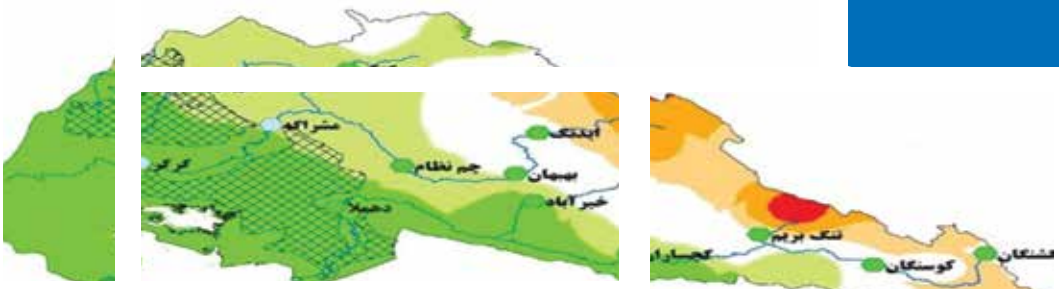


DOI: 10.22092/irn.2021.353820

نامه‌علمی

تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

تحلیل ارتباط زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه زهره- جراحی

سمانه رضوی‌زاده[۱*]، فاطمه درگاهیان[۲]

چکیده

بحران آب، به‌ویژه در سال‌های اخیر، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورهای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح حوزه آبخیز زهره- جراحی و در بازه زمانی ۵ دهه مطالعاتی (۱۳۵۴-۱۳۴۵ تا ۱۳۹۴-۱۳۸۵) است. بدین‌منظور از دو شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی (SDI) و هواشناسی (SPEI) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند خشک‌سالی اقلیمی منطقه، تأثیر مستقیمی بر تغییرات جریان رودخانه‌های حوضه دارد، به‌طوری‌که محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی حوضه در بازه زمانی ۵۰ سال، مطابقت تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه‌های زهره، جراحی و کوپال را با تغییرات خشک‌سالی اقلیمی نمایش می‌دهد. شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در چهار دهه اول بازه زمانی مطالعاتی (۵۴-۱۳۴۵ تا ۸۴-۱۳۷۵) ترسالی، نرمال و خشک‌سالی ملایم بوده است، اما در دهه آخر (۹۴-۱۳۸۵)، خشک‌سالی اقلیمی و هیدرولوژیکی نشان از وضعیت خشک‌سالی شدید دارند. همچنین، مطالعه روند تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نشان می‌دهد از شرق به غرب و پایین دست حوضه، تغییرات به سمت تشدید خشک‌سالی بوده است. بنابراین، در بازه زمانی ۵۰ ساله، از گذشته تا حال، شاهد تشدید وضعیت خشک‌سالی اقلیمی بوده‌ایم که آثار آن به‌صورت خشک‌سالی هیدرولوژیکی بروز کرده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص خشک‌سالی SPEI، شاخص خشک‌سالی SDI، تغییر اقلیم، حوزه زهره- جراحی.

Analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Zohreh-Jarahi basin

S. Razavizadeh[*1], F. Dargahian[2]

Abstract

The water crisis is one of the concerns in countries with arid and semi-arid climates in recent years. This study aimed to investigate the trend of temporal and spatial changes of meteorological and hydrological drought in the Zohreh-Jarahi watershed over five decades. For this purpose, hydrological (SDI) and meteorological (SPEI) drought were used. According to the results, climate change in the region had a direct effect on river flows. The calculation of basin drought indices over 50 years showed the matches of temporal and spatial changes of hydrological and climate drought of Zohreh, Jarahi, and Kupal rivers. The index of hydrological and climatic drought in the first four decades of the study period (1966-1975 to 1996-2005) was humid, normal, and mild. However, climatic and hydrological drought indicated a severe drought in the last decade (2006-2016). Drought changes intensified from east to west and downstream of the basin due to spatial changes trend in meteorological and hydrological drought. Therefore, over a period of ۵۰ years, an intensification of the climate drought from the past until now is indicated in the results, the effects of which has manifested itself as hydrological drought.

Keywords: SPEI drought index, SDI drought index, climate change, Zohreh-Jarahi basin.

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
پست الکترونیکی: srazavizadeh@ymail.com
۲-استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

*Corresponding author, Assistant Prof., Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: srazavizadeh@ymail.com.
Assistant Prof., Research, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

مقدمه

خشک‌سالی به‌عنوان یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی، ناشی از کاهش بارش نسبت به میانگین بلندمدت آن است و می‌تواند در هر اقلیمی رخ دهد. این پدیده صدمات فراوانی را به بخش‌های مختلف، ازجمله بخش منابع آب وارد می‌کند که نمود عینی آن در سال‌های اخیر، کمبود آب است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۴). این بلای طبیعی به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، که با محدودیت جدی منابع آب روبه‌رو هستند، اثر عامل خشکی اقلیم را تشدید می‌کند (کوثری و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین برخلاف سایر بلایای طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان، خسارت‌های ناشی از بحران خشک‌سالی به‌صورت تدریجی و خزنده، اما گسترده و در مدت طولانی بروز می‌کند. امروزه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی (IPCC, 2007)، یکی از چالش‌های بزرگ جهانی به‌شمار می‌رود و آثار احتمالی گرمایش جهانی بر افزایش وقوع خشک‌سالی‌ها، توجه بسیاری از محققان را جلب کرده است (کوثری و همکاران، ۱۳۹۶؛ Dai و همکاران، ۲۰۱۱؛ اسلامیان و همکاران، ۱۳۹۱؛ کوثری و همکاران، ۲۰۱۴).

تاکنون تعاریف مختلفی برای خشک‌سالی ارائه‌شده است، در یک تعریف کلی خشک‌سالی به مفهوم کمبود شدید منابع آب نسبت به شرایط نرمال است که متناظر با مکان و زمان تعریف می‌شود. خشک‌سالی به چهار گروه اصلی خشک‌سالی هواشناسی (Meteorological Drought)، خشک‌سالی کشاورزی (Agricultural Drought)، خشک‌سالی هیدرولوژیک (Hydrological Drought) و خشک‌سالی اقتصادی و اجتماعی (Socioeconomic Drought) تقسیم می‌شود (Smith, 1998).

خشک‌سالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که مقدار بارش، طی یک دوره معین (ماهانه یا سالانه) کمتر از متوسط بلندمدت بارش باشد. خشک‌سالی کشاورزی در اثر کاهش رطوبت خاک اتفاق می‌افتد و درنتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. خشک‌سالی هیدرولوژیک سبب کاهش جریان‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش سطح دریاچه‌ها و مخازن آب می‌شود، درنهایت این پدیده منجر خشک‌سالی اجتماعی می‌شود، اجتماع را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب بروز خسارت‌های جدی می‌شود.

خشک‌سالی هیدرولوژیکی به معنای کمبود جریان آب نسبت به مقدار نرمال آن است و مربوط به دوره‌های زمانی است که طی آن، حجم یا دبی جریان رودخانه‌ها کاهش می‌یابد (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر بیشتری نسبت به خشک‌سالی‌های هواشناسی یا کشاورزی رخ می‌دهند، زیرا زمان بیشتری طول می‌کشد تا اثر کمبود بارش در اجزای سیستم هیدرولوژیکی نظیر رطوبت خاک، جریان رودخانه، سطح مخازن و آب‌های زیرزمینی نمایان شود.

فراوانی و شدت این پدیده بیشتر، در مقیاس حوضه آبخیز رودخانه بیان می‌شود. خشک‌سالی هیدرولوژیک توسط روش‌ها و شاخص‌های مختلف هیدرولوژیکی ازجمله شاخص SDI ارزیابی می‌شود (Nalbantis & Tsakiris, 2009). مقابله با خشک‌سالی بسته به شدت، مدت و وسعت آن، نیازمند مدیریت محلی، منطقه‌ای و ملی است.

استان خوزستان زمانی به‌دلیل جاری شدن یک‌سوم آب‌های سطحی کشور، پرآب‌ترین نقطه ایران بود و بیشتر دشت‌های آن در سیطره سیلاب قرار داشتند، این موضوع مرکز این استان را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده بود. اما، در سال‌های اخیر، شاهد کاهش شدید وقایع سیلابی و حتی حذف حقابه دشت‌های سیلابی استان خوزستان بوده‌ایم (رضوی‌زاده، ۱۳۹۹).

Nalbantis و Tsakiris (2009)، به‌عنوان دانشمندان علم آب و هواشناسی به‌منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی، شاخص‌های متعددی را ارائه داده‌اند که هر یک از این شاخص‌ها براساس به‌کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند.

خشک‌سالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی نیز مانند آب‌های سطحی، اثرگذار است. شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، با توجه به همبستگی بین مقدار SPI و عمق آب زیرزمینی، خشک‌سالی‌های رخ‌داده یکی از عوامل مؤثر بر افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی منطقه بوده است. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای نشان دادند، ارتباط معنی‌داری میان خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح ۹۹درصد، در استان تهران وجود دارد و روند خشک‌سالی تقریباً در مناطق مختلف استان با گذشت زمان افزایش یافته است.

مطالعه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک حوضه رودخانه گدارخوش در بازه زمانی مشترک ۱۱ ماهه با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI، حاکی از افزایش شدت و تداوم خشک‌سالی‌ها به‌ویژه خشک‌سالی هیدرولوژیک در سال‌های اخیر بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، حدود ۵۵درصد از خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک در زمان خشک‌سالی‌های هواشناسی که بارندگی‌ها شرایط نرمالی نداشته‌اند، اتفاق افتاده است (قیصوری و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به اینکه تغییرات طبیعی اقلیم، پدیده‌ای است که نمی‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد، پیدا کردن میزان و نحوه تأثیر آن بر منابع آبی دارای اهمیت است، بنابراین، با تعیین میزان و چگونگی تأثیر، همچنین اتخاذ راهکارهای مناسب و اقدامات مدیریتی صحیح، می‌توان از وقوع بحران‌های ناشی از کمبود آب جلوگیری کرد (برنا،۱۳۹۶). با توجه به بحران طوفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان و تأثیرپذیری آن از خشک‌سالی و کمبود آب، ضرورت این مطالعه با هدف بررسی مشکلات و چالش‌های فراروی منابع آب در حوزه آبخیز زهره- جراحی به‌طور عام و چگونگی تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر خشک‌سالی هیدرولوژیک به‌طور خاص، شکل گرفت.

اقدامات

منطقه موردمطالعه

حوضه آبخیز رودخانه‌های زهره- جراحی با کد ۲۴ و وسعت ۴۰۷۴۴/۵ کیلومترمربع ازنظر اهمیت منابع آب، یکی از حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور و بخشی از حوزه آبخیز خلیج‌فارس و دریای عمان است. این حوزه در مختصات جغرافیایی ′۱۷ ˚۴۸ تا ′۱۹ ˚۵۲ طول شرقی و ′۴۷ ˚۲۹ تا ′۴۱ ˚۳۱ عرض شمالی قرار دارد. حدود ۶۰درصد از حوزه در استان خوزستان و

به‌ترتیب ۲۶/۸درصد و ۱۳/۳درصد از آن، در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس و بخش‌های بسیار کوچکی در حدود ۰/۱درصد از آن در استان بوشهر و استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۱).

حوضه آبخیز موردمطالعه شامل دو رودخانه اصلی جراحی و زهره است که رودخانه جراحی خود از تلفیق دو رودخانه مارون و رامهرمز و رودخانه زهره از به‌هم‌پیوستن رودخانه‌های فهلیان و خیرآباد (آب شیرین) به وجود آمده است و در بخش انتهایی به نام هندیجان شناخته می‌شود. همچنین رودخانه کوپال از رودخانه‌های کم‌آب و فصلی واقع در حوزه جراحی است که در شمال غرب آن واقع شده است.

زیرحوضه جراحی با مساحت ۲۵۳۱۴ کیلومترمربع از سمت غرب و شمال به حوزه آبخیز رودخانه کارون محدود بوده و از سمت شرق حوضه آبخیز رودخانه زهره آن را محدود می‌کند. زیرحوضه زهره که در پایاب به نام هندیجان مشهور است، مساحتی برابر با ۱۵۴۳۱ کیلومترمربع دارد که حوضه‌های آبخیز جراحی، کارون، کر، قره‌آغاج، شاپور و مسیل‌های دیلم و گناوه آن را محدود کرده‌اند. به‌طورکلی هر دو زیرحوزه در دامنه‌های جنوبی زاگرس واقع شده‌اند که ۵۲درصد آن را کوهستان و ۴۸درصد آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد و بخش بزرگی از آن در جلگه خوزستان قرار دارد.

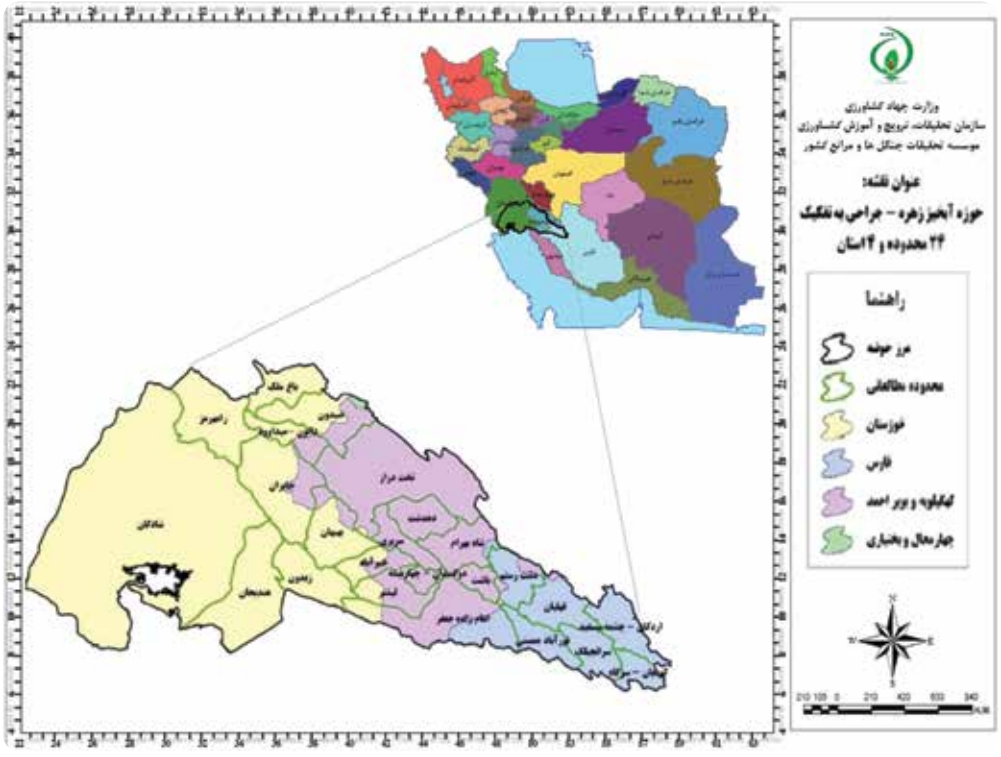
● روش تحقیق

شناسایی و ارزیابی عملکرد ایستگاه‌ها

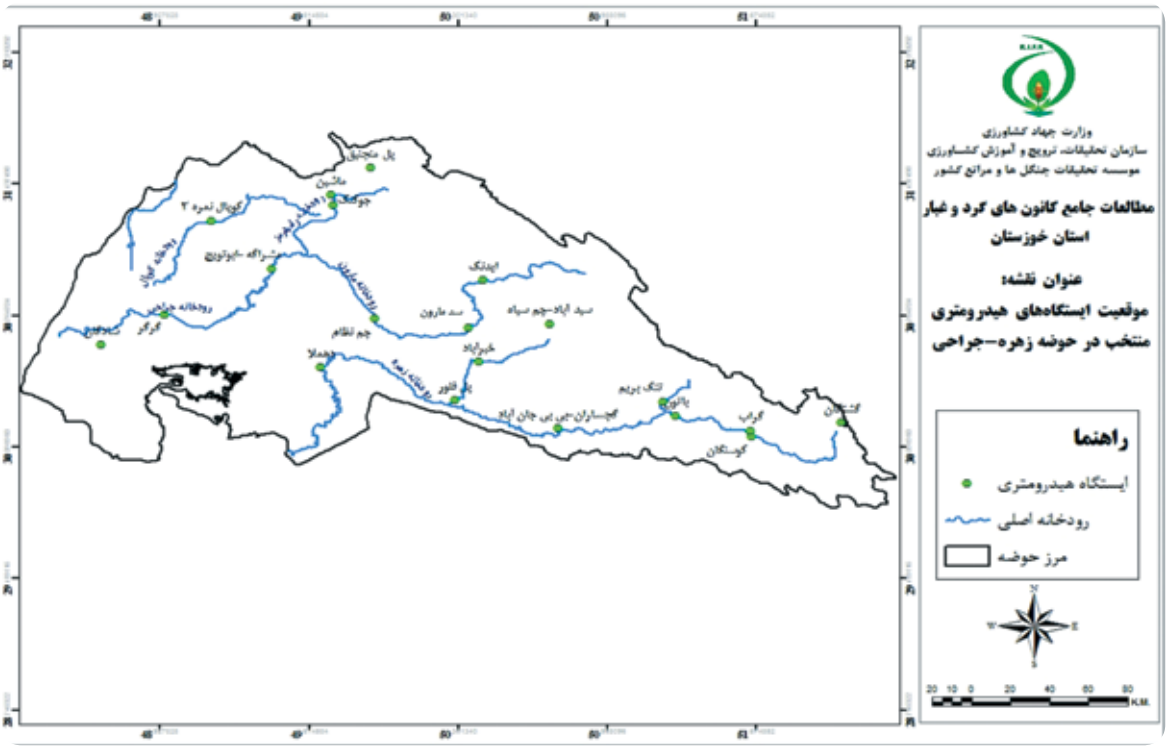
در حوزه آبخیز زهره- جراحی درمجموع ۴۹ ایستگاه آب‌سنجی وجود دارد که هم‌اکنون از میان آنها، ۲۲ ایستگاه تعطیل و ۲۷ ایستگاه فعال است. در مطالعه پیش‌رو، از این تعداد، ۲۰ ایستگاه هیدرومتری با

جدول ۱- پتانسیل آب‌دهی سالانه درازمدت کل حوضه رودخانه‌های زهره و جراحی در برش‌های استانی

ردیف	استان	مساحت (کیلومترمربع)	مساحت (درصد)
۱	بوشهر	۲۷/۲	۰/۰۶۷
۲	چهارمحال و بختیاری	۵۴/۸	۰/۱۳۳
۳	خوزستان	۲۴۳۲۷/۹	۵۹/۷۱
۴	فارس	۵۴۲۱/۲	۱۳/۳
۵	کهگیلویه و بویراحمد	۱۰۹۱۳/۴	۲۶/۷۹
کل حوزه رودخانه‌های زهره و جراحی		۴۰۷۴۴/۵	۱۰۰



شکل ۱- حوضه آبخیز زهره- جراحی به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی و استان



شکل ۲– نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوزه آبخیز زهره– جراحی

آمار بازه زمانی بالای ۳۰ سال، انتخاب شد (شکل ۲). ایستگاه بهبهان قدیمی‌ترین ایستگاه هیدرومتری در حوضه زهره– جراحی است که روی رودخانه مارون در سرشاخه جراحی، واقع شده است. این ایستگاه در سال ۱۳۳۱ تأسیس و پس از آن، ایستگاه‌های هیدرومتری متعددی روی رودخانه‌های این حوضه احداث شده است.

تعیین بازه زمانی مطالعه

رودخانه‌های زهره و جراحی اصلی‌ترین رودخانه‌های حوضه آبخیز زهره– جراحی هستند، رودخانه‌های شیو و خیرآباد از شاخه‌های فرعی و مهم زهره و رامهرمز و مارون از سرشاخه‌های مهم جراحی هستند که دارای رژیم آب‌دهی دائمی هستند. با توجه به اینکه تعداد قابل‌قبولی از ایستگاه‌ها دارای آمار طولانی‌مدت بودند، برای بازسازی و تطویل آمار ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه‌تر، بازه زمانی مشترک ۵۰ ساله (سال آبی ۱۳۴۶–۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵–۱۳۹۴) مبنای مطالعه قرار گرفت.

آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های دبی متوسط سالانه برای ۵ ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه جراحی و ۶ ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه زهره، از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و نسبت به صحت‌سنجی و کنترل کیفیت داده‌ها با استفاده از آزمون‌های اوت‌لایر، جرم مضاف و تست روان اقدام شد.

شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای یا SDI: Stream Flow Drought Index

برای بررسی وضعیت دو رودخانه زهره و جراحی در حوضه موردمطالعه، از شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای یا SDI استفاده شد. این شاخص توسط Nalbantis (۲۰۰۸) ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط Nalbantis و همکاران برای مشخص کردن خشک‌سالی هیدرولوژیکی توسعه داده شد (اسکندری، ۱۳۹۴). شاخص SDI مقدار دبی ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری را بر توزیع آماری مناسبی برازش می‌دهد.

در این خصوص شاخص SDI با استفاده از داده‌های دبی ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه، طبق روابط (۳–۱) و (۳–۲) محاسبه می‌شود.

رابطه ۱

$$SDI_{j,k}=V_{j,k}-V_k/S_k$$

رابطه ۲

$$V_{j,k}=\sum_{j=1}^{ak} Q_{i,j}$$

$i = 1, 2, \ldots; k= 1, 2,3,4; j=1,2,\ldots,12$

که در آن i سال هیدرولوژیکی، j ماه (مثلاً برای ماه مهر j=1 و برای ماه شهریور، j=12)، k دوره زمانی و Q دبی

محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی دهه‌ای، در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های زهره و جراحی از سراب تا پایاب، به‌صورت دهه‌ای در نرم‌افزار DrinC محاسبه شد.

شاخص بارش – تبخیر و تعرق استانداردشده یا SPEI: Standardized Precipitation–Evaporation Index

این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بر پایه معادله تورنت وایت استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه ۱ به‌صورت رابطه (۱) محاسبه خواهد شد.

رابطه۳

$$D_i = P_i - PET$$

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

رابطه ۴

$$D = \sum p_{n-i} - PET_{n-i}$$

که k (ماه‌ها)، مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه است. یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشک‌سالی نیاز است تا بتواند مقدارهای منفی در داده‌های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نشان داده است تابع لجستیک لگاریتمی برازش خوبی بر سری زمانی داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارد (Vicen-te-Serrano et al., 2016).

رابطه ۵

$$F_{(x)} = [1+(\alpha/(x-\gamma))]^{-1}$$

که α پارامتر مقیاس، β پارامتر شکل و γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده $\gamma > D < \infty$ است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می‌شود.

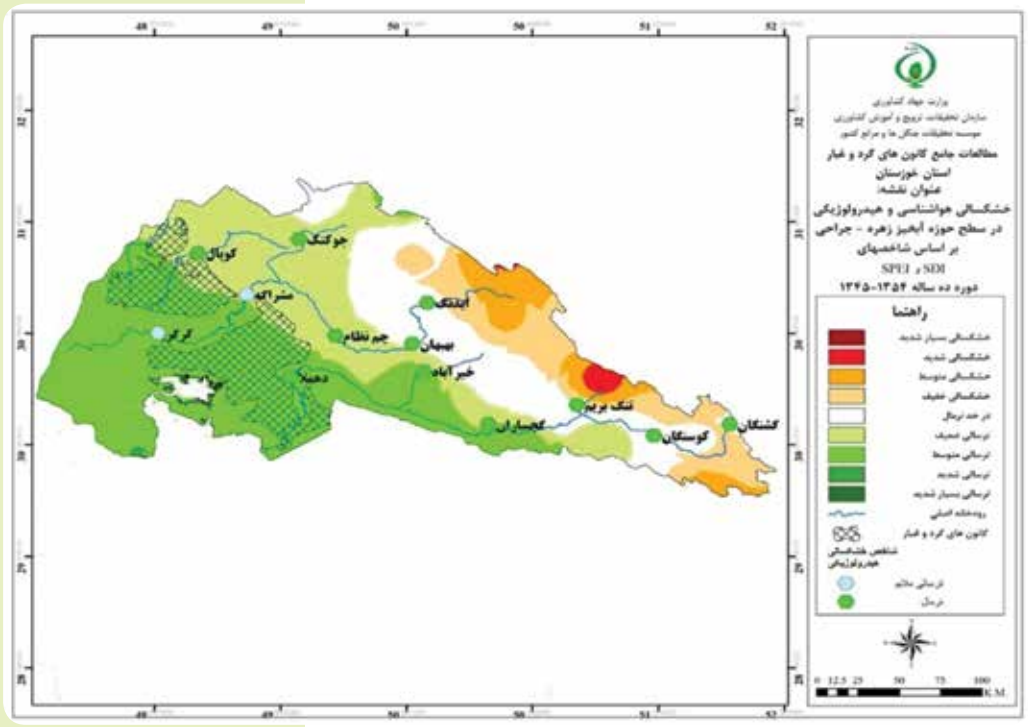
شاخص SPEI می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شود. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است. ازآنجایی‌که این شاخص می‌تواند برای پایش و ارزیابی دوره‌های خشک و مرطوب استفاده شود، در این پژوهش از آن استفاده شد.

●یافته‌ها

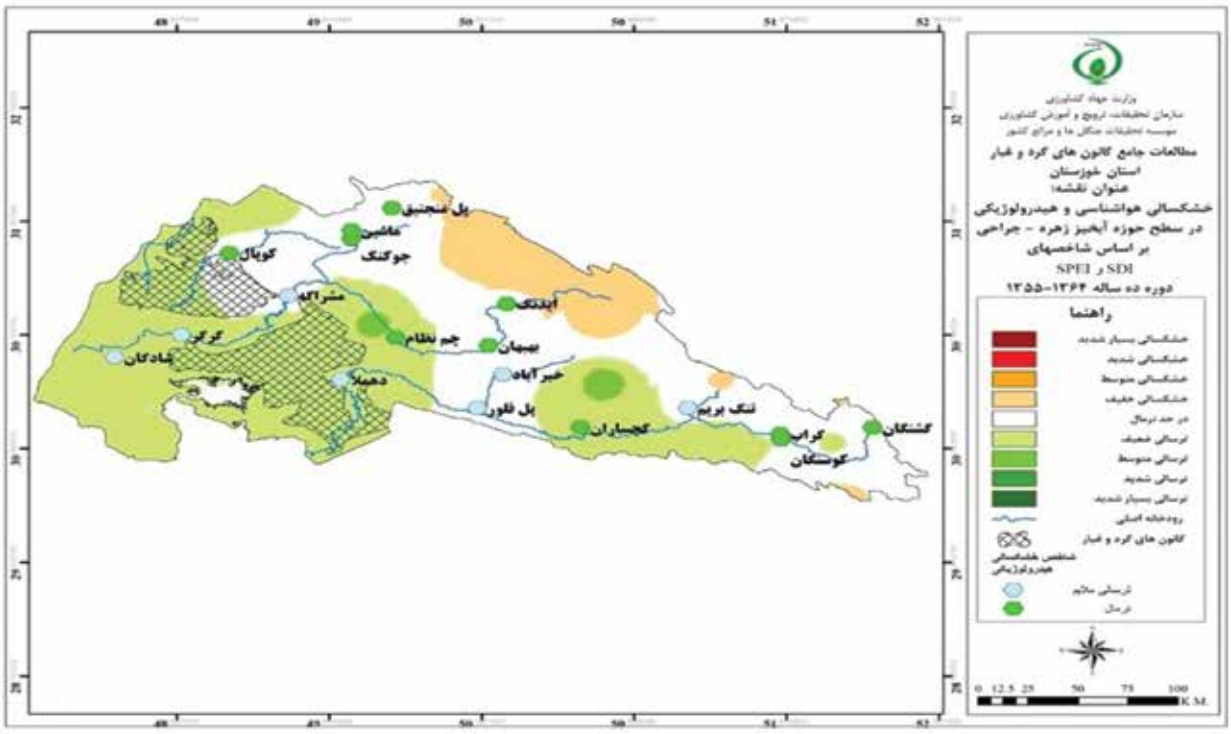
شکل‌های ۳ تا ۷، روند تغییرات خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سطح حوضه

جدول ۲- مقیاس طبقه‌بندی شدت ترسالی و خشک‌سالی در روش شاخص بارش استاندارد (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۹)

SPEI	وضعیت رخداد
کمتر از ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی معمولی
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	سال نرمال
۱- تا ۱/۴۹-	خشک‌سالی معمولی
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشک‌سالی شدید
بیشتر از ۲-	خشک‌سالی بسیار شدید



شکل ۳- خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در دهه ۱۳۵۴-۱۳۴۵



شکل ۴- خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در دهه ۱۳۶۴-۱۳۵۵

(براساس شاخص SDI) و پهنه‌های خشک‌سالی اقلیمی (براساس شاخص SPEI) را به‌صورت دهه‌ای نمایش می‌دهند.

دهه ۵۴-۱۳۴۵

نتایج به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SDI نشان می‌دهد، در دهه ۵۴-۱۳۴۵، در هیچ‌یک از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های زهره، جراحی و کوپال، «خشکسالی بسیار شدید» مشاهده نشده است و درمجموع وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در رودخانه‌های زهره و جراحی در دهه ۵۴-۱۳۴۵، در دامنه نرمال تا خشک‌سالی ملایم و ترسالی ملایم نوسان داشته است. شایان ذکر است، در این دهه هنوز هیچ سدی در حوزه احداث نشده و به بهره‌برداری نرسیده است، بنابراین اثر سازه‌ای روی وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوزه تأثیرگذار نبوده است.

همچنین نقشه به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی اقلیمی SPEI برای دهه ۵۴-۱۳۴۵، نشان می‌دهد، در این دهه به‌طور غالب بخش‌های شرقی حوزه (استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد) در وضعیت خشک‌سالی، قسمت‌های میانی در وضعیت نرمال و بخش‌های غربی حوزه (استان خوزستان) در وضعیت ترسالی هواشناسی قرار داشته است (شکل ۳).

دهه ۶۴-۱۳۵۵

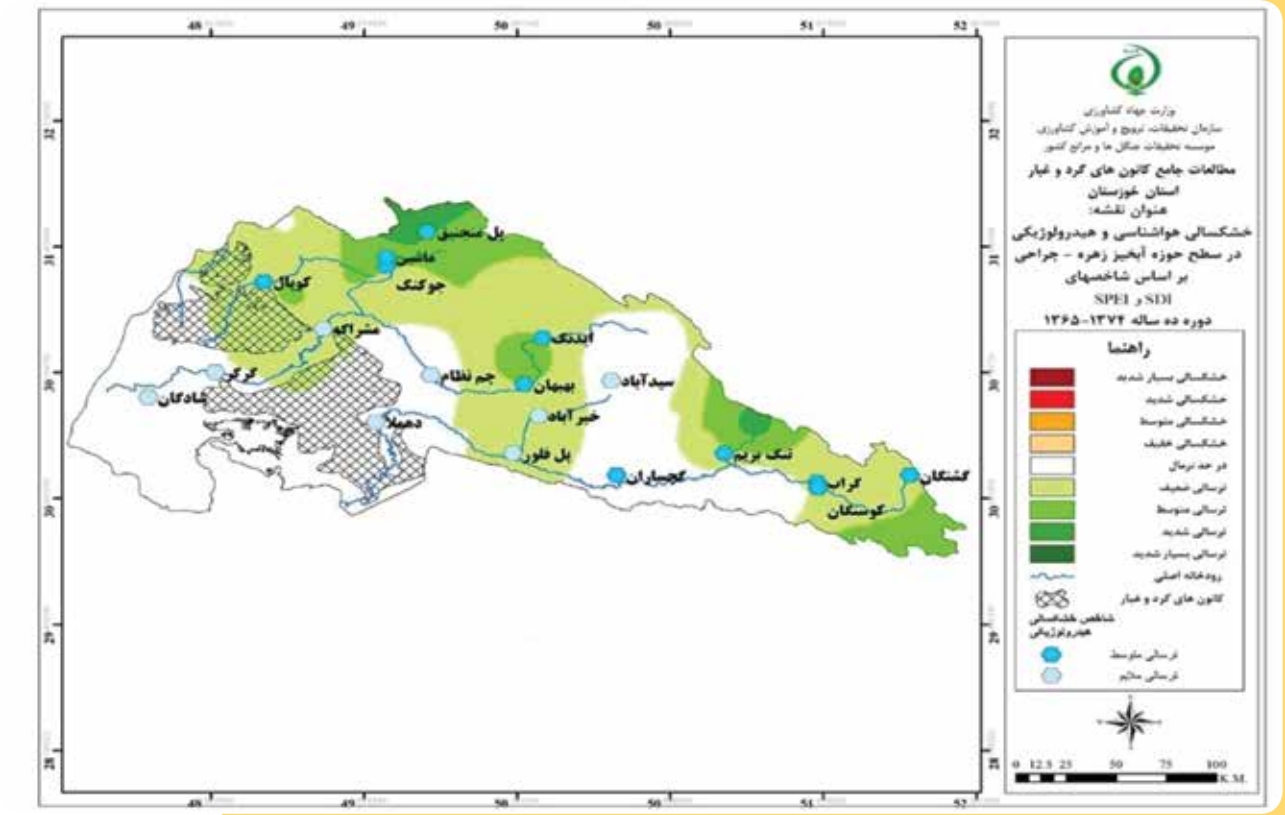
نتایج به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SDI در دهه ۶۴-۱۳۵۵ نشان می‌دهد، وضعیت غالب رودخانه‌های حوزه آبخیز زهره-جراحی نرمال و ترسالی بوده است و در هیچ‌یک از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های زهره، جراحی و کوپال، وضعیت «خشک‌سالی» مشاهده نشده است. همچنین نقشه به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی اقلیمی SPEI برای دهه ۶۴-۱۳۵۵ نشان می‌دهد، در این دهه بخش‌های شرقی حوزه در وضعیت خشک‌سالی ملایم و نرمال و پایین‌دست حوزه در وضعیت ترسالی ملایم قرار داشته است (شکل ۴).

دهه ۷۴-۱۳۶۵

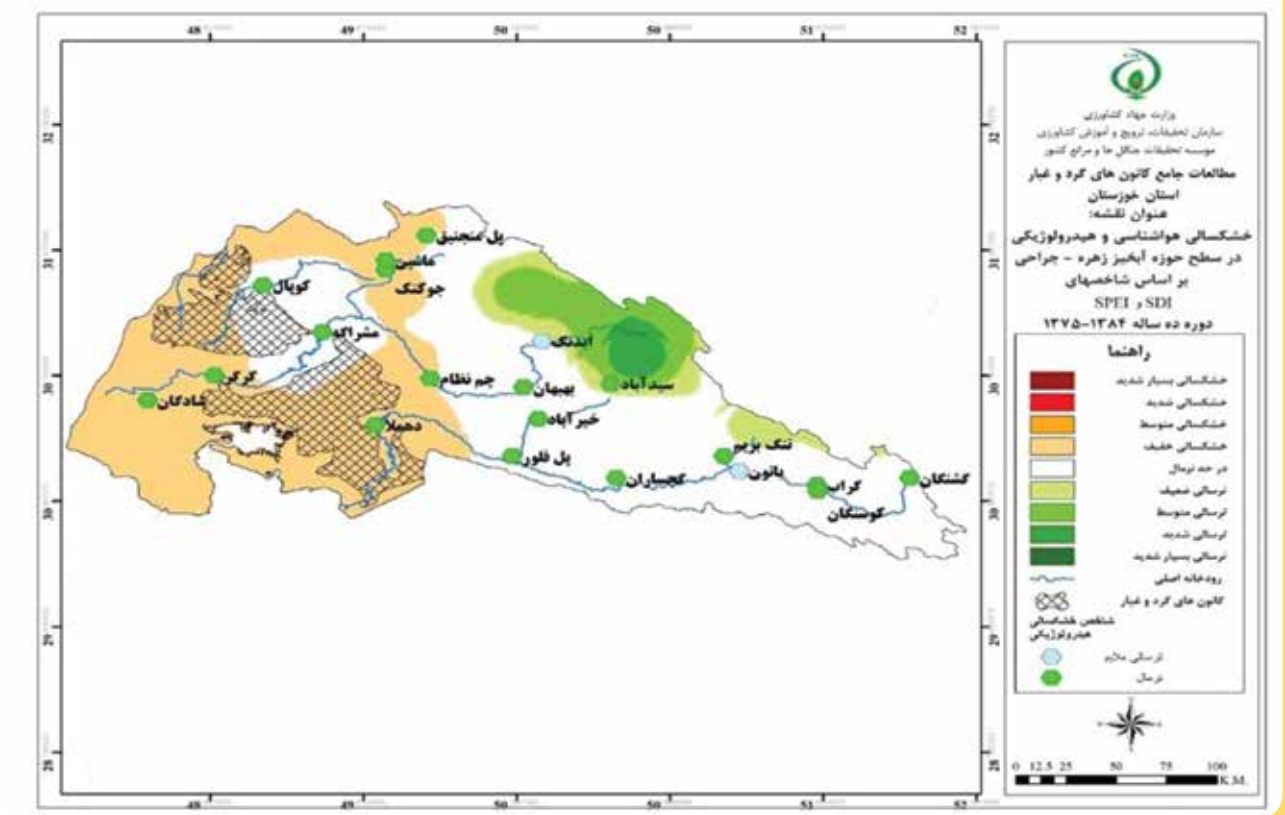
نتایج به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی SDI نشان می‌دهد، به‌طورکلی در دهه ۷۴-۱۳۶۵ وضعیت رودخانه‌های حوزه آبخیز زهره- جراحی ترسالی بوده است و در هیچ‌یک از ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های زهره، جراحی و کوپال، «خشک‌سالی» رخ نداده است. شایان ذکر است، در این دهه سد انحرافی شهدای بهبهان به بهره‌برداری رسیده و دو سد کوثر (واقع بر رودخانه زهره و در استان کهگیلویه و بویراحمد) و سد مارون (واقع بر رودخانه جراحی و در استان خوزستان) در حال احداث بوده است، درواقع این دو سد در دهه چهارم مطالعه (۸۴-۷۵) آب‌گیری شده‌اند. همچنین نقشه به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی اقلیمی SPEI برای دهه ۷۴-۱۳۶۵ نیز نشان می‌دهد، وضعیت غالب حوزه در این دهه نرمال و ترسالی بوده است (شکل ۵).

دهه ۸۴-۱۳۷۵

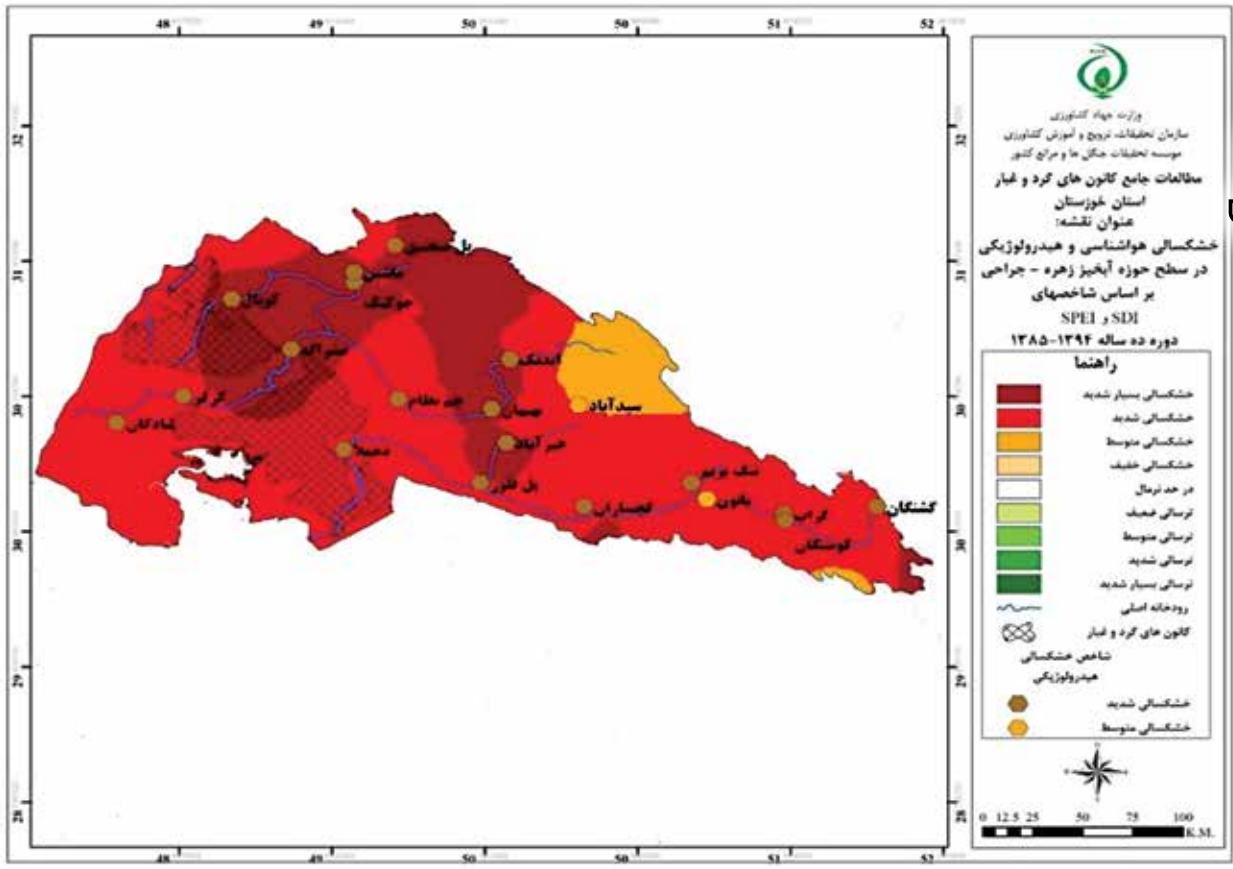
در دهه ۸۴-۱۳۷۵ وضعیت رودخانه‌های حوضه آبخیز زهره- جراحی به‌طور غالب نرمال و ترسالی بوده است و در برخی ایستگاه‌ها به‌طور پراکنده خشک‌سالی ملایم مشاهده می‌شود. ذکر این نکته لازم است که در این دهه ۶ سد کلتندر، پارسل ۱۱، شوه حمید، تشان، مارون و دهنو- هندیجان واقع در استان خوزستان، بهره‌برداری شده‌اند. همچنین تنها سد دهنو- هندیجان روی رودخانه زهره ساخته



شکل ۵- خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در دهه ۱۳۷۴-۱۳۶۵



شکل ۵- خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در دهه ۱۳۷۴-۱۳۶۵



شکل ۶- جنگل‌های نوش سورکش (بیشتر درختان روی دیواره‌های سنگی و حاشیه رودخانه با خاک بسیار فقیر رشد می‌کنند.)

شده و مابقی بر سرشاخه‌های رودخانه جراحی احداث شده‌اند. همچنین شاخص SPEI، نشان می‌دهد، در قسمت‌های شرقی حوزه، وضعیت اقلیمی، نرمال و ترسالی و در بخش‌های غربی حوزه (واقع در استان خوزستان) وضعیت اقلیمی به‌طور غالب خشک‌سالی ملایم بوده است. این مسئله نشان‌دهنده بالاتر بودن دما و تبخیر در بخش‌های غربی حوزه (استان خوزستان) است (شکل ۶).

دهه ۹۴-۱۳۸۵

نتایج به‌دست‌آمده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد، به‌طورکلی در دهه ۹۴-۱۳۸۵ وضعیت رودخانه‌های حوزه آبخیز زهره-جراحی خشک‌سالی بوده است. شایان ذکر است در این دهه از سد کوثر (واقع بر رودخانه زهره)، سد سرپری و سد شراب گرو در استان کهگیلویه و بویراحمد، سد تنظیمی و انحرافی آسک، سد انحرافی شهدای رامشیر، بند انحرافی و ایستگاه پمپاژ شهید همت شادگان، سد رامهرمز (جره) و سد تنظیمی آریوبرزن در استان خوزستان بهره‌برداری شده است.

شاخص خشک‌سالی اقلیمی SPEI در این دهه نشان می‌دهد که تمام حوزه آبخیز زهره-جراحی در این دهه دستخوش خشک‌سالی بوده و وضعیت غالب خشک‌سالی، خشکسالی شدید بوده است. این مسئله نشان از تأثیر افزایش دما و درنتیجه آن افزایش تبخیر در این دهه نسبت دهه‌های قبل دارد (شکل ۷).

● بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از شاخص SDI نشان داد، وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه‌های حوضه، تابع وضعیت خشک‌سالی اقلیمی بوده است. روند تغییرات زمانی خشک‌سالی اقلیمی در سه دهه اول مطالعه (۱۳۵۴-۱۳۴۵ تا ۱۳۷۴-۱۳۶۵) از وضعیت خشک‌سالی متوسط، نرمال و ترسالی در دهه اول، به سمت خشک‌سالی ملایم، نرمال و ترسالی در دهه دوم و سپس در دهه سوم نرمال و ترسالی تغییر داشته است. به‌طوری‌که نقشه‌های به‌دست‌آمده از وضعیت خشک‌سالی اقلیمی حاصل از شاخص SPEI در سه دهه اول بازه زمانی مطالعه، نشان‌دهنده روند غالب تغییر وضعیت اقلیمی حوضه به سمت ترسالی است. سپس در دهه چهارم و پنجم بازه زمانی مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۷۵ و ۱۳۹۴-۱۳۸۵) شاهد تغییر وضعیت اقلیمی حوضه به سمت خشک‌سالی هستیم، به‌طوری‌که در دهه چهارم، خشک‌سالی ملایم در پایین‌دست حوضه و در استان خوزستان و در دهه آخر (۹۴-۸۵) خشک‌سالی فراگیر در سطح حوزه و درجه بالای خشک‌سالی (شدید و بسیار شدید) به وقوع می‌پیوندد. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۹) نیز با مطالعه پدیده خشک‌سالی اقلیمی در استان خوزستان بیان کردند، در دهه ۱۳۹۴-۱۳۸۵ شاهد رخداد خشک‌سالی شدید در استان خوزستان بوده‌ایم که متأثر از افزایش دما و درنتیجه افزایش تبخیر بوده است.

بنابراین، تغییرات اقلیمی منطقه تأثیر مستقیمی بر تغییرات جریان رودخانه‌های حوضه داشته است، به‌طوری‌که محاسبات شاخص خشک‌سالی

هیدرولوژیکی در سطح حوضه و در بازه زمانی ۵۰ ساله، مطابقت تغییرات خشک‌سالی هیدرولوژیکی رودخانه‌های زهره، جراحی و کوپال را با تغییرات خشک‌سالی اقلیمی نمایش می‌دهد. مفیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) نیز در بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک، به نتایج مشابهی دست یافتند و نشان دادند، این دو پارامتر با یکدیگر همبستگی معنی‌داری دارند. همچنین مطالعه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در استان تهران در چهار بازه زمانی ۱۳۶۸، ۱۳۷۵، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۱ نیز نشان‌دهنده ارتباط معنی‌داری میان این دو شاخص است (دامنه و همکاران، ۱۳۹۴). شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی و اقلیمی در چهار دهه اول بازه زمانی مطالعاتی (۵۴-۴۵ تا ۸۴-۷۵) ترسالی، نرمال و خشک‌سالی ملایم بوده است اما در دهه آخر (۹۴-۸۵)، خشک‌سالی اقلیمی و هیدرولوژیکی نشان از وضعیت خشک‌سالی شدید دارند.

ازنظر مطالعه روند تغییرات مکانی خشک‌سالی، در دهه ۵۴-۱۳۴۵، خشک‌سالی هواشناسی از شرق به غرب حوضه، از وضعیت خشک‌سالی به سمت ترسالی تغییر کرده و تغییرات مکانی خشک‌سالی هیدرولوژیک از شرق به غرب حوضه در رودخانه جراحی، از نرمال به ترسالی بوده است. در دهه ۶۴-۱۳۵۵، تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی از شرق به غرب حوضه، از خشک‌سالی و نرمال به سمت ترسالی بوده و تغییرات مکانی خشک‌سالی هیدرولوژیک از شرق به غرب حوضه در هر دو رودخانه زهره و جراحی، از نرمال به ترسالی بوده است. در دهه ۷۴-۱۳۶۵، روند تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی نسبت به دو دهه قبل معکوس شده و از شرق به غرب حوضه، از ترسالی به سمت نرمال تغییر می‌کند. نکته قابل‌توجه اینکه، تغییرات مکانی خشک‌سالی هیدرولوژیک نیز با تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی مطابقت داشته و از شرق به غرب حوضه در هر دو رودخانه زهره و جراحی، از ترسالی متوسط به ترسالی ملایم تغییر کرده است.

در دهه ۸۴-۱۳۷۵، تغییرات مکانی خشک‌سالی هواشناسی از شرق به غرب حوضه، از ترسالی و نرمال به سمت خشک‌سالی بوده و خشک‌سالی هیدرولوژیک از شرق به غرب حوضه در هر دو رودخانه زهره و جراحی، از روند یکسان نرمال برخوردار بوده است و تغییرات مکانی خاصی را نشان نمی‌دهد. در دهه ۹۴-۱۳۸۵، خشک‌سالی هواشناسی در تمام سطح حوضه، خشک‌سالی را نشان داده است که سطح عمده حوضه در این دهه خشک‌سالی شدید را نشان می‌دهد. همچنین شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک در این دهه در سراسر رودخانه‌های زهره و جراحی از سراب تا پایاب، نشان‌دهنده وقوع خشک‌سالی (به‌صورت متوسط و شدید) بوده است.

نتایج به‌دست‌آمده از روند تغییرات مکانی خشک‌سالی حوضه، نشان می‌دهد، در دهه سوم مطالعه (۷۴-۱۳۶۵) شاهد رویکرد متفاوتی بوده‌ایم. در این دهه برخلاف باقی زمان مطالعه، شدت وقوع پدیده خشک‌سالی در دشت، بیشتر از کوهستان بوده است که می‌تواند ناشی از کاهش بارش یا افزایش دما و تبخیر شدیدتر در پایین‌دست حوضه نسبت به بالادست باشد.

● سپاسگزاری

این مقاله از طرح جامع «شناسایی و مهار گرد و غبار استان خوزستان» استخراج شده است، بنابراین، نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از تمام دست‌اندرکاران طرح تشکر و قدردانی کنند.

● منابع

اسکندری دامنه، ح.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح. و آذره، ع.، ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۴(۹۶): ۱۲۰-۱۱۳.

اسلامیان، س.، قاسمی، م. و سلطانی گرد فرامرزی، س.، ۱۳۹۱. محاسبه و ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه(. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۵۹: ۱۴-۱.

برنا، ر.، ۱۳۹۶. نوسان عناصر اقلیمی و اثرات آن بر آب‌دهی رودخانه جراحی. فصلنامه جغرافیا، ۱۵(۵۲): ۲۴۴-۲۳۱.

درگاهیان، ف.، ابراهیمی خوسفی، ز. و فضل کاظمی، ا.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات شدت خشک‌سالی در حوزه‌های آبخیز منتهی به کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۹ (۲۷): ۲۴-۱۳.

رضوی‌زاده، س.، ۱۳۹۹. نقش حذف ظرفیت‌های سیلابی در فعال شدن کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان. طبیعت ایران، ۵(۱): ۲۶-۲۱.

شکیبا، ع.، میرباقری، ب. و خیری، ا.، ۱۳۸۹. خشک‌سالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI. فصلنامه جغرافیا، ۸(۲۵): ۱۲۴-۱۰۵.

قیصوری، م.، سلطانی گرد فرامرزی، س. و قاسمی، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک و تأثیر آن بر کیفیت آب (مطالعه موردی: رودخانه گدارخوش). علوم و مهندسی آبیاری، ۴۱(۴): ۱۰۵-۹۱.

کوثری، م.، اختصاصی، م. و ملکی نژاد، ح.، ۱۳۹۶. بررسی روند خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۶(۱۴): ۱۰۵-۹۱.

مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور در حوضه‌های آبریز مرزی غرب، کرخه، کارون بزرگ، جراحی و زهره، ۱۳۹۱. جلد چهارم، وزارت نیرو، معاونت آب و آبفا، ۳۵۳ صفحه.

مفیدی‌پور، ن.، بردی شیخ، و.، اونق، م. و سعدادین، ا.، ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۵): ۲۶-۱۶.

Dai, A., 2011. Drought under global warming: a review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2: 45-65.

IPCC-TGICA., 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.

Kousari, M.R., Ekhtesasi, M.R., Tazeh, M., Saremi Naeini, M.A. and Asadi Zarch, M.A., 2015. An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters, Theoretical and Applied Climatology, 103(3-4): 321-33.

Nalbantis, I. and Tsakiris, G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Management, 23(5): 881-897.

Smith, K., 1998. Environmental hazards, Rutledge, New York, 79p.

Vicente-Serrano, S.M. and Beguería, S., 2016. Comment on 'Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)'by James H. Stagge et al. International Journal of Climatology, 36(4): 2120-2131.