



شماره ۱۲۱، زمستان ۱۳۹۷

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## بررسی خشک‌سالی هواشناختی و آب‌شناختی با استفاده از نمایه‌های SDI، SPI و PNI در استان کردستان

مریم ذوالفقاری\*

(نویسنده‌ی مسئول)\* استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ایران

نیلوفر باباییان

دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ایران

گلاره غفاری

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ایران

سیدمسعود سلیمان‌پور

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش، کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: بهمن‌ماه ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: آبان‌ماه ۱۳۹۷

Email: maryam\_zolfaghari31@yahoo.com

### چکیده

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های مخرب زیست‌محیطی است که باعث بروز خسارت‌های زیادی به منابع طبیعی و زندگی انسان‌ها شده است. استان کردستان، تأمین‌کننده‌ی بسیاری از محصولات کشاورزی کشور است؛ بنابراین، خشک‌سالی در این استان، اهمیت بسیاری دارد. از داده‌های بدهی ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی و بارش ۷ ایستگاه سینوپتیک در بازه‌ی آماری مشترک ۲۹ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۴) استفاده شد. برای محاسبه‌ی خشک‌سالی هواشناختی از نمایه‌های SPI و PNI، و برای خشک‌سالی آب‌شناختی از نمایه‌ی SDI در مقیاس زمانی سالانه بهره‌برده شد. نتایج آزمون من‌کندال و تایل‌سن نشان‌دهنده‌ی روند خشک‌سالی هواشناختی در ایستگاه‌های سنندج، مریوان، قروه، زرینه و سقر بودند؛ بررسی این آزمون با کاربرد نمایه‌ی SDI نیز نشان‌دهنده‌ی روند نزولی در همه‌ی ایستگاه‌های آب‌سنجی، به‌جز ایستگاه‌های آب‌سنجی سننه‌خورخوره، قشلاق، قیقلو و بیار است. نتایج نشان دادند که خطای جذر میانگین مربعات برای نمایه‌های SPI، PNI و SDI به‌ترتیب ۰/۴۱، ۰/۴۹ و ۰/۴۷، و ضریب تبیین ۰/۶۵، ۰/۵۰ و ۰/۵۹ است؛ بنابراین نمایه‌ی SPI عمل‌کرد بهتری را داشته است.

واژگان کلیدی: آزمون من‌کندال، خشک‌سالی، روند تغییرات

## Meteorological and Hydrological Drought Survey Using the SPI, SDI and PNI Indices in The Province of Kurdistan

**Maryam Zolfaghari\***

(Corresponding Author)\* Assistant Professor, Watershed Management Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj, Kurdestan, Iran

**Niloufar Babaeian**

Watershed Management Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj, Kurdestan, Iran

**Golaleh Ghaffari**

Assistant Professor, Watershed Management Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj, Kurdestan, Iran

**Seyed Masoud Soleimanpour**

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

### Abstract

Drought is one of the most destructive environmental phenomena that causes extreme damages to the natural resources and human lives. As the Province of Kurdistan supplies many agricultural products in the country, the occurrence of drought is very important and that is the main reason behind the execution of this study. The data of twenty-three hydrometric and seven synoptic stations were used in a 29-year common statistical period (1985-2013). To calculate the meteorological drought, the SPI and PNI indices, and for the hydrological drought, the SDI index were used at the annual time scale. Results of the Mann-Kendall and Thilson tests indicated the existence of a trend for the meteorological drought at Sanandaj, Marivan, Ghorveh, Zarrineh and Saqez Stations. Also, the running of this test on the SDI index indicated a downward trend in all of the hydrometric stations, except for the Sentin Khorokhoreh, Ghashlagh, Qeblv and Meyar stations. Results also showed that the root mean square error for SPI, PNI, and SDI were 0.41, 0.49 and 0.47, and the coefficient of determination ( $R^2$ ) were 0.65, 0.51 and 0.59, respectively. Therefore, the SPI index is the best function among these three.

**Keywords:** Drought, Mann-Kendal test, trend of changes

### مقدمه

خشک‌سالی، یکی از بلاهای طبیعی است که وقوع آن تحت هر وضعیت بارش و دمایی، امکان‌پذیر است. این رخداد بین بلاهای طبیعی به‌آهستگی، تدریجی، برگشت‌پذیر و گاه به‌سرعت، آثار خود را آشکار می‌کند. چون تأثیرات خشک‌سالی در یک دوره‌ی زمانی طولانی و به‌کندی ظهور می‌کند، غالباً پدیده‌ای خزنده تلقی می‌شود؛ به‌طوری‌که برنامه‌ریزی در راستای کاهش اثرات آن پیچیده است (تساگریس و ونجلیا ۲۰۰۴؛ پاتل و همکاران ۲۰۰۷). یکی از مهم‌ترین

جوانب تخریب محیط‌زیست به‌وسیله‌ی این پدیده، افزایش فرسایش خاک به‌دلیل کاهش رطوبت است. خشک‌سالی هواشناسی یا اقلیمی اساساً ناشی از کمبود بارندگی است که در صورت تداوم، به خشک‌سالی آب‌شناختی و کشاورزی می‌انجامد. اگر کشاورزی پایدار نباشد و نتواند در برابر این پدیده‌ی مخرب مقاومت کند، قطعی روی خواهد داد. در این راستا، بارش، عمده‌ترین فراسنجی است که در تعریف خشک‌سالی به کار برده می‌شود و کمبود یا نبود آن، آستانه‌ی خشک‌سالی است (زارع‌ایبانه و محبوبی ۲۰۰۴). از دیدگاه آب‌شناس‌ها، خشک‌سالی

آبی استفاده می‌شود. لشنی‌زند و همکاران (۲۰۱۲)، با بررسی تطابقی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در حوضه‌ی سراب صیدعلی به این نتیجه رسیدند که رابطه‌ی مستقیم و معناداری بین آبدهی و بارش به‌صورت روزانه و ماهانه و فصلی وجود دارد و در هر سه حالت، رابطه از سطح معناداری خوبی برخوردار است؛ ولی مقدار همبستگی در داده‌های بدون تأخیر نسبت به بقیه بیشتر است. مفیدی‌پور و همکاران (۲۰۱۲)، رابطه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی را در حوضه‌ی آبخیز اترک بررسی کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که رابطه‌ی زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی با یکدیگر در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و بیشترین همبستگی در بازه‌ی سه‌ماهه است. جوتزجر و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی خشک‌سالی آب‌شناختی در مقیاس‌های زمانی تغییرات اقلیمی برای حوضه‌ی رود می‌سی‌سی‌پی و آمازون نشان دادند که نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی تجربی باید در مناطق گرم با دقت بیشتری مدنظر قرار گیرد. هاسلینگر و همکاران (۲۰۱۴)، یک تحلیل منطقه‌ای دقیق را از ارتباط میان نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و جریان رودخانه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط این دو نمایه برای حوضه‌هایی که در آن‌ها ذخایر برف و آب زیرزمینی‌شان زیاد است، معنی‌دار نیست. اسدزاده و همکاران (۲۰۱۵) اقدام به پایش و تخمین خشک‌سالی با استفاده از جمع‌آوری داده‌های ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی دشت مراغه و تبریز که در شرق دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند، با استفاده از مدل هوشمند عصبی‌فازی تطبیقی<sup>۲</sup> و نمایه‌ی SPI در مقیاس زمانی ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه کردند. نتایج نامبردگان، نشان از توانایی زیاد عمل‌کرد مدل ANFIS در تخمین خشک‌سالی هم در مقیاس زمانی کوتاه و بلندمدت داشته است. وان لون و لاه (۲۰۱۵)، در بررسی شدت خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از ویژگی‌های اقلیمی و حوضه‌ای نشان دادند که در نتیجه‌ی تغییرات، شدت خشک‌سالی آب‌شناختی به‌شدت وابسته به فرایندهای آب‌شناسی است. موریرا (۲۰۱۶) به بررسی خشک‌سالی از نمایه‌ی بارش معیارشده<sup>۳</sup> (SPI) با استفاده از مدل لگاریتم خطی و در بازه‌ی زمانی شش و دوازده ماهه در کشور پرتغال، در دو دوره‌ی خشک و تر سال اقدام کرد. نتایج وی نشان داد که این مدل عملکرد خوبی در تخمین نمایه‌ی یادشده داشته است. وو و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور بررسی اثر وجود مخزن بر خشک‌سالی از داده‌های جریان و بارش ماهانه‌ی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ و گزارش‌های ماهانه‌ی ورود و خروج یک مخزن بزرگ در حوضه‌ی رود دونگینگان در جنوب چین و از نمایه‌ی جریان معیار و SPI با مقیاس زمانی مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که عملیات مخزن در دوره‌ی پس از مخزن (۱۹۷۴-۲۰۱۵) تأثیر فراوانی

آب‌شناختی زمانی اتفاق می‌افتد که تراز ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی از حد معمول (میانگین درازمدت) خود پایین‌تر باشد. خشک‌سالی کشاورزی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت خاک از نیاز واقعی محصول کمتر باشد و به خسارت در محصول منجر شود (میشرا و سینگ ۲۰۱۰؛ کریمی و همکاران ۲۰۱۱). تعریف خشک‌سالی اقتصادی اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاها اقتصادی با اجزای خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی و کشاورزی است (پاتل و همکاران ۲۰۰۷؛ محمدیان و همکاران ۲۰۱۰؛ ناصرزاده و احمدی ۲۰۱۲). به‌دلیل تأثیرات منفی خشک‌سالی برای زندگی انسان و طبیعت، نمایه‌های متعددی برای محاسبه‌ی آن به کار رفته است (منیسینو و آلفونسو ۲۰۰۸). خشک‌سالی‌های مربوط به آب‌های سطحی به کاهش میزان بارندگی وابسته است که به‌طور مستقیم موجب کاهش رواناب و به‌صورت غیرمستقیم موجب کاهش تغذیه‌ی آب‌های سطحی به‌وسیله‌ی آب‌های زیرزمینی می‌شوند (کاهش جریان‌های بهاری). از مشخصه‌های این‌گونه خشک‌سالی‌ها کاهش جریان‌های رودخانه‌ای و کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و مخازن پشت سد‌هاست؛ در نتیجه، درک خشک‌سالی آب‌های سطحی، برای انسان بسیار ملموس‌تر و مهم‌تر است. باین‌حال، این نوع خشک‌سالی ضرورتاً یک رویداد طبیعی نیست؛ زیرا اغلب بر اثر ترکیبی پیچیده از خشک‌سالی‌های هواشناسی و زیرساخت‌های منابع آب و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اجرایی در این زمینه رخ می‌دهد. مطالعات زیادی درباره‌ی خشک‌سالی صورت گرفته است که در این بخش به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. مظفری (۲۰۰۶)، در پژوهشی با عنوان عدم تطابق خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب‌شناختی در دو حوضه‌ی آبخیز همسایه در دامنه‌ی شمالی شیرکوه یزد به این نتیجه رسید که روند خشک‌سالی هواشناسی در هر دو ایستگاه باران‌سنجی اسلامی و فخرآباد وجود دارد؛ با این تفاوت که روند خشک‌سالی آب‌شناختی در ایستگاه آب‌سنجی اسلامی معنی‌دار است، اما در ایستگاه فخرآباد معنی‌دار نیست. مرید و پایمزد (۲۰۰۷)، به مقایسه‌ی روش‌های آب‌شناسی و هواشناسی، برای پایش روزانه‌ی خشک‌سالی در بازه‌ی زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ در استان تهران پرداختند. نتایج ایشان ضمن تأیید قابلیت‌های روش چانگ و کلوسا<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) و اهمیت دخالت معرف‌های آب‌شناسی در پایش خشک‌سالی، نشان داد که روش چانگ از حساسیت بیشتری به کمبود منابع آبی در شرایط خشک‌سالی برخوردار است. میشرا و سینگ (۲۰۱۰) نشان دادند برای تشخیص خشک‌سالی هواشناسی از متغیر بارش، برای تشخیص خشک‌سالی کشاورزی از متغیر رطوبت خاک و دما و برای تشخیص خشک‌سالی آب‌شناختی از جریان‌های آبی و سطح آب‌های زیرزمینی و دیگر ذخایر

۱- یکی از روش‌های پایش خشک‌سالی آب‌شناختی است که مقیاس روزانه دارد.

2- Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)

3- Standardized Participation Index (SPI)

آن‌ها در این استان، در بازه‌ی زمانی ۲۹ ساله و در مقیاس زمانی سالانه صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

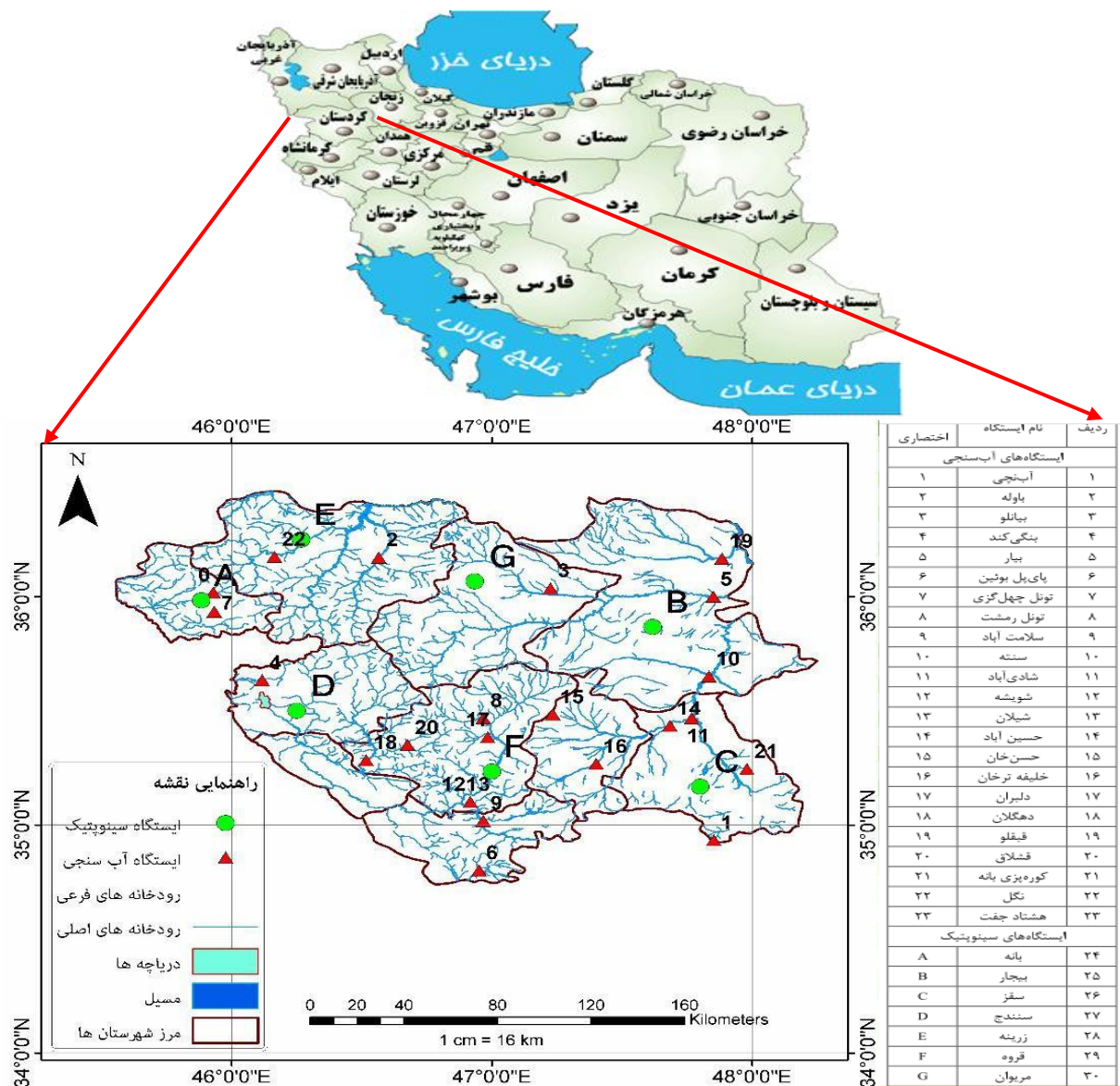
#### منطقه‌ی پژوهش

استان کردستان با مساحت ۲۸۲۰۳ کیلومتر مربع یکی از استان‌های غربی ایران است که در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است و در همسایگی استان‌های آذربایجان غربی، زنجان، همدان و کرمانشاه و هم‌مرز با کشور عراق است و بیش از ۲۰۰ کیلومتر مرز مشترک با عراق دارد. مرکز استان شهر سنندج است که در ارتفاع ۱۳۷۳ متری از سطح دریا واقع شده است (مهری و همکاران ۲۰۱۷). شهرهای دیگر استان عبارت‌اند از: سقز، مریوان، قروه، بانه، بیجار، دهگلان، دیواندره، کامیاران و سروآباد. شکل ۱ موقعیت استان کردستان را در سطح کشور و جانمایی ایستگاه‌های آب‌سنجی و سینوپتیک مورد مطالعه را در استان کردستان نشان می‌دهد. به‌علت وجود شیب نسبتاً زیاد و کوهستانی بودن قسمت بزرگی از این استان، خاک‌های کم‌عمق دامنه‌ها و نبود پوشش گیاهی غنی، بخش فراوانی از بارندگی‌ها، به‌ویژه بارندگی‌های رگباری به رواناب سطحی تبدیل شده و بلافاصله بعد از بارندگی سیلاب‌های ناگهانی ایجاد می‌کنند و باعث افزایش ضریب رواناب حوضه-ی آبخیز و زی‌رحوضه‌های آن می‌شود (صلواتی و همکاران ۲۰۱۰). جدول ۱ خصوصیات ایستگاه‌های استفاده‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

تأثیر مثبت) بر تکامل کوتاه‌مدت همراه با کاهش دوره‌ی خشک‌سالی و کاهش میزان آن داشته است؛ به‌طوری‌که همبستگی خطی بین دو نمایه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در مقایسه با دوره‌ی قبل از مخزن (۱۹۶۰-۱۹۷۲) تغییر کرد. منتصری و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی وضعیت خشک‌سالی در دو حوضه‌ی زربینه‌رود و سیمینه‌رود به‌وسیله‌ی نمایه‌ی بارش معیارشده (SPI) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه‌ی ۳۱ ایستگاه در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰-۲۰۱۳ در مقیاس زمانی سالانه و ماهانه (یک تا ۴۸ ماهه) پرداختند. بررسی نمایه‌ی SPI طی چهار دهه‌ی گذشته، نشان می‌دهد به‌طور کلی زیرحوضه‌های جنوبی دریاچه‌ی ارومیه پس از تجربه‌ی دو دوره ترسالی و یک دوره خشک‌سالی، در ۷۰٪ سال‌ها در شرایط بهنجار به‌سر برده‌اند. پس از وقوع خشک‌سالی طی دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۰۰ به‌رغم حاکمیت شرایط بهنجار تا سال ۲۰۰۰، روند کاهشی تراز دریاچه‌ی ارومیه ادامه یافته است که نشان می‌دهد علاوه‌بر تأثیر شرایط اقلیمی و کاهش بارش‌ها، عوامل دیگری نظیر بهره‌برداری نامناسب و برداشت بیش‌ازحد از منابع آبی در سال‌های اخیر، عامل اصلی تشدید بحران در آن حوضه بوده است. با نگاهی به سابقه‌ی تحقیق مشخص می‌شود که در هر مطالعه‌ای، بسته به شرایط و اهمیت موضوع یک یا دو نمایه‌ی خشک‌سالی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ حال آنکه بررسی سه نمایه‌ی مهم خشک‌سالی در یک منطقه بررسی نشده است. با توجه به موارد مطرح‌شده، محاسبه‌ی خشک‌سالی با سه نمایه‌ی مهم و کاربردی یعنی SPI، SDI<sup>۴</sup> و PNI<sup>۵</sup> در استان کردستان که از موقعیت ویژه‌ای برخوردار است و سرچشمه‌ی بسیاری از رودهای بزرگ کشور بوده انجام شده است، با توجه به موجودیت داده‌ها و نحوه‌ی پراکنش

4- Streamflow Drought Index (SDI)

5- Percent of Normal Index (PNI)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان کردستان و ایستگاه‌های سینوپتیک و آب‌سنجی مطالعه‌شده.

جدول ۱- خصوصیات ایستگاه‌های سینوپتیک و آب‌سنجی مطالعه‌شده.

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سال تأسیس	طول دوره‌ی آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	بانه	سینوپتیک	۱۳۷۷-۱۳۷۸	۱۷	۴۵° ۵۴'	۳۶° ۰۰'	۱۶۰۰
۲	بیجار	سینوپتیک	۱۳۶۶-۱۳۶۷	۲۸	۴۷° ۳۷'	۳۵° ۵۳'	۱۸۸۳/۴
۳	سقز	سینوپتیک	۱۳۴۰-۱۳۴۱	۵۴	۴۶° ۱۶'	۳۶° ۱۵'	۱۵۲۲/۸
۴	سنندج	سینوپتیک	۱۳۳۸-۱۳۳۹	۶۱	۴۷° ۰۰'	۳۵° ۲۰'	۱۳۷۳/۴
۵	زرینه	سینوپتیک	۱۳۶۸-۱۳۶۹	۲۶	۴۶° ۵۵'	۳۶° ۴۰'	۲۱۴۲/۶
۶	قروه	سینوپتیک	۱۳۶۸-۱۳۶۹	۲۶	۴۷° ۴۸'	۳۵° ۱۰'	۱۹۰۶
۷	مریوان	سینوپتیک	۱۳۷۱-۱۳۷۲	۲۳	۴۶° ۱۲'	۳۵° ۳۱'	۱۲۸۶/۸
۸	آب‌نچی	آب‌سنجی	۱۳۵۴-۱۳۵۵	۳۵	۴۶° ۰۷'	۳۵° ۳۸'	۱۳۳۹
۹	باوله	آب‌سنجی	۱۳۸۱-۱۳۸۲	۱۳	۴۷° ۴۳'	۳۴° ۵۳'	۱۸۴۰
۱۰	بیانلو	آب‌سنجی	۱۳۶۳-۱۳۶۴	۳۱	۴۷° ۵۱'	۳۶° ۰۰'	۱۵۷۱
۱۱	بنگی‌کند	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۳۳	۴۷° ۵۸'	۳۶° ۱۴'	۱۴۷۰
۱۲	بیار	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۳۳	۴۶° ۵۷'	۳۴° ۴۸'	۱۴۵۰
۱۳	پای‌پل بوئین	آب‌سنجی	۱۳۶۴-۱۳۶۵	۲۸	۴۵° ۵۶'	۳۵° ۵۶'	۱۵۱۲
۱۴	تونل چهل-گزی	آب‌سنجی	۱۳۷۰-۱۳۷۱	۲۴	۴۶° ۵۸'	۳۵° ۲۸'	۱۴۹۰
۱۵	تونل رمشت	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۳۸	۴۶° ۵۸'	۳۵° ۰۱'	۱۳۹۰
۱۶	سلامت‌آباد	آب‌سنجی	۱۳۴۰-۱۳۴۱	۵۲	۴۷° ۵۰'	۳۵° ۳۹'	۱۶۶۴
۱۷	سنته	آب‌سنجی	۱۳۷۴-۱۳۷۵	۲۰	۴۶° ۳۶'	۳۶° ۴۶'	۱۵۱۸
۱۸	شادی‌آباد	آب‌سنجی	۱۳۶۷-۱۳۶۸	۲۸	۴۷° ۴۶'	۳۵° ۲۸'	۱۶۸۵
۱۹	شویشه	آب‌سنجی	۱۳۶۶-۱۳۶۷	۲۸	۴۶° ۳۲'	۳۵° ۱۷'	۱۳۱۱
۲۰	شیلان	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۳۴	۴۶° ۵۵'	۳۵° ۰۶'	۱۳۳۰
۲۱	حسین‌آباد	آب‌سنجی	۱۳۷۰-۱۳۷۱	۲۴	۴۷° ۰۷'	۳۵° ۳۳'	۱۶۴۰
۲۲	حسن‌خان	آب‌سنجی	۱۳۶۵-۱۳۶۶	۲۹	۴۷° ۴۱'	۳۵° ۲۶'	۱۷۰۰
۲۳	خلیفه ترخان	آب‌سنجی	۱۳۶۴-۱۳۶۵	۳۰	۴۷° ۱۴'	۳۵° ۲۹'	۱۷۸۰
۲۴	دلبران	آب‌سنجی	۱۳۷۱-۱۳۷۲	۲۹	۴۷° ۳۶'	۳۵° ۱۲'	۱۷۷۰
۲۵	دهگلان	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۲۳	۴۷° ۲۴'	۳۵° ۱۶'	۱۸۳۱
۲۶	قبقلو	آب‌سنجی	۱۳۶۴-۱۳۶۵	۳۰	۴۶° ۱۰'	۳۶° ۱۰'	۱۵۹۳
۲۷	قشلاق	آب‌سنجی	۱۳۷۰-۱۳۷۱	۲۴	۴۶° ۵۹'	۳۵° ۲۳'	۱۴۸۰
۲۸	کوره‌پزی بانه	آب‌سنجی	۱۳۵۵-۱۳۵۶	۲۰	۴۵° ۵۵'	۳۶° ۰۱'	۱۵۱۰
۲۹	نگل	آب‌سنجی	۱۳۶۶-۱۳۶۷	۲۸	۴۶° ۳۱'	۳۵° ۱۷'	۱۳۸۵
۳۰	هشتاد جفت	آب‌سنجی	۱۳۵۳-۱۳۵۴	۳۴	۴۷° ۵۳'	۳۶° ۱۰'	۱۵۰۰

روش پژوهش

نمایه‌های استفاده‌شده

نمایه‌ی بارش معیار (SPI)

مکی‌کی و همکارانش (۱۹۹۳) در مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشک‌سالی ایالات‌متحده آمریکا، برای پایش و تعریف وضعیت اقلیمی خشک‌سالی، از نمایه‌ی بارش معیار استفاده کردند. به کمک این نمایه می‌توان عواملی مانند تاریخ شروع و پایان و نیز تداوم و شدت دوره‌های خشک را در مقیاس‌های زمانی مختلف پایش کرد. دوره‌ی خشک در مقیاس زمانی مشخص و در یک دوره‌ی معین،

زمانی به وقوع می‌پیوندد که SPI به صورت پیوسته، منفی باشد. این دوره، زمانی شروع می‌شود که SPI برای اولین بار به زیر صفر برسد و زمانی که این مقدار به بیش‌تر از صفر افزایش یابد، به پایان می‌رسد. تغییرپذیری این نمایه باعث شده است که در مقیاس‌های کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف آب‌شناسی مثل منابع آب زیرزمینی و جریان‌های رودخانه‌ای سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (ادوارد و مکی ۱۹۹۷؛ نوحه‌گر و همکاران ۲۰۱۶). به تجربه ثابت شده است که توزیع احتمال بارش در یک ایستگاه غالباً از توزیع احتمال گاما پیروی می‌کند (کارآموز و

$$\bar{P}_t = \frac{1}{N} \sum_{V=1}^N P_{V,T} \quad (2)$$

$$\sigma_t = \sqrt{\left( \frac{1}{N-1} \sum_{V=1}^N (P_{V,T} - \bar{P}_t)^2 \right)} \quad (3)$$

در روابط بالا، تعداد سال‌های آماری، مقدار بارندگی در دوره از سال، سال مورد نظر، دوره‌ی زمانی کوچک‌تر از سال، و میانگین و انحراف معیار دوره‌ی و تعداد دوره‌ها در سال است (مکی و همکاران ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵). طبقه‌بندی درجه‌های نمایه‌ی خشک‌سالی بر اساس روش SPI در جدول ۲ نمایش داده شده است.

عراقی‌نژاد (۲۰۰۵). به کمک این نمایه می‌توان عواملی همچون تاریخ شروع و پایان و نیز تداوم و شدت دوره‌های خشک را در مقیاس‌های زمانی مختلف پایش کرد؛ علاوه بر این، مقدار تجمعی این نمایه، بزرگی و شدت خشک‌سالی را نشان می‌دهد؛ به طوری که مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده‌ی بارندگی بیش از بارندگی میانه و مقادیر منفی حالت عکس آن است؛ بنابراین این نمایه برای اقلیم‌های خشک و مرطوب استفاده‌کردنی است و امکان مقایسه‌ی نتایج در بازه‌های زمانی و مکانی متفاوت را امکان‌پذیر می‌نماید (مهری و همکاران ۲۰۱۷). این نمایه با روابط ۱ تا ۳ محاسبه می‌شود.

$$SPI_v = \frac{P_v - \bar{P}_t}{\sigma_t} \quad (1)$$

### جدول ۲- تعیین درجه‌ی خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از نمایه‌ی بارش معیارشده SPI.

مقادیر SPI	
+۲	فوق‌العاده مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نزدیک به بهنجار
-۱ تا -۱/۴۹	خشک‌سالی ملایم
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشک‌سالی شدید
-۲ و کمتر	خشک‌سالی خیلی شدید

$$i = 1, 2, \dots \quad K = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$S_k$  و  $\bar{V}_k$  به ترتیب میانگین مجموع حجم آبدهی و انحراف معیار حجم جریان‌های تجمعی برای دوره‌ی مبنای (k) است. شایان ذکر است در روابط مربوط به نمایه خشک‌سالی بارندگی با آبدهی ایستگاه آب‌سنجی جایگزین شده است. جدول ۳ طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی را با کاربرد روش SDI نشان می‌دهد (میر و هوبارد ۱۹۹۵).

### نمایه‌ی خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI)

در تحقیق حاضر نمایه‌ی SDI کاملاً مشابه SPI است که قبلاً توضیح داده شده است. این نمایه بر اساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای ( $V_{ik}$ ) برای دوره‌ی مبنای (k) مربوط به (i) سال آب‌شناسی از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید:

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (4)$$

### جدول ۳- طبقه‌بندی حالت‌های خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از نمایه (SDI).

حالت	محدوده	وضعیت خشک‌سالی
۰	$0 \leq SDI$	بدون خشک‌سالی
۱	$-1 \leq SDI < 0$	خشک‌سالی ملایم
۲	$-1/5 \leq SDI < -1$	خشک‌سالی متوسط
۳	$-2 \leq SDI < -1/5$	خشک‌سالی شدید
۴	$SDI < -2$	خشک‌سالی خیلی شدید

نمی‌کنند، کاربرد کمتری نسبت به نمایه SPI دارد.

$$P = \frac{P_i}{P} \quad (5)$$

که در آن:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{p}$  میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۴ ارائه شده است (کوک و جاکوب ۱۹۸۳).

### نمایه درصد بهنجار (PNI)

این نمایه از ساده‌ترین نمایه‌ها برای ارزیابی خشک‌سالی است و از تقسیم میزان بارندگی رخداد بر مقدار بارندگی بهنجار (میانگین درازمدت) به دست می‌آید و برحسب درصد بیان می‌شود. این نمایه در دوره‌های زمانی ماهانه و فصلی و سالانه محاسبه می‌شود و از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید. این نمایه از لحاظ آماری مشابه با SPI است و ارزیابی تقریباً یکسانی را از لحاظ شدت را ارائه می‌دهد؛ اما از آنجا که در این نمایه، بارندگی ماهانه و فصلی از توزیع بهنجار تبعیت

جدول ۴- طبقه‌بندی نمایه درصد بهنجار (PNI).

رده	مقادیر PNI (درصد)	رتبه PNI
خشک‌سالی جزئی	۷۰-۸۰	۱
خشک‌سالی متوسط	۵۵-۷۰	۲
خشک‌سالی شدید	۴۰-۵۵	۳
خشک‌سالی بسیار شدید	کم‌تر از ۴۰	۴

آمار در دوره‌ی مشترک آماری تحقیق مورد نظر ناقص باشد، برای برطرف کردن مشکل، داده‌های ناقص با استفاده از ضریب همبستگی<sup>۶</sup> در نرم‌افزار SPSS۲۱ بازسازی شد (کارآموز و عراقی‌نژاد ۲۰۰۵). برای انجام روند خشک‌سالی‌ها با استفاده از داده‌ها و آزمون‌های همگن (وین‌گارد و همکاران ۲۰۰۳) و روش منحنی جرم مضاعف و آزمون توالی، داده‌های ماهانه‌ی بارش ایستگاه‌های سینوپتیک در طول دوره‌ی آماری مشترک ۲۹ ساله طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۲ واکاوی شد؛ به‌طوری‌که برای هر یک از این ایستگاه‌ها مقادیر SPI و PNI در پایه‌های زمانی سالانه برآورد شد؛ در پایان برای مقایسه و عملکرد نمایه‌های یادشده از آماره‌های ارزیابی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد.

### آزمون من‌کندال

یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های نافرسانج تحلیل روند گروه‌های زمانی، آزمون من‌کندال است که با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی و نوع و زمان آن مشخص می‌گردد (من ۱۹۴۵؛ کندال ۱۹۷۰). فرض اصلی این آزمون استفاده از داده‌های مستقل، به‌طور تصادفی بود و استفاده از این روش برای تشخیص روند داده‌های آب‌شناسی‌ای که روند عادی نداشته و دارای داده‌های پرتاند می‌تواند بسیار کاربردی و مفید باشد (حامد ۲۰۰۷؛ مدرس و سرحدی ۲۰۰۹). در این آزمون، تصادفی بودن داده‌ها با نبود روند

### بررسی روند خشک‌سالی

تاکنون روش‌های آماری متعددی به‌منظور تحلیل روند گروه‌های زمانی ارائه شده است که این روش‌ها را می‌توان در دو دسته‌ی کلی روش‌های فراسنجی و غیرفراسنجی تقسیم کرد. روش‌های غیرفراسنجی از کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش‌های فراسنجی برخوردار هستند. برای بررسی روند خشک‌سالی در هر یک از نمایه‌ها از آزمون‌هایی استفاده شده است که در این مقاله به شرح آن پرداخته شده است (کارآموز و عراقی‌نژاد ۲۰۰۵). چون هدف این پژوهش بررسی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در استان کردستان است، آمار آبدهی ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی و بارندگی ۷ ایستگاه سینوپتیک به‌واسطه‌ی موجودیت داده‌ها و نحوه‌ی پراکنش آن‌ها در نظر گرفته شد. از آنجا که تعداد سال‌های آماری موجود، بنا بر تأسیس ایستگاه‌ها متفاوت است، به‌طوری‌که آمار یک ایستگاه ممکن است مربوط به یک دوره‌ی خشک و آمار ایستگاه دیگر مربوط به دوره‌ی پرباران باشد، در مرحله‌ی بعد، به یک دوره‌ی مشترک آماری با کمترین حذف داده و بیشترین طول دوره‌ی آماری اقدام گردید (مهدوی ۲۰۰۲؛ علیزاده ۲۰۰۳). با توجه به رویدادهای پیش‌گفته، دوره‌ی مشترک آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۲ (۲۹ سال) برای پژوهش حاضر در نظر گرفته شد. چون تاریخ تأسیس متفاوت ایستگاه‌ها، بروز سوانح طبیعی مانند سیل، زلزله، حریق و... نقایص فنی دستگاه‌های آماربرداری و حذف آمار غلط توسط کارشناسان ارشد مهارکننده باعث می‌شود که در بعضی سال‌ها



کندال (۱۹۷۰).

### آزمون روند تایل-سن

برای برآورد شیب واقعی یک روند در یک گروه زمانی، استفاده از روش نافرانسنج سن می تواند راهی مناسب در این زمینه باشد. این روش را ابتدا تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه کرد و سپس سن در سال (۱۹۶۸) گسترش داد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش های نافرانسنج همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات گروه زمانی استوار است. این روش زمانی می تواند استفاده شود که روند موجود در گروه زمانی، یک روند خطی باشد (آهنی و همکاران ۲۰۱۲). در آزمون من-کندال شیب خط روند گروه داده ها با روش تخمین گر تایل-سن (تیل ۱۹۵۰؛ سن ۱۹۶۸) از رابطه ی نافرانسنجی ۱۰ محاسبه می شود:

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (10)$$

که در رابطه ی بالا،  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X_j$  و  $X_i$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی نام وزام است. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان دهنده ی روند افزایشی (کاهشی) در گروه است.

### نتایج

همان طور که مشخص شد، هدف از بررسی خشک سالی هواشناسی و آب شناختی با بهره بردن از نمایه های معروف و کاربردی SPI، RDI و PNI در استان کردستان، استفاده از داده های اقلیمی و آب سنجی ایستگاه های این استان در دوره ی مشترک آماری ۲۹ ساله (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۲) است که نتایج در جدول ۵ تا ۸ آمده است؛ نمودار ۱ نمایه ی SPI ایستگاه های سینوپتیک و نمایه ی PNI سالانه را نشان می دهد.

مشخص می شود. در صورت وجود روند داده ها غیر تصادفی هستند و برای تعیین تصادفی بودن داده ها از رابطه ی ۶ تا ۹ استفاده می شود (عزیزی و روشنی ۲۰۰۹). اولین داده را ( $X_1$ ) در نظر گرفته و به ترتیب با دیگر داده ها مقایسه می کنند و تعیین می شود در چند جا از دیگر داده ها بزرگ تر است و تعداد آن را ( $P_{1X}$ ) می نامند. عمل بالا را برای داده های دیگر هم آزمایش کرده و مقادیر  $P_{2X}$  و  $P_{3X}$  و... به دست می آید. جمع مقادیر  $P_{1X}$  و  $P_{2X}$  و  $P_{3X}$  و... را به دست آورده و آن را  $P$  می نامند (روابط ۶ تا ۹):

$$E(P) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (6)$$

$$t = \left[ \left( \frac{4P}{n(n-1)} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

$$\text{Var}(t) = \left[ \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \right] \quad (8)$$

$$Z = \frac{t}{(\text{Var}(t))^{0.5}} \quad (9)$$

اگر مقادیر قدر مطلق Z-statistic به ترتیب از ۱/۹۶، ۱/۶۴۵، ۰/۱ و ۲/۵۷۶ تجاوز نمایند، به ترتیب روندی معنی دار در سطح احتمال ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵ دارند که در صورت مثبت بودن گروه زمانی دارای روند مثبت معنی دار (روند افزایشی)، و در صورت منفی بودن گروه زمانی دارای روند منفی معنی دار (روند کاهشی) است؛ مقادیر بین دو عدد ۱/۶۴۵- و ۱/۶۴۵+ نیز روند معنی داری ندارد (من ۱۹۴۵؛

جدول ۵- مقادیر نمایه‌ی SPI و PNI (سالانه) برای تعیین خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان.

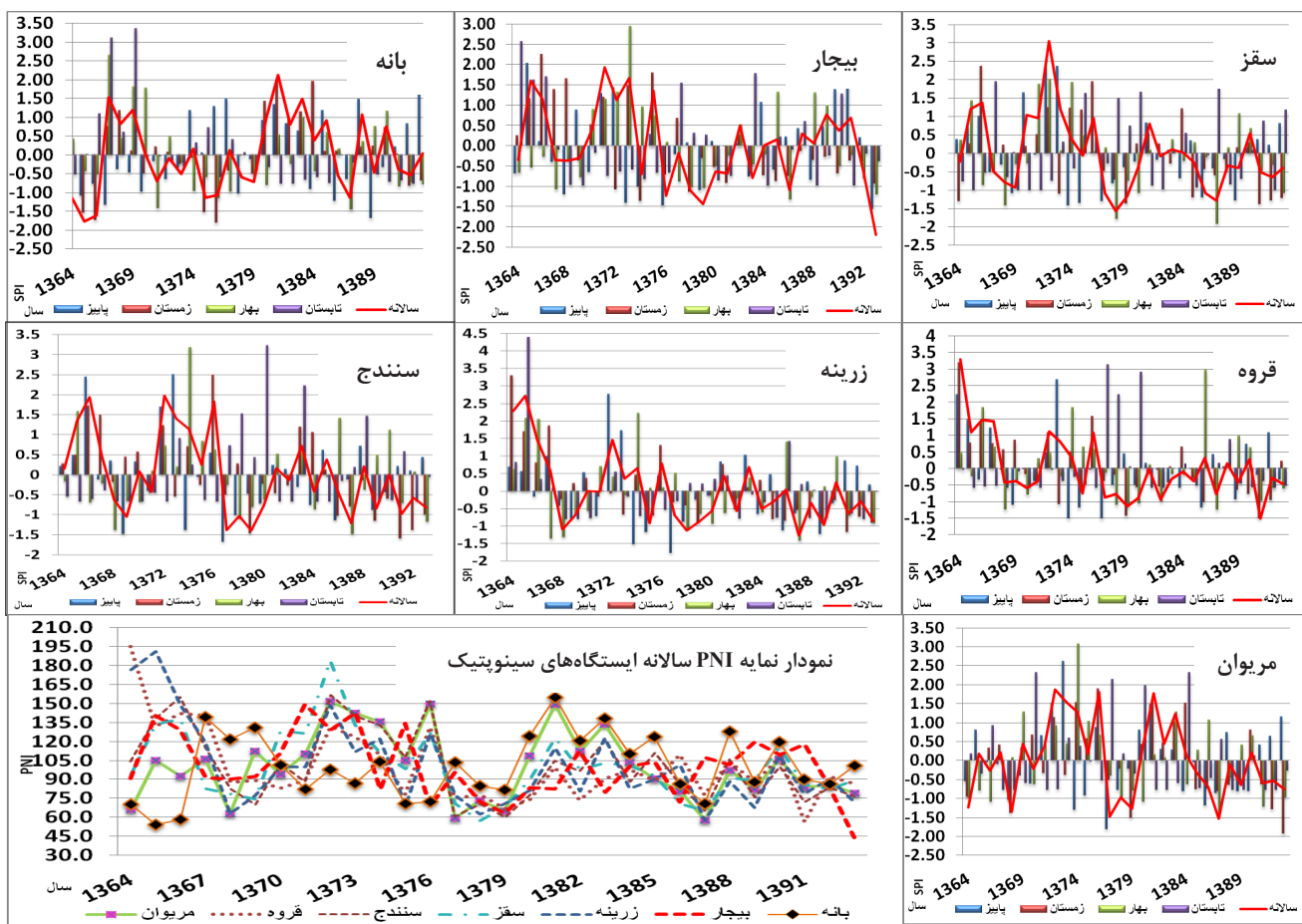
سال آماری	بانه		بیجار		زرینه		سقز		سنندج		قروه		مریوان	
	PNI	SPI	PNI	SPI	PNI	SPI	PNI	SPI	PNI	SPI	PNI	SPI	PNI	SPI
۱۳۶۴	۷۰/۱۰	-۱/۱۶	۹۰/۹۰	-۰/۴۰	۱۷۶/۴۰	۲/۳۰	۹۳/۸۰	-۰/۲۰	۱۰۴/۴۰	۲/۳۰	۱۹۴/۹۰	۳/۳۰	۶۶/۰۰	-۱/۲۰
۱۳۶۵	۵۴/۳۰	-۱/۷۸	۱۴۰/۷۰	۱/۶۰	۱۹۱/۰۰	۲/۷۰	۱۳۳/۳۰	۱/۲۰	۱۳۸/۱۰	۲/۷۰	۱۳۱/۸۰	۱/۱۰	۱۰۵/۱۰	۰/۲۰
۱۳۶۶	۵۸/۳۰	-۱/۶۲	۱۲۹/۲۰	۱/۱۰	۱۴۸/۶۰	۱/۵۰	۱۳۷/۹۰	۱/۴۰	۱۵۵/۳۰	۱/۵۰	۱۴۲/۲۰	۱/۵۰	۹۲/۵۰	-۰/۳۰
۱۳۶۷	۱۳۹/۲۰	۱/۵۲	۹۱/۲۰	-۰/۳۰	۱۱۹/۶۰	۰/۶۰	۸۲/۷۰	-۰/۵۰	۱۱۴/۶۰	۰/۶۰	۱۴۰/۷۰	۱/۴۰	۱۰۶/۰۰	۰/۲۰
۱۳۶۸	۱۲۱/۴۰	۰/۸۳	۹۰/۴۰	-۰/۴۰	۶۳/۱۰	-۱/۱۰	۷۸/۷۰	-۱/۸۰	۸۲/۴	-۱/۱۰	۸۷/۶۰	-۰/۴۰	۶۲/۹۰	-۱/۳۰
۱۳۶۹	۱۳۱/۰۰	۱/۲۰	۹۲/۲۰	-۰/۳۰	۷۶/۹۰	-۰/۷۰	۷۴/۵۰	-۰/۹۰	۷۰/۰۰	-۰/۷۰	۸۹/۱۰	-۰/۴۰	۱۱۲/۳۰	۰/۴۰
۱۳۷۰	۱۰۱/۴۰	۰/۰۵	۱۱۰/۳۰	۰/۴۰	۹۹/۹۰	۰/۰۰	۱۲۸/۶۰	۱/۰۰	۶۱/۰۲	۰/۰۰	۸۲/۸۰	-۰/۶۰	۹۴/۲۰	-۰/۲۰
۱۳۷۱	۸۲۰/۲۰	-۰/۶۹	۱۴۹/۴۰	۱/۹۰	۹۹/۸۰	۰/۰۰	۱۲۶/۴۰	۱/۰۰	۸۷/۹	۰/۰۰	۸۹/۱۰	-۰/۴۰	۱۱۰/۲۰	۰/۴۰
۱۳۷۲	۹۷/۶۰	-۰/۰۹	۱۲۹/۰۰	۱/۱۰	۱۴۸/۸۰	۱/۵۰	۱۸۳/۹۰	۳/۱۰	۱۵۶/۵	۱/۵۰	۱۳۲/۰۰	۱/۱۰	۱۵۱/۵۰	۱/۹۰
۱۳۷۳	۸۷/۰۰	-۰/۵۱	۱۴۲/۶۰	۱/۷۰	۱۱۱/۹۰	۰/۴۰	۱۳۲/۹۰	۱/۲۰	۱۴۰/۰۰	۰/۴۰	۱۲۳/۵۰	۰/۸۰	۱۴۲/۳۰	۱/۵۰
۱۳۷۴	۱۰۳/۹۰	۰/۱۵	۸۲/۰۰	-۰/۷۰	۱۲۲/۱۰	۰/۷۰	۱۱۱/۲۰	۰/۴۰	۱۳۲/۷۰	۰/۷۰	۱۰۹/۶۰	۰/۳۰	۱۳۵/۴۰	۱/۳۰
۱۳۷۵	۷۰/۹۰	-۱/۱۳	۱۳۴/۵۰	۱/۴۰	۶۹/۰۰	-۰/۹۰	۹۸/۴۰	-۰/۱۰	۱۰۷/۲۰	-۰/۹۰	۷۸/۱۰	-۰/۸۰	۱۰۴/۸۰	۰/۲۰
۱۳۷۶	۷۲/۳۰	-۱/۰۸	۶۸/۳۰	-۱/۲۰	۱۲۶/۵۰	۰/۸۰	۱۲۶/۶۰	۱/۰۰	۱۵۲/۲۰	۰/۸۰	۱۳۱/۲۰	۱/۱۰	۱۴۹/۷۰	۱/۸۰
۱۳۷۷	۱۰۳/۳۰	۰/۱۳	۹۵/۵۰	-۰/۲۰	۷۷/۳۰	-۰/۷۰	۷۰/۶۰	-۱/۱۰	۶۰/۶۰	-۰/۷۰	۷۴/۹۰	-۰/۹۰	۵۹/۲۰	-۱/۵۰
۱۳۷۸	۸۴/۵۰	-۰/۶۰	۷۱/۸۰	-۱/۱۰	۶۲/۲۰	-۱/۱۰	۵۷/۰۰	-۱/۶۰	۷۰/۷۰	-۱/۱۰	۷۷/۹۰	-۰/۸۰	۷۳/۳۰	-۱/۰۰
۱۳۷۹	۸۱/۵۰	-۰/۷۲	۶۳/۴۰	-۱/۴۰	۷۰/۹۰	-۰/۹۰	۶۸/۲۰	-۱/۲۰	۶۰/۰۰	-۰/۹۰	۶۷/۱۰	-۱/۱۰	۶۴/۹۰	-۱/۳۰
۱۳۸۰	۱۲۴/۴۰	۰/۹۵	۸۳/۷۰	-۰/۶۰	۸۰/۹۰	-۰/۶۰	۸۹/۲۰	-۰/۴۰	۷۷/۹۰	-۰/۶۰	۷۴/۳۰	-۰/۹۰	۱۰۸/۴۰	۰/۳۰
۱۳۸۱	۱۵۴/۸۰	۲/۱۳	۸۲/۴۰	-۰/۷۰	۱۱۴/۸۰	۰/۴۰	۱۲۲/۵۰	۰/۸۰	۱۰۴/۷۰	۰/۴۰	۹۹/۷۰	۰/۰۰	۱۴۹/۰۰	۱/۸۰
۱۳۸۲	۱۲۰/۷۰	۰/۸۰	۱۱۲/۶۰	۰/۵۰	۸۰/۸۰	-۰/۶۰	۹۷/۹۰	-۰/۱۰	۹۶/۳۰	-۰/۶۰	۷۳/۴۰	-۰/۹۰	۱۱۲/۲۰	۰/۴۰
۱۳۸۳	۱۳۸/۳۰	۱/۴۹	۷۹/۸۰	-۰/۸۰	۱۲۲/۹۰	۰/۷۰	۱۰۲/۹۰	۰/۱۰	۱۲۰/۹۰	۰/۷۰	۹۰/۸۰	-۰/۳۰	۱۳۳/۸۰	۱/۲۰
۱۳۸۴	۱۱۰/۰۲	۰/۴۰	۱۰۰/۴۰	۰/۰۰	۸۲/۹۰	-۰/۵۰	۱۰۰/۹۰	۰/۰۰	۸۷/۹۰	-۰/۵۰	۹۷/۵۰	-۰/۱۰	۱۰۳/۵۰	۰/۱۰
۱۳۸۵	۱۲۳/۷۰	۰/۹۲	۱۰۳/۹۰	۰/۲۰	۹۰/۰۰	-۰/۳۰	۹۳/۳۰	-۰/۲۰	۱۱۱/۰۰	-۰/۳۰	۸۹/۰۰	-۰/۴۰	۹۰/۷	-۰/۳۰
۱۳۸۶	۸۶/۱۰	-۰/۵۴	۷۲/۰۰	-۱/۱	۱۰۱/۳۰	۰/۰۰	۷۰/۵۰	-۱/۱۰	۸۶/۸۰	۰/۰۰	۱۰۹/۳۰	۰/۳۰	۸۰/۸۰	-۰/۷۰
۱۳۸۷	۷۰/۷۰	-۱/۱۴	۱۰۷/۵۰	۰/۳۰	۵۷/۳۰	-۱/۳۰	۶۵/۱۰	-۱/۳۰	۶۵/۴۰	-۱/۳۰	۷۸/۰۰	-۰/۸۰	۵۷/۹۰	-۱/۵۰
۱۳۸۸	۱۲۷/۷۰	۱/۰۸	۱۰۱/۵۰	۰/۱۰	۸۸/۶۰	-۰/۳۰	۹۰/۹۰	-۰/۳۰	۱۰۶/۰۰	-۰/۳۰	۱۰۴/۲۰	۰/۱۰	۹۷/۱۰	-۰/۱۰
۱۳۸۹	۸۷/۸۰	-۰/۴۷	۱۱۹/۶۰	۰/۸۰	۶۷/۵۰	-۱/۰۰	۸۹/۳۰	-۰/۴۰	۷۵/۸۰	-۱/۰۰	۸۷/۷۰	-۰/۴۰	۸۲/۱۰	-۰/۷۰
۱۳۹۰	۱۱۹/۵۰	۰/۷۶	۱۰۹/۵۰	۰/۴۰	۱۰۸/۵۰	۰/۳۰	۱۱۵/۲۰	۰/۵۰	۱۰۰/۱۰	۰/۳۰	۱۰۷/۹۰	۰/۳۰	۱۰۵/۹۰	۰/۲۰
۱۳۹۱	۹۰/۰۰	-۰/۳۹	۱۱۷/۵۰	۰/۷۰	۷۸/۶۰	-۰/۶۰	۸۵/۸۰	-۰/۵۰	۷۲/۰۰	-۰/۶۰	۵۶/۵۰	-۱/۵۰	۸۳/۷۰	-۰/۶۰
۱۳۹۲	۸۶/۳۰	-۰/۵۳	۸۴/۰۰	-۰/۶۰	۹۰/۳۰	-۰/۳۰	۸۲/۳۰	-۰/۶۰	۸۳/۵۰	-۰/۳۰	۹۲/۳۰	-۰/۳۰	۸۵/۶۰	-۰/۵۰

هواشناسی SPI به صورت فصلی و سالانه و نمودار سالانه‌ی PNI به ترتیب در نمودار ۱ ارائه شده است؛ مقایسه‌ی الگو و روند تغییرات SPI ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های سینوپتیک سنندج، زرینه، قروه و سقز نشان‌دهنده‌ی یک دوره‌ی خشک‌سالی با تداوم ۱۶ ساله است که در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۲ به وقوع پیوسته است (جدول ۵). لازم به ذکر است که بین این سال‌ها و با چشم‌پوشی از بعضی موارد معکوس، در حد یک یا دو سال که مقدار بارندگی بیش‌تر از میانگین است، در دیگر

با توجه به جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت که بررسی مقادیر PNI در بیشتر ایستگاه‌ها، دوره‌ی خشک‌سالی مداوم را نشان نداده است و فقط به صورت پراکنده در بعضی از سال‌ها خشک‌سالی ملایم و جزئی دیده می‌شود. شایان ذکر است که تنها یک دوره‌ی خشک‌سالی در ایستگاه‌های سینوپتیک مریوان، قروه، سنندج، زرینه و سقز به وقوع پیوسته است که به مدت ۴ سال و در فاصله‌ی سال‌های آماری ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ بوده است. نمودار مربوط به هر یک از نمایه‌های خشک‌سالی

سالها این روند منفی بوده است. این در حالی است که در ایستگاه سینوپتیک بانه، روند تغییرات تقریباً معکوس است؛ به طوری که در این دوره ۱۶ ساله شرایط ترسالی حاکم بوده و فقط در فاصله سالهای ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۹ در این ایستگاه یک دوره خشکسالی به وقوع پیوسته است. در ایستگاه سینوپتیک بیجار نیز از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ یک دوره شش ساله خشکسالی به وقوع پیوسته و در فاصله سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ دوره ترسالی پنج ساله حاکم بوده است. در ایستگاه سینوپتیک مریوان یک دوره خشکسالی هشت ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ مشاهده می شود؛ علاوه بر این، چون اندازه گیری شدت بارش نسبت به آبدهی و تراز آب زیرزمینی آسان تر است و نیز تعداد ایستگاههایی که بارش را اندازه گیری می کنند نسبت به ایستگاه های آب سنجی بیشتر است و توزیع مکانی بهتری دارند، پژوهشگران به دنبال آن هستند که رابطه ای منطقی بین خشکسالی هواشناسی و آب شناسی پیدا کنند. در واقع، هنگامی که خشکسالی هواشناسی مدت زیادی ادامه پیدا کند و حجم جریان رودخانه ها یا سطح آب های

زیرزمینی کاهش یابد، خشکسالی آب-شناسی پدید می آید. این پدیده غالباً بر اثر کمبود یا نبود بارش زمستانی در عرض های میانی به وجود می آید. نکته ای شایان ذکر آنکه خشکسالی آب شناختی نیز می تواند مربوط به آب های سطحی یا آب های زیرزمینی باشد. خشکسالی های مربوط به آب های سطحی، به کاهش میزان بارندگی وابسته اند که به طور مستقیم موجب کاهش رواناب و به صورت غیرمستقیم موجب کاهش تغذیه آب های سطحی به وسیله آب های زیرزمینی می شوند (کاهش جریان های بهاری). از مشخصه های این گونه خشکسالی ها کاهش جریان های رودخانه ای و کاهش سطح آب در دریاچه ها و مخازن پشت سد است؛ در نتیجه، خشکسالی های آب های سطحی از نظر درک برای انسان بسیار ملموس تر و مهم ترند. با این حال، این نوع خشکسالی ضرورتاً یک رویداد طبیعی نیست؛ زیرا اغلب بر اثر ترکیبی پیچیده از خشکسالی های هواشناسی و زیرساخت های منابع آب و تصمیم گیری های مدیریتی و اجرایی در این زمینه رخ می دهند.



نمودار ۱- نمایه SPI فصلی و سالانه ایستگاه های سینوپتیک به تفکیک و نمایه PNI سالانه ایستگاه های سینوپتیک.

آب‌سنجی یک دوره‌ی خشک‌سالی وجود دارد؛ بدین ترتیب که دوره‌ی خشک‌سالی در فاصله‌ی سال‌های آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ با تداوم ۱۶ سال مشاهده می‌شود؛ مقادیر سالانه‌ی نمایه‌ی SDI نیز نشان می‌دهد که در این دوره، شدت خشک‌سالی ملایم بیش‌ترین رتبه را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از آزمون من‌کندال و تایل‌سن برای نمایه‌های SPI و SDI نیز در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است.

برای بررسی خشک‌سالی آب‌شناختی، نمایه‌ی خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI) استفاده شد؛ بدین ترتیب، با استفاده از گروه‌های زمانی حجم جریان‌های رودخانه‌ای ماهانه، برای ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی مقادیر نمایه‌ی سالانه SDI به دست آمد. جدول ۶ مقادیر نمایه‌ی SDI را در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این بررسی، حاکی از آن است که در بیشتر ایستگاه‌های

جدول ۶- مقادیر نمایه‌ی SDI در تعیین خشک‌سالی آب‌شناختی، در ایستگاه‌های آب‌سنجی مطالعه‌شده.

شادی‌آباد	دلبران	حسن خان	دهگلان	بنگی کند	هشتادجفت	بیانلو	حسین‌آباد	تونل رمشت	تونل چهل‌گری	باوله	سال آماری
۰/۰۷	-۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۱۶	-۰/۱۷	۱۳۶۴
-۰/۰۹	-۰/۱۷	۰/۶۱	-۰/۱۶	-۰/۲۳	-۰/۵۳	-۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۵۷	۱۳۶۵
۱/۷۰	۱/۷۲	۲/۲۲	۱/۹۵	۱/۸۰	۱/۶۴	۱/۷۳	۲/۴۰	۲/۵۶	۲/۰۵	۳/۱۴	۱۳۶۶
۰/۸۷	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۱۳	-۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۱۸	۱۳۶۷
۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۵۴	-۰/۲۴	-۰/۴۳	-۰/۴۶	-۰/۰۶	۰/۰۰	-۰/۰۹	۰/۱۳	۱۳۶۸
-۰/۳۷	-۰/۳۳	۰/۰۱	-۰/۱۵	-۰/۰۵	-۰/۱۰	-۰/۲۱	-۰/۵۰	-۰/۴۱	-۰/۲۵	-۰/۵۳	۱۳۶۹
۱/۶۴	۱/۷۴	۱/۸۱	۲/۵۰	۱/۳۸	۰/۸۷	۱/۲۳	۰/۲۰	۱/۱۹	۱/۴۰	۰/۷۴	۱۳۷۰
-۰/۰۲	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۷۷	۰/۹۱	-۰/۴۵	۰/۵۵	-۰/۱۵	-۰/۲۳	۰/۱۹	۱۳۷۱
۰/۳۹	۰/۷۴	۱/۰۶	۱/۳۳	۱/۴۳	۲/۸۳	۱/۶۹	۱/۵۶	۰/۹۲	۱/۷۱	۰/۳۰	۱۳۷۲
۲/۷۰	۲/۷۸	۲/۴۱	۱/۷۶	۲/۱۶	۲/۲۹	۲/۱۹	۱/۸۵	۱/۵۲	۱/۳۵	۳/۲۳	۱۳۷۳
۱/۵۸	۱/۳۶	۱/۳۸	۱/۲۶	۱/۳۴	۱/۳۵	۱/۲۳	۰/۸۹	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۱۹	۱۳۷۴
-۰/۳۹	۰/۴۷	-۰/۴۵	-۰/۵۸	-۰/۱۱	-۰/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۳۴	-۰/۰۷	۰/۱۸	۱۳۷۵
۱/۹۲	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۷۶	۲/۳۹	۱/۱۱	۱/۷۸	۰/۹۳	۱/۰۳	۱/۱۲	۰/۰۶	۱۳۷۶
-۰/۶۸	-۱/۱۶	-۰/۵۷	-۱/۰۱	-۰/۳۹	-۰/۶۴	-۰/۹۳	-۰/۹۱	-۰/۷۴	-۱/۱۲	-۰/۲۰	۱۳۷۷
-۰/۵۷	-۱/۰۹	-۰/۶۴	-۰/۹۱	-۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۷۶	-۰/۹۶	-۰/۸۶	-۰/۹۱	-۰/۹۷	۱۳۷۸
-۰/۹۵	-۱/۱۱	-۰/۸۳	-۱/۰۸	-۰/۶۹	-۰/۶۹	-۱/۰۴	-۱/۰۴	-۰/۸۸	-۰/۹۶	-۱/۱۸	۱۳۷۹
-۰/۸۰	-۱/۲۵	-۰/۶۸	-۰/۸۵	-۰/۷۹	-۰/۸۲	-۰/۴۸	-۰/۸۶	-۰/۴۹	-۰/۲۹	-۱/۲۱	۱۳۸۰
-۰/۴۰	-۰/۵۹	-۰/۶۸	-۰/۵۸	-۰/۶۸	-۰/۱۳	۱/۱۷	-۰/۵۳	-۰/۳۶	۰/۲۷	-۰/۰۱	۱۳۸۱
-۰/۷۲	۰/۳۶	-۰/۷۸	-۰/۵۶	-۰/۷۲	-۰/۵۸	-۰/۰۷	-۰/۶۶	-۱/۱۰	-۰/۲۷	-۰/۰۲	۱۳۸۲
-۰/۳۶	-۰/۷۳	-۰/۶۶	-۰/۵۰	-۰/۴۵	-۰/۴۷	-۰/۰۱	-۰/۴۹۰	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۱۳۸۳
-۰/۷۷	-۰/۰۹	-۰/۸۹	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۶۶	-۰/۷۷	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۲۴	-۰/۱۶	۱۳۸۴
-۰/۵۶	-۰/۲۹	-۰/۷۵	-۰/۵۵	-۰/۷۰	-۰/۶۸	-۰/۲۲	۲/۴۰	۲/۵۶	۲/۰۵	-۰/۳۲	۱۳۸۵
-۰/۶۵	-۰/۴۳	-۰/۸۸	-۰/۷۲	-۰/۹۳	-۰/۷۵	-۰/۶۱	-۱/۰۴	-۱/۱۰	-۱/۱۲	-۰/۴۹	۱۳۸۶
۰/۳۰	-۰/۲۰	-۰/۷۳	-۰/۳۶	-۰/۸۲	-۰/۷۱	-۱/۰۴	-۰/۳۷	-۰/۱۷	-۰/۵۰	-۰/۵۵	۱۳۸۷
-۰/۷۴	-۰/۷۸	۰/۰۱	-۰/۸۷	-۰/۸۷	-۰/۷۹	-۱/۱۲	-۰/۶۲	-۰/۷۷	-۱/۳۲	-۰/۲۷	۱۳۸۸
-۰/۶۶	۰/۱۲	-۰/۸۴	۰/۹۰	-۰/۳۵	-۰/۸۶	-۰/۷۳	-۰/۴۸	-۰/۷۰	-۰/۹۳	-۰/۴۰	۱۳۸۹
-۰/۵۶	-۰/۴۹	-۰/۳۲	-۰/۹۸	-۰/۶۳	-۰/۴۸	-۰/۹۹	-۰/۸۹	-۰/۵۱	-۱/۰۸	-۰/۸۲	۱۳۹۰
-۱/۰۷	-۱/۱۰	-۱/۱۲	-۰/۸۱	-۱/۰۳	-۰/۶۸	-۰/۹۳	-۰/۷۷	-۱/۰۹	-۱/۲۱	-۰/۷۰	۱۳۹۱
-۰/۸۶	-۰/۵۸	-۰/۹۰	-۰/۷۸	-۰/۹۴	-۰/۸۶	-۰/۸۵	-۰/۶۰	-۱/۰۶	-۰/۹۸	-۰/۶۰	۱۳۹۲

ادامه‌ی جدول ۶- مقادیر نمایه‌ی SDI در تعیین خشک‌سالی آب‌شناختی، در ایستگاه‌های آب‌سنجی مطالعه‌شده.

سال آمارى	شويشه	كوره‌پزى بانه	قشلاق	قبقلو	بيار	خليفه ترخان	آب‌نچى	شيلان	سنته	پای پل بوئين	نگل	سلامت‌آباد
۱۳۶۴	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۵۵	-۰/۴۹	-۰/۷۱	۰/۰۲	۰/۰۶	-۰/۵۱	۰/۳۴	-۰/۵۶	-۱/۰۰	۰/۱۱
۱۳۶۵	۰/۹۴	۰/۱۷	-۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۳۲	-۰/۱۲	-۰/۰۶	-۰/۶۷	۰/۲۵	-۰/۷۵	-۰/۰۵
۱۳۶۶	۲/۳۰	۰/۹۶	۲/۱۴	۲/۲۱	۳/۵۱	۲/۵۶	۲/۶۹	-۰/۶۰	۱/۱۳	۱/۲۹	۲/۲۱	۱/۷۶
۱۳۶۷	-۰/۲۸	-۰/۳۸	-۰/۳۶	-۰/۴۴	-۰/۰۱	۰/۳۴	-۰/۵۹	۰/۶۷	-۰/۸۰	-۰/۴۴	-۰/۲۳	۰/۴۲
۱۳۶۸	-۰/۱۴	-۰/۲۶	-۰/۱۴	-۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۱۲	-۰/۲۸	۰/۴۰	-۰/۸۹	-۰/۲۱	-۰/۱۴	۰/۰۴
۱۳۶۹	-۰/۲۶	-۰/۴۳	-۰/۷۳	-۱/۲۷	-۰/۵۱	-۰/۰۳	-۰/۱۶	-۰/۲۵	-۰/۹۷	-۰/۳۱	۰/۰۲	-۰/۲۲
۱۳۷۰	۱/۹۰	۱/۴۷	۱/۹۶	۱/۲۴	۰/۸۷	۰/۲۲	۱/۸۳	۲/۰۶	۱/۹۰	۲/۶۴	۲/۳۱	۱/۷۱
۱۳۷۱	-۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۳۸	-۰/۶۴	۲/۲۲	-۰/۱۸	-۰/۲۴	-۰/۴۵	۰/۷۲	-۰/۰۷	۰/۴۹
۱۳۷۲	۲/۰۲	۰/۷۵	۱/۴۶	۰/۸۷	۰/۱۲	۲/۰۵	۱/۹۲	۱/۵۲	۱/۵۴	۱/۶۸	۱/۹۱	۱/۰۶
۱۳۷۳	۱/۴۷	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۶۶	۱/۳۳	۲/۸۰	-۰/۳۱	۱/۶۰	۱/۲۲	۲/۷۸
۱۳۷۴	۰/۶۱	۰/۰۶	-۰/۹۱	-۰/۸۵	۰/۵۱	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۹۲	-۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۵۶	۱/۵۲
۱۳۷۵	۰/۱۱	-۰/۱۲	-۱/۲۲	-۱/۱۱	-۰/۳۰	۱/۳۲	۰/۰۴	-۰/۲۴	-۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۲۴
۱۳۷۶	۱/۱۷	۳/۰۷	-۰/۱۲	-۰/۸۰	۲/۳۹	-۱/۱۲	۱/۳۵	۱/۸۷	-۰/۰۸	۱/۲۷	۱/۵۹	۱/۲۲
۱۳۷۷	-۱/۲۳	-۰/۹۹	-۱/۸۴	-۱/۷۲	-۱/۱۳	-۱/۰۳	-۱/۲۷	-۰/۸۰	-۲/۱۲	-۱/۰۶	-۱/۰۹	-۰/۴۶
۱۳۷۸	-۱/۱۱	-۰/۷۶	-۱/۲۲	-۱/۳۱	-۱/۱۹	-۰/۴۱	-۰/۹۸	-۰/۷۳	-۱/۶۳	-۰/۹۰	-۰/۷۹	-۰/۵۲
۱۳۷۹	-۱/۱۰	-۰/۹۳	-۱/۳۶	-۱/۲۰	-۱/۱۷	-۰/۱۴	-۰/۴۴	-۰/۷۳	-۱/۷۹	-۱/۰۵	-۰/۹۵	-۰/۹۱
۱۳۸۰	-۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۲۷	۰/۴۸	-۰/۷۴	-۰/۴۸	۰/۰۴	-۰/۳۷	-۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۱۹	-۰/۸۳
۱۳۸۱	۰/۱۱	۱/۹۲	۲/۲۷	۱/۹۷	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۸۵	۰/۲۷	۱/۶۸	۰/۱۸	۰/۷۴	-۰/۷۰
۱۳۸۲	-۰/۲۸	۰/۵۲	۰/۶۲	۱/۶۷	۰/۱۰	-۰/۸۲	-۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۲	۱/۰۰	-۰/۱۷	-۰/۸۰
۱۳۸۳	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۱۷	۰/۰۰	-۰/۲۷	-۰/۶۶	۱/۳۸	۰/۱۵	۰/۲۱	-۰/۵۸
۱۳۸۴	-۰/۶۸	-۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۴۲	-۱/۰۸	-۰/۳۶	-۰/۸۷	۰/۶۷	-۰/۷۰	-۰/۴۵	-۰/۷۸
۱۳۸۵	۰/۳۸	-۰/۶۷	۰/۴۷	-۰/۱۰	-۰/۱۹	-۰/۶۸	-۰/۷۷	-۰/۰۴	۰/۹۶	-۰/۷۷	-۰/۲۰	-۰/۴۱
۱۳۸۶	-۱/۰۹	-۱/۱۳	۰/۱۰	-۰/۳۱	-۰/۰۹	-۰/۵۷	-۱/۱۸	-۰/۶۹	۰/۰۱	-۱/۲۲	-۰/۹۱	-۰/۵۶
۱۳۸۷	-۱/۱۴	-۰/۹۱	-۰/۶۴	۰/۶۱	-۰/۴۳	-۰/۸۵	-۱/۲۵	-۰/۸۸	-۰/۲۸	-۱/۱۱	-۰/۶۴	-۰/۰۶
۱۳۸۸	-۰/۹۳	-۰/۸۴	۰/۱۹	-۰/۱۷	۰/۲۴	-۱/۰۲	-۰/۹۹	-۰/۷۱	۰/۱۵	-۰/۷۹	-۰/۷۵	-۰/۸۷
۱۳۸۹	-۰/۵۲	-۰/۷۷	-۰/۲۱	۰/۱۶	-۰/۵۳	۰/۵۷	-۰/۴۳	-۱/۰۸	۰/۳۹	-۰/۶۳	-۰/۱۳	-۰/۶۳
۱۳۹۰	-۰/۲۵	-۱/۰۷	-۰/۶۴	-۰/۸۷	۰/۱۰	-۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۱	-۰/۴۹	-۰/۷۸	-۱/۰۵
۱۳۹۱	-۰/۶۵	-۰/۸۷	-۰/۳۷	-۰/۴۹	-۰/۳۳	-۰/۹۹	-۰/۴۷	-۰/۷۳	۰/۰۱	-۰/۸۳	-۱/۲۳	-۰/۸۴
۱۳۹۲	-۰/۷۰	-۰/۵۳	۰/۰۹	-۰/۳۸	-۱/۱۴	-۱/۱۰	-۰/۹۲	-۱/۱۰	۰/۵۹	-۰/۸۸	-۰/۷۹	-۰/۹۰

جدول ۷- نتایج آزمون من‌کندال و تایل‌سن بر داده‌های SPI در کل ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعه‌شده.

دوره‌ی زمانی	فراسنج	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه
بانه	Z	**۲/۲۸۰	۱/۱۱۰	-۰/۶۱۰	***-۳/۵۴۰	۰/۹۶۰
	Q	۰/۰۵۷	۰/۰۲۴	-۰/۰۱۲	-۰/۰۳۹	۰/۰۲۴
بیجار	Z	۰/۵۷	**۲/۴۳۰	-۰/۲۱۰	-۰/۷۳۰	-۱/۰۰۰
	Q	۰/۰۱۸	-۰/۰۶۰	-۰/۰۰۵	-۰/۰۱۲	**۰/۰۳۰
زرینه	Z	-۰/۴۳۰	***-۴/۰۷۰	-۰/۹۳۰	-۰/۹۱۰	**۲/۰۷۰
	Q	-۰/۰۱۱	-۰/۰۶۰	-۰/۰۲۲	-۰/۰۱۰	-۰/۰۵۱
سقر	Z	۰/۰۰۰	*-۱/۸۹۰	-۰/۵۹۰	۱/۳۶۰	**۲/۱۴۰
	Q	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۲	-۰/۰۱۵	۰/۰۲۳	-۰/۰۴۴
سنندج	Z	-۰/۵۷۰	***-۳/۳۵۰	-۰/۳۲۰	۰/۸۷۰	***-۲/۰۹۰
	Q	-۰/۰۱۱	-۰/۰۶۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۴۹
قروه	Z	-۰/۷۰۰	***-۳/۲۸۰	-۰/۸۶۰	۰/۹۲۰	**۲/۳۹۰
	Q	-۰/۰۱۲	-۰/۰۶۴	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۲	-۰/۰۴۹
مریوان	Z	۰/۰۵۰	-۱/۰۳۰	-۰/۳۸۰	-۱/۰۱۰	-۱/۱۱۰
	Q	۰/۰۰۵	-۰/۰۲۹	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۸

\*معنی‌داری در سطح ۰/۱؛ \*\*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵؛ \*\*\*معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۸- نتایج آزمون من‌کندال و تایل‌سن برای داده‌های SDI در کل ایستگاه‌های آب‌سنجی مطالعه‌شده.

فراسنج ایستگاه	Z	Q	فراسنج ایستگاه	Z	Q	فراسنج ایستگاه	Z	Q
باوله	***-۳/۷۱۰	-۰/۰۴۱	سلامت‌آباد	***-۳/۹۶۰	-۰/۰۵۲	نگل-کوماسی	-۱/۹۷۰	-۰/۰۴۲
تونل چهل‌گزی	***-۳/۱۳۰	-۰/۰۵۷	سنته-خورخوره	۱/۱۴۰	۰/۰۳۰	شویسه	***-۲/۶۴۰	-۰/۰۵۰
تونل رمشت	***-۲/۸۷۰	-۰/۰۴۷	هشتاد جفت	***-۴/۰۳۰	-۰/۰۴۰	کوره‌پزی بانه	**۲/۵۷۰	-۰/۰۴۱
حسن‌آباد	**۲/۲۷۰	-۰/۰۳۶	ینگی کند	***-۴/۲۶۰	-۰/۰۴۹	قشلاق	-۰/۱۷۰	-۰/۰۰۳
بیانلو	***-۳/۲۱۰	-۰/۰۵۰	خلیفه ترخان	***-۳/۳۲۰	-۰/۰۵۴	قبقلو	-۰/۶۲۰	-۰/۰۱۷
حسن‌خان	***-۴/۳۳۰	-۰/۰۵۹	آب‌نچی	***-۲/۷۲۰	-۰/۰۴۶	بیار	-۱/۴۴۰	-۰/۰۲۴
دلبران	**۲/۵۳۰	-۰/۰۴۸۰	شادی‌آباد	***۳/۵۱۰	-۰/۰۴۱	شیلان	***-۲/۸۷۰	-۰/۰۴۰
دهگلان	***-۲/۷۹۰	-۰/۰۵۲	پای‌پل-بوئین	**۲/۴۶۰	-۰/۰۵۰			

\*معنی‌داری در سطح ۰/۱؛ \*\*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵؛ \*\*\*معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

### بحث و نتیجه‌گیری

(۲۰۱۷) نیز به آن اشاره کرده‌اند. دلیل این امر می‌تواند حساسیت زیاد نمایه‌ی SPI به بارندگی، در مقیاس‌های زمانی کوتاه باشد؛ علاوه‌بر این، مؤید این مسئله است که در تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده‌ی این استان، وضعیت بارندگی بی‌ثبات است و انتظار وضعیت بارندگی هر ساله در قسمت‌های مختلف (عدم یکنواختی توزیع زمانی و مکانی بارش) تفاوت دارد که با نظرات مهری و همکاران (۲۰۱۷) هم‌راستا است؛ پس با توجه به تغییرپذیری این نمایه، هرگاه مقدار بارندگی

پژوهش حاضر با هدف محاسبه‌ی نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در دوره‌ی زمانی ۲۹ساله (۱۳۶۴-۱۳۹۲) در استان کردستان با استفاده از ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی و ۷ ایستگاه سینوپتیک انجام شده است. با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص شد که نمایه‌ی SPI در مقیاس زمانی سه‌ماهه تغییرات زیادی داشته است و به‌سرعت از شرایط تر به خشک و برعکس تغییر می‌یابد که مهری و همکاران

این امر را می توان این گونه توجیه کرد که عواملی همچون نفوذ آب به علت پدیده ی کارست، ریزش های جامد و بارش های گرم که به ذوب قبل از موعد برف ها بیانجامد، باعث عدم تطابق در نتایج ایشان است. این در حالی است که در منطقه ی مطالعه شده ی این تحقیق به علت شرایط پستی و بلندی منطقه و شیب نسبتاً زیاد حوضه با وقوع خشک سالی هواشناسی و تأثیر آن، واکنش سریع آب شناسی حوضه را می توان دید که مهری و همکاران (۲۰۱۷) به آن نیز اشاره کرده اند؛ با نظرات تیموری و همکاران (۲۰۱۵) در تأیید نتایج این تحقیق مبنی بر تطابق کامل بین خشک سالی هواشناسی و آب شناسی نیز هم راستا است. با توجه به وضعیت خشک سالی در دوره های قبل، جریان رود رفتاری متفاوت را نشان می دهد و کمبود بارش با تأخیر کمتری نسبت به افزایش بارش بر جریان رود تأثیر می گذارد. میزان تطابق خشک سالی هواشناسی و آب شناسی در این تحقیق نیز به طور کامل نیست؛ ولی در ۷۰ تا ۸۰٪ از داده ها (با توجه به نتایج این تحقیق و در دوره ی آماری مورد بررسی) این تطابق وجود دارد. علت این امر فاصله ی زمانی ای است که طول می کشد تا خشک سالی آب شناسی بعد از خشک سالی هواشناسی اتفاق بیفتد که با نتایج لشنی زند و همکاران (۲۰۱۲) در حوضه ی سراب صیدعلی هم راستاست؛ از طرف دیگر، با توجه به پژوهش های یاد شده در زمینه ی خشک سالی هواشناسی و آب شناسی و نتایج این تحقیق، به طور کلی می توان به تأثیر لحظه ای وقوع خشک سالی هواشناسی بر خشک سالی آب شناسی پی برد که در هر منطقه، بیانگر واکنش سریع آب شناسی حوضه ی آبخیز و زیر حوضه های آن است که به شرایط پستی و بلندی و خاک و پوشش گیاهی منطقه بستگی دارد. در حقیقت، به علت وجود شیب نسبتاً زیاد و کوهستانی بودن قسمت اعظم این استان، خاک های کم عمق دامنه ها و نبود پوشش گیاهی غنی، بخش فراوانی از بارندگی ها، به ویژه بارندگی های رگباری، به رواناب سطحی تبدیل می شود و بلافاصله بعد از بارندگی سیلاب های ناگهانی پدید آورده و باعث افزایش ضریب رواناب حوضه ی آبخیز و زیر حوضه های آن می شوند (صلواتی و همکاران ۲۰۱۰). نتایج نشان داد که خطای جذر میانگین مربعات، به ترتیب برای نمایه های PNI، SPI و SDI، ۰/۴۱، ۰/۴۹ و ۰/۴۷ و ضریب تبیین برابر با ۰/۱۶۵، ۰/۵۰ و ۰/۵۹ است؛ بنابراین، نمایه ی SPI از عملکرد بهتری برخوردار بوده است. به منظور زمینه سازی ارائه ی جمع بندی های نهایی و قابل اعتمادتر، انجام مطالعات گسترده در مقیاس زمانی و مکانی در منطقه ی مطالعاتی و در مقیاس آبخیز با در نظر گرفتن تعداد ایستگاه های اقلیم شناسی و آب سنجی بیشتر و استفاده از دیگر نمایه های خشک سالی در حوضه های دیگر آبخیز کشور پیشنهاد می شود. بررسی عواملی از قبیل پوشش گیاهی، خاک، شیب و... در بروز پدیده ی خشک سالی، از دیگر پیشنهاد های این پژوهش است.

از میانگین درازمدت بیشتر یا کمتر شود، نمایه به سرعت واکنش نشان داده و به سمت مثبت یا منفی گرایش پیدا می کند؛ اما آنچه اهمیت دارد این است که هر چه گام زمانی مورد بررسی بزرگ تر شود، تغییر پذیری نمایه ی یاد شده کاهش می یابد و در مقیاس های زمانی بلندمدت آهنگ کندتری به خود می گیرد؛ به طوری که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و بیشتر، وقوع بارندگی در یک ماه معین نمی تواند تغییر زیادی در روند نمایه ایجاد کند؛ با توجه به نتایج حاصل از تحلیل های آماری، رده بندی هر کدام از این نمایه ها و مقایسه ی بین نمایه های PNI و SPI مشخص شد که در نمایه ی SPI، به خصوص در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه حالت غالب تقریباً بهنجار و در نمایه ی PNI حالت غالب، بیشتر حالت بدون خشک سالی است. نتایج SPI به دست آمده در این پژوهش با نتایج مرادی و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر وجود روند مثبت و شیب ملایم و بهنجار، مطابقت دارد. دلیل این تطابق می تواند ناشی از شباهت اقلیمی در هر دو استان باشد؛ به طوری که در منطقه ی مورد مطالعه ی ایشان (استان فارس) در بازه ی زمانی ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۸ (دوره ی زمانی ۳۲ ساله)، بیشترین مقدار بارندگی در طول فصل های پاییز و زمستان اتفاق می افتد؛ ولی مقدار بارندگی در طول فصل تابستان به شدت کم می شود که از خصوصیات وضعیت بارندگی مدیران های استان است. از جریان های مهم آب و هوایی استان کردستان نیز، آب و هوای مدیران های استان است که جریان هوای اقیانوس اطلس پس از اشباع گردیدن، هنگام عبور از روی دریای مدیران وارد استان می شود و در طول مسیر حرکت، سراسر استان کردستان را در بر می گیرد. این جریان حامل بخارهای مدیران های باران زاست؛ بنابراین بیشتر بارندگی های غرب کشور را موجب می شود؛ علاوه بر این نتایج حاصل از آزمون من کندال و تایل سن برای مقادیر نمایه های SPI و SDI بیانگر وجود روند معنی دار کاهش در سطح ۹۵٪ در مقیاس سالانه برای غالب ایستگاه های مورد مطالعه است. یافته های تحلیل آماری و نمودار ستونی نمایه های SPI و SDI در این تحقیق نشان می دهد که در فاصله ی سال های آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ نیز یک دوره ی خشک سالی با تداوم ۱۶ سال رخ داده است که این وضعیت با توجه به نمودار تغییرات نمودار ستونی نمایه ی سالانه ی SDI کاملاً مشخص است؛ از طرف دیگر، نتایج تحلیل نمودار ستونی نمایه ی SPI نیز بیانگر روند نزولی داده ها در طول سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ است و نشان می دهد که علت این امر وجود رابطه ی قوی و معنی دار بین میزان بارش و آبدهی سالانه و در نتیجه، میزان تطابق (به میزان ۷۰ تا ۸۰٪ و نه به طور کامل) بین نمایه ی خشک سالی هواشناسی و آب شناسی در برآورد میزان روند خشک سالی است. این بخش از نتایج تحقیق، با مطالعه ی مظفری (۲۰۰۶) و شاهرخوندی و همکاران (۲۰۰۹) که عدم تطابق خشک سالی هواشناسی و خشک سالی آب شناسی را نشان داده اند، مغایرت دارد و هم راستا نیست. دلیل

- Ahani H, Kherad M, Kousari MR, Mehdi Rezaeian-Zadeh M, Kamali S. 2012. An investigation of trends in precipitation volume for the last three decades in different regions of Fars province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology Journal*, 109: 361 – 382.
- Alizadeh A. 2003. Principles of applied hydrology. Imam Reza University Press, 480 p. (In Persian).
- Asadzadeh F, Bayazidi M, Kaki M. 2015. Monitoring and drought estimation of barometric stations of east of Lake Urmia using the comparative neuro-fuzzy model. *Journal of Ecohydrology*, 3 (2): 205-218. (In Persian).
- Azizi Gh, Rooshani M. 2009. Recovering climate change in the Midwest of the country using multivariate statistical analysis. *Geographic research Journal*, 64: 13–28. (In Persian).
- Chang TJ, Kleopa X. 1991. A purposed method for drought monitoring. *Water Resource Research*, 2: 275– 281.
- Cook Er, Jacoby Gc. 1983. Potomac River streamflow since 1730 as reconstructed by tree-rings. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 22(10):1659– 1672.
- Edward DC, McKee TB. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales, climatology report, Colorado state university, 155p.
- Hamed Kh. 2007. Trend detection in hydrologic data: the mean-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349: 350–363.
- Haslinger K, Koffler D, Schner W, Laaha G. 2014. Exploring the link between meteorological drought and streamflow, effects of climate-catchment interaction. *Water Resource Journal*, 50 (3):2468–2487.
- Joetzer E, Douville H, Delire C, Ciais P, Decharme B, Tyteca S. 2013. Hydrologic benchmarking of meteorological drought indices at interannual to climate change timescales: a case study over the amazon and Mississippi river basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12): 4885–4895.
- Karamouz M, Araghinejad SH. 2005. Advanced hydrology, Amirkabir University of Technology press, 480 p. (In Persian).
- Karimi M, Habibnejad Roshan M, John Abkar A. 2011. Evaluation of meteorological drought indices in Mazandaran synoptic stations. *Journal of Applied Research on Irrigation and Water Engineering*, 5: 110–119. (In Persian).
- Kendall MG. 1970. Rank correlation methods, New York, 220 p.
- Lashte Zand M, Parvaneh B, Messani K, Sepahand A. 2012. Adaptive Adjustment of Meteorological and Hydrological Drought in the Sarab, Sayed Ali Basin. *Journal of Irrigation Engineering*, 3(9): 45–53. (In Persian).
- Mahdavi M. 2002. Applied Hydrology, Tehran University Press, 364 p. (In Persian).
- Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrical*, 13: 245–259.
- Mayer SJ, Hubbard KG. 1995. Extending the crop-specific drought index to soybean, In: Preprint, 9th conference on applied climatology. American Meteorological Society, 258–259.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, paper at 8th conference on applied climatology. American meteorological society, 230–232.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales, paper presented at 9th conference on applied climatology. American meteorological society, 283–286.
- Mehry S, Haji KH, Alizadeh V, Mostafazadeh R. 2017. Assessment of spatial variations of meteorological drought periods severity in Kurdistan Province at different time scales. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data journal*, 26(102): 151–162. (In Persian).
- Menicino G, Alfonso B. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 282–302.
- Mishra AK, Singh VP. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2):202-216.
- Modarres R, Sarhadi A. 2009. Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century Reza 1 and Ali. *Journal of Geophysical research*, 114: 1–9.
- Mofidipour N, Brady Sheikh M, Onagh S. 2012. Investigation of the Relationship between Meteorological and Hydrological Droughts in Atrakh Basin. *Watershed Management research*, 5(3): 34–43. (In Persian).
- Mohammadian A, Koochi M, Adineh Beigi A, Rasouli J, Bazrafshan B. 2010. Comparison of drought monitoring using SPI, DI and PNI Indices and Their Zoning (Case Study: North Khorasan Province). *Research Water and Soil Conservation (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 17 (1): 184–177. (In Persian).
- Montaseri M, Nurjo A, Bahmanesh J, Akbari M. 2018. The study of wet and dry weather in the southern basins of Lake Urmia (Case Study: Zarinerood and Siminrood watersheds). *Journal of Ocohydrology*, 5 (1): 189–202. (In Persian).
- Montasi M, Nurjo A, Bahmanesh J, Akbari M. 2018. The study of wet and dry weather in the southern basins of Lake Uremia (Case Study: Zarinerood and Siminrood watersheds). *Journal of Ocohydrology*, 5 (1): 189–202. (In Persian).
- Moradi HR, Mansur Rajabi M, Faraj zadeh M. 2007. Analysis trend and spatial characteristics of droughts intensity in



- Fars province. Iranian Journal of range and desert research, 14 (1):97–109. (In Persian).
- Moreira EE. 2016. SPI drought class prediction using log-linear models applied to wet and dry seasons. Journal of Physics and chemistry of the earth, 94: 136–145.
- Morid S, Paymazd Sh. 2007. Comparison of hydrological and meteorological methods for daily drought monitoring: A Case Study of the Drought Period from 1997 to 2000 in Tehran Province. Journal of Animal Science and Natural Resources, 11(42 B): 87–96. (In Persian).
- Mozafari Gh. 2006. The discrepancy between meteorological drought and hydrological droughts in two adjacent basins in the northern slopes of Shirkouh of Yazd. Journal of Modares University of Humanities, Special Issue of Geography, 9: 128–137. (In Persian).
- Nasser Zadeh MH, Ahmadi A. 2012. Evaluation of the performance of meteorological drought indices in drought evaluation and zoning in Qazvin province. Journal of Applied Geosciences Research, 12 (27):162–142. (In Persian).
- Nohegar A, Ghashgazi Zadeh N, Heydarzadeh M, Idon M, Panahi M. 2016. Drought evaluation and its effect on surface and underground water resources (Case study: Minab River Basin). Earth Sciences Research, 7 (27): 28–43. (In Persian).
- Patel NRP, Chopra VK, Dadhwal. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. Meteorological Applications, 14(4): 329–336.
- Salavati B, Sadeghi SHR, Telvari AR. 2010. Runoff generation modeling for Kurdistan province watersheds using physiographic and climatic variable. Journal of Water and Soil, 24 (1): 84–96. (In Persian).
- Sen P. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of American statistical association. 63:1379–1389.
- Shahrokh Wand M, Lashini Zand M, Khapoor M. 2009. Hydrological drought and its relationship with precipitation in the Khorramabad river basin. Journal of Geography, 6: 155–140. (In Persian).
- Teymori F, Ghorbani Kh, Bazrafshan J, Sharifian H. 2015. Comparative study of meteorological indexes with hydrological profiles for drought monitoring by data mining method (case study: Orzakoush station, Golestan province). Iranian Journal of Soil and Water Research. 46(3): 405–413. (In Persian).
- Theil H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Koninklijke Nederlands akademie va wetenschappen, 53:386–392.
- Tsakiris G, Vangelis H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. water resources management journal, 18: 1-12.
- Van Loon AF, Laaha G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment Characteristics. Journal of Hydrology, 526:3–14.
- Wijngaard JB, Klein Tank AMG, Konnen GP. 2003. Homogeneity of 20th century European daily precipitation series. International Journal of climatology, 23: 679–692.
- Wu J, Hu Z, Yao H, Chen X, Chen X, Zheng Y, He Y. 2018. Impacts of reservoir operations on multi-scale correlations between hydrological drought and meteorological drought., Journal of Hydrology, 563: 726–736.
- Zare Abianeh H, Mahboobi AA. 2004. Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. Pajouhesh and Sazandegi Journal, 64:2–7. (In Persian).

