و دوره ۱ ماهه و برای پایگاه ECMWF در ایستگاه سنندج و دوره ۲۴ ماهه بود. در ارزیابی شاخص PNI

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2015. Principles of Applied Hydrology. 40th Reprint, 7th Edition, Astan Quds Razavi Publication, Mashhad, Iran (In Farsi).
2. Angledis, P., F. Maris, N. Kotsovinos and V. Hrissanthou. 2012. Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management* 26(9): 2453-2473.
3. Azizian, A. and H. Ramezani Etedali. 2018. Assessing the accuracy of european center for medium range weather forecasts (ECMWF) reanalysis datasets for estimation of daily and monthly precipitation. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 5(4): 777-791 (In Farsi).
4. Chen, S., Q. Li, W. Zhong, R. Wang, D. Chen and S. Pan. 2022. Improved Monitoring and Assessment of Meteorological Drought Based on Multi-Source Fused Precipitation Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(3): 1542-1568.

5. De Jesús, A., J. Breña-Naranjo, A. Pedrozo-Acuña and V. Yamanaka. 2016. The use of the TRMM 3B42 product for drought monitoring in Mexico. *Water* 8(8): 325-336.
6. Emami, H., A., Salajegheh, A. Moghaddamnia and S. Khalighi Sigaroudi. 2020. Evaluation of TRMM satellite accuracy and efficiency in estimating monthly rainfall in Gorganroud watershed. *Ecohydrology* 7 (3):719-729 (In Farsi).
7. Kheyri, R., F. Mojarrad, J. Masompour and B. Farhadi. 2021. Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC-PDSI. *The Journal of Spatial Planning* 25 (1):143-174.
8. Kiany, M., S. Masoodian, R. Balling and M. Darand. 2021. Evaluation of TRMM 3B43, GPM IMERG, CHIRPS, and ERA5 data in estimating precipitation and capturing meteorological droughts over Iran. *International Journal of Climatology* 1-26.
9. Kummerow, C., J. Simposn, O. Thiele, W. Barnes, A.T.C. Chang, E. Stocker and K. Nakamura. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology* 39 (12): 1965-1982.
10. Madadi, G., S. Hamzeh and A. Noroozi. 2017. Assessment of TRMM satellite imagery in temporal and spatial drought monitoring, case study: West Frontier Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management* 8(4): 362-376 (In Farsi).
11. Mahmoudi, P., A. Rigi, and M. Miri Kamak. 2019. A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 137: 3123-3138.
12. Masoodian, A., H. Asakore, A. H. Bakhtiar Mohammadi and A. H. Halabian. 2011. Atmospheric display and processing, Isfahan University Publication, Isfahan (In Farsi).
13. Naderianfar, M. and E. H. Gharae. 2021. Evaluation of drought impacts on irrigated and rainfed wheat yields in Bpjnourd region. *Crop Science Research in Arid Regions* 3(1): 163-176 (In Farsi).
14. Niazi, Y., A. Talebi, M. H. Mokhtari and M. Vazifedoust. 2018. Presenting a soil moisture-based drought index derived from global land data assimilation system (GLDAS-SMDI) in central Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 27(107): 179-191 (In Farsi).
15. Pilpayeh, A., D., Najafian Ghojehbiglou, T. Saadi and A. Rahmati. 2020. Analysis of drought situation in Iran using ECMWF precipitation product. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 7(3) :29-46.
16. Roushangar, K. and R. Ghasempour. 2021. Drought modeling based on SPI index using satellite and ground station data via the integrated GPR-CEEMD model. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 11 (4): 295-315 (In Farsi).
17. Samadianfard, S. and E. Asadi. 2017. Prediction of SPI drought index using support vector and multiple linear regressions. *Water and Soil Resource Protection* 6 (4):1-16 (In Farsi).
18. Shokoohi, A. and R. Moravati. 2014. An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. *Watershed Engineering and Management* 6 (3):232-246. (In Farsi).
19. Shokriani, F., K. Solaimani and S. Darvishi. 2022. Investigating agricultural drought changes using remote sensing and meteorological indicators: A case study of north Khorasan Province. *Desert Ecosystem Engineering Journal* 10(33) :93-106.
20. Simpson, J., R. F. Adler and G. R. North. 1988. A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society* 69(3): 278-295.
21. Singh, U., P. Agarwal and P. K. Sharma. 2022. Meteorological drought analysis with different indices for the Betwa River basin, India. *Theoretical and Applied Climatology* 148: 1741-1754.
22. Sohn, B. J. and H. J. Han and E. K. Seo. 2010. Validation of satellite-based high-resolution rainfall products over the Korean Peninsula using data from a dense rain gage network. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49(4): 701-714.
23. Sridhara, S., G. M. Chaithra and P. Gopakkali. 2021. Assessment and monitoring of drought in Chitradurga district of Karnataka using different drought indices. *Journal of Agrometeorology* 23(2): 221-227.
24. Wassie, S. B., D. A., Mengistu and A.B. Berlie. 2022. Trends and spatiotemporal patterns of meteorological drought incidence in North Wollo, northeastern highlands of Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences* 15: 1158.
25. Wentz, F. J., P. Ashcroft and C. Gentemann. 2001. Post-launch calibration of the TRMM microwave imager. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39(2): 415-422.
26. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10(3): 111-120.

Evaluation of TRMM and ECMWF Data for Drought Time Monitoring (Case Study: Kurdistan Province)

M. Ahmadi¹, H. Ramezani Etedali^{1*}, A. Kavaii¹ and A. R. Tavakkoli²

(Received: August 14-2022 ; Accepted: November 16-2022)

Abstract

Studying the effects of drought in mountainous areas is facing problems due to the inappropriate distribution of stations, the lack of long-term data, and areas lacking statistics. Therefore, the main objective of this research was to investigate the drought indices of Kurdistan province using TRMM satellite data and ECMWF dataset, as well as to evaluate their accuracy against the data of land stations in Kurdistan province. First, ECMWF precipitation data for the 2000-2020 period and TRMM precipitation data for the 2000-2019 period were obtained and evaluated using RMSE, MBE, and correlation coefficient statistics. Spearman's correlation coefficient showed a significant relationship between the TRMM satellite precipitation data and the ECMWF dataset with ground stations at the 5% level, and the value of this coefficient was between 0.95-0.85. According to the results, it can be acknowledged that the TRMM satellite rainfall and ECMWF dataset in the monthly time scale had proper accuracy at the Kurdistan province level. Therefore, these two sources were used to examine the drought indices. SPI, SPEI, and ZSI drought indices were calculated in different monthly periods (1-48), PNI in different monthly, seasonal, and annual periods in Kurdistan province (Saqquez, Qorveh, Bijar, Sanandaj stations). Spearman's correlation coefficient indicated a significant relationship at the 5% level between the SPI, ZSI, PNI, and SPEI index of the ECMWF dataset with ground stations. The results of the SPI index showed that the lowest RMSE value for the TRMM satellite at the Saqquez station and the three months was equal to 0.45, and for the ECMWF dataset at the Sanandaj station and the 24 months was equal to 0.35.

Keywords: Drought indices, TRMM, ECMWF, Kurdistan province

1. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran.

*: Corresponding author, Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir