

تحلیل وضعیت جریان رودخانه با استفاده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی - زیست‌محیطی

علیرضا اسلامی^{۱*} و علیرضا شکوهی^۲

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و ^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۰۵

چکیده

با توجه به گستردگی، تنوع و پیچیدگی فرآیندهای هیدرولوژیکی، تحلیل این جنبه از خشک‌سالی، داده‌ها و اطلاعات زیادی را طلب می‌کند. از این رو دستیابی به شاخصی با ویژگی‌های به‌کارگیری از داده‌های مشاهداتی، سهولت برآورد و برخورداری از اعتبار کافی که قابلیت تحلیل این نوع خشک‌سالی را نیز داشته باشد، مورد نیاز و ارزشمند است. در این بررسی شاخصی که هر دو جنبه خشک‌سالی هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی را دارا است، معرفی شده است. شالوده روش ارائه شده بر استفاده از منحنی تداوم جریان به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی و جریان‌های کم، پایه‌ریزی شده است. کارایی شاخص مورد نظر (FDCI) با یکی از شاخص‌های جدید ارائه شده یعنی Stream flow Drought Index (SDI) مورد مقایسه قرار گرفته است. برای پیاده‌سازی روش، سه رودخانه دائمی از نواحی مختلف کشور (حوضه چالوس، جویستان و فریزی) با اقلیم و طول دوره آماری متفاوت، انتخاب شد. نتایج نشان داد که هم‌بستگی بسیار بالایی بین شاخص به‌دست آمده با شاخص SDI (ضریب تعیین $R^2 = 0.98$ و خطای استاندارد $SE = 0.02$) وجود دارد. برتری شاخص پیشنهادی در به‌کارگیری اصل داده‌های تاریخی با بیشترین مشاهدات و بدون هیچ‌گونه تغییر در اصل داده‌هاست. از این‌رو، کاربرد شاخص FDCI برای تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه‌های واقع در مناطق شبه‌مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک، به‌عنوان نتیجه اصلی این پژوهش محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مناطق شبه‌مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک، منحنی تداوم جریان، FDCI، SDI

مقدمه

خصوص شاخص‌های PHDI (Guttman) ۱۹۹۱ و Palmer (Palmer, ۱۹۶۵) و SWSI (Kim و Kwon) ۲۰۱۰ و Shafer و Dezman (۱۹۸۲) به‌دلیل نیازمندی به داده‌های زیاد عملاً در بسیاری از مناطق دنیا کارایی ندارند. از این منظر، پژوهشگران بسیاری لزوم ارائه شاخصی ساده، قابل فهم و انجام شدنی را با استفاده از

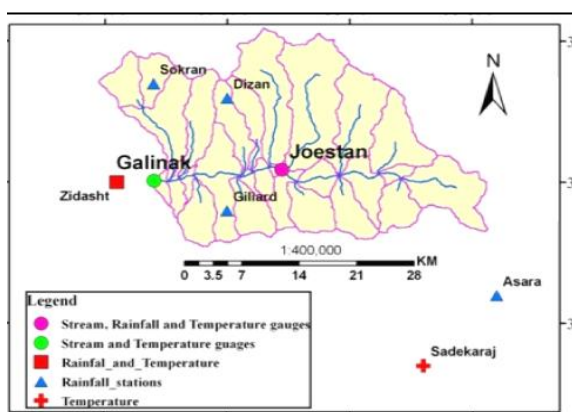
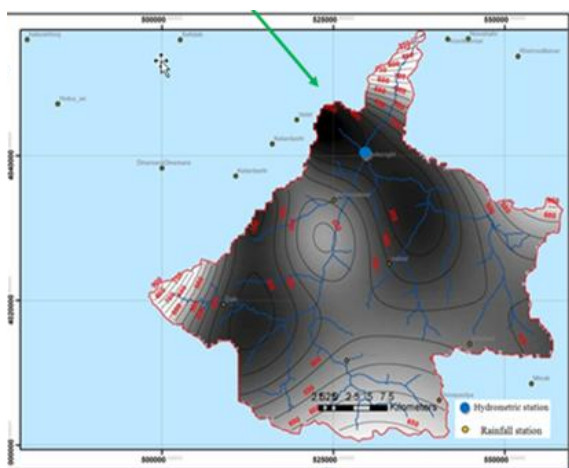
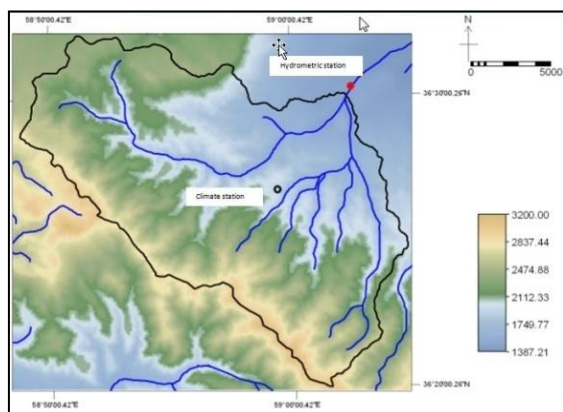
خشک‌سالی هیدرولوژیکی با کمبود جریان در جنبه‌های مختلفی از جمله جریان سطحی رودخانه‌ها، سطح مخازن و افت سطح ایستابی در سفره‌های آب زیرزمینی بروز می‌کند. به‌دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر سیکل هیدرولوژیکی، شناخت و تفسیر این نوع خشک‌سالی نیازمند داده‌های زیاد با طول دوره آماری بلندمدت و دخالت متغیرهای متنوعی است. در این

^۱ Palmer Hydrological Drought Index

^۲ Surface Water Supply Index

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: برای انجام این پژوهش سه منطقه متفاوت از نظر اقلیمی و مورفومتری به‌ویژه سطح زهکشی حوزه آبخیز بالادست، از سه ناحیه مختلف ایران انتخاب شد (شکل ۱).



شکل ۱- مناطق مورد پژوهش (رودخانه چالوس، فریزی و جوستان)

داده‌های سهل‌الوصول مانند دبی جریان سطحی رودخانه را مورد تاکید قرار داده‌اند. حاصل تلاش پژوهشگران، از جمله (Tsakiris و Nalbantis, ۲۰۰۹) منجر به ارائه شاخص هیدرولوژیکی^۱ SDI شده است. همچنین، در این راستا می‌توان به شاخص‌هایی چون HDI^۲ (Dakova, ۲۰۰۴) اشاره نمود. DSI^۳، SWI^۴ و یا شاخص مبتنی بر کمترین داده‌های قابل دسترس به‌عنوان ابزار تعیین‌کننده وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه، از ارزش بالایی برخوردار است.

هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی معتبر و کارآمد از طریق به‌کارگیری سری تاریخی داده‌های مشاهداتی جریان رودخانه است. در واقع در این بررسی توجه به پتانسیل و قابلیت منحنی تداوم جریان در شناسایی و تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی مدنظر است که پیش از این به‌وسیله Smakhtin (۲۰۰۱) و Hisdal و همکاران (۲۰۰۴) مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در این خصوص Edossa و همکاران (۲۰۰۹) نیز شاخص‌های جریان بین Q_{70} تا Q_{95} را در تحلیل شدت خشک‌سالی در منطقه‌ای از آفریقا به‌کار گرفته‌اند. همچنین، Yusuf (۲۰۰۸) با استفاده از منحنی تداوم جریان، رژیم جریان را در برخی از رودخانه‌های شمال شرق آمریکا در سه طبقه، جریان‌های بیشینه ($Q \geq Q_{10}$)، جریان‌های متوسط در دامنه ($Q_{60} \leq Q \leq Q_{20}$) و جریان‌های کمینه در دامنه ($Q_{99} \leq Q \leq Q_{70}$) دسته‌بندی نمود. Bayazidi و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از منحنی تداوم جریان و انتخاب حدود آستانه Q_{70} و Q_{90} ، مشخصه‌های حجم کمبود و تداوم خشک‌سالی هیدرولوژیکی را در حوزه آبخیز کارون تحلیل کردند. در این پژوهش معیارهای زیست‌محیطی موثر در تعیین طبقه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی مبتنی بر روش منحنی تداوم جریان نیز (Rivera-Ramirez و همکاران، ۲۰۰۲) مورد توجه قرار گرفت.

¹ Stream flow Drought Index

² Drought Severity Index

³ Standardize Water level Index

⁴ Hydrological drought index

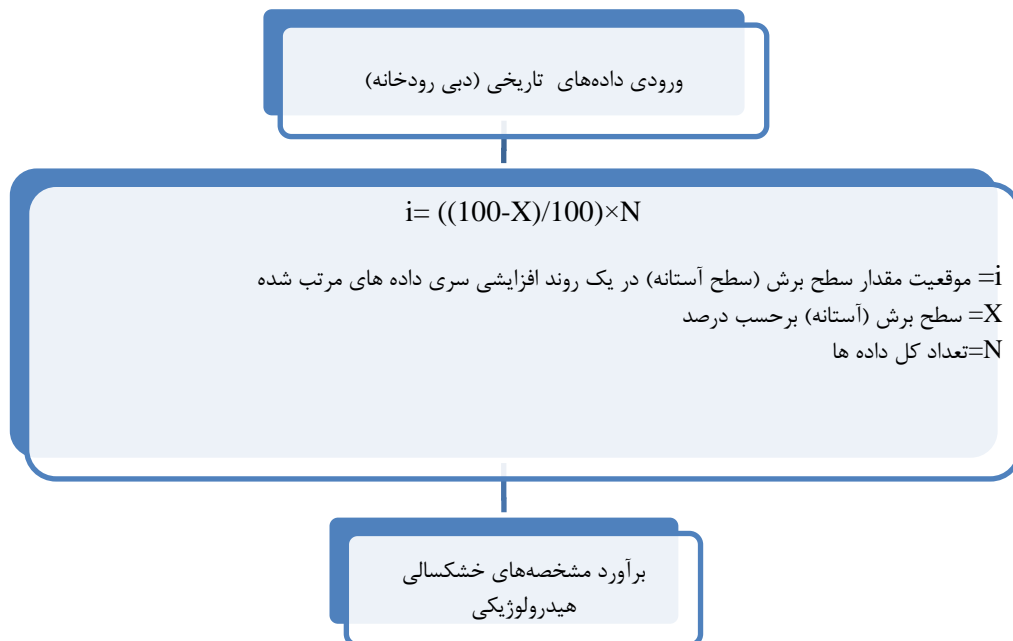
موقعیت مناطق مورد پژوهش یعنی رودخانه‌های چالوس از استان مازندران، جوستان از استان قزوین و

سال ۱۳۷۱ تا شهریور ۱۳۸۴ با ۱۵۶ داده و برای فریزی آمار بین سال‌های آبی ۱۳۶۰-۱۳۵۹ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۵ با ۳۲۴ داده به‌کار گرفته شد.

شاخص مناسب خشک‌سالی هیدرولوژیکی و تعیین وضعیت‌های مختلف جریان: طبقه‌بندی وضعیت‌های مختلف هیدرولوژیکی رودخانه با استفاده از سری داده‌های منحنی تداوم جریان به‌عنوان یکی از شاخص‌های تحلیل خشک‌سالی جریان انجام شد. در این میان، روش مبتنی بر مقادیر صدک‌های منحنی تداوم جریان به‌عنوان سطوح آستانه برای تعیین وضعیت‌های مختلف هیدرولوژیکی جریان رودخانه (خشک‌سالی، نرمال و ترسالی) استفاده شد (شکل ۲).

فریزی از استان خراسان رضوی به‌ترتیب با وسعتی حدود ۹۸۰، ۴۱۲ و ۲۷۲ کیلومتر مربع نسبت به محل ایستگاه آب‌سنجی در شکل ۱ نشان داده شده است. در حوضه چالوس، داده‌های دبی رودخانه با یک ایستگاه آب‌سنجی (پل ذغال) بر روی رودخانه چالوس اندازه‌گیری شد. در خروجی هر یک از حوضه‌های جویستان و فریزی نیز یک ایستگاه آب‌سنجی وضعیت جریان رودخانه را پایش کرده است.

داده‌های دبی جریان سطحی رودخانه: برای انجام این پژوهش داده‌های دبی روزانه و ماهانه سه رودخانه دائمی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور برای حوضه چالوس دوره آماری از مهر سال ۱۳۵۴ تا شهریور ۱۳۸۴ با ۳۷۲ داده ماهانه، جویستان از مهر



شکل ۲- روند استخراج و برآورد مشخصه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از منحنی تداوم جریان (Edossa, ۲۰۰۹)

شاخصی متداول که امروزه در وزارت نیرو نیز کاربرد دارد، نشان می‌دهد (Shokoohi و Raziei, ۲۰۱۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی شرایط هیدرولوژیکی جریان رودخانه براساس شاخص درصد نرمال (PNI)

توصیف طبقه	نرمال یا ترسالی	قابل تحمل	تنش کمبود بحرانی
درصد کمبود جریان	۰	۳۰ <	۴۰ - ۸۵
		۴۰	۶۰

با استفاده از این روش مقادیر جریان ماهانه به دوره‌های ترسالی، نرمال و خشک‌سالی گروه‌بندی شد. تعیین آستانه ورود به دوره خشک‌سالی (IDS^۱) با توجه به معیار درصد کمبود نسبت به میانگین درازمدت (شاخص متداول PNI^۲) و نیز توجه به وضعیت ذاتی داده‌ها به لحاظ مشخصه‌های آماری انتخاب شد. جدول ۱ شاخص PNI را به‌عنوان

^۱ Incipient Dry Spell

^۲ Percent Normal Index

شاخص مبتنی بر منحنی تداوم جریان از نظر خشک‌سالی، نرمال و یا ترسالی تعیین وضعیت شد. در نهایت نتایج کاربرد دو شاخص برای فصل پاییز مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۲ طبقه‌بندی با استفاده از شاخص SDI را نشان می‌دهد.

جدول ۲- طبقه‌بندی هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه بر اساس شاخص SDI (Nalbantis و Tsakiris, ۲۰۰۹)

توصیف طبقه	نرمال یا ترسالی	خشک خفیف	خشک متوسط	خشک سالی شدید	خشک سالی بسیار شدید
معیار شاخص	SDI ≥ 0	SDI ≤ -1	SDI ≤ -1.5	SDI ≤ -2	SDI < -2
	≥ 0	< -1	< -1.5	< -2	< -2

نتایج و بحث

شاخص‌های جریان و مشخصات آماری مربوط به سه رودخانه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین درازمدت سری داده‌ها به مراتب بزرگ‌تر از میانه آن‌هاست، به طوری که نسبت میانه به میانگین سری زمانی در هر یک از سه حوزه آبخیز به ترتیب برای رودخانه فریزی ۰/۴۴، جویستان ۰/۵۱ و چالوس ۰/۶۵ به دست آمد. این بدان معناست، زمانی که جریان رودخانه نزدیک به مقدار میانه رخ می‌دهد، در واقع کمبود جریانی در حدود ۶۶، ۴۹ و ۳۵ درصد نسبت به مقدار میانگین درازمدت به ترتیب در رودخانه‌های مذکور حادث می‌شود.

چنانچه به معیارهای مندرج در جدول ۱ (بند ۳-۲) توجه شود، عملاً مقادیر میانه داده‌ها وضعیت هیدرولوژیکی در رودخانه‌های فریزی، جویستان و چالوس را به ترتیب بحرانی، کمبود و تحت تنش دسته‌بندی می‌کند. گرچه، مقادیر میانه وقایع نسبت به میانگین آن‌ها به خصلت چولگی داده‌ها یا عدم چوله بودن سری زمانی مربوط است، اما گویای این مهم است که در رودخانه‌های با چنین رژیم جریانی، استفاده از میانگین درازمدت به منظور شاخصی برای تعیین آستانه خشک‌سالی از کفایت لازم برخوردار نیست. تا جایی که وقوع مقادیر میانگین جریان، گرایش به سمت مقادیر حدی بالا داشته و در نتیجه

در طبقه‌بندی زیرطبقات جریان از منطق دهک‌ها (Smith و همکاران، ۱۹۹۳؛ Coughlan، ۱۹۸۷ و Keyantash و Dracup، ۲۰۰۲) استفاده شد. به علاوه، معیارهای زیست‌محیطی نیز در تشخیص زیرطبقات خشک‌سالی مورد توجه قرار گرفت.

مقایسه کارایی شاخص پیشنهادی با شاخص متداول خشک‌سالی جریان سطحی (SDI):

به منظور بررسی کارایی شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی پیشنهادی، این شاخص با یکی از شاخص‌های متداول (شاخص SDI) که به وسیله Nalbantis و Tsakiris (۲۰۰۹) معرفی شده، مقایسه شد. دلیل انتخاب این شاخص استفاده از تنها متغیر جریان سطحی رودخانه بود که در واقع ویژگی و قابلیت خوب این شاخص است. در شاخص SDI که به نوعی برگرفته از منطق شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI¹) است (McKee و همکاران، ۱۹۹۵)، گام زمانی سه‌ماهه (مثلاً جریان تجمعی از مهر تا آذر ماه) برای تحلیل و تعیین وضعیت خشک‌سالی استفاده می‌شود. در این خصوص شاخص SDI با استفاده از داده‌های دبی رودخانه طبق روابط (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$SDI_{j,k} = V_{j,k} - V_k / S_k \quad i = 1, 2, \dots$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$V_{j,k} = \sum_{i=1}^{3k} Q_{i,j} \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad (2)$$

که در آن، i سال هیدرولوژیکی، j ماه (مثلاً برای ماه مهر $j=1$ و برای ماه شهریور $j=12$)، K دوره زمانی، Q مقادیر حجمی جریان سطحی ماهانه، V مقادیر حجمی جریان تجمعی و همچنین، پارامترهای V_k و S_k به ترتیب میانگین و انحراف از معیار سری داده‌های تجمعی دبی است.

به منظور مقایسه مناسب وقایع از داده‌های منحنی تداوم جریان با دوره زمانی سه‌ماهه استفاده شد، به طوری که میانگین‌گیری از دبی شاخص روزانه برای یک بازه زمانی سه‌ماهه مبنای مقایسه قرار گرفت. بر این اساس وقایع هر یک از فصول چهارگانه یعنی پاییز (مهر تا آذر)، زمستان (دی تا اسفند)، بهار (فروردین تا خرداد) و تابستان (تیر تا شهریور) با استفاده از

¹ Standardize Precipitation Index

شاخص‌های زیست‌محیطی (Q_{90}) و (Q_{95}) است، که در تعیین وضعیت جریان رودخانه با شدت خشک‌سالی شدید و بسیار شدید ایفاء نقش می‌کنند. شکل ۳ حالت کلی اعمال شاخص مورد نظر را بر روی منحنی تداوم جریان برای رودخانه جویستان نشان می‌دهد. همچنین، نتایج تعیین وضعیت‌های مختلف هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص FDCI، برای رودخانه فریزی، در جدول ۵ ارائه شده است.

نمی‌تواند معیاری برای سنجش آستانه کمبود جریان باشد. از این دیدگاه با توجه به میانه داده‌ها و نیز در نظر گرفتن یک بازه ۲۰ درصدی به‌عنوان شرایط نرمال جریان، دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی برای این رودخانه‌ها بر اساس منحنی تداوم جریان (FDCI) گروه‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴ جزئیات طبقه‌بندی شاخص پیشنهادی را نشان می‌دهد. نکته حائز اهمیت در طبقه‌بندی این شاخص در نظر گرفتن

جدول ۳- شاخص‌های جریان و پارامترهای آماری داده‌های دبی رودخانه‌های مورد مطالعه

شاخص جریان (مترمکعب در ثانیه)	چالوس	جویستان	فریزی	شاخص جریان (مترمکعب در ثانیه)	چالوس	جویستان	فریزی
Q_{10}	۲۹	۲۳	۷/۴	Q_{70}	۷/۷۵	۳/۲	۰/۴۹
Q_{30}	۱۵/۳	۹/۱	۱/۳۵	Q_{80}	۷	۳/۱	۰/۳۴
Q_{50} (دبی میانه)	۹/۶	۴/۳	۰/۷	Q_{90}	۶/۱	۲/۹۵	۰/۲
Q_{mean} (دبی متوسط)	۱۴/۲۵	۸/۵	۱/۶	Q_{95}	۵/۲۴	۲/۹	۰/۱
انحراف از معیار	۱۰/۴۵	۸/۷۸	۲/۵	چولگی داده‌ها	۱/۲۶	۱/۴۲	۱/۸

جدول ۴- شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی- زیست‌محیطی با استفاده از منحنی تداوم جریان

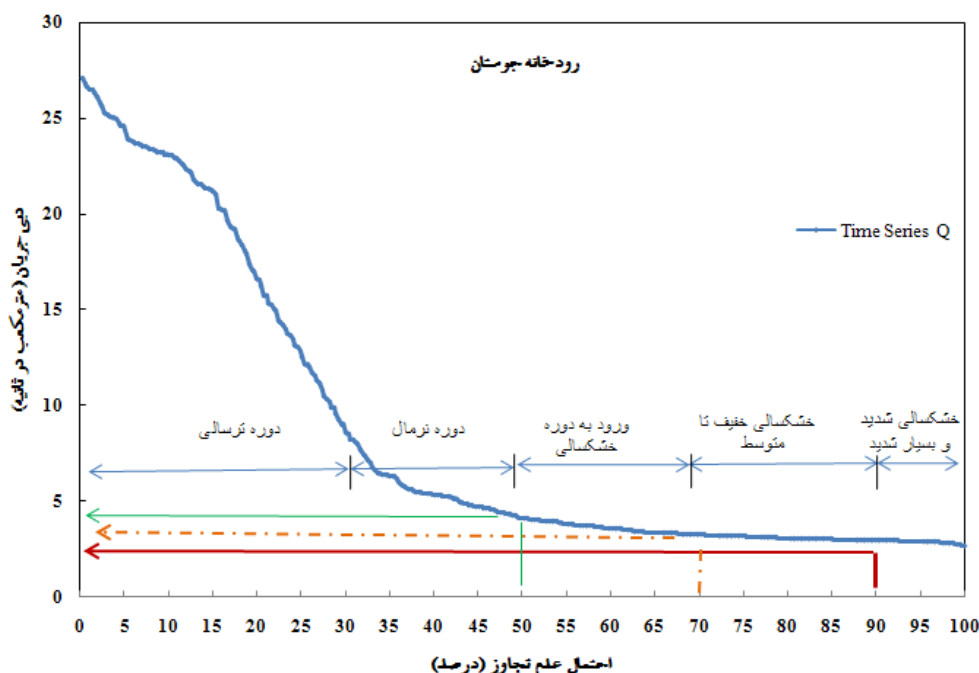
وضعیت هیدرولوژیکی	سطوح آستانه جریان	وضعیت هیدرولوژیکی	سطوح آستانه جریان
ترسالی	$Q > Q_{30}$	خشک‌سالی متوسط	$Q_{80} - Q_{90}$
نرمال	$Q_{30} - Q_{50}$	خشک‌سالی شدید	$Q_{90} - Q_{95}$
ورود به دوره خشک‌سالی	$Q_{50} - Q_{70}$	خشک‌سالی بسیار شدید	$Q < Q_{95}$
خشک‌سالی خفیف	$Q_{70} - Q_{80}$		

وضعیت داده است. اما این تغییر وضعیت به گونه‌ای نیست که سامانه هیدرولوژیکی رودخانه بتواند وضعیت نرمال خود را تا پایان سال آبی ولو در نزدیک به وضعیت خشک‌سالی ضعیف حفظ نماید. بنابراین، مجدداً از ماه اردیبهشت از نرمال به خشک‌سالی ضعیف و پس از آن با شیب بسیار تندتری در ماه‌های بعدی به سمت خشک‌سالی بسیار شدید پیش می‌رود. اما نتایج مربوط به سال آبی ۶۰-۱۳۵۹ بیانگر آن است که با وجود شروع سال آبی با وضعیت خشک‌سالی

مطابق جدول ۵ نتایج تحلیل وضعیت‌های مختلف هیدرولوژیکی به‌عنوان مثال در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ نشان می‌دهد که سامانه رودخانه در شروع سال (مهرماه) متأثر از یک خشک‌سالی پیشین با وضعیت خشک‌سالی شدید روبرو بوده است. با توجه به شرایط جدید حاکم بر رودخانه در ماه‌های آبی آبان تا بهمن در تله خشک‌سالی با شدت کمتری (خشک‌سالی ملایم و متوسط) گرفتار بوده است، تا این که در طی ماه‌های اسفند و فروردین کم‌کم به شرایط نرمال تغییر

SDI نشان داد که هر دوی این شاخص‌ها روند بسیار مشابهی را در تشخیص وقایع متناظر دارند. شکل ۴ نمودار تغییرات مقادیر دو شاخص را برای فصل پاییز (شروع از مهرماه و منتهی به آذرماه) رودخانه فریزی در طول دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد.

متوسط در طی فصل پاییز، سامانه هیدرولوژیکی رودخانه با توجه به ریزش‌های جوی در فصل زمستان و به‌ویژه ذوب برف در فصل بهار حتی تابستانی با شرایط مساعد و نرمال را دارد. مقایسه شاخص مبتنی بر منحنی تداوم جریان (FDCI) در مقابل با شاخص



شکل ۳- منحنی تداوم جریان رودخانه جوستان و تعیین وضعیت هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی-زیست‌محیطی

بررسی قرار گرفته و کارایی آن در مقایسه با روش‌هایی نظیر شاخص SDI (Tsakiris و Nalbantis, ۲۰۰۹) برای برآورد خشک‌سالی جریان رودخانه‌ها نشان داده شده است. با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که منحنی تداوم جریان از همه مشخصات یک روش پایه برای تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی برخوردار است. روش مزبور برای تولید اطلاعات اولیه مورد نیاز برای تحلیل خشک‌سالی از هیچ پیش فرضی که مبتنی بر تعریف توزیع احتمالاتی غالب بر داده‌های خام (دبی رودخانه) باشد، استفاده نمی‌کند و از این دیدگاه عملاً یک روش ناپارامتری محسوب می‌شود.

روش پیشنهاد شده در عین آن‌که از کل سری زمانی و بدون اعمال هرگونه فیلتر بهره می‌جوید،

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود شاخص FDCI به‌طور کلی شدت خشک‌سالی را بیشتر از شاخص SDI برآورد می‌نماید. به عبارت دیگر، نسبت به تشخیص خشک‌سالی از حساسیت بیشتری برخوردار است. این تفاوت عملکردی به ماهیت پیاده‌سازی روش مربوط است. به‌طوری‌که در شاخص SDI جریان تجمعی از مهر تا آذر در نظر گرفته می‌شود، در صورتی‌که در منطق شاخص FDCI متوسط دوره ملاک عمل قرار می‌گیرد. همچنین، معادله هم‌بستگی بین مقادیر شاخص SDI و FDCI در رودخانه فریزی (رابطه ۳) نیز بیانگر تشابه قوی روند تعیین وضعیت هیدرولوژیکی دو شاخص مذکور است.

$$FDCI = 0.514 \times (SDI) - 1.071 \quad R^2 = 0.98$$

$$S.E = 0.02 \quad (3)$$

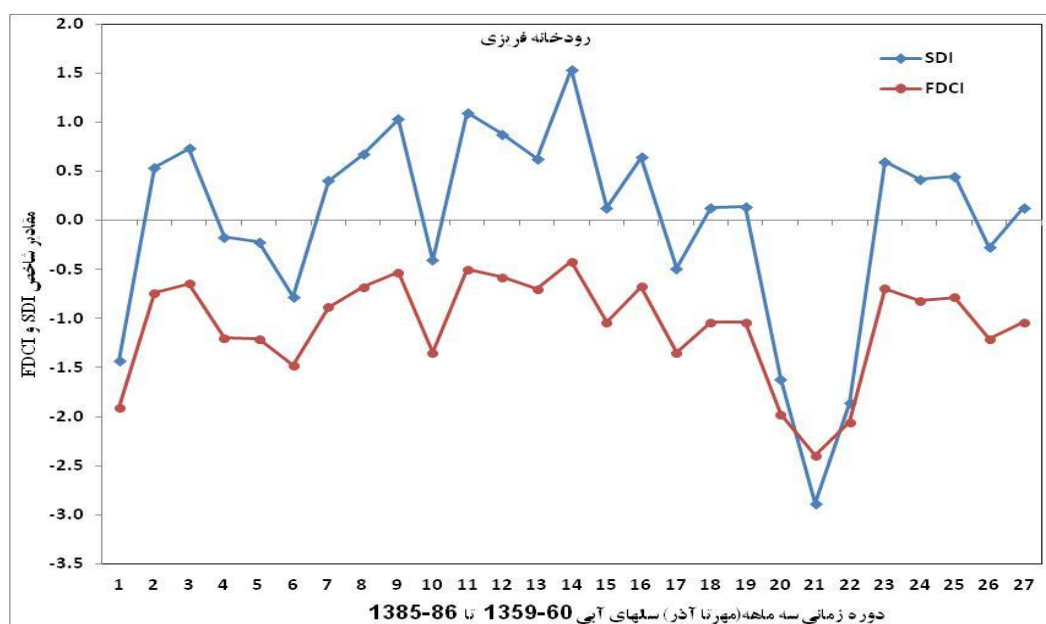
در این پژوهش با استفاده از منحنی تداوم جریان (شاخص FDCI)، خشک‌سالی هیدرولوژیکی مورد

دارای انعطاف زیادی در به کارگیری داده‌های خام از نظر دوره‌های زمانی بوده و در این راستا می‌تواند از داده‌های روزانه، هفتگی، ۱۰ روزه، ماهانه، فصلی و نیز سالانه استفاده به عمل آورد. علاوه بر این ویژگی خاصی که در منحنی تداوم جریان وجود دارد، استفاده از آن برای تعریف جریان زیست‌محیطی است.

جدول ۵- تعیین وضعیت‌های مختلف هیدرولوژیکی جریان رودخانه فریزی با استفاده از شاخص‌های (FDC) در سال‌های (۱۳۵۹-۱۳۸۶)

ماه	سال	۱۳۵۹-۶۰	۱۳۶۰-۶۱	۱۳۶۱-۶۲	۱۳۶۲-۶۳	۱۳۶۳-۶۴	۱۳۶۴-۶۵	۱۳۶۵-۶۶	۱۳۶۶-۶۷	۱۳۶۷-۶۸
مهر	MoD	N	N	N	MiD	MiD	MoD	MiD	IDS	MoD
آبان	MoD	IDS	IDS	N	MiD	IDS	MiD	N	IDS	IDS
آذر	MiD	IDS	IDS	IDS	IDS	IDS	IDS	N	N	A.N
دی	IDS	IDS	IDS	MiD	MiD	IDS	IDS	N	N	N
بهمن	N	IDS	IDS	MiD	MiD	N	IDS	N	N	N
اسفند	A.N	A.N	A.N	N	N	N	A.N	W	A.N	W
فروردین	E.W	E.W	E.W	W	E.W	W	W	E.W	W	W
اردیبهشت	E.W	E.W	E.W	W	W	W	E.W	E.W	W	W
خرداد	W	W	W	N	N	N	A.N	W	A.N	N
تیر	A.N	N	N	IDS	MiD	MoD	MiD	N	IDS	MiD
مرداد	N	IDS	IDS	MoD	MoD	E.D	MoD	MoD	MoD	S.D
شهریور	N	MiD	MoD	S.D	S.D	S.D	S.D	MoD	MoD	E.D
ماه	سال	۱۳۶۸-۶۹	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۷۰-۷۱	۱۳۷۱-۷۲	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۷۶-۷۷
مهر	MoD	IDS	IDS	N	IDS	IDS	N	IDS	MoD	IDS
آبان	IDS	IDS	N	N	IDS	IDS	N	IDS	IDS	IDS
آذر	IDS	N	N	N	A.N	N	IDS	IDS	MiD	IDS
دی	MiD	N	N	IDS	N	IDS	N	MiD	IDS	IDS
بهمن	IDS	N	N	A.N	N	A.N	IDS	IDS	W	N
اسفند	A.N	W	E.W	E.W	A.N	A.N	IDS	A.N	W	W
فروردین	E.W	E.W	E.W	W	W	W	A.N	E.W	E.W	W
اردیبهشت	E.W	E.W	E.W	W	W	W	W	E.W	E.W	W
خرداد	W	W	W	W	N	N	N	W	A.N	A.N
تیر	N	N	W	A.N	MiD	IDS	MoD	N	N	IDS
مرداد	MiD	N	N	N	S.D	MoD	E.D	MiD	MiD	MiD
شهریور	MoD	N	IDS	IDS	S.D	S.D	E.D	MoD	MoD	S.D
ماه	سال	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۸۰-۸۱	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۸۲-۸۳	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۵-۸۶
مهر	MoD	S.D	S.D	E.D	S.D	IDS	MoD	IDS	MiD	MiD
آبان	N	MoD	MoD	S.D	S.D	N	IDS	N	IDS	IDS
آذر	IDS	MiD	MoD	MiD	MiD	N	N	IDS	IDS	IDS
دی	MiD	MiD	N	N	IDS	N	N	N	MiD	IDS
بهمن	IDS	MoD	N	N	N	N	N	A.N	IDS	IDS
اسفند	MiD	IDS	N	N	A.N	A.N	E.W	A.N	W	N
فروردین	N	N	E.W	E.W	E.W	E.W	E.W	W	E.W	N
اردیبهشت	MiD	MiD	MiD	E.W	E.W	W	E.W	W	E.W	N
خرداد	MoD	S.D	A.N	W	W	A.N	W	N	A.N	N
تیر	E.D	E.D	E.D	N	N	IDS	IDS	MoD	N	E.D
مرداد	E.D	E.D	E.D	MoD	MoD	MiD	MoD	MoD	MoD	E.D
شهریور	E.D	E.D	E.D	E.D	MoD	MoD	MoD	S.D	S.D	E.D

در جدول فوق E.W: ترسالی شدید، W: ترسالی، A.N: بالاتر از نرمال، N: نرمال، IDS: ورود به دوره خشک‌سالی، MiD: خشک‌سالی خفیف، MoD: خشک‌سالی متوسط، S.D: خشک‌سالی شدید، E.D: خشک‌سالی بسیار شدید



شکل ۴- نمودار تغییرات مقادیر شاخص SDI و FDCI فصل پاییز (شروع از مهرماه - منتهی به آذرماه هر سال) در رودخانه فریزی

رودخانه‌های دائم در مناطق شبه مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک توصیه نمود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه همکاران برای هم‌فکری کردن در موضوعات پیرامون این پژوهش و نیز از مسئولین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور به سبب در اختیار گذاشتن امکانات برای پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

در این پژوهش، به خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه‌ها از منظر محیط‌زیست و ایجاد مخاطره برای زیستگاه موجودات زنده نیز نگریسته شده و بر این اساس سعی شد تا با استفاده از مفاهیم پایه موجود در منحنی تداوم جریان، شاخص‌های خشک‌سالی بحرانی و شدید تعریف شوند. براساس نتایج پژوهش حاضر و مقایسه سهولت به‌کارگیری و همچنین، دقت نتایج روش پیشنهاد شده با نتایج حاصل از شاخص SDI، می‌توان استفاده از آن را برای تحلیل خشک‌سالی

منابع مورد استفاده

1. Bayazidi, M., B. Saghafian, H. Sedghi and F. Kaveh. 2010. Analysis of hydrological drought in Karoon river basin by daily discharge data. *Watershed Management Researches Journal*, 86: 52-63.
2. Coughlan, M.J. 1987. Monitoring drought in Australia, In: D.A. Wilhite and W.E. Easterling with D.A. Wood (Eds.), *Planning for Drought: Towards a Reduction of Societal Vulnerability* (pp. 131-144), West View Press, Boulder and London.
3. Dakova, S. 2004. Low flow and drought spatial analysis. National Institute of Hydrology & Meteorology. B.A.Sc. 66 Tzarigradsko Shosse. 1784 Sofia. Bulgaria. Balwois Conference: Ohrid. 25-29 May 2004.
4. Edossa, D.C., S.B. Mukand and D.G. Ashim. 2009. Drought analysis in the Awash river basin: Ethiopia. *Journal of Water Resource Manage.* DOI: 10.1007/s11269-009-9508-0.
5. Guttman, N.B. 1991. A sensitivity analysis of the Palmer hydrologic drought index. *Water Resources Bulletin*, 27: 797-807.
6. Hisdal, H., L.M. Tallaksen, B. Clausen, E. Peters and A. Gustard. 2004. Hydrological drought characteristics, in: Tallaksen LM. and Van Lanen H.A.J. (eds). *Hydrological Drought-Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Development in Water science. Elsevier: Amsterdam. The Netherlands. 139-182.
7. Keyantash, J., J.A. Dracup. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 14:1167-1180.

8. Kwon, H.J. and S.J. Kim. 2010. Assessment of distributed hydrological drought based on hydrological unit map using SWSI drought index in South Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14(6): 923-929.
9. McKee, T.B., N.J. Doesken And J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Presented at the Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society: Dallas, TX; 233-236.
10. Nalbantis, I. and G. Tsakiris. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resour Manage*, 23: 881-897.
11. Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. U.S. Weather Bureau Research Paper 45, 58 pages. [Available from NOAA Library and Information Services Division, Washington, DC 20852.]
12. Rivera-Ramirez, H.D., G.S. Warner and F.N. Scatena. 2002. Prediction of master recession curves and baseflow recessions in the Luquillo mountains of Puerto Rico. *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 693-704.
13. Shafer, B.A. and L.E. Dezman. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas, In Proceedings of the Western Snow Conference. USA. 1982. Colorado State University. Fort Collins: Colorado. pp. 164-175.
14. Shokoohi, A. and T. Razi. 2011. An investigation on the effects of climate change and global warming on water resources in dry countries using remote sensing and GIS (a case study: Iran). VIEWRA International Symposium-Water Engineering and Management in a Changing Environment Catania, June 29 - July 2. 2011.
15. Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240: 147-186.
16. Smith, D.I., M.F. Hutchinson and R.J. McArthur. 1993. Australian climatic and agricultural drought. *Drought Network News*, University of Nebraska, 5(3): 11-12.
17. Yusuf, M. 2008. Prediction of daily flow duration curves and stream flow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 53: 4.706724.

Analysis of Streamflow conditions using Hydrologic Environmental drought index

Alireza Eslami ^a, Alireza Shokoohi ^b

^a PhD in Water Resources Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Iran

^b Associate professor, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Iran

Abstract:

In recent years, analysis of drought states and environmental aspects of river flows is one of the important issues for experts. In this research, an index that includes both environmental and hydrological drought aspects was introduced. The foundation of the proposed method using flow duration curve as a method of analysis of hydrological drought and low flows is proposed. Performance of the desired Index (FDCI), with a proposed new Streamflow drought index (SDI) has been compared. To implement the method, three areas (Chalus, Joestan and Frizi river) with different aspects of size, climates and length of records, which are located in various regions of Iran, were selected. The results showed that the correlation between the proposed index and SDI is highly significant. The superiority of the proposed method is the use of all available historical data without changing the original data. Hence, the application of FDCI for the analysis of hydrological droughts in rivers located in the Mediterranean and semi-arid regions should be consider as a main result of this research.

Keywords:FDCI, Environmental Indicators, Flow Duration Curve, SDI

Analysis of stream flow conditions using hydrologic environmental drought index

Ali Reza Eslami^{*1} and Ali Reza Shokoohi²

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ² Associate professor, Faculty of Natural Resources, Imam Khomeini International University, Iran

Received: 26 May 2013

Accepted: 12 August 2013

Abstract

According to diversity and complexity of hydrological processes, more information and data for analysis of this aspect of drought, is needed. Hence, to achieve an index using observed data, simplicity and robustness, which is also capable analysis of this kind of drought, can be valuable. In this research, an index that includes both environmental and hydrological drought aspects was introduced. The foundation of the proposed method using flow duration curve as a method of analysis of hydrological drought and low flows is proposed. Performance of the desired Index (FDCI), with a proposed new Streamflow drought index (SDI) has been compared. To implement the method, three areas (Chalus, Joestan and Frizi river) with different aspects of size, climates and length of records, which are located in various regions of Iran, were selected. The results showed that the correlation between the proposed index and SDI ($R^2= 0.98$, $S.E=0.02$) is highly significant. The superiority of the proposed method is the use of all available historical data without changing the original data. Hence, the application of FDCI for the analysis of hydrological droughts in rivers located in the Mediterranean and semi-arid regions should be consider as a main result of this research.

Key words: FDCI, Flow Duration Curve, Mediterranean and Semi-arid Regions, SDI

* Corresponding Author: eslamiar72@gmail.com