

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی در استان خراسان جنوبی

نفسه ایزدی<sup>۱</sup>، مهدی دستورانی<sup>۲\*</sup>، مهدی امیرآبادی زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده:

خشکسالی پدیده طبیعی مستمر اقلیمی است که به‌طور معمول در تمامی نقاط دنیا رخ می‌دهد ولی ویژگی‌ها، نوع و شدت آنها از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. در این مطالعه با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار R شدت خشکسالی شش شهرستان خراسان جنوبی در طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰ با شاخص‌های SPI و PNPI محاسبه و تغییرات ناگهانی خشکسالی آنها با استفاده از آزمون‌های من-کندال و پتیت بررسی گردید. نتایج شاخص SPI نشان داد طبعاً بیشترین شدت خشکسالی را در سال ۲۰۰۶ تجربه کرده و نتایج شاخص PNPI نشان داد سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۶ خشکسالی بسیار شدید رخ داده است. نتایج آزمون من-کندال در تحلیل روند بارش سالانه و شاخص PNPI نشان داد روند در پنج شهرستان در دهه ۱۹۹۰ کاهش یافته و بر روی شاخص SPI نشان داد در دو شهرستان روند بارش افزایشی و در سه شهرستان روند بارش کاهش یافته است. همچنین نتایج آزمون پتیت در تعیین نقطه تغییر ناگهانی بارش سالانه و شاخص PNPI نشان داد در همه شهرستان‌ها به جز طبس در سطح ۵ درصد معنادار بوده و بر روی سری زمانی شاخص SPI، همه شهرستان‌ها به جز قائن دارای تغییر ناگهانی بوده اند که این تغییرات در سال‌های اول مطالعه رخ داده و در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتایج آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و پتیت نشان داد تغییرات اقلیمی در استان خراسان جنوبی اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: خراسان جنوبی، شاخص SPI، شاخص PNPI، آزمون من-کندال، آزمون پتیت

مقدمه

وابسته به آب سرایت می‌کند. خشکسالی ناشی از کمبود بارش در مقایسه با مقدار مورد انتظار یا نرمال است و زمانی که این کمبود یک فصل یا بیشتر طول بکشد، تامین نیازهای انسانی و طبیعی با چالش مواجه خواهد شد (Ghasemi et al., 2021) از آنجایی که کشور ایران در سال‌های اخیر با خشکسالی مواجه بوده است، بنابراین تحقیقات در خصوص پایش همزمان و دقیق شرایط پویای خشکسالی جهت کاهش اثرات مخرب این بلای اقلیمی حایز اهمیت است (حاجی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). در ارزیابی خشکسالی، تعیین مجموعه‌ای از شاخص‌های مناسب و دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌توان شدت، بردار و مدت و وسعت خشکسالی را کمی کرده و به‌صورت دوره‌ای ارزیابی نمود (مزیدی و همکاران، ۱۴۰۲). شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ابزارهای مؤثری برای ارزیابی و پایش کیفی و اثرات خشکسالی هستند که برای مدیریت خشکسالی دارای کارایی بالایی هستند (زارع‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). از جمله شاخص‌های خشکسالی می‌توان به شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص معیار بارندگی سالانه (SAIP)، شاخص نرمال بارندگی (PNPI) و شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) اشاره کرد. (ایزدی و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین به

خشکسالی به دوره‌های زمانی کوتاه مدت و یا بلند مدتی اطلاق می‌گردد که در آن‌ها کمبود بارش، افزایش دما و در نتیجه کاهش رطوبت رخ می‌دهد و شدت خشکسالی‌ها به درجه کاهش بارش و کمبود رطوبت، مدت پایداری و بزرگی ناحیه تحت تاثیر بستگی دارد. (حاجی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). جوامع خشکسالی به مناطق خاصی محدود نمی‌شود و بسیاری از مردم را در سراسر جهان تحت تاثیر قرار می‌دهد. تفاوت خشکسالی با سایر مخاطرات طبیعی به دلیل دشواری در ارزیابی شروع و پایان و عدم وجود روش‌های کافی برای مقابله با آن است. شدت خود را به آرامی افزایش می‌دهد و می‌تواند تاثیر خود را حتی سال‌ها پس از پایان آن ادامه دهد. در کشاورزی معمولاً پیامدهای خشکسالی دیده می‌شود و به تدریج به سایر بخش‌های

۱- دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

\*- نویسنده مسئول: (Email: mdastourani@birjand.ac.ir)

حد نرمال در دوره‌های طولانی و افزایش دما به افزایش فراوانی رویدادهای خشکسالی هواشناسی کمک کرده است. همچنین طی ۲۰ سال گذشته، ترکیه به سمت شرایط خشک تر گرایش داشته و افزایش دما این روند را تقویت می‌کند. همچنین نتایج بیانگر خشکسالی متوسط با روش‌های SPI، SPEI و RDI در منطقه مورد مطالعه است. (Yaman Öz et al., 2024). دیلک تایلان پیش‌بینی خشکسالی آینده را برای دهه آینده (۲۰۲۴-۲۰۳۴) در ۹ ایستگاه هواشناسی در حوضه ساکاریا، واقع در شمال غربی ترکیه، با استفاده از داده‌های بارش ماهانه تاریخی از ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار داد. وی از یادگیری عمیق شاخص (SPI) و حافظه کوتاه مدت-بلند مدت (LSTM) جهت پیش‌بینی آینده استفاده کرد. نتایج مطالعه او نشان داد، مدل LSTM برای پیش‌بینی مقادیر SPI تاریخی و پیش‌بینی شده مناسب است. همچنین سری SPI پیش‌بینی شده از الگوهای خشکسالی گذشته پیروی کرده و روندهای مشابه در آینده نیز ادامه خواهد داشت (Dilek Taylan., 2024). خان محمدی و همکاران، خشکسالی در ایران را با استفاده از ۹ شاخص SPI، SPI2، SPI3، PNPI، RAI، DI، Z\_score، CZI و MCZI در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۱۴ محاسبه و مقایسه کردند. آنها با استفاده از شاخص خشکسالی انتخابی، روند سالانه دوره‌های تر و خشک را با آزمون من-کندال اصلاح شده محاسبه کردند. از بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص SPI به عنوان شاخص برتر انتخاب شد. این شاخص با توزیع نرمال برازش خوبی داشت. همچنین SPI بهترین قابلیت را برای تعیین خشکسالی شدید بر اساس حداقل بارش داشت. نتایج تجزیه و تحلیل خشکسالی بر اساس شاخص SPI نشان داد که حداقل یک رویداد خشکسالی در اکثر سال‌های مورد مطالعه (۸۲٪) رخ داده است. منعکس کننده شرایط خشکسالی در منطقه مورد مطالعه به ویژه در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ است. تحلیل روند دوره‌های مرطوب و خشک روند کاهشی شاخص SPI را در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد. روند کاهشی شاخص مذکور (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) در شمال غرب و غرب ایران معنی دار بود. مقادیر شیب خط روند مربوط به شاخص SPI در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه منفی بود. ایستگاه‌های تبریز و اصفهان به ترتیب دارای بیشترین مقدار شیب خط روند منفی (۰/۰۲۷-) و مثبت (۰/۰۲۵) بودند (Khanmohammadi et al., 2022). جهانگیر و سارانی راد به بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان جنوبی با استفاده از شاخص PNPI و Z استاندارد در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که خشکسالی اکثر ایستگاه‌ها با این دو روش در محدوده خشکی متوسط تا مرطوب متوسط بوده است. همچنین در این مطالعه نشان داده شد شاخص PNPI شاخص مناسب‌تری برای منطقه می‌باشد (جهانگیر و سارانی راد، ۱۳۹۸). حاجی‌آبادی و همکاران به ارزیابی خشکسالی در بیرجند با تاکید بر

منظور تحلیل روند داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی روش‌های مختلفی وجود دارد که به سه دسته روش‌های گرافیکی، پارامتری و ناپارامتری قابل تفکیک است. روش‌های ناپارامتری از کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردار می‌باشند (خسروی و آذری، ۱۴۰۱). در حالی که شاخص‌های پارامتریک خشکسالی توزیع آماری خاصی را بر اساس مجموعه داده‌های بلندمدت در ارزیابی‌های خشکسالی در نظر می‌گیرند، شاخص‌های غیر پارامتری خشکسالی بر اساس محاسباتی هستند که مستقل از توزیع داده‌ها هستند (Yaman Öz et al., 2024). در این روش‌ها فرض صفر ( $H_0$ ) نبود روند و فرض یک ( $H_1$ ) وجود روند در سری داده‌ها را آزمون می‌کند. آزمون من-کندال، اسپیرمن، شیب سن و آزمون پتیت از جمله روش‌هایی است که در تحلیل روند در مطالعات مختلف استفاده شده است. (خسروی و آذری، ۱۴۰۱). شا و همکاران طی مطالعاتی به محاسبه شاخص خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای منطقه سورت، در گجرات پرداختند، نتایج آنها نشان داد که مقدار مثبت SPI، شرایط نرمال و شرایط مرطوب را نشان می‌دهد و مقادیر کمتر از ۱- شرایط خشکسالی را نشان می‌دهد (Shah et al., 2015). یانجون و همکاران، با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های سیر تکاملی خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد (SPI) در حوزه رودخانه هواین به این نتیجه رسیدند که فراوانی خشکسالی در حوزه رودخانه هواین کاهش یافته و شدت خشکسالی در آغاز قرن ۲۱ افزایش یافته است (Yan-Jun et al., 2012). سعیده و همکاران، در جزیره لومبوک در اندونزی به ارزیابی مدت و فراوانی خشکسالی با استفاده از شاخص PNPI پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد PNPI یک تغییر مکانی را در مقدار بارندگی ماهانه تا میانگین بارندگی در سراسر جزیره لومبوک نشان داد که ناهمواری‌های طولانی مدت و شدید در کل مناطق مورد مطالعه با مدت زمان و تکرار متفاوت رخ داده است (Saidah et al., 2022). سرکر و همکاران، به بررسی مکانی و زمانی یک دوره خشک و مرطوب در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۸ با استفاده از شاخص‌های SPI، PNPI و ZSI در بنگلادش پرداختند. آنها برای تعیین روند دوره‌های خشک و مرطوب از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که از طریق آزمون من-کندال، روند دوره‌های مرطوب و خشک در اکثر ایستگاه‌ها منفی است. در مجموع هشت ایستگاه از بین ۳۰ ایستگاه منتخب، روند افزایشی و کاهشی را نشان می‌دهند که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بودند. همچنین برآوردگر شیب تغییرات خطوط روند را نشان داد (Sarker et al., 2022). یامان اوز و همکاران، به تجزیه و تحلیل خشکسالی با استفاده از داده‌های آب و هوایی بدست‌آمده از ۲۱۹ ایستگاه هواشناسی با توزیع همگن در ترکیه بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از سه شاخص SPI، SPEI و RDI پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد بارش‌های کمتر از

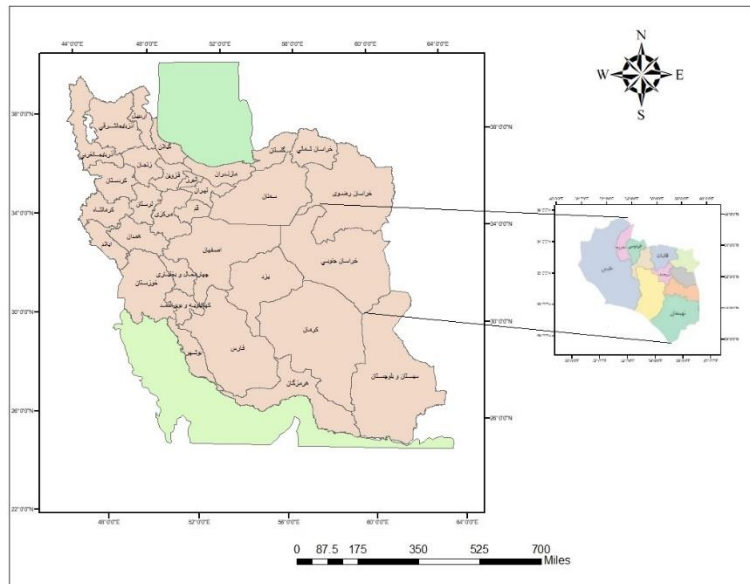
براساس آزمون من-کندال در ۵۹ درصد ایستگاه‌ها، یک روند معنی‌دار نزولی در سطح معنی‌داری ۵ درصد را نشان داد. همچنین تحلیل سری زمانی خشکسالی با دوره ماهانه بزرگتر از شش، روند تغییرات را بهتر از سری‌های زمانی کوتاه مدت نمایان می‌کند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به مطالعات صورت گرفته، ارزیابی و تحلیل روند بارش و بررسی نقاط تغییر ناگهانی برای همه شهرستان‌های استان خراسان جنوبی انجام نشده است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی خشکسالی در شش شهرستان استان خراسان جنوبی، تعیین روند و نقاط تغییر ناگهانی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، شش شهرستان استان خراسان جنوبی می‌باشد که در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۴ درجه عرض شمالی و ۵۷ تا ۶۰ درجه طول شرقی واقع شده است. (شکل ۱) پایین بودن عرض جغرافیایی و نزدیکی به مدار رأس السرطان سبب شده است که این استان تحت تأثیر مرکز پر فشار جنب حاره‌ای واقع شود و دارای رژیم بارش زمستانه باشد. (جهانگیر و سارانی راد، ۱۳۹۸)

شاخص خشکسالی پالم و اسنچی شده و عملکرد نسبی محصول گندم داریم پرداختند. آنها با استفاده از نرم‌افزار SC-PDSI شدت خشکسالی پالم برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۴ در مقیاس سالیانه و ماهیانه محاسبه کردند و روند خشکسالی را با استفاده از آزمون‌های آماری من‌کندال و پتیت بررسی کردند و در ادامه ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی و عملکرد نسبی محصول گندم داریم بررسی شد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تغییرات ناگهانی سری زمانی SPI سالیانه و ماهیانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن ماه می سال ۱۹۹۸ می‌باشد همچنین در مورد شاخص PDSI سالیانه و ماهیانه نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی PDSI سالیانه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن ماه فوریه سال ۲۰۰۰ می‌باشد (حاجی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). قربانی و همکاران به تحلیل روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از آزمون‌های من-کندال، سن و پتیت در استان اصفهان پرداختند. آنها خشکسالی اقلیمی استان اصفهان را توسط شاخص SPI مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری سن، پتیت و من-کندال روند بارش برای داده‌های اقلیمی ماهانه ۱۰ ایستگاه همدیدی با طول دوره آماری ۲۷ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۷) را برای سری‌های زمانی مختلف ماهانه محاسبه کردند، نتایج تحلیل روند براساس آزمون پتیت در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها، براساس آزمون سن در ۶۰ درصد ایستگاه‌ها و



شکل ۱- نقشه محدوده مطالعاتی

در دهه‌های اخیر با خشکسالی رو به رو بوده است، انتخاب گردید. جهت بررسی خشکسالی و بررسی روند تغییرات بارشی در شش شهرستان استان خراسان جنوبی داده‌های مربوط به بارش روزانه شش

### داده‌ها و روش کار

پدیده خشکسالی در دوره‌های پیاپی، کشور ایران را در بر گرفته است. از این رو جهت بررسی این پدیده استان خراسان جنوبی را که

ماهانه محاسبه می‌شوند، از داده‌های روزانه میانگین‌گیری و یک عدد متوسط برای هر ماه به‌دست آمد. سپس خروجی‌های حاصل از SPI و PNPI جهت محاسبه روند و نقطه تغییرناگهانی با آزمون من-کندال و آزمون پتیت آماده شدند. در ادامه به معرفی شاخص‌های خشکسالی و آزمون‌های ناپارامتری پرداخته می‌شود.

ایستگاه سینوپتیک بیرجند، نهبندان، طبس، قائن، فردوس و بشرویه برای دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) از اداره هواشناسی استان اخذ گردید. موقعیت ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است. به دلیل وجود گپ بین داده‌ها، گپ‌ها توسط میانگین‌گیری از روزهای اطراف پر شد. از آنجایی که شاخص‌های خشکسالی SPI و PNPI بر اساس داده

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه مورد مطالعه	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
بیرجند	سینوپتیک	۱۵۰۴	۵۹/۲۵	۳۲/۹۰
نهبندان	سینوپتیک	۱۱۸۸	۶۰/۰۳	۳۱/۵۳
طبس	سینوپتیک	۷۱۱	۵۶/۹۵	۳۳/۶۰
قائن	سینوپتیک	۱۴۳۲	۵۹/۱۸	۳۳/۷۳
فردوس	سینوپتیک	۱۳۹۳	۵۸/۱۸	۳۴/۰۳
بشرویه	سینوپتیک تکمیلی	۸۷۹	۵۷/۲۶	۳۳/۵۲

جدول ۲- وضعیت بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه برحسب میلیمتر (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

پارامترها	بیرجند	نهبندان	طبس	قائن	فردوس	بشرویه
کمینه	.	.	.	.	.	.
بیشینه	۲۱/۵	۴/۶	۱/۹	۱۳/۰	۳/۰	۲/۶
میانگین سالانه	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۴	۰/۳
انحراف معیار	۱/۲۵	۰/۶۶	۰/۳۶	۰/۹۴	۰/۵۷	۰/۴۲
واریانس	۱/۵۷	۰/۴۴	۰/۱۳	۰/۸۹	۰/۳۲	۰/۱۸
ضریب تغییرات	۲/۶۲	۱/۹۸	۱/۶۰	۱/۹۱	۱/۵۲	۱/۶۰
چولگی	۲۰/۷۳۲	۱۱/۳۹	۴/۴۶	۸۴/۱	۴/۰۸	۶/۰۷
کشیدگی	۱۲/۹۳	۳/۱۸	۲/۰۶	۷/۰۸	۲/۰۱	۲/۲۷

## معرفی شاخص‌های خشکسالی

### ۱-۱- شاخص بارش استاندارد (SPI):

این شاخص توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) به منظور تعیین و پایش خشکسالی ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و با توجه به انحراف معیار آن به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است (نژاد مقبلی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، این شاخص، داده‌های بارش ثبت شده در بلند مدت را به یک توزیع احتمالاتی برازش داده و سپس به یک توزیع نرمال، تغییر شکل می‌دهد. به طوری که میانگین SPI در مکان و دوره زمانی مورد نظر صفر است (مصطفی‌زاده و ذبیحی ۱۳۹۵). در این تحقیق برای محاسبه شاخص SPI از پکیج Drought در نرم‌افزار R استفاده گردید. در این روش مقدار شاخص SPI با ۴ توزیع احتمالاتی گرینگورتن (EmpGrin)، ویبال (EmpWeib)، گاما (Gamma) و لوگ‌نرمال (Lognormal) محاسبه می‌شود. نتایج

پژوهش‌های بسیاری از محققان نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تابع احتمال برای R برازش داده‌های بارندگی تابع توزیع گاما می‌باشد (مصطفی‌زاده و ذبیحی ۱۳۹۵، ایزدی همکاران، ۱۴۰۲) تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه ۱ است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \rho(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

در رابطه فوق، X مقدار متغیر،  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب پارامتر شکل و مقیاس توزیع هستند.  $\rho(\alpha)$  نیز تابع ضریب گاما است و براساس رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$\rho(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی برای برآورد پارامترهای توزیع گاما مناسب است که نیاز به رایانه و الگوریتم‌های تکراری دارد. روش تام (۱۹۵۸) یکی از روش‌های محاسبه پارامترها است و بر اساس این روش ضریب‌های  $\alpha$  و  $\beta$  به صورت رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند:

که  $n$  در آن، تعداد بارش‌ها است (ایزدی همکاران، ۱۴۰۲). لازم به توضیح است که به دلیل وقوع چولگی داده‌های بارش، می‌بایست قبل از محاسبه SPI، داده‌ها نرمال شوند. طبقه‌بندی شاخص SPI طبق جدول ۲ انجام می‌شود:

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{\beta} \quad (۳)$$

$$\beta = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (۴)$$

که در آن  $A$  با رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$A = \ln(\bar{X} - \frac{\sum \ln(X)}{n}) \quad (۵)$$

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص SPI

وضعیت	فرا مرطوب	بسیار مرطوب	نسبتاً مرطوب	نزدیک نرمال	نسبتاً خشک	بسیار خشک	فرا خشک
SPI	$\geq 2$	۱/۹۹ تا ۱/۵	۱ تا ۱/۴۹	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	$\leq -2$

مدت برای دوره‌های مورد مطالعه است (جهانگیر و سارانی راد، ۱۳۹۸). شاخص درصد بهنجار بارندگی به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$PNPI = \frac{p_i}{\bar{p}} \times 100 \quad (۶)$$

که در آن  $p_i$  مقدار بارش و  $\bar{p}$  میانگین دراز مدت بارندگی می‌باشد. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی توسط شاخص PNPI در جدول ۳ آمده است:

### ۱-۲- شاخص بارش نرمال (PNPI):

این شاخص توسط ویلکی و همکارانش در سال ۱۹۹۴ ارائه شد و از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که می‌تواند در ارزیابی خشکسالی استفاده گردد. این شاخص از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال به دست می‌آید و مقدار آن بر حسب درصد بیان می‌شود. این شاخص برای بازه‌های مختلف زمانی بارش (ماهانه، فصلی، سالانه و روزانه) محاسبه می‌شود. محاسبه این شاخص نیازمند داشتن مجموع بارندگی‌های ماه مورد نظر و میانگین بارش ماهانه بلند

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص PNPI

طبقه	درصد PNPI	طبقه	درصد PNPI
بسیار مرطوب	$\geq 160$	خشکسالی ضعیف	۷۰ تا ۸۰
نسبتاً مرطوب	۱۶۰ تا ۱۴۵	خشکسالی متوسط	۵۵ تا ۷۰
مرطوب	۱۴۵ تا ۱۳۰	خشکسالی شدید	۴۰ تا ۵۵
نیمه مرطوب	۱۳۰ تا ۱۲۰	خشکسالی بسیار شدید	$\leq 40$
نرمال	۱۲۰ تا ۸۰		

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۷)$$

که در آن تعداد مشاهدات سری و  $x_i$  و  $x_j$  به ترتیب داده‌های  $i$  ام و  $j$  ام سری هستند، تابع علامت نیز طبق رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

انحراف معیار  $s$  نیز طبق رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$\text{VAR}(s) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (۹)$$

که در آن  $q$  تعداد گروه‌های دارای گره (گروه گره‌دار عبارت است

### ۲- معرفی آزمون‌های ناپارامتری

#### ۲-۱- آزمون من-کندال<sup>۱</sup>

یکی از روش‌های پرکاربرد در بررسی تغییر روند داده‌ها، آزمون ناپارامتری من-کندال می‌باشد. در حقیقت این روش برای اولین بار توسط من در سال ۱۹۴۵ استفاده شد و کندال در سال ۱۹۷۵ توزیع آماری این آزمون را به دست آورد. برای محاسبه آزمون من-کندال ابتدا داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب شده سپس هر داده با تمام داده‌های قبل از خود بدون در نظر گرفتن تأثیر توزیع آن‌ها مقایسه می‌شود. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. (زارعی و اسلامیان، ۲۰۱۷) برای محاسبه آماره این آزمون ابتدا پارامتر  $s$  با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

می‌شود:

$$p \approx \exp\left[\frac{-6k^2}{n^3 + n^2}\right] \quad (۱۳)$$

اگر در  $p$  آزمون پتیت،  $p$  کمتر از سطح معناداری ۵ درصد باشد، فرض صفر (عدم وجود نقطه ی شکست) در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می شود.

## نتایج و بحث

### ۱- شاخص بارش استاندارد (SPI):

در این پژوهش جهت محاسبه شاخص SPI از پکیج Drought در نرم افزار R استفاده شد. جهت ورود داده‌ها به نرم‌افزار ابتدا داده‌های روزانه شش ایستگاه مورد پژوهش به میانگین ماهانه تبدیل شد و سپس وارد نرم‌افزار گردید. یکی از ویژگی‌های شاخص SPI این است که قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه را دارد. اما هرچه مقیاس زمانی مورد مطالعه بزرگ‌تر باشد، توزیع داده‌ها به سوی نرمال گرایش بیشتری می‌یابد. از آنجا که SPI سه ماهه و شش ماهه شرایط رطوبتی کوتاه مدت را منعکس می‌کنند، در این پژوهش، مقیاس مطالعه ۱۲ ماهه در نظر گرفته شد. همانطور که گفته شد پکیج Drought جهت محاسبه شاخص SPI از چهار توزیع احتمالاتی استفاده می‌کند که در این پژوهش از توزیع احتمالاتی گاما استفاده شد. نتایج شاخص SPI برای هر ایستگاه در شکل ۲ آمده است:

با توجه به شکل ۲ پدیده خشکسالی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که از شدت و فراوانی وقوع زیادی برخوردار است. نتایج شاخص SPI حاکی از آن است که در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ وقوع ترسالی‌ها بیشتر بوده و در باقی سال‌ها خشکسالی پدیده غالب می‌باشد. سال ۲۰۰۸ بیشترین خشکسالی را نشان می‌دهد به طوری که سه ایستگاه نهبندان، طبس و بشرویه در طبقه نسبتاً خشک و ایستگاه طبس در طبقه بسیار خشک قرار گرفته است. همچنین سال ۲۰۰۶ شهرستان طبس بیشترین شدت خشکسالی را با مقدار ۲/۴۵- تجربه کرده است. با توجه به شکل ۲ ایستگاه بیرجند تعداد سال‌هایی که خشکسالی را تجربه کرده نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده اما شدت خشکسالی آن نزدیک به نرمال است. در نهایت با توجه به نتایج و اینکه شاخص SPI ۱۲ ماهه میانگین بارندگی ۱۲ ماه قبل را در نظر می‌گیرد، خشکسالی را به طبقه نرمال سوق داده است. بنابراین وضعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه نزدیک به نرمال می‌باشد.

### ۲- شاخص بارش نرمال (PNPI):

محاسبه شاخص PNPI با کد نویسی در نرم افزار R انجام شد. ورود داده‌ها به نرم‌افزار به صورت ماهانه از هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) انجام شد.

از داده‌های برابر و با بیش از دو عضو) که در آن  $q$  تعداد گروه‌های دارای گره (گروه گره‌دار عبارت است از داده‌های برابر و با بیش از دو عضو)  $t_p$  تعداد داده‌های برابر در  $p$  امین گروه می‌باشد. در نهایت آماره  $Z$  آزمون ناپارامتری من- کندال با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود. تعداد داده‌های برابر در  $p$  امین گروه می‌باشد.

$$Z_m = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{VAR(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{VAR(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

مقادیر منفی و مثبت  $Z_m$  به ترتیب بیانگر روند کاهشی و روند افزایشی در سری داده‌هاست. با توجه به سطح اطمینان ۹۵٪ اگر  $|Z_m| > ۱/۹۶$  باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی مورد مطالعه، رد و در این صورت وجود روند در سری داده‌ها پذیرفته می‌شود. (ذاکری و همکاران، ۲۰۱۹، زارع پور و همکاران، ۱۴۰۱)

### ۲-۲- آزمون پتیت:

یکی از انواع آزمون همگنی (نقطه تغییر) آزمون پتیت است که توسط پتیت ۱۹۷۹ ارائه شده است. آماره آزمون پتیت بیان می‌کند که دنباله از متغیرهای تصادفی  $x_1, x_2, \dots, x_n$  دارای نقطه ی تغییر است، هرگاه  $x_t$  به ازای  $t = 1, 2, \dots, \tau$  دارای توزیع مشترک  $F_1$  و  $x_t$  به ازای  $t = \tau + 1, \tau + 2, \dots, n$  دارای توزیع مشترک  $F_2$  باشد و داشته باشیم  $F_1 \neq F_2$ . پتیت هیچ فرضی راجع به توزیع‌های  $F_1$  و  $F_2$  در نظر نگرفته است مگر اینکه این توزیع‌ها پیوسته باشند. در این آزمون فرض صفر ( $H_0$ ) نبود روند و فرض یک ( $H_1$ ) وجود روند در سری داده‌ها را آزمون می‌کند. فرض صفر بیان می‌کند که دنباله  $x_1, x_2, \dots, x_n$  دارای نقطه تغییر نیست، یا  $n = \tau$  و فرض مقابل بیان می‌کند که دنباله مذکور دارای نقطه تغییر است، یا  $1 \leq t \leq n$ . برای انجام آزمون ابتدا  $U_{t,n}$  به ازای  $1 \leq t \leq n$  طبق رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (۱۱)$$

ماکزیم قدر مطلق مجموعه‌های  $U_{t,n}$  موقعیت مکانی مربوط به نقطه تغییر  $1 \leq t \leq n$  را (در صورت وجود) بدست می‌دهد. به عبارت دیگر آماره‌ی این آزمون، طبق رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

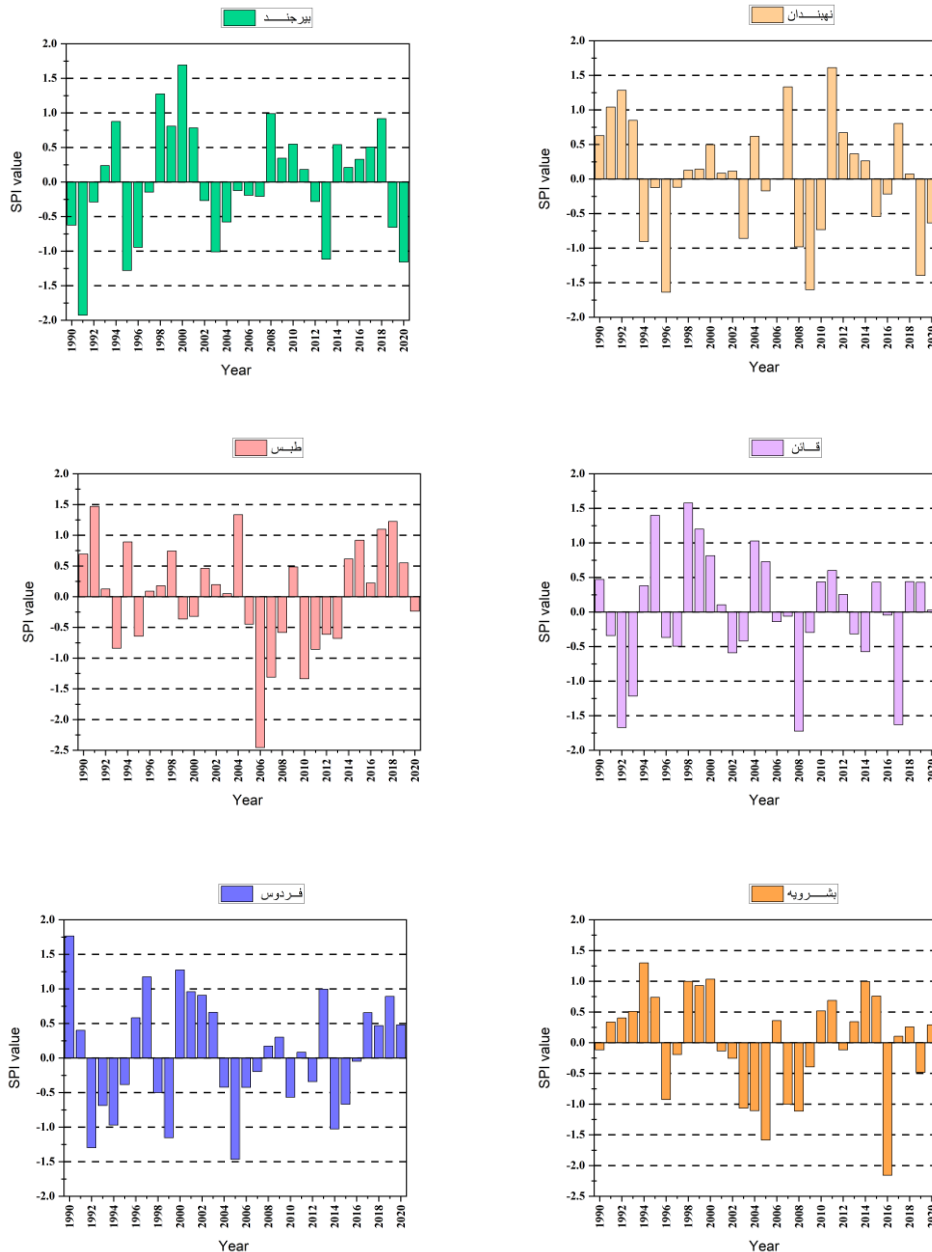
$$k_n = \max_{1 \leq t \leq n} |U_{t,n}| \quad (۱۲)$$

و  $p$  مقدار مرتبط با این آزمون توسط رابطه ۱۳ تقریب زده

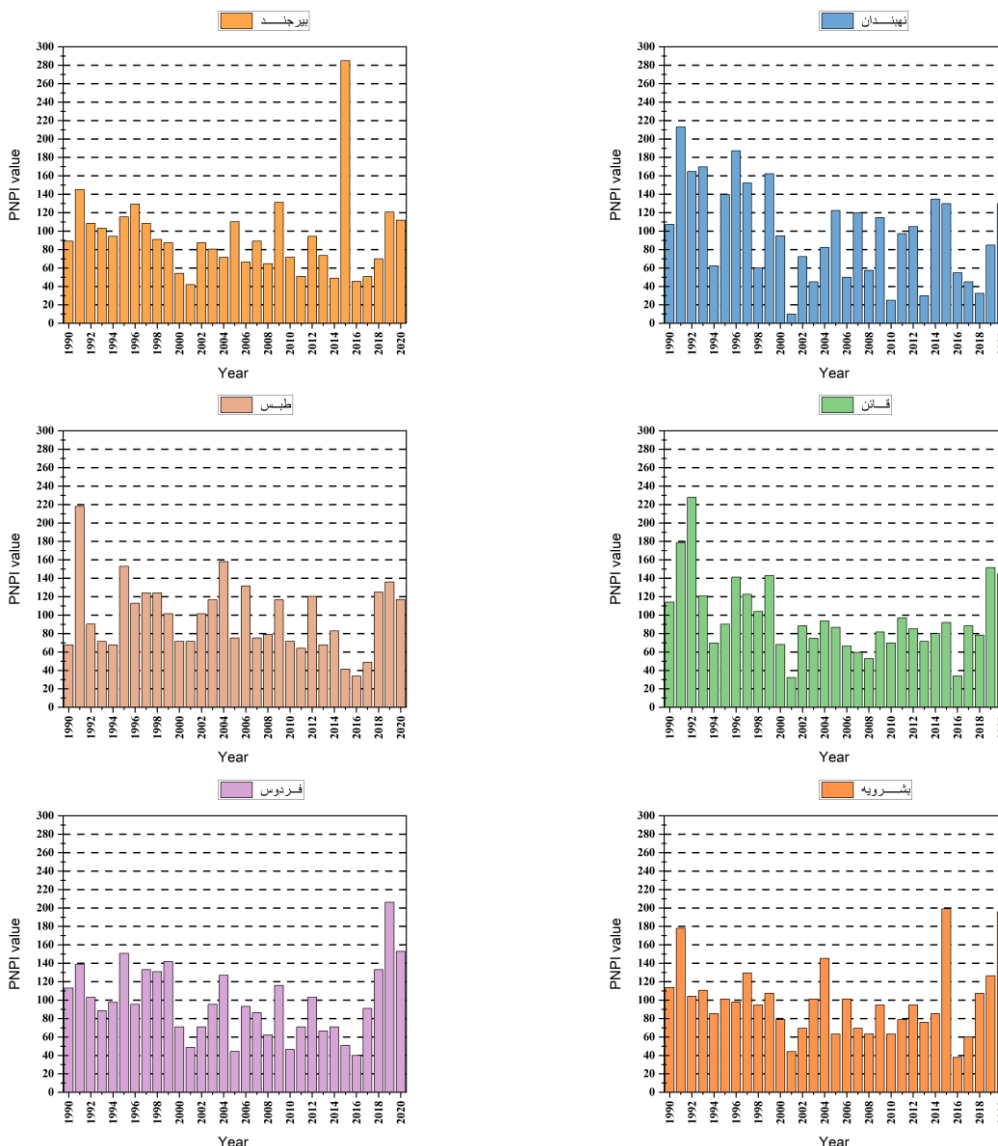
خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. شدیدترین خشکسالی در ایستگاه نهبندان با مقدار ۹/۹۸ در سال ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. همچنین ایستگاه بیرجند در سال ۲۰۱۵ بیشترین مقدار PNPI را تجربه کرده است. از آنجایی که شاخص PNPI خشکسالی به طور مجزا برای هر ماه محاسبه می‌شود، کمبود بارش در فصول گرم می‌تواند میزان خشکسالی را در کل سال کاهش دهد.

نتایج شاخص درصد نرمال بارندگی ایستگاه‌های مورد پژوهش در شکل ۳ آمده است:

همانگونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، خشکسالی در همه شهرستان‌های مورد مطالعه دیده می‌شود، اما بیشتر سال‌ها در طی دوره آماری، خشکسالی در حد نرمال بوده است. با توجه به نتایج محاسبات انجام شده شهرستان‌های بیرجند، قائن و نهبندان در سال ۲۰۰۱ و شهرستان‌های فردوس، طبس، بشرویه در سال ۲۰۱۶



شکل ۲- نمودار شاخص SPI به تفکیک شهرستان



شکل ۳- نمودار شاخص PNPI به تفکیک شهرستان

### ۳- نتایج آزمون روند و نقطه تغییر ناگهانی:

در این پژوهش از آزمون پتیت و من-کندال جهت شناسایی روندهای سالانه در سری زمانی بارش، شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) و شاخص بارش نرمال (PNPI) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰ استفاده و با کدنویسی در نرم‌افزار R محاسبه شدند. روند داده‌های بارش و شاخص‌های خشکسالی با استفاده از آزمون من-کندال در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آمده است. چگونگی انجام این آزمون به این صورت است که منحنی  $U$  نسبت به سال رسم شده و منحنی  $U'$  پس از مرتب کردن نزولی سال‌های آماری رسم می‌شود. اگر روند معنی‌دار در داده‌ها وجود داشته باشد این دو منحنی یکدیگر را قطع می‌کنند. اگر این خطوط همدیگر

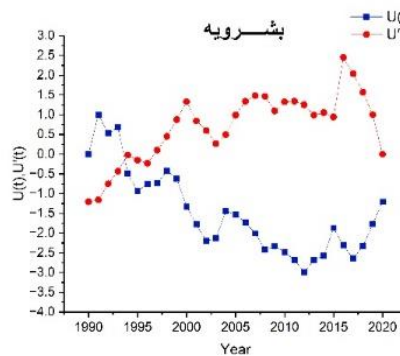
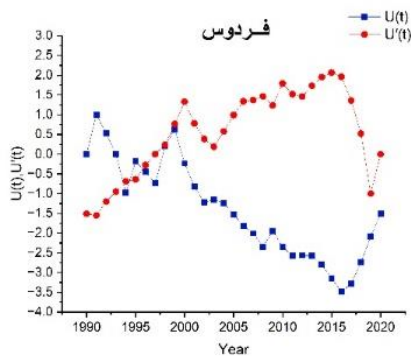
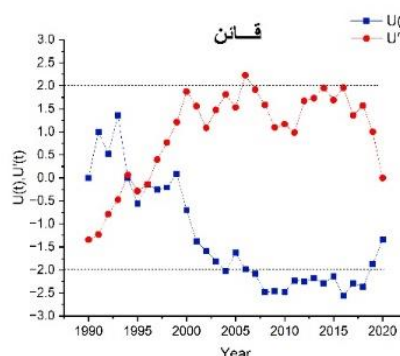
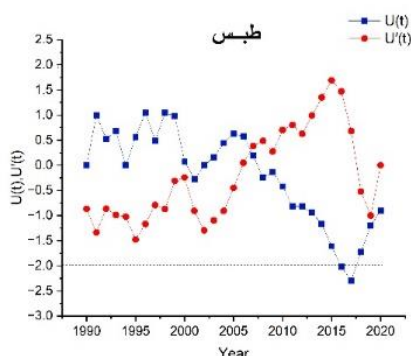
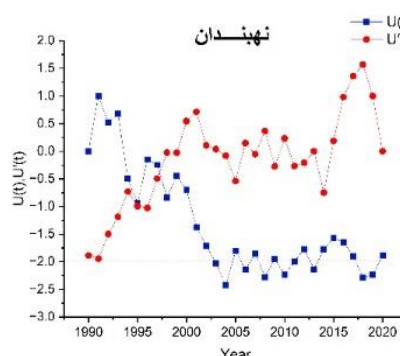
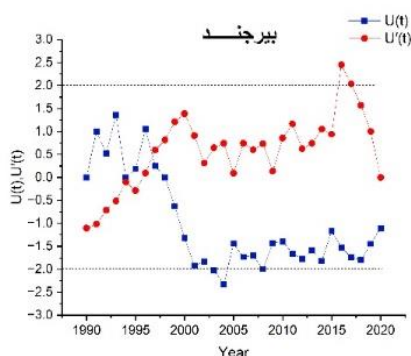
را در داخل محدوده بحرانی  $(\pm 1.96)$  قطع کنند نشانه زمان تغییر ناگهانی در داده‌ها است ولی اگر نقطه تقاطع در خارج این محدوده باشد، بیانگر وجود روند در سری زمانی داده‌ها است. (حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳)

#### ۳-۱- تحلیل روند بارش سالانه:

نتایج محاسبه آزمون من-کندال در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بر سری زمانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد ایستگاه‌های بیرجند، نهبندان، قائن، فردوس و بشرویه در دهه ۱۹۹۰ دارای روند کاهشی بوده که بیانگر افزایش خشکسالی در همان دهه است (شکل ۴). بررسی احتمال نقطه تغییر ناگهانی آزمون پتیت بر روی

نهپندان، فردوس، بشرویه در سال ۱۹۹۹ تغییر کرده است و بارش به طور متوسط در این پنج ایستگاه به اندازه ۰/۱۵ کاهش داشته است. نتایج هر دو آزمون، روند و نقطه تغییر افزایشی خشکسالی را نشان می‌دهند که بیانگر وجود خشکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

سری زمانی در سطح ۹۵ درصد اطمینان نشان داد مقدار  $p$ -value آزمون پتیت در ایستگاه‌های بیرجند، قائن، نهپندان، فردوس، بشرویه کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد که نشان می‌دهد ایستگاه‌های نام برده دارای روند هستند. ایستگاه طبس با توجه به بالا بودن مقدار  $p$  آزمون پتیت روند معناداری نداشت. (جدول ۴). همچنین نتایج آزمون پتیت نشان داد روند در ایستگاه بیرجند در سال ۱۹۹۸ و ایستگاه‌های قائن،

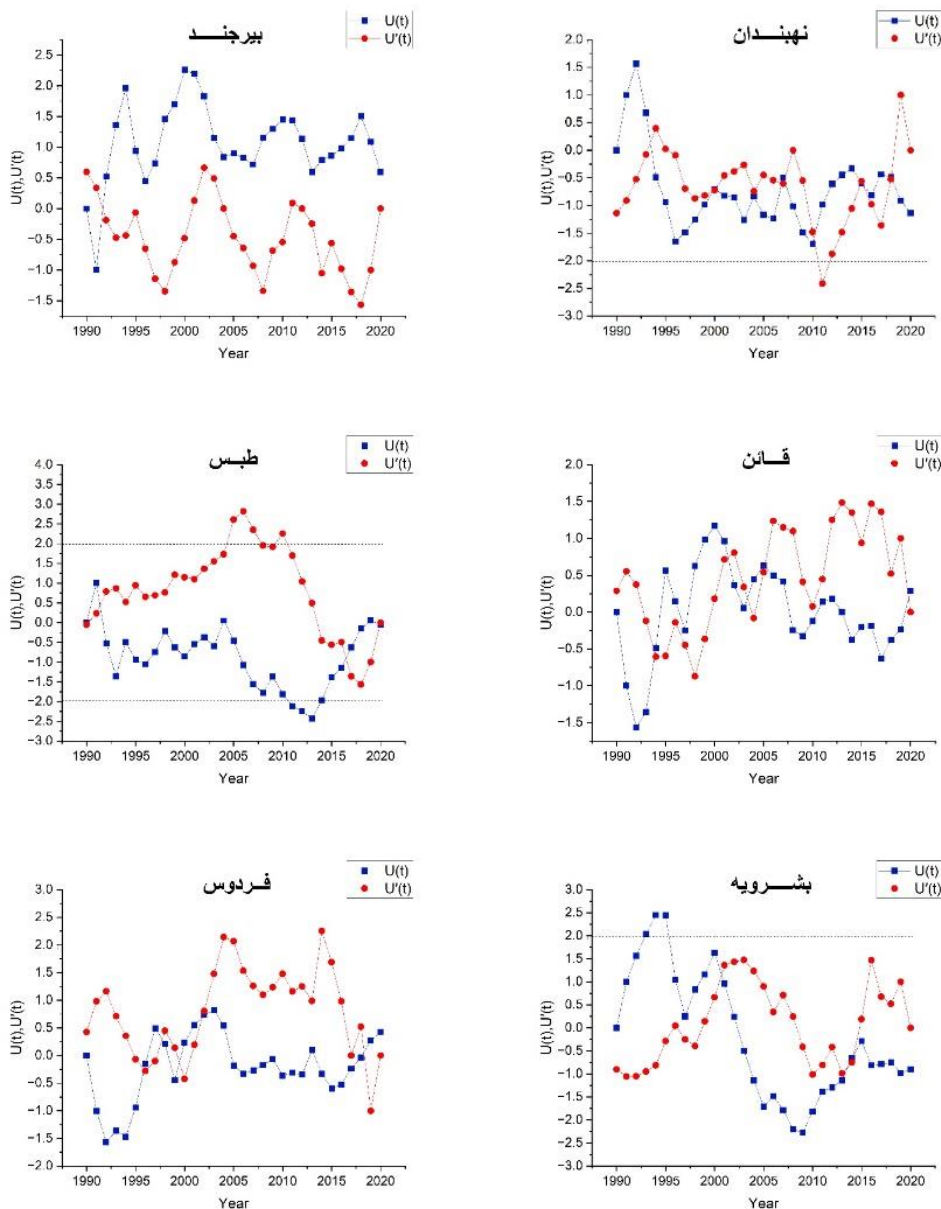


شکل ۴- نتایج بدست آمده از آزمون من-کندال در بارش سالانه

جدول ۴- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در بارش سالانه

ایستگاه	بیرجند	نهبندان	طیس	قائن	فردوس	بشرویه
p-value	*./۰.۲۰۵	*./۰.۴۹۵	./۰.۶۴۸	*./۰.۳۹۱	*./۰.۳۹۱	*./۰.۱۸۸
U*	۱۵۳	۱۲۴	۷۸	۱۴۲	۱۴۲	۱۶۷

\* نشاندهنده وجود نقطه تغییر ناگهانی



شکل ۵- نتایج بدست آمده از آزمون من-کندال با شاخص SPI

سال ۲۰۰۲ افزایشی بوده و در شهرستان های نهبندان از سال ۱۹۹۴ ، طیس از سال ۱۹۹۲ و بشرویه از سال ۲۰۰۱ روند کاهشی داشته‌اند. (شکل ۵) بررسی نتایج آزمون پتیت نشان‌دهنده وجود نقطه

### ۲-۳- تحلیل روند سری زمانی با شاخص SPI:

نتایج اعمال آزمون من-کندال بر سری زمانی شاخص SPI نشان داد روند بارش در شهرستان‌های بیرجند از سال ۱۹۹۲ و در فردوس از

اندازه ۰/۸۸ افزایش یافته است. نقاطی که تغییرات در آنها مشاهده شده است، در سال‌های اولیه صورت گرفته و در انتهای سری زمانی تغییرات زیادی مشاهده نشده است. در همه ایستگاه‌ها، شاخص SPI نزدیک نرمال بوده اما به سمت طبقه نسبتاً خشک می‌روند. همچنین با توجه به نتایج محاسبات ایستگاه قائن با  $p=0.124$  روند خشکسالی معنادار نبود. (جدول ۵)

تغییر ناگهانی در ایستگاه‌های بیرجند، فردوس و طبس به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۳، ۱۹۹۲ است. همچنین ایستگاه‌های نهبندان و بشرویه به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۳ دارای نقطه تغییرند و در سطح ۵ درصد معنادار شده‌اند (جدول ۵). با توجه به نتایج محاسبات، خشکسالی در بیرجند، فردوس و طبس به طور متوسط به اندازه ۰/۶۹ کاهش داشته و در ایستگاه‌های نهبندان و بشرویه به طور متوسط به

جدول ۵- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی SPI

ایستگاه	بیرجند	نهبندان	طبس	قائن	فردوس	بشرویه
p-value	*۰.۰۴۷۳	*۰.۰۴۴۱	*۰.۰۳۰۷	۰/۱۲۴	*۰/۰۴۹۶	*۰.۰۱۴۴
U*	۱۳۰	۱۳۸	۱۴۸	۹۷	۱۱۶	۱۶۲

\* نشان‌دهنده وجود نقطه تغییر ناگهانی

شدت خشکسالی در دوره مطالعه بوده و طبس بیشترین شدت خشکسالی را با شدت ۲/۴۵- در سال ۲۰۰۶ تجربه کرده است. همچنین با توجه به شاخص PNPI ایستگاه‌های بیرجند، قائن، و نهبندان در سال ۲۰۰۱ و ایستگاه‌های فردوس، طبس و بشرویه در سال ۲۰۱۶ خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند. نتایج کلی شاخص SPI و PNPI نشان داد خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حد نرمال است.

رفتار روند بر اساس آزمون من-کندال و پتیت بر روی بارش سالانه نشان داد در پنج ایستگاه مورد مطالعه (به جز طبس) در دهه ۱۹۹۰ در سطح ۵ درصد معنادار بوده و روند کاهشی داشته است. همچنین بارش به طور متوسط در این پنج ایستگاه به اندازه ۰/۱۵ کاهش یافته است.

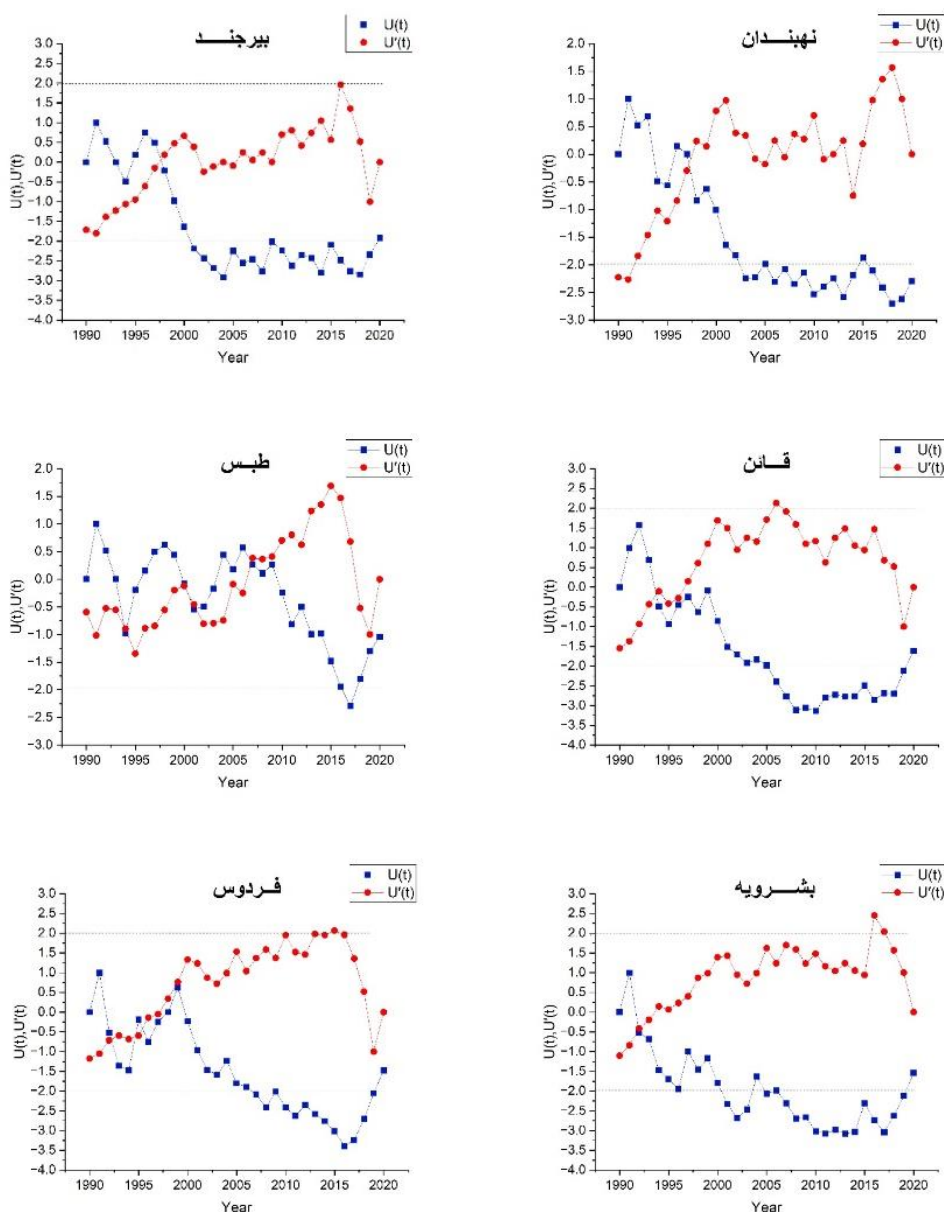
اعمال آزمون من-کندال و پتیت بر روی سری زمانی با شاخص SPI نشان داد در بیرجند و فردوس روند افزایشی و در نهبندان، طبس و بشرویه روند بارش کاهشی بوده و در سطح ۹۵٪ اطمینان معنادار است. با توجه به نتایج در همه ایستگاه‌ها، شاخص SPI نزدیک نرمال بوده و به سمت طبقه نسبتاً خشک می‌روند. نتایج آزمون من-کندال و پتیت بر روی سری زمانی با شاخص PNPI نشان داد روند در پنج ایستگاه (به جز طبس) کاهشی بوده که سال‌های اول مطالعه رخ داده است. روند در این پنج ایستگاه در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنادار شده است و با توجه به طبقه بندی، شاخص خشکسالی سمت طبقه خشکسالی ضعیف پیش می‌رود. نتایج کلی آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و پتیت نشان داد تغییرات اقلیمی در استان خراسان جنوبی اتفاق افتاده است و نتایج آزمون من-کندال با آزمون پتیت همخوانی دارد. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد شاخص PNPI برای محاسبه خشکسالی در خراسان جنوبی نتیجه بهتری دارد.

### ۳-۳- تحلیل روند سری زمانی با PNPI :

اعمال آزمون من-کندال بر روی سری زمانی PNPI نشان داد روند بارش در پنج شهرستان بیرجند، نهبندان، قائن، فردوس و بشرویه در دهه ۱۹۹۰ و شهرستان طبس در دهه منتهی به ۲۰۰۰ کاهشی بوده که بیانگر افزایش خشکسالی‌ها در این شهرستان‌ها می‌باشد. جهت بررسی وجود نقطه تغییر ناگهانی آزمون پتیت بر روی سری زمانی PNPI انجام شد که نتایج آزمون حاکی از آن است که نقطه تغییر ناگهانی در ایستگاه‌های قائن، نهبندان، فردوس و بشرویه در سال ۱۹۹۹ و ایستگاه بیرجند در سال ۱۹۹۸ در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنادار است. هر دو آزمون من-کندال و پتیت، روند و نقطه تغییر کاهشی شاخص PNPI را نشان می‌دهند که به طور متوسط خشکسالی به اندازه ۳۹/۲۹ افزایش یافته است. با توجه به طبقه بندی، شاخص خشکسالی در حد نرمال است اما به سمت طبقه خشکسالی ضعیف پیش می‌رود. همچنین در این شاخص نیز مقدار p برای ایستگاه طبس بالای ۰/۰۵ بود. بنابراین خشکسالی در این شهرستان روند معناداری ندارد. (جدول ۶)

### نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی وجود روند تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی شاخص خشکسالی SPI و PNPI در شش شهرستان خراسان جنوبی در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و پتیت انجام شد. بدین منظور دو شاخص SPI و PNPI در نرم‌افزار R کدنویسی شدند. سپس وجود روند و نقطه تغییر ناگهانی توسط آزمون من-کندال و آزمون پتیت برای هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی در R محاسبه شدند. با توجه به شاخص SPI پدیده خشکسالی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده شده است که سال ۲۰۰۸ بیشترین



شکل ۶- نتایج بدست آمده از آزمون من-کندال با شاخص PNPI

جدول ۶- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی PNPI

ایستگاه	بیرجند	نهبندان	طبس	قائن	فردوس	بشرویه
p-value	*./۰۱۱۴	*۰۰۰۲۴۸	۰۰۶۶۷۴	*./۰۲۹۵	*۰۰۱۰۴	*۰۰۲۴۲
U*	۱۷۲	۱۵۰	۷۵	۱۴۷	۱۷۹	۱۴۹

\*نشان دهنده وجود نقطه تغییر ناگهانی

SPI سالانه بیرجند با استفاده از آزمون پتیت بیانگر وجود نقطه تغییر در سال ۱۹۹۸ و روند کاهشی برای بیرجند می باشد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج مطالعه سارانی راد و جهانگیر

نتایج پژوهش حاجی آبادی و همکاران (۱۳۹۶) نشان می دهد بارندگی در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ در بیرجند با استفاده از آزمون آماری من کندال دارای روند کاهشی بوده و همچنین تحلیل سری زمانی

مصطفی‌زاده، ر. و ذبیحی، م. ۱۳۹۵. تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R - بررسی موردی: استان کردستان. مجله فیزیک زمینی و فضا. ۴۲(۳): ۶۳۳-۶۴۳.

نژاد مقبلی، ن.، مساعدی، ا.، آذری، م.، اسماعیلی، ک. و فریدحسینی، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI و ارتباط آنها با خشکسالی منبع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت جیرفت). چهاردهمین همایش کلی آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان.

Dilek Taylan, E. 2024. An Approach for Future Droughts in Northwest Türkiye: SPI and LSTM Methods. Sustainability, 16(16): 6905

Ghasemi, P., Karbasi, M., Zamani Nouri, A., Sarai Tabrizi, M. and Azamathulla, H. M. 2021. Application of Gaussian process regression to forecast multi-step ahead SPEI drought index. Alexandria Engineering Journal, 60: 5375-5392.

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.

Khanmohammadi, N., Rezaie, H. and Behmanesh, J. 2022. Investigation of Drought Trend on the Basis of the Best Obtained Drought Index. Water Resources Management. 36:1355-1375

Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to change point problem, Applied Statistics, 28: 126-135

Saidah, H., Budianto, M. B., Yasa, I. W., Hidayat, S., Jaya Negara, I. D. G. and Sulistiyono, H. 2022. Assessment of Duration and Frequency of Drought by Percent Normal Precipitation Index (PNPI) for Lombok Island. Journal of Science and Science Education: 3(1): 22-29.

Sarker, A. R., Bin Ansar, S., Zannat, E. and Sarkar, K. S. 2022. A Meteorological Drought Index-Based Approach: A Spatial and Temporal Investigation of Wet and Dry Period Trends in Bangladesh between 1980 and 2018. Research Square: 1-29.

Shah, R., Bharadiya, N. and Manekar, V. 2015. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index(SPI) Method For Surat District, Gujarat Aquatic Procedia 4: 1243- 1249.

Willeke, G. E., Werick, W. J., Guttman, N.B., Hosking, J.R.M. and Wallis, J. R. 1994. National drought atlas developed. Eos, Transactions American Geophysical Union. 75(8): 89-90.

Yaman Öz, F., e Özalkan, E., Tatlı, H. 2024. Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought

(۱۳۹۸) بیانگر این است که PNPI برای محاسبه شاخص خشکسالی در خراسان جنوبی نتایج بهتری را ارائه می‌دهد اما هر دو شاخص SPI و PNPI نشان می‌دهند خشکسالی در حال افزایش است و باید تمهیدات لازم در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود پیش‌بینی‌های لازم جهت جلوگیری از آسیب‌های خشکسالی انجام گیرد.

## منابع

ایزدی، ن.، خزیمه نژاد، ح.، یعقوب زاده، م.، و فولادی نصرآباد، م. ۱۴۰۲. بررسی قابلیت نرم افزار R در تعیین خشکسالی - مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی. مجله نیوار. ۴۷(۱۲۲-۱۲۳): ۱۴۲-۱۵۸.

چهانگیر، م.ح.، و سارانی راد، م. ۱۳۹۸. بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان جنوبی توسط شاخص درصد بارش نرمال (PNPI) و شاخص روش استانداردسازی (Z)، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۱(۴): ۴۵-۵۹.

حاجی آبادی، ف.، حسن پور، ف.، یعقوب زاده، م.، حماسی، ح. ۱۳۹۷. ارزیابی خشکسالی در بیرجند با تاکید بر شاخص خشکسالی پالمر و اسنچی شده و عملکرد نسبی محصول گندم دیم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱۲(۱): ۱۳۰-۱۴۲.

حسینی‌زاده، ع.، سیدکابلی، ح.، زارعی، ح.، آخوندعلی، ع. م. ۱۳۹۳. تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک). مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۱): ۳۳-۴۳.

خسروی، ا. و آذری، م. ۱۴۰۱. تعیین روند زمانی و مکانی و نقطه تغییر دما و بارش در حوضه کشف رود. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۲(۶۶): ۲۸۹-۳۰۶.

زارع‌پور، ه.، ولی، ع.، قربانی، ح.، ساداتی نژاد، ج. و علوی نیا، ح. ۱۴۰۱. تحلیل آماری بلندمدت روند خشکسالی هواشناسی استان اصفهان. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیان. ۱۱(۳۴): ۱۱۳-۱۲۶.

قربانی، ح.، ولی، ع. و زارع پور، ه. ۱۳۹۸. تحلیل روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از آزمون‌های من-کندال، سن و پتیت در استان اصفهان. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۶(۲): ۱۲۹-۱۴۶.

مزیدی، احمد، محمدی راوری، فروغ، بهزادی شهریابک، زهرا. ۱۴۰۲. ارزیابی وضعیت خشکسالی شهر کرمان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی منطقه، مجله نیوار. ۴۷(۱۲۰-۱۲۱): ۱۶۶-۱۸۰.

- Hydrology Science and Technology.7(1):12.
- Zakeri, S., Samkhaniani, A., Adeli, S. and Nikraftar, Z. 2019. Evaluation Of Long Term Trend Of Different Drought Indices Using MannKendall And Sen's Slope Estimator Over Iran, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W18, GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 . Karaj, Iran.
- in Türkiye. Earth Science Informatics. 17:4473–4505
- Yan- Jun, L.I., ZHENG Xiao-dong and L.U. Fan. and M.A. Jing. 2012. Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. Sciverse ScienceDirect, Procedia Engineering. 28: 434-437.
- Zarei, A. R. and Eslamian, S. 2017. Trend assessment of precipitation and drought index (SPI) using parametric and non-arameetric trend analysis methods (case study: arid regions of southern Iran), Journal

## Investigation of Trend changes in Meteorological Drought in South Khorasan Province

N. Izadi<sup>1</sup>, M. Dasturani<sup>2</sup> \*, M. Amirabadizadeh<sup>2</sup>  
Received: Aug.21, 2024 Accepted: Nov. 23, 2024

### Abstract:

Drought is a continuous natural climate phenomenon that usually occurs in all parts of the world, but their characteristics, type and intensity are different from one region to another. In this study, using coding in R software, the severity of drought in six cities of South Khorasan during the statistical period of 1990-2020 was calculated with SPI and PNPI indices and their sudden changes in drought using Mann-Kendall tests. and Petit was examined. The results of the SPI index showed that Tabas experienced the most severe drought in 2006, and the results of the PNPI index showed that a very severe drought occurred in 2001 and 2016. The results of the Mann-Kendall test in the analysis of the annual rainfall trend and the PNPI index showed a decreasing trend in five cities in the 1990s, and on the SPI index, it showed an increasing trend in two cities and an increasing trend in three cities. The trend of precipitation has been decreasing. Also, the results of Petit's test in determining the sudden change point of annual rainfall and PNPI index showed that it was significant at the 5% level in all cities except Tabas, and on the time series of SPI index, all cities except Qaen had a change. These changes were sudden and occurred in the first years of the study and became significant at the 5% level. The results of Mann-Kendall and Pettit non-parametric tests showed that climate changes have occurred in South Khorasan province.

**Keywords:** Mann-Kendall test, Pettitt test , PNPI index, South Khorasan, SPI index

---

1- PhD student in Water Resources Engineering, Water Science and Engineering Department , Faculty of Agriculture University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

(\*- Corresponding author Email: mdastourani@birjand.ac.ir)