

مقاله علمی-پژوهشی

## تحلیل روند بارش و خشکسالی هواشناسی و پهنه‌بندی آن در استان کرمانشاه

مریم احسانی\*<sup>۱</sup>، فاطمه نصرنیا<sup>۲</sup>، شهره دیداری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۶

### چکیده:

خشکسالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی بوده که باعث ایجاد خسارت‌های قابل توجهی بر زندگی انسان می‌شود. یکی از مناطقی که طی سال‌های اخیر خشکسالی‌های خفیف تا بسیار شدید را تجربه نموده است، استان کرمانشاه در غرب ایران است. لذا هدف پژوهش حاضر، بررسی شدت، فراوانی و روند خشکسالی در استان کرمانشاه می‌باشد. بدین منظور از دو شاخص SPI و PNI و آزمون‌های من-کندال، سن و پتیت برای بررسی ایستگاه‌های استان کرمانشاه استفاده شد. نتایج نشان داد که شدت، تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی، یکسان نبوده و پراکندگی شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی می‌تواند متاثر از اقلیم، تفاوت جهت گسترش ارتفاعات و نوع و جهت ورود سیستم‌های بارانزا باشد. براساس آزمون پتیت صرفاً SPI سه‌ماهه در ایستگاه‌های سنقر و ماهیدشت و SPI شش‌ماهه و دوازده‌ماهه برای ماهیدشت نقطه شکست وجود داشت، که این نقطه شکست در سال ۱۳۹۵ اتفاق افتاده است. براساس نتایج دو آزمون من-کندال و سن، سری‌های SPI-3، SPI-6 و SPI-12 برای ایستگاه ماهیدشت در هر سه بازه SPI، روند معنی‌دار وجود دارد. روند تغییر کاربری اراضی، افزایش تمایل کشاورزان به کشت محصولات آب‌بر طی سال‌های اخیر و افزایش استحصال منابع آب زیرزمینی، از جمله عواملی هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روند خشکسالی تاثیر گذاشته و موجب شده علی‌رغم روند افزایشی بارندگی در برخی ایستگاه‌ها، روند خشکسالی نیز در هر سه بازه یا برخی بازه‌های زمانی افزایشی باشد. همچنین تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های طولانی‌مدت می‌تواند از عواملی باشد که علی‌رغم روند کاهشی خشکسالی در ایستگاه‌های روانسر، قصرشیرین، گیلانغرب، سنقر و پاوه، روند بارندگی نیز در این ایستگاه‌ها کاهشی باشد. بر اساس نتایج پهنه‌بندی خشکسالی در دشت کرمانشاه نسبت به سایر مناطق استان کرمانشاه، وقوع حالات خشکسالی بیش‌تر از ترسالی بوده و شدیدترین وضعیت خشکسالی نیز در سال ۱۴۰۰ اتفاق افتاده است.

**واژه‌های کلیدی:** بارندگی، پهنه‌بندی، خشکسالی هواشناسی، روند، کرمانشاه

### مقدمه:

دمای سطح جهانی در طول قرن گذشته عمدتاً در نتیجه فعالیت‌های بشر در حال افزایش بوده و پیش‌بینی می‌شود تا زمانی که انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۴</sup> به‌طور قابل توجهی کاهش یابد، افزایش خواهد یافت (IPCC, 2022). از سال ۱۸۸۰ به‌طور متوسط، دما در هر دهه ۰/۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و سال ۲۰۲۰ گرم‌ترین سال ثبت‌شده با حدود ۰/۹۸ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از میانگین قرن بیستم در سراسر جهان بود (Lindsey & Dahlman, 2021). این افزایش

دما، با تغییر بارش بر جریان رودخانه‌ها تاثیر گذاشته و منجر به حوادنی از جمله سیل و خشکسالی می‌شود (Trenberth, 2011). خشکسالی یکی از پیامدهای اصلی تغییرات آب‌وهوایی است و می‌تواند از نظر مدت، شدت و فراوانی متفاوت باشد (Jenkins & Warren, 2015). خشکسالی معمولاً به عنوان دوره‌های طولانی با بارندگی کمتر از حد متوسط که باعث کمبود آب‌های سطحی، زیرزمینی یا هر دو می‌شود، تعریف شده و ممکن است منجر به اثرات نامطلوب متعددی شود که می‌تواند به طور قابل توجهی بر بخش‌های مختلف تاثیر بگذارد. به‌طور خاص، کاهش سطح آب در رودخانه‌ها، آب‌های طبیعی و مخازن مصنوعی در طول دوره‌های خشکسالی می‌تواند منجر به تخریب زیستگاه‌های آبی شود. علاوه بر این، منجر به کمبود آب برای آبیاری، دام و مصرف انسانی شده و عواقب جدی در حوزه اجتماعی و اقتصادی ایجاد می‌کند. این امر در زمینه تغییرات آب‌وهوایی بیش‌تر صادق بوده و با فراوانی و شدت خشکسالی به دلیل گرم‌شدن کره زمین منجر به خسارات اجتماعی-اقتصادی و زیست-

۱- دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

\*نویسنده مسئول: [maryamehsani@hafez.shirazu.ac.ir](mailto:maryamehsani@hafez.shirazu.ac.ir)

DOI: [10.22034/ijid.2025.512714.2565](https://doi.org/10.22034/ijid.2025.512714.2565)

4 Greenhouse Gases (GHG)

می‌پیوندد. کاهش عملکرد ناشی از خشکسالی کشاورزی نیز امنیت غذایی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی را به‌طور جدی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Zhang et al., 2023). لذا پایش، مدیریت و پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در بین شاخص‌های گوناگون پایش خشکسالی هواشناسی، شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده<sup>۱</sup> (SPI) کاربرد بیش‌تری داشته و مورد تایید پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (Zhang et al., 2023). به عنوان مثال (Gonçalves et al., 2023) برای بررسی خشکسالی در یکی از ایالات برزیل پنج شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده، شاخص تامین آب سطحی<sup>۲</sup> (SWSI)، شاخص خشکسالی موثر<sup>۳</sup> (EDI)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه‌ای<sup>۴</sup> (SDI) و شاخص خشکسالی احیایی<sup>۵</sup> (RDI) را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که شاخص بارش استاندارد شده نسبت به سایر شاخص‌ها برتری داشته و می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی دوره‌های خشکسالی را نشان دهد و تعداد بیش‌تری از رویدادها را ثبت کند. همچنین کاربرد شاخص SPI را می‌توان در پژوهش‌های (Saada & Abu-Rohman, 2017; Zehtabian et al., 2013) خسروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حلمی و شهیدی، ۱۴۰۲) نیز مشاهده نمود. از دیگر شاخص‌های خشکسالی که در برخی مطالعات پیشین (از جمله علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۱) مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به شاخص درصد بارش نرمال<sup>۶</sup> (PNI) اشاره نمود. در خصوص پهنه‌بندی خشکسالی نیز در برخی مطالعات از روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی<sup>۷</sup> (IDW) استفاده شده است. به عنوان مثال خسروی و همکاران (۱۳۹۱)، با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران بر مبنای دو روش IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM نشان دادند که روش درون‌یابی بدون دخالت مدل ارتفاعی رقومی به گونه مطلوبی در هر مکان قابلیت استفاده دارد؛ زیرا عوامل زمینی مانند ارتفاع، تاثیر چندانی در وقوع پدیده خشکسالی ندارند. زیرا بر خلاف خشکی که تابعی از موقعیت مکانی مانند طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی است، پدیده خشکسالی وابستگی شدیدی به سیستم‌های جوی و ارتباط از دور اتمسفری دارد. همچنین (Subedi et al., 2019)، با ارزیابی انواع روش‌های زمین‌آمار جهت آنالیز تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی، نشان دادند که IDW و کریجینگ، مناسب‌ترین مدل‌ها

محیطی قابل توجهی می‌شود (Wu et al., 2022). از این‌رو مشخص کردن دقیق روندهای مکانی-زمانی و تغییرات خشکسالی می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری و ارتقای مدیریت فعالیت‌های مستعد خشکسالی کمک کند (Ghasempour et al., 2022). علاوه بر ارزیابی توزیع مکانی پدیده‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف، ارزیابی روند خشکسالی اهمیت قابل‌توجهی در تصمیم‌گیری برای اجرای اقدامات احتیاطی لازم دارد. درک شدت خشکسالی و شناسایی روند آن می‌تواند بینش ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مناطق کشاورزی ارائه دهد (Nunno et al., 2024).

خشکسالی در ایران یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی است که هر ساله در بخش‌هایی از آن رخ داده و خسارت‌های زیادی را به همراه دارد. چنانکه پیامدهای آن امروزه در بخش‌های مختلفی از جمله منابع آبی، محیط‌زیست، خشک‌شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها در مناطق مختلف ایران مشهود است (دوستان، ۱۳۹۴). یکی از مناطق ایران که مشابه سایر استان‌ها طی سال‌های اخیر خشکسالی‌های خفیف تا بسیار شدید را تجربه نموده است، استان کرمانشاه در غرب ایران می‌باشد.

گرچه تحلیل روند خشکسالی و پهنه‌بندی آن در مطالعات پیشین، عمدتاً بر اساس مرزهای هیدرولوژیکی مانند حوضه‌های آبریز انجام می‌شود، اما با توجه به این که تصمیم‌گیری‌های اجرایی و مدیریتی در ایران عمدتاً در سطح استان‌ها و توسط نهادهای استانی صورت می‌گیرد؛ بررسی در مقیاس استانی نیز از منظر کاربردی اهمیت بالایی دارد (Zargar et al., 2011). لذا در این پژوهش به بررسی روند و شدت خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه بر اساس شاخص‌های مختلف خشکسالی و همچنین بررسی تاثیر خشکسالی ایستگاه‌های مورد بررسی بر یکی از دشت‌های واقع در این استان یعنی دشت کرمانشاه پرداخته می‌شود. استفاده از کل ایستگاه‌های استان، علاوه بر افزایش دقت پهنه‌بندی و تحلیل‌های خشکسالی، این امکان را فراهم می‌کند تا الگوی منطقه‌ای وسیع‌تری از شدت و فراوانی خشکسالی در منطقه غرب ایران ارائه شود، که می‌تواند برای سیاست‌گذاری‌های استانی در زمینه مقابله با خشکسالی نیز مفید باشد. بر اساس پژوهش (Wilhite & Glantz, 1985) خشکسالی به چهار دسته عمده هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود؛ که سه دسته اول برای اندازه‌گیری خشکسالی به عنوان یک پدیده فیزیکی، و دسته چهارم برای ردیابی اثرات کمبود آب بر زندگی بشر از طریق سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی استفاده می‌شود (Saifaldeen et al., 2023). با تغییر در پارامترهای هواشناسی نظیر کاهش بارش، افزایش دما، بادهای شدید، کاهش رطوبت نسبی، افزایش ساعات آفتابی و غیره، خشکسالی هواشناسی آغاز می‌شود. سپس با افزایش تبخیر و تعرق و کم‌شدن رطوبت خاک و وقوع تنش‌های گیاهی، خشکسالی کشاورزی به‌وقوع

1 Standardized Precipitation Index (SPI)

2 Surface Water Supply Index (SWSI)

3 Effective Drought Index (EDI)

4 River Flow Drought Index (SDI)

5 Reclamation Drought Index (RDI)

6 Present of Normal Index (PNI)

7 Inverse Distance Weighted (IDW)

در این زمینه هستند.

با توجه به مطالعات گذشته، اثرات خشکسالی در وهله نخست بر بخش کشاورزی و منابع طبیعی، به دلیل وابستگی مستقیم به رطوبت ناشی از بارندگی تاثیر می‌گذارد و در نهایت آثار آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی بروز می‌کند که از این طریق نیز بر بخش کشاورزی و منابع طبیعی (به دلیل وابستگی بالای این بخش‌ها به منابع آبی) تاثیر سوء دارد. در پژوهش‌های پیشین، پیامدهای منفی خشکسالی در غرب ایران به صورت تضعیف ۱۱ درصدی پوشش گیاهی کردستان (میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲)، بیش‌تر بودن آسیب-پذیری روانسرس نسبت به کرمانشاه (شرفی و زرافشانی، ۱۳۸۹)، کاهش بارش تالاب هشیلان و حساسیت آبخوان کارستی (جعفری‌گلگو و همکاران، ۱۳۹۴)، افت ۴۹ سانتی‌متری سالانه دشت قروه و چهاردولی (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۵)، آسیب‌پذیری شدید اقتصادی و اجتماعی در جوانرود و سرپل‌ذهاب (شرفی و زرافشانی، ۱۳۹۰)، کاهش دبی چشمه‌های حوضه رود الوند (نگهبان و همکاران، ۱۳۹۵)، افزایش خشکسالی هیدرولوژیک و تاثیرگذاری آن بر کاهش دبی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه (عبده‌کلاهی و همکاران، ۱۴۰۰)، تاثیر منفی بروز خشکسالی کشاورزی در نواحی شمال، شمال‌شرقی و شرقی استان کرمانشاه بر رشد، سلامت و تراکم پوشش گیاهی (ایمانی‌بوژانی و همکاران، ۱۴۰۱)، تاثیر منفی خشکسالی در مناطق شرقی استان کرمانشاه بر افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی این مناطق (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹) و غیره بیان شده است.

هدف پژوهش حاضر، بررسی شدت، فراوانی و روند خشکسالی در استان کرمانشاه می‌باشد. با بررسی مطالعات پیشین، رویکرد متمایزی در پژوهش حاضر اتخاذ شد. در این مطالعه، تحلیل روند خشکسالی با ترکیب سه آزمون ناپارامتری (من-کندال، سن و پتیت) در کنار استفاده از دو شاخص معتبر و معقول جهانی SPI و PNI، امکان بررسی دقیق‌تر روند و نقاط شکست تغییرات خشکسالی را در بازه زمانی بلندمدت فراهم کرده که در سایر مطالعات صورت گرفته در منطقه، مشاهده نشده و در مطالعات سایر مناطق نیز کمتر به این موضوع پرداخته شده است. همچنین تلفیق تحلیل ایستگاه‌محور با پهنه‌بندی مکانی خشکسالی با استفاده از روش IDW، باعث شده تا علاوه بر تحلیل سری زمانی، ابعاد مکانی خشکسالی نیز به صورت مجزا برای دشت کرمانشاه مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش برای بررسی خشکسالی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه در دوره (۱۳۸۱-۱۴۰۰) استفاده شده است. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی (شامل

ایستگاه‌های واقع در کرمانشاه، روانسر، اسلام‌آبادغرب، سرپل‌ذهاب، کنگاور، قصرشیرین، گیلانغرب، سنقر، صحنه، هرسین، جوانرود، پاوه، ماهیدشت و کرندغرب) را نشان می‌دهد. استان کرمانشاه با وسعتی حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع در غرب ایران قرار دارد. بیش از نیمی از این استان را سرزمین‌های کوهستانی و مرتفع تشکیل داده و برف موجود در این ارتفاعات حجم بالایی از منابع آب سطحی را تامین می‌کنند. استان کرمانشاه از مهم‌ترین مراکز جمعیتی غرب ایران است که در دهه‌های گذشته به‌دلایلی از جمله رشد جمعیت و پتانسیل بالای کشاورزی، نیاز آبی این منطقه به‌شدت افزایش یافته است. این در حالی است که با توجه به واقع شدن این استان در زون‌های زمین-شناسی زاگرس چین‌خورده، زاگرس شکسته و زون سندج-سیرجان و ویژگی‌های جغرافیایی متنوع، همچون جهت ناهمواری‌ها، اختلاف ارتفاع، اقلیم متنوع و ژئومورفولوژی متفاوت در این زون‌ها، دوره هیدرولوژیکی حوضه‌های استان دارای پیچیدگی‌های خاص خود است (معصوم‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). چنین عواملی سبب شده که این استان با مخاطرات محیطی متفاوتی از جمله خشکسالی و پیرو آن کاهش منابع آبی مواجه شود. از آن‌جا که پدیده خشکسالی با کمبود منابع آب مرتبط است، می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، منابع آب، محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع تاثیر منفی گذاشته و باعث ایجاد مشکلاتی برای جوامع بشری شود (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005). خشکسالی در بخش کشاورزی به‌دلیل محدودیت در انتخاب محصول، باعث تغییر نوع کشت، کاهش محصول یا از بین رفتن برخی از گونه‌های گیاهی بومی در اثر کم‌آبی و تغییر مواد معدنی و آلی خاک می‌شود. طی سال‌های اخیر، کشت محصولات آب‌بر که باعث تشدید خشکی خاک می‌شوند، مانند چغندر قند و سیب‌زمینی در کرمانشاه افزایش یافته و خشکسالی طولانی‌مدت و کمبود بارندگی در دوره رشد این محصولات باعث افزایش استحصال منابع آب زیرزمینی برای حفظ عملکرد مورد انتظار چنین محصولاتی شده است (ایمانی‌بوژانی و همکاران، ۱۴۰۱). لذا با بررسی خشکسالی می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب، اثرات سوء آن را کاهش داد و این امر نیازمند مدیریت و پایش مستمر این پدیده است (Levina et al., 2016). تحلیل روند خشکسالی و پهنه‌بندی آن، در بسیاری از مطالعات بر اساس مرزهای هیدرولوژیکی مانند حوضه‌های آبریز انجام می‌گیرد، زیرا این نوع تقسیم‌بندی‌ها بازتاب‌دهنده واقعی‌تری از فرآیندهای هیدرو-اقلیمی هستند (Wilhelmi & Wilhite, 2002). با این حال، در پژوهش حاضر، هدف اصلی بررسی وضعیت خشکسالی در منطقه‌ای با اهمیت بالای کشاورزی و منابع آبی یعنی دشت کرمانشاه می‌باشد (که محدوده دشت در شکل ۲ مشخص شده است)، که در محدوده سیاسی استان کرمانشاه قرار دارد. این دشت با وسعت ۶۷۲/۶۶ کیلومتر مربع (۶۷۲۶۶/۱۲ هکتار) بین طول جغرافیایی ۴۶/۷۷ تا



## شاخص‌های خشکسالی

## شاخص بارش استاندارد

شاخص بارش استاندارد<sup>۱</sup> (SPI)، یکی از نمایه‌های خشکسالی است که به احتمال بارندگی برای هر زمان و مقیاس بستگی دارد که توسط Mackee et al., (1993) با توجه به بررسی تاثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه (علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸) و با هدف پایش خشکسالی در ایالت Colorado ارائه شده است. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب‌وهوایی به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. شاخص SPI برای محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند استوار است. SPI کوتاه‌مدت، شرایط رطوبت خاک را منعکس می‌کند و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌سازد. در این مدل، تغییرات بیش‌تری وجود دارد و نشانگر آن است که شاخص SPI کوتاه‌مدت، حساسیت بیش‌تری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. SPI بلندمدت، خشکسالی را بهتر منعکس می‌کند و مقادیر بدست‌آمده برای این مقیاس زمانی با سیل‌ها، سطح آب در سطح‌ها و منابع آب زیرزمینی مرتبط است. مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده‌های بارندگی ماهانه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توابع گاما می‌باشد. در این روش ابتدا توزیع آماری داده‌های بارندگی ثبت‌شده که معمولاً غیر از توزیع نرمال به خصوص دارای توزیع پیرسون تیپ سه می‌باشند را به توزیع نرمال تبدیل نموده و سپس داده‌های نرمال‌شده را با رابطه (۱) استفاده می‌نمایند (علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸):

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\delta} \quad (1)$$

که در آن  $P$ ، مقدار بارش در دوره  $i$ ،  $\bar{P}$ ، میانگین بارش بلندمدت برای دوره مورد نظر و  $\delta$ ، انحراف معیار مقدار بارش است. تفسیر و بررسی نتایج این شاخص بر اساس جدول (۱) صورت می‌گیرد که در آن مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارندگی بیش‌تر از متوسط و مقادیر منفی عکس آن است (میریعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). خشکسالی وقتی رخ می‌دهد که SPI از -۱ کمتر و ترسالی وقتی است که SPI از +۱ بیش‌تر است (شمس‌نیا، ۱۴۰۲). داده‌های بارش در بلندمدت به یک توزیع احتمالاتی برازش، و سپس به یک توزیع نرمال تغییر شکل داده می‌شوند، به طوری که میانگین SPI در مکان و دوره زمانی مورد نظر صفر است (Mishra & Singh, 2010).

## شاخص درصد بارش نرمال

شاخص درصد بارش نرمال<sup>۲</sup> (PNI)، یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که برای ارزیابی خشکسالی استفاده می‌شود و از تقسیم بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال به صورت رابطه (۲) بدست آمده و مقدار آن بر حسب درصد بیان می‌شود:

$$PNI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

شاخص درصد نرمال بر یک توزیع نرمال دلالت دارد که در آن میانه و میانگین یکسان است. یکی از مزیت‌های این شاخص درصد طبیعی در یک منطقه یا فصل موثر است. در این شاخص درصد نرمال نمی‌تواند فرکانس خروج از حالت طبیعی یا با مکان‌های مختلف را مقایسه کند. همچنین این شاخص نمی‌تواند تاثیرات خاصی از خشکسالی، عامل مهار یا برنامه‌ریزی کاهش خطر خشکسالی را تعیین کند (Willeke et al., 1994). تفسیر نتایج این شاخص و طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر آن، مطابق مقادیر ارائه‌شده در جدول (۱) صورت می‌گیرد.

## تحلیل روند سری زمانی

به منظور تحلیل روند بارندگی و خشکسالی روش‌های مختلفی از جمله آزمون ناپارامتری من-کندال<sup>۳</sup> و سن<sup>۴</sup> استفاده می‌شود که برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند و نیز در هنگام وجود داده‌های گم‌شده، مناسب می‌باشد. همچنین به منظور بررسی وجود یا عدم وجود نقطه تغییر در سری‌های زمانی مورد بررسی، آزمون ناپارامتری پتیت<sup>۵</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## آزمون من-کندال

نحوه محاسبه آزمون من-کندال بدین صورت است که ابتدا داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب شده و هر داده با تمام داده‌های قبل از خود بدون در نظر گرفتن تاثیر توزیع آن‌ها مقایسه می‌شود. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (فغانی و همکاران، ۱۳۹۶). برای محاسبه آماره این آزمون ابتدا مقادیر  $A$  با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$A = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3)$$

که در آن  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $x_k$  و  $x_j$  به ترتیب داده‌های  $k$  ام و  $j$  ام سری و تابع علامت نیز طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \quad (4)$$

2- Present of Normal Index

3- Mann-Kendall Test

4- Sen's slope Test

5- Pettit test

1- Standard Precipitation Index

و واریانس آن نیز از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸):

$$\begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

این آزمون برای مقادیر  $n \geq 0$  توزیع نرمال با میانگین صفر داشته

جدول (۱) - طبقه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPI و PNI

طبقات خشکسالی	SPI	PNI
ترسالی بسیار شدید	$2 <$	$160 <$
ترسالی شدید	$1/5 - 1/99$	$145 - 160$
ترسالی متوسط	$1 - 1/49$	$130 - 145$
نرمال	$-0/99 - 0/99$	$70 - 130$
خشکسالی متوسط	$-1 - 1/49$	$55 - 70$
خشکسالی شدید	$-1/5 - -1/99$	$40 - 55$
خشکسالی بسیار شدید	$< -2$	$< 40$

منبع: Willeke et al., 1994 و Mishra et al., 2005

از روابط (۸) یا (۹) بدست می‌آید (محمدی، ۱۳۹۰):

$$Q_{med} = Q_{(n+2)/2} \quad (۸)$$

$$Q_{med} = (Q_{n/2} + Q_{(n+2)/2})/2 \quad (۹)$$

اگر مقدار  $Q_{med}$  را با آزمون دوطرفه در سطح اطمینان  $100(1-\alpha)\%$  بررسی شود، می‌توان شیب واقعی نمودار روند را بدست آورد (Vivekanandan, 2007). حال در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار گیرد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری مورد بررسی تایید می‌شود.

### آزمون ناپارامتری پتیت

برای بررسی وجود یا عدم وجود نقطه تغییر در سری مورد بررسی نیز می‌توان از آزمون ناپارامتری پتیت استفاده نمود. بر اساس این آزمون، دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی  $x_1, \dots, x_n$  در نقطه  $\tau$  دارای نقطه تغییر هستند، هرگاه  $x_t$  به ازای  $t=1, \dots, \tau$  دارای توزیع مشترک  $F_1$  و  $F_2$  به ازای  $t=1, \dots, \tau$  و  $t=\tau+1, \tau+2, \dots, n$  باشد. پتیت هیچ فرضی راجع به توزیع‌های  $F_1$  و  $F_2$  در نظر نگرفته، مگر این که این توزیع‌ها پیوسته باشند. فرض صفر این آزمون بیان می‌کند که دنباله مورد بررسی دارای نقطه تغییر نیست. برای انجام این آزمون ابتدا مقدار  $U$  به ازای  $1 \leq t < n$  طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (۱۰)$$

حداکثر قدرمطلق  $U_{t,n}$ ، موقعیت مکانی نقطه تغییر را (در صورت وجود) بدست می‌دهد. به عبارت دیگر آماره این آزمون طبق رابطه (۱۱) و احتمال آن بر اساس رابطه (۱۲) بدست می‌آید:

$$K_n = \max_{1 \leq t < n} |U_{t,n}| \quad (۱۱)$$

$$\text{VAR}(A) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p (t_p-1)(2t_p+5)] \quad (۵)$$

که در آن  $t_p$ ، اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها و  $\sum_{p=1}^q t_p$  نیز مجموع بازه‌ها (سری زمانی داده‌ها) است. در حالتی که مدت سری زمانی مورد بررسی بیش‌تر از ۱۰ باشد، آماره  $Z$  آزمون ناپارامتری من-کندال با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Vivekanandan, 2007):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(A)}} & \text{if } A > 0 \\ 0 & \text{if } A = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(A)}} & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

که مقادیر منفی و مثبت  $Z$  به ترتیب بیان‌گر روند کاهشی و افزایشی در داده‌هاست. اگر قدرمطلق  $Z$  بزرگ‌تر از 1.96 باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سطح ۹۵ درصد رد شده و در سری مورد بررسی، روند وجود دارد.

### آزمون ناپارامتری سن

اگر وجود روند در سری زمانی تایید شد، شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری سن بدست آورد. بدین صورت که در ابتدا شیب هر جفت داده متوالی سری از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad \text{for } k=1, 2, \dots, n \quad (۷)$$

که در آن  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده در زمان‌های  $j > k$  و  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  می‌باشد.  $Q_i$  نیز مقدار میانه  $n$  برآورد شده شیب نمودار سن است که اگر  $n$  فرد یا زوج باشد، برآوردکننده شیب سن به ترتیب

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (13)$$

در پژوهش حاضر به منظور محاسبه همبستگی میان شاخص‌های SPI و PNI (I<sub>spi,pni</sub>) از این ضریب همبستگی استفاده شد.

### پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی در سطح منطقه مورد مطالعه

در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود. معمولاً ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری نقطه‌ای به سطح تعمیم داده شود و به صورت نقشه ارائه گردد که این امر به وسیله روش‌های درون‌یابی انجام شده و به وسیله سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به صورت نقشه ارائه می‌شوند. تجزیه و تحلیل مکانی و تکنیک‌های درون‌یابی، امکانات مناسبی را برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته به آب‌وهوا برای ارزیابی و مدیریت حوضه، مطالعات برهمکنش خاک-گیاه-آب و مدل‌سازی رشد محصول فراهم می‌کند (Keshtkar et al., 2021). روش‌های درون‌یابی به دو گروه اصلی روش‌های قطعی و زمین‌آماری دسته‌بندی می‌شوند (Keshtkar et al., 2021)، که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش معکوس فاصله وزنی<sup>۳</sup>، اسپیلاین<sup>۴</sup>، کریجینگ معمولی<sup>۵</sup> و کریجینگ عمومی<sup>۶</sup> اشاره نمود (اکبری و همکاران، ۱۳۸۹). روش‌های درون‌یابی قطعی از میزان شباهت (مانند روش IDW) یا درجه هموارسازی برای تهیه نقشه‌ها از مکان‌های نمونه‌برداری شده استفاده می‌کنند (Keshtkar et al., 2021). روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی (IDW) بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین، برای برآورد نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آنهایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود. زیرا نقش متغیر پیوسته در تاثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هرچه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش می‌یابد، لازم است وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش یابد. بنابراین فاصله‌ها معکوس می‌شود. به بیان دیگر از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود. از طرف دیگر، تاثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال نمود. درون‌یابی به روش معکوس فاصله وزنی به صورت معادله (۱۴) می‌

$$p \approx \exp\left[\frac{-6K_n^2}{n^3 + n^2}\right] \quad (12)$$

اگر احتمال آزمون پتیت کمتر از سطح معنی‌داری پنج درصد باشد، فرض صفر (عدم وجود نقطه شکست) در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸).

استفاده از دوره‌های آماری بلندمدت (حداقل ۳۰ ساله) برای بررسی دقیق‌تر پدیده‌هایی مانند خشکسالی در اغلب مطالعات توصیه شده است، زیرا این بازه زمانی مطابق با تعریف دوره اقلیمی استاندارد توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO, 2017) بوده و امکان تحلیل نوسانات بلندمدت اقلیم را فراهم می‌کند. با این حال در پژوهش حاضر به دلیل محدودیت در دسترسی به داده‌های کامل و پیوسته برای تمامی ایستگاه‌های مورد نظر (به ویژه در ایستگاه‌های قصرشیرین، گیلانغرب و کرندغرب)، استفاده از بازه آماری ۳۰ ساله برای کل استان عملیاتی نبود. استفاده ناقص از ایستگاه‌ها می‌توانست باعث کاهش جامعیت فضایی تحلیل شود و الگوی منطقه‌ای خشکسالی را با خطا همراه نماید. از سوی دیگر با استناد به مطالعات (Wu et al., 2005) و (Kumar et al., 2009)، حداقل و حداکثر نتایج SPI محاسبه شده در دوره‌های آماری ۲۱ تا ۳۹ ساله، تفاوت قابل توجهی با یکدیگر ندارند و طول دوره آماری در بازه‌ای که شرایط اقلیمی نسبتاً پایدار باشد، تاثیر چندانی بر ارزیابی وضعیت خشکسالی ندارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از یک بازه زمانی کوتاه‌تر نیز در شرایط خاص، به ویژه زمانی که هدف تحلیل مقایسه‌ای بین مناطق یا تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی است، از اعتبار علمی برخوردار است. لذا در این پژوهش برای دستیابی به یک تحلیل مکانی پیوسته و هماهنگ، بازه زمانی ۲۰ ساله انتخاب شد که برای تمامی ایستگاه‌ها داده‌های قابل اتکا وجود داشت. در پژوهش حاضر، محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI و PNI با نرم‌افزار DIP، بررسی روند بارندگی و شاخص‌های خشکسالی با نرم‌افزارهای AnClim، R، و Excel و پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از ArcMap انجام شد.

### بررسی همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی

ضریب همبستگی پیرسون<sup>۲</sup> به منظور بررسی رابطه بین دو متغیر پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار ضریب همبستگی بین ۱+ تا ۱- در نوسان است. اگر تغییر متغیرها همسو باشد، همبستگی مثبت است؛ و بالعکس. اگر مقدار بدست آمده برای ضریب همبستگی صفر باشد به معنی آن است که دو متغیر مورد نظر مستقل از هم هستند و هیچ‌گونه رابطه‌ای بین آنها وجود ندارد. ضریب همبستگی پیرسون از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود (صفری‌شاد و همکاران، ۱۳۹۵):

3- Inverse Distance Weighted (IDW)

4- Spline

5- Ordinary Kriging

6- Universal Kriging

1- Pettit test

2- Pearson Correlation Coefficient

شدت خشکسالی در دشت کرمانشاه صورت می‌گیرد.

باشد (Keshtkar et al., 2021):

$$\hat{Z}(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(X_i) d_{ij}^{-W}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-W}} \quad (14)$$

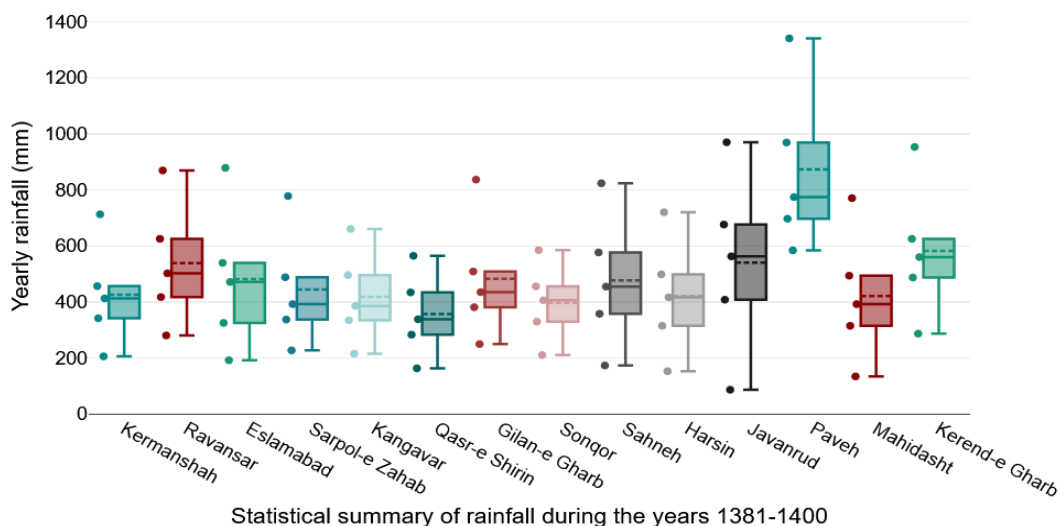
که در آن  $X_0$ ، محل سایت اندازه‌گیری شده،  $X_i$ ، محل سایت‌های نمونه‌گیری مجاور،  $W$ ، وزن محاسبه‌شده و  $d_{ij}$ ، فاصله بین محل محاسبه و مکان‌های اندازه‌گیری شده است. این معادله شامل تأثیر دادن وزن‌های نسبتاً بزرگ به مکان‌های نمونه‌برداری شده در نزدیکی محل درون‌یابی در مقایسه با مکان‌هایی است که دورتر هستند و تأثیر کمی دارند (Keshtkar et al., 2021). وزن محاسبه‌شده برای هر نقطه در درون‌یاب IDW وابسته به توان اعمال شده بر اساس معادله (۱۵) می‌باشد (Karczwrczyk & Renman, 2011):

$$W_i = 1/|X_i - X_0|^\beta \quad (15)$$

که در آن  $W_i$ ، وزن مربوط به هر نقطه،  $|X_i - X_0|$ ، اختلاف فاصله تا نقطه مورد نظر و  $\beta$ ، توان مربوطه است. استفاده از روش‌های درون‌یابی، منوط به استفاده از ایستگاه‌های کافی و با فاصله کم است تا پهنه‌بندی از دقت و اعتبار علمی لازم برخوردار باشد و در صورت استفاده از داده‌های معتبر و کافی، می‌تواند به خوبی گویای میزان شدت خشکسالی در یک منطقه کوچک‌تر هم باشد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱). لذا در این مطالعه، با کمک اطلاعات خشکسالی محاسبه‌شده برای ایستگاه‌های مختلف استان کرمانشاه، پهنه‌بندی

## نتایج و بحث

تعداد ۱۴ ایستگاه پیرامون دشت کرمانشاه به منظور پایش وضعیت خشکسالی در این دشت، برای بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. برخی از خصوصیات آماری متغیر بارندگی در ایستگاه‌های تحقیقاتی مورد بررسی در شکل (۲) نشان داده شده است. بیش‌ترین میانگین بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره ۱۳۸۱-۱۴۰۰ از ایستگاه پاره در شمال‌غربی استان کرمانشاه گزارش شده و کمترین میانگین بارندگی مربوط به ایستگاه قصرشیرین واقع در غرب کرمانشاه است. حداقل و حداکثر بارندگی نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های جوانرود و پاره بوده و اختلاف زیادی بین حداقل و حداکثر مقادیر آمار بارندگی سالانه ایستگاه جوانرود دیده می‌شود. طی دوره مورد بررسی، بارندگی در ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آبادغرب، سرپل‌ذهاب، کنگاور، قصرشیرین، سنقر، صحنه، هرسین و ماهیدشت، کم‌تر از میانگین بارندگی در کلیه ایستگاه‌های استان کرمانشاه بوده و در سایر ایستگاه‌ها، شامل روانسر، جوانرود، پاره و کرندغرب، بیش‌تر از متوسط بارندگی در ایستگاه‌های استان می‌باشد.



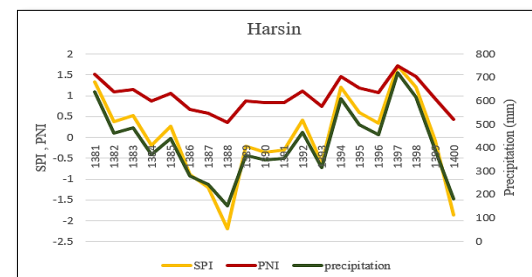
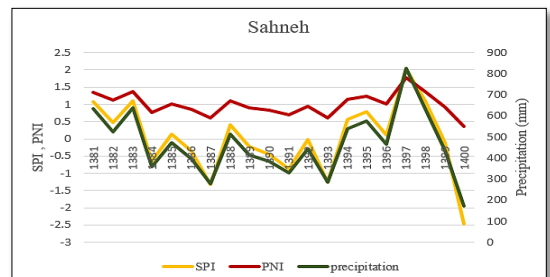
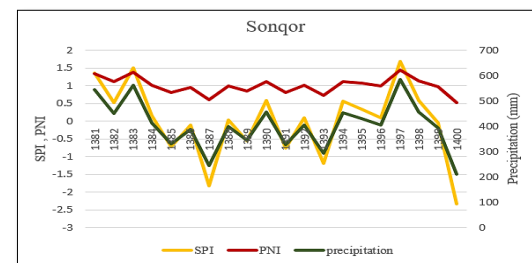
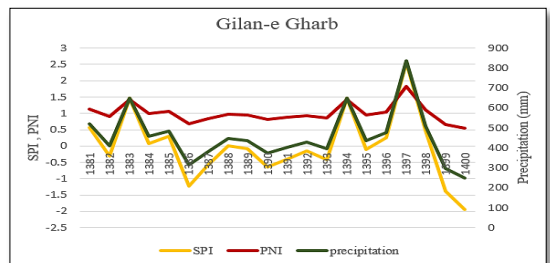
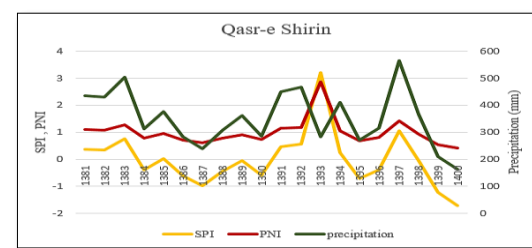
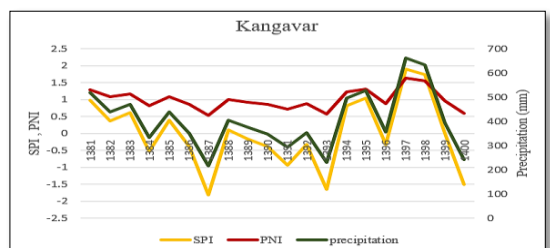
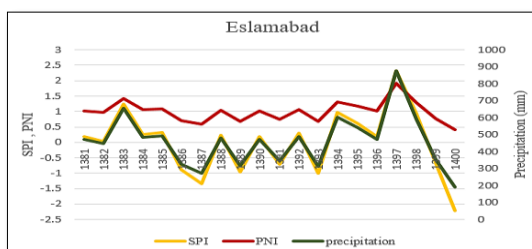
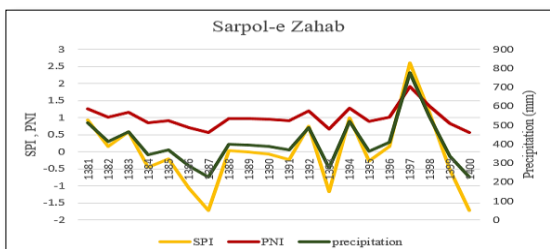
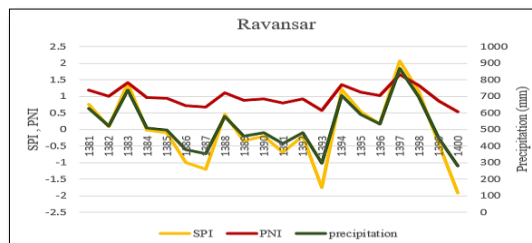
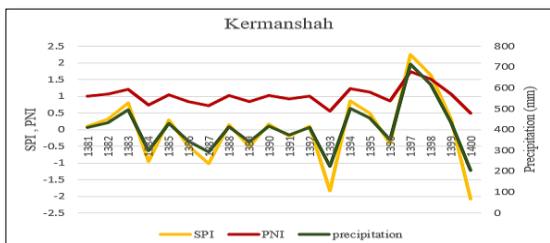
شکل ۲- خلاصه آمار بارندگی سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی

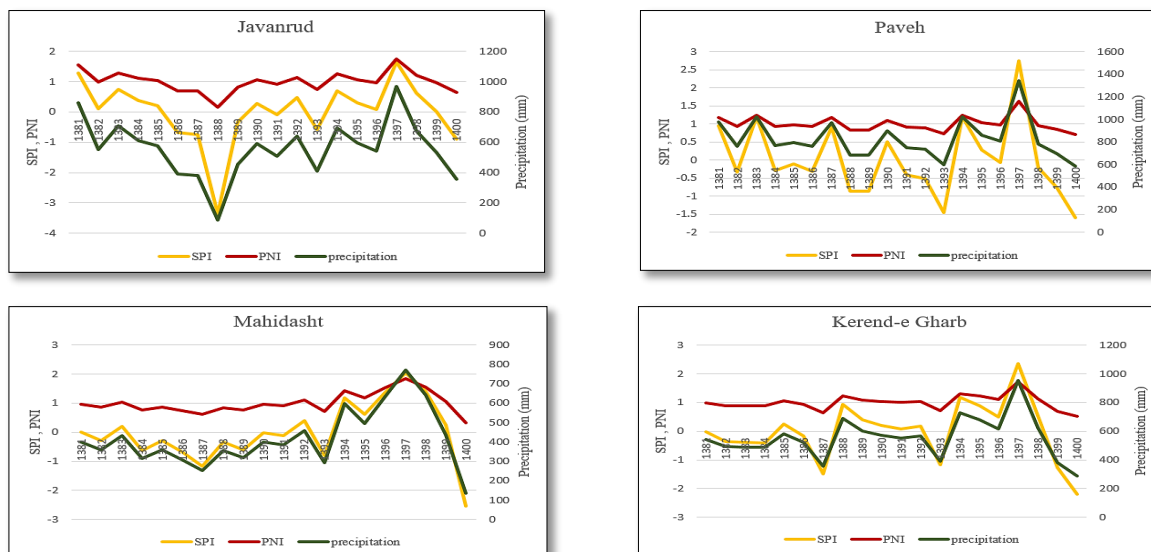
شدت خشکسالی بوده و روند تغییرات شدت خشکسالی در هر دو شاخص مشابه است. بررسی روند تغییرات خشکسالی توسط دو شاخص SPI و PNI نشان می‌دهد که عمدتاً شاخص PNI،

شکل (۳)، روند تغییرات هر دو شاخص SPI و PNI سالانه در مقابل بارندگی سالانه را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، هر دو شاخص دارای هماهنگی تقریبی در نمایش

سالانه در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰ و عمده رویدادهای ترسالی نیز در اکثر ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۷ به‌وقوع پیوسته‌اند.

خشکسالی را کمتر و ترسالی را بیشتر از شاخص SPI نمایش می‌دهد. همچنین همان‌طور که در نمودارهای شکل (۳) مشخص شده، شدیدترین وقایع خشکسالی در اکثر ایستگاه‌ها بر اساس شاخص‌های





شکل ۳- روند تغییرات خشکسالی با شاخص‌های SPI و PNI در مقابل تغییرات بارندگی در ایستگاه‌های مورد بررسی (توضیح: محور عمودی سمت چپ تغییرات شاخص‌های خشکسالی و محور عمودی سمت راست تغییرات بارندگی را نشان می‌دهند.)

نوسانات کاسته می‌شود و دوره‌های خشکسالی بهتر مشخص می‌شود. همچنین با افزایش مقیاس زمانی، تداوم دوره‌های خشکسالی افزایش و تکرار آنها کاهش می‌یابد. شروع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف و ایستگاه‌های مورد بررسی، ماه‌های متفاوتی بوده است.

فراوانی خشکسالی‌ها در هر ایستگاه با شمارش تعداد ماه‌هایی که مقادیر SPI در دسته‌بندی‌های مختلف خشکسالی قرار داشتند، همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، بر حسب درصد محاسبه شد. به عنوان مثال در ایستگاه ماهیدشت در بلندمدت، ۴ درصد از ماه‌ها با خشکسالی بسیار شدید، کمتر از یک درصد از ماه‌ها با خشکسالی شدید، ۳ درصد خشکسالی متوسط و ۴۸ درصد با خشکسالی خفیف مواجه بوده و در مجموع بیش از ۵۵ درصد از ماه‌های مورد بررسی در این ایستگاه با وضعیت خشکسالی مواجه بوده است. در ایستگاه کرمانشاه نیز در بلندمدت، ۴ درصد از ماه‌ها، خشکسالی بسیار شدید، ۴ درصد خشکسالی شدید، ۲ درصد خشکسالی متوسط و ۴۲ درصد خشکسالی خفیف اتفاق افتاده و در مجموع این ایستگاه نیز بیش از ۵۰ درصد ماه‌ها در دوره بلندمدت با خشکسالی مواجه بوده است. وضعیت فراوانی خشکسالی در دوره‌های ۶ ماهه و ۱۲ ماهه تقریباً مشابه بوده و گرچه از الگوی مکانی خاصی پیروی نمی‌کند، با این‌وجود به نظر می‌رسد در نواحی غربی و مرکزی استان بیش‌تر از سایر مناطق بوده و به سمت شرق استان کاهش می‌یابد. همچنین در دوره ۳ ماهه بر خلاف دوره‌های ۶ و ۱۲ ماهه، در ایستگاه‌های واقع در مناطق شرقی و شمالی استان، خشکسالی‌های بیش‌تری اتفاق افتاده است. درصد فراوانی رویدادهای خشکسالی در

برای ارزیابی شدت و فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی، شاخص SPI ماهانه در مقیاس‌های زمانی مختلف (SPI-3)، (SPI-6 و SPI-12) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. این رویکرد یک نمای دقیق از ناهنجاری‌های بارش در کوتاه‌مدت و بلندمدت ارائه می‌دهد که برای درک پویایی‌های زمانی رویدادهای خشکسالی، ضروری است. با توجه به این جدول، خشکسالی‌های شدید در اغلب ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰ رخ داده که در اغلب ایستگاه‌ها شاخص SPI کمتر از منفی یک بوده و کمبود طولانی‌مدت و شدید بارندگی وجود دارد. حتی در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر، هرسین، صحنه، جوانرود و کردغرب، مقادیر SPI در چندین مقیاس زمانی به منفی سه و یا مقادیر نزدیک به آن کاهش یافته که نشان‌دهنده کسری بارندگی قابل توجه و پایدار است. این خشکسالی‌ها اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر منابع آب، کشاورزی و اکوسیستم این مناطق داشته و بر آسیب‌پذیری منطقه در برابر رویدادهای شدید هیدرولوژیکی تاکید می‌کند؛ که این امر لزوم نظارت مداوم و استراتژی‌های مدیریتی تطبیقی (از جمله الگوی کشت متناسب با شرایط خشکسالی و برنامه‌ریزی جهت استحصال پایدار منابع آب زیرزمینی) جهت کاهش اثرات این رویدادها را متذکر می‌شود. طولانی‌ترین دوره خشکسالی در بلندمدت (که روند خشکسالی پایدار را نشان می‌دهد)، در ایستگاه‌های واقع در غرب استان، عمدتاً در سال ۱۴۰۰ اتفاق افتاده، در صورتی که در مورد سایر ایستگاه‌های استان این دوره مربوط به سال ۱۳۸۷ است. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، نوسانات مقادیر شاخص SPI که معرف شدت خشکسالی است، بسیار زیاد بوده و با افزایش مقیاس زمانی از شدت

دوره‌ها نیز نرمال بوده‌اند. در دوره‌های کوتاه‌مدت ۳ و ۶ ماهه نیز شدت فراوانی رویدادهای ترسالی در کلیه ایستگاه‌ها بیش‌تر از فراوانی خشکسالی بوده است.

دوره بلندمدت نیز از نظر مقداری در ایستگاه‌های ماهیدشت، کرمانشاه، کرندغرب، پاوه و گیلانغرب بیش‌تر از ترسالی بوده و با افزایش مقیاس زمانی به فراوانی وقوع خشکسالی افزوده شده و مابقی

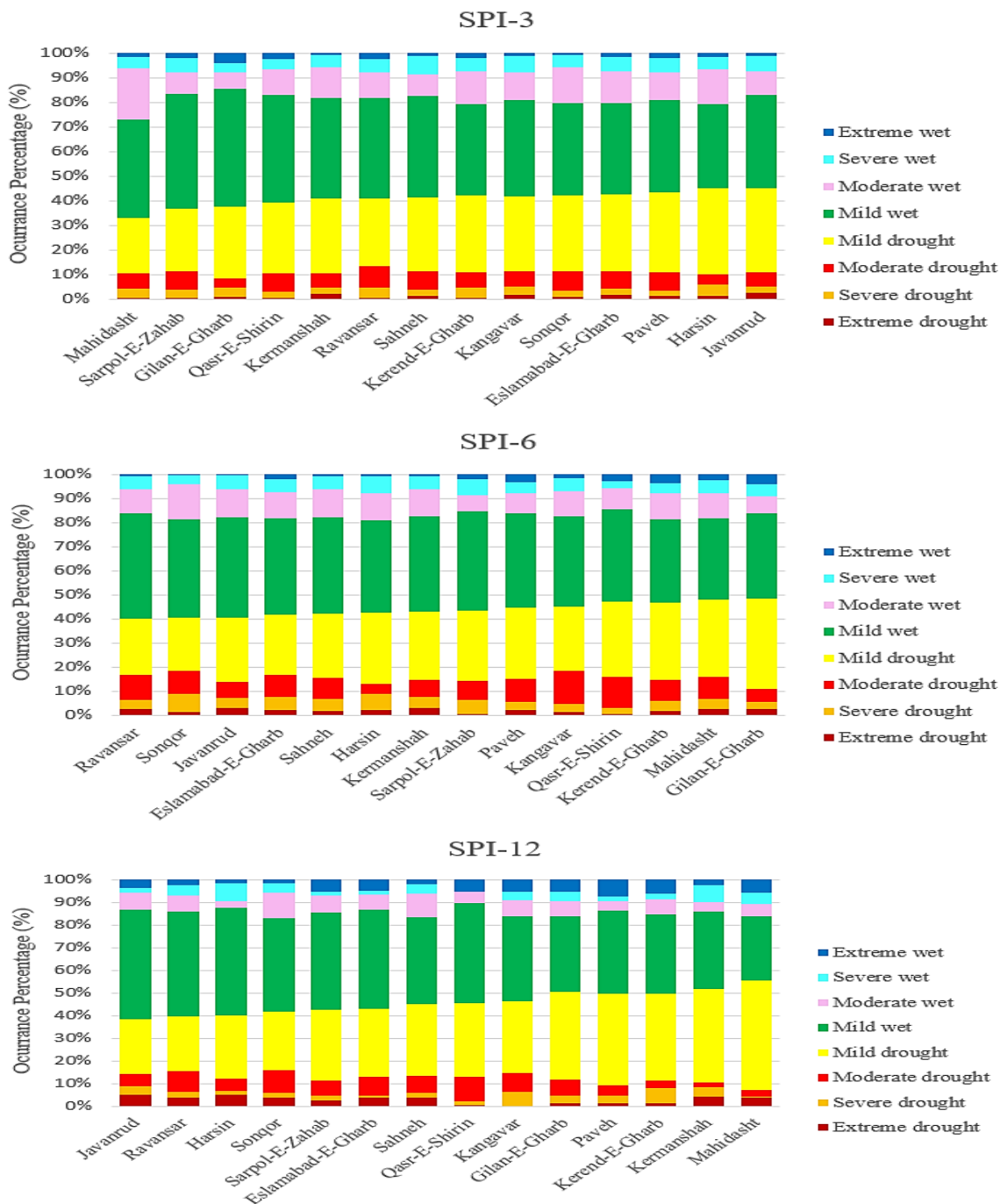
جدول ۲- طولانی‌ترین دوره وقوع و بیش‌ترین شدت خشکسالی در کوتاه‌مدت و بلندمدت با شاخص SPI

ایستگاه	طولانی‌ترین دوره خشکسالی			بیش‌ترین شدت خشکسالی		
	کوتاه‌مدت		بلندمدت	کوتاه‌مدت		بلندمدت
	SPI-3	SPI-6	SPI-12	SPI-3	SPI-6	SPI-12
کرمانشاه	۱۳۸۶:۱۱-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۰-۱۳۸۷:۱	-۲/۹۹ ۱۳۹۴:۱۲	-۲/۸۵ ۱۳۹۵:۸	-۲/۷۲ ۱۴۰۰:۱۱
روانسر	۱۳۸۷:۲-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۷۳ ۱۳۹۵:۸	-۲/۸ ۱۳۹۵:۸	-۲/۵۵ ۱۴۰۰:۹
اسلام‌آبادغرب	۱۳۸۶:۱۰-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۴۲ ۱۳۹۵:۸	-۲/۴۳ ۱۳۹۵:۸	-۲/۵۸ ۱۴۰۰:۱۱
سرپل‌ذهاب	۱۳۸۶:۱۰-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۲۹ ۱۴۰۰:۲	-۲/۲۹ ۱۴۰۰:۵	-۲/۲ ۱۴۰۰:۹
کنگاور	۱۳۸۸:۲-۱۳۸۷:۱۱	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۱۰	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۴۹ ۱۳۹۵:۸	-۲/۵۶ ۱۳۹۵:۸	-۱/۹۳ ۱۴۰۰:۱۱
قصرشیرین	۱۴۰۰:۲-۱۳۹۹:۱۲	۱۴۰۰:۵-۱۳۹۹:۱۲	۱۴۰۰:۱۱-۱۴۰۰:۱	-۲/۱۷ ۱۴۰۰:۲	-۲/۱۸ ۱۴۰۰:۳	-۲/۲۱ ۱۴۰۰:۹
گیلانغرب	۱۳۹۴:۲-۱۳۹۳:۱۰	۱۳۹۴:۵-۱۳۹۳:۱۱	۱۴۰۰:۱۱-۱۴۰۰:۱	-۲/۴۹ ۱۴۰۰:۲	-۲/۴۷ ۱۴۰۰:۵	-۲/۶۴ ۱۴۰۰:۹
سنقر	۱۳۹۴:۲-۱۳۹۳:۱۰	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۵۸ ۱۳۹۵:۹	-۲/۶۱ ۱۳۹۵:۹	-۲/۵۶ ۱۳۸۷:۲
صحنه	۱۳۹۴:۲-۱۳۹۳:۱۱	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۹	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۸۷ ۱۳۹۵:۸	-۳/۰۳ ۱۳۹۵:۸	-۲/۵۸ ۱۴۰۰:۱۱
هرسین	۱۳۸۸:۱۲-۱۳۸۸:۹	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۸	۱۳۸۷:۱۱-۱۳۸۷:۱	-۲/۸۸ ۱۳۹۵:۸	-۲/۹۱ ۱۳۹۵:۸	-۲/۴۳ ۱۳۸۷:۲
جوانرود	۱۳۸۹:۱-۱۳۸۸:۸	۱۳۸۹:۲-۱۳۸۸:۸	۱۳۸۹:۱۰-۱۳۸۹:۱	-۳/۱۹ ۱۳۸۸:۱۲	-۳/۳۹ ۱۳۸۸:۱۲	-۳/۰۱ ۱۳۸۸:۱۱
پاوه	۱۳۹۴:۲-۱۳۹۳:۱۱	۱۴۰۰:۵-۱۳۹۹:۱۲	۱۴۰۰:۱۱-۱۴۰۰:۱	-۲/۷ ۱۴۰۰:۲	-۲/۷۵ ۱۴۰۰:۵	-۲/۵۲ ۱۴۰۰:۹
ماهیدشت	۱۳۸۷:۲-۱۳۸۶:۱۰	۱۳۸۷:۵-۱۳۸۶:۱۰	۱۳۸۷:۱۰-۱۳۸۷:۱	-۲/۱۷ ۱۴۰۰:۹	-۲/۲۵ ۱۴۰۰:۱۱	-۲/۶۳ ۱۴۰۰:۱۱
کرندغرب	۱۳۹۴:۲-۱۳۹۳:۱۱	۱۴۰۰:۵-۱۳۹۹:۱۲	۱۴۰۰:۱۱-۱۴۰۰:۱	-۲/۹۶ ۱۳۹۵:۸	-۳ ۱۳۹۵:۸	-۲/۷۶ ۱۴۰۰:۹

منبع: محاسبات پژوهش

سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و در این ایستگاه برای هر سه بازه SPI، روند معنی‌دار وجود دارد. نتایج بررسی روند سری‌های SPI-3 نشان‌دهنده روند کاهشی برای کلیه ایستگاه‌ها (غیر از ماهیدشت و هرسین که روند افزایشی داشتند) می‌باشد که البته این روند صرفاً در ایستگاه ماهیدشت معنی‌دار می‌باشد.

به‌منظور تحلیل روند بارش و خشکسالی در پژوهش حاضر از آزمون‌های ناپارامتری سن، پتیت و من-کندال برای ایستگاه‌های مورد بررسی و شاخص‌های مختلف استفاده شد که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس نتایج دو آزمون من-کندال و سن، سری‌های SPI-3، SPI-6 و SPI-12 برای ایستگاه ماهیدشت در



شکل ۴- درصد رویدادهای مختلف خشکسالی و ترسالی در سری‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت

روانسر، قصرشیرین، گیلانغرب، سنقر، صحنه و پاوه)، با روند افزایشی مواجه بود؛ که صرفاً در ایستگاه ماهیدشت معنی‌دار بود. آماره من- کندال سری‌های بارندگی نیز به جز ایستگاه‌های پاوه، سنقر، گیلانغرب، قصرشیرین و روانسر، برای سایر ایستگاه‌ها با روند افزایشی مواجه بود؛ که البته در هیچ کدام از مناطق روند معنی‌داری نداشت.

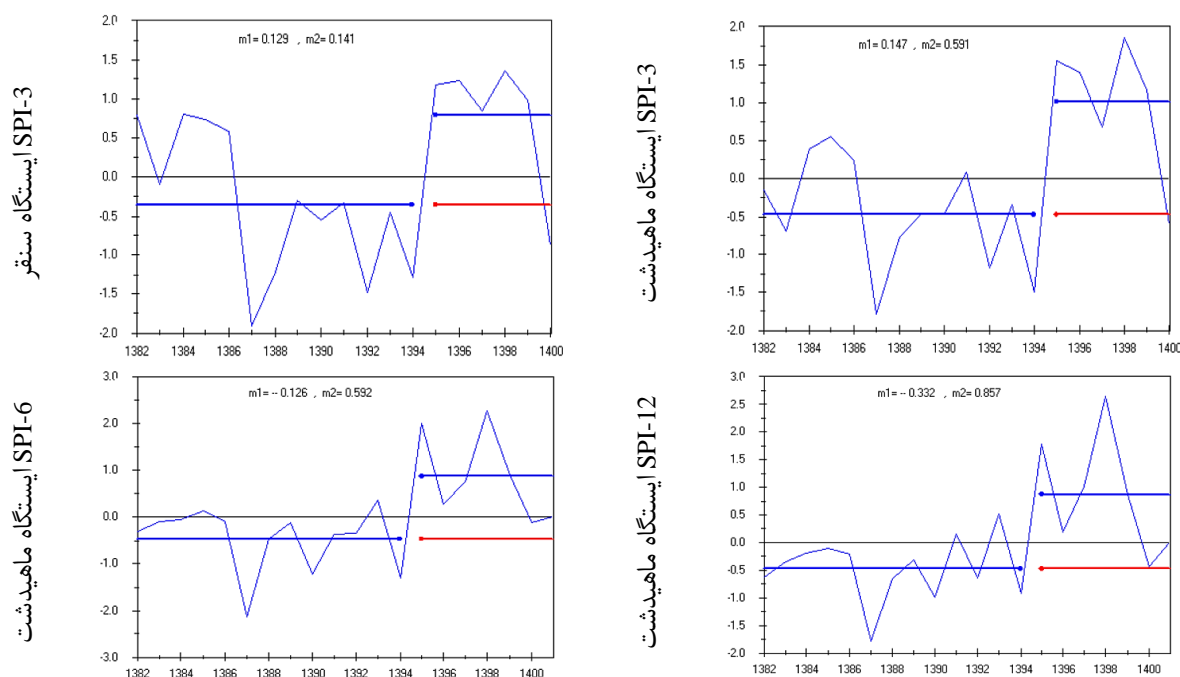
بررسی روند سری‌های SPI-6 نیز نشان‌دهنده روند منفی این شاخص برای کلیه ایستگاه‌ها (به غیر از اسلام‌آباد، کنگاور، هرسین، ماهیدشت و کردنغرب) بوده که البته این روند صرفاً در دو ایستگاه ماهیدشت و سنقر معنی‌دار می‌باشد و شاخص SPI-6 در ایستگاه ماهیدشت دارای روند مثبت و در ایستگاه سنقر دارای روند کاهش‌ی است. روند سری‌های SPI-12 نیز برای کلیه ایستگاه‌ها (به جز

جدول ۳- بررسی روند، شیب روند و رخداد نقطه تغییر در سری‌های زمانی مختلف SPI و بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ایستگاه	آزمون	شاخص‌ها				
		SPI-3	SPI-6	SPI-12	بارندگی	
کرمانشاه	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۳۴۹	۰	۰/۴۱۹	۰/۴۱۹
		(P-value)	۰/۶۹۳	۰/۱۳۴	۰/۰۳	۰/۹۹۴
	Sen Slope	-۰/۱۱۵	-۰/۰۴۷	۰/۴۷۳	۱/۷۰۹	
	Pettit	K(t)	۵۵	۳۳	۳۳	۳۶
		(P-value)	۰/۱۱۵	۰/۴۵۹	۰/۴۵۹	۰/۳۹۶
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۴۰۰]
روانسر	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۵۵۹	-۰/۲۷۹	-۰/۲۰۹	-۰/۲۷۹
		(P-value)	۰/۴۸۹	۰/۵۳۸	۰/۷۳۴	۰/۸۹۸
	Sen Slope	-۰/۱۸۵	-۰/۱۳۳	-۰/۱۵۲	-۲/۴۵۷	
	Pettit	K(t)	۴۶	۳۶	۳۹	۳۴
		(P-value)	۰/۱۷۲	۰/۳۹۶	۰/۳۳۷	۰/۴۳۸
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۶]	[۱۳۸۷]	[۱۴۰۰]
اسلام‌آبادغرب	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۲۷۹	۰/۱۰۵	۰/۴۱۹	۰
		(P-value)	۰/۹۱۲	۰/۹۴۸	۰/۲۷۸	۰/۸۳۲
	Sen Slope	-۰/۰۹	۰/۰۹۵	۰/۳۳۵	-۰/۵۸۶	
	Pettit	K(t)	۴۷	۳۵	۳۱	۳۴
		(P-value)	۰/۲۰۶	۰/۴۱۷	۰/۵۰۳	۰/۴۳۸
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۷]	[۱۴۰۰]
سرپل‌ذهاب	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۴۸۹	-۰/۴۱۹	۰/۴۱۹	۰/۰۶۹
		(P-value)	۰/۷۳۷	۰/۵۲۳	۰/۳۵۳	۰/۷۲۱
	Sen Slope	-۰/۰۹۵	-۰/۰۹۷	۰/۱۵	۱/۸۵۴	
	Pettit	K(t)	۴۱	۲۶	۲۵	۳۶
		(P-value)	۰/۳۰۱	۰/۶۱۷	۰/۶۴	۰/۳۹۶
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۶]	[۱۳۹۵]	[۱۴۰۰]
کنگاور	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۸۳۹	۰/۰۶۹	۰/۳۴۹	۰/۴۱۹
		(P-value)	۰/۵۰۹	۰/۷۴۹	۰/۲۹	۰/۷۰۸
	Sen Slope	-۰/۲۳۹	۰/۰۲۲	۰/۲۰۷	۱/۷۷	
	Pettit	K(t)	۵۷	۴۳	۳۹	۳۶
		(P-value)	۰/۰۹۸	۰/۲۶۷	۰/۳۳۷	۰/۳۹۶
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۷]	[۱۴۰۰]
قصرشیرین	Man-Kendall I	Z (S)	-۱/۳۹۹	-۰/۷۶۹	-۰/۴۱۹	-۱/۱۱۹
		(P-value)	۰/۰۵۴	۰/۰۶	۰/۰۷۴	۰/۷۳۱
	Sen Slope	-۰/۲۹۸	-۰/۳۴۳	-۰/۱۶۸	-۵/۶۱۸	
	Pettit	K(t)	۳۴	۳۶	۳۲	۲۰
		(P-value)	۰/۴۳۸	۰/۳۹۶	۰/۴۸۱	۰/۷۱۷
		[Year of Change]	[۱۳۸۶]	[۱۳۹۶]	[۱۳۹۶]	[۱۳۸۷]
گیلانغرب	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۳۴۹	-۰/۱۳۹	-۰/۲۰۹	-۰/۳۱۵
		(P-value)	۰/۶۱۶	۰/۲۲۹	۰/۲۷۸	۰/۹۸۲
	Sen Slope	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۰۸۱	-۱/۳	

سنگر	Pettit	K(t)	۳۰	۳۹	۳۳	۳۵
		(P-value)	۰/۵۲۶	۰/۳۳۷	۰/۴۵۹	۰/۴۱۷
		[Year of Change]	[۱۳۹۰]	[۱۳۸۷]	[۱۳۸۷]	[۱۳۹۹]
	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۸۳۹	-۰/۸۳۹	-۰/۹۰۹	-۰/۱۳۹
		(P-value)	۰/۰۹۹	۰/۱۰۹	۰/۰۵۱	۰/۷۰۱
		Sen Slope	-۰/۲۴۱	-۰/۲۴	-۰/۳۷۵	-۰/۵۳۳
صحنه	Pettit	K(t)	۶۵	۴۹	۴۷	۳۲
		(P-value)	۰/۰۴۹	۰/۱۸	۰/۲۰۶	۰/۴۸۱
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۷]	[۱۳۸۷]	[۱۴۰۰]
	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۸۳۹	-۰/۲۷۹	-۰/۰۶۹	۰/۰۷
		(P-value)	۰/۳۴۲	۰/۴۲۴	۰/۹۵۹	۰/۶۶۹
		Sen Slope	-۰/۱۸۳	-۰/۱۲۴	-۰/۰۸۶	۱/۲۸۳
هرسین	Pettit	K(t)	۵۷	۴۱	۴۵	۳۵
		(P-value)	۰/۰۹۸	۰/۳۰۱	۰/۲۳۵	۰/۴۱۷
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۷]	[۱۳۹۹]
	Man-Kendall I	Z (S)	۰/۴۱۹	۰/۷۶۹	۱/۱۱۹	۰/۶۹۹
		(P-value)	۰/۷۶۷	۰/۱۹۸	۰/۰۶	۰/۶۸۴
		Sen Slope	۰/۱۱۲	۰/۲۸۹	۰/۴۷۴	۴/۳۶۷
جوارود	Pettit	K(t)	۶۱	۴۵	۴۱	۳۵
		(P-value)	۰/۰۷	۰/۲۳۵	۰/۳۰۱	۰/۴۱۷
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۳]	[۱۳۹۳]	[۱۳۹۹]
	Man-Kendall I	Z (S)	۰	۰	۰/۳۴۹	۰/۲۰۹
		(P-value)	۰/۷۸۲	۰/۵۰۵	۰/۸۳۱	۰/۴۴۱
		Sen Slope	۰/۰۰۸	-۰/۰۲	۰/۱۳۷	۲/۸۶۲
پاوه	Pettit	K(t)	۴۷	۵۵	۴۵	۳۴
		(P-value)	۰/۲۰۶	۰/۱۱۵	۰/۲۳۵	۰/۴۳۸
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۸۷]	[۱۳۸۷]	[۱۴۰۰]
	Man-Kendall I	Z (S)	-۱/۸۱۹	-۱/۰۴۹	-۱/۲۵۹	-۰/۷۳۵
		(P-value)	۰/۲۲۶	۰/۰۶۴	۰/۰۱	۰/۸۳۴
		Sen Slope	-۰/۲۹۵	-۰/۲۸۷	-۰/۵۶۸	-۴/۶۸۷
ماهیدشت	Pettit	K(t)	۲۹	۴۹	۴۷	۳۴
		(P-value)	۰/۵۴۸	۰/۱۸	۰/۲۰۶	۰/۴۳۸
		[Year of Change]	[۱۳۸۹]	[۱۳۸۹]	[۱۳۸۹]	[۱۴۰۰]
	Man-Kendall I	Z (S)	۲/۰۲۹	۲/۳۰۹	۲/۰۹۹	۱/۸۱۹
		(P-value)	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
		Sen Slope	۰/۴۶	۰/۶۲	۰/۹۳۱	۱۳/۴۶
کردغرب	Pettit	K(t)	۶۷	۷۷	۷۱	۳۶
		(P-value)	۰/۰۴۱	۰/۰۱۴	۰/۰۲۷	۰/۳۹۶
		[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۵]	[۱۴۰۰]
	Man-Kendall I	Z (S)	-۰/۰۶۹	۰/۶۹۹	۰/۴۸۹	۰/۷۶۹
		(P-value)	۰/۹۷۶	۰/۵۵۹	۰/۰۷۹	۰/۵۴۷
		Sen Slope	-۰/۰۲۷	۰/۲۰۲	۰/۳۴۱	۶/۷۶۷
Pettit	K(t)	۳۷	۳۱	۲۹	۳۳	
	(P-value)	۰/۳۷۶	۰/۵۰۲	۰/۵۴۸	۰/۴۵۹	
	[Year of Change]	[۱۳۹۵]	[۱۳۹۹]	[۱۳۹۹]	[۱۳۸۵]	

سلول‌های معنی‌دار در سطح ۵ درصد با رنگ سبز مشخص شده‌اند.



شکل ۵- زمان وقوع نقطه تغییر در سری‌های دارای نقطه تغییر معنی‌دار  
 $m_1$  و  $m_2$  میانگین مقادیر قبل و بعد از نقطه تغییر را نشان می‌دهند.

بدست آورد. در شکل (۵) که آزمون استاندارد همگنی نرمال (SNHT) را نشان می‌دهد، تاثیر این عوامل در شکست هر چهار سری دارای نقطه شکست در سال ۱۳۹۵ کاملاً مشهود است. بیش‌ترین ناهمگنی بین این چهار سری نیز مربوط به سری SPI-3 ایستگاه ماهیدشت می‌باشد. نتایج دو آزمون سن و من-کندال و پتیت نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد در بقیه ایستگاه‌ها و مقاطع زمانی معنی‌دار نبوده و لذا سری‌های مربوط به سایر ایستگاه‌ها فاقد روند معنی‌دار و نقطه شکست می‌باشند.

به منظور بررسی دقیق‌تر نتایج، به بررسی ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های خشکسالی با یکدیگر ( $r_{spi.pni}$ ) پرداخته شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج حاصل از همبستگی میان شاخص SPI و شاخص PNI نشان می‌دهد که با توجه به وابستگی بسیار زیاد این دو شاخص به بارندگی، نتایج دو شاخص در تعیین میزان شدت خشکسالی مشابه بوده و همبستگی قوی و معنی‌دار بین این دو شاخص در کلیه مناطق مورد بررسی وجود دارد. همبستگی بالای بین این دو شاخص می‌تواند استفاده از این دو شاخص به جای یکدیگر را توجیه کند. همچنین مثبت بودن علامت کلیه ضرایب همبستگی نیز بیانگر ارتباط مستقیم پارامترهای مورد بررسی است.

روند تغییر کاربری اراضی، افزایش تمایل کشاورزان به کشت محصولات آبربر طی سال‌های اخیر و افزایش استحصال منابع آب زیرزمینی، از جمله عواملی هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روند خشکسالی تاثیر گذاشته و موجب شده علی‌رغم روند افزایشی بارندگی در ایستگاه‌های کرمانشاه، سرپل‌ذهاب، کنگاور، هرسین، جوانرود، ماهیدشت و کرندغرب، روند خشکسالی نیز در هر سه بازه یا برخی بازه‌های زمانی افزایشی باشد. همچنین تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های طولانی مدت می‌تواند از عواملی باشد که علی‌رغم روند کاهش خشکسالی در ایستگاه‌های روانسر، قصرشیرین، گیلانغرب، سنقر و پاوه، روند بارندگی نیز در این ایستگاه‌ها کاهش یافته باشد. نتایج آزمون پتیت در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقیاس SPI سه ماهه در ایستگاه سنقر و ماهیدشت و در مقیاس SPI شش ماهه و دوازده ماهه در ایستگاه ماهیدشت دارای روند معنی‌دار بوده و نقطه تغییر وجود داشته و برای سایر ایستگاه‌ها و سایر مقادیر روند معنی‌داری را از خود نشان نداد. زمان رخداد نقطه تغییر هم در هر دو ایستگاه و هر سه بازه محاسبه SPI، سال ۱۳۹۵ می‌باشد و سری‌های این ایستگاه‌ها در سال ۱۳۹۵ دارای ناهمگنی و جهش بوده‌اند. وجود نقطه تغییر در سری‌های زمانی، داده‌ها را به دو سری متفاوت تقسیم نموده و از این نقطه شکست می‌توان اطلاعات مهمی از وضعیت سری مورد بررسی (از قبیل تاثیر وقوع شوک و تغییر ناگهانی متغیرهای خشکسالی و آب‌وهوایی بر وضعیت اقلیمی یک منطقه)

جدول ۴- نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای مورد بررسی

	گیلانغرب	قصرشیرین	کنگاور	سرپل‌ذهاب	اسلام‌آبادغرب	روانسر	کرمانشاه
$r_{spi.pni}$	۰/۹۹۱	۰/۹۷۵	۰/۹۹۲	۰/۹۸۹	۰/۹۸۶	۰/۹۹۲	۰/۹۸۹
	کرنده‌غرب	ماهیدشت	پاوه	جوانرود	هرسین	صحنه	سنقر
$r_{spi.pni}$	۰/۹۹۰	۰/۹۸۲	۰/۹۹۵	۰/۹۶۲	۰/۹۸۶	۰/۹۸۷	۰/۹۹۳

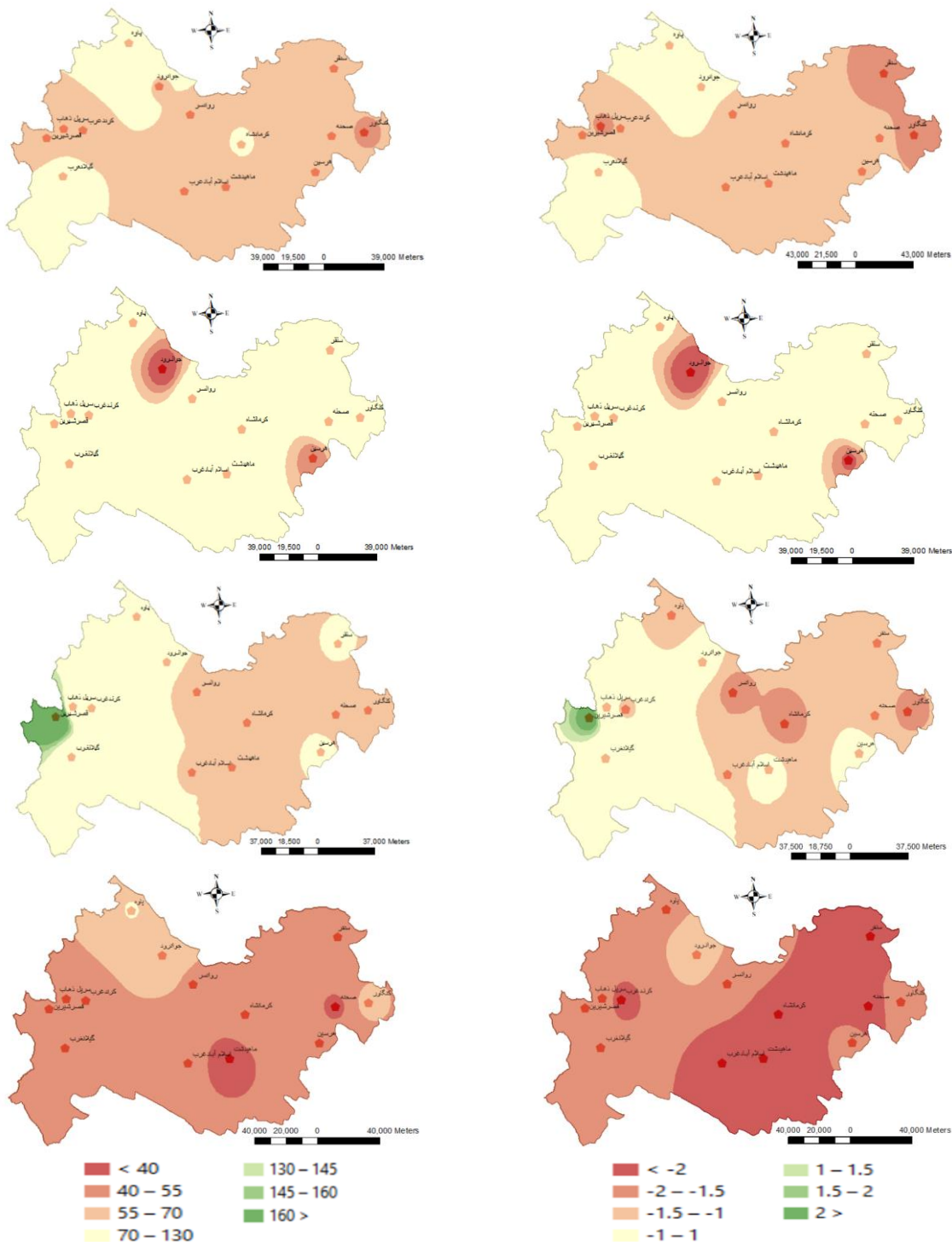
منبع: محاسبات پژوهش

و مرطوب به وقوع پیوسته؛ به گونه‌ای که در مقیاس‌های زمانی حدوداً هفت ساله، وقوع خشکسالی و ترسالی متناوب بوده و در هیچ یک از ایستگاه‌ها، صرفاً وضعیت خشکسالی یا ترسالی حاکم نبوده است. از نقشه وقوع خشکسالی و ترسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف، می‌توان جهت تعیین نقاط بحرانی برای برنامه‌ریزی الگوی کشت، انتخاب مکان مناسب جهت احداث مجتمع‌های دامپروری و صنعتی و همچنین میزان مجاز استحصال منابع آبی جهت مصارف مختلف (به-ویژه مصارف کشاورزی) بهره گرفت.

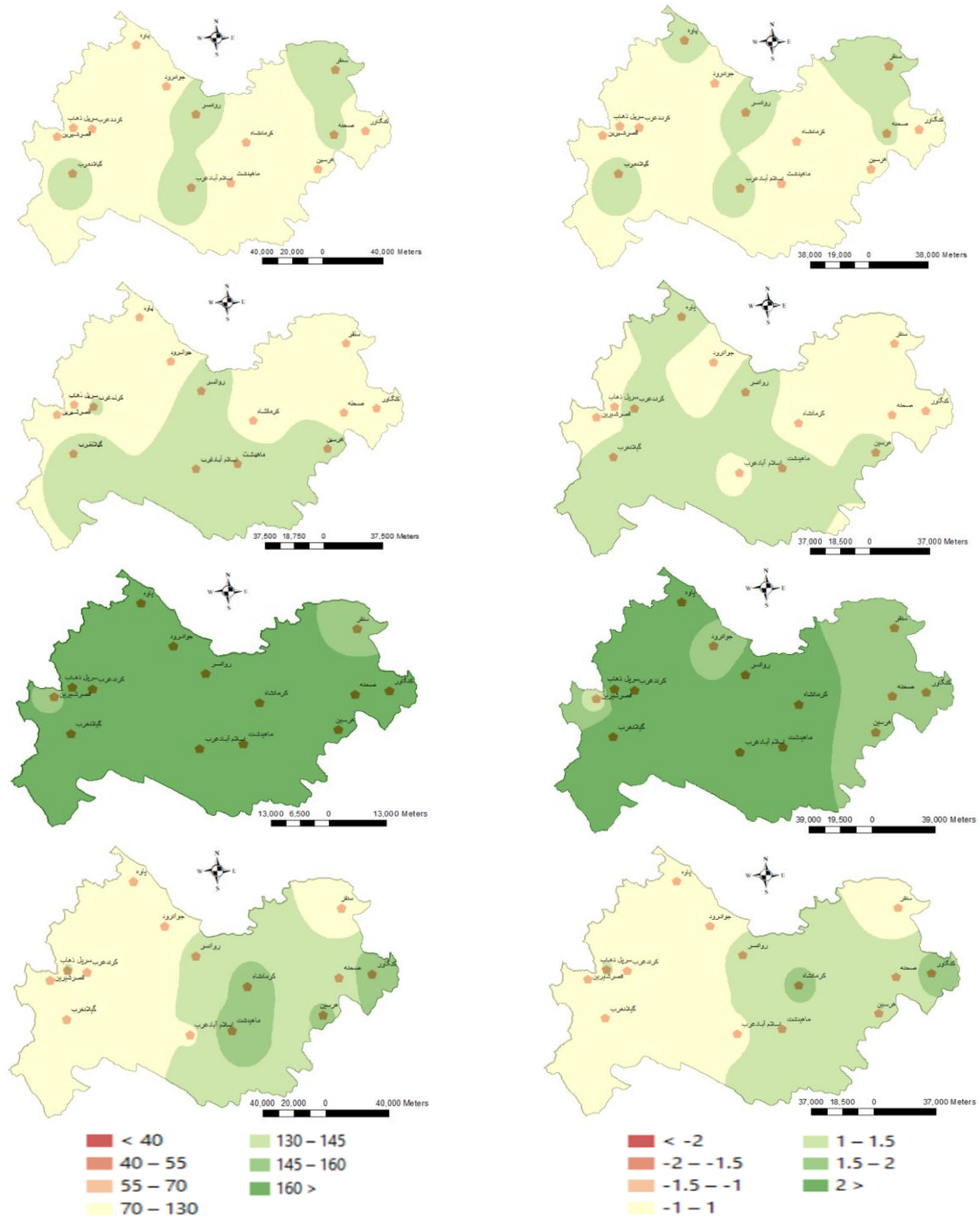
لازم به ذکر است که اگر دوره‌های خشکسالی بر اساس طبقه-بندی اصلاح‌شده شاخص استاندارد شده بارش (Shamsnia & Pirmoradian, 2009) یعنی بر اساس (۵/۰ تا ۹۹/۰-؛ خشکسالی ملایم؛ ۱- تا ۴۹/۱-؛ خشکسالی متوسط؛ ۱/۵- تا ۹۹/۱-؛ خشکسالی شدید و کم‌تر از ۲-؛ خشکسالی حاد) در نظر گرفته شود، در اکثر سال-های مورد بررسی، خشکسالی ملایم تا حاد در کلیه ایستگاه‌های استان اتفاق افتاده است. لیکن در مطالعه حاضر، طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس طبقه‌بندی متداول صورت گرفته است.

گرچه هر دو شاخص مورد مطالعه دارای هماهنگی تقریبی در تحلیل فضایی شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی هستند، اما همان‌طور که در شکل‌های (۸) و (۹) مشخص است، در منطقه دشت کرمانشاه نسبت به سایر مناطق استان کرمانشاه، وقوع حالات خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و PNI، بیش‌تر از ترسالی بوده و شدیدترین وضعیت خشکسالی نیز در سال ۱۴۰۰ اتفاق افتاده است. همچنین وقوع خشکسالی و ترسالی در دهه دوم بازه زمانی مورد بررسی بیش‌تر از دهه اول بوده و شدیدترین خشکسالی‌ها نیز در دهه دوم روی داده است. ترسالی شدید در دشت کرمانشاه در دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ رخ داده و یا مانند سال ۱۳۸۳، در سایر ایستگاه‌ها اتفاق افتاده و صرفاً در بخشی از دشت کرمانشاه به وقوع پیوسته است. وقوع خشکسالی شدید نیز عمدتاً هر هفت سال یکبار تکرار شده و یا نظیر سال ۱۳۸۸، در سایر نقاط استان روی داده و صرفاً بخشی از دشت کرمانشاه را فراگرفته است.

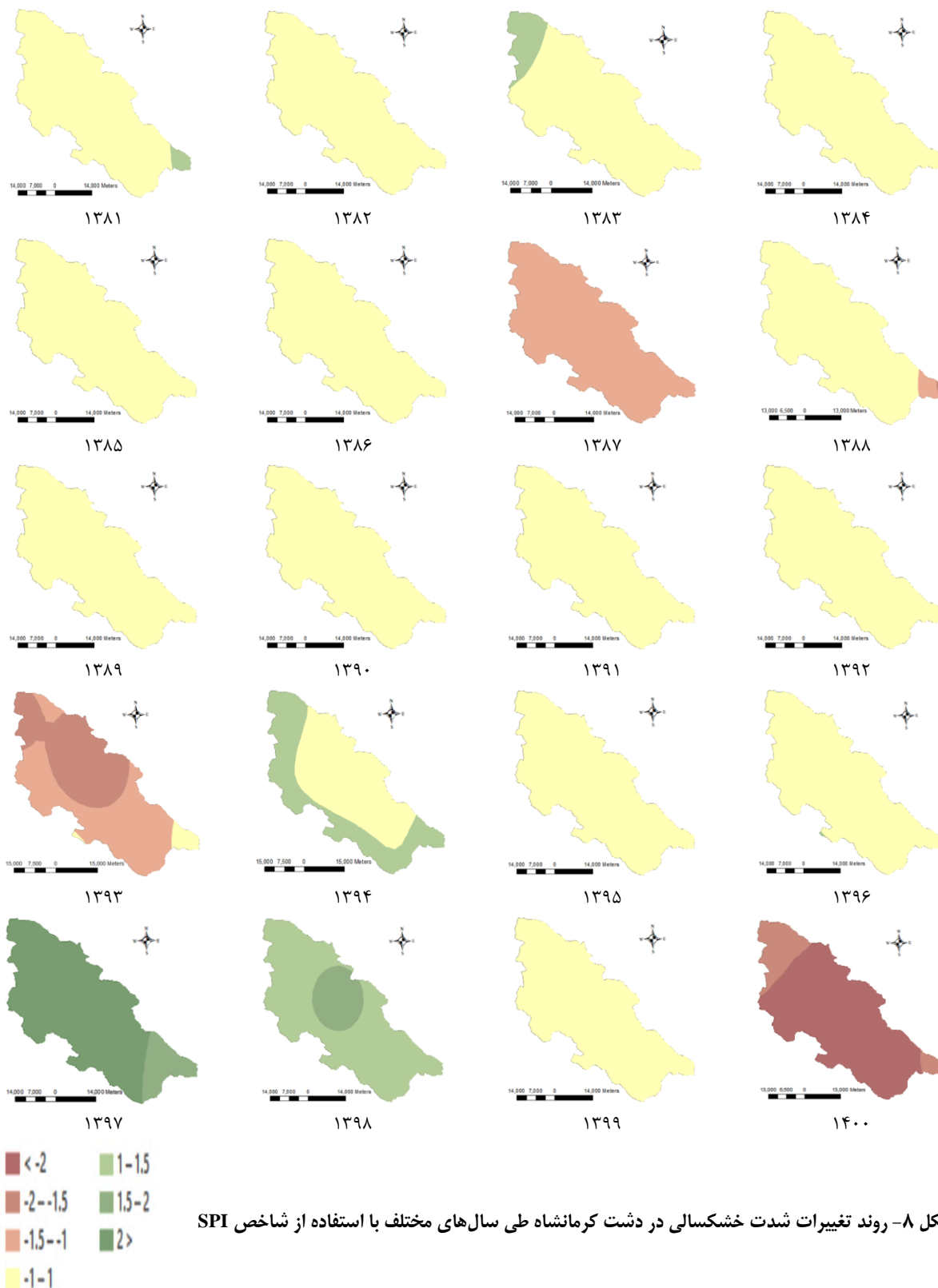
پس از بررسی شاخص‌های خشکسالی و همبستگی آن‌ها، همان‌طور که در شکل (۶) دیده می‌شود، شدیدترین خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های مورد بررسی، در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰ اتفاق افتاده است. پهنه‌بندی خشکسالی در شکل (۶)، از طریق روش IDW و بر اساس شدت خشکسالی با توجه به شاخص‌های SPI و PNI محاسبه شده و در سال‌های وقوع خشکسالی شدید در اکثر ایستگاه‌های منطقه، نمایش داده شده است. خشکسالی هواشناسی که با توجه به بارش‌ها در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده الگوی حاکم بر بارش در مناطق مختلف استان است. بر اساس شکل (۶)، بیش‌ترین شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و PNI طی سال‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های گوناگون متفاوت بوده و از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. با این وجود در سال‌هایی که خشکسالی شدید اتفاق افتاده، شدت خشکسالی در نواحی شرقی و مرکزی استان، بیش از سایر مناطق است. همچنین گرچه مشابهت‌هایی بین نتایج پهنه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و PNI وجود دارد، اما شاخص SPI، توانایی بیش‌تری در نمایش شدت خشکسالی در دوره‌های مختلف دارد. در بین سال‌های مورد بررسی، شدیدترین وضعیت خشکسالی مربوط به سال ۱۴۰۰ می‌باشد که کلیه ایستگاه‌های منطقه خشکسالی متوسط تا بسیار شدید را تجربه می‌کنند. همچنین شدیدترین وضعیت ترسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی، همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، مربوط به سال-های ۱۳۹۴، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ می‌باشد. پهنه‌بندی ترسالی در شکل (۷)، از طریق روش IDW و بر اساس شدت ترسالی با توجه به شاخص-های SPI و PNI محاسبه شده و در سال‌های وقوع ترسالی در اکثر ایستگاه‌های منطقه در این شکل نشان داده شده است. بر اساس نتایج، در سال ۱۳۹۷، ترسالی شدید در اکثر ایستگاه‌ها رخ داده، در حالی که در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸، صرفاً در برخی ایستگاه‌ها ترسالی اتفاق افتاده و در سایر ایستگاه‌ها وضعیت نرمال وجود دارد. همچنین بر اساس نتایج شاخص‌های SPI و PNI در کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی و در مقاطع زمانی مختلف، دوره‌های خشک



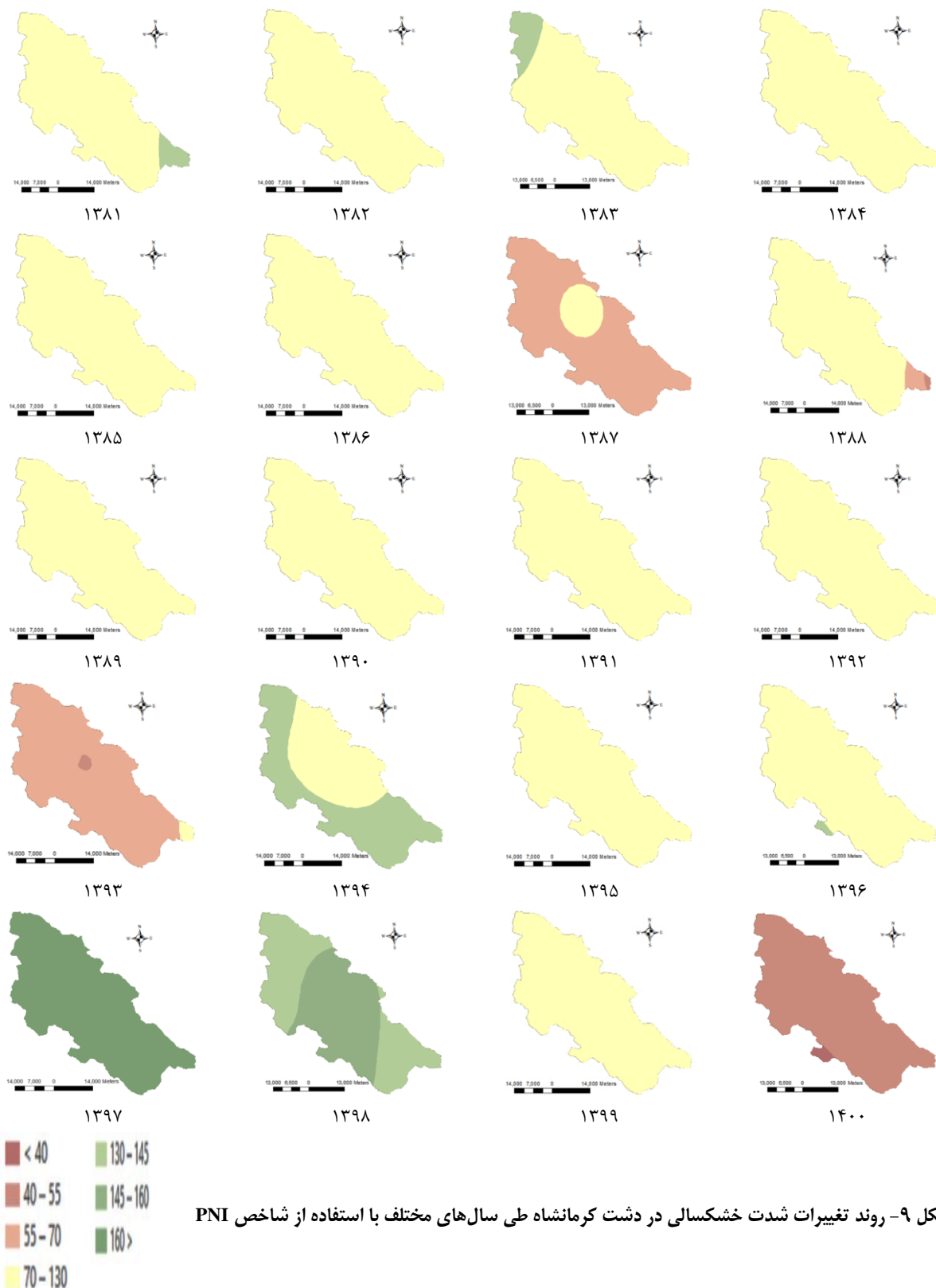
شکل ۶- پهنه‌بندی خشکسالی در استان کرمانشاه بر اساس شاخص SPI (شکل‌های سمت راست) و شاخص PNI (شکل‌های سمت چپ) در سال‌های خشکسالی ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰



شکل ۷- پهنه‌بندی خشکسالی در استان کرمانشاه براساس شاخص SPI (شکل‌های سمت راست) و شاخص PNI (شکل‌های سمت چپ) در سال‌های تروالی ۱۳۸۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸



شکل ۸- روند تغییرات شدت خشکسالی در دشت کرمانشاه طی سال‌های مختلف با استفاده از شاخص SPI



شکل ۹- روند تغییرات شدت خشکسالی در دشت کرمانشاه طی سال‌های مختلف با استفاده از شاخص PNI

تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی در همه ایستگاه‌های مورد

به‌طور کلی نتایج مطالعات پیشین نیز مؤید آن است که شدت،

بررسی یکسان نبوده و پراکندگی شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی می‌تواند متاثر از اقلیم هر منطقه، تفاوت جهت گسترش ارتفاعات (ایستگاه‌های غربی شامل کَرندغرب، سرپل‌ذهاب، قصرشیرین و گیلانغرب، در مناطق کم‌ارتفاع‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌های استان واقع شده‌اند) و نوع و جهت ورود سیستم‌های بارانزا باشد. همبستگی بالای نتایج شاخص‌های SPI و PNI نیز -که پیش‌تر در جدول (۴) ارائه شده بود- مشابه پژوهش‌های پیشین از جمله (علیقلی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸ و صدرافشاری و فیض‌اله‌پور، ۱۳۹۰) می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

خشکسالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب‌وهوایی بوده که به دلیل ارتباط آن با کمبود منابع آب، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بخش‌های مختلف از جمله بخش کشاورزی تأثیر منفی گذاشته و باعث ایجاد خسارت‌های قابل توجهی بر زندگی انسان می‌شود. از سوی دیگر متمایل شدن کشاورزان استان کرمانشاه به کشت محصولات آب‌بر طی سال‌های اخیر با وجود خشکسالی طولانی‌مدت و کمبود بارندگی در دوره رشد این محصولات- باعث افزایش استحصال منابع آب زیرزمینی برای حفظ عملکرد مورد انتظار محصول شده که به‌نوبه خود موجب بحرانی‌شدن وضعیت منابع آب زیرزمینی در این منطقه شده است. با این‌وجود می‌توان با مدیریت و پایش مستمر این پدیده، پیامدهای سوء آن را کاهش داد. لذا در پژوهش حاضر، شدت، فراوانی و روند خشکسالی توسط دو شاخص SPI و PNI و آزمون‌های من-کندال، سن و پتیت از طریق داده‌های آماری بارش ماهانه و بارش سالانه برای ایستگاه‌های استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که:

- با بررسی شاخص‌های SPI و PNI مشخص شد که نتایج خشکسالی محاسبه شده توسط دو شاخص با توجه به وابستگی بالای این دو شاخص به مقادیر بارندگی، مشابهت زیادی داشته و نیز همبستگی قوی بین این دو شاخص در کلبه مناطق مورد بررسی مشاهده می‌شود.
- شدت، تداوم و درصد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مورد بررسی، یکسان نبوده و پراکندگی شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی می‌تواند متاثر از اقلیم هر منطقه، تفاوت جهت گسترش ارتفاعات و نوع و جهت ورود سیستم‌های بارانزا باشد. لذا پیشنهاد می‌شود تأثیر متغیرهای اقلیمی بر وضعیت خشکسالی منطقه نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- به‌منظور تحلیل روند بارش و خشکسالی نیز از آزمون‌های ناپارامتری سن، پتیت و من-کندال استفاده شد که طبق آزمون پتیت صرفاً SPI سه‌ماهه در ایستگاه‌های سنقر و ماهیدشت و SPI شش‌ماهه و دوازده‌ماهه برای ایستگاه ماهیدشت معنی‌دار

بوده و در این ایستگاه‌ها نقطه شکست وجود داشت، که در هر چهار مورد نقطه شکست در سال ۱۳۹۵ اتفاق افتاده است. در سایر ایستگاه‌ها نیز نقطه تغییر معنی‌داری وجود نداشت. بر اساس نتایج دو آزمون من-کندال و سن، سری‌های SPI-3، SPI-6 و SPI-12 برای ایستگاه ماهیدشت در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و در این ایستگاه برای هر سه بازه SPI، روند معنی‌دار وجود دارد. در سایر ایستگاه‌ها و مقاطع زمانی نیز مقادیر آماره من-کندال و سن معنی‌دار نبوده و سری‌های مورد بررسی روند معنی‌داری از خود نشان ندادند. روند تغییر کاربری اراضی، افزایش تمایل کشاورزان به کشت محصولات آب‌بر طی سال‌های اخیر و افزایش استحصال منابع آب زیرزمینی، از جمله عواملی هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روند خشکسالی تأثیر گذاشته و موجب شده علی‌رغم روند افزایشی بارندگی در ایستگاه‌های کرمانشاه، سرپل‌ذهاب، کنگاور، هرسین، جوانرود، ماهیدشت و کَرندغرب، روند خشکسالی نیز در هر سه بازه یا برخی بازه‌های زمانی افزایشی باشد. لذا توصیه می‌شود تأثیر روند سایر پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، تبخیر و دبی جریان‌های آبی و همچنین تأثیر این پارامترها بر خشکسالی نیز مورد بررسی قرار گیرد. با اصلاح الگوی کشت و شیوه‌های آبیاری مناسب، به نفع محصولات با بهره‌وری بالاتر آب، می‌توان همزمان دو هدف تامین امنیت غذایی و بهره‌برداری پایدار از منابع آبی در این مناطق را محقق نمود. همچنین تغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های طولانی‌مدت می‌تواند از عواملی باشد که علی‌رغم روند کاهش خشکسالی در ایستگاه‌های روانسر، قصرشیرین، گیلانغرب، سنقر و پاوه، روند بارندگی نیز در این ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به روند کاهش خشکسالی و بارندگی در این ایستگاه‌ها، باید اشاره نمود که حتی در دوره‌های ترسالی نیز در شرایطی که بارندگی نامنظم است، به تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص کشت دیم صدمه وارد می‌شود. لذا کاشت محصولات کشاورزی با توجه به پتانسیل‌های منطقه جغرافیایی در ایستگاه‌های یادشده نیز باید در اولویت سیاست-گذاری‌های آینده قرار گیرد.

یکی از روش‌های ارزیابی خشکسالی و پایش اثرات مخرب آن، پهنه‌بندی مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و روش‌های درونیابی است. لذا در این پژوهش، پس از محاسبه شاخص‌های خشکسالی SPI و PNI سالانه، درونیابی با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی انجام شده و پهنه‌بندی خشکسالی در سال‌های وقوع خشکسالی شدید در ایستگاه‌های منطقه بر اساس شاخص‌های خشکسالی صورت گرفت. سپس با استفاده از اطلاعات شاخص‌های خشکسالی ایستگاه‌های همجوار دشت کرمانشاه، پهنه‌بندی خشکسالی در دشت

های طولانی‌تر فراهم شود.

## منابع

اسدزاده، ف.، کاکلی، م.، شکیبیا، س. و راعی، ب. ۱۳۹۵. تاثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت قروه و چهاردولی. تحقیقات منابع آب ایران. ۳: ۱۵۳-۱۶۵.

اکبری، م.، سعادت‌فر، ا. و شجاعی، ح. ۱۳۸۹. بررسی روش‌های مختلف میانمایی برای تولید نقشه منبسط خاک در منطقه دشت خاک بردسیر. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱ (۱): ۴۹-۵۷.

ایمانی‌بوژانی، ف.، کیانی‌صدر، م.، سبحان‌اردکانی، س.، لرستانی، ب. و چراغی، م. ۱۴۰۱. پایش چندشاخصی خشکسالی کشاورزی در شهرستان کرمانشاه. آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۱۶): ۸۰۴-۸۱۵. جعفری‌گلگو، م.، ویسی، ع.، نورایی‌صفت، ا. و نادری، س. ۱۳۹۴. ارزیابی تاثیرات خشکسالی بر تالاب هشیلان. اکوبیولوژی تالاب. ۲۵: ۸۱-۹۲.

حلمی، م. و شهیدی، ع. ۱۴۰۲. استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی تاثیر خشکسالی بر کیفیت منابع آب سطحی (مطالعه موردی: رودخانه کشف‌رود). پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم. ۱ (۱): ۸۳-۹۶.

خسروی، م.، موقری، ع. و منصوری دانشور، م. ر. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های PNI، RAI، SIP و SPI برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درون‌یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM. جغرافیا و پایداری محیط. ۵: ۵۳-۷۰. دوستان، ر. ۱۳۹۴. تحلیلی بر خشکسالی‌های ایران در نیم‌قرن گذشته. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۶ (۲۳ و ۲۴): ۱-۱۹.

شرفی، ل. و زرافشانی، ک. ۱۳۸۹. سنجش آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی کشاورزان در برابر خشکسالی (مطالعه موردی: گندم-کاران شهرستان‌های کرمانشاه، صحنه و روانسر). پژوهش‌های روستایی. ۴: ۱۲۹-۱۵۴.

شرفی، ل. و زرافشانی، ک. ۱۳۹۰. سنجش آسیب‌پذیری کشاورزان گندم‌کار در زمان خشکسالی. مطالعه موردی: سرپل‌ذهاب، اسلام-آبادغرب و جوانرود. برنامه‌ریزی منطقه‌ای. ۱: ۴۱-۵۴.

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

شمس‌نیا، س. ا. ۱۴۰۲. ارزیابی و مقایسه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SMDI، SPI و RDI در منطقه زرقان، استان فارس.

کرمانشاه در کلیه سال‌ها انجام شد که بر اساس نتایج آن در منطقه دشت کرمانشاه نسبت به سایر مناطق استان کرمانشاه، وقوع حالات خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و PNI بیش‌تر از ترسالی بوده و شدیدترین وضعیت خشکسالی نیز در سال ۱۴۰۰ اتفاق افتاده است. همچنین وقوع رخداد خشکسالی و ترسالی در دهه دوم بازه زمانی مورد بررسی بیش‌تر از دهه اول بوده و شدیدترین خشکسالی‌ها نیز در دهه دوم روی داده است. ترسالی شدید در دشت کرمانشاه در دو سال متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ رخ داده و وقوع خشکسالی شدید در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰ بوده و به نظر می‌رسد حدوداً هر هفت سال یکبار تکرار شده است.

در برخی موارد ممکن است در منطقه‌ای به دلیل شرایط مناسب نزولات جوی و افزایش بارندگی، خشکسالی هواشناسی وجود نداشته باشد، اما در همان زمان سایر انواع خشکسالی از جمله خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه مذکور رخ داده و کشاورزان با عدم اطلاع از چنین شرایطی اقدام به افزایش سطح زیرکشت، کشت محصولات آب‌بر و افزایش بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی نمایند. لذا توصیه می‌شود با توجه به افزایش استحصال منابع آبی به‌ویژه آب زیرزمینی از دشت‌های استان (به خصوص دشت‌های بحرانی مانند دشت کرمانشاه)، سایر انواع خشکسالی مانند خشکسالی هیدرولوژیکی نیز در منطقه بررسی و در صورت لزوم محدودیت‌هایی در خصوص کشت برخی محصولات و میزان مجاز استحصال منابع آب زیرزمینی اعمال شود.

استفاده از شاخص‌های ترکیبی مانند SPEI<sup>۱</sup> یا حتی شاخص‌های هیدرولوژیکی مانند SWSI<sup>۲</sup> در مطالعات آتی با تکمیل داده‌ها توصیه می‌شود تا تصویری چندبعدی از وقوع و شدت خشکسالی در منطقه حاصل شود. همچنین، تحلیل روند دما و تاثیر آن بر وضعیت خشکسالی به‌ویژه در سال‌های با نوسان حرارتی شدید، می‌تواند یکی از محورهای توسعه‌یافته در آینده این پژوهش باشد.

توصیه می‌شود به منظور پوشش کامل‌تر تغییرات مکانی ارتفاع، کاهش خطای پیش‌بینی، افزایش دقت نتایج و سهولت دسترسی به داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، تعداد ایستگاه‌های بارانسنجی و هواشناسی در منطقه افزایش یابد.

یکی از محدودیت‌های این پژوهش، کوتاه‌بودن دوره آماری برخی ایستگاه‌ها بوده و برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود با به‌روزرسانی و ترمیم داده‌های ایستگاهی، امکان استفاده از بازه-

<sup>۱</sup> Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

<sup>۲</sup> Surface Water Supply Index

- پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی. ۴ (۱۵): ۷۳-۹۰.
- صدرافشاری، س. و فیض‌الله‌پور، م. ۱۳۹۰. برآورد مقادیر خشکسالی ارومیه با استفاده از شاخص‌های  $SPI$ ،  $DI$ ،  $ZS$ ،  $PNI$  و مقایسه روش‌های فوق برای دستیابی به بهترین شاخص خشکسالی. دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، ایران، اراک.
- صفری‌شاد، م.، حبیب‌نژاد روشن، م. و ایلدرمی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی شاخص  $NDSI$  در پایش خشکسالی به کمک تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی استان اصفهان). اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۲۵ (۱۰۰): ۳۵-۴۴.
- عبده کلاهیچی، ع.، افتخاردادخواه، م. و میرزایی، م. ۱۴۰۰. بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای  $TRMM$ . مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳ (۱): ۶۵-۸۰.
- علیقلی‌نیا، ت.، رسولی‌مجد، ن. و هزارجریبی، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص  $SPI$ ،  $CZI$ ،  $PNI$  و سیستم اطلاعات جغرافیایی ( $GIS$ ). علوم و مهندسی آبیاری. ۴۲ (۱): ۱۷۵-۱۸۸.
- فغانی، م.، قربانی، خ. و سالاری‌بجری، م. ۱۳۹۶. تحلیل روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی  $SPI$  در ایران. آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۶۶۷-۶۷۹.
- قربانی، ح.، ولی، ع. و زارع‌پور، ه. ۱۳۹۸. تحلیل روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از آزمون‌های من-کندال، سن و پتیت در استان اصفهان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۶ (۲): ۱۲۹-۱۴۶.
- محمدی، ب. ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۴۳ (۳): ۹۵-۱۰۶.
- معصوم‌پور سماکوش، ج.، میری، م. و باقری سیدشکری، س. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر آبدهی و ویژگی‌های چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط. ۶ (۴): ۵۱-۶۶.
- میرموسوی، س. ح. و کریمی، ح. ۱۳۹۲. مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده  $MODIS$ : مطالعه استان کردستان. جغرافیا و توسعه. ۳۱: ۵۷-۷۶.
- میریعقوب‌زاده، م. ح.، خسروی، س. ا. و ذبیحی، م. ۱۳۹۸. مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آنها. آب و توسعه پایدار. ۶ (۱): ۱۰۳-۱۱۲.
- نگهبان، س.، باقری سیدشکری، س.، پاینده، ز.، نادری، س. و شیرآوند، پ. ۱۳۹۵. ارزیابی تاثیرگذاری رژیم آبدهی چشمه‌های کارستی از رخدادهای خشکسالی. مطالعه موردی: چشمه‌های کارستی
- خوضه رودخانه الوند. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳: ۱۶۳-۱۷۶.
- یوسفی، ح.، نوحه‌گر، ا.، خسروی، ز. و عزیزآبادی‌فراهانی، م. ۱۳۹۴. مدیریت و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های  $SPI$  و  $RDI$  (مطالعه موردی: استان مرکزی). اکوهیدرولوژی. ۲ (۳): ۳۳۷-۳۴۴.
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M. and Thomas, O. 2009. Impact of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environmental International*. 35 (8): 1225-1233.
- Ghasempour, R., Roushangar, K., Ozgur, V. S., Demirel, M. C. 2022. Analysis of spatiotemporal variations of drought and its correlations with remote sensing-based indices via wavelet analysis and clustering methods. *Hydrology Research*. 53 (1): 175-192.
- Gonçalves, S. T. N., Vasconcelos Júnior, F. D. C., Silveira, C. D. S., Cid, D. A. C., Martins, E. S. P. R. and Costa, J. M. F. D. 2023. Comparative Analysis of Drought Indices in Hydrological Monitoring in Ceará's Semi-Arid Basins, Brazil. *Water*. 15: 1259.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.
- Jenkins, K. and Warren, R. 2015. Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index. *Theoretical and Applied Climatology*. 120 (1): 41-54.
- Karczwrzyk, G. and Renman, A. 2011. Phosphorus accumulation Pattern in a subsurface constructed wetland treating residential wastewater. *Water*. 3: 146-156.
- Keshtkar, A. R., Moazami, N. and Afzali, A. 2021. Assessment of spatial interpolation techniques for drought severity analysis in Iran's Salt Lake Basin. *Desert*. 26 (1): 85-97.
- Kumar, N. M., Murthy, C. S., Sesha-Sai, M. V. R. and Roy, P. S. 2009. On the use of Standardized Precipitation Index ( $SPI$ ) for drought intensity assessment. *Meteorological Applications*. 16: 381-389.
- Levina, W. H., Seizarwati, W. and Vernimmen, R. 2016. Comparison of  $TRMM$  satellite rainfall and  $APHRODITE$  for drought analysis in the Pemali-Comal River Basin. *Procedia Environmental Sciences*. 33: 187-195.
- Lindsey, R. and Dahlman, L. 2021. Climate Change:

- Trenberth, K. E. 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*. 47 (1–2): 123–138.
- Vivekanandan, N. 2007. Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods, international symposium on rainfall rate and radio wave propagation. American institute of physics:101-113.
- Wilhelmi, O. V. and Wilhite, D. A. 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study. *Natural Hazards*. 25(1): 37-58.
- Wilhite, D. A. and Buchanan-Smith, M. 2005. Drought as hazard: Understanding the natural and social context. *Proceeding of drought and water crises: Science, Technology and Management Issues*. CRC Press, Boca Raton: 3-29.
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*. 10 (3): 111–120.
- Willeke, G., Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. and Guttman, N. B. 1994. The national drought atlas. Institute for Water Resources Report, U.S. Army Corps of Engineers.
- World Meteorological Organization (WMO). 2017. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203.
- Wu, G., Chen, J., Shi, X., Kim, J.-S., Xia, J., Zhang, L. 2022. Impacts of global climate warming on meteorological and hydrological droughts and their propagations. *Earth's Future*. 10(13).
- Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Svoboda, M. D. 2005. The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation. *International Journal of Climatology*. 25 (4): 505-520.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B. and Khan, F. I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19: 333-349.
- Zhang, R., Virgilio A. Junyu Qi, B., Xu, F., Wu, J., Qiu, J., Li, J., Shui, W. and Wang, Q. 2023. The First High Spatial Resolution Multi-Scale Daily SPI and SPEI Raster Dataset for Drought Monitoring and Evaluating Over China from 1979 to 2018. *Big Earth Data*. 7(3): 860-885.
- Zehtabian, G. H., Karimi, K., Nakhee Nejadfard, S., Mirdashtvand, M. and Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1 (9): 981-992.
- Global Temperature. News & Features.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. 17(22): 179-183.
- Mishra, A. K., Desai, V. R. and Singh, V. P. 2005. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrology Engineering, ASCE*. 12 (6): 626-638.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 391, 202-216.
- Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K. E. 2018. Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*. 4 (2): 145–163.
- Nunno, F. D., Marinis, G. D. and Granata, F. 2024. Analysis of SPI index trend variations in the United Kingdom- A Cluster-based and Bayesian ensemble algorithms approach. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 52, 101717.
- Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S. and Bordi, I. 2009. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water resources management*. 23(3): 439-455.
- Saada, N. and Abu-Rohmman, A. 2017. Multi-site Modelling and simulation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Jordan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 14: 83-91.
- Saifaldeen Oyoualsoud, M., Abdallah, M., Gokhan Yilmaz, A., Siddique, M. and Atabay, S. 2023. A new meteorological drought index based on fuzzy logic: Development and comparative assessment with conventional drought indices. *Journal of Hydrology*. 619, 129306.
- Shamsnia S. A. and Pirmoradian, N. 2009. Rectification of the Standardized Precipitation Index (SPI) Classification for Drought Evaluation in Fars Province (IRAN). 2 nd India Disaster Management Congress. National Institute of Disaster Management. 4-6 November.
- Stage, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F. and Stahl, K. 2015. Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*. 35 (13): 4027–4040.
- Subedi, M. R., Xi, W., Edgar, Ch. B., Rideout-Hanzak, S. and Hedquist, B. C. 2019. Assessment of geostatistical methods for spatiotemporal analysis of drought patterns in East Texas, USA. *Spatial Information Research*. 27: 11–21.

## Analysis of Meteorological Precipitation and Drought Trends and their Zoning in Kermanshah Province

M.Ehsani\*<sup>1</sup>, F.Nasrnia<sup>2</sup>, Sh.Didari<sup>3</sup>

Received: Mar. 17, 2025

Accepted: Oct. 28, 2025

### Abstract:

Drought is one of the most destructive weather events that causes significant damage to human life. One of the regions that has experienced mild to very severe droughts in recent years is Kermanshah province in western Iran. Therefore, the aim of the present study is to investigate the severity, frequency, and trend of drought in Kermanshah province. For this purpose, two indices, SPI and PNI, and Mann-Kendall, Senn, and Petit tests were used to investigate the stations of Kermanshah province. The results showed that the severity, duration, and percentage of drought occurrence in the studied stations were not the same, and the distribution of drought intensity-duration-frequency can be affected by climate, differences in the direction of elevation expansion, and the type and direction of entry of rain-generating systems. Based on the Petit test, only the three-month SPI in the Sonqor and Mahidasht stations and the six-month and twelve-month SPI for Mahidasht had a breaking point, which occurred in 2016. Based on the results of the two Mann-Kendall and Senn tests, there is a significant trend in the SPI-3, SPI-6 and SPI-12 series for Mahidasht station in all three SPI intervals. The trend of land use change, the increase in farmers' tendency to cultivate water crops in recent years and the increase in groundwater resources extraction are among the factors that directly and indirectly affect the drought trend and have caused the drought trend to increase in all three intervals or some time intervals despite the increasing trend of rainfall in some stations. Also, climate change and the occurrence of long-term droughts can be among the factors that, despite the decreasing trend of drought in Ravansar, Qasr-e-Shirin, Gilangharb, Sonqor and Paveh stations, the rainfall trend to decrease in these stations. Based on the results of drought zoning in the Kermanshah Plain, compared to other areas of Kermanshah province, the occurrence of droughts is more frequent than wet years, and the most severe drought occurred in 1400.

**Keywords:** Kermanshah, Meteorological Drought, Rainfall, Zoning, Trend

1- Ph.D Student, Department of Agricultural Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

(\* - Corresponding Author Email: maryamehsani@hafez.shirazu.ac.ir)