

## استفاده از دو شاخص $SPI_{mod}$ و $SDI_{mod}$ به منظور بررسی تطبیقی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن

شبنم قایناتی<sup>۱</sup>، رامین فضل‌اولی<sup>۲\*</sup>، محسن مسعودیان<sup>۳</sup>، مهدی نادى<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۷

### چکیده

خشکسالی یک رخداد طبیعی تکرارشونده و موقتی است که ناشی از کاهش بارندگی نسبت به میانگین بلندمدت آن می‌باشد که می‌تواند در هر اقلیمی رخ دهد و از وقایع مخرب طبیعی است که بیشترین صدمات را به منابع آبی وارد می‌نماید. در پژوهش حاضر، از شاخص‌های اصلاح‌شده بارندگی استاندارد ( $SPI_{mod}$ ) و خشکسالی جریانات رودخانه‌ای ( $SDI_{mod}$ ) جهت ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها استفاده شده است. برای این منظور از آمار ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه هیدرومتری در حوضه آبریز تجن استفاده شد و شاخص‌ها در شش بازه زمانی کوتاه‌مدت (یک و سه‌ماهه)، میان‌مدت (شش و نه‌ماهه) و بلندمدت (۱۲ و ۲۴ ماهه) در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. در بخشی از تحقیق برای آگاهی از تأخیر جریان‌ها نسبت به بارش‌ها در حالت واقعی، ضریب همبستگی پیرسون بین بارش و دبی جریان با تأخیرهای زمانی مختلف محاسبه شد. سپس مقادیر شاخص اصلاح شده خشکسالی جریانات رودخانه‌ای ( $SDI_{mod}$ ) با سری‌های زمانی شاخص اصلاح‌شده بارندگی استاندارد ( $SPI_{mod}$ ) در بازه‌های زمانی مختلف به روش همبستگی پیرسون در کل حوضه و همچنین به تفکیک زیر حوضه‌ها بررسی شد. 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.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه آبریز تجن، شاخص اصلاح‌شده بارندگی استاندارد، شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای، همبستگی پیرسون

### مقدمه

می‌دهد (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴). تعاریف متعددی از خشکسالی موجود است اما بسط یک تعریف واحد از خشکسالی مشکل است. در واقع خشکسالی از مزمن‌ترین و زیان‌بارترین بلایای طبیعی است که با کاهش چشمگیر موجودیت آب در طول دوره قابل‌توجهی از زمان در یک منطقه وسیع مشخص می‌باشد و می‌تواند در هر اقلیمی رخ دهد و بنا به ماهیت آثار مختلفی که دارد به انواع خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی - اقتصادی تقسیم شده است ابتدا خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد که موجب کمبود در میزان بارش می‌شود. خشکسالی هواشناسی می‌تواند به کمبود رطوبت خاک منجر شده و تولید کشاورزی را کاهش و احتمال آتش‌سوزی جنگل را افزایش دهد (خشکسالی کشاورزی) و با توسعه آن، خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق می‌افتد که کمبود جریان آب سطحی و زیرزمینی نسبت به نرمال اطلاق می‌شود بنابراین باید مدیریت استراتژیک را در این زمینه اتخاذ کرد تا کمترین خسارت به بخش منابع آب وارد گردد که این کار نیازمند تدوین یکسری شاخص‌ها در ارتباط با روند گذشته و کنونی و همچنین راهبردهایی برای مقابله با آثار سوء آن می‌باشد تعیین ویژگی‌های خشکسالی یا

خشکسالی پدیده‌ای است که برگشت‌پذیر بوده و بخش جدایی‌ناپذیری از تغییرات اقلیمی بوده و یکی از موضوعاتی است که به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، که می‌تواند بخش‌های مختلف زندگی انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهد مهم‌ترین اثر آن بر منابع آب کشور است. این در حالی است که تمامی فعالیت‌های کشور اعم از صنعتی، شهری و کشاورزی وابسته به این منبع می‌باشد (Tigkas et al., 2012). یکی از مسائلی که به‌خصوص در سال‌های اخیر بشر با آن مواجه شده، بحران آب است. این مشکل در سال‌هایی نمایان‌تر می‌شود که پدیده خشکسالی رخ

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(\*- نویسنده مسئول: (Email: raminfazl@yahoo.com)

ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی به‌ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد. بدین منظور برای پیش و ارزیابی خشکسالی شاخص‌های متعددی ارائه شده است که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به‌کارگیری متغیرهای ورودی برای محاسبه و روش محاسباتی آن متفاوت می‌باشند (Nalbantis, et al., 2009 and Smith K., 1999). یکی از این شاخص‌های ارائه شده در سطح جهانی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) است که در آن امکان پایش خشکسالی در مقیاس‌های متفاوت زمانی میسر شده است (Shahid, et al., 2010). یکی دیگر از این شاخص‌های خشکسالی، خشکسالی هیدرولوژیک می‌باشد که ابتدا با کاهش میزان بارندگی شروع و به‌طور عادی با کاهش سطح دریاچه‌ها و منابع ذخیره‌ای مرتبط می‌شود (Liu, et al., 2012)، از نمایه‌های خشکسالی هیدرولوژیک، که بر کاهش دبی رودخانه استوار است، می‌توان به نمایه خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) اشاره کرد این شاخص توسط نالبانتیس (۲۰۰۸) ارائه گردید و سپس در سال (۲۰۰۹) توسط نالبانتیس و تساکیر برای مشخص کردن خشکسالی هیدرولوژیک توسعه داده شد که کاهش جریانات رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از آشکارترین نشانه‌های این مرحله از خشکسالی هستند (Hao, et al., 2015). با توجه به اینکه اندازه‌گیری شدت بارش نسبت به دبی و تراز آب زیرزمینی آسان‌تر است و تعداد ایستگاه‌هایی که کار اندازه‌گیری بارش را انجام می‌دهند نسبت به ایستگاه‌های هیدرومتری بیشتر است و توزیع مکانی بهتری دارند پژوهشگران به دنبال آن هستند که رابطه‌ای منطقی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک پیدا کنند تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه بررسی ارتباط زمانی خشکسالی هواشناختی و کمبود منابع آب سطحی در سطح ملی و بین‌المللی به دلیل اهمیت موضوع انجام شده است، که به تعدادی از آن اشاره می‌گردد: آذره و همکاران (۲۰۱۴)، به محاسبه دو شاخص SPI و SDI به منظور 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 هیدرولوژیک در سطح ۹۹ درصد با هم در ارتباط هستند که بیشترین ارتباط مشاهده شده در مقیاس زمانی ۳ ماهه بوده است (Azareh, et al., 2014). سلیمانی سردو و بهره‌مند (۲۰۱۳) با اشاره به همبستگی بالای دو شاخص SPI و شاخص خشکسالی جریان SDI به تحلیل خشکسالی حوضه هلیل‌رود واقع در استان کرمان پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از خشکسالی‌های با شدت مختلف در این حوضه بود. مقایسه این دو شاخص نشان دهنده ارتباط قوی آن دو در این حوضه بود. به منظور تعیین ارتباط زمانی بین دو رخداد خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه بیلوردی - دوزدوزان با استفاده از دو شاخص SPI و SRI به ترتیب به‌عنوان نماینده خشکسالی هواشناختی و

شاخص رواناب سطحی استاندارد هیدرولوژیک استفاده کردند نتایج حاصل از بررسی خشکسالی منطقه‌ای حوضه و خشکسالی هیدرولوژیک در خروجی حوضه در ایستگاه مرکید، نشان‌گر بیشترین ارتباط معنی‌دار آن‌ها در سطح ۹۹ درصد در مقیاس زمانی ۹ ماهه بوده است (وکیلی‌فرد و همکاران ۱۳۹۶). طبری و همکاران (۱۳۹۲) اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص خشکسالی هیدرولوژیک SDI در شمال غرب ایران کردند که نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که تقریباً تمام ایستگاه‌ها از خشکسالی شدید رنج می‌برند. سهیلی و همکاران (۱۳۹۶) از شاخص‌های خشکسالی SDI و SPI و همچنین آزمون ناپارامتری من - کندال اصلاح شده جهت بررسی و تحلیل روند استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که هر دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک روند افزایشی داشته‌اند. سلطانی و مهرابی (۱۳۹۱) به ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص SDI و SPI سد درودزن در استان فارس پرداختند که با مقایسه نتایج دو شاخص معلوم شد که در سال ۶۸-۶۴ دوره کوتاه‌مدت خشکسالی وجود داشته و پس از آن خشکسالی در وضعیت نرمال بوده اما در سال‌های اخیر وضعیت تغییر کرده و خشکسالی در وضعیت شدیدتری قرار گرفته است. اقتدارنژاد و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهش خود جهت تعیین سه شاخص SPI، RDI و SDI در پایش خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک 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 نشان دهنده 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. اسکندری‌دامنه و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) به منظور ارزیابی خشکسالی‌ها از آمار ماهانه ۲۷ ایستگاه باران‌سنجی و ۲۴ ایستگاه هیدرومتری در استان تهران استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه، ارتباط معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد و روند خشکسالی تقریباً در مناطق مختلف استان با گذشت زمان افزایش یافته است، به طوری که روند تغییرات هر دو شاخص خشکسالی، از سمت شمال به جنوب دارای افزایش چشمگیری بوده است. نتایج حاصل از پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که خشکسالی هواشناسی با تاخیر زمانی یک ماهه در شهرستان ارومیه و خشکسالی هیدرولوژیک به ترتیب با دو تا پنج ماه تاخیر پس

SDI<sub>mod</sub> در سطح حوضه آبریز تجن است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های

#### باران‌سنجی و هیدرومتری موجود

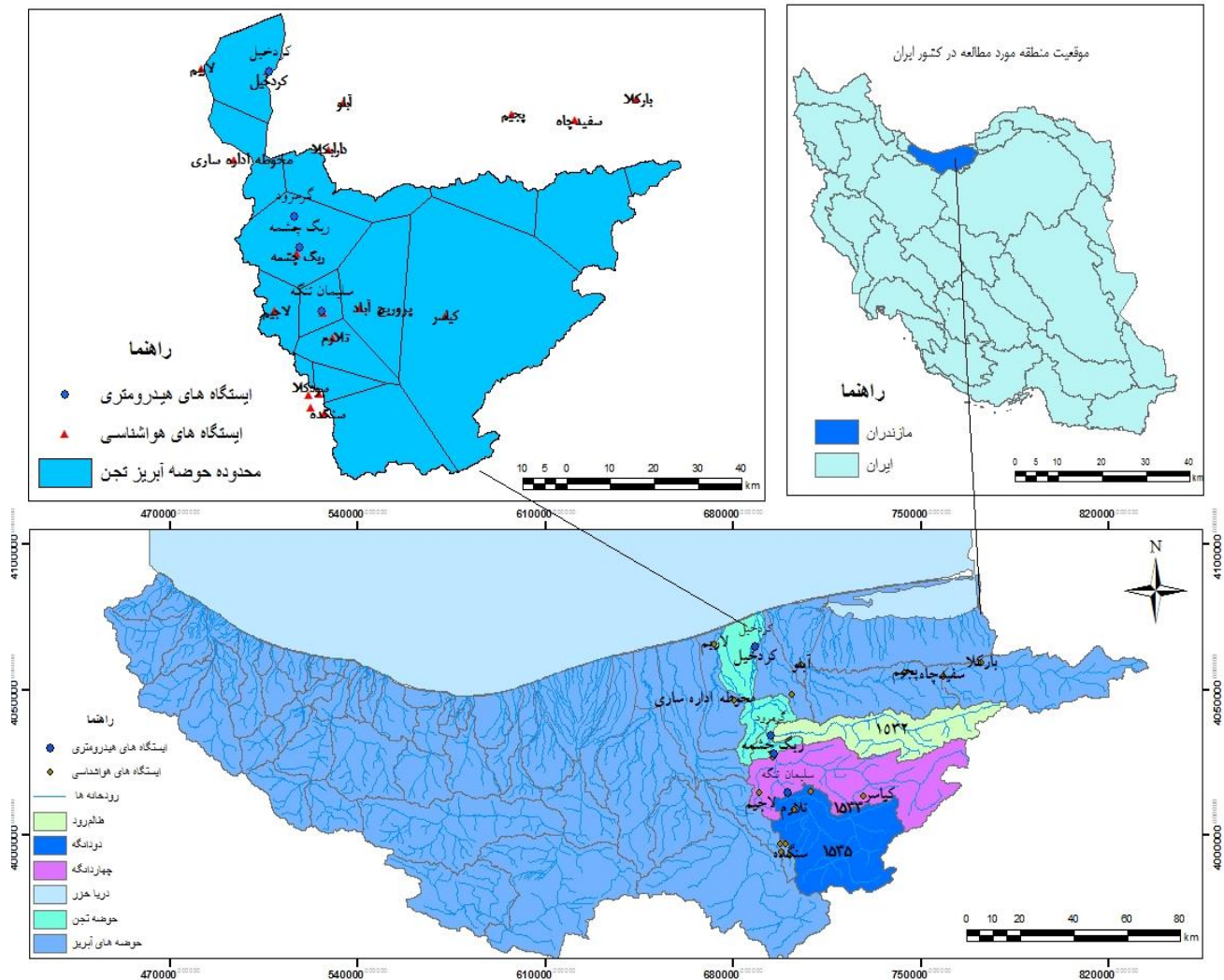
رودخانه تجن از کوه‌های چهاردانگه، دودانگه و هزارگریب سرچشمه می‌گیرد و پس عبور از شهر ساری وارد دریای خزر می‌شود سرچشمه می‌گیرد. وسعت حوضه آبریز این رودخانه ۴۱۴۷/۲۲ کیلومتر مربع است با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی در شهرستان ساری، استان مازندران واقع شده است که حداکثر ارتفاع آن ۳۷۲۸ متر از سطح دریا و حداقل آن ۲۶ متر است، از شمال به دریای خزر، از شرق و شمال شرقی به حوزه رودخانه نکا، از جنوب شرقی به حوزه رودخانه سلطان میدان، از جنوب به دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز در منطقه شه‌میرزاد، از غرب و شمال غرب به حوزه رودخانه سیاهرود و از جنوب غرب به حوزه تالار در منطقه پل سفید محدود می‌گردد. طول آبراهه اصلی برای رودخانه تجن معادل ۱۵۵ کیلومتر محاسبه گردیده است. شکل ۱ موقعیت قرارگیری این حوضه را در کشور و در استان مازندران و محدوده هر ایستگاه باران‌سنجی را در چندضلعی تیسن نشان داده است. رودخانه تجن در سرچشمه، مرکب از دو شاخه به اسامی دودانگه و چهاردانگه که از ارتفاعات شرق منطقه به نام‌های کورچشمه - بادله و با ارتفاعی حدود ۲۶۰۰ تا ۳۳۰۰ سرچشمه می‌گیرد و از سمت شرق به طرف غرب جریان می‌یابد تا در محلی به نام ریگ‌چشمه با شاخه دیگری که از جنوب منطقه سرچشمه می‌گیرد یکی شده و شاخه اصلی تجن را تشکیل می‌دهند. طول رودخانه اصلی ۱۵۱/۵۷ کیلومتر و شیب متوسط رودخانه ۰/۸۵ درصد است (اطلس منابع آب حوضه آبریز رودخانه‌های مازندران و شرق گیلان ۱۳۸۹). حوضه مورد مطالعه دارای سه زیرحوضه می‌باشد که مشخصات آن در جدول شماره (۱) آمده است.

از وقوع خشکسالی هواشناسی در شهر خوی رخ داد (Heidari et al., 2009). ادوسا و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه رودخانه آواش اتیوپی برای آنالیز مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد و خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص جریان رودخانه استفاده کردند و نتایج حاصل از کار ایشان نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر ۷ ماهه نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است (Edossa et al., 2010). هالسنگر و همکاران (۲۰۱۴) یک تحلیل منطقه‌ای دقیق از ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و جریان رودخانه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط بین دو شاخص هواشناسی SPI و SPEI با شاخص PDSI برای حوضه‌هایی که در آن ذخایر برف و آب زیرزمینی زیاد است معنی‌دار نیست (Haslinger et al., 2014). دیوید و داویدوا (۲۰۱۵) 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 بوهیمیائی 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., 2015).

با توجه به آسیب‌های ناشی از رخداد خشکسالی و با عنایت به مطالعات انجام‌شده در این زمینه، هنوز نیاز به مطالعات بیشتر در رابطه با خشکسالی در مناطق مختلف کشور احساس می‌گردد. در استان مازندران هم مانند سایر مناطق کشور و جهان در گذشته خشکسالی‌هایی به وقوع پیوسته است و مطمئناً در آینده هم رخ خواهد داد و استفاده گسترده از آب رودخانه‌های این حوضه در امور مختلف کشاورزی، شرب اهمیت مطالعه این حوضه آبریز را می‌رساند. بنابراین هدف از انجام این پژوهش تعیین ارتباط خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SPI<sub>mod</sub> و

جدول ۱- معرفی زیرحوضه‌های حوضه آبریز تجن

کد زیرحوضه	رودخانه‌های اصلی	دوره آماری	مساحت (کیلومتر مربع)	ارتفاع (متر)	
				حداقل	حداکثر
۱۵۳۲	ظالم‌رود	۹۵-۱۳۶۵	۸۸۴/۵	۱۳۵	۳۱۸۹
۱۵۳۳	چهاردانگه	۹۵-۱۳۶۵	۱۲۰۹/۴	۲۳۲	۳۱۸۳
۱۵۳۵	شیرین‌رود	۹۵-۱۳۶۵	۱۲۳۵	۴۲۷	۳۷۱۵



شکل ۱- موقعیت و محدوده ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در حوضه آبریز تجن

### روش انجام تحقیق

اولین گام جهت بررسی خشکسالی منطقه، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به بارش ماهانه و جریان‌های ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری حوضه‌ی تجن و اطراف می‌باشد، در این پژوهش از آمار بارندگی ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه هیدرومتری جهت تحلیل هواشناسی و هیدرومتری حوضه با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (سال ۶۶ - ۱۳۶۵ الی ۹۵ - ۱۳۹۴) استفاده شد. در این پژوهش، خشکسالی به صورت ناحیه‌ای بررسی شده است. برای ناحیه‌ای نمودن خشکسالی هواشناسی حوضه لازم بود که داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های موجود در حوضه و اطراف آن، که به صورت نقطه‌ای (ایستگاهی) می‌باشند، به بارش در سطح یک منطقه تبدیل گردند که به این منظور از روش چندضلعی تیسن، که استفاده گردید (شکل ۱)، به این ترتیب ابتدا حوضه آبریز با استفاده از نرم‌افزار GIS چندضلعی بندی و مساحت مربوط به هر چندضلعی استخراج شد.

سپس برای هر ماه، مجموع حاصل ضرب مقادیر بارش نقطه‌ای هر ایستگاه در مساحت چندضلعی همان ایستگاه، مقدار بارش در سطح منطقه مطالعاتی را به دست می‌آورد. در داده‌های دبی نیز از دبی‌های خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها و آخرین ایستگاه حوضه، یعنی ایستگاه کردخیل استفاده شد. بازسازی و نرمال‌سازی (آزمون کلموگروف - اسمیرنوف) داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد. از شاخص‌های خشکسالی اصلاح‌شده بارندگی استاندارد ( $SPI_{mod}$ ) و جریان‌ات رودخانه‌ای ( $SDI_{mod}$ ) به ترتیب برای بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

### شاخص بارش استاندارد اصلاح‌شده ( $SPI_{mod}$ )

کائو و گویندراجو پس از ارائه شاخص  $SPI$ ، وجود دو مشکل اساسی را در نسخه اولیه آن تشخیص داده و اقدام به تهیه نسخه



با میانگین کلی می‌باشد.

جدول ۲- مقیاس طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص های SDI و SPI اصلاح شده (Mckee et al., 1993; Nalbantis and Tsakiris, 2009)

محدوده	وضعیت خشکسالی	حالت
$SDI \leq 0$ و $SPI \leq 0$	فاقد خشکسالی	۲
$-1 < SDI$ و $-1 < SPI$	خشکسالی ملایم	۳
$-1.5 < SDI$ و $-1.5 < SPI$	خشکسالی متوسط	۴
$-2 \leq SDI$ و $-1.5 < SPI$	خشکسالی شدید	۵
$SDI < -2$ و $SPI < -2$	خشکسالی خیلی شدید	۶

شاخص اصلاح شده خشکسالی جریان رودخانه‌ای ( $SDI_{mod}$ ) در تحقیق حاضر شاخص SDI به روش کاملاً مشابه SPI اصلاح شده محاسبه شده است لذا جهت محاسبه این شاخص دقیقاً همانند محاسبات در شاخص SPI اصلاح شده عمل می‌شود فقط با این تفاوت که به جای داده‌های بارش از سری داده‌های دبی به عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود. در این شاخص همچون شاخص SPI اصلاح شده پیش فرض اولیه توزیع مناسب برای سری داده‌ها توزیع گاما می‌باشد.

#### بررسی تأخیر زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

جهت بررسی اثر خشکسالی بر جریان‌های سطحی ابتدا به جستجوی نظم زمانی کمبود آب و در واقع تأخیر زمانی اثر بارندگی بر دبی محاسبه گردید. به این ترتیب که چه مدت طول می‌کشد خشکسالی هواشناسی در یک منطقه به خشکسالی هیدرولوژیکی تبدیل شود. شکل (۲) نوسانات بارندگی و جریان‌های سطحی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی رابطه بارندگی و دبی آب‌های سطحی در حوضه آبریز تجن میانگین وزنی بارندگی ماهانه با میانگین دبی ماهانه ایستگاه کردخیل که در انتهای حوضه واقع شده است (معرف کل حوضه) مقایسه گردید. سپس داده‌های استاندارد شده دبی ( $SDI_{mod}$ ) با سری‌های بارش ( $SPI_{mod}$ ) در ۶ بازه زمانی (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در کل حوضه و همچنین به تفکیک زیرحوضه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

##### نتایج آزمون ضریب تاو کندال و من - کندال

در این پژوهش برای انجام آزمون من - کندال در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، از نرم‌افزار XLSTAT که یک افزونه آماری در اکسل می‌باشد استفاده شد. این افزونه دارای یک موتور قدرتمند است که می‌تواند پردازش‌های سنگین و عملیات محاسبه را با سرعت بالا و

اصلاح شده شاخص بارش استاندارد ( $SPI_{mod}$ ) کردند (Kao and Govindaraju, 2010). دلایل اصلاح نسخه اولیه SPI عبارت است از:

شاخص SPI در رژیم سالانه بارندگی نمی‌تواند تغییرات فصلی را محاسبه کند. به بیان دیگر، این شاخص به دلیل برازش یک توزیع احتمالاتی بر کل داده‌ها نمی‌تواند مقادیر بارندگی فصل برابران را از مقادیر مشابه آن در فصل خشک جدا کند.

همپوشانی مقادیر مختلف بارندگی در پنجره زمانی معین ( $W$ ) در طول سری زمانی ممکن است خودهمبستگی مشخصی را در سری ( $X_w(t)$ ) ایجاد کند و موجب برازش نارایب توزیع‌های احتمالاتی شود. این مشکل برای پنجره‌های زمانی بزرگ‌تر حادث‌تر است. به دلیل اینکه سری زمانی با پنجره بزرگ‌تر بیشتر همپوشانی پیدا می‌کند.

برای محاسبه شاخص  $SPI_{mod}$  (Kao و Govindaraju ۲۰۱۰) پیشنهاد دادند که بارندگی جمع شده برای پنجره زمانی معین ( $X_w(t)$ ) بر اساس ماه پایانی گروه‌بندی شود. به بیان دیگر برای پنجره زمانی معین، سری ( $X_w(t)$ ) به ۱۲ سری کوچک‌تر بر اساس ۱۲ ماه سال تقسیم می‌شود. بنابراین در نسخه اصلاح شده SPI،  $X_w(t)$  به ( $y$ )  $X_w^{month}$  تغییر پیدا می‌کند که در آن month نشان‌دهنده‌ی یکی از ماه‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر سری زمانی بارش در بازه زمانی  $W$  ماهه،  $X_w(t)$ ، به ۱۲ زیر سری تقسیم می‌شود:

$$X_w^{month}(y) = X_w(12(y-1) + m) = X_w(t) \quad (1)$$

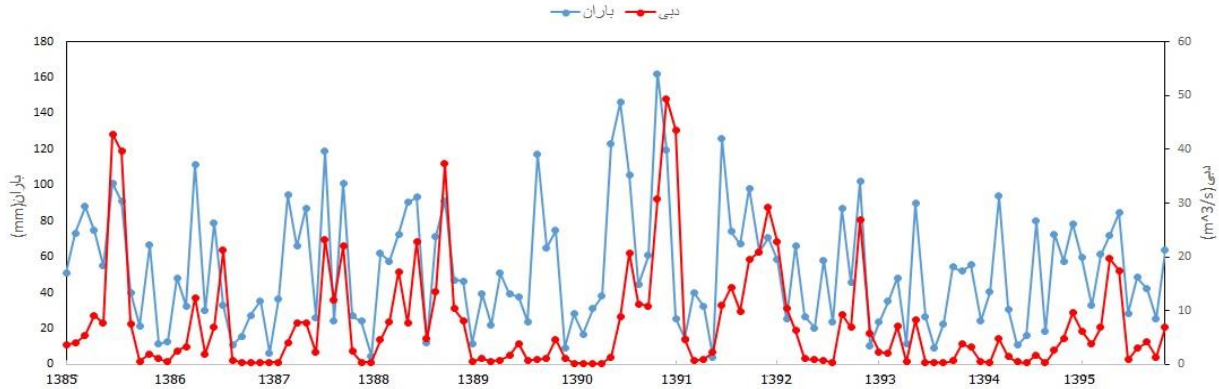
که در آن  $y$  شاخص سال بوده به نحوی که:  $k = 1, 2, \dots, k$  تعداد کل سال‌ها،  $m$  شاخص ماه به نحوی که:  $m=1(\text{Jan})$ ،  $t = 12(y-1) + m = 2(\text{Feb}) \dots = 12(\text{Dec})$  شاخص زمان و برابر  $t = 12(y-1) + m$  می‌باشد. به این ترتیب، نمونه‌ها در هر گروه  $X_w^{month}$  به‌طور سالانه جمع‌آوری می‌شوند. واضح است تا زمانی که  $w \leq 12$  باشد نمونه‌ها هیچ‌گونه همپوشانی نخواهند داشت. به عبارت دیگر، درجه خودهمبستگی بین داده‌ها به مقدار زیادی کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر، نمونه‌های داخل گروه یکسان  $X_w^{month}$  تحت اثرات فصلی مشابه قرار دارند و بنابراین، تغییرات فصلی به یک شیوه مناسب در نظر گرفته می‌شوند. با برازش دادن توزیع آماری برای هر گروه به‌طور مجزا،  $SPI_{mod}$  با شیوه‌ای مشابه SPI محاسبه می‌شود

$$SPI_w^{month} = f^{-1}(U_w^{month}) = f^{-1}(F_{X_w^{month}}(X_w^{month})) \quad (2)$$

با توجه به اینکه برای هر ماه ۱۲  $SPI_w^{month}$  متناظر با بازه‌های زمانی مختلف  $W=1, 2, \dots, 12$  محاسبه می‌شود، تعداد  $SPI_{mod}$  محاسبه شده ۱۲ بار بیشتر از  $SPI$ ‌های متداول می‌باشد. در واقع تفاوت دو شیوه  $SPI$  متداول و  $SPI$  اصلاح شده، در این است که ناهنجاری‌های بارندگی (انحراف از مقدار درازمدت) گزارش شده توسط  $SPI_{mod}$  متناظر با میانگین ماهانه است ولی در  $SPI$  متداول، متناظر

در سری زمانی داده‌های ۱۹ ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی (که بدون روند بودند) بارندگی سالانه و جریان سالانه/فصلی را به اثبات رساند) در جدول ۳ ارائه شده است.

همچنین امکان جستجو کردن و نمایش گرافیکی به صورت جدول و تجزیه و تحلیل را انجام دهد. نتایج حاصل از آزمون‌های Kendall- $\tau$  و Mann-Kendall (به ترتیب به منظور ارزیابی استقلال و روند)



شکل ۲- مقایسه نوسانات بارندگی و دبی حوضه آبریز تجن (۱۳۸۵-۹۵)

نشان‌دهنده پذیرش فرض صفر (عدم وجود روند در سری داده‌ها و تصادفی بودن) دلالت دارد و فرض یک (دال بر وجود روند در سری داده‌ها) می‌باشد، آزمون‌های مذکور به اثبات رساند که در داده‌های مورد بررسی در تمامی ایستگاه‌ها، روند معنی‌دار وجود نداشته و نیز فرض صفر (عدم وجود روند) در آن‌ها صادق است.

ضریب  $\tau$  کندال جهت بررسی استقلال داده‌ها می‌باشد. به این معنی که آیا داده‌ها از یک سال به سال بعد استقلال دارند یا به هم وابسته هستند. اگر  $-\frac{1}{3} < \tau < \frac{1}{3}$  باشد، داده‌ها مستقل هستند در غیر این صورت داده‌ها به هم وابسته هستند. در تحلیل روند سری زمانی داده‌ها با استفاده از آزمون من - کندال اگر  $P > 0.05$  باشد

جدول ۳- نتایج آزمون روند من - کندال برای داده‌های جریان رودخانه ماهانه (سالانه و فصل خشک و مرطوب) و داده‌های بارندگی ماهانه (ماه‌های بارانی) برای ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری منتخب

بارندگی		جریان رودخانه				ایستگاه‌ها		
ماه‌های بارانی		فصل خشک		فصل مرطوب		سالانه		
$\rho$	$\tau$	$P$	$\tau$	$\rho$	$\tau$	$\rho$	$\tau$	
۰/۱۹۸	۰/۱۱۳							کیاسر
۰/۵۰۰	۰/۰۰۲							لاجیم
۰/۲۷۶	۰/۱۴۳							پروریج آباد
۰/۳۸۹	۰/۰۳۹							سنگده
۰/۹۵۷	۰/۰۰۹							سودکلا
۰/۳۳۶	۰/۱۲۹							تلازم
۰/۲۸۸	۰/۱۴۰	۰/۹۹۵	۰/۳۲۴	۰/۹۸۶	۰/۲۷۸	۰/۹۹۸	۰/۳۶۶	سلیمان تنگه
۰/۲۲۸	۰/۱۵۹	۰/۶۹۰	۰/۰۶۲	۰/۸۷۹	۰/۱۴۹	۰/۸۷۹	۰/۱۴۹	ریگ چشمه
		۰/۱۴۵	۰/۱۹۱	۰/۰۶۹	۰/۲۳۷	۰/۱۰۹	۰/۲۰۹	گرمرو - امردره
۰/۴۲۲	۰/۱۰۶	۰/۹۹۶	۰/۳۳۳	۰/۹۹۸	۰/۳۵۶	۰/۹۹۸	۰/۳۶۱	کردخیل
۰/۰۳۲	۰/۲۳۵							بارکلا
۰/۷۴۵	۰/۰۸۷							دارابکلا
۰/۸۶۴	۰/۱۴۰							محوطه اداره ساری
۰/۷۳۸	۰/۰۸۰							پجیم
۰/۱۱۲	۰/۲۰۷							ولیک چال
۰/۶۴۶	۰/۰۵۱							سفیدچاه

زمانی یک تا پنج ماهه در ایستگاه‌های هیدرومتری برای بررسی اثر کاهش بارندگی بر جریان آب سطحی و پیدا کردن نظم زمانی کمبود آب استفاده شد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش که در جدول ۴ ارائه شده است، مشخص شد که از میان کلیه تأخیرهای زمانی مختلف، در تمام زیرحوضه‌ها و همچنین در کل حوضه، کاهش بارندگی، تأثیر خود را بدون تأخیر و یا حداکثر با یک ماه تأخیر بر جریان رودخانه می‌گذارد.

### نتایج رابطه بارندگی و دبی در زیرحوضه‌های ظالم‌رود، چهاردانگه، دودانگه و کل حوضه

برای شناسایی مناسب‌ترین فاصله زمانی میان دو خشکسالی، ابتدا رابطه همبستگی میان بارندگی و جریان سطحی که داده‌های خام هستند در سه زیرحوضه ظالم‌رود، چهاردانگه، دودانگه و کل حوضه تجن محاسبه و سپس ضریب همبستگی بین شاخص‌های  $SDI_{mod}$  و  $SPI_{mod}$  اندازه‌گیری شد که از شاخص‌های خشکسالی می‌توان به‌عنوان یک مدل برای بررسی خشکسالی استفاده کرد. از تأخیر

جدول ۴- ضریب همبستگی میان بارندگی و دبی در زیر حوضه‌ها

زیر حوضه‌ها	تأخیر					
	بدون تأخیر	یک ماه تأخیر	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر	پنج ماه تأخیر
ظالم‌رود	یک ماهه	۰/۴۲۳**	۰/۳۸۶**	۰/۲۶۲**	۰/۱۵۷**	۰/۲۳۶**
	شش ماهه	۰/۳۸۹**	۰/۳۸۵**	۰/۲۷۰**	۰/۱۶۵**	۰/۱۸۲**
	۱۲ ماهه	۰/۴۱۷**	۰/۳۸۲**	۰/۲۶۵**	۰/۱۷۳**	۰/۱۹۶**
چهاردانگه	یک ماهه	۰/۳۳۹**	۰/۱۰۴*	۰/۰۴۳	۰/۱۶۹**	۰/۲۷۶**
	شش ماهه	۰/۲۴۱**	۰/۱۰۸*	۰/۰۶۰	۰/۱۵۴**	۰/۲۷۱**
	۱۲ ماهه	۰/۱۴۳**	۰/۱۰۲	۰/۰۸۴	۰/۱۴۴**	۰/۲۶۰**
دودانگه	یک ماهه	*۰/۱۴۷	۰/۰۶۶-	۰/۰۰۵-	۰/۰۳۱	۰/۰۴۴
	شش ماهه	۰/۱۳۴*	۰/۰۸۹-	۰/۰۱۶-	۰/۰۲۰	۰/۰۲۷
	۱۲ ماهه	۰/۱۲۳*	۰/۰۸۷-	۰/۰۱۷-	۰/۰۲۶	۰/۰۳۰
کل حوضه	یک ماهه	۰/۵۷۱**	۰/۴۶۳**	۰/۳۱۵**	۰/۱۶۰**	۰/۱۳۹**
	شش ماهه	۰/۶۷۶**	۰/۵۷۶**	۰/۳۱۷**	۰/۱۶۰**	۰/۱۰۵**
	۱۲ ماهه	۰/۵۸۲**	۰/۴۶۸**	۰/۳۳۸**	۰/۲۷۸**	۰/۲۴۴**

\*\* - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

\* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است

از نتایج ضریب همبستگی پیرسون در کل حوضه، در بازه‌های زمانی کوتاه مدت (یک و سه ماهه)، میان‌مدت (شش و نه ماهه) و بلند مدت (۱۲ و ۲۴ ماهه) بلافاصله و به‌ترتیب با تأخیرهای زمانی دو ماه، چهار ماه و هفت ماه در کل حوضه بوده است.

جدول (۶) که ماتریس ضریب همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی است؛ نشان می‌دهد که  $SPI_{mod}$  با  $SPI_{mod}-1$ ،  $SPI_{mod}-3$ ،  $SPI_{mod}-6$ ،  $SPI_{mod}-3$ ،  $SPI_{mod}-9$ ،  $SPI_{mod}-12$ ،  $SPI_{mod}-12$ ،  $SPI_{mod}-24$ ،  $SPI_{mod}-24$  ضریب همبستگی معنادار را در سطح ۹۹ درصد دارد. برای مشخص کردن رابطه مکانی بین دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی،  $SPI_{mod}$  ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در کل حوضه با  $SDI_{mod}$  ایستگاه‌های هیدرومتری در زیرحوضه‌ها مقایسه شد، جدول ۷ نتایج جستجوی نظم مکانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که

### نتایج تأخیر زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص  $SPI_{mod}$  و شاخص  $SDI_{mod}$  در ایستگاه‌های موجود در زیرحوضه‌های ظالم‌رود، چهاردانگه، دودانگه و کل حوضه در جدول ۵ به‌طور خلاصه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در زیرحوضه‌ها خشکسالی هواشناسی در بازه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت تأثیر خود را به‌صورت آنی و با یک تا سه ماه تأخیر و در گام‌های زمانی بلندمدت با چهار تا هفت ماه تأخیر، بر خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گذارد. همچنین به‌منظور بررسی نظم زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح کل حوضه تجن از ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی بالادست حوضه و یک ایستگاه هیدرومتری خروجی در پایین‌دست حوضه استفاده شد. ابتدا میانگین  $SPI_{mod}$  با مقدار شاخص  $SDI_{mod}$  بدون تأخیر و با تأخیر یک تا هفت ماهه برای یافتن بهترین تأخیر زمانی استفاده شد همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بهترین همبستگی حاصل

خشکسالی همان‌طور که در شکل شماره ۳ دیده می‌شود کاملاً مشابه است. رابطه زمانی معناداری بین دو شاخص خشکسالی هواشناسی ( $SPI_{mod}$ ) و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی ( $SDI_{mod}$ ) وجود دارد. در صورتی که خشکسالی هواشناسی در حوضه رخ دهد، هم‌زمان و با تأخیرهای زمانی ۷ ماهه تأثیر خود را بر خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گذارد.

در تمامی مقیاس‌های زمانی بیشترین همبستگی مکانی به ایستگاه هیدرومتری گرمود - امردره در زیرحوضه ظالم‌رود است. شکل ۳ نشان‌دهنده تأثیر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی هیدرولوژیکی در سری‌های زمانی ۹ ماهه در حوضه آبریز تجن است. نتایج نشان داد همبستگی بین این دو شاخص طی دوره آماری ۷۵-۱۳۷۴ تا ۹۵-۱۳۹۴ زیاد بوده است. روند تغییرات هر دو نوع

جدول ۵- ضریب همبستگی بین مجموع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف

زیرحوضه‌ها	تأخیر زمانی	تأخیر گام	بدون تأخیر	یک ماه تأخیر	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر	پنج ماه تأخیر	شش ماه تأخیر	هفت ماه تأخیر
ظالم‌رود	۱		۰/۴۶۶**	۰/۳۲۲**	۰/۲۲۵**	۰/۰۸۰	۰/۱۱۵*	۰/۰۶۵	۰/۰۹۸	۰/۰۵۴
	۳		۰/۵۲۰**	۰/۵۶۰**	۰/۴۶۴**	۰/۲۷۳**	۰/۱۸۳**	۰/۱۵۰**	۰/۱۵۹**	۰/۱۲۹*
	۶		۰/۵۶۹**	۰/۶۰۴**	۰/۵۷۱**	۰/۵۰۶**	۰/۴۴۳**	۰/۳۸۲**	۰/۳۰۵**	۰/۲۵۱**
	۹		۰/۶۰۴**	۰/۶۱۸**	۰/۶۱۷**	۰/۵۹۱**	۰/۵۶۴**	۰/۵۲۳**	۰/۴۷۳**	۰/۴۰۹**
	۱۲		۰/۶۲۸**	۰/۶۳۵**	۰/۶۳۹**	۰/۶۲۶**	۰/۶۰۶**	۰/۵۷۱**	۰/۵۲۳**	۰/۴۶۳**
۲۴		۰/۵۰۸**	۰/۵۲۶**	۰/۵۲۹**	۰/۵۲۴**	۰/۵۱۵**	۰/۵۰۲**	۰/۴۸۱**	۰/۴۵۱**	
چهاردانگه	۱		۰/۲۱۱**	۰/۲۲۹**	۰/۱۴۶**	۰/۰۴۱	۰/۱۱۰*	۰/۱۰۵*	۰/۰۶۳	۰/۰۷۵
	۳		۰/۲۸۱**	۰/۳۴۶**	۰/۳۲۴**	۰/۲۴۷**	۰/۱۹۴**	۰/۱۶۹**	۰/۱۴۸*	۰/۱۱۱*
	۶		۰/۳۹۳**	۰/۴۱۴**	۰/۴۲۵**	۰/۴۱۴**	۰/۴۱۴**	۰/۳۴۴**	۰/۲۸۳**	۰/۲۳۷**
	۹		۰/۴۳۱**	۰/۴۹۰**	۰/۵۰۲**	۰/۴۹۱**	۰/۴۷۷**	۰/۴۵۵**	۰/۴۲۶**	۰/۳۸۷**
	۱۲		۰/۴۶۸**	۰/۴۹۰**	۰/۵۱۶**	۰/۵۲۶**	۰/۵۲۲**	۰/۵۰۹**	۰/۴۸۵**	۰/۴۵۲**
۲۴		۰/۴۹۰**	۰/۴۲۹**	۰/۴۵۲**	۰/۴۶۷**	۰/۴۷۵**	۰/۴۷۷**	۰/۴۷۱**	۰/۴۵۸**	
دودانگه	۱		۰/۱۹۳**	۰/۱۸۳**	۰/۱۱۰**	۰/۰۹۴	۰/۰۶۸	۰/۰۵۸	۰/۰۷۸	۰/۰۸۰
	۳		۰/۲۲۳**	۰/۲۰۲**	۰/۱۷۴**	۰/۱۹۷*	۰/۱۹۹**	۰/۱۳۳**	۰/۱۲۴*	۰/۱۰۴*
	۶		۰/۲۸۳**	۰/۱۵۹**	۰/۱۱۴*	۰/۱۳۰*	۰/۱۳۳*	۰/۱۲۹*	۰/۱۹۸**	۰/۱۷۸**
	۹		۰/۲۷۱**	۰/۲۸۳**	۰/۳۰۰**	۰/۲۵۰**	۰/۲۲۳**	۰/۲۶۶**	۰/۱۴۸**	۰/۱۴۸**
	۱۲		۰/۲۶۶**	۰/۲۴۷**	۰/۲۷۵**	۰/۲۸۹**	۰/۳۰۲**	۰/۳۱۳**	۰/۳۲۲**	۰/۳۲۴**
۲۴		۰/۳۹۴**	۰/۳۷۳**	۰/۳۵۵**	۰/۳۴۵**	۰/۳۳۰**	۰/۳۳۰**	۰/۳۴۰**	۰/۳۳۸**	
کل حوضه	۱		۰/۴۸۹**	۰/۳۳۶**	۰/۲۱۷**	۰/۰۹۹	۰/۱۲۴*	۰/۱۰*	۰/۰۶۴	۰/۰۳۸
	۳		۰/۶۰۱**	۰/۵۷۴**	۰/۴۸۷**	۰/۳۱۷**	۰/۲۲۲**	۰/۱۶۱*	۰/۱۳۱**	۰/۰۸۴
	۶		۰/۶۰۳**	۰/۵۹۸**	۰/۵۷۸**	۰/۵۲۴**	۰/۴۵۳**	۰/۳۷۱**	۰/۲۷۰**	۰/۲۰۲**
	۹		۰/۶۲۰**	۰/۵۷۶**	۰/۵۸۷**	۰/۵۷۰**	۰/۵۳۸**	۰/۴۸۹**	۰/۴۳۶**	۰/۳۸۰**
	۱۲		۰/۵۶۱**	۰/۵۴۷**	۰/۵۶۱**	۰/۵۶۰**	۰/۵۴۸**	۰/۵۲۲**	۰/۴۸۴**	۰/۴۴۰**
۲۴		۰/۵۸۱**	۰/۴۰۹**	۰/۴۲۰**	۰/۴۲۲**	۰/۴۲۳**	۰/۴۱۷**	۰/۴۰۵**	۰/۳۸۸**	

\*\* - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

\* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است

### نتیجه‌گیری

طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۵ - ۱۳۶۵) در کل حوضه و همچنین به تفکیک زیر حوضه‌ها استفاده شد. همچنین از ضریب همبستگی پیرسون در  $SPI_{mod}$  (میانگین وزنی کل منطقه) و ایستگاه‌های هیدرومتری با تأخیر زمانی ۷ ماهه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی در زیرحوضه‌های

این مطالعه به‌منظور بررسی تطبیق زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن واقع در بخش جنوبی حوضه آبخیز دریای خزر انجام شد. برای محاسبه شاخص‌های  $SPI_{mod}$  و  $SDI_{mod}$  به‌ترتیب از آمار ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه هیدرومتری در



حوضه، ارتفاع سطح آب زیرزمینی و حرکت کند آن و فاصله ایستگاه‌های باران‌سنجی از هیدرومتری باشد (جدول ۵ و ۶). نتایج جستجوی نظم مکانی، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در تمامی مقیاس‌های زمانی، بیشترین همبستگی مکانی در ایستگاه گرم‌رود - امردره وجود دارد (جدول ۷) که دلیل همبستگی بالای بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی این ایستگاه می‌تواند مربوط به دو دلیل: ۱- کوچک بودن حوضه بالادست آن ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری آن باشد. و در آخر پیشنهاد می‌شود بررسی تطبیقی شاخص خشکسالی هواشناسی  $SPI_{mod}$  با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی دیگر مانند شاخص SWSI انجام شود.

ظالم‌رود، چهاردانگه و دودانگه در بازه‌های زمانی بلند مدت ۱۲، ۱۲ و ۲۴ ماهه می‌باشد. همچنین در کل حوضه بیشترین همبستگی در بازه زمانی ۹ ماهه در کل حوضه در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد رخ داده است که با نتایج حاصل از تحقیقات و کیلی‌فرد و همکاران (۱۳۹۶) و محمودی وزینی‌وند و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد به نحوی که وقوع خشکسالی هواشناسی سبب کاهش حجم آبدهی سطحی زیر حوزه‌های منطقه مورد مطالعه شده است. وقوع خشکسالی هواشناسی اثر خود را به‌صورت آنی و با تاخیرهای ۱ تا ۷ ماه بر روی منابع آب سطحی نشان داد، که با نتایج حاصل از پژوهش‌های حیدری و همکاران (۲۰۰۹) و ادوسا و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد. علت این تاخیر می‌تواند مربوط به زمان تمرکز

جدول ۶- ماتریس ضریب همبستگی بین دو شاخص  $SPI_{mod}$  و  $SDI_{mod}$  در مقیاس‌های زمانی مختلف

$SDI_{mod}$	$SDI_{mod}$						زیرحوضه‌ها
	$SDI_{mod}-1$	$SDI_{mod}-3$	$SDI_{mod}-6$	$SDI_{mod}-9$	$SDI_{mod}-12$	$SDI_{mod}-24$	
$SPI_{mod}$	$SPI_{mod}-1$	$SPI_{mod}-3$	$SPI_{mod}-6$	$SPI_{mod}-9$	$SPI_{mod}-12$	$SPI_{mod}-24$	ظالم‌رود
	۰/۴۶۶**	۰/۵۸۶**	۰/۵۱۴**	۰/۵۰۰**	۰/۵۰۳**	۰/۲۵۷**	
	۰/۱۷۹**	۰/۵۲۰**	۰/۵۶۵**	۰/۵۵۲**	۰/۵۴۵**	۰/۳۱۴**	
	۰/۱۰۹**	۰/۳۲۹**	۰/۵۶۹**	۰/۵۸۲**	۰/۶۱۰**	۰/۳۷۹**	
	۰/۰۷۳**	۰/۲۳۴**	۰/۴۲۰**	۰/۶۰۴**	۰/۵۹۹**	۰/۴۴۱**	
	۰/۰۵۰**	۰/۱۸۱**	۰/۳۳۲**	۰/۴۷۳**	۰/۶۲۸**	۰/۴۹۲**	
	۰/۰۴۹**	۰/۰۲۰**	۰/۰۴۲**	۰/۱۳۹**	۰/۲۳۵**	۰/۵۰۸**	
	۰/۲۱۱**	۰/۳۳۹**	۰/۳۷۵**	۰/۳۷۵**	۰/۳۲۶**	۰/۲۵۶**	چهاردانگه
	۰/۰۶۳**	۰/۲۸۲**	۰/۳۹۳**	۰/۴۰۱**	۰/۳۷۳**	۰/۳۰۴**	
	۰/۰۵۴**	۰/۱۶۸**	۰/۳۳۳**	۰/۴۱۱**	۰/۴۵۲**	۰/۳۷۵**	
	۰/۰۱۰**	۰/۱۲۸**	۰/۲۶۳**	۰/۴۳۱**	۰/۴۸۰**	۰/۳۷۵**	
	۰/۰۰۹**	۰/۰۵۷**	۰/۱۸۸**	۰/۳۲۲**	۰/۴۶۸**	۰/۴۶۲**	
	۰/۰۰۵۹**	۰/۰۷۳**	۰/۰۳۶**	۰/۰۲۵**	۰/۰۹۷**	۰/۴۹۰**	
	۰/۱۹۳**	۰/۰۹۸**	۰/۱۴۷**	۰/۱۷۹**	۰/۱۵۸**	۰/۱۶۷**	دودانگه
	۰/۲۲۳**	۰/۱۲۶**	۰/۲۸۳**	۰/۲۱۰**	۰/۱۷۰**	۰/۲۱۱**	
	۰/۰۳۶**	۰/۰۶۶**	۰/۱۰۲**	۰/۲۷۱**	۰/۲۵۵**	۰/۲۸۵**	
	۰/۰۲۷**	۰/۰۶۶**	۰/۰۶۶**	۰/۲۷۱**	۰/۲۵۵**	۰/۲۸۵**	
	۰/۰۲۲**	۰/۰۲۳**	۰/۰۳۶**	۰/۰۳۶**	۰/۰۳۶**	۰/۰۳۶**	
	۰/۰۱۱**	۰/۰۳۹**	۰/۰۳۳**	۰/۰۰۸**	۰/۰۳۵**	۰/۳۹۴**	
	۰/۴۸۹**	۰/۵۳۸**	۰/۵۵۰**	۰/۴۹۴**	۰/۴۳۸**	۰/۲۵۳**	کل حوضه
	۰/۲۰۲**	۰/۶۰۱**	۰/۵۳۰**	۰/۵۶۳**	۰/۵۰۱**	۰/۳۲۴**	
	۰/۰۹۰**	۰/۶۰۳**	۰/۶۰۳**	۰/۵۱۶**	۰/۵۵۷**	۰/۳۹۴**	
	۰/۰۲۲**	۰/۱۱۱**	۰/۱۵۴**	۰/۳۲۸**	۰/۵۶۲**	۰/۴۳۶**	
	۰/۰۲۲**	۰/۱۱۱**	۰/۱۵۴**	۰/۳۲۸**	۰/۵۶۲**	۰/۴۳۶**	
	۰/۰۴۵**	۰/۰۵۲**	۰/۰۲۹**	۰/۰۳۶**	۰/۱۰۴**	۰/۵۸۱**	

\*\* - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

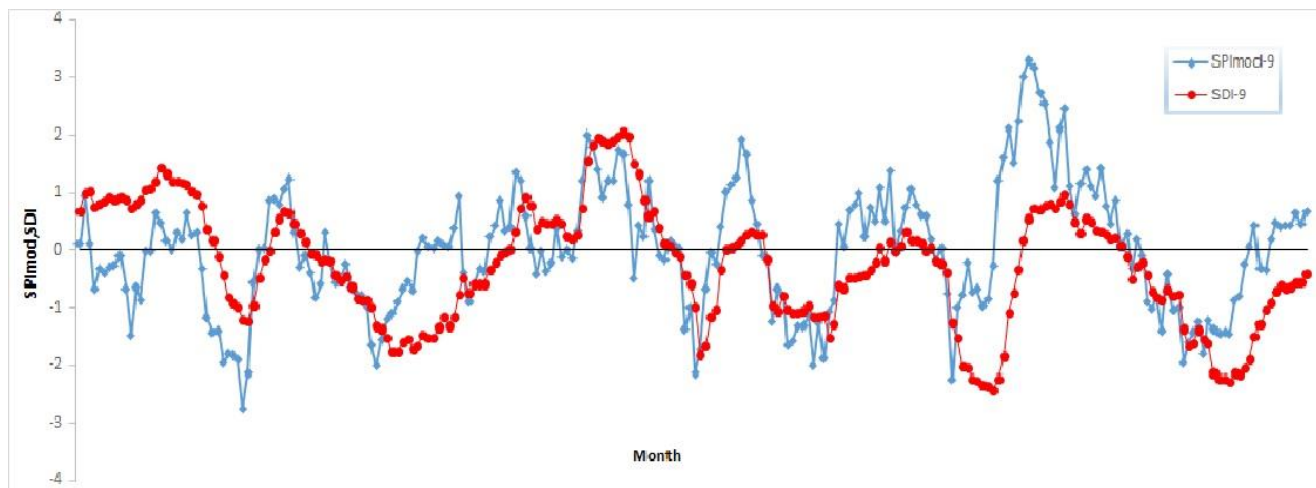
\* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است

جدول ۷- ضریب همبستگی بین شاخص  $SPI_{mod}$  حوضه و  $SDI_{mod}$  ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه تجن

گام زمانی	تأخیر ایستگاه	بدون تأخیر	یک ماه تأخیر	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر	پنج ماه تأخیر	شش ماه تأخیر	هفت ماه تأخیر
یک ماهه	سلیمان تنگه	۰/۰۲۲	۰/۰۷۷*	۰/۱۰۹*	۰/۰۹۴	۰/۰۷۰	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۸
	ریگ چشمه	۰/۲۳۹**	۰/۲۴۰**	۰/۱۵۸**	۰/۰۵۶	۰/۱۱۷*	۰/۱۰۱	۰/۰۵۸	۰/۰۷۹
	گرمروند - امردره	۰/۴۹۳**	۰/۳۴۳**	۰/۲۱۷**	۰/۰۵۹	۰/۱۰۷*	۰/۰۷۱	۰/۰۸۸	۰/۰۲۱
سه ماهه	گرمروند - امردره	۰/۴۸۹**	۰/۳۳۶**	۰/۲۱۷**	۰/۰۹۹	۰/۱۲۴*	۰/۱۱۰*	۰/۰۶۴	۰/۰۳۸
	سلیمان تنگه	۰/۰۷۳	۰/۱۳۰*	۰/۱۵۸*	۰/۱۵۰*	۰/۱۳۶*	۰/۱۲۳*	۰/۱۰۴*	۰/۰۸۵/
	ریگ چشمه	۰/۳۱۲**	۰/۳۷۵**	۰/۳۵۱**	۰/۲۶۳**	۰/۲۱۰**	۰/۱۷۹**	۰/۱۵۸**	۰/۱۲۶**
شش ماهه	گرمروند - امردره	۰/۵۹۶**	۰/۵۷۶**	۰/۴۵۶**	۰/۲۶۰**	۰/۱۷۰**	۰/۱۳۱*	۰/۱۲۵*	۰/۰۷۸/
	گرمروند - امردره	۰/۵۳۸**	۰/۵۷۴**	۰/۴۸۷**	۰/۳۱۷**	۰/۲۲۷**	۰/۱۶۱*	۰/۱۳۱*	۰/۰۸۴
	سلیمان تنگه	۰/۱۴۹**	۰/۱۷۹**	۰/۲۰۲**	۰/۲۱۳**	۰/۲۰۸**	۰/۱۹۶**	۰/۱۸۳**	۰/۱۶۴**
نه ماهه	ریگ چشمه	۰/۴۰۸**	۰/۴۵۷**	۰/۴۶۵**	۰/۴۵۰**	۰/۴۲۳**	۰/۳۷۴**	۰/۳۱۰**	۰/۲۶۶**
	گرمروند - امردره	۰/۵۴۱**	۰/۵۹۰**	۰/۵۴۸**	۰/۴۸۲**	۰/۴۱۵**	۰/۳۴۷**	۰/۲۶۲**	۰/۲۰۱**
	گرمروند - امردره	۰/۵۲۰**	۰/۵۷۸**	۰/۵۶۸**	۰/۵۲۴**	۰/۴۵۱**	۰/۳۷۱**	۰/۲۷۰**	۰/۲۰۲**
۱۲ ماهه	سلیمان تنگه	۰/۲۱۷**	۰/۲۵۵**	۰/۲۷۷**	۰/۲۸۱**	۰/۲۷۱**	۰/۲۷۳**	۰/۲۷۶**	۰/۲۶۹**
	ریگ چشمه	۰/۴۸۹**	۰/۵۴۷**	۰/۵۵۹**	۰/۵۵۰**	۰/۵۳۶**	۰/۵۱۲**	۰/۴۷۹**	۰/۴۳۸**
	گرمروند - امردره	۰/۵۳۹**	۰/۵۸۰**	۰/۵۷۸**	۰/۵۵۰**	۰/۵۲۱**	۰/۴۷۹**	۰/۴۳۰**	۰/۳۶۷**
۲۴ ماهه	گرمروند - امردره	۰/۵۱۶**	۰/۵۷۶**	۰/۵۸۷**	۰/۵۷۰**	۰/۵۳۸**	۰/۴۸۹**	۰/۴۳۶**	۰/۳۸۰**
	سلیمان تنگه	۰/۲۲۲**	۰/۲۶۰**	۰/۲۸۶**	۰/۲۹۷**	۰/۳۰۹**	۰/۳۱۷**	۰/۳۲۳**	۰/۳۱۷**
	ریگ چشمه	۰/۵۱۲**	۰/۵۶۶**	۰/۵۹۳**	۰/۶۰۰**	۰/۵۹۹**	۰/۵۸۲**	۰/۵۵۳**	۰/۵۱۶**
۲۴ ماهه	گرمروند - امردره	۰/۵۳۷**	۰/۵۷۶**	۰/۵۸۱**	۰/۵۷۰**	۰/۵۵۱**	۰/۵۲۰**	۰/۴۷۵**	۰/۴۱۹**
	گرمروند - امردره	۰/۵۰۱**	۰/۵۴۷**	۰/۵۶۲**	۰/۵۶۰**	۰/۵۴۸**	۰/۵۲۲**	۰/۴۸۴**	۰/۴۴۰**
	سلیمان تنگه	۰/۲۲۴**	۰/۲۵۵**	۰/۲۸۰**	۰/۲۹۳**	۰/۲۹۹**	۰/۳۰۶**	۰/۳۰۸**	۰/۳۰۴**
۲۴ ماهه	ریگ چشمه	۰/۵۰۴**	۰/۵۴۲**	۰/۵۶۶**	۰/۵۷۷**	۰/۵۸۱**	۰/۵۷۸**	۰/۵۶۸**	۰/۵۴۹**
	گرمروند - امردره	۰/۵۲۴**	۰/۴۲۵**	۰/۴۳۵**	۰/۴۳۶**	۰/۴۳۳**	۰/۴۲۶**	۰/۴۱۰**	۰/۳۸۵**
	گرمروند - امردره	۰/۳۸۱**	۰/۴۰۸**	۰/۴۲۰**	۰/۴۲۳**	۰/۴۲۳**	۰/۴۱۷**	۰/۴۰۵**	۰/۳۸۸**

\* - همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار است

\*\* - همبستگی در سطح ۹۵ درصد معنی دار است



شکل ۳- نمودار شاخص SPImod (میانگین کل حوضه) و شاخص SDI<sub>mod</sub> (ایستگاه هیدرومتری کردخیل) در گام زمانی ماهانه

### منابع

شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق. (۱۳۸۹). مطالعات بهنگام سازی اطلس منابع آب حوضه آبریز رودخانه های مازندران و شرق گیلان. جلد اول (آمار و اطلاعات و بررسی های مقدماتی آن)، ۲۶۲ ص.

محمودی وزینی وند ح، ۱۳۹۳. بررسی ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشکان استان لرستان. نشریه منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۳، صفحه های ۱۵۱ - ۱۶۱.

وکیلی فرد عطیه، اسدی ا، احمد ف و صابره د. (۱۳۹۶). بررسی ارتباط زمانی رخداد خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب های سطحی (مطالعه موردی حوضه بیلوردی - دوزدوزان) نشریه دانش آب و خاک، (۲): ۲۷-۱۵.

Azarez A, Rahdari MR, Rafiei-Sardo E and Azariya-Moghadam F, 2014. Investigating the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam Basin. Euro. J. Exp. Bio. 4(3):102-107.

David, V and 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.

Edossa, D. C., Babel, M. S. and Gupta, A. D., 2010, Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia, Water Resource Manage, 24, 1441-1460.

Hao, C., Zhang, J., and Yao, F. (2015). Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 270-283.

Haslinger, K., Koffler, D., Schner, W., Laaha, G, 2014.

اقتدارنژاد م، ام البنین ب. و عدنان ص. (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی شاخص های SDI، SPI، RDI، در تحلیل مشخصه های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: دشت بم). نشریه دانش آب و خاک، (۴): ۲۶-۶۹ ص.

اسکندری دامنه ح، غلامرضا ز، حسن خ و علی آ. (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، (۹۶): ۲۴-۱۲۰-۱۱۳.

اسلامیان، س، ع، زارعی و ا. ابریشم چی. (۱۳۸۳). بررسی برآورد منطقه ای جریان های کم رودخانه های حوضه آبریز مازندران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۱): ۲۷-۳۸.

اقتداری م، بذرافشان ج، شفیعی م. و حاجی س. (۱۳۹۵). پیش بینی خشکسالی جریان رودخانه با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف در حوضه آبریز کرخه. پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۲): ۱۶ ص.

سلطانی س. و محرابی م. (۱۳۹۱). ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص جریانات رودخانه ای (SDI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) (مطالعه موردی حوضه سد درودزن در استان فارس). اولین همایش ملی بیابان، تهران مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران، ۱۱ ص.

سهیلی الف، ملکی نژاد ح، و اختصاصی م. (۱۳۹۶). تحلیل روند خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق نیمه خشک ایران (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد درودزن). نشریه مدیریت بیابان. صفحات ۳۱-۴۵.

- drought by using the modified SPI index and SDI (Case study: watershed Khorramabad). Fifth National Conference on Science and Engineering Iranian Watershed. 117 pp.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009) Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Shahid, S., and Hazarika, M.K. (2010). Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water resources management*, 24(10), 1989-2006.
- Smith K, 1998. *Environmental Hazards*, Rutledge, New York. 79 p.
- Soleimani-Sardou F, and Bahremand A, 2013. Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran. *International Journal of Environmental Resources Research* 3: 279288.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P.H. (2013). Hydrological drought index (SDI). *Water resources management*, 27 (1), 137-151.
- Tigkas D, Vangelis H and Tsakiris G, 2012. Drought and climate change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment* 440: 33-41.
- Exploring the link between meteorological drought and streamflow: effects of climate-catchment interaction. *Water Resour. C Management*. 23 (0), 1212–1222, 1312.
- Heidari, M., E. Farrokhi, S. Tnyan and B. Hesari. 2009. Analysis of meteorological and hydrological drought by the use of DIP software Areas to be studied: Urmia and Khoy. Fifth National Conference on Science and Engineering Iranian Watershed. 114 pp.
- Kao S.C., and Govindaraju R.S., 2010. A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology* 380: 121-134.
- Kardvany, P. 2002. *Drought and ways to deal with it in Iran*, Tehran University Publications, Printing, 392 PP.
- Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A., Riley, R., et al. (2012). Hydroclimatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma. *Water resources management*, 26(10), 2761-2779.
- Moradi, H., A. Sepahvand and M. Khazayi. 2009. Assessment of meteorological and hydrological

## Using Two Indicators of $SPI_{mod}$ and $SDI_{mod}$ for Comparative Assessment of Meteorological and Hydrological Droughts in Tajan Basin

Sh. Ghayenati<sup>1</sup>, R. Fazloulou<sup>2\*</sup>, M. Masoudian<sup>3</sup>, M. Nadi<sup>4</sup>

Received: July.22, 2018

Accepted: Sept.08, 2018

### Abstract

Drought is a natural, repeatedly and temporary event, that is caused by decreasing in rainfall amount than in long term average whether it can happen in every climate, and is one of the disturbing events in nature that causes the most damage to water resources. In this study was used modified Indexes Standardized Precipitation ( $SPI_{mod}$ ) and streamflow drought index ( $SDI_{mod}$ ) for purposes of temporal assessment and analysis of droughts occurrence, monthly data of 15 rain gauge and 4 hydrometric stations in Tajan basin were used and indices in six timeframes short-term (one-month and three-month) intermediate term (six -month and nine -month periods) and long-term (12 months and 24 months were calculated in MATLAB software. In part of the research, Pearson correlation coefficient between precipitation and flow with different time delays was calculated to determine the delay of currents' delay to precipitation in real mode. Then the modified Streamflow drought index ( $SDI_{mod}$ ) with modified Standardized Precipitation Indexe ( $SPI_{mod}$ ) time series at various temporal interval using Pearson correlation was studied in the whole of basin and sub basins also compared separately. The results showed that temporal relationship between hydrological and meteorological drought occurrence is significant at 99 % level with together and this correlation is maximum in the 9 months' time step in Tajan basin. Also Drought occurrence in case study area showed its effect with a delay of 1 to 7 months on surface water resources.

**Keywords:** Tajan Basin, Modified Standardized Precipitation Index, Modified Streamflow Drought Index, Pearson Correlation

---

1- M.Sc. Student in Water Resources Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
3- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
4- Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
(\* - Corresponding Author Email: raminfazl@yahoo.com)