

مقایسه پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های RDI و EDI

مبینا احمدی، شهلا پایمزد و مهدی رحیمی

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۹۶-۶۸۳

Vol. 7(4), Winter 2021, 683-696

DOI: 10.22034/JEWE.2021.276629.1531

Comparison of Hydrological and
Meteorological Drought Monitoring using RDI
and EDI Indices

Ahmadi, M., Paimozd, S. and Rahimi, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

احمدی، م.، پایمزد، ش. و رحیمی، م. (۱۴۰۰). مقایسه پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های RDI و EDI. محیط-زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۶۹۶-۶۸۳.

Citing this paper: Ahmadi, M., Paimozd, S. and Rahimi, M. (2021). Comparison of hydrological and meteorological drought monitoring using RDI and EDI indices. Environ. Water Eng., 7(4), 683-696. DOI: 10.22034/JEWE.2021.276629.1531

مقاله پژوهشی

مقایسه پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های RDI و EDI

مبینا احمدی^۱، شهلا پایمزد^{۲*} و مهدی رحیمی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

^۲استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

^۳دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*نویسنده مسئول: s-paimozd@araku.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۲/۱۷]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۱/۳۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۳/۱۹]

چکیده

خشک‌سالی رویداد طبیعی است که هر ساله کشورهای زیادی را با کمبود آب مواجه می‌کند. اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توزیع نامناسب بارندگی از نظر مکانی و زمانی سبب افزایش دوچندان اثر منفی کمبود منابع آب در کشور ایران شده است. بررسی پدیده خشک‌سالی به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت چگونگی مواجهه با این پدیده امری ضروری است. در این پژوهش وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه دورود-بروجرد با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه هواشناسی و سه ایستگاه هیدرومتری از سال ۱۳۶۶ الی ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از شاخص‌های هواشناسی خشک‌سالی EDI و شاخص هیدرولوژیکی خشک‌سالی RDI با دبی آستانه Q₇₀ و Q₉₀ بهره گرفته شد. داده بارش روزانه جهت محاسبه شاخص EDI و داده دبی روزانه به منظور تعیین شاخص RDI مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده در مقیاس سالانه، ماهانه و منطقه بررسی و مقایسه شد. نتایج پژوهش حاکی از وجود حالت غالب خشک‌سالی‌های نرمال و متوسط در اکثر مناطق حوضه بود. همچنین نتایج نشان داد شاخص EDI حساسیت کم‌تری را نسبت به طول دوره آماری نشان می‌دهد و دارای تغییرات منطقی زمانی بود؛ لذا، قابلیت لازم برای استفاده در سامانه پایش خشک‌سالی را دارد. این شاخص سال ۱۳۹۱ را خشک‌ترین سال تعیین کرد. همچنین شاخص RDI در هر دو حالت دبی آستانه Q₇₀ و Q₉₀ سال ۱۳۷۰ را خشک‌ترین سال نشان داد.

واژه‌های کلیدی: دبی آستانه؛ حوزه آبخیز؛ خشک‌سالی؛ مدیریت منابع آب

۱- مقدمه

وضعیت خشک‌سالی در غالب کمی و کیفی بیان نمایند. اگرچه هیچ شاخصی نظر کمی و کیفی بالاتر از بقیه نیست ولی برخی از شاخص‌ها ممکن است برای بعضی از کاربران مفیدتر و کارآمدتر باشند. شاخص‌های هواشناسی خشک‌سالی از داده‌های کوتاه‌مدت بارش، برف، ذخایر آب، دما و غیره برای تبدیل شدن به یک نمونه قابل فهم ساخته می‌شوند (Malek Sabet et al. 2015). بسیاری از طراحان پروژه‌های آبی توصیه می‌کنند که وضعیت خشک‌سالی را با چند شاخص بررسی نمود و تصمیمات بر مبنای شاخصی اتخاذ گردد که با عکس‌العمل‌های محیطی تطابق بیشتری در منطقه مطالعاتی دارد (Ensaifi Moghadam. 2007). برای تعیین خشک‌سالی از شاخص‌هایی مرتبط با نوع خشک‌سالی استفاده می‌گردد. در واقع شاخص‌ها به کمک تعریف خشک‌سالی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا سطح، شدت و مدت را بیان نمایند. در این بین شاخص‌های مختلفی به کار گرفته می‌شوند. در این خصوص پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است که از این میان می‌توان به پژوهش Mahmudi et al. (2019) اشاره کرد که به مقایسه شاخص‌های مختلف خشک‌سالی و انتخاب بهترین شاخص خشک‌سالی برای پایش خشک‌سالی در ایران پرداختند. برای این منظور، از هفت شاخص خشک‌سالی شامل شاخص بارش استاندارد (SPI)، درصد نرمال (PN)، شاخص امتیاز Z (ZSI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) و شاخص Z چینی اصلاح‌شده (MCZI) برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۶، ۱۲ و ۲۴ month استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص EDI طبقات خشک‌سالی عمومی را بهتر از سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد.

Deo et al. (2017)، در پژوهش خود از شاخص EDI برای تعیین مقدار و تداوم خشک‌سالی در استرالیا با استفاده از داده‌های روزانه استفاده کردند. نتایج نشان داد شاخص EDI در این منطقه به خوبی سرعت پیشرفت خشک‌سالی، شدت،

حدود ۷۰٪ از سطح زمین با آب پوشیده شده است اما بحران آب در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران، یکی از دغدغه‌های اصلی بشر خواهد بود. کاهش منابع آبی در مناطق مختلف کشور از اثرات بحران آب است. (Karzarjodivand and Shokri. 2016). طی سال‌های اخیر تغییر اقلیم با روند صعودی دما و نزولی بارش وقوع خشک‌سالی‌های متعددی را سبب شده است که دلیل مضاعفی بر افزایش برداشت در سراسر جهان بوده است. این امر نه در ایران که در سراسر جهان پژوهشگران بسیاری را بر آن داشته که پژوهش‌ها زیادی در این زمینه انجام پذیرد. خشک‌سالی نه تنها در کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، بلکه در سطح کشورهای مرطوب اتحادیه اروپا به عنوان یک مسئله مهم شناخته شده است. (Kampragou et al. 2011) خشک‌سالی یک رویداد طبیعی است که هر ساله کشورهای زیادی را با کمبود آب مواجه می‌کند. در حال حاضر حدود ۸۰ کشور در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته‌اند. کشور ما با میانگین بارندگی حدود ۲۵۰ mm جزء این کشورها به شمار می‌آید که می‌توان با ایجاد طرح‌های آمادگی و مدیریت آن تاندازه‌ای از دشواری‌ها و خسارت‌های ناشی از خشک‌سالی کاست. از آنجایی که خشک‌سالی بر همه جنبه و بخش‌های زندگی‌های مختلف جامعه به خصوص تغییر محیط طبیعی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم دارد، درک ناقص و نادرست مفهوم آن موجب رکود در بخش‌های مختلف اقتصادی، مدیریتی و سیاست‌گذاری می‌شود (Musavi and Khosravipur. 2012).

اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و بارندگی با توزیع‌های نامناسب از نظر مکانی و زمانی سبب افزایش اثر منفی کمبود منابع آب شده است. (Zohrevandi and Ahmadi. 2011). همه مناطق دنیا ممکن است گاهی اسیر پدیده خشک‌سالی گردند اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی خشک محسوب می‌شوند بیش‌تر به چشم می‌خورد. به منظور بررسی خشک‌سالی از یک سری شاخص‌ها برای تعیین وضعیت این پدیده در منطقه استفاده می‌شود. شاخص‌های خشک‌سالی با در نظر گرفتن اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیکی مانند درجه حرارت، بارندگی، جریان رودخانه، رواناب سطحی و سایر عوامل، سعی می‌کنند تصویری از

¹Standard Precipitation Index

²Percent of Normal

³Z Score Index

⁴Decile Index

⁵China Z Index

⁶Effective Drought Index

⁷Modified China Z Index

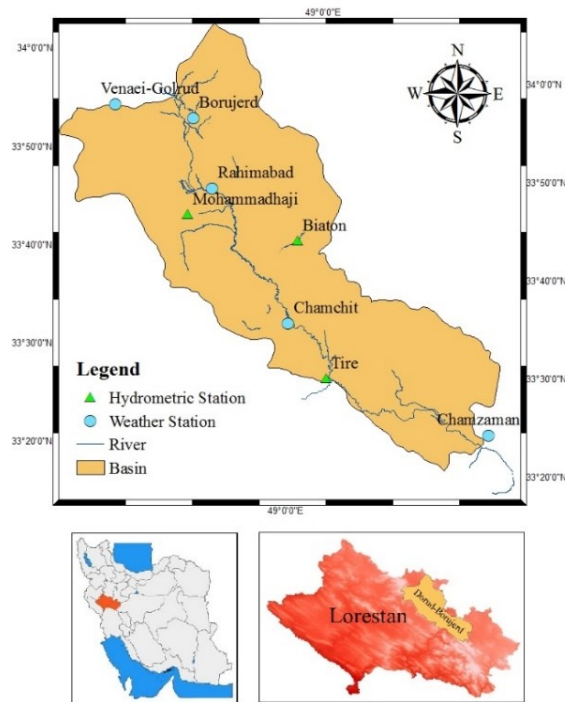


ایستگاه همدیدی کشور برای یک دوره آماری ۳۱ yr (۲۰۱۳-۱۹۸۳) و برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشک‌سالی از شاخص EDI استفاده کردند. نتایج نشان داد که دوره‌های غالب موجود در سری زمانی خشک‌سالی‌های ایران بسیار متنوع بوده و از دوره‌های ۲ تا ۳۰ yr را شامل می‌شوند. (Prudhomme and Sauquet (2007). در پروژه‌های شاخص خشک‌سالی کمبود جریان منطقه‌ای (DI) را در منطقه فرانسه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، آب‌وهوای این منطقه را طبقه‌بندی کردند. با توجه به مدل‌سازی RDI^۲ مشخص شد که در سال ۲۰۰۳ خشک‌سالی رخ داده است. Shokuhi and Zare به تحلیل شاخص‌های CZI، SPI، DI، PNI و ZSI در نرم‌افزار DIP برای ایستگاه اهرم شهرستان تنگستان در یک دوره ۴۵ yr پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌های CZI، SPI، DI، PNI و ZSI شدیدترین خشک‌سالی را برای سال ۱۳۷۳-۷۴ و مرطوب‌ترین سال را ۱۳۷۵-۷۶ نشان می‌دهند. بررسی‌ها نشان داد شاخص‌های CZI، SPI و ZSI عملکرد تقریباً مشابهی دارند. شاخص MCZI در مقیاس سالانه قادر به نمایش و تعیین خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های شهرستان تنگستان نیست زیرا برای همه سال‌ها نتایج یکسان (نسبتاً خشک) است. بررسی پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های SPI و EDI در آفریقای جنوبی توسط Omolola et al. (2021) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده بیشترین تطبیق شاخص SPI یک‌ماهه و سه‌ماهه با EDI بود. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان داد که شاخص‌های EDI و RDI به پایش روزانه خشک‌سالی می‌پردازند که این امر دقت بالاتر شاخص‌ها را تأیید می‌کند. همچنین شاخص RDI قابلیت ارزیابی پایش خشک‌سالی برحسب کاهش دبی در رودخانه‌ها به‌طور دقیق را دارا است. EDI نیز جهت پایش تنها به داده بارش اکتفا می‌کند که این خود یک مزیت به‌خصوص در مناطق فاقد آمار یا مواجهه با کمبود آمار به شمار می‌رود. در منطقه مورد مطالعه تاکنون مقایسه دو شاخص RDI و EDI انجام‌نشده است. لذا با توجه به قابلیت این دو شاخص، در این پژوهش ارزیابی و بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در حوضه دورود-بروجرد در یک دوره ۳۰ yr و بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این دو شاخص مورد توجه قرار گرفت.

شروع، خاتمه و طبقه‌بندی را تحلیل کرده است. Wable et al. (2019) در پژوهشی به مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی در حوضه رودخانه نیمه‌خشک هند پرداختند. در این مطالعه، عملکرد پنج شاخص خشک‌سالی برای یک حوضه نیمه‌خشک واقع در غرب هند ارزیابی شد. به‌عنوان مثال، درصد خروج از حالت عادی (PDN)، شاخص EDI، شاخص SPI، شاخص خشک‌سالی شناسایی (RDI) و شاخص استاندارد تبخیر و تعرق بارش (SPEI) انتخاب شدند. از بین این شاخص‌های خشک‌سالی، EDI یک شاخص خشک‌سالی مرحله‌ای مستقل است و چهار شاخص مقیاس چند زمانه دیگر در مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ Month تعریف شده‌اند. نتایج معیارهای ارزیابی عملکرد نشان داد که SPEI-9 بالاترین نمره وزن کل (۱۳۶) را دارد و مناسب‌ترین شاخص خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه است و پس از آن RDI-9، SPI-9، EDI و PDN-9 قرار دارند. (Kamruzzaman et al. (2019). در پژوهش خود، عملکرد EDI و SPI را برای شناسایی وقایع خشک‌سالی طی یک دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵) در بنگلادش مورد مقایسه قرار دادند. داده‌های بارندگی از ۲۷ ایستگاه هواشناسی در سراسر بنگلادش برای محاسبه مقادیر EDI و SPI استفاده شد. نتایج نشان داد که EDI بهتر از SPI می‌تواند سوابق تاریخی وقایع واقعی را تشخیص دهد. علاوه بر این، EDI در ارزیابی خشک‌سالی کوتاه‌مدت و بلندمدت از SPI کارآمدتر است. همچنین نتایج نشان داد که شاخص‌های SPI3 و EDI در مقایسه با سایر SPIها توانایی بهتری در شناسایی حوادث خشک‌سالی در بنگلادش دارند. باین‌حال، SPI تخمین‌های اشتباهی تولید کرد؛ بنابراین، EDI بیش‌تر پاسخگوی شرایط خشک‌سالی است و قادر است شرایط واقعی وضعیت خشک‌سالی در بنگلادش را به تصویر بکشد. (Ekhtiari and Dinpajuh (2018) در بخش‌هایی از ایران به پایش خشک‌سالی بخش‌هایی از ایران پرداختند. بدین منظور ایستگاه‌های تبریز، بندر انزلی و زاهدان طی دوره‌ی آماری ۳۱-۱۳۳۰ الی ۹۱-۱۳۹۰ با استفاده از شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) توسط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بر اساس تعداد روزهای خشک‌سالی، ایستگاه‌های بندر انزلی، تبریز و زاهدان به‌ترتیب با ۲۴۰۷، ۱۵۱۷ و ۱۳۳۸ day خشک از کل دوره آماری در رتبه‌های اول تا سوم خشک‌سالی جای گرفته‌اند. (Daneshmand and Mahmudi (2016) برای بررسی و آشکارسازی رفتار دوره‌ای خشک‌سالی ماهانه ایران از آمار بارش ماهانه ۴۱

¹Deficit Index²Regional Streamflow Deficiency Index

تا ۱۳۹۵ برای برآورد شاخص‌های EDI و RDI استفاده شده است. ایستگاه‌های هواشناسی عبارت‌اند از: بروجرد، رحیم‌آباد، چم‌چیت، چم‌زمان و ونایی-گلرود. همچنین ایستگاه‌های هیدرومتری شامل ایستگاه‌های بیاتون، محمد حاجی و تیره می‌باشند. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) آمده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد

Fig. 1 Geographical location of meteorological and hydrometric stations of Doroud-Borujerd basin

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

Table 1 Specifications of meteorological and hydrometric stations

Station	Station Type	Height	latitude	Longitude	length of statistical period
Brujerd	Rain gauge	1490	33.9	48.75	1366-1395
Rahim abad	Evaporation	1490	33.78	48.8	1366-1395
Cham chit	Rain gauge	1290	33.56	48.97	1366-1395
Chem zaman	Rain gauge	1830	33.4	49.4	1366-1395
Venaei-Golrud	Rain gauge	2000	33.91	48.59	1366-1395
Biatun	Stream gauge	1620	33.7	48.98	1366-1395
Mohammadhaji	Stream gauge	1570	33.73	48.75	1366-1395
Tire	Stream gauge	1450	33.47	49.06	1366-1395

قبلی مدنظر نبوده است و مزیت اصلی این شاخص است. تنها داده‌ی موردنیاز برای محاسبه این شاخص، بارندگی است. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب فرضی کمبود آب آغاز و با ادامه عملیات دوره واقعی آن تعیین می‌شود. منظور از دوره فرضی در نظر گرفتن یک دوره‌ی کمبود بارش فرضی قبل از شروع دوره‌ی آماری است. این دوره‌ی فرضی می‌تواند ۳۶۵ day (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره‌شده برای یک

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه دورود-بروجرد با وسعتی به میزان $2545/8 \text{ Km}^2$ بین عرض شمالی حداقل 33° و $36'$ و حداکثر 34° و $6'$ طول شرقی حداقل 48° و $27'$ و حداکثر 49° و $27'$ در شمالی‌ترین قسمت حوضه آبریز کارون بزرگ واقع شده است. به‌علت ورود جریان‌های سطحی به این محدوده و همچنین وجود بارندگی کافی و برف‌گیر بودن ارتفاعات این محدوده، مسیل‌های واقع در آن دائمی بوده و زهکش اصلی این محدوده را رودخانه‌های سیلاخور، ماربره و رودخانه تیره تشکیل می‌دهند. کمترین ارتفاع محدوده 1437 m ، مربوط به بخش‌های خروجی حوضه و بیش‌ترین ارتفاع محدوده 2015 m از سطح دریا، مربوط به جنوب شرقی محدوده است. میانگین بارش سالانه در دشت‌های این محدوده $492/8 \text{ mm}$ محاسبه شده است. جریاناتی که وارد محدوده‌ی دورود-بروجرد می‌شود از ناحیه شمال غرب، جنوب و شرق آن و از سمت محدوده‌های ازنا، میرقاسم و اشترینان است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد مشخص شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های روزانه بارش و دبی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری دشت دورود-بروجرد، از سال ۱۳۶۶

۲-۳- شاخص EDI

شاخص EDI توسط Byun از دانشگاه ملی Pukyong در سال ۱۹۹۶ ارائه و خشک‌سالی سال ۱۹۹۶-۱۹۹۵ در آمریکا نیز با این شاخص با بهره‌گیری از ۱۹۵ ایستگاه ارزیابی شد (Wilhite and Byun 1999). در این شاخص، خشک‌سالی به‌طور روزانه پایش می‌شود که این قابلیت در شاخص‌های

$$DEP = EP - MEP \quad (2)$$

مقدار مثبت DEP نشان‌دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و مکان بود و مقدار منفی آن معنی عکس دارد.

۲-۳-۴- محاسبه مقدار استاندارد شده انحراف بارش مؤثر از میانگین بارش مؤثر

به منظور امکان مقایسه نتایج قبل بین مناطق مختلف بدون توجه به شرایط آب و هوایی، ارقام حاصله از مرحله قبل با استفاده از رابطه (۳) استاندارد می‌شود:

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (3)$$

که (SEP) مقدار استاندارد شده انحراف بارش مؤثر از میانگین بارش مؤثر، ST(EP) انحراف معیار EP برای هر روز تقویمی است. این مقدار قادر است، شدت خشک‌سالی یک موقعیت را با موقعیت دیگری بدون توجه به اختلاف آب و هوایی مقایسه کند.

۲-۳-۵- محاسبه شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه

محاسبه‌ی این قسمت با تکرار مراحل قبل با توجه به دوره تداوم واقعی آغاز می‌گردد. پس از محاسبه DEP هر روز با توجه به تداوم واقعی، شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN) مربوط مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود که اندیس J در آن اشاره به تداوم واقعی دارد.

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j \left(\frac{1}{N}\right)} \quad (4)$$

PRN در حقیقت مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال از حالت کمبود را نشان می‌دهد. با توجه به این که مقدار کمبود بارندگی نشان‌دهنده شدت خشک‌سالی است، لذا می‌توان با PRN شدت خشک‌سالی را ارزیابی کرد، اگرچه به شرایط آب و هوایی وابسته بوده و لازم است تا مانند SEP استاندارد گردد.

۲-۳-۶- محاسبه شاخص EDI
شاخص EDI در واقع شکل استاندارد شده PRN است و مطابق رابطه (۵) برآورد می‌گردد.

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (5)$$

دوره طولانی) یا ۱۵ day (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. پس از انتخاب دوره‌ی فرضی مراحل محاسبات آغاز می‌شود که در ادامه به آن پرداخته شده است. پژوهش حاضر نیز با استفاده از شاخص خشک‌سالی مؤثر و در مقیاس روزانه و در حوضه دورود-بروجرد انجام شد. به علت این که شاخص RDI به صورت منطقه‌ای محاسبه می‌شود، شاخص EDI هم با تخمین بارندگی در سطح منطقه با دو روش میانگین‌گیری ریاضی و چندضلعی تیسن، محاسبه و بررسی شده است.

۲-۳-۱- محاسبه EPI روزانه

اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص، بارش مؤثر است که در واقع جمع بارش روزانه با یک تابع کاهش، وابسته به زمان است؛ به عبارت دیگر EP هر روز، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ماقبل خود بوده که در آن بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر وزن بیشتری دارند (Byun and Wilhite 1999).

$$EPI = \sum_{i=1}^m \left[\frac{\sum_{m=1}^n P_m}{n} \right] \quad (1)$$

روز قبل m-1 بارندگی تا P_m تداوم فرضی و α که در آن است. این رابطه به خوبی تأثیر بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر را نشان می‌دهد. همچنین در معادله خواهد داشت. EP فوق، طی دوره آماری هر روز مستقلاً یک EP لذا برای هر دوره که هدف بررسی خشک‌سالی باشد، باید هر روز دوره را با در نظر گرفتن تداوم مورد نظر به دست آورد. بدیهی است که این محاسبات برای سال اول دوره آماری قابل انجام نخواهد بود و از سال دوم به بعد قابل انجام است.

۲-۳-۲- محاسبه میانگین بارش مؤثر روزانه

میانگین بارش مؤثر (MEP) در واقع میانگین یا نرمال EP برای هر روز تقویمی بوده که ویژگی‌های اقلیمی را در یک مکان و زمان معین نشان می‌دهد. برای محاسبه MEP یک روز، باید EP‌های همان روز را در طول دوره مورد نظر با هم جمع کرده و میانگین گرفت. از آنجایی که تغییرات MEP قدری زیاد است، توصیه می‌شود تا از میانگین متحرک day ۵ MEP ها استفاده شود.

۲-۳-۳- محاسبه انحراف بارش مؤثر از میانگین مؤثر

برآورد انحراف EP از MEP که با DEP معرفی می‌گردد، مرحله بعدی محاسبات بوده که برای کل روزهای دوره آماری محاسبه می‌گردد:

²Standardize Effective Precipitation

³Precipitation needed for a Return to Normal

¹Mean Effective Precipitation

که آ: شمارنده ایستگاه‌های موجود در منطقه و $DI_i(t)$ مقدار DI در ایستگاه آام در روز t ام می‌باشند. چنانچه مقدار RDI برای منطقه‌ای برای یک روز خاص بیش‌تر از $0/3$ باشد آنگاه در آن روز در منطقه مورد مطالعه خشک‌سالی رخ داده است (Prudhomme and Sauquet 2007).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- نتایج شاخص EDI

۳-۱-۱- بررسی تغییرات بارندگی سالانه

جهت بررسی تغییرات بارندگی در مقیاس سالانه، مجموع بارش در هر ایستگاه برای سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۶ محاسبه شد. برای پرهیز از پرحجم شدن مقاله تنها نتایج مربوط به ایستگاه بروجرد، در مراحل مربوط به نتایج شاخص EDI ارائه شده است. شکل (۲) تغییرات بارش سالانه در ایستگاه بروجرد را نشان می‌دهد. روند نمودار به صورت نزولی است و میزان بارش در طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ کاهش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کم‌ترین مقدار بارش در سال ۱۳۹۰ و به مقدار $348/5$ mm بوده است. همچنین بیش‌ترین مقدار بارندگی مربوط به سال ۱۳۷۴ به مقدار $744/5$ mm است.

۳-۱-۲- بررسی خشک‌سالی در مقیاس سالانه و ماهانه با شاخص EDI

به منظور بررسی و پایش خشک‌سالی در مقیاس ماهانه، از نتایج شاخص برای هر ماه میانگین‌گیری شد و نتایج به صورت نمودار ارائه گردید. شکل (۳) شاخص خشک‌سالی EDI در مقیاس ماهانه طی دوره 30 yr برای ایستگاه بروجرد را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، اردیبهشت‌ماه در سال ۱۳۹۱ خشک‌ترین ماه بوده است. همچنین شکل (۳) شاخص خشک‌سالی EDI را در مقیاس سالانه طی دوره 30 yr برای ایستگاه بروجرد را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، ۱۳۹۱ خشک‌ترین سال بوده است. با توجه به بررسی داده‌ها، مشخص است که علت این امر بارش کم در آن محدوده‌ی زمانی بوده است. فروردین‌ماه سال ۱۳۷۵ مرطوب‌ترین ماه در طی 30 yr داده با شدت $1/30$ است. در مقیاس سالانه نیز سال ۱۳۷۴ با شدت $0/594$ مرطوب‌ترین سال است. نتایج سایر ایستگاه‌ها در جدول (۳) آمده است.

که، $ST(PRN_i)$ نشان‌دهنده انحراف معیار PRN است (Moghadasi et al. 2004).

طبقه‌بندی خشک‌سالی با توجه به شاخص خشک‌سالی مؤثر در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص EDI (Moghadasi et al. 2004)

Table 2 Drought classification using EDI index (Moghadasi et al. 2004)

EDI Rank	Category	EDI Values
1	Extreme drought	<-2.5
2	Severe drought	-1.5 to -2.5
3	Moderate drought	-0.7 to -1.5
4	Dry	-0.7 to 0
5	Slight Surplus of Water	0 to 0.7
6	High Surplus of Water	0.7 to 1.5

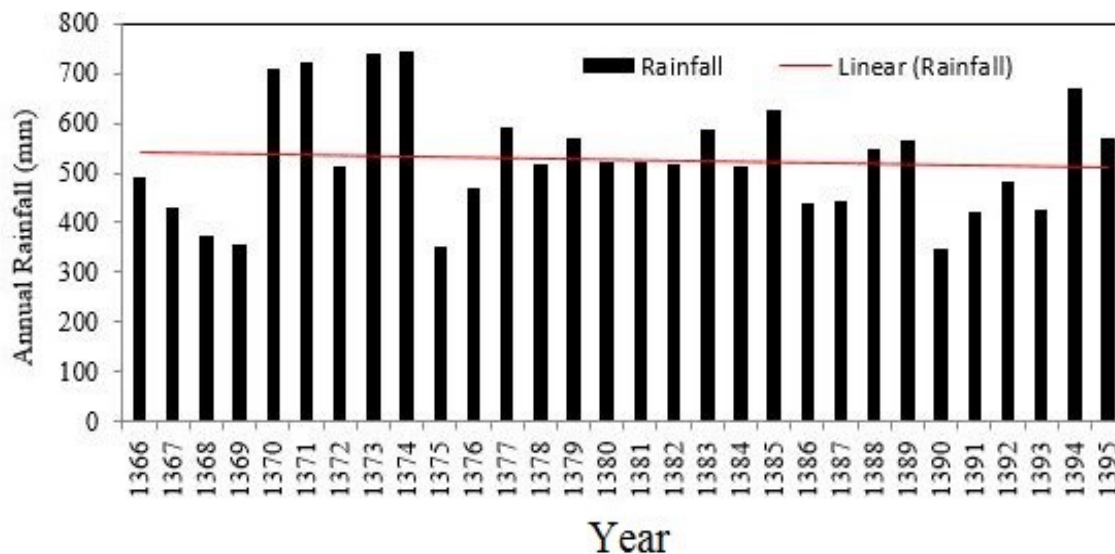
۳-۲- شاخص DI

برای بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیکی از این شاخص استفاده شد که اولین بار توسط (Stahl 2001) در اروپا به صورت منطقه‌ای ارزیابی شد. داده مورد استفاده این شاخص دبی روزانه و دبی آستانه است. برای محاسبه شاخص DI برای هر یک از روزهای سال (J) در طول N سال داده‌های آماری موجود در یک ایستگاه هیدرومتری، ابتدا برای هر یک از روزهای سال بازه‌ای به طول D روز قبل و D روز بعد انتخاب می‌شود. در مرحله بعد منحنی تداوم جریان برای بازه هرروز (j) محاسبه و رسم می‌گردد. محاسبه دبی آستانه (Q) مرحله بعدی است. در ادامه سری جریان رودخانه با دبی آستانه مقایسه می‌شود. ارقام کمتر مبین وقوع خشک‌سالی ($DI=1$) و بیشتر، عدم وقوع خشک‌سالی ($DI=0$) را نشان می‌دهد.

۳-۲-۴- شاخص RDI

از جمع شاخص‌های DI، مقادیر منطقه‌ای آن تحت عنوان شاخص منطقه‌ای RDI به دست می‌آید. در واقع اعلام خشک‌سالی با RDI، در یک روز و ناحیه‌ای است که همگنی آن مورد تأیید قرار گرفته باشد. چنانچه در این ناحیه M ایستگاه هیدرومتری با N سال داده روزانه دبی وجود داشته باشد، در این صورت شاخص $RDI(t)$ مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Prudhomme and Sauquet 2007):

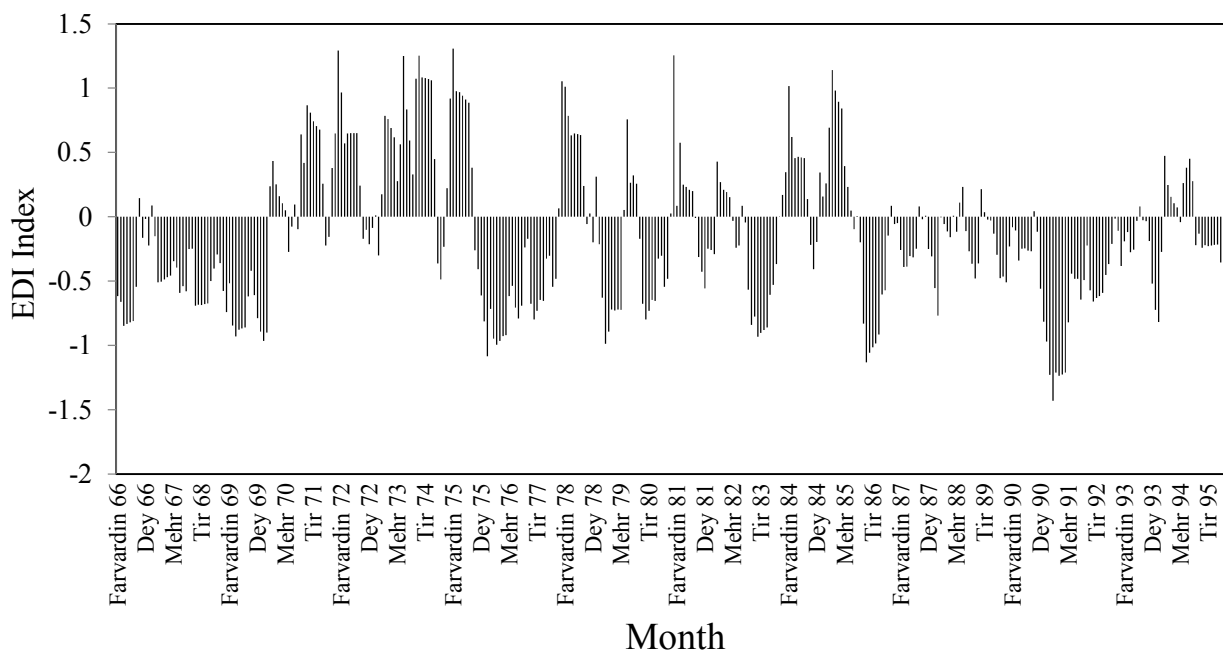
$$RDI(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M DI_i(t) \quad (6)$$



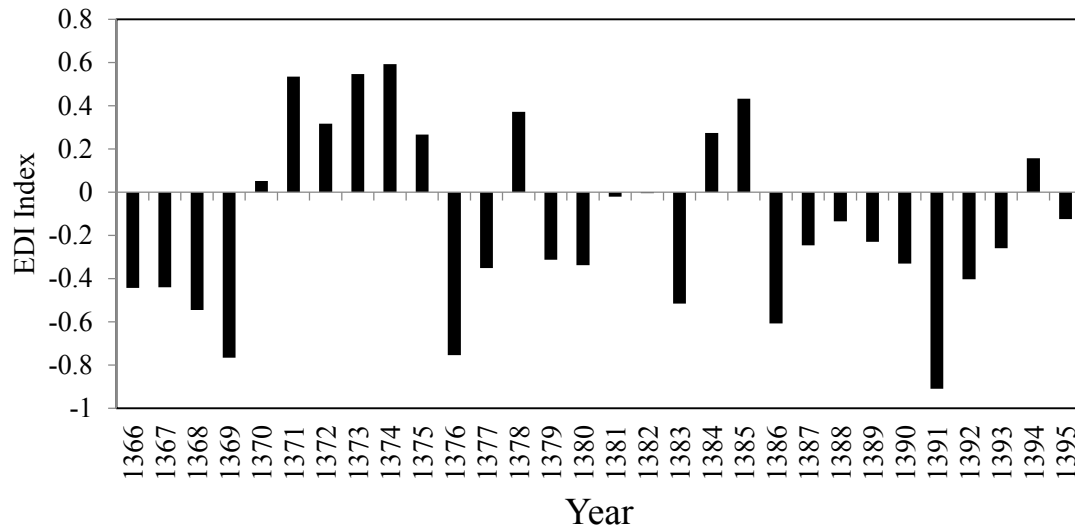
شکل ۲- نمودار بارندگی سالانه ایستگاه بروجرد
Fig. 2 Graph of annual rainfall of Borujerd station

ایستگاه بروجرد را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، ۱۳۹۱ خشک‌ترین سال بوده است. با توجه به بررسی داده‌ها، مشخص است که علت این امر بارش کم در آن محدوده‌ی زمانی بوده است. فروردین‌ماه سال ۱۳۷۵ مرطوب‌ترین ماه در طی ۳۰ Yr داده با شدت ۱/۳۰ است. در مقیاس سالانه نیز سال ۱۳۷۴ با شدت ۰/۵۹۴ مرطوب‌ترین سال است. نتایج سایر ایستگاه‌ها در جدول (۳) آمده است.

۳-۱-۳- بررسی خشک‌سالی در مقیاس سالانه و ماهانه با شاخص EDI
به‌منظور بررسی و پایش خشک‌سالی در مقیاس ماهانه، از نتایج شاخص برای هرماه میانگین‌گیری شد و نتایج به‌صورت نمودار ارائه گردید. شکل (۳) شاخص خشک‌سالی EDI در مقیاس ماهانه طی دوره ۳۰ Yr برای ایستگاه بروجرد را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، اردیبهشت‌ماه در سال ۱۳۹۱ خشک‌ترین ماه بوده است. همچنین شکل (۴) شاخص خشک‌سالی EDI را در مقیاس سالانه طی دوره ۳۰ Yr برای



شکل ۳- تغییرات شاخص EDI در مقیاس ماهانه ایستگاه بروجرد
Fig. 3 Changes in EDI index on a monthly scale of Borujerd station



شکل ۴- تغییرات شاخص EDI در مقیاس سالانه ایستگاه بروجرد

Fig. 4 Changes in EDI index in the annual scale of Broujerd station

جدول ۳- جدول نتایج شاخص EDI در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت خشک‌ترین ماه‌ها و سال‌ها

Table 3 Table of EDI index results in other stations studied as the driest months and years

Station	Lowest Annual Rainfall	The Driest Year	The Driest Month
Rahim Abad	1997	2007	March 2012
Chamchit	1990	1990	Dec. 1990
Chemzaman	2011	2011	Feb. 2011
Venaei-Golrud	2007	2011	April 2012

است. حداکثر خشک‌سالی نیز طی این دوره در روز ۲۰ آبان و با مقدار شاخص $0/61-$ مشاهده شده است. شکل (۵) وضعیت شاخص خشک‌سالی EDI و مقدار PRN را در حالت داده‌های منطقه‌ای شده‌ی بارش به روش میانگین‌گیری ریاضی نمایش می‌دهد. در این شکل همان‌طور که ملاحظه می‌شود وضعیت منطقه را، از آغاز تا پایان سال تحت دوره خشک و یا خشک‌سالی گزارش می‌کند. بدترین شرایط خشک‌سالی با توجه به این شکل، ۷ ماه اول سال ۱۳۹۱ است. برای بهتر نشان دادن اشکال، EDI در ۱۰ ضرب شده است.

۳-۱-۴- نتایج شاخص EDI به صورت منطقه‌ای به روش چندضلعی تیسن

در این روش داده‌های 30×30 روزانه بارش ۵ ایستگاه با استفاده از روش چندضلعی تیسن که در نرم‌افزار GIS محاسبه شد، به صورت منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. براساس این شاخص، خشک‌سالی‌ها در ۶ رتبه طبقه‌بندی می‌شوند ولی طبق محاسبات صورت گرفته رتبه خشک‌سالی بسیار شدید مشاهده نشد و تنها ۵ طبقه طی دوره آماری مورد مطالعه در این منطقه رخ داده است. با توجه به محاسبات، خشک‌سالی‌های شدید در سال‌های ۱۳۶۹،

۳-۱-۳- نتایج شاخص EDI به صورت منطقه‌ای به روش میانگین‌گیری ریاضی

داده‌های بارش با روش میانگین‌گیری به صورت منطقه‌ای درآمد و سپس شاخص EDI برای کل منطقه طی دوره 30×30 محاسبه گردید. بر اساس این شاخص، خشک‌سالی‌ها در ۶ رتبه طبقه‌بندی می‌شوند. طبق محاسبات به عمل آمده، خشک‌سالی‌های شدید در سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۴، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به وقوع پیوسته است؛ اما سال ۱۳۹۱ خشک‌سالی بسیار شدید رخ داده است. در این سال ۵ دوره خشک‌سالی به وقوع پیوسته و بیش‌ترین تداوم خشک‌سالی مربوط به تاریخ ۱ فروردین تا ۳ آبان است که خشک‌سالی شدید رخ داده است و تداوم واقعی خشک‌سالی در این دوره ۲۱۹ day است. حداکثر بارش مورد نیاز جهت برگشت به شرایط نرمال و اتمام خشک‌سالی $81/28 \text{ mm}$ بوده است. حداکثر شدت خشک‌سالی این دوره مقاداری برابر با $2/58-$ در روز ۱۳ اردیبهشت‌ماه رخ داده است. در مقابل کمترین تداوم خشک‌سالی در این سال به مدت ۱۰ روز، از ۱۱ آبان تا ۲۰ آبان ۱۳۹۱ طول کشیده است. در این دوره حداکثر بارش مورد نیاز برای بازگشت به حالت نرمال $19/04 \text{ mm}$ بوده

خشک‌سالی در این دوره ۲۱۷ روز است. حداکثر بارش موردنیاز جهت برگشت به شرایط نرمال و اتمام خشک‌سالی $185/76$ mm بوده است. حداکثر شدت خشک‌سالی این دوره مقداری برابر با $2/41$ ، در روز ۱۳ اردیبهشت‌ماه رخ داده است. در مقابل کمترین تداوم خشک‌سالی در این سال به مدت ۱۱ روز، از ۱۹ اسفند تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۱ طول کشیده است. در این دوره حداکثر بارش موردنیاز برای بازگشت به حالت نرمال $44/71$ mm بوده است. حداکثر خشک‌سالی نیز طی این دوره در روز ۲۷ اسفند و با مقدار شاخص $-0/63$ مشاهده شده است.

شکل (۶) وضعیت شاخص خشک‌سالی EDI و مقدار PRN را در حالت داده‌های منطقه‌ای شده بارش به روش تیسن نمایش می‌دهد. این نمودار وضعیت منطقه را، از آغاز تا پایان سال تحت دوره خشک و یا خشک‌سالی گزارش می‌کند. بدترین شرایط خشک‌سالی با توجه به این شکل، ۷ ماه اول سال ۱۳۹۱ است. برای بهتر نشان دادن اشکال، EDI در ۱۰ ضرب شده است.

۲-۳- نتایج شاخص خشک‌سالی RDI

۳-۱-۲- بررسی تغییرات دبی سالانه

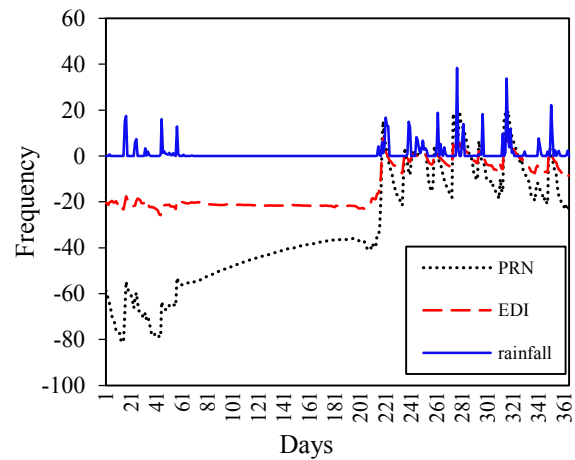
با محاسبه‌ی مجموع دبی سالانه در هر ایستگاه و رسم نمودار برای هر سه ایستگاه، شدت خشکی در این ۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور پرهیز از پرحجم شدن مقاله تنها نمودار دبی سالانه ایستگاه محمد حاجی ارائه شده است. شکل (۷) مجموع دبی سالانه ایستگاه محمد حاجی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار مشاهده می‌شود که کم‌ترین دبی مربوط به سال ۱۳۸۷ بوده است. مقدار دبی برای این سال، 345 m³/s بوده است. بیش‌ترین دبی مربوط به سال ۱۳۶۵ به مقدار $1589/91$ m³/s است.

۲-۳- نتایج شاخص خشک‌سالی RDI

۳-۱-۲- بررسی تغییرات دبی سالانه

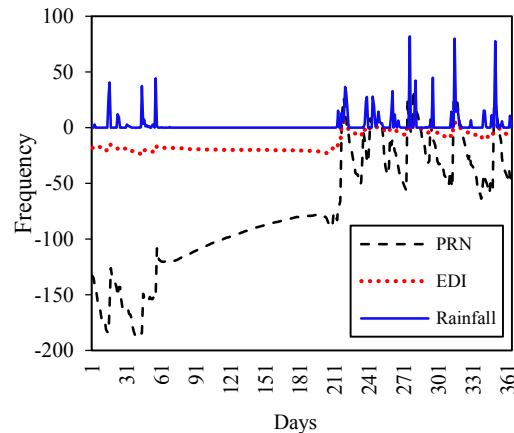
با محاسبه‌ی مجموع دبی سالانه در هر ایستگاه و رسم نمودار برای هر سه ایستگاه، شدت خشکی در این ۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور پرهیز از پرحجم شدن مقاله تنها نمودار دبی سالانه ایستگاه محمد حاجی ارائه شده است. شکل (۷) مجموع دبی سالانه ایستگاه محمد حاجی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار مشاهده می‌شود که کم‌ترین دبی

۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۶، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ رخ داده است؛ اما در این روش نیز، سال ۱۳۹۱ تعداد روزهای خشک‌سالی شدید بیش‌تر از سال‌های دیگر داشته است.



شکل ۵- نمودار تغییرات روزانه مربوط به بارندگی (داده‌های بارش منطقه‌ای شده به روش میانگین‌گیری ریاضی)، PRN (بارندگی موردنیاز برای برگشت به شرایط نرمال) و EDI (شاخص خشک‌سالی مؤثر) سال ۹۱

Fig. 5 Chart of daily changes related to rainfall (regional precipitation data by mathematical averaging method), PRN (rainfall required to return to normal conditions) and EDI (effective drought index) in 2012

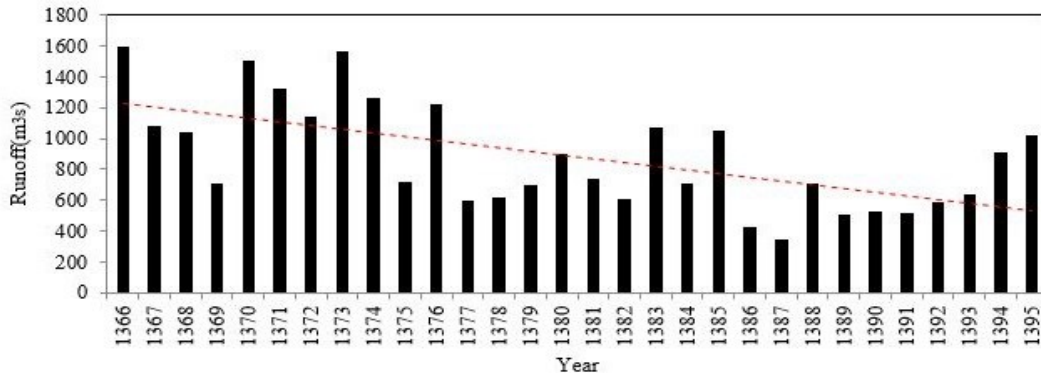


شکل ۶- تغییرات روزانه: مربوط به بارندگی (داده‌های بارش منطقه‌ای شده به روش چندضلعی تیسن)، PRN (بارندگی موردنیاز برای برگشت به شرایط نرمال) و EDI (شاخص خشک‌سالی مؤثر) سال ۱۳۹۱

Fig. 6 Daily changes related to rainfall (regionalized precipitation data by Thyssen polygon method), PRN (rainfall required to return to normal conditions) and EDI (effective drought index) in 2012

در این سال ۶ دوره خشک‌سالی به وقوع پیوسته و بیش‌ترین تداوم خشک‌سالی مربوط به تاریخ ۱ فروردین تا ۱ آبان است که خشک‌سالی شدید رخ داده است و تداوم واقعی

مربوط به سال ۱۳۸۷ بوده است. مقدار دبی برای این سال، به مقدار $1589/91 \text{ m}^3/\text{s}$ است. بیشترین دبی مربوط به سال ۱۳۶۵ $345 \text{ m}^3/\text{s}$ بوده است.

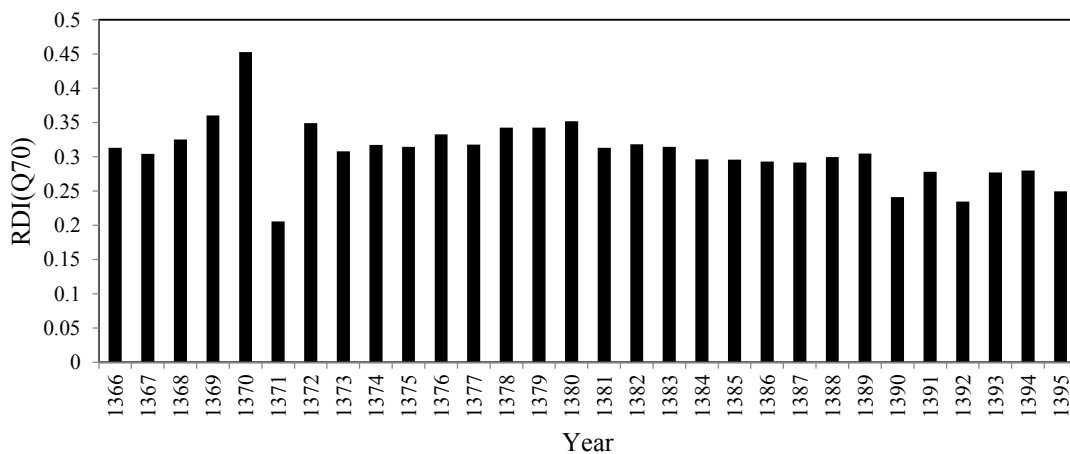


شکل ۷- دبی سالانه ایستگاه محمد حاجی

Fig. 7 Annual flow rate of Mohammad Haji station

تر، عدم وقوع خشکسالی را نشان می‌دهند. با جمع کردن شاخص‌های DI، مقدار منطقه‌ای آن تحت عنوان شاخص RDI به دست آمد. مقادیر بزرگ‌تر از $0/3$ ، نشان‌دهنده وقوع خشکسالی در آن منطقه است. شاخص RDI برای 30 yr آمار، با دبی آستانه Q_{70} برحسب روز در هر سال محاسبه و بررسی شد. طبق این محاسبات و شکل (۸)، سال ۱۳۷۰ با بیشترین مقدار RDI و بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی، خشک‌ترین سال شناخته شد. سال ۱۳۷۱ با کمترین مقدار RDI مرطوب‌ترین سال در بین 30 yr دوره آماری است. در این سال 301 day خشکسالی و 64 day شرایط نرمال را مشاهده می‌شود.

۳-۲-۲- بررسی خشکسالی در مقیاس سالانه و ماهانه با شاخص $RDI(Q_{70})$ با توجه به اهمیت جریان رودخانه در حوضه و نقش آن در تأمین آب منطقه، پایش روزانه خشکسالی با متغیر روزانه دبی مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که گفته شد، شاخص RDI نیاز به یک دبی آستانه دارد که برای این پژوهش Q_{70} و Q_{90} در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی دبی آستانه ابتدا برای هرروز بازه‌ای به طول ۱۰ روز قبل و ۱۰ روز بعد در نظر گرفته شد. سپس منحنی تداوم جریان برای بازه‌ی روزانه رسم شد. در مرحله‌ی بعد دبی آستانه (Q_{90} و Q_{70}) به دست آمد. شاخص DI از مقایسه‌ی دبی و دبی آستانه محاسبه شد که ارقام کمتر از دبی آستانه، وقوع خشکسالی و ارقام بیش-



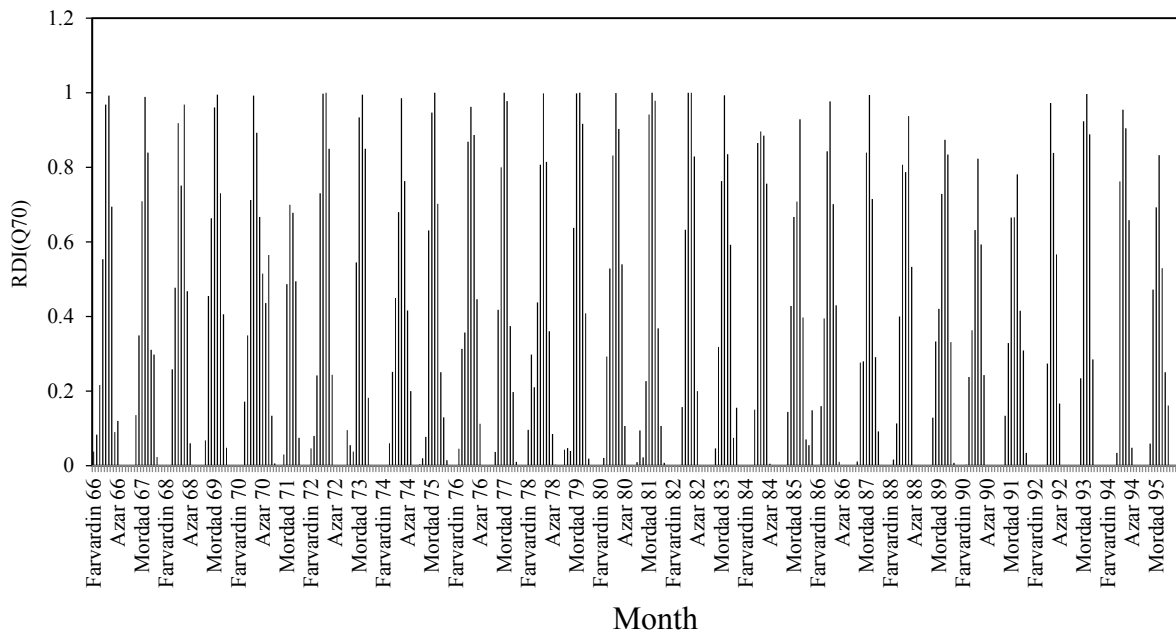
شکل ۸- نمودار تغییرات سالانه شاخص $RDI(Q_{70})$

Fig. 8 Graph of annual changes of RDI index (Q70)

شهریور ۱۳۷۹، شهریور ۱۳۸۱، شهریور و مهر ۱۳۸۲ است. همچنین روند نزولی خط روند نمودار نشان‌دهنده وجود خشکسالی بلندمدت در این منطقه است که با پژوهش

شکل (۹) نیز شاخص خشکسالی RDI را در مقیاس ماهانه با Q_{70} را نشان می‌دهد. طبق این نمودار خشک‌ترین ماه‌ها، مربوط به شهریور ۱۳۷۲، شهریور ۱۳۷۵، مرداد ۱۳۷۷،

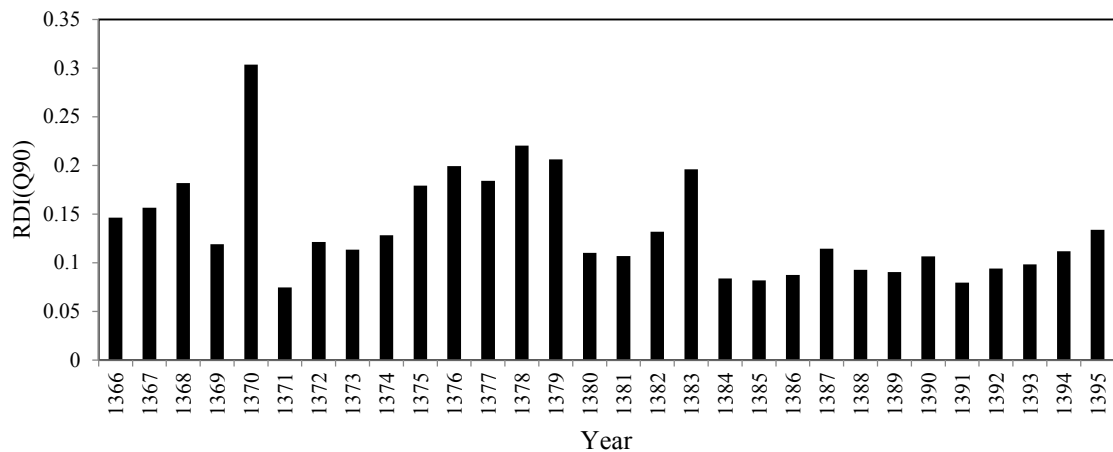
شاخص‌های SPI و SDI در حوضه دورود-بروجرد پرداختند، خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از (Gholami and Mesbahzade 2018) که به بررسی مطابقت دارد.



شکل ۹- نمودار تغییرات ماهانه شاخص RDI(Q70)
Fig. 9 Chart of monthly changes of RDI index (Q70)

مشاهده می‌شود روند کلی شاخص نزولی است که نشان‌دهنده ادامه روند خشک‌سالی در بلندمدت است که این نتایج با پژوهش‌ها (Byzedi و Tahmasbi Por et al. (2016) که به بررسی شاخص‌های خشک‌سالی در بروجرد پرداختند، همخوانی دارد.

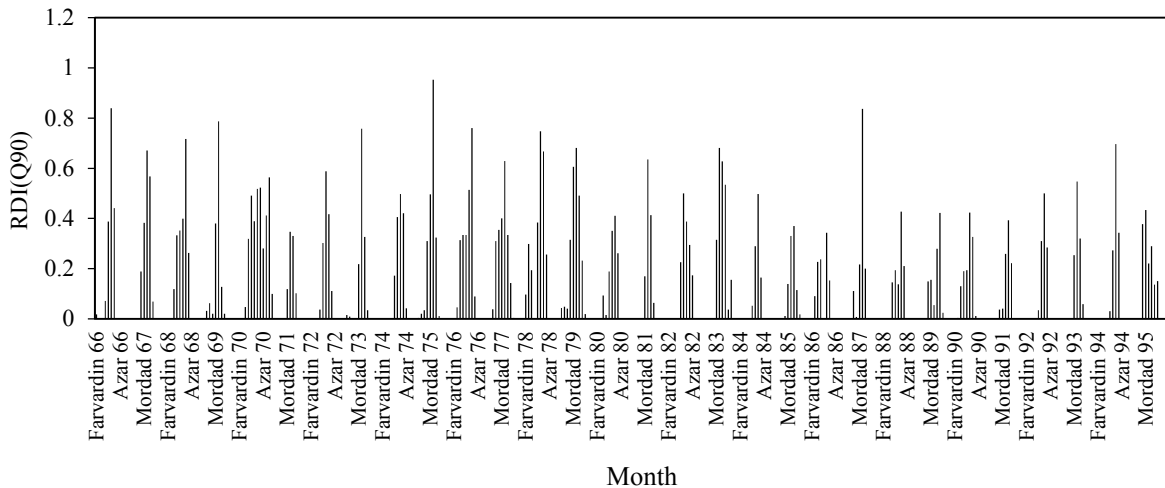
۳-۲-۳- بررسی خشک‌سالی در مقیاس سالانه و ماهانه با شاخص RDI(Q90) شکل (۱۰) تغییرات شاخص را در مقیاس‌های سالانه نشان می‌دهند. طبق این نمودارها، خشک‌ترین سال، مربوط به سال ۱۳۷۰ است. همچنین مرطوب‌ترین سال نیز، سال ۱۳۷۱ که کم‌ترین مقدار به‌دست‌آمده برای شاخص در این سال است. لذا همان‌طور که



شکل ۱۰- تغییرات سالانه شاخص خشک‌سالی RDI(Q90)
Fig. 10 Annual changes in RDI drought index (Q90)

مربوط به شهریور ۱۳۷۵ است. لذا روند کلی نمودار نزولی و نشان‌دهنده ادامه خشک‌سالی در بلندمدت است.

شکل (۱۱) نمایانگر تغییرات شاخص را در مقیاس‌های ماهانه است. با توجه محاسبات انجام‌شده مشخص شد که خشک‌ترین ماه،



شکل ۱۱- نمودار تغییرات ماهانه شاخص RDI(Q90)
Fig. 11 Monthly chart of RDI index (Q90)

دارد. شاخص RDI به علت استفاده از داده‌های دبی، بهتر می‌تواند به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب کمک کند. ۴- نتایج شاخص‌ها نشانگر این مطلب است که هر دو خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه دورود-بروجرد وجود داشته و با گذر زمان در حال پیشروی می‌باشند.

پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی از شاخص‌های خشک‌سالی دیگر که از پارامترهای بیش‌تری مانند تبخیر-تعرق، استفاده می‌کنند، در حوضه دورود-بروجرد استفاده شود. همچنین توصیه می‌شود خشک‌سالی در مقیاس فصلی و نیز آستانه‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

References

- Byun, H. R. and Wilhite, D. A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim.*, 12(9), 2747-2756. DOI:10.1175/1520-0442(1999)012%3C2747:OQODSA%3E2.0.CO;2.
- Byzedi, M. (2018). Evaluation of drought in western synoptic stations using Herbst and neuro-fuzzy method. *Iran. Water Resour. Res.*, 14(1), 278-284 [In Persian].
- Daneshmand, H. and Mahmudi, P. (2016). Spectral analysis of Iranian droughts. *Iran. J. Geophys.*, 10(4), 28-47 [In Persian].
- Deo, R. C., Byun, H. R., Adamowski, J. F. and Begum, K. (2017). Application of effective drought index for quantification of meteorological drought events: a case study in Australia. *Theor. Appl. Clim.*, 128(1-2), 359-379. DOI:10.1007/s00704-015-1706-5.
- Ekhthiari, S. and Dinpajuh, Y. (2018). Application of effective drought index (EDI) to study droughts (Case study: Tabriz, Bandar Anzali and Zahedan stations). *J. Irrig. Sci. Eng.*, 41(1), 133-145 [In Persian]. DOI:10.22055/jise.2018.13455.
- Ensafi Moghadam, T. (2007). Evaluation of several climatic drought indices and

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، قابلیت شاخص‌های خشک‌سالی RDI و EDI برای پایش زمانی خشک‌سالی در حوضه دورود-بروجرد و برای ۳۰ یار آمار مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که:

۱- سال ۱۳۹۱ خشک‌ترین سال توسط شاخص EDI در مقیاس‌های ماهانه و سالانه با دو روش میانگین‌گیری ریاضی و چندضلعی تیسن، اعلام شد.

۲- شاخص RDI، با دبی آستانه Q70 و Q90 سال ۱۳۷۰ را خشک‌ترین سال اعلام داشته است.

۳- در هر دو شاخص سال‌های خشک مشترکی مانند سال ۱۳۷۶، اعلام شده است. شاخص RDI به علت استفاده از داده‌های دبی، قابلیت اعلام خشک‌سالی در اثر کمبود دبی را

- determination of the most appropriate index in the Salt Lake basin. *Iran. J. Range Desert Res.*, 14(2), 271-288 [In Persian].
- Gholami, F. and Mesbahzade, T. (2018). Analysis and zoning of meteorological and hydrological drought in Dorod – Boroujerd. *International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries* [In Persian].
- Kampragou, E., Apostolaki, S., Manoli, E., Froebrich, J. and Assimacopoulos, D. (2011). Towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. *Environ. Sci. Policy*, 14(7), 815-824. DOI:10.1016/j.envsci.2011.04.001.
- Kamruzzaman, M., Hwang, S., Cho, J., Jang, M. W. and Jeong, H. (2019). Evaluating the spatiotemporal characteristics of agricultural drought in Bangladesh using effective drought index. *Water*, 11(12), 2437. DOI:10.3390/w11122437.
- Karzarjodivand, R. and Shokri, M. (2016). Water resources management is an undeniable necessity in Iran. *International Conference of Management Elites, Tehran* [In Persian].
- Mahmudi, R., Zare, R. and Alimirzaei, Z. (2019). Meteorological and hydrological monitoring of North Karun watershed. *Hydrogeomorph.*, 15(4), 115-133 [In Persian].
- Malek Sabet, M., Zare, M., Mokhtari, M. and Kosari, M. (2015). Evaluation of meteorological drought indices and drought indices based on remote sensing data. *J. Desert Geogr. Explor.*, 3(1), 101-118 [In Persian].
- Moghadasi, M., Morid, S., Ghaemi, H. and Mohammad Valisamani, J. (2004). Daily monitoring of drought in Tehran province. *Iran. J. Agri. Sci.*, 36(1), 51-62 [In Persian].
- Musavi, M. and Khosravipur, B. (2012). Drought crisis (importance, factors and strategies). The first national conference on agriculture in difficult environmental conditions, Ramhormoz, Islamic Azad University, Ramhormoz Branch [In Persian].
- Omolola, M. A., Muthoni, M. and Joel, O. B. (2021). Assessment of the dissimilarities of EDI and SPI measures for drought determination in South Africa. *Water*, 13(82), 1-17. <https://doi.org/10.3390/w13010082>.
- Prudhomme, C. and Sauquet, E. (2007). Modelling a regional drought index in France. *Euraqua report, CEH and Cemagref*. 57 PP.
- Shokuhi, E. S. and Zare, M. (2020). Determining meteorological drought indicators of Tangestan city using DIP software. 15th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. Sari [In Persian].
- Stahl, K. (2001). Hydrological Drought-A Study across Europe. Ph.D. Thesis. Albert-Ludwigs University, Germany. 129pp.
- Tahmasbi Por, N., Ghorbani Nejad, S. and Arshia, A. (2018). 11th International Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran. Iran. 383-394 [In Persian].
- Wable, P. S., Jha, M. K. and Shekhar, A. (2019). Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. *Water Resour. Manage.*, 33(1), 75-102. DOI:10.1007/s11269-018-2089-z.
- Zohrevandi, H. and Ahmadi, N. (2011). Climate change hinders sustainable development. National Conference on Environmental Sciences and Sustainable Development, Malayer [In Persian].

Research Paper

Comparison of Hydrological and Meteorological Drought Monitoring using RDI and EDI Indices**Mobina Ahmadi¹, Shahla Paimozd^{2*} and Mahdi Rahimi³**¹M. Sc. Student, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran²Assist. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran³M.Sc. Alumni, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran***Corresponding author:** s-paimozd@araku.ac.ir**Received:** March 07, 2021**Revised:** April 20, 2021**Accepted:** June 09, 2021**Abstract**

Drought is a natural event that causes water deficit in many countries every year. Arid and semi-arid climate and inappropriate distribution of rain in terms of spatially and temporally has caused doubled increase of negative effects of water deficit in Iran. It is necessary to study drought phenomenon in order to plan and manage encountering with this phenomenon. In this research, the meteorological and hydrological drought situation of Doroud-Boroujerd basin was investigated using data from five meteorological stations and three hydrometric stations from 1987 to 2016. For this purpose, EDI drought meteorological index and RDI drought hydrological index with threshold discharges of Q_{70} and Q_{90} were used. The daily precipitation data were used to calculate EDI index and daily discharge data were used to determine RDI index. The results were assessed and compared on annual, monthly and regional scale. The results indicated the prevalence of normal and moderate droughts in most areas of the basin. Moreover, it was found that the EDI index is less sensitive to the length of the statistical period and has logical time changes; hence, it has the capability required for use in drought monitoring system. This index determined 2012 as the driest year. In addition, RDI index showed 1991 as the driest year in both discharge cases, Q_{70} and Q_{90} threshold.

Keywords: Drought; Threshold Discharge; Water Resource Management; Watershed