

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر توزیع مناسب بر مشخصات خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های رواناب مدل ERA5 در اقلیم های مختلف کشور

فاطمه مقدسی^۱، مه‌نوش مقدسی^۲، مهدی محمدی قلعه‌نی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۸

چکیده

مهمترین روش جهت پایش خشکسالی هیدرولوژیکی، استفاده از شاخص‌های خشکسالی مبنی بر جریان رودخانه‌ای می‌باشد. این شاخص‌ها عموماً مبتنی بر فرض پیروی سری داده‌های حجم جریان رودخانه از توزیع گاما و اصل انتقال هم احتمال می‌باشند. لذا در تحقیق حاضر، هدف بررسی توزیع مناسب بر داده‌های ماهانه جریان و تاثیر آن بر مشخصات و طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص رواناب استاندارد شده (SRI^۴) در اقلیم‌های مختلف سطح کشور می‌باشد. بدین منظور ابتدا داده‌های ماهانه بارش، دما، تبخیر و تعرق و رواناب از ۴۰ ایستگاه سینوپتیک سطح کشور طی دوره ۱۹۷۹-۲۰۲۰ جمع‌آوری گردید. سپس از مدل باز تحلیل شده ERA5^۵ پایگاه^۶ ECMWF با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 داده‌های مذکور و رواناب طی دوره منتخب استخراج شده است. آماره‌هایی مانند ضریب همبستگی^۷ (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا استاندارد شده^۸ (NRMSE) و میانگین خطای اریبی^۹ (MBE) برای مقایسه داده‌های مدل با داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. در ادامه شاخص SRI برای دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه بر اساس توزیع گاما و توزیع برتر برآزش یافته محاسبه و مشخصات خشکسالی شامل شدت، مدت و فراوانی برای آن‌ها محاسبه شد. نتایج ارزیابی داده‌های مدل ERA5 حاکی از دقت بیشتر متغیرهای دما، تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش به ترتیب با میانگین NRMSE برابر با ۰/۰۹، ۰/۶۲ و ۱/۰۲ می‌باشند. با توجه به تغییر طبقات خشکسالی با تغییر توزیع مورد استفاده در شاخص، نتایج این تحقیق ضرورت برآزش و انتخاب توزیع برتر را در محاسبه شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: توزیع مناسب، خشکسالی هیدرولوژیکی، مشخصات خشکسالی، SRI

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران (نویسنده مسئول : mah_moghaddasi@hotmail.com)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

- 4- Standardized Runoff Index
- 5- ECMWF Reanalysis v5
- 6- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- 7- Correlation Coefficient
- 8- Normalized Root Mean Square Error
- 9- Mean Bias Error

مقدمه

خشکسالی از شاخص SPI و نه تابع توزیع آماری شامل نمائی، مقدار حدی، گاما، پارتو تعمیم یافته، لجستیک، لوگ لجستیک، لوگ نرمال، نرمال و ویبول استفاده شده است. نتایج نشان داد هم مقیاس زمانی و هم طول رکورد بر انتخاب تابع توزیع بهینه اثر می‌گذارد. عملکرد توزیع‌های ویبول و گاما در توصیف بارندگی ماهانه (به ویژه برای ثبت بارش‌های طولانی مدت) در مقیاس‌های زمانی کوتاه و چندگانه نسبت به توزیع‌های دیگر برتر بود (Ruxin Zhao, 2019). در تحقیقی از چهار تابع توزیع احتمال (گاما، ویبول، لوگ نرمال و نرمال) برای برازش داده‌های دبی جمعی در زمان‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه استفاده شده است نرمال بودن آنها با آزمون‌های K-S سنجیده شده است بررسی‌های آنها مشخص کرد که توزیع نرمال و لوگ نرمال حداکثر عدم قطعیت و توزیع گاما و ویبول حداقل عدم قطعیت را دارند. همچنین افزایش در مقیاس زمانی و طول رکورد باعث کاهش عدم قطعیت می‌شود (Ghasemnezhad et al., 2021). با توجه به تحقیقات فوق، هدف در تحقیق حاضر تعیین مناسب‌ترین توزیع قابل برازش بر رواناب ماهانه و تاثیر آن بر مشخصات و طبقات خشکسالی بر اساس شاخص رواناب استاندارد شده در اقلیم‌های مختلف کشور می‌باشد. بدین منظور از داده‌های اقلیمی (بارندگی، دما، تبخیر و تعرق) و هیدرولوژیکی (رواناب) مدل ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۵*۰/۵ استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

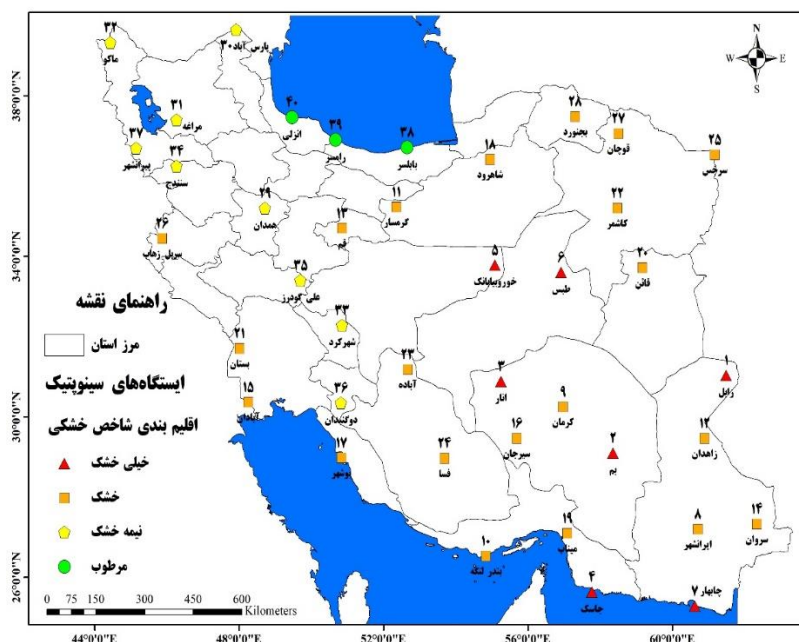
منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

با توجه به قرار گرفتن مساحت قابل توجهی از ایران در منطقه خشک و در نتیجه اهمیت مطالعه خشکسالی در این کشور، پژوهش حاضر بر تحلیل خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی مناسب مبتنی بر رواناب تمرکز دارد. در پژوهش حاضر، داده‌های ماهانه بارش، دما و تبخیر و تعرق ۴۰ ایستگاه سینوپتیک ایران طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۹ از سازمان هواشناسی جمع‌آوری گردید (شکل ۱). مشخصات ایستگاه‌های منتخب بر اساس اقلیم بندی شاخص خشکی AI^۱ در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده می‌باشد ایستگاه‌ها در اقلیم‌های فراخشک (ایستگاه‌های ۷-۱)، خشک (ایستگاه‌های ۲۸-۸)، نیمه‌خشک (ایستگاه‌های ۳۷-۲۹)، و مرطوب (ایستگاه‌های ۴۰-۳۸) قرار دارند. میانگین بارندگی سالانه در این ایستگاه‌ها از ۵۲/۵ میلی‌متر (زابیل) تا ۱۶۹۴/۷ میلی‌متر (بندر انزلی) و همچنین کمترین میانگین دمای سالانه متعلق به ایستگاه ماکو (۱۰/۹) و بیشترین دما متعلق به ایستگاه میناب (۲۷/۶) می‌باشد.

یکی از مهمترین بخش‌های سیستم پایش خشکسالی، استفاده از شاخص مناسب برای تحلیل کمی و کیفی وضع موجود می‌باشد (Sliver, 2003). در این راستا شاخص‌های متنوعی برای پایش انواع خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی گسترش یافته است که در آنها از متغیرهای مختلفی مانند بارندگی، دما، رواناب و رطوبت خاک و غیره بر اساس نوع خشکسالی، استفاده می‌شود (میریعقوب‌زاده، ۱۳۹۸). در محاسبه‌ی این شاخص‌ها طول دوره آماری و نوع توزیع فراوانی برازش یافته بر مقادیر داده‌های مورد استفاده، از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. زیرا عدم انتخاب دوره‌های طولانی مدت و همچنین نامناسب بودن توزیع منجر به برآورد مقادیر نادرستی می‌شود (مساعدی و سوق، ۱۳۹۰). در این میان، به دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر چرخه هیدرولوژیکی، خشکسالی هیدرولوژیکی نیازمند داده‌های مختلف با طول دوره آماری بلندمدت و دخالت متغیرهای متنوعی است (وکیلی فرد و همکاران، ۱۳۹۶). تاکنون شاخص‌های متعددی برای محاسبه خشکسالی هیدرولوژیکی از قبیل شدت خشکسالی پالم (PDSI^۲; Palmer, 1965)، تامین آب سطحی (SWSI^۳; Shafer and Dezman, 1982)، چانگ (Chang; Chang and Kleopa, 1990) کمبود منطقه‌ای (Stahl; RDI^۴ 2001) و خشکسالی ترکیبی (Kayantash and Dracup, 2004) گسترش یافته است که در اکثر آنها از داده‌های جریان با پیش فرض توزیع گاما بعنوان توزیع مناسب استفاده شده است. در برخی از تحقیقات، فرض برازش توزیع گاما بر داده‌های دبی، بارش و غیره اصلاح و توزیع‌های دیگری مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهد شد. در تحقیقی کارایی ۵۶ توزیع احتمال بر سری داده‌های متوسط آبدی ماهانه و سالانه ۹۴ ایستگاه هیدرومتری مبنای وزارت نیرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه توزیع گاما فاقد فراوانی به عنوان توزیع برتر می‌باشد. در مقیاس ماهانه نیز این توزیع تنها در ۱ درصد از کلیه حالات مورد بررسی به عنوان توزیع برتر شناخته شد. این در حالیست که توزیع Wakeby در مقیاس سالانه در حدود ۵۶ درصد حالات و در مقیاس ماهانه تا حدود ۹۵ درصد حالات در برخی از ماه‌ها به عنوان توزیع احتمال برتر معرفی گردید. در نهایت برای محاسبه شاخص SDI^۵ از توزیع وکیبی به جای توزیع گاما استفاده گردید (جمال و همکاران، ۱۳۹۹). در تحقیق دیگری برای ارزیابی

- 1- Palmer Drought Severity Index
- 2- Surface Water Supply Index
- 3- Reconnaissance Drought Index
- 4- Human Development Index
- 5- Streamflow Drought Index

6- Aridity Index



شکل ۱- منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

روش تحقیق

در این قسمت ابتدا مراحل انجام تحقیق برای درک بهتر ارائه شده است که در ادامه ابزار مورد استفاده توضیح داده خواهد شد. همانطور که قابل مشاهده است این مراحل به طور کلی دارای ۶ بخش شامل (۱) انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس دسته‌بندی اقلیمی و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، (۲) ارزیابی دقت داده‌های مورد استفاده، (۳) برازش و انتخاب توزیع‌های احتمالاتی مناسب، (۴) محاسبه شاخص رواناب استاندارد شده بر اساس توزیع گاما و توزیع برتر در سه مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه، (۵) محاسبه مشخصات خشکسالی هیدرولوژیکی شامل تعداد رخداد‌های خشکسالی، درصد فراوانی، مدت و شدت و طبقات خشکسالی (۶) مقایسه مشخصات و طبقات خشکسالی بر اساس دو شاخص توزیع گاما و توزیع برتر می‌باشد. این مراحل در ادامه به طور کامل شرح داده خواهند شد.

توزیع‌های آماری

توزیع‌های آماری (Statistical Distributions)، براساس قوانین احتمال، سعی دارند که خصوصیات و ویژگی‌های پدیده‌های تصادفی را نشان داده و به ما اطلاعاتی در مورد مدل‌سازی آن‌ها بدهند. انتخاب یک توزیع آماری نامناسب ممکن است منجر به انحراف در مقادیر شاخص خشکسالی شود که نهایتاً منجر به برآورد نادرست خصوصیات آن گردد. در تحقیق حاضر از نرم افزار Easy Fit 5.5 به منظور برازش ۴۹ توزیع آماری و انتخاب توزیع برتر استفاده شده است. در جدول ۲، هفت توزیع آماری رایج براساس تحقیقات گذشته، بر داده های ماهانه رواناب سطحی استفاده شده است ارائه شده است.

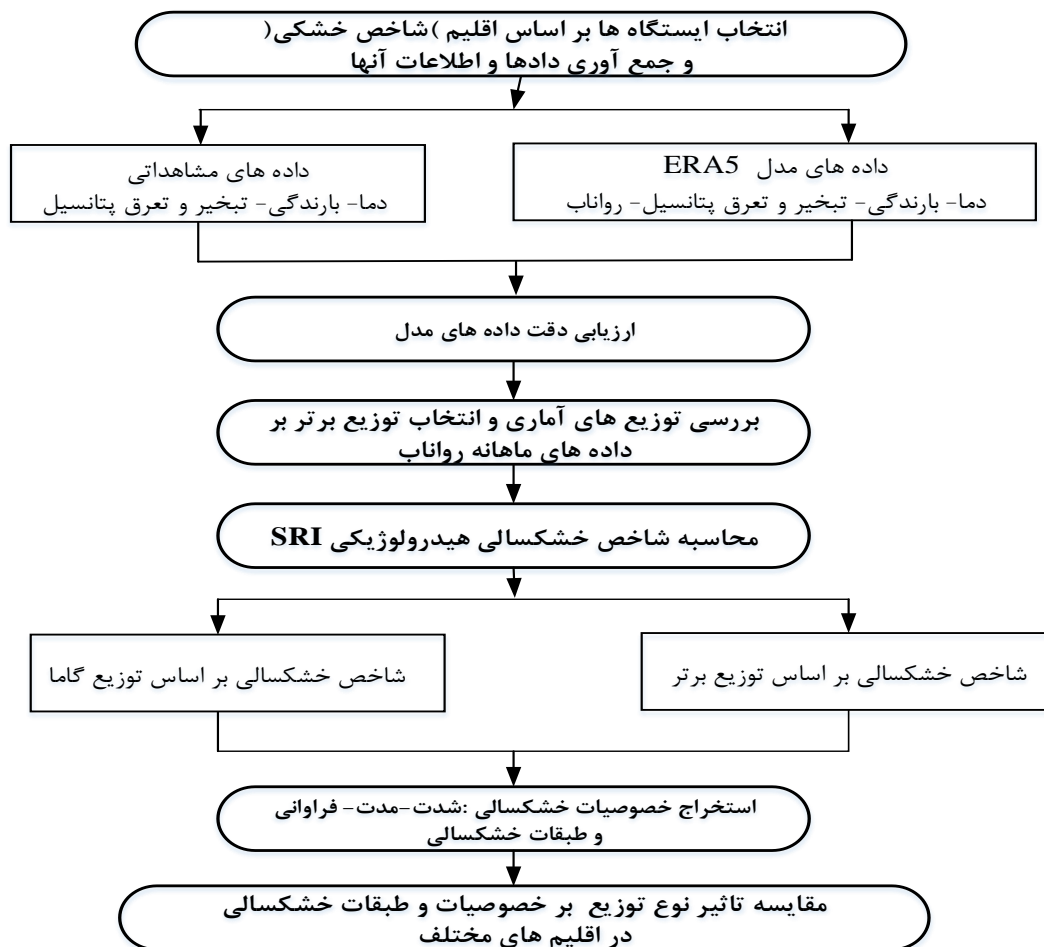
داده‌های مدل ERA5

داده‌های ERA5 داده‌های نسل پنجم پایگاه داده^۱ ECMWF است که در مقایسه با داده‌های ERA-Interim^۲ تغییرات مهمی از جمله وضوح مکانی و زمانی بالاتر، جذب مشاهدات بیشتر، مدل عددی توسعه یافته و شبیه‌سازی طرح‌های داده‌ها، و نسخه‌های بهبود یافته، پیدا کرده است (Hersbach et al., 2018). این داده‌ها آخرین مجموعه داده‌های باز تحلیل شده می‌باشند که پارامترهای جوی، سطح زمین و اقیانوسی را همراه با عدم قطعیت‌های آن‌ها از سال ۱۹۷۹ تاکنون در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مجموعه داده ERA5 به دلیل افزایش تفکیک افقی، خروجی سه ساعته، بهبود دقت و نمایش بهتر جزئیات در سطح مدل نسبت به ERA-Interim، جایگزین ERA-Interim شده است. قابل ذکر است که در تحقیق حاضر از داده‌های ماهانه بارش، دما، تبخیر و تعرق، رواناب با دقت مکانی ۰/۵×۰/۵ درجه جغرافیایی (حدود ۵۰ کیلومتر) طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۹ برای کل ایستگاه‌های منتخب استخراج شده است. با توجه به عدم امکان ارائه برخی از نتایج برای تمامی ۴۰ ایستگاه مورد بررسی، از اقلیم‌های فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ایستگاه‌های بم، کرمان، همدان و انزلی به عنوان نمونه جهت ارائه نتایج انتخاب شده‌اند. برخی از نتایج هم برای همه ۴۰ ایستگاه مورد بررسی ارائه و تحلیل شده است.

1- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)
2- ECMWF Reanalysis Interim

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب منطقه مطالعاتی

اقلیم	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط بارندگی	متوسط دما	متوسط تبخیر و تعرق	
فراخشک	زابل	۶۱/۴۸	۳۱/۰۳	۵۲/۶	۲۲/۸	۳۹۰۵	
	بم	۵۸/۳۵	۲۹/۱۰	۵۵/۶	۲۴/۰	۳۲۲۴	
	انار	۵۵/۲۵	۳۰/۸۸	۶۹/۴	۱۸/۶	۳۰۹۷	
	جاسک	۵۷/۷۷	۲۵/۶۳	۱۱۹/۸	۲۷/۳	۵۰۴۰	
	خوریابنک	۵۵/۰۸	۳۳/۷۸	۷۸/۷	۲۰/۸	۳۳۱۱	
	طیس	۵۶/۹۲	۳۳/۶۰	۸۰/۸	۲۳/۰	۳۳۰۵	
	چابهار	۶۰/۶۲	۲۵/۲۸	۱۱۸/۱	۲۴/۶	۴۷۲۱	
	ایرانشهر	۶۰/۷۰	۲۷/۲۰	۱۰۹/۱	۲۷/۲	۳۵۶۳	
	کرمان	۵۶/۹۷	۳۰/۲۵	۱۲۶/۷	۱۶/۵	۳۹۱۰	
	بندر لنگه	۵۴/۸۳	۲۶/۵۳	۱۳۱/۶	۲۷/۲	۳۵۳۲	
	گرمسار	۵۲/۳۵	۳۵/۲۳	۱۱۴/۵	۱۹/۱	۳۹۱۵	
	زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	۷۶/۵	۱۹/۱	۱۸۸۲	
	قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷۰	۱۴۳/۰	۱۸/۵	۳۱۳۰	
خشک	سراوان	۶۲/۳۳	۲۷/۳۳	۱۱۰/۱	۲۲/۳	۲۲۵۴	
	آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۷	۱۵۹/۳	۲۶/۵	۲۸۶۸	
	سیرجان	۵۵/۶۸	۲۹/۴۷	۱۳۹/۹	۱۷/۵	۲۲۸۶	
	بوشهر	۵۰/۸۳	۲۸/۹۸	۲۴۶/۷	۲۵/۴	۳۹۸۲	
	شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۲	۱۵۲/۰	۱۵/۵	۲۳۰۸	
	میناب	۵۷/۰۸	۲۷/۱۰	۲۱۱/۶	۲۷/۶	۳۲۱۴	
	قائن	۵۹/۱۷	۳۳/۷۲	۱۵۶/۶	۱۴/۸	۲۴۰۶	
	بستان	۴۸/۰۱	۳۱/۷۱	۱۹۹/۵	۲۴/۸	۲۷۸۸	
	کاشمر	۵۸/۴۷	۳۵/۲۰	۲۳۱/۵	۱۸/۱	۲۱۸۴	
	آباده	۵۲/۶۷	۳۱/۱۸	۱۳۲/۳	۱۴/۴	۱۱۹۱	
	فسا	۵۳/۶۸	۲۸/۹۷	۲۸۱/۲	۱۹/۳	۲۳۱۹	
	سرخس	۶۱/۱۷	۳۶/۵۳	۲۳۳/۹	۱۸/۴	۱۴۶۷	
	سرپلذهاب	۴۵/۸۷	۳۴/۴۵	۴۴۲/۹	۲۰/۳	۲۶۳۰	
قوچان	۵۸/۵۰	۳۷/۰۷	۳۹۸/۷	۱۲/۸	۲۳۴۶		
نیمه خشک	بجنورد	۵۷/۳۰	۳۷/۴۹	۲۶۴/۹	۱۳/۶	۱۴۰۲	
	همدان	۴۸/۷۲	۳۵/۲۰	۳۰۲/۴	۱۱/۶	۱۲۷۹	
	پارس آباد	۴۷/۹۲	۳۹/۶۵	۲۸۱/۰	۱۵/۴	۱۱۶۲	
	مراغه	۴۶/۲۷	۳۷/۴۰	۲۸۹/۴	۱۳/۷	۱۱۸۸	
	ماکو	۴۴/۴۳	۳۹/۳۳	۳۱۱/۲	۱۱/۰	۱۱۴۹	
	شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۳۲۹/۴	۱۱/۵	۱۱۹۵	
	سنندج	۴۶/۲۷	۳۶/۲۵	۳۹۱/۶	۱۴/۳	۱۲۹۲	
	الیگودرز	۴۹/۷۰	۳۳/۴۰	۴۲۵/۵	۱۲/۷	۱۲۱۸	
	دوگنبدان	۵۰/۸۲	۳۰/۳۵	۴۳۸/۶	۲۲/۹	۱۲۰۷	
	پیرانشهر	۴۵/۱۵	۳۶/۷۰	۶۹۱/۷	۱۲/۸	۱۰۸۴	
	مرطوب	بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۲	۹۱۰/۰	۱۷/۸	۸۶۹
		رامسر	۵۰/۶۷	۳۶/۹۰	۱۲۶۷/۳	۱۶/۷	۸۶۶
		انزلی	۴۹/۴۷	۳۷/۴۷	۱۶۹۴/۷	۱۶/۷	۸۰۰



شکل ۲- روند انجام تحقیق

می‌باشد. بطور کلی شامل هفت طبقه خشکسالی شدید (کمتر از ۲-)، متوسط (۲- تا ۱/۵-)، ملایم (۱/۵- تا ۱-)، نرمال (۱ تا ۱-)، ترسالی (۱- تا ۱/۵)، ملایم (۱/۵ تا ۱)، ترسالی متوسط (۲ تا ۱/۵) و ترسالی شدید (بیشتر از ۲) می‌باشد (نادری و همکاران، ۱۴۰۰).

خصوصیات خشکسالی

خشکسالی دارای مشخصاتی مختلفی نظیر شدت، مدت، فراوانی و وسعت می‌باشد که از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. برای بررسی این پدیده‌ی طبیعی، لازم است که این مشخصات مورد ارزیابی قرار گیرند. مدت خشکسالی (D) یعنی زمان از آغاز تا پایان خشکسالی که به عنوان دوره تداوم خشکسالی خوانده می‌شود. میزان استمرار حالت خشکسالی در یک منطقه گویای شدت خشکسالی (S) در همان منطقه است یعنی در شرایطی که خشکسالی تنها برای یک ماه استمرار داشته باشد احتمال دارد بارش ماه بعد میزان کمبود ماه مزبور را جبران کند.

شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SRI

شاخص رواناب استاندارد شده (SRI) کاملاً مشابه SPI محاسبه می‌گردد با این تفاوت که در این شاخص از داده‌های رواناب سطحی به صورت ماهانه استفاده می‌شود. محاسبه این شاخص به این صورت است که در گام اول ابتدا مناسب‌ترین توزیع برای مقادیر دبی ماهانه هر ایستگاه و احتمالات تجمعی برازش داده می‌شود. یکی از اصلی‌ترین ملاک‌ها برای انتخاب توزیع که در تحقیق حاضر نیز استفاده شده است، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف است. این آزمون نوعی آزمون نیکوئی برازش برای مقایسه یک توزیع نظری با توزیع مشاهده شده است که به منظور تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع آماری برای یک زمان خاص انجام می‌شود. سپس در گام دوم، انتقال هم‌احتمال از توزیع برازش تجمعی به توزیع استاندارد نرمال تجمعی با استفاده از دستور NORMINV انجام می‌گردد (Shukla and Wood, 2008). لازم به ذکر است که در این شاخص همچون شاخص SPI، پیش فرض اولیه توزیع مناسب برای سری داده‌های رواناب سطحی، توزیع گاما می‌باشد و طبقه بندی آن مشابه

جدول ۲- توزیع‌های مورد استفاده در این تحقیق

نام توزیع	تابع توزیع احتمال	پارامترها
Exponential	$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$	λ
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} \exp(-\frac{x}{\alpha})$	α, β
GEV	$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\left[1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^{-\frac{1}{k}}\right) \left(1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{k}}, 1+k\frac{(x-\mu)}{\sigma} > 0$	α, β
Logistic	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp(-\frac{x-m}{\alpha}) (1 + \exp(-\frac{x-m}{\alpha}))^{-2}$	α, m
Log-normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2})$	μ_y, σ_y
Normal	$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2})$	μ, σ
Weibull	$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp(-\frac{x^\beta}{\alpha})$	α, β
Wakeby	$f(x) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1 - F)^{-\delta})$	γ, δ

روابط آن‌ها ارائه شده است.

$$MBE = \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)}{N} \quad (1)$$

$$NRMSE = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - d_i)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_1^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_1^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2 \quad (3)$$

در روابط بالا N تعداد داده‌ها، i روز، O_i داده‌های مشاهداتی، M_i داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده، O_{avg} متوسط داده‌های مشاهداتی و M_{avg} متوسط داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های مدل ERA5 در اقلیم‌های مختلف کشور

در این قسمت به ارزیابی متغیرهای ماهانه دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل مدل ERA5 از پایگاه‌های ECMWF در اقلیم‌های مختلف پرداخته شده است (شکل ۳). همانطور که قابل مشاهده است در مورد

ولی اگر ماه بعدی نیز خود نسبت به شرایط طبیعی کمبود داشته باشد به مراتب در شدت بخشیدن به حالت خشکسالی موثر خواهد بود. فراوانی خشکسالی نیز می‌تواند در مقیاسهای مختلف زمانی (برای مثال سالانه، ماهانه و فصلی) محاسبه شود. باتوجه به وجود شدت‌های مختلف خشکسالی، بررسی فراوانی‌ها می‌تواند برای هر یک از آن‌ها با تفکیک صورت گیرد. یکی از روش‌های متداول تحلیل و بررسی خشکسالی، روش تئوری ران^۱ است این تئوری در بررسی خشکسالی، به صورت کمی چگونگی عبور فرآیند هیدرولوژیکی از بالا و پائین یک آستانه بحرانی را بیان میکند. به عبارت دیگر تئوری ران پیمایش سری زمانی و بررسی قسمتی از مقادیر خشکسالی که در زیر یا بالای سطح آستانه مشخص قرار می‌گیرد را به عهده دارد (Yevjevich, 1967)

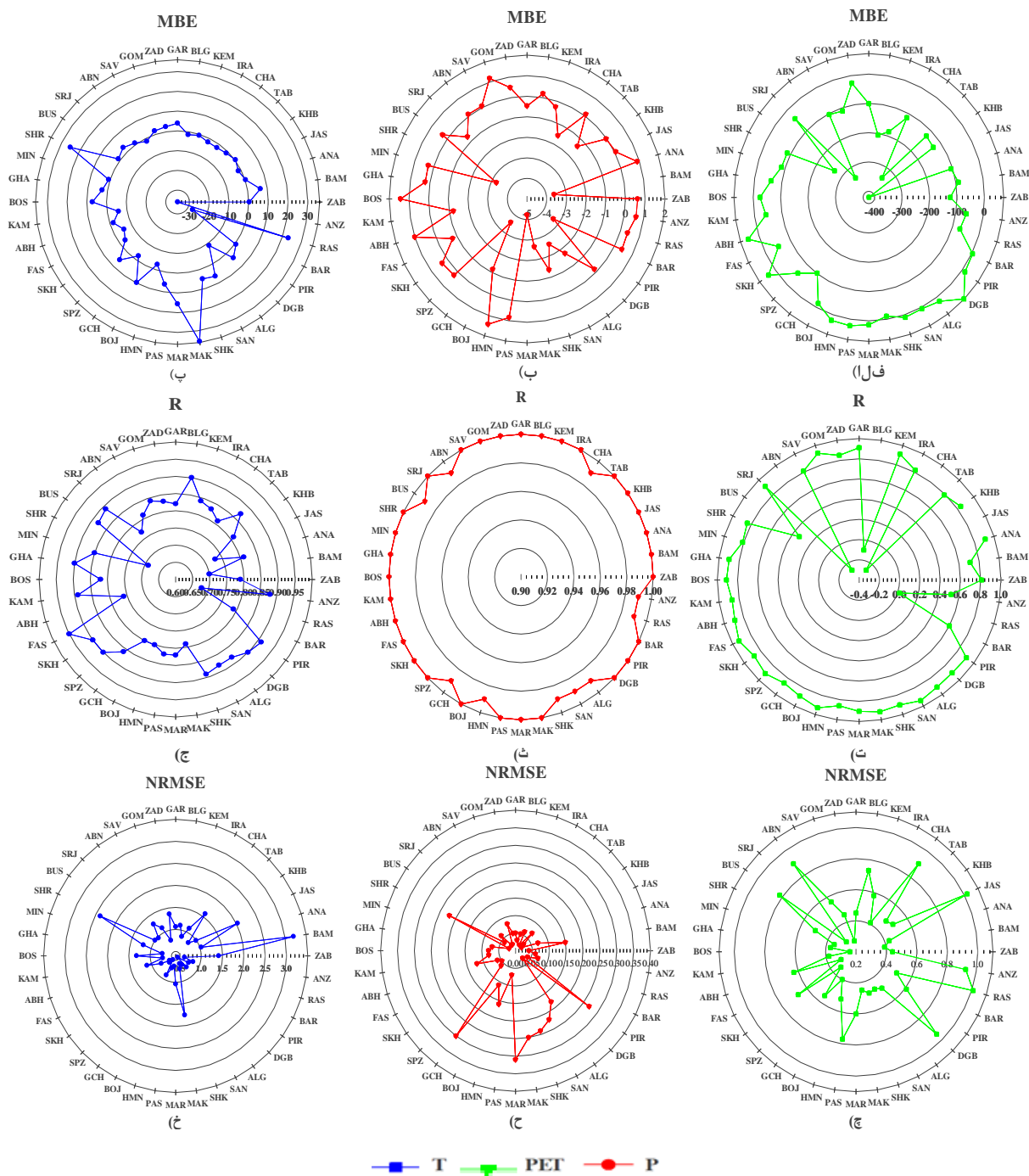
معیارهای ارزیابی

برای مقایسه ی پیش‌بینی‌های مدل در برآورد بارش و دما و تبخیر و تعرق در برابر داده‌های مشاهداتی از نرمال سازی انحراف جذر میانگین مربعات (NRMSE) و میانگین خطای اریبی (MBE) و همبستگی معنی دار (R)، استفاده شده است که در قسمت ذیل

1- Run Theory

اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۲، ۰/۸ و ۱/۶ می‌باشد. میانگین NRMSE در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۸، ۱، ۰/۷ و ۰/۷ است.

بارش، از بین ۴۰ ایستگاه کمترین و بیشترین مقادیر MBE به ترتیب متعلق به ایستگاه چابهار و بم (۲/۱- و ۶/۶) می‌باشد. تغییرات میانگین MBE برای متغیر بارش حاکی از کاهش دقت برآورد بارش از ایستگاه‌ها با اقلیم فراخشک به مرطوب (به ترتیب در ایستگاه‌های



شکل ۳- معیارهای ارزیابی بارش، دما و تبخیر تعرق پتانسیل بر اساس داده‌های مدل ERA5

شده که معنی دار هم می‌باشد ولی توزیع‌های دیگری نیز نظیر توزیع Lognormal و Gumbel max در این ایستگاه بر رواناب ماهانه مشاهده می‌گردد. ایستگاه همدان که نماینده اقلیم نیمه خشک است نیز عملکردی مشابه به ایستگاه کرمان دارد. در ایستگاه انزلی (اقلیم مرطوب) همانند ایستگاه بم در اکثر ماه‌ها توزیع Wakeby به عنوان توزیع برتر ارائه شده است.

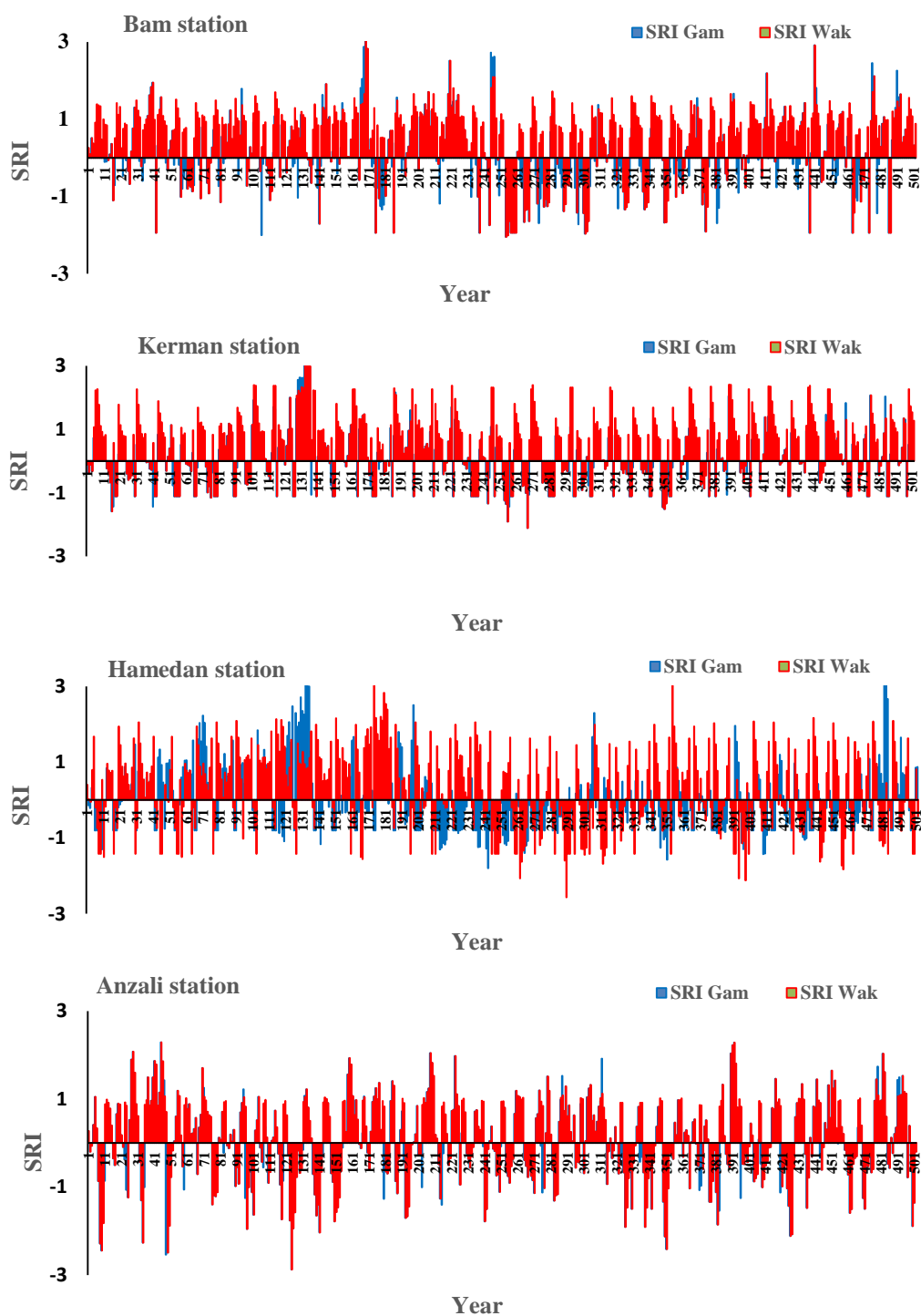
محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی و طبقات آن بر اساس توزیع گاما و برتر در اقلیم‌های مختلف کشور

در این مرحله، شاخص خشکسالی بر اساس توزیع گاما و توزیع برتر برای دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ محاسبه شده است. به عنوان نمونه، مقادیر شاخص ایستگاه‌های منتخب هر اقلیم برای مقیاس زمانی ۳ ماهه در شکل ۴ ارائه شد. همانطور که قابل مشاهده است برای مقیاس زمانی ۳ ماهه در ایستگاه بم که نماینده اقلیم فرا خشک است روند مشابهی بین توزیع گاما و توزیع برتر مشاهده می‌شود، به طوری که در ۹۰ درصد موارد هر دو توزیع در شرایط ترسالی و خشکسالی روند یکسانی دارند. در ایستگاه همدان که نماینده اقلیم نیمه خشک است در بیشتر مواقع روند هماهنگی بین هر دو توزیع وجود دارد به جز در برخی موارد که توزیع گاما شرایط ترسالی را شدیدتر از توزیع برتر نشان داده است. ایستگاه کرمان بر خلاف ایستگاه همدان، توزیع برتر شرایط ترسالی را شدیدتر نشان می‌دهد و بطور کلی روند مناسبی بین توزیع‌ها دیده نشده است. در ایستگاه انزلی که جزو مناطق پر بارش و منطقه مرطوب است روند بسیار خوبی بین توزیع‌ها وجود دارد. به منظور بررسی بیشتر، در شکل ۵ درصد طبقات خشکسالی توزیع برتر به توزیع گاما در ایستگاه‌های منتخب در دوره سه ماهه و دوازده ماهه نشان داده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است در دوره‌ی سه ماهه در اقلیم فرا خشک و مرطوب (ایستگاه بم و انزلی) تغییرات طبقات در ترسالی ملایم بیشتر است (۳/۵۶ و ۱/۴۰). به طور کلی می‌توان گفت تغییرات در ترسالی‌ها بیشتر از خشکسالی می‌باشد. بعنوان مثال در ایستگاه همدان تغییرات طبقات توزیع برتر به توزیع گاما در خشکسالی شدید صفر است و در بقیه طبقات خشکسالی هم درصد کمی دارد. با توجه به شکل در دوره‌ی دوازده ماهه کاملاً برعکس دوره سه ماهه عمل می‌کند به این صورت که تغییرات در خشکسالی‌ها بیشتر از ترسالی می‌باشد. شواهد حاکی از آن است که در اقلیم نیمه خشک و خشک (ایستگاه همدان و کرمان) تغییرات طبقات در خشکسالی متوسط (۳۰) و ملایم (۲۹) بیشتر است.

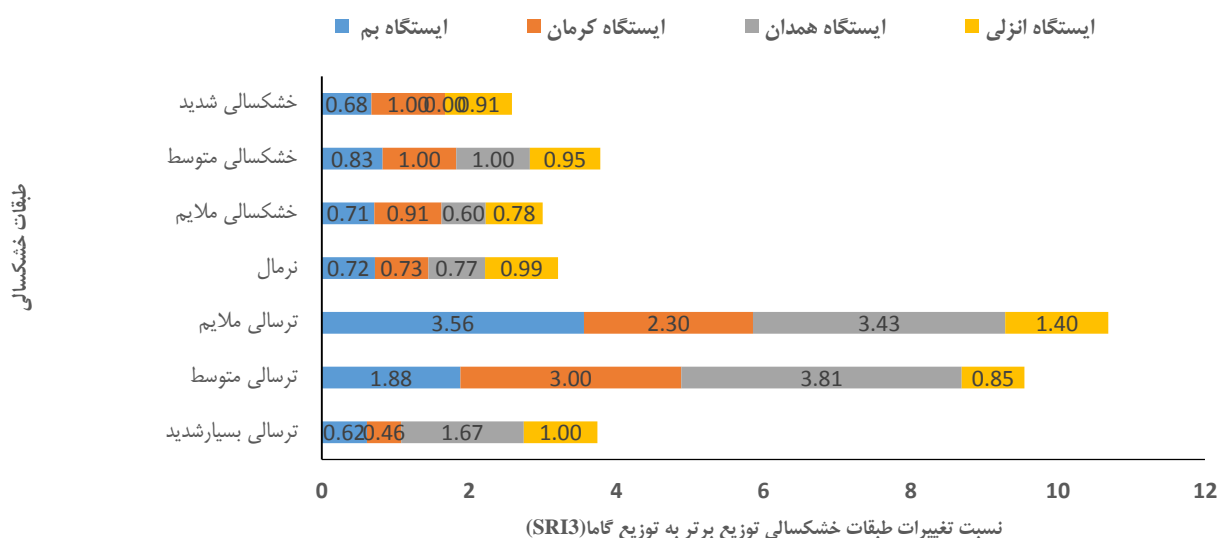
شاهرود و فسا کمترین و بیشترین مقادیر R برای متغیر بارش بین ۰/۷ و ۱ است به طوری که میانگین R ماهانه بارش در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۸۴، ۰/۸۵ و ۰/۷۸ است. به طور کلی بر اساس تغییرات معیارهای ارزیابی، می‌توان گفت داده‌های بارش مدل در اقلیم فراخشک از دقت بالاتری برخوردار است. در مورد دما، محدوده تغییرات MBE بین ۴/۳- و ۰/۶- به ترتیب برای ایستگاه مراغه و انزلی می‌باشد. به طور کلی میانگین MBE دما ماهانه در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۵-، ۰/۴-، ۱/۶ و ۰/۵ میلی‌متر است. میانگین NRMSE ماهانه دما در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۲ و ۰/۰۵ است. دما نسبت به بارندگی در همه اقلیم‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. جاسک و بابلسر کمترین و بیشترین مقادیر MBE برای متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل بین ۳/۱۳- و ۴۲۰/۲- است به طوری که میانگین MBE ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۱۹۰/۶-، ۹۲/۸-، ۱۷/۵ و ۴۳/۵- میلی‌متر است. همچنین کمترین و بیشترین مقادیر ضریب همبستگی بین ۰/۵- و ۰/۹ است به طوری که میانگین R ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹ و ۰/۴ است. در رامسر و خوریابانک کمترین و بیشترین مقادیر NRMSE برای متغیر دما بین ۰/۰۲ و ۰/۰۷ است. در سیرجان و جاسک کمترین و بیشترین مقادیر NRMSE برای متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل بین ۰/۳ و ۱/۰۳ است به طوری که میانگین NRMSE ماهانه تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۸ است. به طور کلی نتایج بیانگر دقت بیشتر تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های فراخشک و مرطوب می‌باشد.

برازش توزیع‌های آماری بر داده‌های ماهانه رواناب سطحی در اقلیم‌های مختلف کشور

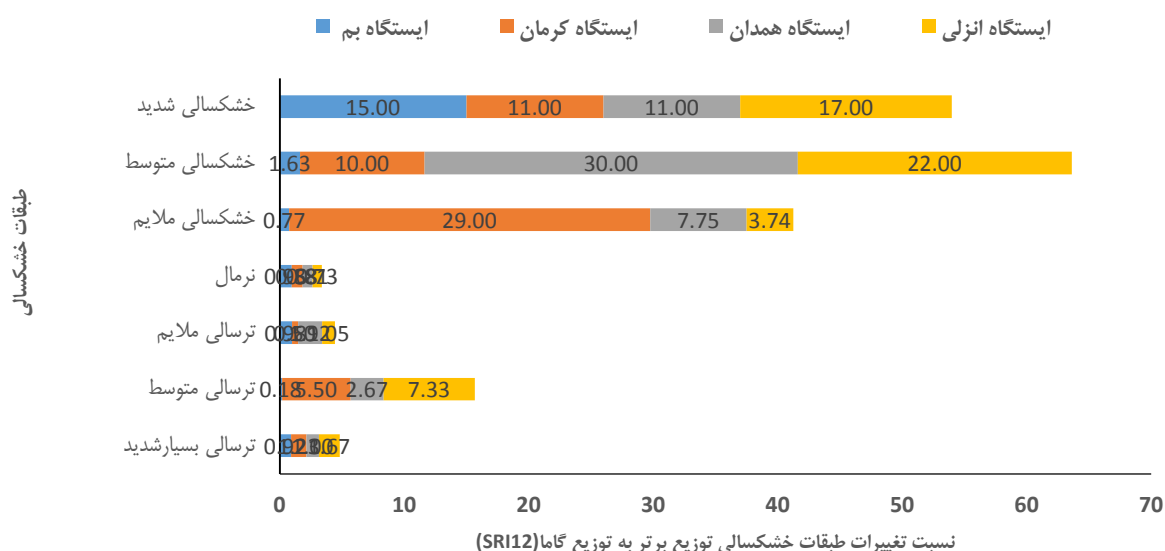
مناسب‌ترین توزیع بر سری داده‌های رواناب ماهانه به تفکیک هر ایستگاه همراه با مقادیر pvalue تعیین گردید (جدول ۳). همان‌طور که قابل مشاهده است که در ایستگاه بم به عنوان نماینده اقلیم فراخشک مناسب‌ترین توزیع برازش یافته توزیع Wakeby است. این توزیع در ۱۰ ماه این توزیع به عنوان توزیع برتر شناخته شده است که در ۵۰ درصد مواقع معنی‌دار است. در اقلیم خشک که ایستگاه کرمان نماینده آن است یک توزیع غالبی وجود ندارد که به طور قطعی آن را انتخاب کرد توزیع Wakeby در سه ماه به عنوان توزیع برتر شناخته



شکل ۴- مقادیر شاخص SRI3 براساس توزیع گاما و برتر در ایستگاه‌های منتخب



(الف)



(ب)

شکل ۵- نسبت تغییرات طبقات شاخص SRI12 و SRI3 توزیع برتر به توزیع گاما در ایستگاه‌های منتخب

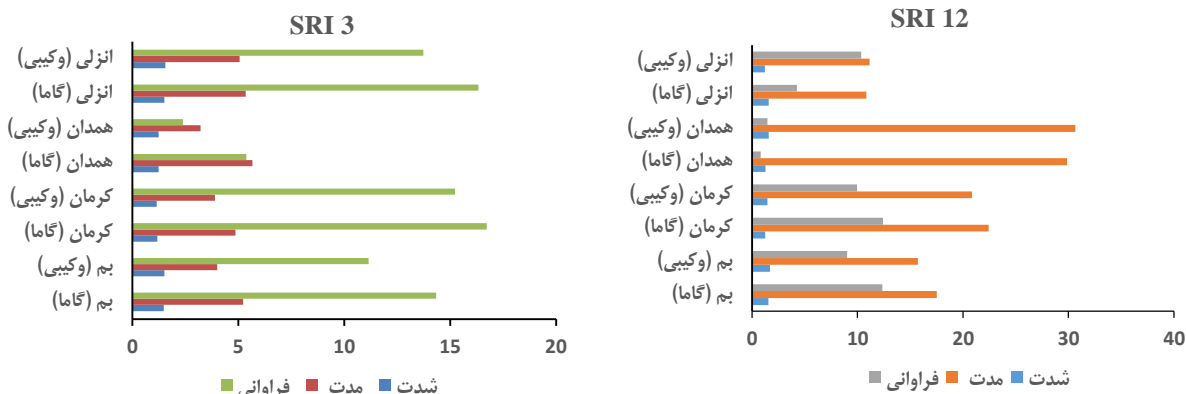
نبوده و قابل چشم‌پوشی است. در ایستگاه کرمان و انزلی اختلاف چندانی بین مشخصات خشکسالی رخ نداده است. در ایستگاه همدان اختلاف تعداد رخداد‌های خشکسالی ناچیز است ولی در فراوانی و مدت خشکسالی در توزیع برتر نسبت به گاما کاهش یافته است. شواهد در دوره دوازده ماهه نشان می‌دهد که در ایستگاه بم تعداد رخداد‌های خشکسالی، شدت، مدت و فراوانی برای توزیع گاما و توزیع برتر اختلاف زیادی نداشته است. در ایستگاه کرمان اختلاف زیادی

استخراج خصوصیات خشکسالی بر اساس توزیع گاما و توزیع برتر در اقلیم‌های مختلف کشور

تعداد رخداد، مدت و شدت و فراوانی شاخص خشکسالی ۳ و ۱۲ ماهه بر اساس توزیع گاما و توزیع برتر محاسبه شده است (شکل ۶). نتایج در مقیاس زمانی ۳ ماهه حاکی از آن است که در ایستگاه بم تعداد رخداد‌های خشکسالی در توزیع برتر نسبت به گاما کاهش یافته است. در صورتی که برای شدت و مدت و فراوانی این تغییرات زیاد

فراوانی در توزیع گاما و توزیع برتر اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. ایستگاه انزلی هم دقیقاً عملکردی مانند ایستگاه همدان داشته است.

بین تعداد رخداد‌های خشکسالی، شدت، مدت و فراوانی در توزیع گاما و برتر مشاهده می‌شود. در ایستگاه همدان تعداد رخداد‌های خشکسالی، شدت، مدت روندی مانند ایستگاه بهم داشته ولی در مورد



شکل ۶- خصوصیات خشکسالی ر اساس شاخص SRI در ایستگاه‌های منتخب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی ماهانه متغیرهای دما و بارش و تبخیر و تفرق پتانسیل مدل ERA5 از پایگاه ECMWF با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص SRI در حوزه ایران پرداخته شده است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد برازش توزیع‌ها و بررسی خشکسالی انجام شده ولی در این پژوهش به بررسی طبقات در اقلیم‌های مختلف پرداخته شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هر چه از دوره زمانی کمتر (۳ ماهه) به دوره زمانی بیشتر (۱۲ ماهه) برویم شدت و مدت بیشتر و فراوانی خشکسالی کمتر می‌شود. هم‌چنین در مورد طبقات خشکسالی می‌توان به این نتیجه رسید که در دوره زمانی کمتر (سه ماهه) بیشترین تغییرات روی طبقات ترسالی و در دوره زمانی بیشتر (دوره ۱۲ ماهه) روی خشکسالی‌ها مشاهده می‌شود. در این تحقیق ضمن بررسی مناسب بودن برازش تابع توزیع بر مقادیر ماهانه ۴۰ ایستگاه بررسی شد و بهترین توزیع آماری برای هر ایستگاه مشخص شد با توجه به اینکه در بین هیدرولوژیست‌ها هیچگونه توافقی در مورد استفاده از یک تابع توزیع خاص وجود ندارد، ولی می‌توان توزیع مناسب را که نتایج حاصل از آن دارای کمترین خطا و نزدیک به واقعیت است انتخاب کرد. پس می‌توان به این صورت گفت که در اکثر مواقع در ۴۰ ایستگاه از نقاط توزیع برتر، توزیع وکیبی است که رفتاری مشابه گاما ندارد بنابراین نمی‌توان توزیع گاما را به عنوان یک توزیع مناسب جهت محاسبه شاخص در کل مناطق ایران در نظر گرفت.

ارزیابی توزیع مناسب در اقلیم‌های مختلف کشور

از بین توزیع‌های مورد بررسی به منظور یافتن برترین توزیع برازش یافته به رواناب در ماه‌های مختلف سال، توزیع وکیبی (Wak) در بیش از یک سوم ماه‌های سال (۳۲ درصد) در تمامی ۴۰ ایستگاه مورد بررسی به عنوان برترین توزیع برازش یافته روی رواناب مشخص می‌باشد. بعد از توزیع وکیبی، توزیع‌های گامیل (Gum) و حد نهایی (GEV) به ترتیب با ۱۲ و ۱۱ درصد به عنوان توزیع برتر در ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد بررسی برازش داشته‌اند. توزیع گاما (Gam) که معمولاً بدون بررسی توزیع برتر، به عنوان توزیع مورد استفاده در محاسبه انواع شاخص‌های خشکسالی استاندارد شده (SRI, SPI و ...) استفاده می‌شود، تنها در ۲ درصد رواناب‌های ماهانه به عنوان توزیع برتر انتخاب شده است. این نکته اهمیت و ضرورت برازش و انتخاب توزیع برتر را در محاسبه شاخص‌های خشکسالی استاندارد شده نشان می‌دهد. نکته‌ی جالب توجه در جدول (۴)، عدم برازش هیچ توزیعی (NON) یا به عبارتی برازش غیرمعنی‌دار تمامی توزیع‌ها در ۵ ماه، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. صفر یا نزدیک به صفر بودن مقادیر رواناب‌ها در این ماه‌ها که جزء ماه‌های خشک سال (ماه‌های کم بارش) هستند، دلیل اصلی عدم برازش معنی‌دار توزیع در این ماه‌ها است. البته در برخی از ایستگاه‌ها مانند شاهرود، قوچان، بجنورد، ماکو و انزلی در تمامی ۱۲ ماه سال یک توزیع از بین توزیع‌های مورد بررسی روی رواناب به صورت معنی‌داری برازش داشته است. توزیع وکیبی در اقلیم‌های فراهشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب به ترتیب در ۳۰، ۲۶، ۵۴ و ۳۶ درصد ماه‌ها به عنوان توزیع برتر برازش یافته به رواناب‌های ماهانه مشخص شده است (جدول ۳).

جدول ۳- نام توزیع برتر و مقادیر p-value توزیع گاما و توزیع برتر برازش یافته بر داده‌های رواناب ماهانه

ردیف	نام ایستگاه	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		مه		ژوئن		ژوئیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
		گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام	گاما برتر نام
۱	زابل	Uni	Uni	Uni	Uni	Lgs	Lgs	Gum	Gum	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Nsi	Gum	Gum	Uni	
۲	یم	Wak	Wak	Wak	Wak	GEV	GEV	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳	انار	GEV	GEV	GEV	GEV	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۴	جاسک	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۵	خورنیانک	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۶	طیس	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۷	چلبهار	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۸	ایرانشهر	GEV	GEV	GEV	GEV	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۹	کرمان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۰	بندر لنگه	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۱	گرسار	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۲	زاهدان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۳	قم	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۴	سراوان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۵	آبادان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۶	سیرجان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۷	بوشهر	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۸	شاهرود	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۱۹	میناب	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۰	قزقن	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۱	بستان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۲	کاشمر	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۳	آباده	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۴	فسا	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۵	سرخس	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۶	سریشاب	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۷	فوجان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۸	بجنورد	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۲۹	همدان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۰	پارس آباد	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۱	مراغه	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۲	ماکو	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۳	شهرکرد	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۴	سنندج	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۵	الیکودرز	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۶	دوگنبدان	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۷	یرانشهر	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۸	ایلستر	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۳۹	راسر	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	
۴۰	انزلی	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	Wak	

برازش معنی داری	برازش غیر معنی دار	برازش معنی دار در سطح یک درصد	برازش معنی دار در سطح ۵ درصد
p-value مقدار	p-value < 0.01	0.01 < p-value < 0.05	p-value > 0.05

Wakeby(Wak), Uniform(UN), Gen.Extreme value(GEV),Johnson SB(JOH),Lognormal(LGN), Pareto2(PAR2),Logistic(LOG),Normal(NORM), Burr(Burr),Beta(Bta), Log_Logistic(Log_LOG), Pearson6(PEA), Log_Logistic(3P)(Log_LOG(3P)),Exponential(EXP), Gen.Gamma(G.GAM), Inv.Gaussian(INV.G),Gamma(GAM), Power Function(PFU),Gen Logistic(G-LG), Error Function(EFU),Haypersecant(HAY),Weibull(WBL), Pareto3(PAR2),Pearson5(3p)(PEA5(3p)), Lognormal(3P)(LGN(3P)), برازش نمیده، (NON)

تحقیقات کم آبی و خشکسالی کرج.

منابع

مساعدی، ا.، قبایی سوق، م.، ۱۳۹۴. تصحیح شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر اساس انتخاب مناسبترین تابع توزیع احتمال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۵): ۲۵-۱۲۱۶-۱۲۰۶.

حقیقت‌جو، پ.، ۱۳۸۰. بررسی تابع چگالی احتمال بارندگی های ماهانه و سالانه ایستگاه های قدیمی ایران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۳): ۴۳-۴۱.

رحیمی، د.، محمدی، ز.، ۱۳۹۶. بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز سد زاینده رود با شاخص SWSI. فصلنامه آمایش

غفوریان، ر.، گردنوشهری، ر. و رنگ‌آور، ع.، ۱۳۹۰. ارزیابی شاخص SRI در تعیین خشکسالی هیدرولوژیکی رودخانه زشک خراسان رضوی. کنفرانس خشکسالی و تغییر اقلیم. اردیبهشت ماه، مرکز

- the best obtained drought index. *Water Resources Management*, 36(4), 1355-1375.
- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M. A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(13), 1571-1592.
- Pourkarimi, Z., Moghaddasi, M., Mohseni Movahed, A. and Delavar, M. 2018. The Effects of Climate Change on the Hydrological and Agricultural Drought Characteristics Zarinehrud Basin Using SRI and SSWI Indices and SWAT Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(5), 1145-1157.
- Shiau, J. T. 2020. Effects of gamma-distribution variations on SPI-based stationary and nonstationary drought analyses. *Water Resources Management*, 34(6), 2081-2095.
- Silver, B. J. 2003. Forces of labor: workers' movements and globalization since 1870. Cambridge University Press.
- Sönmez, F. K., Koemuescue, A. U., Erkan, A. and Turgu, E. 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards*, 35(2), 243-264.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Wen, F. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(1), 65-79.
- Zhao, R., Wang, H., Zhan, C., Hu, S., Ma, M. and Dong, Y. 2020. Comparative analysis of probability distributions for the Standardized Precipitation Index and drought evolution in China during 1961–2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3), 1363-1377.
- جغرافیایی فضا. (۲۵): ۲۳۳-۲۲۱.
- قبادی، س.، عبقری، ه. و عرفانیان، م. ۱۳۹۶. پایش توزیع مکانی و زمانی شدت خشکسالی با استفاده از isoSDI و isoSPI در غرب دریاچه ارومیه. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۴(۵): ۱۱۱-۱۲۷.
- وکیلی فرغ، اسدی، ا.، ابراهیمی، ک.، فاخری فرد، ا. و دربندی، ص. ۱۳۹۶. بررسی ارتباط زمانی رخداد خشکسالی هواشناختی و خشکسالی آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه بیلوردی-دوزدوزان). *دانش آب و خاک*. ۲۷(۲): ۱-۱۵.
- فرسادنیان، ف.، قهرمان، ب.، مدرس، ر. و مقدم‌نیا، ع. ۱۳۹۷. تحلیل فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک حوضه کرخه با استفاده از تحلیل آماری دو متغیره. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. ۲۲(۳): ۳۳۹-۳۵۵.
- نادری، ک.، مقدسی، م.، شکری، ا. و احمدی، ف. ۱۴۰۰. تحلیل اثر طول دوره آماری بر احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از رودیکرد توابع مفصل (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک اراک). *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۹(۵۲): ۲۴۴۰-۲۴۲۷.
- Fatehi Marj, A., Heidarian, A. 2012. Drought Analysis of Meteorology. Agriculture and Hydrology Using Gis in Khuzestan Province. *Iran. J. Water. Manage. Sci. Engin.* 7: 23. 19-32. (In Persian). *Engineering*, 36, 160-176, (in Farsi).
- Fatemi, M., Rahimian, M., Ekrami, M., Barkhordari, J. 2019. RDI Spatial Analysis in Central Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Water*.
- Ghasemnezhad, F., Bazrafshan, O., Fazeli, M., Parvinnia, M. and Singh, V. 2021. Uncertainty Analysis of Hydrological Drought due to Record Length, Time Scale, and Probability Distribution Functions Using Monte-Carlo Simulation Method.
- Hersbach, H., de Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C. and Zuo, H. 2018. Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP, ERA Report Series 27, 63 pp.
- Khanmohammadi, N., Rezaie, H. and Behmanesh, J. 2022. Investigation of drought trend on the basis of

Investigating the effect of suitable probability distribution of runoff on the characteristics and classes of hydrological drought using ERA5 model data in different climates of the country

Fateme Moghaddasi¹, Mahnoosh Moghaddasi², Mehdi Mohammadi Ghalenei³

Received: Oct.08, 2022

Accepted: Dec.29, 2022

Abstract

The most important method for monitoring hydrological drought is the use of drought indices based on river flow. These indices are generally based on the assumption that the river flow volume data series follows the gamma distribution and the principle of equal probability transfer. Therefore, in this research, the aim is to investigate the suitable distribution of monthly flow data and its effect on the characteristics and classes of drought using the standardized runoff index (SRI) in different climates of the country. For this purpose, monthly data of precipitation, temperature, evaporation and transpiration and runoff were collected from 40 synoptic stations across the country during the period of 1979-2020. Then, from the reanalyzed ERA5 model of the ECMWF datasets with a spatial resolution of 0.5 x 0.5, the mentioned data and runoff during the selected period have been extracted. Statistics such as correlation coefficient (R), standardized mean square error (NRMSE) and mean skew error (MBE) are used to compare model data with observational data. In the following, the SRI index was calculated for two time scales of 3 and 12 months based on the fitted Gamma distribution and the best distribution, and drought characteristics including intensity, duration and frequency were calculated for them. The results of ERA5 model data evaluation indicate more accuracy of temperature variables, evapotranspiration potential and precipitation with average NRMSE equal to 0.09, 0.62 and 1.02 respectively. Considering the change of drought classes by changing the distribution used in the index, the results of this research show the necessity of fitting and choosing the best distribution in the calculation of hydrological drought indices.

Keywords: Suitable probability distribution, Hydrological drought, Characterize drought, SRI.

1 M.Sc. student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

2 Associate professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran (Corresponding author Email: mah_moghaddasi@hotmail.com)

3 Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran