

صص ۹۵-۱۲۲

ارزیابی رابطه زمانی رخداد خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه شور

اسماء اصغری پور دشت بزرگ

گروه جغرافیه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جعفر مرشدی*

گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

رضا برنا

گروه جغرافیه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

جبرائیل قربانیان

گروه جغرافیه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

منوچهر جوانمردی

گروه جغرافیه، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی رابطه زمانی رخداد خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه شور است. در این پژوهش ارتباط زمانی خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه شور استان خوزستان با شاخص هواشناسی بارش استاندارد (SPI) و شاخص هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ای (SDI) بررسی گردید. برای این منظور، از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و دبی ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ واقع در حوضه آبریز رودخانه شور استفاده گردید. همچنین در این پژوهش برای آگاهی از تأخیر جریان‌ها نسبت به بارش، ضریب همبستگی پیرسون بین بارش و دبی جریان با تأخیرهای زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد. سپس دو شاخص خشک سالی هواشناسی (SPI) و شاخص خشک سالی هیدرولوژیک (SDI) در بازه‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه) به روش همبستگی پیرسون بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کاهش جریان آب سطحی با شاخص SPI بارندگی ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. در واقع در سال‌هایی که شاخص SPI بارندگی دارای روند افزایشی بوده است، شاخص SDI نیز افزایش یافته و در سال‌هایی که مقدار شاخص SPI بارندگی دچار کاهش می‌شود، این پدیده نشان‌دهنده حاکمیت دوره‌های خشک است. در نتیجه شاخص SDI با شاخص SPI بارندگی دارای ارتباط مستقیم است. با مقایسه دو شاخص SPI و SDI از سال ۸۶-۱۹۸۵ دو شاخص برهم منطبق هستند. در نتیجه به طور کلی وابستگی حوضه به آب رودخانه و همچنین بارش منطقه بوده و شاخص SPI و SDI رابطه نزدیکی داشته‌اند. نتایج نشان داد که کاهش بارندگی تأثیر خود را بدون تأخیر و یا حداکثر با یک ماه تأخیر بر جریان رودخانه شور می‌گذارد. در گام زمانی ۱ ماهه بیشترین همبستگی بین دو شاخص خشک سالی SPI و SDI بدون تأخیر و نیز با یک ماه تأخیر است، و در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر است. در نتیجه خشک سالی هواشناسی تأثیر خود را بر خشک سالی هیدرولوژیکی می‌گذارد.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیکی، حوضه آبریز رودخانه شور، شاخص SPI، شاخص SDI

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای است که در اثر کمبود طبیعی رطوبت خاک و بی‌نظمی رژیم بارشی در منطقه ایجاد می‌گردد و می‌تواند بخش‌های مختلف زندگی انسان و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهد و بر این اساس مستقیماً به مسئله کمبود آب مرتبط است (Tigkas et al, 2012). تأثیر خشک‌سالی و ترسالی بر نوسانات پایه و کل جریان رودخانه، نقش عمده‌ای را در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از منابع آب حوضه دارد و سیستم‌های پایش در تدوین طرح‌های مقابله با خشک‌سالی و مدیریت آن از اهمیت زیادی برخوردار است به این منظور از شاخص‌های خشک‌سالی برای بیان کلی این پدیده استفاده می‌شود (حیدری مطلق و همکاران، ۱۳۹۷). شاخص‌های تشخیص و پایش خشک‌سالی که برای نشان دادن شدت خشک‌سالی استفاده می‌شوند، معمولاً به چهار نوع خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و خشک‌سالی اجتماعی-اقتصادی تقسیم می‌شوند (Wilhite and Glantz, 1985). به‌طور کلی سه نوع خشک‌سالی ذکر شده به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با خشک‌سالی هواشناسی از طریق متغیرهایی مانند بارندگی، رطوبت خاک، جریان‌های سطحی، نفوذ، تخلیه آب‌های زیرزمینی، تبخیر و جریان رودخانه که همگی در چرخه هیدرولوژیکی دخیل‌اند، مرتبط هستند (Zhao et al, 2014). خشک‌سالی هواشناسی ناشی از کمبود بارندگی است که در صورت تداوم منجر به خشک‌سالی هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌شود (شکری کوچک و بهنیا، ۲۰۱۳). خشک‌سالی یک ناهنجاری اقلیمی است که با کمبود بارش و منابع آب در دسترس در گستره وسیعی در طول زمان اتفاق می‌افتد. خشک‌سالی بایستی در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در درازمدت مورد ارزیابی قرار گیرد. از بین متغیرهای اقلیمی، بارندگی مهم‌ترین متغیری است که تغییرات آن به‌طور مستقیم در رطوبت خاک و جریان‌های سطحی و زیرزمینی منعکس می‌شود. با توجه به تأثیر میزان نزولات جوی در کمیت منابع آبی در یک منطقه وقوع خشک‌سالی هواشناسی تأثیر عمده‌ای در کاهش منابع آبی در سطح منطقه خواهد داشت که این کاهش در منابع آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و مخازن سدها نمایان شده و تحت عنوان خشک‌سالی هیدرولوژیک بیان می‌شود. بنابراین ارتباط مستقیم و پیچیده مابین کمبود رطوبت ناشی از کاهش نزولات جوی و منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد. لذا با تحلیل و آنالیز هر دو خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک می‌توان به چنین ارتباطی پی برد (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهش‌های گوناگونی در داخل و خارج ایران در زمینه کاربرد شاخص‌های خشک‌سالی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. سلیمانی سرود و بهره‌مند (۲۰۱۳)، با اشاره به همبستگی بالای دو شاخص SPI و شاخص خشک‌سالی جریان SDI به تحلیل خشک‌سالی حوضه هلیل رود واقع در استان کرمان پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از خشک‌سالی‌های با شدت مختلف در این حوضه بود. مقایسه این دو شاخص نشان‌دهنده ارتباط قوی آن دو در این حوضه بود. آذره و همکاران (۲۰۱۴)، به محاسبه دو شاخص SPI و SDI به‌منظور بررسی ارتباط بین اثر خشک‌سالی بر آب‌های سطحی سد کرج پرداختند. به این منظور همبستگی پیرسون به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح ۹۹ درصد با هم در ارتباط هستند که بیشترین ارتباط مشاهده شده در مقیاس زمانی ۳ ماهه بوده است. دیوید و داویدوا (۲۰۱۶)،

میزان بارش بسیار کم و دوره‌های بدون باران در سراسر جمهوری چک و دیگر کشورهای اروپای مرکزی را مشخص نمودند. در این پژوهش به ارزیابی خشک‌سالی از هر دو دیدگاه هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشک‌سالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) و کمبود حجمی (DV) در تابستان سال ۲۰۱۵ در حوضه رودخانه بلانیس (منطقه بوهیمیایی مرکزی و جنوبی) پرداختند. نتایج تحلیل‌ها اهمیت حادثه خشک‌سالی را در تابستان سال ۲۰۱۵ نشان داد همچنین نتایج نشان داد که در دوره‌های تحلیل شده، حتی در دوره‌های گذشته خشک‌سالی شدیدتر بوده است (David and Davidová, 2016). هانگ و همکاران (۲۰۱۷)، در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک در چین به کمک روش تحلیل موجک رابطه بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که فاصله زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در تابستان و بهار کم‌تر از پاییز و زمستان بوده است (Huang et al, 2017). مصباح زاده و سلیمانی سرود (۲۰۱۸)، بررسی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از SPI و شاخص جریانات رودخانه‌ای SDI در حوضه کرخه پرداختند. نتایج نشان داد زمان وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ۹۹٪ معنی‌دار و در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است. وقوع خشک‌سالی در منطقه، اثر خود را با تأخیر ۱ تا ۲ ماه بر آب سطحی نشان داد. شاکرسوره و اسدی (۲۰۱۹)، در دشت سلماس، ارتباط بین خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی را بررسی نمودند، آن‌ها نتیجه گرفتند که بین خشک‌سالی هواشناسی با خشک‌سالی آب زیرزمینی رابطه معنی‌داری با تأخیر فاز زمانی یک‌ماهه GRI و خشک‌سالی هیدرولوژیکی نسبت به خشک‌سالی آب زیرزمینی با تأخیر شش‌ماهه GRI وجود دارد. امیری و پور قاسمی (۲۰۱۹)، در استان فارس ارتباط بین خشک‌سالی‌های آب‌شناسی حوضه آبخیز مهارلو را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی هیدرولوژی دارای روند معنی‌دار و خشک‌سالی هواشناسی روند خاص به دنبال ندارد و قسمت‌های جنوب غرب و مرکز بیشترین ترسالی و نواحی شمال غرب بیشترین شدت خشک‌سالی را می‌توان دید. ستار و همکاران (۲۰۱۹)، به منظور بررسی رابطه دو شاخص SPI (خشک‌سالی هواشناسی) و SSI (خشک‌سالی هیدرولوژیکی) در کره شمالی از شبکه ییزی و توابع کاپولا استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که هر چه شدت خشک‌سالی هواشناسی بیشتر باشد زمان تأخیر کوتاه‌تری برای انتشار به خشک‌سالی هیدرولوژیکی خواهد داشت (Sattar et al, 2019). بای و همکاران (۲۰۱۹)، در بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی با خشک‌سالی هیدرولوژیکی و کشاورزی ابتدا به کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، منطقه مورد مطالعه را از لحاظ بارش به چهار بخش تقسیم کردند و سپس، با انتخاب مقیاس زمانی سه‌ماهه، روابط خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی را به کمک پارامترهای بارش، تراز آب مخازن کشاورزی و تراز آب سدهای مخزنی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در شرایط وقوع خشک‌سالی هواشناسی، سطح آب مخازن کشاورزی افزایش ولی سطح آب سدهای مخزنی کاهش می‌یابد که همین موضوع به‌عنوان شاخص مناسبی جهت ارزیابی انواع خشک‌سالی بیان شد (Bae et al, 2019). یو و همکاران (۲۰۲۰)، روابط بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی را با استفاده از تحلیل موجک و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بررسی کردند. نتایج نشان داد که رابطه خشک‌سالی کشاورزی با خشک‌سالی هواشناسی قوی‌تر از رابطه خشک‌سالی هیدرولوژیکی با خشک‌سالی هواشناسی است (Yao et al, 2020). جان بزرگی و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی تغییرات زمانی

خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی با SPI و SDI در مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است. لئو و همکاران (۲۰۲۱)، خشک‌سالی‌های زمانی و مکانی استان سیچوان چین را با شاخص‌های SPEI و SPI مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. خروجی‌ها نشان داد روند خشک‌سالی SPEI در همه مقیاس‌های زمانی در مناطق دشت و تپه ماهورها بیشتر از مناطق فلاتی و کوهستانی بوده است (Liu et al, 2021). سارور و همکاران (۲۰۲۲)، در حوضه سوان در پاکستان به مطالعه خطر خشک‌سالی هواشناسی به هیدرولوژیکی در مقیاس منطقه‌ای پرداختند و نیز از شاخص SPI و SDI برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی و همچنین با استفاده از تحلیل رگرسیون، تحلیل روند با استفاده از آزمون من-کندال و میانگین متحرک برای بررسی ارتباط بین انواع خشک‌سالی استفاده کردند؛ آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که یک ارتباط قوی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد که در مقیاس زمانی و مکانی متفاوت است (Sarwar et al, 2022). فریتاس و همکاران (۲۰۲۲)، با استفاده از شاخص SPI به بررسی خشک‌سالی در حوضه آبخیز سائو فرانسیسکو برزیل پرداختند. نتایج نشان داد که طولانی‌ترین و شدیدترین دوره خشک‌سالی در حوضه بین سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۲۰ رخ داده است (Freitas et al, 2022). گموس (۲۰۲۳)، نیز به ارزیابی تأثیر شاخص‌های SPEI و SPI در هفت منطقه جغرافیایی ترکیه پرداخت. وی برای این منظور، از داده‌های هواشناسی بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۲۱ برای ۱۹۹ ایستگاه استفاده نمود. نتایج پژوهش وی حاکی از این است که SPEI، درصد وقوع بالاتری از خشک‌سالی‌های متوسط و شدید را در تمام مناطق جغرافیایی با افزایش تا ۱۵ درصد نسبت به SPI شناسایی کرد، درحالی که SPI درصد بیشتری از خشک‌سالی‌های شدید را نشان داد (Gumus, 2023). وو و همکاران (۲۰۲۴)، طی پژوهشی در محدوده رودخانه‌های یلو (زرد)، یانگ تسه و لانگانگ، اثرات تغییر رژیم آب و هواشناسی را بر روابط انتشار و آستانه از خشک‌سالی هواشناسی به خشک‌سالی هیدرولوژیکی بررسی نمودند. ایشان بدین منظور، دوره‌های تغییر رژیم را با استفاده از آزمون منحنی رتبه اختلاف تجمعی روی بارش و جریان رودخانه در مقیاس زمانی سالانه شناسایی نمودند و به‌منظور تعیین زمان پاسخ خشک‌سالی هیدرولوژیکی SSI به خشک‌سالی هواشناسی SPI از ضریب همبستگی پیرسون استفاده نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که حساسیت پاسخ SSI به SPI و احتمالات و آستانه انتشار از خشک‌سالی هواشناسی به خشک‌سالی هیدرولوژیکی بین دوره‌های روند افزایشی و کاهشی متغیرهای آب و هواشناسی متفاوت است (Wu et al, 2024). ژانگ و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های SSI، SPEI و SPI تحت تأثیر تغییر اقلیم با به‌کارگیری مدل SWAT و سناریوهای RCP پرداختند. یافته‌های پژوهش ایشان نشان داد که طی سال‌های آینده ۲۰۹۹-۲۰۲۳ برای ۴ شاخص، احتمال خشک‌سالی خفیف به میزان ۲۶/۱۵ تا ۴۱/۰۶ درصد افزایش یافته و دوره بازگشت از ۳/۸ به ۲/۴ سال تغییر کرده است. همچنین احتمال مشترک خشک‌سالی متوسط (هواشناسی- هیدرولوژیکی، هواشناسی- کشاورزی، هیدرولوژیکی- کشاورزی)، بین ۳/۷۶ تا ۱۴/۱۱ درصد و دوره بازگشت، ۷ تا ۲۶/۶ سال به دست آمد (Zhang et al, 2024). مینه و همکاران (۲۰۲۴)، شاخص‌های SPEI، RDI و SDI برای پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در منطقه دلتای مکونگ ویتنام با استفاده از نرم‌افزار DrinC استفاده شد. نتایج نشان داد این شاخص‌ها می‌توانند در درک تفاوت بین خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه‌ای کمک کنند

و برای پیش‌بینی میان مدت و بلندمدت خشک‌سالی و برنامه‌ریزی مدیران برای آن استفاده شوند (Minh et al, 2024). اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشک‌سالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) به‌منظور ارزیابی خشک‌سالی‌ها از آمار ماهانه ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی و ۲۴ ایستگاه هیدرومتری در استان تهران استفاده نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه، ارتباط معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد و روند خشک‌سالی تقریباً در مناطق مختلف استان با گذشت زمان افزایش‌یافته است، به‌طوری که روند تغییرات هر دو شاخص خشک‌سالی، از سمت شمال به جنوب دارای افزایش چشم‌گیری بوده است. اقتدار نژاد و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهش خود جهت تعیین سه شاخص SPI، RDI و SDI در پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت بم و بررسی ارتباط آن‌ها با یکدیگر، تحلیل مشخصه‌های خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف و احتمال وقوع آن‌ها پرداختند. بررسی نتایج حاصل با استفاده از آزمون t جفت شده نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در نتایج شدت، مدت و فراوانی در شاخص SPI با RDI بوده و بیشترین شباهت ویژگی‌های یاد شده SDI با RDI به دست آمد. نتیجه حاصل از بررسی روند پارامترهای اقلیمی با آزمون من-کندال نشان داد که دبی جریان و باران دارای روند کاهشی و دما دارای روند افزایشی، اما فاقد روند معنی‌دار بوده است. کوشکی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی رابطه زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبریز کرخه پرداختند. نتایج نشان داد بین ضریب همبستگی بارش و دبی جریان و دو شاخص SPI و SDI در چهار گام زمانی رابطه مستقیم و معناداری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد. هر چند در هر چهار گام زمانی (کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت) ضریب همبستگی از سطح معناداری برخوردار است؛ مقدار ضریب همبستگی در حالت بدون تأخیر زمانی نسبت به سایر موارد با تأخیر زمانی بیشتر است. سهیلی و همکاران (۱۳۹۶)، از شاخص‌های خشک‌سالی SDI و SPI و همچنین آزمون نا پارامتری من-کندال اصلاح شده جهت بررسی و تحلیل روند استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که هر دو خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی روند افزایشی داشته‌اند. قایناتی و همکاران (۱۳۹۸)، به استفاده از دو شاخص SPImod و SDImod به‌منظور بررسی تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن پرداختند. نتایج همبستگی بالا در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار را در رابطه زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر نشان داد و این همبستگی در حوضه آبریز تجن در گام زمانی ۹ ماهه حداکثر است. همچنین وقوع خشک‌سالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، اثر خود را در همان ماه و با تأخیرهای ۱ تا ۷ ماهه روی منابع آب سطحی نشان داد. جان بزرگی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی تغییرات زمانی خشک‌سالی هواشناسی-هیدرولوژیکی در استان گیلان پرداختند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی طی دوره آماری مورد مطالعه در استان گیلان نشان داد که طبق آمار و اطلاعاتی که از یک دوره آماری از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ در مقدار SPI سه‌ماهه به دست آمده، این شاخص رو به ترسالی نموده است، ولی در دوره‌های شش، نه و ۱۲ ماه اکثر شهرهای استان گیلان رو به نرمالی بوده و خشک‌سالی با بیشترین درصد احتمالات در مساحت تغییرات مکانی که به‌صورت مثبت است مشاهده شد. همچنین نقشه‌هایی که از درون‌یابی مقدار SPI در چهار دوره آماری با بهترین برازش درون‌یابی به دست آمده است نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به سال ۱۳۹۶ مقدار شاخص خشک‌سالی نسبت به ۱۳۵۱ بیشتر شده و اکثر شهرهای استان را محدوده خشک‌سالی بیشتری در

برگرفته است. همچنین بر اساس نقشه‌ها عمده خشک‌سالی در منطقه در ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. مقدار SDI نیز نشان داد که عمده ایستگاه‌ها فاقد خشک‌سالی و یا دارای خشک‌سالی متوسط هستند. رزمخواه و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی رودخانه زهره پرداختند. نتایج نشان داد که هر زمان SPI منفی باشد، سطح آب زیرزمینی افت بیشتری نشان می‌دهد. این کاهش با تأخیر زمانی همراه بوده و با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی، تأخیر بیشتر می‌شود. در سال‌های اخیر تداوم و شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است. بیشترین حجم کمبود (مقدار بارش ۳، ۶ و ۱۲ ماهه ایستگاه ناز مکان در سال ۱۳۸۸، بیشترین شدت ۳، ۶ و ۹ ماهه در ۱۳۸۳ و ۱۲ ماهه در ۱۳۸۸ به وقوع پیوسته است. با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی‌ها، تداوم بیشتر و تکرار کمتر شده است. نتایج سایر ایستگاه‌ها تقریباً مشابه بود. کاظمی و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه به خشک‌سالی هواشناسی در زیر حوضه‌های کارستی کشکان پرداختند. نتایج نشان داد که در بیش از ۵۰٪ طول دوره مورد مطالعه، وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، نرمال بوده است. بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیکی زیر حوضه‌ها، نشان داد که در حوضه‌های با سازندهای کارستی کمتر، فراوانی سال‌های با وضعیت خشک‌سالی شدید، بیشتر است. حداکثر فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی با وضعیت شدید در حوضه افرینه با ۲۰٪ و حداقل نیز ۶٪ در حوضه چم انجیر بوده است. روند تغییرات ضرایب همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI در حوضه‌های سراب سید علی، پل دختر و چم انجیر مشابه و حداکثر همبستگی در گام زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه با ضریب تبیین ۰/۶۷ به دست آمد. زینالی و فریدپور (۱۴۰۲)، به ارزیابی خشک‌سالی در حوضه قره سو با استفاده از شاخص‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و سنجش از دور پرداختند. نتایج سری زمانی خشک‌سالی هواشناسی در قره سو نشان داد که خشک‌سالی در سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۰۱، ۲۰۰۵-۲۰۰۶، ۲۰۰۷-۲۰۰۸ و ۲۰۱۴-۲۰۱۳) به صورت فراگیر رخ داده است. به‌طوری‌که بیشترین پهنه‌های درگیر خشک‌سالی مربوط به نواحی شمال و شمال شرق حوضه (ایستگاه‌های نمین و ابرکوه) بوده است. همچنین نتایج نشان داد که خشک‌سالی هواشناسی در سال‌های اخیر تداوم بیشتری داشته و به صورت محسوس با ۱ تا ۳ ماه تأخیر، بیشترین همبستگی را با خشک‌سالی هیدرولوژیکی داشته است. سرائی تبریزی و بارز (۱۴۰۲)، به بررسی شاخص‌های مدیریتی خشک‌سالی در پایین دست زیر حوضه هریرود افغانستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین شباهت را از نگاه نتیجه دو شاخص RDI و SPI با هم داشته لیکن نتیجه شاخص SDI قدری با دو شاخص دیگر متفاوت است که دلیل آن می‌تواند کم بودن داده‌های دبی رودخانه باشد. دوره آماری این مطالعه، سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ در این حوضه با خشک‌سالی با شدت‌های متفاوت است و بقیه سال‌های مورد مطالعه تقریباً در حد نرمال بررسی شده و پیشنهاد می‌گردد که داده‌های به دست آمده برای مدیریت بهتر منابع آب در سناریوهای مدیریتی حوضه آبریز در سال‌های آتی بیشتر مدنظر قرار گیرند. خلیلی و همکاران (۱۴۰۲)، به مطالعه ارتباط زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SDI با تأکید بر مقایسه دو روش مختلف محاسبه ETo در حوضه آبریز صوفی چای مراغه پرداختند. نتایج همبستگی خشک‌سالی هیدرولوژیکی با هواشناسی در سری‌های زمانی بدون تأخیر نشان داد بیشترین همبستگی بین شاخص‌های سری‌های هم دوره است. ضریب همبستگی سری‌های هم دوره RDIFPM و SDI کم‌تر از همبستگی متناظر SPI و SDI و یا RDIHS و SDI بود. می‌توان گفت که لحاظ کردن سایر پارامترهای

هواشناسی علاوه بر بارندگی در محاسبه شاخص خشک‌سالی (RDIFPM نسبت به SPI)، موجب کاهش همبستگی بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌شود. در مقادیر RDIHS و SDI با تأخیر زمانی، در سری‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماه، بیشترین تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر دبی رودخانه با ۳ ماه تأخیر مشاهده شد و در سری‌های زمانی ۲۴ و ۴۸، ماه این تأثیر هم‌زمان بود. احمدی و همکاران (۱۴۰۳)، به ارزیابی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی زیر حوضه‌هایی از حوضه آبریز فلات مرکزی پرداختند. نتایج نشان داد که بیش از ۹۵ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی، تمامی وضعیت‌های ترسالی بسیار شدید تا خشک‌سالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱ ماهه در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی و شاخص SPEI در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ۸۳/۳ درصد ایستگاه‌ها و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ۶۷/۷ درصد ایستگاه‌ها، خشک‌سالی را با شدت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌های خشک‌سالی نشان داده است. بررسی فراوانی وقوع طبقات شاخص هیدرولوژیکی SSI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نشان داد که بیشترین طبقات خشک‌سالی در ایستگاه‌های شادآباد و خرامه مشاهده شده است. سنجری و همکاران (۱۴۰۴)، به بررسی ارتباط بین توزیع مکانی و زمانی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک دشت جیرفت پرداختند. نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه وجود دارد. در همه ایستگاه‌ها ارتباط معنی‌داری بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود ندارد. یکی از دلایل این اختلاف می‌تواند حاصل منشأ گرفتن جریان زیرسطحی در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری که باعث ایجاد جریانی پایه شده است باشد. نتایج روند تغییرات شاخص‌های SPI و SDI نشان داد که ایستگاه‌های موجود در دو سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ دارای اختلاف معناداری با یکدیگرند. احراری و رجا (۱۴۰۴)، به بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در دشت مهاباد پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص ۱۲ ماهه در پایش دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی مناسب‌ترین مقیاس برای کلیه شاخص‌های خشک‌سالی است. مقایسه سری‌های زمانی شاخص‌های خشک‌سالی SPEI و SPI در طول دوره آماری نشان داد که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، اختلاف رفتاری دو شاخص از لحاظ شدت شاخص بیشتر می‌شود. دلیل این اختلاف می‌تواند دلیلی بر حساسیت شاخص SPEI به تغییرات بارندگی و منظور نمودن پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل در این شاخص باشد. بررسی‌ها نشان داد که شاخص RDI تقریباً روند مشابهی مانند شاخص SPEI دارد. همچنین، تغییرات شاخص SDI در طول دوره آماری نیز روند مشابهی با شاخص SPEI نشان داد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که پدیده خشک‌سالی به دلیل روند خزشی و طولانی مدتی که دارد بر موارد مختلفی در یک حوضه آبریز تأثیرگذار بوده و باعث ایجاد اختلالاتی در روند طبیعی آن‌ها می‌شود. مهم‌ترین اثرات خشک‌سالی بر اساس میزان شدت آن متفاوت بوده، ولی تا حد زیادی بر پوشش گیاهی، نوع و شدت بارش، رواناب، دما، ایجاد پهنه‌های گردوغبار، تغییرات کمی و کیفی آب‌های سطحی، مسائل اجتماعی-اقتصادی و... تأثیرگذار بوده است. بررسی و تعیین دقیق ویژگی‌های خشک‌سالی باید با توجه به خصوصیات هیدروکلیمایی حوضه آبریز مورد مطالعه، شاخص‌های خشک‌سالی و مقیاس زمانی مناسب انجام شود. با بررسی شاخص‌های خشک‌سالی در مقیاس زمانی مناسب می‌توان تحلیل صحیحی از وضعیت خشک‌سالی ارائه داد. از این‌رو به‌طور کلی هدف از این مطالعه، تعیین دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک و بررسی رابطه زمانی رخداد بین این دو نوع

خشک‌سالی است که از نتایج آن می‌توان در جهت مدیریت اصولی و بهتر منابع آب در حوضه رودخانه شور که از مهم‌ترین حوضه‌های استان خوزستان است، بهره برد.

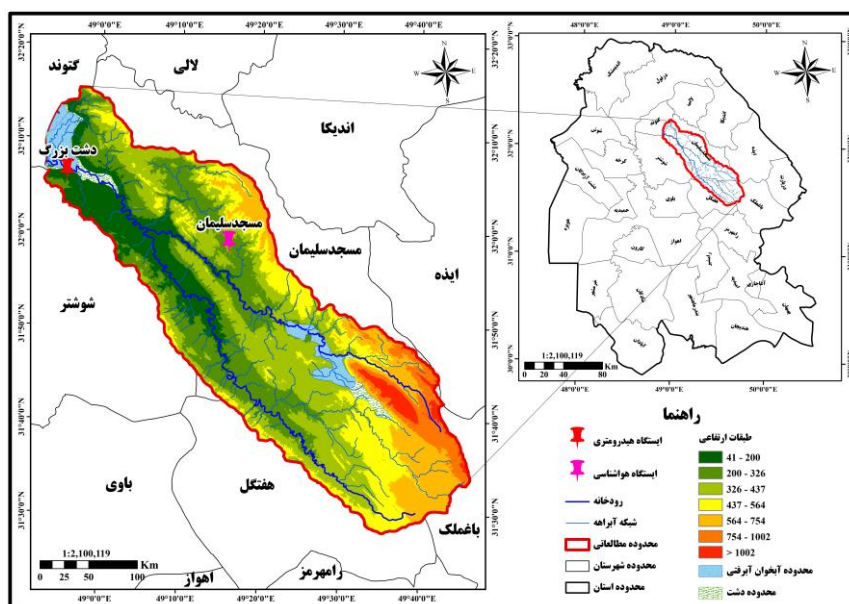
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شور در قسمت مرکزی استان خوزستان و جنوب حوضه آبریز کارون در محدوده طول جغرافیایی $49^{\circ}00'$ تا $49^{\circ}48'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}28'$ تا $33^{\circ}10'$ شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه $2762/2$ کیلومترمربع است که $4/11$ درصد از وسعت حوضه آبریز کارون بزرگ و $4/37$ درصد از وسعت استان خوزستان را در بر می‌گیرد. جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه شور از داده‌های بارندگی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ با طول دوره آماری مشترک $1983-2023$ استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌ها و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مطالعاتی واقع در حوضه آبریز رودخانه شور را نشان می‌دهند.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه آبریز رودخانه شور

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سال تأسیس	نوع ایستگاه
۱	مسجدسلیمان	$49^{\circ}40.8'$	$31^{\circ}48.33'$	$320/5$	۱۳۶۳	سینوپتیک
۲	دشت بزرگ	$48^{\circ}55.40'$	$33^{\circ}31'$	۶۳	۱۳۶۱	هیدرومتری



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مطالعاتی واقع در حوضه آبریز رودخانه شور

روش پژوهش

در این پژوهش جهت بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز مطالعاتی، به داده‌های ماهانه بارش و دبی نیاز است. لذا بدین منظور، در این پژوهش از آمار ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ حوضه استفاده شد. داده بارش در مقیاس زمانی ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک مطالعاتی از سایت درخواست آمار مربوط به سازمان هواشناسی کل کشور و داده‌های دبی در مقیاس روزانه از طریق پورتال ارائه آمار پایه مربوط به شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه شدند. در این پژوهش بعد از جمع‌آوری داده‌های بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۴، و پس از حذف داده‌های پرت، کنترل کیفی، اصلاح و بازسازی داده‌ها و اجرای آزمون‌های آماری بر روی داده‌ها، روند تغییرات بارش و دبی سالانه حوضه مطالعاتی بررسی گردید. سپس وضعیت خشک‌سالی هواشناسی واحد هیدرولوژیکی مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ و به کمک نرم‌افزار DIP و وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه شور با استفاده از شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ و به کمک افزونه SDI_INDEX-calculator در محیط Excel محاسبه گردید. نمودارهای نمایه خشک‌سالی و مقایسه رده‌های خشک‌سالی با نرم‌افزار Excel بررسی شد. جهت بررسی تأخیر زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS به تجزیه و تحلیل و محاسبه رابطه همبستگی بین بارندگی و دبی حوضه آبریز رودخانه شور در بازه زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، بدون تأخیر زمانی و با ۱ تا ۵ ماه تأخیر پرداخته شد، تا مشخص شود که کاهش بارندگی تأثیر خود را روی جریان دبی بعد از چه مدت نمایان می‌سازد. سپس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی (SDI) در چهار گام زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در حوضه آبریز رودخانه شور بررسی، و در نهایت میزان ضریب همبستگی پیرسون بدون تأخیر و با تأخیرهای زمانی ۱ تا ۵ ماهه محاسبه گردید.

خشک‌سالی هواشناسی (شاخص بارش استاندارد شده SPI)

مک کی و همکاران (۱۹۹۳) به‌منظور کمی‌سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشک‌سالی برای مقیاس‌های ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه شاخص بارش استاندارد شده را ارائه دادند. تنوع کاربرد، به شاخص بارش استاندارد شده این امکان را می‌دهد که خشک‌سالی را هم برای مقیاس‌های کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و هم برای مقیاس‌های درازمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی پایش نماید. آن‌ها همچنین برای تعیین خشکی و تری در هر ایستگاه یک سیستم طبقه‌بندی معین برای مقادیر به دست آمده شاخص بارش استاندارد شده SPI تعیین و معرفی نمودند، که بیانگر شدت‌های متفاوتی از خشک‌سالی در یک منطقه است (Mckee et al, 1993).

$$\text{SPI} = \frac{XI - \bar{X}}{SD} \quad \text{رابطه ۱}$$

XI: مقادیر بارندگی طی دوره زمانی مورد نظر (دوره سالانه)، $\bar{X}$: میانگین مقادیر بارندگی و SD: انحراف معیار، مقادیر

شاخص به شرح جدول ۲ است. زمانی که شاخص بارش استاندارد شده SPI دارای توالی‌های منفی باشد؛ خشک‌سالی رخ می‌دهد و زمانی که مقادیر SPI برابر ۱- و یا کمتر شود؛ خشک‌سالی تشدید می‌شود. با مثبت شدن شاخص بارش استاندارد شده دوره خشک‌سالی خاتمه می‌یابد. بنابراین تداوم خشک‌سالی با توجه به زمان شروع و پایان آن تعریف می‌شود و شدت آن برای هر یک از ماه‌های وقوع خشک‌سالی تعیین می‌گردد (عباسی نیا و همکاران، ۱۴۰۰).

جدول ۲: طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده SPI (Mckee et al, 1993)

طبقه خشک‌سالی	مقیاس شاخص SPI
ترسالی بسیار شدید (Extreme Wet)	$\geq +2$
ترسالی شدید (Sever Wet)	۱/۹۹ تا ۱/۵
ترسالی متوسط (Moderate wet)	۱/۴۹ تا ۱
نزدیک نرمال (Near Normal)	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشک‌سالی متوسط (Moderate Drought)	-۱ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی شدید (Sever drought)	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشک‌سالی خیلی شدید (Extreme drought)	≤ -2

خشک‌سالی هیدرولوژیک (خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای SDI)

شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) توسط نالباتیس در سال ۲۰۰۸ ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط نالباتیس و ساکاریس برای مشخص کردن خشک‌سالی هیدرولوژیکی توسعه داده شد. شاخص SDI با استفاده از داده‌های دبی رودخانه طبق رابطه ۲ تعریف می‌شود (Amini et al, 2019):

$$SDI = V_{j,K} - V_K / S_K \quad i=1,2, \quad K=1,2,3,4$$

رابطه ۲

که در آن $V_{j,K}$ با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$V_{j,K} = \sum_{i=1}^{3K} Q_{i,j} \quad j=1,2, \quad 12$$

رابطه ۳

که در آن، i سال هیدرولوژیکی، j ماه (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 پارامترهای V_K و S_K به ترتیب میانگین و انحراف معیار سری داده‌های تجمعی دبی است. در جدول ۳ طبقه‌بندی حالت‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک با شاخص SDI ارائه شده است که مبنای طبقه‌بندی و تعیین شدت خشک‌سالی در این پژوهش است.

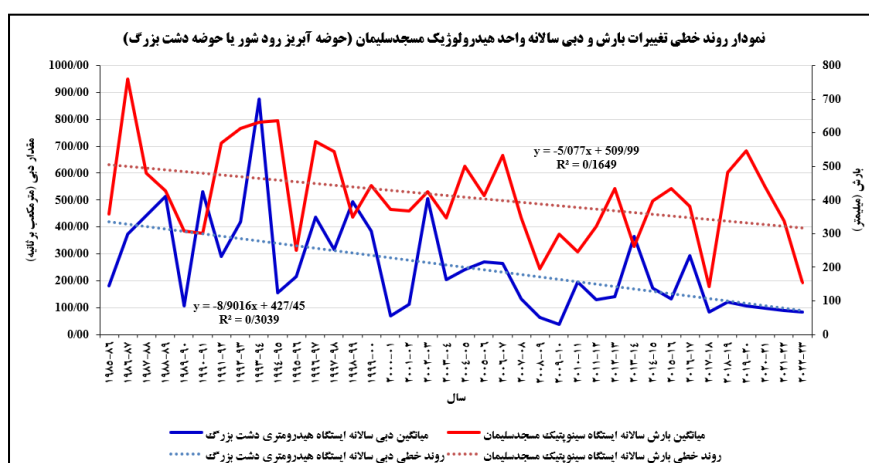
جدول ۳: طبقه‌بندی حالت‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی با شاخص SDI (Nalbantis & Sakiris, 2009)

ردیف	طبقات شدت خشک‌سالی	مقیاس شاخص SDI
۱	فاقد خشک‌سالی	$0 \leq SDI$
۲	خشک‌سالی ملایم	$-1 \leq SDI < 0$
۳	خشک‌سالی متوسط	$-1.5 \leq SDI < -1$
۴	خشک‌سالی شدید	$-2 \leq SDI < -1.5$
۵	خشک‌سالی بسیار شدید	$SDI < -2$

بحث و یافته‌ها

ارتباط بین بارش و دبی حوضه

در خصوص ارتباط بین تغییرات زمانی و مکانی دبی با بارش حوضه، روابط بین دبی متوسط سالانه و بارش متوسط سالانه مورد توجه قرار گرفت. در شکل ۲ نمودارهای مقادیر دبی و بارش سالانه واحد هیدرولوژیکی مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) ترسیم شده است. با تحلیل نمودارها می‌توان پی برد که در اثر روند نزولی که بارش منطقه داشته است، روند دبی رودخانه نیز نزولی و متأثر از روند تغییرات بارش می‌باشد. نمودار به‌وضوح نشان‌دهنده آن است که افت و خیز نمودار دبی از بارش متأثر بوده و اثرهای کاهش و افزایش بارش بر دبی رودخانه در مدت زمان کوتاهی نمود یافته است. با بررسی بیشتر شکل ۲ در می‌یابیم که تغییرات نزولی بارش با شیب $-5/077$ همراه بوده و با نوسانات موجی بوده است. ضمناً شیب نمودار دبی برابر با $-8/9016$ می‌باشد. شدت تغییرات دبی حوضه بیشتر از مقادیر متناظر بارش است. با توجه به این که بارش مهم‌ترین عامل به وجود آمدن جریانات سطحی و دبی رودخانه‌ها می‌باشد، شیب روند نمودارها نشان می‌دهد که تأثیر بارش بر دبی مستقیم و غیرخطی می‌باشد. این نمودار نشان می‌دهد که در سال $1993-94$ بیش‌ترین بارش ($630/6$) و دبی ($874/99$) در حوضه آبریز رودخانه شور رخ داده است.



شکل ۲: نمودار روند خطی تغییرات بارش و دبی سالانه واحد هیدرولوژیکی مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ)

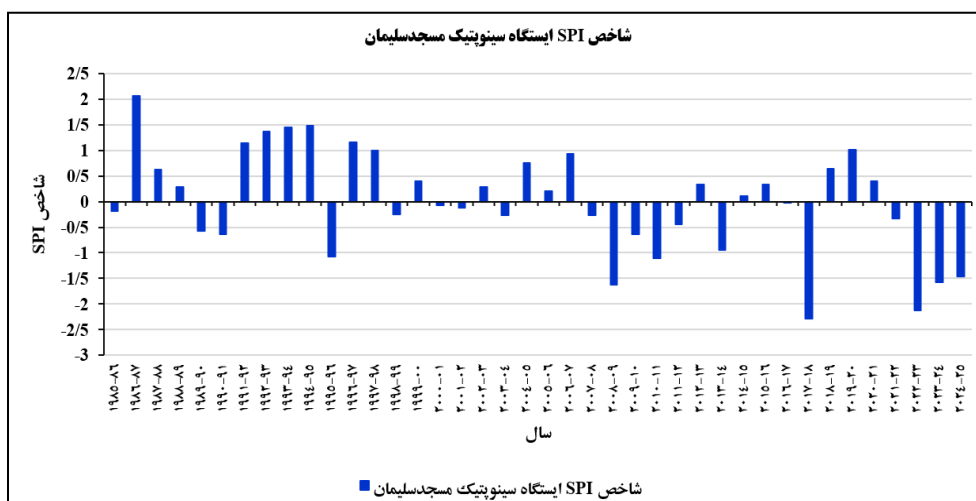
پایش خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

در این پژوهش مقادیر SPI با استفاده از نرم DIP محاسبه و سپس با استفاده از مقیاس آن وقایع ترسالی، خشک‌سالی و سال‌های نرمال برای ایستگاه مورد مطالعه تعیین گردید که مهم‌ترین نتایج حاصل از این شاخص در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۴ نتایج تحلیل سالانه در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان نشان می‌دهد که طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۲۴)، سال آبی ۸۷-۱۹۸۶ مرطوب‌ترین سال با مقدار ۲/۰۶ و سال آبی ۱۸-۲۰۱۷ و ۲۳-۲۰۲۲ به‌عنوان خشک‌ترین سال‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی با مقدار ۲/۲۹- و ۲/۱۲- به دست آمده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از شاخص SPI سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴

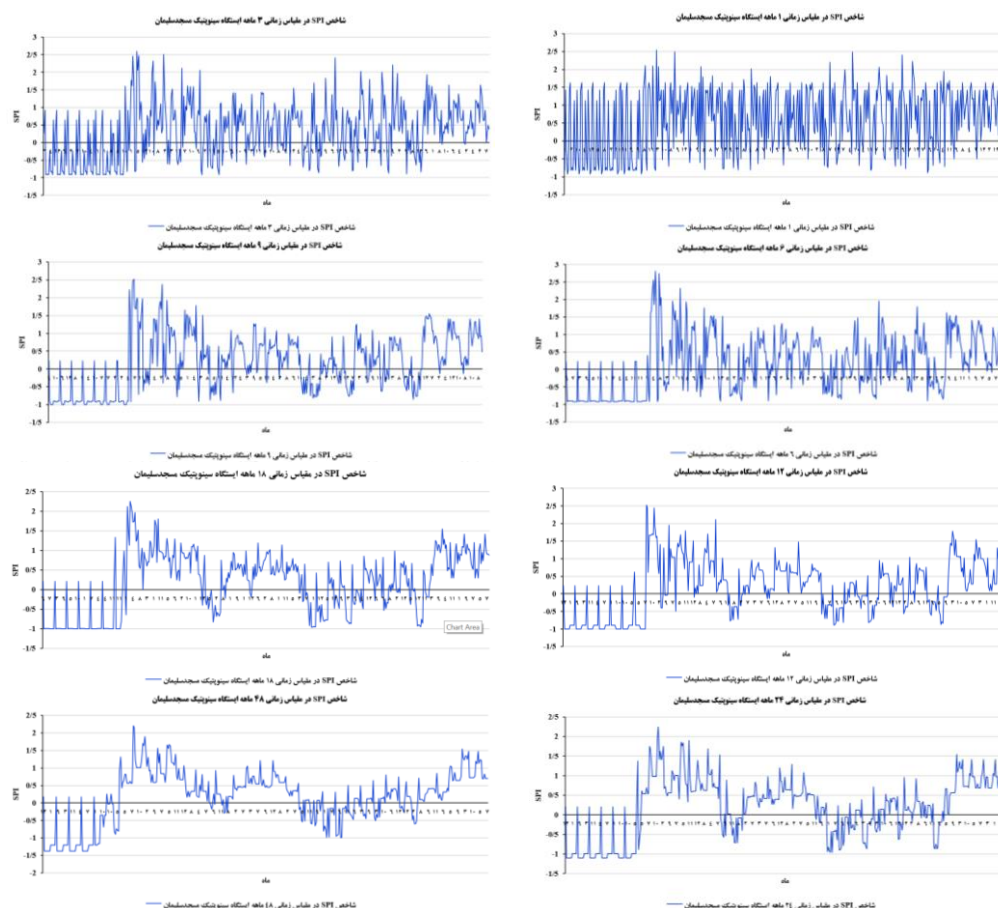
سال	بارش	شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	Drought Classification	طبقه‌بندی خشک‌سالی	سال	بارش	شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	Drought Classification	طبقه‌بندی خشک‌سالی
۱۹۸۵-۸۶	۲۵۸/۱	-۰/۱۸	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۰۵-۰۶	۴۱۴/۲	-۰/۲۱	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۸۶-۸۷	۷۵۹/۱	۲/۰۶	Exteremly wet	ترسالی بسیار شدید	۲۰۰۶-۰۷	۵۳۲/۲	-۰/۹۳	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۸۷-۸۸	۴۸۰/۸	-۰/۶۳	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۰۷-۰۸	۳۴۶/۹	-۰/۲۶	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۸۸-۸۹	۴۲۶	-۰/۲۹	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۰۸-۰۹	۱۹۴/۴	-۱/۶۳	Severly dry	خشک‌سالی شدید
۱۹۸۹-۹۰	۳۰۶/۷	-۰/۵۷	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۰۹-۱۰	۲۹۸/۳	-۰/۶۴	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۰-۹۱	۳۰۰	-۰/۶۳	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۱۰-۱۱	۲۴۶/۶	-۱/۱۰	Moderately dry	خشک‌سالی متوسط
۱۹۹۱-۹۲	۵۶۹/۴	۱/۱۴	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۱-۱۲	۳۲۱/۷	-۰/۴۵	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۲-۹۳	۶۱۳/۸	۱/۳۷	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۲-۱۳	۴۳۲/۲	-۰/۳۴	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۳-۹۴	۶۳۰/۶	۱/۴۵	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۳-۱۴	۲۶۲/۸	-۰/۹۵	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۴-۹۵	۶۳۵/۸	۱/۴۸	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۴-۱۵	۳۹۸	-۰/۱۰	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۵-۹۶	۲۴۹/۶	-۱/۰۷	Moderately dry	خشک‌سالی متوسط	۲۰۱۵-۱۶	۴۳۳	-۰/۳۴	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۶-۹۷	۵۷۳/۴	۱/۱۶	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۶-۱۷	۳۸۱	-۰/۰۱	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۷-۹۸	۵۴۴/۶	۱/۰۰	Moderately wet	ترسالی متوسط	۲۰۱۷-۱۸	۱۴۱/۷	-۲/۲۹	Exteremly dry	خشک‌سالی خیلی شدید
۱۹۹۸-۹۹	۳۴۸/۴	-۰/۲۵	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۱۸-۱۹	۴۸۲/۳	-۰/۶۴	Near normal	نزدیک نرمال
۱۹۹۹-۰۰	۴۴۳/۷	-۰/۴۰	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۱۹-۲۰	۵۴۷/۳	۱/۰۲	Moderately wet	ترسالی متوسط
۲۰۰۰-۰۱	۳۷۲/۲	-۰/۰۷	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۲۰-۲۱	۴۴۱/۸	-۰/۳۹	Near normal	نزدیک نرمال
۲۰۰۱-۰۲	۳۶۶/۳	-۰/۱۲	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۲۱-۲۲	۳۳۸/۱	-۰/۳۳	Near normal	نزدیک نرمال
۲۰۰۲-۰۳	۴۲۴/۸	-۰/۲۸	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۲۲-۲۳	۱۵۳/۶	-۲/۱۲	Exteremly dry	خشک‌سالی خیلی شدید
۲۰۰۳-۰۴	۳۴۶/۸	-۰/۲۶	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۲۳-۲۴	۲۰۰	-۱/۵۷	Severly dry	خشک‌سالی شدید
۲۰۰۴-۰۵	۵۰۰/۵	-۰/۷۵	Near normal	نزدیک نرمال	۲۰۲۴-۲۵	۲۱۰	-۱/۴۶	Moderately dry	خشک‌سالی متوسط

در شکل ۳ پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) را در مقیاس سالانه نشان می‌دهند. برای بررسی روند خشک‌سالی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴ نمودار شاخص SPI سالانه ترسیم شد. نمودار شاخص SPI نشانگر سیر افزایشی خشک‌سالی در حوضه آبریز رودخانه شور است.



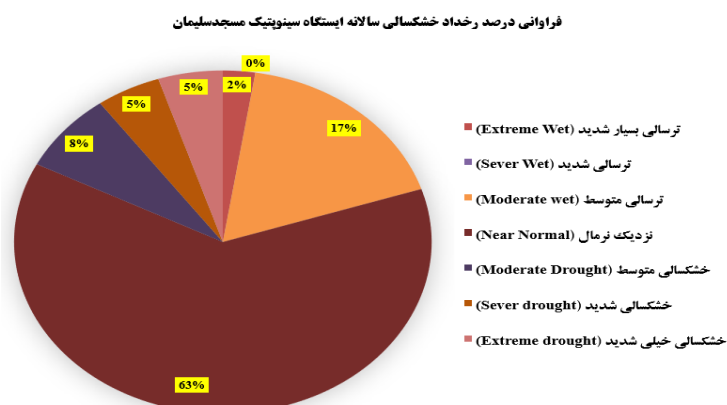
شکل ۳: نمودار مقادیر شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴

جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی، مشخص کردن دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی و برآورد تکرار خشک‌سالی در دوره آماری مطالعاتی در واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) از بارش استاندارد SPI استفاده شد. این شاخص در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و سالانه برای ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان محاسبه شد. با توجه به بررسی و تجزیه و تحلیل نمودارها، در این بررسی شکل‌های ۴ رسم شد که روند تغییرات خشک‌سالی سالانه را به صورت سری زمانی نشان می‌دهد، با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که روند منحنی در بعضی سال‌ها کاهشی و در بعضی سال‌ها افزایشی و در اغلب سال‌ها تقریباً نرمال بوده است. نگاه کلی به شدیدترین خشک‌سالی‌ها در پایه زمانی ۱ تا ۴۸ ماهه بیانگر این واقعیت است که خشک‌سالی‌ها در محدوده مطالعاتی از نظم خاصی تبعیت ننموده و در کلیه فصل‌ها و ماه‌های سال به صورت متغیر دیده می‌شود.



شکل ۴: نمودار تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴

با توجه به نتایج حاصل از شاخص خشک‌سالی هواشناسی (شاخص SPI) در تبیین شرایط خشک‌سالی واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) در دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴، وضعیت خشک‌سالی نسبت به ترسالی از شانس بیشتری برخوردار بوده است. در مجموع ۷/۵ درصد شرایط خشک‌سالی متوسط، ۵ درصد خشک‌سالی شدید و ۵ درصد خشک‌سالی بسیار شدید و ۲/۵ درصد ترسالی بسیار شدید و ۱۷/۵ درصد ترسالی متوسط بوده ولی بیشتر از ۶۲/۵ درصد از منطقه دارای شرایط نرمال و نزدیک به نرمال است (شکل ۵). تحلیل فراوانی خشک‌سالی هواشناسی نشان داد که بیشترین فراوانی و درصد فراوانی وقوع خشک‌سالی طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴، در شرایط خشک‌سالی نرمال و نزدیک به نرمال مشاهده شد.

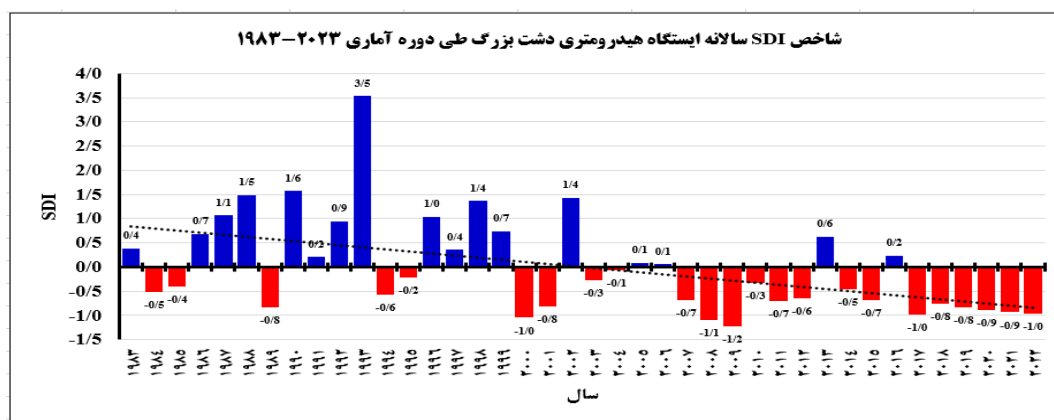


شکل ۵: نمودار فراوانی درصد رخداد خشک‌سالی سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۴

وضعیت خشک‌سالی در ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ توسط شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) در مقیاس سالانه محاسبه گردید (جدول ۵). به‌طور کلی ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ در این دوره ۴۰ ساله با خشک‌سالی‌های شدید و خیلی شدید مواجه نبوده است. ولی با توجه به روندی که شکل ۶ نمودار شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ نشان می‌دهد اگر مدیریت صحیحی نسبت به آب‌های سطحی انجام نپذیرد در آینده‌ای نه‌چندان دور شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته و باعث از بین رفتن جریان رودخانه‌های واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) می‌گردد. شکل ۶ مقدار شاخص SDI برای دوره آماری ۴۰ ساله ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ را نشان می‌دهد. در این ایستگاه بحرانی‌ترین سال‌ها از لحاظ خشک‌سالی سال‌های ۲۰۰۰ با مقدار متوسط SDI $(-1/0.5)$ ، ۲۰۰۸ با مقدار متوسط SDI $(-1/0.8)$ و ۲۰۰۹ با مقدار متوسط SDI $(-1/2.2)$ بوده که خشک‌سالی متوسط رخ داده است. سال ۱۹۹۳ با مقدار متوسط SDI $(3/5.4)$ مرطوب‌ترین سال در طول دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ است. در سال‌های ابتدایی دوره آماری مطالعاتی از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۹ معمولاً ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ یا فاقد خشک‌سالی بوده و یا این که خشک‌سالی‌های متناوب ملایم را داشته است و از سال ۲۰۰۰ تا پایان دوره آماری شدت خشک‌سالی افزایش یافته است. به‌طور کلی سال‌های پایانی دوره با خشک‌سالی بیشتری همراه است. نتایج بیانگر آن است که در این ایستگاه خشک‌سالی شدید و بسیار شدید طی دوره آماری مورد بررسی رخ نداده است و در اغلب موارد خشک‌سالی ملایم و فاقد خشک‌سالی می‌باشد.

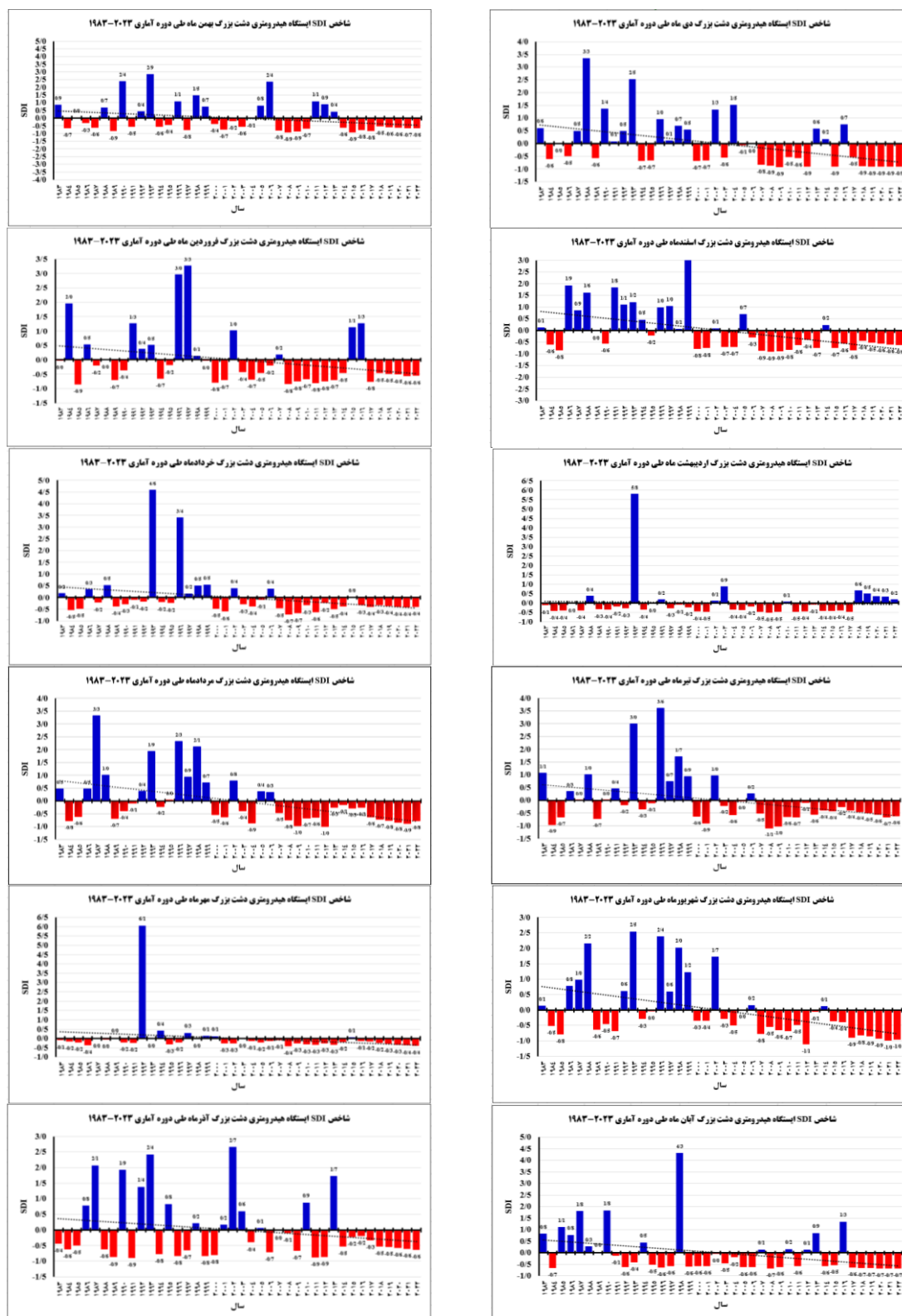
جدول ۵: نتایج شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳

سال	آمار دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	نتایج شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	شرایط ترسالی و خشک‌سالی	سال	آمار دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	نتایج شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	شرایط ترسالی و خشک‌سالی
۱۹۸۳-۸۴	۳۲۱/۲۹	۰/۳۹	فاقد خشک‌سالی	۲۰۰۳-۰۴	۲۰۴/۴۳	-۰/۲۸	خشک‌سالی ملایم
۱۹۸۴-۸۵	۱۶۱/۸۵	-۰/۵۲	خشک‌سالی ملایم	۲۰۰۴-۰۵	۲۴۲/۴۲	-۰/۰۶	خشک‌سالی ملایم
۱۹۸۵-۸۶	۱۸۱/۸۰	-۰/۴۱	خشک‌سالی ملایم	۲۰۰۵-۰۶	۲۶۹/۲۴	۰/۰۹	فاقد خشک‌سالی
۱۹۸۶-۸۷	۳۷۴/۱۳	۰/۶۹	فاقد خشک‌سالی	۲۰۰۶-۰۷	۲۶۳/۶۹	۰/۰۶	فاقد خشک‌سالی
۱۹۸۷-۸۸	۴۴۱/۳۸	۱/۰۷	فاقد خشک‌سالی	۲۰۰۷-۰۸	۱۳۳/۶۸	-۰/۶۸	خشک‌سالی ملایم
۱۹۸۸-۸۹	۵۱۵/۱۴	۱/۴۹	فاقد خشک‌سالی	۲۰۰۸-۰۹	۶۲/۶۹	-۱/۰۸	خشک‌سالی متوسط
۱۹۸۹-۹۰	۱۰۷/۸۴	-۰/۸۳	خشک‌سالی ملایم	۲۰۰۹-۱۰	۲۸/۶۰	-۱/۲۲	خشک‌سالی متوسط
۱۹۹۰-۹۱	۵۳۰/۲۵	۱/۵۸	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۰-۱۱	۱۹۴/۹۱	-۰/۳۳	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۱-۹۲	۲۹۰/۵۷	۰/۲۱	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۱-۱۲	۱۳۰/۷۱	-۰/۷۰	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۲-۹۳	۴۲۰/۰۷	۰/۹۵	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۲-۱۳	۱۴۰/۱۲	-۰/۶۴	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۳-۹۴	۸۷۴/۹۹	۳/۵۴	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۳-۱۴	۳۶۳/۴۹	۰/۶۳	فاقد خشک‌سالی
۱۹۹۴-۹۵	۱۵۴/۲۸	-۰/۵۶	خشک‌سالی ملایم	۲۰۱۴-۱۵	۱۷۳/۵۰	-۰/۴۵	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۵-۹۶	۲۱۵/۵۵	-۰/۲۱	خشک‌سالی ملایم	۲۰۱۵-۱۶	۱۳۳/۱۴	-۰/۶۸	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۶-۹۷	۴۳۵/۵۸	۱/۰۴	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۶-۱۷	۲۹۴/۲۳	۰/۲۳	فاقد خشک‌سالی
۱۹۹۷-۹۸	۳۱۵/۶۱	۰/۳۵	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۷-۱۸	۸۲/۲۲	-۰/۹۷	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۸-۹۹	۴۹۳/۶۲	۱/۳۷	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۸-۱۹	۱۲۰/۱۹	-۰/۷۶	خشک‌سالی ملایم
۱۹۹۹-۰۰	۳۸۴/۱۶	۰/۷۴	فاقد خشک‌سالی	۲۰۱۹-۲۰	۱۰۷/۸۵	-۰/۸۳	خشک‌سالی ملایم
۲۰۰۰-۰۱	۶۹/۲۸	-۱/۰۵	خشک‌سالی متوسط	۲۰۲۰-۲۱	۹۸/۰۶	-۰/۸۸	خشک‌سالی ملایم
۲۰۰۱-۰۲	۱۱۱/۶۷	-۰/۸۱	خشک‌سالی ملایم	۲۰۲۱-۲۲	۸۹/۰۵	-۰/۹۳	خشک‌سالی ملایم
۲۰۰۲-۰۳	۵۰۵/۳۶	۱/۴۳	فاقد خشک‌سالی	۲۰۲۲-۲۳	۸۳/۶۱	-۰/۹۷	خشک‌سالی ملایم



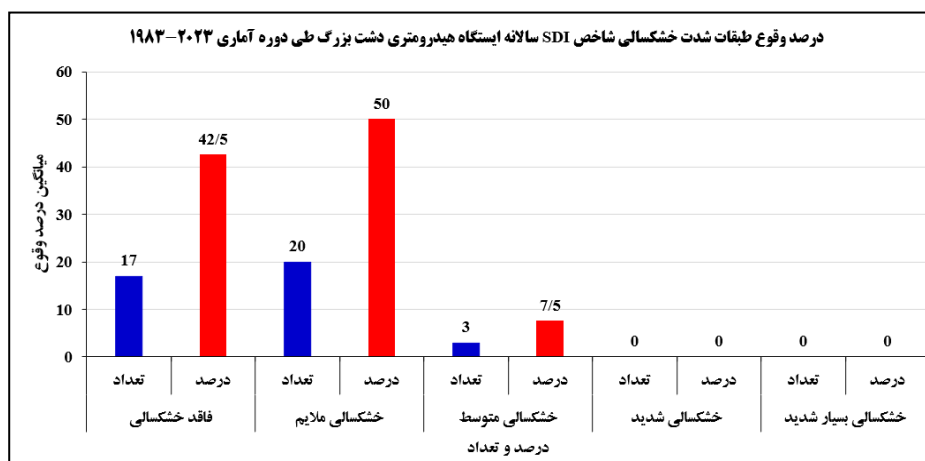
شکل ۶: نمودار شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳

با محاسبه شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) در ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ شدت خشک‌سالی ماهانه تعیین گردید. شرایط حوضه هیدرولوژیک مسجدسلیمان در همه ماه‌ها خشک‌سالی ملایم و یا در تعدادی از ماه‌ها در حد خشک‌سالی متوسط و فاقد خشک‌سالی بوده است. در سری داده‌های ماهانه وضعیت خشک‌سالی از ملایم تا متوسط وجود دارد و سایر ماه‌ها فاقد خشک‌سالی است. به‌طور کلی نتایج بررسی‌ها نشان داد که غالب خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در طول دوره مورد بررسی با شدت ملایم رخ داده است. در طول دوره آماری ۴۰ ساله خشک‌سالی شدید و بسیار شدید در حوضه هیدرولوژیک مسجدسلیمان^۱ (حوضه آبریز رودخانه شور یا حوضه دشت بزرگ) به وجود نیامده است. در شکل ۷، روند تغییرات خشک‌سالی هیدرولوژیکی ماهانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ بر اساس شاخص SDI طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ نمایش می‌دهند.



شکل ۷: نمودار نتایج ماهانه شاخص SEDI ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳

تغییرات فراوانی سال‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه شور طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳ بررسی گردید. شکل ۸ درصد وقوع حالت‌های خشک‌سالی ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ را نشان می‌دهد. در دوره آماری مطالعاتی، شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) در ۴۵/۵ درصد سال‌ها فاقد خشک‌سالی، ۵۰ درصد سال‌ها خشک‌سالی ملایم و ۷/۵ درصد با خشک‌سالی متوسط در ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ همراه بوده است. تحلیل فراوانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی نشان داد که بیشترین فراوانی و درصد فراوانی وقوع خشک‌سالی طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳، در شرایط خشک‌سالی ملایم مشاهده شد.



شکل ۸: نمودار درصد وقوع طبقات شدت خشک‌سالی شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۲۳

بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی

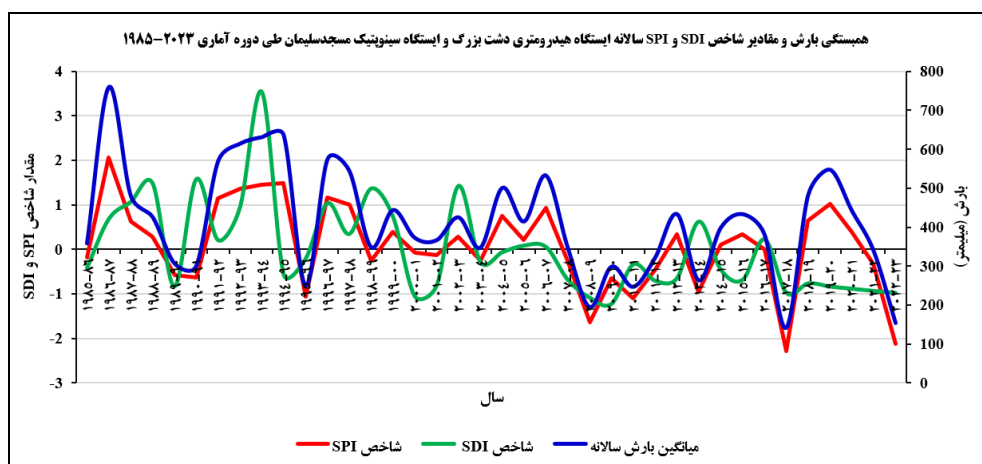
به منظور مقایسه دو شاخص SPI و SDI در تعیین خشک‌سالی حوضه هیدرولوژیکی مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۳ اقدام به ایجاد رابطه همبستگی بین هر کدام از این شاخص‌ها با میزان بارش سالانه حوضه مطالعاتی گردید (جدول ۶). شکل ۹ نمودار همبستگی رابطه بین بارش سالانه و مقادیر شاخص SPI و SDI نشان می‌دهد که بین میزان بارش سالانه و شاخص خشک‌سالی همبستگی مثبت وجود دارد. بدین معنی که سال‌هایی که مقدار بارش در حوضه مطالعاتی افزایش داشته میزان شاخص SPI و SDI هم بیشتر گردیده است و با کاهش مقدار بارش، میزان شاخص SPI و SDI نیز کمتر شده است.

جدول ۶: همبستگی بارش و مقادیر شاخص SDI و SPI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ و ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری

۱۹۸۵-۲۰۲۳

دوره آماری	میانگین بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SDI ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	دوره آماری	میانگین بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SDI ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ
۱۹۸۵-۸۶	۳۵۸/۱	-۰/۱۸	-۰/۴۱	۲۰۰۴-۰۵	۵۰۰/۵	۰/۷۵	-۰/۰۶
۱۹۸۶-۸۷	۷۵۹/۱	۲/۰۶	۰/۶۹	۲۰۰۵-۰۶	۴۱۴/۲	۰/۲۱	۰/۰۹
۱۹۸۷-۸۸	۴۸۰/۸	۰/۶۳	۱/۰۷	۲۰۰۶-۰۷	۵۳۲/۲	۰/۹۳	۰/۰۶
۱۹۸۸-۸۹	۴۲۶	۰/۲۹	۱/۴۹	۲۰۰۷-۰۸	۳۴۶/۹	-۰/۲۶	-۰/۰۶۸
۱۹۸۹-۹۰	۳۰۶/۷	-۰/۵۷	-۰/۸۳	۲۰۰۸-۰۹	۱۹۴/۴	-۱/۶۳	-۱/۰۸
۱۹۹۰-۹۱	۳۰۰	-۰/۶۳	۱/۵۸	۲۰۰۹-۱۰	۲۹۸/۳	-۰/۶۴	-۱/۲۲
۱۹۹۱-۹۲	۵۶۹/۴	۱/۱۴	۰/۲۱	۲۰۱۰-۱۱	۳۴۶/۶	-۱/۱	-۰/۳۳
۱۹۹۲-۹۳	۶۱۳/۸	۱/۳۷	۰/۹۵	۲۰۱۱-۱۲	۳۲۱/۷	-۰/۴۵	-۰/۰۷
۱۹۹۳-۹۴	۶۳۰/۶	۱/۴۵	۳/۵۴	۲۰۱۲-۱۳	۴۳۳/۲	۰/۳۴	-۰/۰۶۴
۱۹۹۴-۹۵	۶۳۵/۸	۱/۴۸	-۰/۵۶	۲۰۱۳-۱۴	۲۶۲/۸	-۰/۹۵	۰/۰۶۳
۱۹۹۵-۹۶	۳۴۹/۶	-۱/۰۷	-۰/۲۱	۲۰۱۴-۱۵	۳۹۸	۰/۱	-۰/۴۵
۱۹۹۶-۹۷	۵۷۳/۴	۱/۱۶	۱/۰۴	۲۰۱۵-۱۶	۴۳۳	۰/۳۴	-۰/۰۶۸
۱۹۹۷-۹۸	۵۴۴/۶	۱	۰/۳۵	۲۰۱۶-۱۷	۳۸۱	-۰/۰۱	۰/۲۳
۱۹۹۸-۹۹	۳۴۸/۴	-۰/۲۵	۱/۳۷	۲۰۱۷-۱۸	۱۴۱/۷	-۲/۲۹	-۰/۰۹۷
۱۹۹۹-۰۰	۴۴۳/۷	۰/۴	۰/۷۴	۲۰۱۸-۱۹	۴۸۲/۳	۰/۶۴	-۰/۰۷۶
۲۰۰۰-۰۱	۳۷۳/۲	-۰/۰۷	-۱/۰۵	۲۰۱۹-۲۰	۵۴۷/۳	۱/۰۲	-۰/۰۸۳
۲۰۰۱-۰۲	۳۶۶/۳	-۰/۱۲	-۰/۸۱	۲۰۲۰-۲۱	۴۴۱/۸	۰/۳۹	-۰/۰۸۸
۲۰۰۲-۰۳	۴۲۴/۸	۰/۲۸	۱/۴۳	۲۰۲۱-۲۲	۳۳۸/۱	-۰/۳۳	-۰/۰۹۳
۲۰۰۳-۰۴	۳۴۶/۸	-۰/۲۶	-۰/۲۸	۲۰۲۲-۲۳	۱۵۳/۶	-۲/۱۲	-۰/۰۹۷

۹:

شکل
نمودار

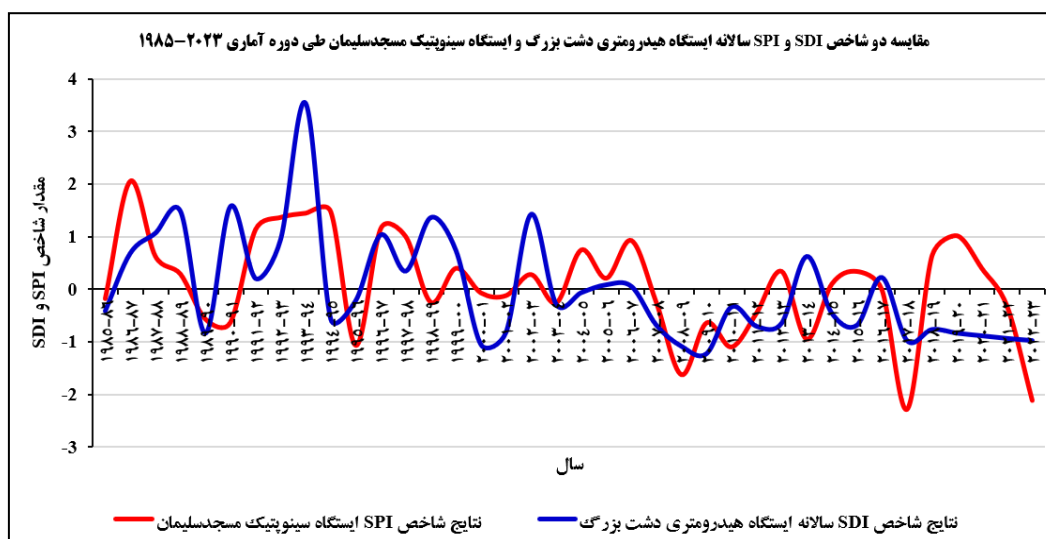
همبستگی بارش و مقادیر شاخص SDI و SPI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ و ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۲۳

جهت بررسی دقیق‌تر نحوه تأثیرگذاری خشک‌سالی هواشناسی بر تغییرات خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوضه هیدرولوژیکی مسجدسلیمان، مقایسه‌ای بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI و خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI) در مقیاس زمانی سالانه در طول دوره آماری مشترک (۱۹۸۵-۲۰۲۳) صورت گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این شکل ارتباط بین دوره‌های ترسالی

و خشک‌سالی اقلیمی با تغییرات دبی با توجه به داده‌های آماری ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ نسبت به زمان قابل بررسی است. با توجه به جدول ۷ بیشترین مقدار شاخص SPI و SDI در دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۵ در سال آبی ۹۴-۱۹۹۳ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه معناداری بین شاخص SPI و SDI سالانه طی بازه زمانی (۲۰۲۳-۱۹۸۵) در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. نتایج حاصل از این نمودار نشان می‌دهد که کاهش جریان آب سطحی با شاخص SPI بارندگی ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. در واقع در سال‌هایی که شاخص SPI بارندگی دارای روند افزایشی بوده است، شاخص SDI نیز افزایش یافته و در سال‌هایی که مقدار شاخص SPI بارندگی دچار کاهش می‌شود، این پدیده نشان‌دهنده حاکمیت دوره‌های خشک است. این روند در طول دوره زمانی مطالعاتی این پژوهش صادق است. در نتیجه شاخص SDI با شاخص SPI بارندگی دارای ارتباط مستقیم است. همچنین تناوبی از دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی بر منطقه حکم‌فرما بوده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود با مقایسه دو شاخص SPI و SDI از سال ۸۶-۱۹۸۵ دو شاخص برهم منطبق هستند. در نتیجه به‌طور کلی وابستگی حوضه به آب رودخانه و همچنین بارش منطقه بوده و شاخص SPI و SDI رابطه نزدیکی داشته‌اند.

جدول ۷: نتایج شاخص SDI و SPI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ و ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان حوضه هیدرولوژیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۵

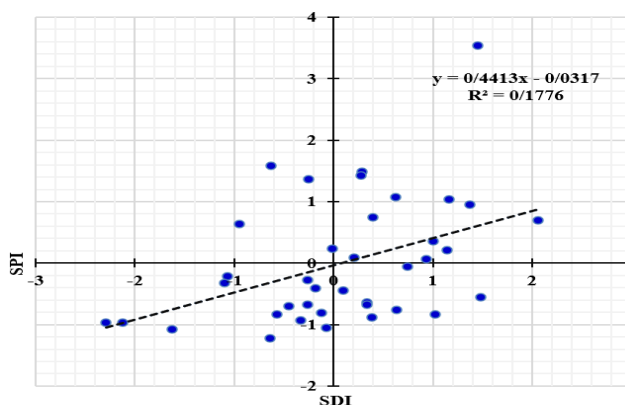
سال	نتایج شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ	سال	نتایج شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان	نتایج شاخص SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ
۸۶-۱۹۸۵	-۰/۱۸	-۰/۴۱	۰۵-۲۰۰۴	۰/۷۵	-۰/۰۶
۸۷-۱۹۸۶	۲/۰۶	۰/۶۹	۰۶-۲۰۰۵	۰/۲۱	-۰/۰۹
۸۸-۱۹۸۷	۰/۶۳	۱/۰۷	۰۷-۲۰۰۶	۰/۹۳	-۰/۰۶
۸۹-۱۹۸۸	۰/۳۹	۱/۴۹	۰۸-۲۰۰۷	-۰/۲۶	-۰/۶۸
۹۰-۱۹۸۹	-۰/۵۷	-۰/۸۳	۰۹-۲۰۰۸	-۱/۶۳	-۱/۰۸
۹۱-۱۹۹۰	-۰/۶۳	۱/۵۸	۱۰-۲۰۰۹	-۰/۶۴	-۱/۲۲
۹۲-۱۹۹۱	۱/۱۴	۰/۲۱	۱۱-۲۰۱۰	-۱/۱	-۰/۳۳
۹۳-۱۹۹۲	۱/۳۷	۰/۹۵	۱۲-۲۰۱۱	-۰/۴۵	-۰/۷
۹۴-۱۹۹۳	۱/۴۵	۳/۵۴	۱۳-۲۰۱۲	۰/۳۴	-۰/۶۴
۹۵-۱۹۹۴	۱/۴۸	-۰/۵۶	۱۴-۲۰۱۳	-۰/۹۵	۰/۶۳
۹۶-۱۹۹۵	-۱/۰۷	-۰/۲۱	۱۵-۲۰۱۴	۰/۱	-۰/۴۵
۹۷-۱۹۹۶	۱/۱۶	۱/۰۴	۱۶-۲۰۱۵	۰/۳۴	-۰/۶۸
۹۸-۱۹۹۷	۱	۰/۳۵	۱۷-۲۰۱۶	-۰/۰۱	۰/۲۳
۹۹-۱۹۹۸	-۰/۲۵	۱/۳۷	۱۸-۲۰۱۷	-۲/۲۹	-۰/۹۷
۰۰-۱۹۹۹	۰/۴	۰/۷۴	۱۹-۲۰۱۸	۰/۶۴	-۰/۷۶
۰۱-۲۰۰۰	-۰/۰۷	-۱/۰۵	۲۰-۲۰۱۹	۱/۰۲	-۰/۸۳
۰۲-۲۰۰۱	-۰/۱۲	-۰/۸۱	۲۱-۲۰۲۰	۰/۳۹	-۰/۸۸
۰۳-۲۰۰۲	۰/۲۸	۱/۴۳	۲۲-۲۰۲۱	-۰/۳۳	-۰/۹۳
۰۴-۲۰۰۳	-۰/۲۶	-۰/۲۸	۲۳-۲۰۲۲	-۲/۱۲	-۰/۹۷



شکل ۱۰: نمودار مقایسه دو شاخص SPI و SDI سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ و ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان طی دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۵

بررسی همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI

همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI به صورت سری زمانی سالانه در شکل ۱۱ آورده شده است. میزان ضریب تعیین همبستگی در طی بازه زمانی سالانه به مقدار ۰/۱۷۷۶ درصد است. هر چه تعداد سال‌های دوره آماری به صورت سری زمانی افزایش پیدا کند همبستگی بین داده‌ها نیز افزایش می‌یابد. مقدار کم ضریب تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف نوسانات شدید شاخص SDI در مقابل شاخص SPI است.



شکل ۱۱: نمودار همبستگی بین شاخص SPI و SDI در مقیاس سری زمانی سالانه ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ طی دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۵

بررسی تأخیر زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

جهت بررسی اثر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب سطحی، به بررسی رابطه میان بارندگی و دبی در حوضه آبریز رودخانه شور در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه پرداخته شد. ابتدا میانگین کل بارندگی ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان با میانگین کل دبی ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ بررسی شد. سپس ضریب همبستگی ایستگاه هیدرومتری با ایستگاه هواشناسی تعیین شد. از تأخیر زمانی ۱ تا ۵ ماهه در ایستگاه هیدرومتری برای بررسی اثر کاهش بارندگی بر جریان آب سطحی و پیدا کردن نظم زمانی

کمبود آب استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش که در جدول ۸ ارائه شده است، مشخص شد که از میان تأخیرهای زمانی مختلف در حوضه مطالعاتی، کاهش بارندگی تأثیر خود را بدون تأخیر و یا حداکثر با یک ماه تأخیر بر جریان رودخانه شور می‌گذارد. هرچقدر تأخیر زمانی بیشتر می‌شود (از ۱ ماه تا ۵ ماه) میزان ضریب همبستگی کاهش پیدا می‌کند. بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر معنی‌دار است.

جدول ۸: ضریب همبستگی بین مجموع بارندگی و مجموع دبی حوضه آبریز رودخانه شور

نام حوضه	تأخیر گام زمانی	بدون تأخیر	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر
حوضه آبریز رودخانه شور	۱ ماهه	۰/۵۶۱**	۰/۴۵۳**	۰/۳۰۵**	۰/۱۵۰**	۰/۱۲۹**	۰/۰۳۸
	۳ ماهه	۰/۶۰۵**	۰/۴۶۶**	۰/۳۳۷**	۰/۱۴۹**	۰/۱۰۸**	۰/۰۳۲
	۶ ماهه	۰/۶۴۶**	۰/۵۵۶**	۰/۳۰۷**	۰/۱۵۰**	۰/۱۰۵**	۰/۰۳۰
	۱۲ ماهه	۰/۵۷۲**	۰/۴۴۸**	۰/۳۲۸**	۰/۲۶۸**	۰/۲۳۴**	۰/۰۶۱

** همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

به‌منظور بررسی تأخیر زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و شاخص SDI در ایستگاه‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه شور در جدول ۹ ارائه شده است. در گام زمانی ۱ ماهه بیشترین همبستگی بین دو شاخص خشک‌سالی SPI و SDI بدون تأخیر و نیز با یک ماه تأخیر است، و در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر است. در نتیجه خشک‌سالی هواشناسی تأثیر خود را بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌گذارد. جهت بررسی نظم زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز رودخانه شور از ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان و ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ استفاده شد. ابتدا میانگین SPI با مقدار شاخص SDI بدون تأخیر و با تأخیر ۱ تا ۵ ماهه برای یافتن بهترین تأخیر زمانی استفاده شد که نتایج ضریب همبستگی در جدول ۹ مشاهده می‌شود. بر اساس جدول ۹ بیشترین ضریب همبستگی بدون تأخیر در سطح حوضه آبریز رودخانه شور است. با افزایش گام زمانی ضریب همبستگی افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۹: ضریب همبستگی بین مجموع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه شور

نام حوضه	تأخیر گام زمانی	بدون تأخیر	۱ ماه تأخیر	۲ ماه تأخیر	۳ ماه تأخیر	۴ ماه تأخیر	۵ ماه تأخیر
حوضه آبریز رودخانه شور	۱ ماهه	۰/۳۲۹**	۰/۲۰۴**	۰/۱۵۷**	۰/۱۶۷**	۰/۱۱۳**	۰/۱۲۳*
	۳ ماهه	۰/۴۴۳**	۰/۲۷۴**	۰/۱۲۲**	۰/۱۲۳**	۰/۲۰۰**	۰/۲۴۶**
	۶ ماهه	۰/۶۴۷**	۰/۳۵۰**	۰/۳۱۵**	۰/۲۰۷**	۰/۲۱۸**	۰/۲۱۰**
	۱۲ ماهه	۰/۷۰۳**	۰/۴۷۹**	۰/۴۵۲**	۰/۴۲۱**	۰/۳۴۴**	۰/۳۰۰**

** همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

جدول ۱۰ که ماتریس ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی است؛ نشان می‌دهد که SPI ۱ ماهه با SDI ۱ ماهه، SPI ۳ ماهه با SDI ۳ ماهه، SPI ۶ ماهه با SDI ۶ ماهه و SPI ۱۲ ماهه با SDI ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار را در سطح ۹۹ درصد دارد.

جدول ۱۰: ماتریس ضریب همبستگی بین دو شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI و هیدرولوژیکی SDI حوضه آبریز رودخانه شور

نام حوضه	SDI SPI	SDI1	SDI3	SDI6	SDI12
حوضه آبریز رودخانه شور	SPI1	۰/۳۲۹**	۰/۲۱۲**	۰/۱۵۴**	۰/۱۰۶**
	SPI3	۰/۲۲۱**	۰/۳۵۳**	۰/۲۴۱**	۰/۱۸۳**
	SPI6	۰/۲۸۷**	۰/۳۳۰**	۰/۲۵۷**	۰/۱۹۶**
	SPI12	۰/۵۶۱**	۰/۴۲۲**	۰/۴۰۹**	۰/۲۸۴**

**همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری

وقوع انواع خشک‌سالی که متأثر از تغییر عوامل اقلیمی و گسترش فعالیت‌های انسانی است و مدیریت منابع محدود آب را با مشکلات جدی‌تری روبه‌رو کرده است. با توجه به این‌که خشک‌سالی هواشناسی می‌تواند اثرات ملموسی بر جریانات رودخانه‌ای یک حوضه داشته باشد، بنابراین پایش خشک‌سالی از دیدگاه هواشناسی و هیدرولوژیکی اهمیت فراوانی دارد. از طرفی مدیریت بهینه منابع آب‌های سطحی نیز ایجاب می‌کند که شناخت کافی از ارتباط زمانی خشک‌سالی هواشناسی با خشک‌سالی هیدرولوژیکی وجود داشته باشد یا به عبارتی دیگر تأثیر خشک‌سالی هواشناسی به لحاظ زمانی بر روی جریانات رودخانه‌ای شناسایی شود. اطلاع از فاصله زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی به‌عنوان عامل اصلی دیگر خشک‌سالی هیدرولوژیکی، به مدیران و برنامه ریزان کمک خواهد کرد تا اقدامات مدیریتی لازم جهت مقابله با خشک‌سالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی به عمل آورند. به‌منظور آگاهی از وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک حوضه آبریز رودخانه شور در استان خوزستان از شاخص SPI و SDI استفاده گردید. با انطباق نتایج حاصل از محاسبات هر دو شاخص با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت که در طی دوره آماری مورد نظر بر اساس هر دو شاخص، خشک‌سالی در منطقه اتفاق افتاده است. ولی تحلیل خشک‌سالی در هر دو شاخص متفاوت است. بر اساس شاخص SPI طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۲۴)، سال آبی ۸۷-۱۹۸۶ مرطوب‌ترین سال با مقدار ۲/۰۶ و سال آبی ۱۸-۲۰۱۷ و ۲۳-۲۰۲۲ به‌عنوان خشک‌ترین سال‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی با مقدار ۲/۲۹- و ۲/۱۲- به دست آمده است. نتایج شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در خصوص روند تغییرات خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ایستگاه سینوپتیک مسجدسلیمان نشان می‌دهد که؛ روند منحنی در بعضی سال‌ها کاهشی و در بعضی سال‌ها افزایشی و در اغلب سال‌ها تقریباً نرمال بوده است. بر اساس شاخص SDI طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۸۳-۲۰۲۳)، بحرانی‌ترین سال‌ها از لحاظ خشک‌سالی سال‌های ۲۰۰۰ با مقدار متوسط SDI (۱/۰۵-)، ۲۰۰۸ با مقدار متوسط SDI (۱/۰۸-) و ۲۰۰۹ با مقدار متوسط SDI (۱/۲۲-) بوده که خشک‌سالی متوسط رخ داده است. سال ۱۹۹۳ با مقدار متوسط SDI (۳/۵۴) مرطوب‌ترین سال در طول دوره آماری مطالعاتی است. نتایج شاخص خشک‌سالی

جریان رودخانه‌ای (SDI) در خصوص شدت خشک‌سالی در مقیاس ماهانه برای ایستگاه هیدرومتری دشت بزرگ نشان می‌دهد که؛ شرایط حوضه هیدرولوژیک مسج‌سلیمان در همه ماه‌ها خشک‌سالی ملایم و یا در تعدادی از ماه‌ها در حد خشک‌سالی متوسط و فاقد خشک‌سالی بوده است. همچنین نتایج به دست آمده از تحلیل شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیک (SDI) نشان داد که در حوضه آبریز رودخانه شور خشک‌سالی رخ داده است. ولی شدت خشک‌سالی در حوضه مطالعاتی به تدریج افزایش یافته است و سال‌های پایانی دوره با خشک‌سالی بیشتری همراه می‌باشد. این شرایط می‌تواند ناشی از تشدید بحران آب در سال‌های اخیر باشد. مقایسه نتایج به دست آمده از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیک (SDI) نشان داد که؛ کاهش جریان آب سطحی با شاخص SPI بارندگی ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. در واقع در سال‌هایی که شاخص SPI بارندگی دارای روند افزایشی بوده است، شاخص SDI نیز افزایش یافته و در سال‌هایی که مقدار شاخص SPI بارندگی دچار کاهش می‌شود، این پدیده نشان‌دهنده حاکمیت دوره‌های خشک است. با مقایسه دو شاخص SPI و SDI از سال ۸۶-۱۹۸۵ دو شاخص برهم منطبق هستند. در نتیجه به‌طور کلی وابستگی حوضه به آب رودخانه و همچنین بارش منطقه بوده و شاخص SPI و SDI رابطه نزدیکی داشته‌اند. نتایج حاصل از بررسی اثر کاهش بارندگی بر جریان آب سطحی و پیدا کردن نظم زمانی کمبود آب نشان داد که کاهش بارندگی تأثیر خود را بدون تأخیر و یا حداکثر با یک ماه تأخیر بر جریان رودخانه می‌گذارد. هرچقدر تأخیر زمانی بیشتر می‌شود (از ۱ ماه تا ۵ ماه) میزان ضریب همبستگی کاهش پیدا می‌کند. به‌طوری که بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر معنی‌دار است. همچنین نتایج حاصل از بررسی تأخیر زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و شاخص SDI در ایستگاه‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه شور نشان داد که در گام زمانی ۱ ماهه بیشترین همبستگی بین دو شاخص خشک‌سالی SPI و SDI بدون تأخیر و نیز با یک ماه تأخیر است، و در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۹۹ درصد بدون تأخیر است. در نتیجه خشک‌سالی هواشناسی تأثیر خود را بر خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌گذارد. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های صورت گرفته توسط سلیمانی سر دو و بهره‌مند (۲۰۱۳)، آذره و همکاران (۲۰۱۴)، هانگ و همکاران (۲۰۱۷)، بای و همکاران (۲۰۱۹)، جان بزرگی و همکاران (۲۰۲۱)، سارور و همکاران (۲۰۲۲)، اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۴)، کوشکی و همکاران (۱۳۹۶)، قایناتی و همکاران (۱۳۹۸)، رزمخواه و همکاران (۱۴۰۱) و سنجرى و همکاران (۱۴۰۴) مطابقت دارد. وقوع خشک‌سالی در سال‌های آتی اجتناب‌ناپذیر است، در سال‌های اخیر عواملی چون گرم شده کره زمین و افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب تغییراتی غیرطبیعی در اقلیم شده‌اند، که هیچ‌یک از مدل‌های اقلیمی موجود برای پیش‌بینی نمی‌توانند نقش اجتناب‌ناپذیر آن‌ها را در نوسانات بارش و وقوع خشک‌سالی برآورده سازند. از این‌رو نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت مدیریت بهینه منابع آبی و برنامه‌ریزی‌های عرضه و تقاضای آب مفید باشد و مدیران و برنامه‌ریزان و کارشناسان را قادر سازد تا به‌موقع تمهیدات لازم را تدارک دیده و راهکارهای عملی را ارائه دهند.

منابع

۱. احراری، سعیده و رجا، امید. (۱۴۰۴). بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در دشت مهاباد. مدیریت آب در کشاورزی، ۱۲(۱)، ۲۹-۴۸.
۲. احمدی، رؤیا، قاسمیه، هدی و قضاوی، رضا. (۱۴۰۳). ارزیابی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: زیر حوضه‌هایی از حوضه آبریز فلات مرکزی). هیدروژئومورفولوژی، ۱۱(۴۱)، ۸۷-۱۱۴.
۳. اسکندری دامنه، حامد، زهتابیان، غلامرضا، خسروی، حسن، و آذر، علی. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۱۲۰-۱۱۳: ۲۴(۹۶).
۴. اقتدار نژاد، مینا، بذرافشان، ام‌البنین و صادقی لاری، عدنان. (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی شاخص‌های SPI، RDI و SDI در تحلیل مشخصه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: دشت بزم). دانش آب و خاک، ۲۶(۴۲)، ۶۹-۸۱.
۵. امیری، مهدیس و پور قاسمی، حمیدرضا. (۱۳۹۸). بررسی ارتباط بین خشک‌سالی‌های آب‌شناسی و هواشناسی حوزه آبخیز مهارلو، استان فارس. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۳)، ۷۳۵-۷۳۸.
۶. جان بزرگی، محمد، حنیفه پور، مهین و خسروی، حسن. (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشک‌سالی هواشناسی-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۲)، ۱-۱۳.
۷. حیدری مطلق، آرین، سبزواری، یاسر، نصر الهی، علی. (۱۳۹۷). تحلیل روند خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در حوضه آبریز رودخانه الشتر. هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبیگر باران با محوریت استحصال آب باران و مدیریت بحران آب، خشک‌سالی و گردوغبار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری-انجمن سیستم‌های سطوح آبیگر باران، تهران اول و دوم اسفندماه.
۸. خلیلی، سیده وحیده، مهتابی، قربان، نیکبخت، جعفر و محمدی، مجید. (۱۴۰۲). مطالعه ارتباط زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص‌های SPI، RDI و SDI با تأکید بر مقایسه دو روش مختلف محاسبه ETO (مطالعه موردی: حوضه آبریز صوفی چای مراغه). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۴(۲)، ۲۵۷-۲۸۰.
۹. زینالی، بتول و فریدپور، مجتبی. (۱۴۰۱). ارزیابی خشک‌سالی در حوضه قره‌سو با استفاده از شاخص‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و سنجش از دور. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱)، ۸۵-۱۰۶.
۱۰. رزمخواه، هما، قهرمانی، عماد، فرارویی، علیرضا و رستمی راوری، امین. (۱۴۰۱). ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: رودخانه زهره). مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۵۸-۸۱.
۱۱. سرائی تبریزی، مهدی و بارز، محبوب. (۱۴۰۲). بررسی شاخص‌های مدیریتی خشک‌سالی در پایین دست زیر حوضه هریرود افغانستان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(ویژه‌نامه تابستان ۱۴۰۲)، ۱۷۷-۱۹۲.
۱۲. سنجر، زهرا، حیات زاده، مهدی، فتوحی فیروزآباد، فرزانه، فتح زاده، علی و روستایی صدرآباد، فاطمه. (۱۴۰۴). بررسی ارتباط بین توزیع مکانی و زمانی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: دشت جیرفت). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۱۳(۴۵)، ۳۳-۴۸.
۱۳. سهیلی، اسماعیل، ملکی نژاد، حسین و اختصاصی، محمدرضا. (۱۳۹۶). تحلیل روند خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق نیمه‌خشک ایران (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد درود زن). نشریه مدیریت بیابان، ۵(۹)، ۳۱-۴۵.
۱۴. عباس نیا، علی، مرشدی، جعفر، ظهوریان، منیژه، قربانیان، جبرائیل. (۱۴۰۰). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت مهران استان ایلام. جغرافیای طبیعی، ۱۴(۱۴)، ۹۵-۱۱۴.
۱۵. قایناتی، شبنم، فضل‌اولی، رامین، مسعودیان، محسن و نادری، مهدی. (۱۳۹۸). استفاده از دو شاخص SPImod و SDImod به‌منظور بررسی تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۳)، ۶۱۴-۶۲۶.
۱۶. کاظمی، رحیم، پرهت، جهانگیر و قرمز چشمه، باقر. (۱۴۰۱). بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه به خشک‌سالی هواشناسی در زیر حوضه‌های کارستی کشکان. محیط‌زیست و مهندسی آب، ۸(۳)، ۶۸۲-۶۹۷.
۱۷. کوشکی، راضیه، رحیمی، محمد، امیری، مجتبی، محمدی، مجید و دستورانی، جعفر. (۱۳۹۶). بررسی رابطه زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبریز کرخه. مجله اکو هیدرولوژی، ۴(۳)، ۶۸۷-۶۹۸.

۱۸. میراکبری، مریم، مرتضایی، قاسم، محسنی، محسن. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص‌های SPI، SPEI، SDI و GRI. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۳: ۱۳۹۷: ۷۰-۸۰.

19. Amini, H., Esmali-Ouri, A., Mostafazadeh, R., Sharari, M., Zabihi, M. (2019). Hydrological Drought Response Of Regulated River Flow Under The Influence Of Dam Reservoir In Ardabil Province. *Earth And Space Physics*, 45(2): 473-486. (In Persian)
20. Azareh A, Rahdari MR, Rafiei-Sardoi E., Azariya-Moghadam F. (2014). Investigating The Relationship Between Hydrological And Meteorological Droughts In Karaj Dam Basin. *Euro. J. Exp. Bio.* 4(3):102-107. (In Persian)
21. Bae, H., Ji, H., Lim, Y. J., Ryu, Y., Kim, M. H., Kim, B. J. (2019). Characteristics Of Drought Propagation In South Korea: Relationship Between Meteorological, Agricultural, And Hydrological Droughts. *Natural Hazards*, 99(1), 1-16.
22. David, V., Davidová, T. (2016). Assessment Of Summer Drought In 2015 Using Different Indices In The Catchment Of Blanice River. *International Conference On Efficient & Sustainable Water Systems Management Toward Worth Living Development*, 162: 45-55.
23. Freitas, A.A., Drumond, A., Carvalho, V.S.B., Reboita, M.S., Silva, B.C., Uvo, C.B. (2022). Drought Assessment In São Francisco River Basin, Brazil: Characterization Through SPI And Associated Anomalous Climate Patterns. *Atmosphere*, 13, 41.
24. Gumus, V. (2023). Evaluating The Effect Of The SPI And SPEI Methods On Drought Monitoring Over Turkey. *Journal Of Hydrology*, 626, Part B, 130386.
25. Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Ma, L. (2017). The Propagation From Meteorological To Hydrological Drought And Its Potential Influence Factors. *Journal Of Hydrology*, 547, 184-195.
26. Janbozorgi, M., Hanifepour, M. Khosravi, H. (2021). Temporal Changes In Meteorological-Hydrological Drought (Case Study: Guilan Province). *Water And Soil Management And Modeling*, 1(2), 1-14. (In Persian).
27. Liu, C., Yang, C., Yang, Q. Wang, J. (2021). Spatiotemporal Drought Analysis By The Standardized Precipitation Index (SPI) And Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) In Sichuan Province, China. *Sci Rep* 11, P1280.
28. Mckee, T.B., N.J. Doesken, J. Kleist. (1993). The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales. 8 Confj, *Applied Climatology*.
29. Mesbahzadeh, T. Soleimani Sardoo, F. (2018). Temporal Trend Study Of Hydrological And Meteorological Drought In Karkheh Watershed. *Iran-Watershed Management Science And Engineering*, 12(40), 105-114 (In Persian).
30. Minh, H. V. T., Kumar, P., Van Toan, N., Nguyen, P. C., Van Ty, T., Lavane, K., Downes, N. K. (2024). Deciphering The Relationship Between Meteorological And Hydrological Drought In Ben Tre Province, Vietnam. *Natural Hazards*. 120(6): 5869-5894.
31. Sarwar, A. N., Waseem, M., Azam, M., Abbas, A., Ahmad, I., Lee, J. E., Haq, F.U. (2022). Shifting Of Meteorological To Hydrological Drought Risk At Regional Scale. *Applied Sciences*, 12(11), 5560.
32. Shakersureh, F., Asadi, E. (2019). The Relationship Between Meteorological And Hydrological Droughts In Selmas Plain. *Scientific-Research Journal Of Desert Ecosystem Engineering*, 8(22), 89-100. (In Persian).
33. Sattar, M. N., Lee, J. Y., Shin, J.-Y., Kim, T.W. (2019). Probabilistic Characteristics Of Drought Propagation From Meteorological To Hydrological Drought In South Korea. *Water Resources Management*, 33(7), 2439-2452.
34. Shokrikocheh, S., Behnia, A. (2013). Drought Monitoring And Prediction Of Khuzestan Province, Iran Drought Using SPI Drought Index And Markov Chain, *Journal Of Irrigation Science And Engineering*, No. 3, Pp. 1-12. (In Persian).

35. Soleimani-Sardou F, Bahremand A. (2013). Hydrological Drought Analysis Using SDI Index In Halilrud Basin Of Iran. *International Journal Of Environmental Resources Research* 3: 279288. (In Persian)
36. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. (2012). Drought And Climate Change Impact On Streamflow In Small Watersheds. *Science Of The Total Environment* 440: 33-41.
37. Wilhite, D.A., Glantz, M.H. (1985). Understanding The Drought Phenomenon: The Role Of Definitions. *Water Int* 10(3):111-120.
38. Wu, J., Zhang, X., Wang, G., Wu, W., Zhang, D., Lan, T. (2024). Impact Of Hydrometeorological Regim Shifts On Drought Propagation: The Meteorological To Hydrological Perspective. *Journal Of Hydrology*, 638,131476.
39. Yao, N., Zhao, H., Li, Y., Biswas, A., Feng, H., Liu, F., Pulatov, B. (2020). National-Scale Variation And Propagation Characteristics Of Meteorological, Agricultural, And Hydrological Droughts In China. *Remote Sensing*, 12(20), 3407.
40. Zhang, P., Cai, Y., Cong, P., Xie, Y., Chen, W., Cai, J., Bai, X. (2024). Quantitation Of Meteorological, Hydrological And Agricultural Drought Under Climate Change In The East River Basin Of South China. *Ecological Indicators*, 158, 111304.
41. Zhao, L., Lyu, A., Wu, J., Hayes, M., Tang, Z., He, B., Liu, J., Liu, M. (2014). Impact Of Meteorological Drought On Streamflow Drought In Jinghe River Basin Of China. *Chin Geogr Sci* 24:694-705.