

مقاله پژوهشی

تأثیر شکست سری زمانی داده‌های بارش بر تغییرات مشخصه‌های خشکسالی (مطالعه موردی شهرهای تبریز و اراک)

منصوره غزنوی^۱ - ابوالفضل مساعدی^{۲*} - محمد قبائی سوق^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

چکیده

خشکسالی یک مخاطره اقلیمی است که در همه‌ی مناطق آب و هوایی رخ می‌دهد. متغیرهای مختلف هواشناسی از جمله بارندگی، دما و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم خشکسالی دارند. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می‌تواند سبب بروز ناهمگنی و ایجاد شکست در داده‌های سری زمانی متغیرهای هواشناسی شود. این ناهمگنی می‌تواند سبب تغییراتی در مشخصه‌های خشکسالی شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی همگنی سری زمانی بارش به‌عنوان مهم‌ترین متغیر موثر بر خشکسالی هواشناسی، در تعدادی ایستگاه سینوپتیک در طول دوره آماری ۱۹۵۷ الی ۲۰۱۶ در مناطق مختلف کشور و بررسی تغییرات مشخصه‌های خشکسالی در دوره‌های قبل و بعد از نقطه شکست می‌باشد. پس از بررسی سری‌های زمانی مقادیر بارش سالانه مشخص گردید که فقط ایستگاه‌های تبریز و اراک دارای نقطه شکست می‌باشند. از این‌رو در ادامه، وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI در ایستگاه‌های مذکور در دو دوره‌ی قبل و بعد از نقطه شکست پایش و مشخصه‌های خشکسالی بر مبنای مدل زنجیره مارکف و ماتریس احتمال انتقال و هم‌چنین ویژگی‌های دوره‌های خشکسالی بر مبنای تئوری ران تعیین گردید. نتایج حاکی از کمتر شدن اطمینان‌پذیری و بیشتر شدن آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در دوره دوم در مقایسه با دوره اول است. ضمن آن‌که، متوسط و حداکثر تداوم دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول بیشتر شده است. به‌طور خلاصه تمامی مشخصه‌های خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول دارای شدت، مدت و فراوانی بالاتری هستند. به‌طور کلی نتایج تغییرات مشخصه‌های خشکسالی در دوره بعد از شکست نسبت به دوره قبل از آن می‌تواند ناشی از گرمایش جهانی و در نتیجه افزایش تبخیر-تعرق و ایجاد و یا تشدید اثرات خشکسالی باشد. ضمن آن‌که بر اساس نتایج حاصل از شاخص eRDI در هر دو ایستگاه و در هر دو مقیاس زمانی، شرایط رطوبتی نسبت به سایر شاخص‌ها کمی خشک‌تر شده است. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که تا حدودی بارش موثر در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های اولیه دوره مورد بررسی کاهش یافته است. پیشنهاد می‌شود مشابه با این پژوهش در مورد همه ایستگاه‌های سینوپتیک کشور که دارای دوره آماری طولانی می‌باشند، انجام شده تا اثر گرمایش جهانی و در نتیجه تغییرات بارش و دما بر وقوع خشکسالی نمایان‌تر شود.

واژه‌های کلیدی: تئوری ران، شاخص eRDI، ماتریس احتمال انتقال، ماندگاری، نقطه شکست

مقدمه

خشکسالی یک پدیده آب و هوایی و بخش جدایی ناپذیر نوسانات

اقلیمی است که به متناوب در سراسر جهان و در همه‌ی مناطق آب و هوایی رخ می‌دهد، اما ابعاد این مخاطره طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اکثر مناطق ایران به دلیل حساسیت و شکنندگی زیاد این مناطق، حادث‌تر بوده و اثرات آن ممکن است سال‌ها بعد از خشکسالی نیز تداوم داشته باشد. خشکسالی به عنوان دوره‌ای که در آن بارش نسبت به شرایط نرمال منطقه کاهش یافته است، تعریف می‌شود. پایش خشکسالی می‌تواند به دو صورت توصیفی و کمی صورت گیرد که امروزه عمدتاً از روش‌های کمی در بررسی خشکسالی استفاده می‌شود. تاکنون شاخص‌های متعددی برای تعیین شدت

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست،

دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mosaedi@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

۳- دکتری علوم و مهندسی آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، تهران

DOI: 10.22067/jsw.2021.14899.0

دمای کره زمین به این نتیجه رسیدند که از ابتدای دوره آماری ۱۸۸۰ تا سالیان اخیر نقاط شکست به دفعات مشاهده شده‌اند، ولی از دهه ۱۹۸۰ به بعد نقطه شکست معنی‌داری در مقایسه با دوره قبل رخ نداده است و زمین با نوسانات جزئی در حال گرمتر شدن است.

تغییر مشخصه‌های خشکسالی در دوره‌های زمانی مختلف نیز قابل بررسی می‌باشد. به گونه‌ای که مقیمی و همکاران (۲۲) در پژوهشی با هدف پایش و پیش بینی خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص RDI و مدل ریاضی زنجیره مارکف به این نتیجه رسیدند که احتمال تعادل وضعیت رطوبتی دوره نرمال چه در بخش مشاهده شده و چه در بخش پیش بینی، بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است. هم‌چنین درصد فراوانی وقوع کلاس‌های پیش‌بینی شده خشک نسبت به کلاس‌های مرطوب بیشتر است. با توجه به کاربرد فراوان شاخص RDI، تیگاس و همکاران (۳۲) شاخص اصلاح شده (eRDI) را به منظور بهبود قابلیت ارزیابی این شاخص در خشکسالی‌ها به‌خصوص خشکسالی‌های کشاورزی پیشنهاد دادند. به عبارت دیگر پیشنهاد دادند که بهتر است بارش مؤثر با مجموع بارش جایگزین شده و مقیاس‌های زمانی مناسب مورد استفاده قرار گیرد. بارش مؤثر با توجه به اهداف مورد نظر، متفاوت می‌باشد و در این پژوهش با توجه به تاکید بر خشکسالی کشاورزی، منظور مقدار آبی است که می‌تواند موجب افزایش رطوبت خاک شده و مورد استفاده محصولات کشاورزی قرار گیرد. مساعدی و همکاران (۲۳) به بررسی ویژگی‌های خشکسالی براساس شاخص RDI و تغییرات احتمالی آن‌ها در محدوده هشت ایستگاه سینوپتیک کشور پرداختند. بر اساس نتایج بدست آمده سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی در همه ایستگاه‌ها در سطح ۹۵٪ دارای شکست می‌باشد که نشان دهنده ناهمگنی و تغییر شرایط کلی خشکسالی می‌باشد. ایشان بیان می‌نمایند که علت اصلی این موضوع در ارتباط با مشکل گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌باشد. زارعی و همکاران (۳۷) در پژوهشی از داده‌های هواشناسی ۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور با شرایط مختلف آب و هوایی در سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۷ برای محاسبه شاخص‌های RDI و eRDI استفاده نمودند. با توجه به نتایج بدست آمده، مقایسه مقادیر RDI و eRDI در ایستگاه‌هایی با شرایط مرطوب مانند رامسر و بندر انزلی، اختلاف بین شاخص‌های RDI و eRDI در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود، اما در ایستگاه‌هایی با شرایط خشک و فراخشک مانند چابهار، بندر لنگه، یزد و زابل، تفاوت بین RDI و eRDI در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده‌است.

قربانی و همکاران (۱۲) به‌منظور بررسی وضعیت روند تغییرات شدت خشکسالی هواشناسی در پهنه جغرافیایی ایران، از داده‌های شبکه جهانی SPEI طی دوره آماری ۳۰ ساله استفاده نمودند و آزمون‌های تشخیص روند و شیب خط روند بر روی سری‌های فصلی آن‌ها اجرا و نتایج آن‌ها را در محیط GIS پهنه‌بندی نمودند. نتیجه

خشکسالی ارائه شده است. این شاخص‌ها که از متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مشتق شده‌اند، می‌توانند در شناخت پدیده‌ی خشکسالی مؤثر باشند. به‌طور کلی کارکردهای مورد انتظار از یک شاخص پایش خشکسالی شامل تعیین زمان شروع و پایان خشکسالی، تعیین شدت و نوع خشکسالی و تعیین گستره‌ی مکانی تحت تأثیر این پدیده می‌باشند.

شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI)، شاخص بارش - تبخیر - تعرق استاندارد شده^۲ (SPEI)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)^۳ و شاخص شناسایی مؤثر خشکسالی^۴ (eRDI)، با توجه به شرایط هر منطقه شاخص‌هایی مناسب و کارا جهت پایش خشکسالی هواشناسی به شمار می‌روند (۹، ۱۶، ۳۱، ۳۷، ۱۹، ۲۶، ۱ و ۳۲). خشکسالی یک پدیده‌ی چندمتغیره می‌باشد و بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم آن دارند. هم‌چنین نوسانات هر یک از متغیرهای جوی و اقلیمی می‌توانند سبب افزایش یا کاهش شدت یا سایر خصوصیات این پدیده گردد. بارش و تبخیر-تعرق، دو متغیر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند. مسائلی چون تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و در برخی موارد جابجایی ایستگاه‌های هواشناسی، سبب بروز ناهمگنی در داده‌های سری زمانی متغیرهای هواشناسی شده است. بازگیر و همکاران (۵) در پژوهشی با بررسی همگنی سری‌های زمانی میانگین سالانه‌ی دمای کمینه، بیشینه و بارش ۳۶ ایستگاه همدید کشور، نشان دادند که در ایستگاه‌های غرب و شمال غرب کشور، مانند تبریز، سنندج، سقز و کرمانشاه ناهمگنی اقلیمی در داده‌های بارش اتفاق افتاده و کاهش ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌متری بارش رخ داده است. هم‌چنین صالح‌پورجم و همکاران (۲۹) نیز نشان دادند که در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک شمال غربی کشور با کاربرد آزمون روند من-کندال، بارش متوسط سالانه کلیه ایستگاه‌ها در دوره دوم (۲۰۱۴-۱۹۹۶) نسبت به دوره مینا (۱۹۹۵-۱۹۷۷) کاهش یافته است. قربانی و همکاران (۱۳) با بررسی سری‌های شاخص خشکسالی SPEI در طول سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۴۸ و در گستره ایران نشان دادند که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱۱، ۳۱، ۸ و ۱۵ درصد از نقاط ایستگاهی مورد بررسی، دارای نقطه‌ی تغییر معنی‌دار شکست بوده‌اند، ضمن آنکه در بیشتر مواقعی که شاخص خشکسالی دارای نقطه‌ی تغییر است آزمون من‌کندال نیز روند در سری داده‌ها را نشان می‌دهد. دوان و همکاران (۸) در پژوهشی تحت عنوان تشخیص نقاط شکست در

- 1- Standardized Precipitation Index (SPI)
- 2- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
- 3- Reconnaissance Drought Index (RDI)
- 4- Reconnaissance Drought Index Effective (eRDI)

ایشان نشان داد که از سال ۲۰۰۳ تاکنون تغییرات زیادی در روند وضعیت رطوبتی در این منطقه وجود داشته است. کوارتینگ و همکاران، (۱۶) با توجه به ارزیابی مؤثر و کارآمد خشکسالی به وسیله شاخص RDI در منطقه‌ای در اقلیم نیمه‌خشک در هند و حساس بودن این شاخص به تغییرات اقلیمی دهه‌های اخیر به علت در نظر گرفتن نقش دما، این شاخص را به عنوان یک شاخص کارآمد معرفی کرده‌اند. لین و همکاران (۱۸) بیان می‌نمایند که تبخیر - تعرق پتانسیل به دلیل افزایش دما در حال افزایش است و این موضوع از عوامل اصلی تأثیرگذار در خشکسالی در آینده است. از این رو، پیشنهاد می‌نمایند که تأثیر تبخیر - تعرق پتانسیل نباید در تجزیه و تحلیل خشکسالی نادیده گرفته شود.

از آن‌جا که در شاخص SPEI در مقایسه با شاخص SPI پارامترهای اقلیمی بیش‌تری علاوه بر بارندگی برای ارزیابی خشکسالی لحاظ می‌شود و با توجه به افزایش روند دما در دوره حال و آینده می‌توان گفت که نتایج شاخص SPEI، واقعی‌تر و منطقی‌تر از نتایج شاخص SPI است (۲۸). بذرافشان و همکاران (۶) با مقایسه دو شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در سواحل خلیج فارس و دریای عمان نشان دادند که روند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه فزاینده است و با افزایش مقیاس زمانی شیب روند شاخص SPEI نسبت به SPI بیش‌تر است. بیگاتندا و همکاران (۷) به منظور ارزیابی خشکسالی و روند شدت آن از دو شاخص SPI و SPEI و آماره من-کندال و برآورد شیب سن استفاده نمودند و نشان دادند که با توجه به گرمایش جهانی، شاخص SPEI در ارزیابی خشکسالی در نواحی خشک و نیمه خشک مناسب‌تر می‌باشد. لیو و همکاران (۱۷) در پژوهشی در چین بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI، روند شدت خشکسالی را در مقیاس ۱۲ ماهه از طریق آزمون من-کندال تعیین نموده و برای کل منطقه مورد بررسی تمیم دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد افزایش روند شدت خشکسالی براساس شاخص SPEI ضعیف‌تر از شاخص SPI بود. همچنین رفتار زمانی فراوانی خشکسالی از ژانویه تا دسامبر در مقیاس‌های زمانی و شدت‌های مختلف، متفاوت بود. ویسنته سرانو و همکاران (۳۵) در مطالعه‌ای اثرات فرآیند گرم شدن زمین بر خشکسالی‌ها و منابع آب در اسپانیا را با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI، بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره زمانی ۱۹۳۰ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته و عملکرد دو شاخص مذکور در ارزیابی خشکسالی‌های منطقه مشابه بوده است. پی و همکاران (۲۷) با بررسی تحلیل تطبیقی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های مختلف زمانی در مغولستان داخلی (چین) به این نتیجه رسیدند که بین نتایج پایش خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف اختلاف وجود دارد، ولی هر چه مقیاس زمانی دوره پایش خشکسالی

کلی بررسی شاخص خشکسالی SPEI نشان داد که در مجموع تغییرات اقلیمی در ایران رخ داده است و ایران در سال‌های اخیر به سمت دوره‌های خشک‌تر متمایل بوده است. مجیدی و همکاران (۲۰) در پژوهشی روند خصوصیات خشکسالی‌های استان همدان را با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و شیب خط روند با روش ناپارامتری برآوردگر سن محاسبه نمودند. نتایج ایشان نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها مدت خشکسالی دارای روند نزولی غیر معنی‌دار بوده و شدت خشکسالی هم در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها دارای روند غیر معنی‌دار کاهشی بود. ایشان اضافه می‌کنند که روند بارش ماهانه نیز در اکثر ایستگاه‌ها به جز یکی از ایستگاه‌ها دارای روند غیرمعنی‌دار افزایشی بوده است. نوری و همکاران (۲۵) روند تغییرات شاخص SPI به وسیله آزمون ناپارامتری من-کندال در مناطق مرطوب و نیمه‌خشک ایران را بررسی و نشان دادند که روند بارش سالانه در تمامی ایستگاه‌ها طی ۳۹ سال اخیر کاهشی بوده است. همچنین روند بارش بخش عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه به‌ویژه در قسمت‌های نیمه خشک شمال شرقی و جنوب غربی ایران در اثر خشکسالی‌های شدید و طولانی دهه ۲۰۱۵-۲۰۰۵ تغییر کرده است. یان-ژان و همکاران (۳۶) با استفاده از داده‌های بارندگی چند ایستگاه در حوضه Huaihe در کشور چین، از شاخص SPI جهت آنالیز خشکسالی سالانه ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) استفاده نمودند. نتایج این پژوهش حاکی از کاهش فراوانی خشکسالی در حوضه رودخانه و افزایش شدت خشکسالی در دهه‌های اخیر می‌باشد. از دیگر نتایج این مطالعه، تعیین فراوانی بیش‌تری از طبقات خشکسالی نسبتاً شدید و خشکسالی شدید در سال‌های اخیر می‌باشد.

پهلکه و همکاران (۴) به منظور بررسی پیامدهای تغییر اقلیم در دو ایستگاه با اقلیم متفاوت واقع در استان گلستان، اقدام به تجزیه و تحلیل شدت، تداوم و فراوانی ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و آینده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که در هر دو ایستگاه احتمال خشکسالی‌ها در آینده افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش پنجره زمانی بارش استاندارد، تداوم تمام طبقات افزایش پیدا خواهد کرد. از طرف دیگر با افزایش پنجره زمانی شاخص استاندارد شدت ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها کاهش می‌یابد، این در حالی است که تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. اقتدارنژاد و همکاران (۹) به منظور تحلیل خشکسالی از شاخص SPEI در ۵۴ ایستگاه سینوپتیک برای دوره آماری ۶۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۵۱) استفاده نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روند شاخص SPEI طی دوره آماری مورد بررسی در بخش وسیعی از کشور افزایشی است، این در حالی است که روند دما و بارش در اکثر ایستگاه‌ها به ترتیب افزایشی و کاهشی است.

گوا و همکاران (۱۴) در پژوهشی از شاخص SPEI و تئوری ران برای ارزیابی خشکسالی در آسیای مرکزی استفاده نمودند. نتایج

طولانی‌تر باشد، این اختلاف کم‌تر است.

با توجه به موارد بیان شده مشخص می‌شود که خشکسالی در همه مناطق اتفاق می‌افتد ولی نتایج شاخص‌های مختلف در پایش خشکسالی متفاوت است. زیرا در شاخص SPI، تغییرات و یا نوسانات دما دخالت داده نمی‌شود، ولی در سایر شاخص‌های ذکر شده دما به صورت غیر مستقیم در پایش خشکسالی دخالت داده می‌شود. از این رو، در پژوهش حاضر سعی شده است وضعیت‌های رطوبتی بر اساس شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه (۹ ماهه) در تعدادی ایستگاه سینوپتیک کشور با شرایط آب و هوایی مختلف مورد پایش قرار گیرد. علاوه بر این، با توجه به تاثیرپذیری شرایط خشکسالی از نوسانات و یا تغییرات بارندگی و دما، تلاش شده است با بررسی وضعیت همگنی سری‌های زمانی بارش و دما به عنوان موثرترین متغیرهای هواشناسی در وقوع پدیده خشکسالی، چگونگی تغییرات احتمالی مشخصه‌های خشکسالی بر مبنای تئوری ران و زنجیره مارکوف در ایستگاه‌های منتخب که دارای نقطه شکست در داده‌های سری زمانی بارش بوده‌اند، مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

علیچانی و همکاران (۲) با استفاده از ۱۶۰ متغیر هواشناسی بر پایه‌ی تحلیل عاملی، کشور ایران را به ۶ ناحیه‌ی اقلیمی شامل: مرطوب ساحلی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی، بیابانی و ساحلی بیابانی طبقه‌بندی نمودند. در این پژوهش از هر ناحیه‌ی اقلیمی سه ایستگاه و در مجموع ۱۸ ایستگاه سینوپتیک شامل: بندرانزلی، رامسر و بابلسر واقع در اقلیم مرطوب ساحلی؛ همدان، تبریز و مشهد واقع در اقلیم کوهستانی؛ خرم‌آباد، اراک و شیراز واقع در اقلیم نیمه‌کوهستانی؛ تهران، سبزوار و شاهرود واقع در اقلیم نیمه‌بیابانی؛ بندرعباس، بندرلنگه و چابهار واقع در اقلیم بیابان ساحلی؛ و کرمان، زاهدان و یزد واقع در اقلیم بیابانی جهت بررسی نقطه شکست در سری زمانی داده‌های بارش در دو مقیاس سال آبی و دوره رشد گیاه (نه ماه منتهی به خرداد) مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از آمار ماهانه‌ی متغیرهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد برای ایستگاه‌های مورد بررسی طی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۶ میلادی که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده‌است، مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمون‌های نقطه شکست

برای بررسی همگنی و تعیین نقطه شکست داده‌های بارش و دما

از آزمون‌های نرمال استاندارد (SNH)^۱، دامنه‌ی بیشاند (BHR)^۲، U بیشاند (BUR)^۳ و پیت (Pettitt)^۴ استفاده گردید (۱۱).

محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل

در شاخص‌های RDI و eRDI روش تورنت وایت برای برآورد تبخیر-تعرق، پیشنهاد شده‌است. اما، به دلیل این‌که روش تورنت وایت، مقدار تبخیر-تعرق را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کم‌تر از مقدار واقعی آن نشان می‌دهد (۲۴) و از طرفی برآورد تبخیر-تعرق به روش فائو پنمن مونتیث، روش استاندارد محاسبه تبخیر-تعرق است، بنابراین، در این پژوهش، تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از روش فائو پنمن مونتیث (فائو ۵۶) محاسبه شد (۳).

شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI یکی از شاخص‌های پرکاربرد طی دهه‌های اخیر به منظور پایش خشکسالی در سراسر جهان می‌باشد که به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. اساس شاخص SPI بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این شاخص فقط از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. محاسبه شاخص SPI شامل برازش تابع چگالی توزیع گاما بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. سپس، پارامترهای توزیع گاما برای هر مقیاس زمانی محاسبه و تابع احتمال تجمعی آن برای هر ماه رسم می‌شود. سپس از تغییر شکل هم‌احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z برای محاسبه SPI استفاده می‌شود. براساس این شاخص، دوره‌ی خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار -۱ یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد (۲۱). جدول ۱ طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول وضعیت رطوبتی در هر دوره می‌تواند در یکی از طبقه‌های خشکسالی (مقادیر -۱ و یا کمتر از آن)، نرمال (مقادیر بین -۰/۹۹ تا ۰/۹۹) و ترسالی (مقادیر ۱ و یا بیش‌تر از آن) نیز قرار گیرد.

- 1- Standard Normal Homogeneity
- 2- Buishand's Range Test
- 3- Buishand's U Test
- 4- Petite's Test

جدول ۱- طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI (۲۱، ۳۳، ۳۴ و ۳۲)
Table 1- Different classes of drought intensity based on SPI, SPEI, RDI and eRDI indices (21, 35, 33 & 32)

طبقه خشکسالی Drought classes	مقدار عددی شاخص Index value
ترسالی بسیار شدید Extreme wet	$Index \geq 2.0$
ترسالی شدید Severe wet	$1.5 \leq Index < 2.0$
ترسالی متوسط Moderate wet	$1.0 \leq Index < 1.5$
نرمال Normal	$-0.99 \leq Index \leq 0.99$
خشکسالی متوسط Moderate drought	$-1.5 < Index \leq -1.0$
خشکسالی شدید Severe drought	$-2.0 < Index \leq -1.5$
خشکسالی بسیار شدید Extreme drought	$Index \leq -2.0$

به‌ویژه خشکسالی کشاورزی به‌وسیله شاخص RDI توسط تیگاس و همکاران (۳۲) ارائه گردید. شاخص eRDI مشابه شاخص RDI می‌باشد و تنها به جای استفاده از مقادیر ماهانه بارش اندازه‌گیری شده از مقادیر بارش مؤثر (P_e) استفاده می‌شود. در این شاخص، بارش مؤثر بخشی از بارش است که می‌تواند در خاک ذخیره شده و سبب افزایش رطوبت خاک شود. در واقع بارش مؤثر بخشی از کل بارش می‌باشد. در این پژوهش برای برآورد بارش مؤثر از روش USDA-SCS که مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک است، استفاده شده است که در ادامه روابط آن آورده شده است.

$$P_e = \frac{P(125 - 0.2P)}{125} \quad (1)$$

$$P_e = (0.1 \times P) + 125 \quad (2)$$

در روابط فوق، P_e بارش مؤثر ماهانه و P بارش کل ماهانه می‌باشد.

زنجیره مارکف و ماتریس احتمال انتقال

چنانچه در سامانه، برآوردها در یک زمان، تحت تأثیر برآوردها در زمان‌های دیگر باشد، فرآیند از نوع مارکف است (۱۵). مدل زنجیره مارکف مرتبه اول اصلی‌ترین شکل مدل زنجیره مارکف به‌شمار می‌رود. زنجیره مارکف مرتبه اول عبارت است از یک سری زمانی گسسته که احتمال شرطی برای حالت Z در زمان $n+1$ تنها به حالت قبل از آن یعنی i در زمان n بستگی دارد (۳۰). بیش‌تر محققین برای پیش‌بینی خشکسالی، تغییر وضعیت یک مرحله‌ای زنجیره مارکف را مورد استفاده قرار داده‌اند. طبیعی است در این حالت، احتمال وقوع پدیده به وقوع پدیده خاص در یک زمان قبل از خود بستگی دارد. احتمالات مدل زنجیره مارکف می‌توانند در قالب ماتریس نیز ارائه شوند که به ماتریس تغییر وضعیت زنجیره مارکف (ماتریس احتمال انتقال) مشهور هستند. در یک ماتریس تغییر وضعیت ردیف‌ها، معرف

شاخص بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI)

شاخص SPEI توسط ویسنته-سرانو و همکاران در سال ۲۰۱۰ ارائه شد (۳۴). برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر-تعرق در هر ماه برآورد شود. سپس از طریق یک مدل ساده‌ی بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی (P) و مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) برای ماه i ($D_i = P_i - PET_i$) محاسبه و مقادیر احتمال تجمعی D_i از طریق برازش توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) (به دلیل برازش بهتر آن در مقایسه با سایر توزیع‌های آماری) و تبدیل آن به نرمال استاندارد شده، برآورد می‌گردد. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است. بنابراین می‌تواند با دیگر مقادیر SPEI در مکان و زمان‌های دیگر مقایسه شود. در توسعه شاخص SPEI، از مفاهیم شاخص SPI استفاده شده است. بنابراین، مقادیر طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی در آن‌ها مشابه با طبقه‌های ارائه شده در شاخص SPI توسط مک‌کی و همکاران (۲۱) می‌باشد (جدول ۱).

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

ساکریس و همکاران (۳۳) با بیان این که خشکسالی‌های منطقه‌ی مدیترانه با افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر-تعرق همراه هستند و شاخص‌های مبتنی بر بارش به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خصوصیات خشکسالی در این مناطق باشند، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) را بر پایه‌ی مفاهیم شاخص SPI و نسبت بارش به تبخیر-تعرق برای پایش خشکسالی و در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی پیشنهاد دادند. فرض اولیه در شاخص RDI آن است که مقادیر نسبت بارش به تبخیر-تعرق از تابع چگالی لوگ نرمال پیروی می‌کند. اما نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تابع توزیع گاما می‌تواند در برخی از مناطق برازش بهتری بر این نسبت داشته باشد (۱۰).

شاخص شناسایی مؤثر خشکسالی (eRDI)

این شاخص به منظور بهبود نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی

تئوری ران

یکی از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی، تئوری ران می‌باشد. با استفاده از این تئوری سه مشخصه مهم خشکسالی شامل: تداوم، شدت، بزرگی و تعداد دفعات خشکسالی را می‌توان تعریف نمود. این مشخصات با در نظر گرفتن سطح آستانه X_0 برای متغیر اصلی X_t نشان داده شده‌اند. براساس این روش، طول دوره یا تداوم خشکسالی^۱ (DL) برابر فاصله زمانی است که در طی آن، مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی کم‌تر است. شدت خشکسالی^۲ (DS)، برابر با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر در دوره وقوع خشکسالی می‌باشد. بزرگی خشکسالی^۳ (DM) که همان میانگین کمبودها است برابر با نسبت مجموع کمبودها (DS) به طول دوره خشکسالی (DL) است. تعداد دفعات خشکسالی^۴ (DN)، تعداد دفعاتی است که خشکسالی در طول یک دوره آماری اتفاق افتاده است. به بیان دیگر، عبارت از تعداد دفعاتی است که مقدار شاخص خشکسالی پایین‌تر از سطح آستانه خشکسالی (مثلاً کم‌تر از صفر) قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی نقطه شکست سری زمانی داده‌های بارش و

دما

به منظور تعیین نقطه شکست در سری زمانی داده‌های بارش و دما از آزمون‌های نرمال استاندارد، دامنه‌ی بیشاند، U بیشاند و پیت استفاده گردید. در مواردی نقطه شکست معنی‌دار تلقی می‌گردد که حداقل در سه آزمون نقطه شکست معنی‌دار باشد. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌های بارش در ایستگاه‌های اراک و تبریز در مقیاس‌های زمانی دوره رشد گیاه و سالانه دارای نقطه شکست می‌باشند که نتایج آن در شکل ۱ و جدول ۲ ارائه شده‌اند. بررسی نقطه شکست در سری زمانی دما در ایستگاه تبریز برای مقیاس‌های سالانه و دوره رشد گیاه به ترتیب سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۲ و ۱۹۹۱-۹۲ در چهار آزمون مشخص شدند که همگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بودند. این در حالی است که برای ایستگاه سینوپتیک اراک نتایج نقطه شکست سری زمانی دمای متوسط برای مقیاس‌های سالانه و دوره رشد گیاه نشان داد که نقطه شکست مشخص شده در هر ۴ آزمون سال ۸۱-۱۹۸۰ می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد در هیچ آزمونی معنی‌دار نمی‌باشد. بنا بر این، در ادامه به بررسی تاثیر نقطه شکست

حالت ۱ و ستون‌ها، معرف حالت ۲ هستند. در مطالعه حاضر، از ماتریسی با تعداد ۳ سطر و ۳ ستون‌های ماتریس‌ها استفاده شد که متناسب با سه کلاس وضعیت رطوبتی شامل: خشکسالی (مقادیر کمتر از ۰/۹۹-)، نرمال (مقادیر بین ۰/۹۹- تا ۰/۹۹) و ترسالی (مقادیر بیش‌تر از ۰/۹۹) می‌باشد. سپس معیارهای آماری مشخصه‌های خشکسالی شامل: ماندگاری، آسیب‌پذیری، برگشت‌پذیری و اطمینان‌پذیری نیز از طریق مقادیر ماتریس‌ها تعیین گردید. با توجه به اینکه این مفاهیم هنوز در منابع مرتبط با پدیده خشکسالی کمتر شناخته شده‌اند به معرفی هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود.

ماندگاری، احتمال ماندگاری، یعنی احتمال باقی ماندن در همان وضعیت رطوبتی دوره زمانی قبل. آسیب‌پذیری، نشان‌دهنده‌ی بزرگی شکست‌های سیستم است. برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری سیستم، شاخص شدت خسارت باید تعریف شود. به عنوان مثال هنگامی که شرایط مطلوب وضعیت رطوبتی استقرار وضعیت نرمال و ترسالی باشد، شاخص شدت می‌تواند به عنوان احتمال وضعیت خشکسالی هر بازه زمانی تعریف شود. به عبارت دیگر مجموع احتمال وقوع خشکسالی‌ها، براساس شاخص‌های مورد بررسی همان آسیب‌پذیری می‌شود. برگشت‌پذیری نشان‌دهنده احتمال بازگشت سیستم به حالت مطلوب پس از یک شکست است. قابلیت اطمینان (اطمینان‌پذیری) یعنی احتمال این که شکستی در بهره‌برداری از سیستم در زمانی مشخص رخ ندهد. بر مبنای این تعریف، قابلیت اطمینان نقطه مقابل مفهوم ریسک می‌باشد که احتمال شکست سیستم در یک مدت زمان مشخص است. به عبارت دیگر قابلیت اطمینان برابر با حاصل جمع احتمال وقوع حالت‌های نرمال و مرطوب براساس هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه است. در اینجا نیز منظور از سیستم، حالت مطلوب و شکست به ترتیب وضعیت رطوبتی، وضعیت‌های نرمال و ترسالی و وضعیت خشکسالی می‌باشد.

پس از تعیین مقادیر شاخص‌های مورد بررسی (شاخص‌های SPI، RDI، SPEI و eRDI) در مقیاس‌های سالانه و دوره رشد گیاه در ایستگاه‌های تبریز و اراک، معیارهای آسیب‌پذیری و قابلیت اطمینان به دست آمد. سپس عناصر ماتریس احتمال تغییر وضعیت، با شمارش تعداد دفعاتی که شاخص‌های مذکور، از حالت ۱ به حالت ۲ انتقال پیدا کرده‌است، محاسبه شد. پس از تعیین مقادیر ماتریس احتمال انتقال در مقیاس‌های زمانی مورد نظر، با توجه به اینکه عناصر واقع در قطر اصلی این ماتریس، احتمال ماندگاری (در همان وضعیت قبلی) را نشان می‌دهد، احتمال ماندگاری در سه وضعیت مرطوب، نرمال و خشکسالی و برگشت‌پذیری تعیین گردید.

- 1- Duration length
- 2- Drought severity
- 3- Drought magnitude
- 4- Drought number

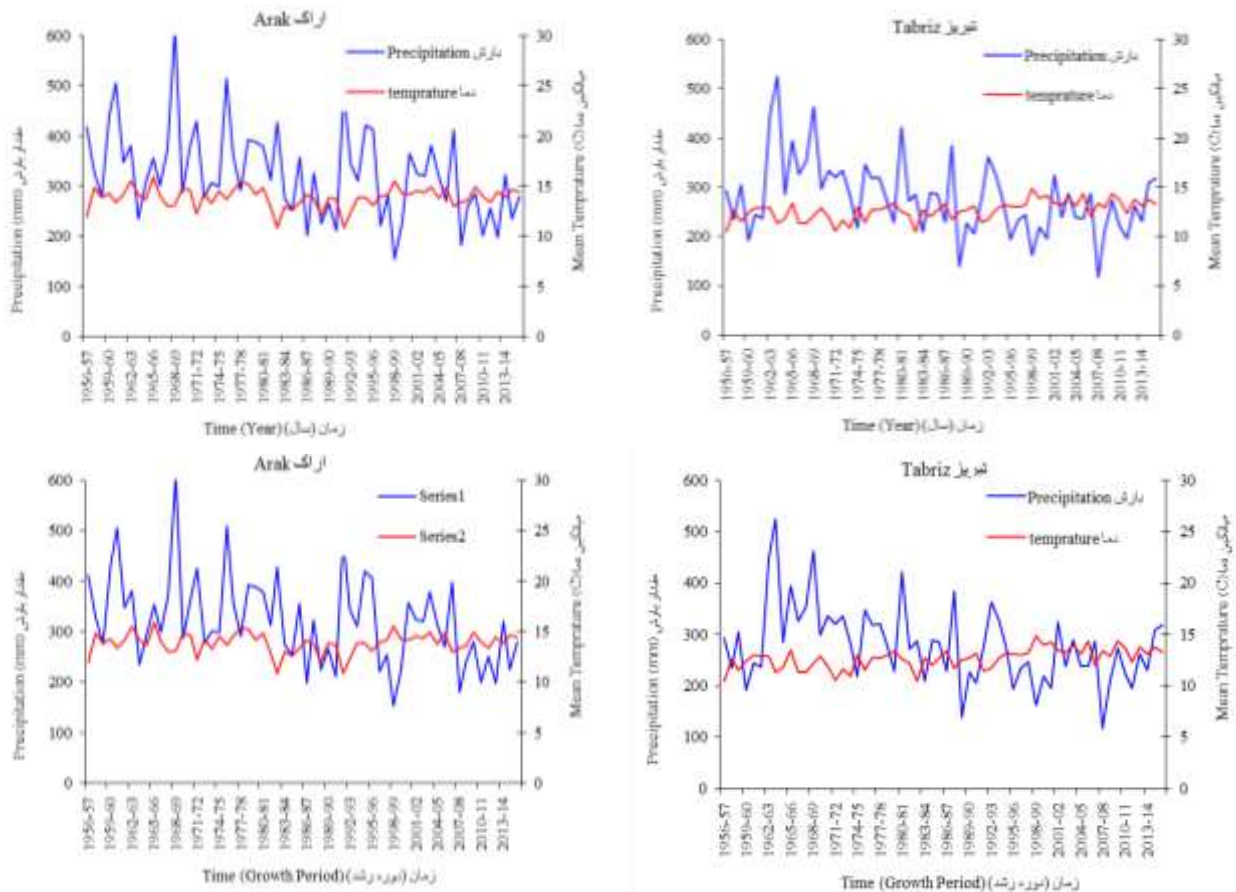
تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در مجموع بر اساس شاخص eRDI در هر دو ایستگاه و در هر دو مقیاس زمانی، شرایط رطوبتی نسبت به سایر شاخص‌ها کمی خشک‌تر شده است. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که تا حدودی بارش موثر در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های اولیه دوره مورد بررسی کاهش یافته است. با توجه به شکل ۳ در رابطه با برگشت‌پذیری، در همه‌ی موارد به جزء در ایستگاه تبریز براساس شاخص SPEI در مقیاس سالانه و در ایستگاه اراک براساس شاخص SPI در مقیاس دوره رشد، برگشت‌پذیری دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است. اطمینان‌پذیری و آسیب‌پذیری نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول به‌ترتیب کمتر و بیش‌تر شده است. کمتر شدن اطمینان‌پذیری و بیش‌تر شدن آسیب‌پذیری دوره دوم نسبت به دوره اول حاکی از افزایش خشکسالی در دهه‌های اخیر است که گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر یکی از علل آن می‌باشد.

داده‌های بارش بر تغییرات مشخصه‌های خشکسالی در این دو شهر پرداخته شد.

بعد از مشخص شدن نقطه شکست بارش، سری زمانی مقادیر شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های ذکر شده در دو مقیاس سالانه و دوره رشد، به دو دوره شامل دوره اول (قبل از نقطه شکست) و دوره دوم (بعد از نقطه شکست) مجزا گردید. سپس ویژگی‌های آماری خشکسالی شامل بازگشت‌پذیری، اطمینان‌پذیری، آسیب‌پذیری و ماندگاری و ویژگی‌های خشکسالی بر مبنای تئوری ران شامل تعداد دوره‌ها، تداوم، شدت و بزرگی هم در مقیاس‌های رطوبتی مختلف در دو دوره تعیین و سپس تفاوت‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج بررسی تغییرات ویژگی‌های اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری در دو دوره قبل و بعد از نقطه شکست

منحنی نوسانات مقادیر سری زمانی شاخص‌های خشکسالی (شامل شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI) در ایستگاه‌های



شکل ۱- سری زمانی مقادیر بارش و دما در ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و اراک در مقیاس‌های سالانه و دوره رشد گیاه
 Figure 1- Time series of mean annual precipitation and temperature values at Tabriz and Arak stations in two annual and plant growth period scales

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون‌های نقطه شکست در سری زمانی داده‌های بارش
Table 2- Results of breakpoint tests in precipitation data time series

نام آزمون Test	SNH		BHR		BUR		Pettitt		سال نقطه شکست Breaking Year	تعداد سال‌های قبل از نقطه شکست Year Before Breaking Point	تعداد سال‌های بعد از نقطه شکست Years after breaking point	
	نقطه شکست Breaking Point	p-value	نقطه شکست Breaking Point	p-value	نقطه شکست Breaking Point	p-value	نقطه شکست Breaking Point	p-value				
مقیاس زمانی Time scale												
ایستگاه Station												
سالانه Annual	تبریز Tabriz	25	0.006	26	0.006	26	0.0007	26	0.004	1982-1983	26	33
	اراک Arak	26	0.02	26	0.028	26	0.0025	26	0.009	1982-1983	26	33
دوره رشد گیاه Plant Growth	تبریز Tabriz	25	0.017	25	0.002	25	0.0018	31	0.013	1981-1982	25	34
	اراک Arak	26	0.017	26	0.027	26	0.002	26	0.008	1982-1983	26	33

الف) مقیاس دوره رشد گیاه

تعداد دوره‌های خشکسالی دوره دوم نسبت به دوره اول با توجه به این که دوره اول ۲۶ ساله و دوره دوم ۳۳ ساله می‌باشد، بیش‌تر می‌باشد (جدول ۴). متوسط و حداکثر تداوم دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شدت دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد به جزء در اراک و براساس شاخص RDI در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر بزرگی نیز در بیش‌تر موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است.

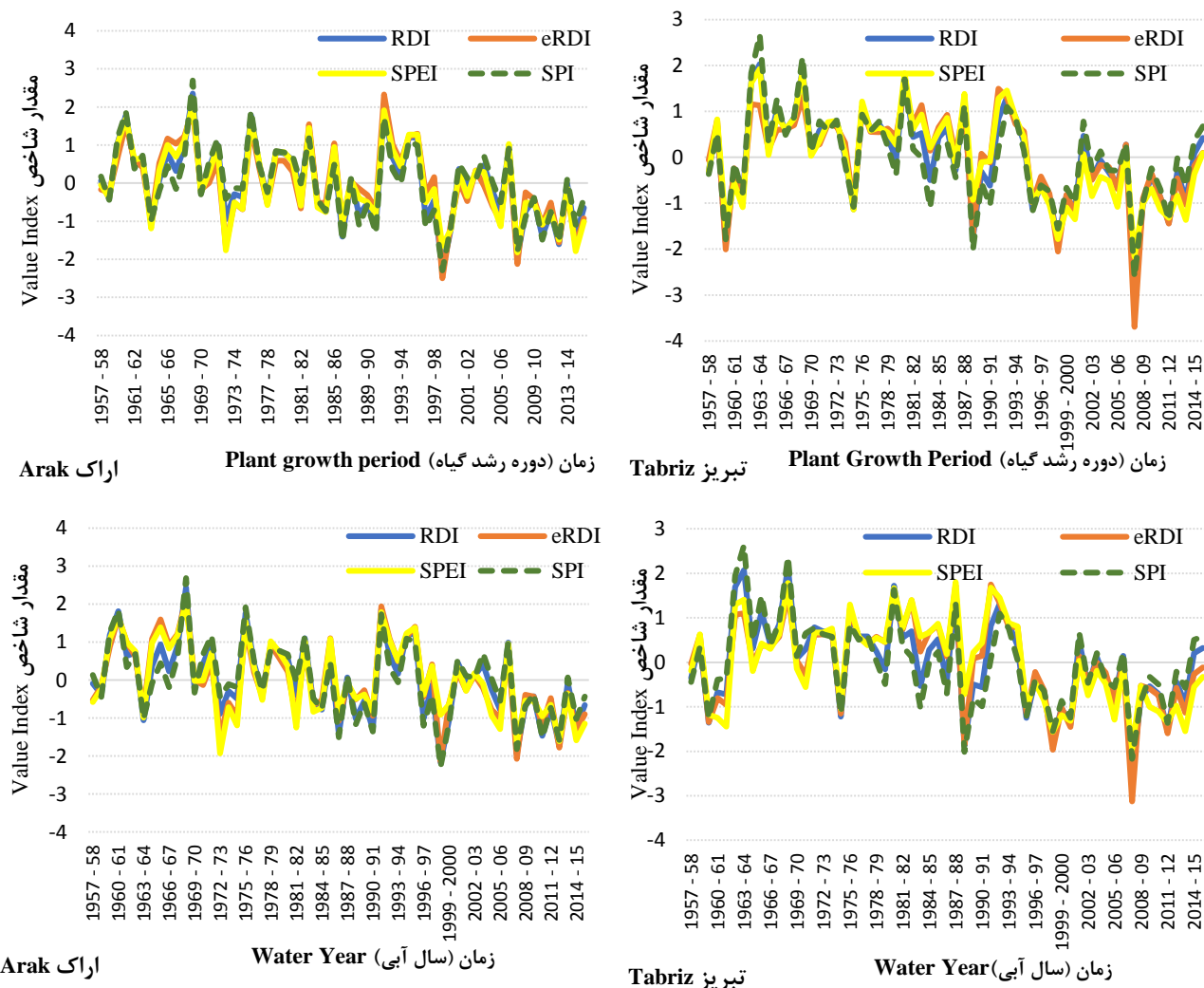
ب) مقیاس سالانه

با توجه به جدول ۴ تعداد دوره‌های خشکسالی در این مقیاس زمانی در ایستگاه تبریز در دو شاخص SPEI و eRDI در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است، ولی این تعداد در بقیه‌ی موارد بیش‌تر شده است. متوسط و حداکثر تداوم دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شدت دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد به جزء در ایستگاه اراک براساس شاخص RDI، در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر بزرگی خشکسالی نیز در اکثر موارد در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول بیش‌تر شده است.

نتایج بررسی تغییرات ماندگاری وضعیت‌های خشکسالی، نرمال و ترسالی، در دو دوره قبل و بعد از نقطه شکست داده‌های بارش

با توجه به جدول ۳ احتمال ماندگاری وضعیت خشکسالی در ایستگاه تبریز براساس شاخص SPI و ایستگاه اراک براساس شاخص eRDI در مقیاس سالانه و در ایستگاه تبریز براساس دو شاخص SPI و eRDI در مقیاس دوره رشد در دو دوره صفر بوده و تغییری نکرده است و در ایستگاه تبریز براساس شاخص SPEI احتمال ماندگاری وضعیت خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است. در بقیه موارد احتمال ماندگاری وضعیت خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول نیز بیش‌تر شده است. میزان تغییرات مقدار احتمال ماندگاری وضعیت نرمال در دو دوره در همه‌ی موارد بین صفر و ۰/۲۵ متغیر بوده است. این تغییرات در دو جهت (هم افزایشی و هم کاهش) می‌باشد، اما میزان تغییرات ماندگاری وضعیت نرمال در دو دوره در ایستگاه اراک قابل ملاحظه‌تر بوده است. میزان تغییرات احتمال ماندگاری وضعیت ترسالی نیز در دو دوره و در همه‌ی موارد بین صفر و ۰/۲۰ متغیر بوده است که این تغییرات نیز در هر دو جهت (افزایشی و یا کاهش) بوده است.

نتایج بررسی تغییرات ویژگی‌های تعداد، تداوم، شدت و بزرگی دوره‌های خشکسالی در دو دوره قبل و بعد از نقطه شکست



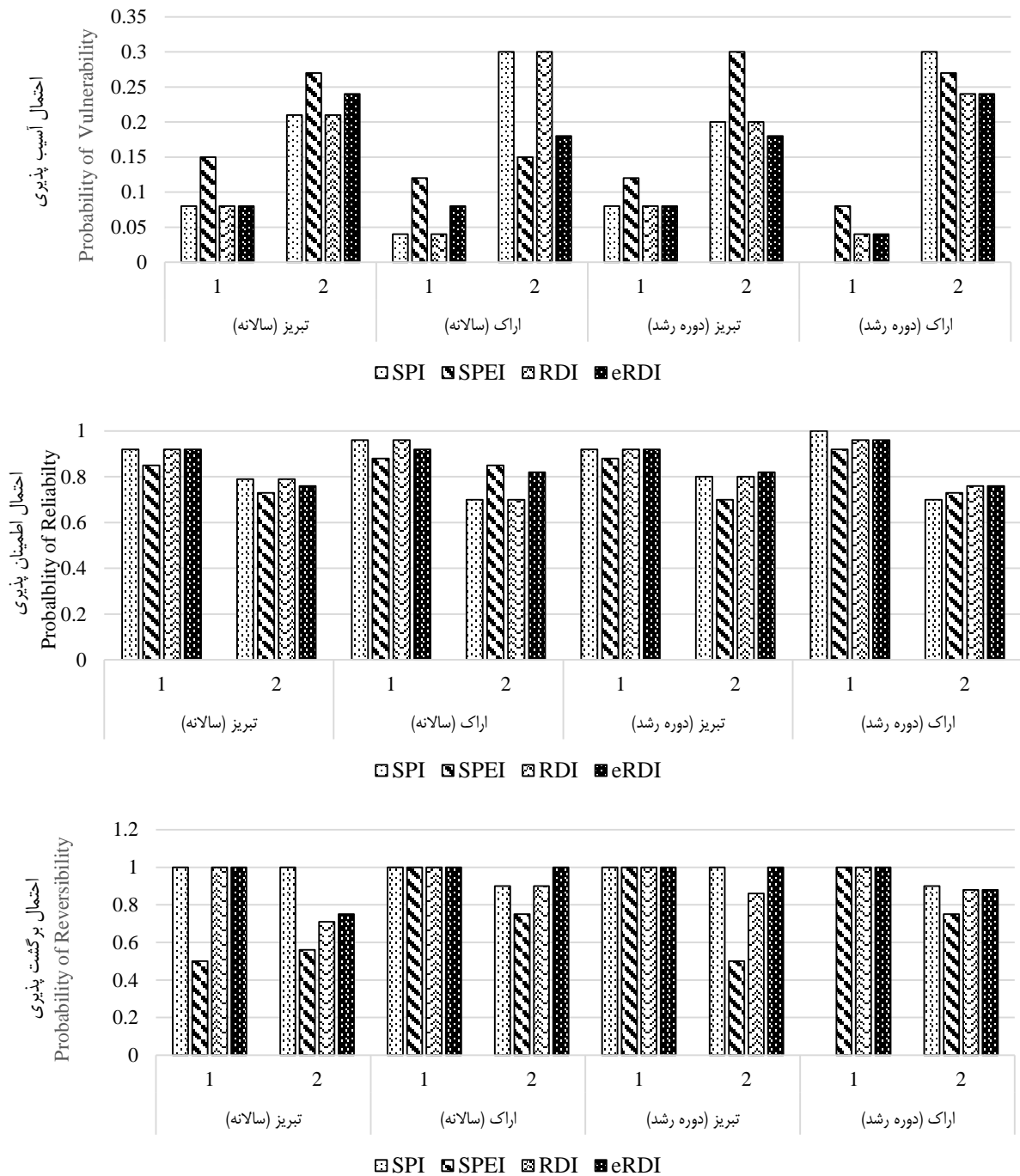
شکل ۲- سری زمانی مقادیر شاخص‌های SPI، SPEI، RDI و eRDI در دو ایستگاه تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه
 Figure 2- Time series of SPI, SPEI, RDI and eRDI indices values, at Tabriz and Arak stations for two annual and plant growth period scales

حداکثر تداوم در ایستگاه اراک براساس سه شاخص SPEI، RDI و eRDI در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول تغییری نکرده است و در مورد شاخص SPI نیز در این ایستگاه در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است و در مورد ایستگاه تبریز نیز در همه‌ی شاخص‌ها در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است. حداقل شدت در همه‌ی موارد به جزء در ایستگاه اراک براساس شاخص RDI در بقیه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است. متوسط شدت نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است. حداکثر شدت در همه‌ی موارد به جز در ایستگاه اراک براساس دو شاخص RDI و eRDI در بقیه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر بزرگی دوره‌های فاقد خشکسالی در همه‌ی موارد به جزء در مورد حداکثر بزرگی ایستگاه تبریز در همه‌ی شاخص‌ها، در بقیه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است.

نتایج بررسی تغییرات ویژگی‌های تعداد، تداوم، شدت و بزرگی دوره‌های فاقد خشکسالی در دو دوره قبل و بعد از نقطه شکست

الف) مقیاس دوره رشد گیاه

با توجه به جدول ۵ تعداد دوره‌های فاقد خشکسالی در این مقیاس در ایستگاه اراک براساس دو شاخص RDI و SPI در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است و از نظر شاخص SPEI و eRDI در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول به‌ترتیب تغییری نکرده است و بیش‌تر شده است. در ایستگاه تبریز در همه‌ی موارد تعداد دوره‌های فاقد خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول بیش‌تر شده است. حداقل تداوم دوره‌های فاقد خشکسالی نیز در همه‌ی موارد یک سال بوده است و تغییری نکرده است. متوسط تداوم نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره‌ی اول کمتر شده است.



شکل ۳- مقادیر احتمال مشخصه‌های آسیب‌پذیری، اطمینان‌پذیری و برگشت‌پذیری در دو دوره‌ی قبل (۱) و بعد (۲) از نقطه شکست داده‌های بارش در دو ایستگاه تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه

Figure 3- The probability values of vulnerability, reliability and reversibility characteristics in two periods before (1) and after (2) from the break point of precipitation data at two stations of Tabriz and Arak for both annual and plant growth period scales

جدول ۳- مقادیر احتمال ماندگاری سه وضعیت رطوبتی، خشکسالی، نرمال و ترسالی در دو دوره‌ی قبل (۱) و بعد (۲) از نقطه شکست داده‌های بارش در دو ایستگاه تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه

Table 3- Probability values of stationary for drought, normal and wet conditions before (1) and after (2) break point of precipitation data in two stations of Tabriz and Arak for both annual and plant growth period scales

Index	Station	Time Scale	مقیاس زمانی ایستگاه	شماره دوره	SPI			SPEI			RDI		eRDI			
					Drought خشکسالی	Normal نرمال	WEt ترسالی	Drought خشکسالی	Normal نرمال	WEt ترسالی	Drought خشکسالی	Normal نرمال	WEt ترسالی	Drought خشکسالی	Normal نرمال	WEt ترسالی
سالانه	تبریز	Annual	Tabriz	1	0.00	0.67	0.20	0.50	0.69	0.20	0.00	0.65	0.17	0.00	0.67	0.20
				2	0.00	0.70	0.00	0.44	0.65	0.33	0.29	0.74	0.00	0.25	0.67	0.33
	اراک	Arak	1	0.00	0.68	0.20	0.00	0.50	0.37	0.00	0.75	0.25	0.00	0.63	0.43	
			2	0.10	0.50	0.25	0.25	0.70	0.40	0.10	0.50	0.25	0.00	0.62	0.40	
دوره رشد گیاه	تبریز	plant growth period	Tabriz	1	0.00	0.65	0.20	0.00	0.69	0.20	0.00	0.63	0.17	0.00	0.71	0.20
				2	0.00	0.67	0.00	0.50	0.65	0.33	0.14	0.71	0.00	0.00	0.70	0.25
	اراک	Arak	1	0.00	0.75	0.20	0.00	0.59	0.33	0.00	0.68	0.20	0.00	0.72	0.50	
			2	0.10	0.50	0.00	0.25	0.60	0.25	0.13	0.62	0.33	0.13	0.53	0.40	

ب) مقیاس سالانه

تعداد دوره‌های فاقد خشکسالی در این مقیاس در ایستگاه اراک براساس شاخص‌های RDI و eRDI تغییری نکرده است و از نظر شاخص SPI در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است و در ایستگاه تبریز براساس شاخص‌های SPEI و eRDI تعداد دوره‌های فاقد خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده و در مورد شاخص‌های SPI و RDI نیز در دوره دوم نسبت به دوره اول بیشتر شده است (جدول ۵). حداقل تداوم‌ها نیز در همه‌ی موارد یک سال بوده و در دوره دوم نسبت به دوره اول تغییری ایجاد نشده است. متوسط تداوم نیز به جزء در مورد ایستگاه تبریز براساس شاخص SPEI در بقیه موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۵ حداکثر تداوم در مورد ایستگاه اراک براساس دو شاخص SPEI و RDI در دوره دوم نسبت به دوره اول تغییری نکرده است. حداقل، متوسط و حداکثر شدت دوره‌های فاقد خشکسالی در اکثر موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است. حداقل و متوسط و حداکثر بزرگی نیز در اکثر موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج ۴ روش آماری بررسی نقطه شکست، نشان می‌دهند که داده‌های بارش ایستگاه‌های اراک و تبریز در مقیاس‌های زمانی دوره

رشد گیاه و سالانه دارای نقطه شکست می‌باشد. پس از تقسیم سری زمانی مقادیر شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های ذکر شده در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه، به دو بخش شامل دوره اول (قبل از نقطه شکست) و دوره دوم (بعد از نقطه شکست)، نتایج حاکی از آن است که در دوره دوم در مقایسه با دوره اول، شاخص اطمینان‌پذیری خشکسالی کاهش یافته است در حالی که آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی بیش‌تر شده است. این موضوع نشان دهنده افزایش تعداد و شدت خشکسالی در دهه‌های اخیر (دوره بعد از شکست داده‌های بارش) در مقایسه با دهه‌های قبل می‌باشد.

افزایش وقوع خشکسالی در دهه‌های اخیر می‌تواند ناشی از گرمایش جهانی باشد. هم‌چنین در اکثر شاخص‌های پایش خشکسالی، احتمال ماندگاری وضعیت خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. متوسط و حداکثر تداوم دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شدت دوره‌های خشکسالی نیز در همه‌ی موارد به جز در اراک و براساس شاخص RDI در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر بزرگی خشکسالی نیز در بیش‌تر موارد در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر شده است. در اکثر موارد مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شدت و بزرگی دوره‌های فاقد خشکسالی در دوره دوم نسبت به دوره اول کم‌تر شده است. به‌طور کلی نتایج تغییرات مشخصه‌های خشکسالی در دوره بعد از شکست نسبت به دوره قبل از آن می‌تواند

پیشنهاد می‌شود مشابه با این پژوهش در مورد همه ایستگاه‌های سینوپتیک کشور که دارای دوره آماری طولانی می‌باشند، انجام شده تا اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و در نتیجه تغییرات بارش و دما بر وقوع خشکسالی نمایان‌تر شود.

ناشی از گرمایش جهانی و در نتیجه افزایش تبخیر-تعرق و ایجاد و یا تشدید اثرات خشکسالی باشد. ضمن آنکه بر اساس نتایج حاصل از شاخص eRDI در هر دو ایستگاه و در هر دو مقیاس زمانی، شرایط رطوبتی نسبت به سایر شاخص‌ها تا حدودی خشک‌تر شده است. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود که تا حدودی بارش موثر در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های اولیه دوره مورد بررسی کاهش یافته است.

جدول ۴- مقادیر مشخصه‌های دوره‌های خشکسالی بر مبنای تئوری ران در دو دوره‌ی قبل (۱) و بعد (۲) از نقطه شکست داده‌های بارش در دو ایستگاه تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه

Table 4- Properties of drought periods based on Run theory in two periods before (1) and after (2) from the break point of precipitation data at two stations in Tabriz and Arak at two annual scales and plant growth period

مشخصه Property	شماره دوره Period No	تعداد وقایع Events count	تداوم Duration length			شدت Severity			بزرگی Magnitude				
			حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max	حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max	حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max		
			Scale	Station	Index	Scale	Station	Index	Scale	Station	Index		
دوره رشد گیاه Plant Growth Period	اراک Arak	SPEI	1	7	1.00	1.43	3.00	-0.5	-0.43	-1.18	-0.5	-0.28	-0.59
			2	8	1.00	2.50	6.00	-0.2	-2.48	-6.83	-0.2	-0.85	-1.51
		SPEI	1	6	1.00	1.50	3.00	-0.25	-0.99	-2.94	-0.22	-0.63	-1.19
			2	7	1.00	3.14	9.00	-0.34	-2.68	-9.12	-0.34	-0.77	-1.6
		RDI	1	6	1.00	1.33	3.00	-0.26	-0.67	-1.6	-0.26	-0.49	-1.9
			2	7	1.00	3.14	9.00	-0.8	-2.86	-8.95	-0.8	-0.81	-1.41
	eRDI	1	6	1.00	1.50	3.00	-0.17	-0.94	-2.85	-0.17	-0.59	-0.98	
		2	8	1.00	2.75	9.00	-0.28	-2.25	-8.73	-0.28	-0.75	-1.78	
	تبریز Tabriz	SPEI	1	4	1.00	1.75	3.00	-0.36	-1.17	-2.7	-0.36	-0.57	-0.9
			2	7	1.00	3.14	7.00	-0.27	-2.61	-6.54	-0.27	-0.66	-1.2
		SPEI	1	3	1.00	1.67	3.00	-0.32	-1.54	-3.16	-0.32	-0.84	-1.14
			2	5	1.00	4.40	8.00	-0.2	-3.99	-8.89	-0.2	-0.71	-1.15
RDI		1	4	1.00	1.50	3.00	-0.4	-1.12	-3.3	-0.4	-0.62	-1.14	
		2	6	1.00	3.67	7.00	-0.29	-3.2	-7.88	-0.29	-0.71	-1.13	
eRDI	1	3	1.00	1.67	3.00	-0.6	-1.41	-3.1	-0.6	-0.72	-1.8		
	2	5	1.00	4.00	8.00	-0.12	-3.72	-8.93	-0.12	-0.87	-1.69		
سالانه Annual	اراک Arak	SPEI	1	7	1.00	1.43	3.00	-0.3	-0.45	-1.11	-0.3	-0.3	-0.55
			2	8	1.00	2.50	6.00	-0.6	-2.46	-6.67	-0.6	-0.86	-1.5
		SPEI	1	6	1.00	1.67	3.00	-0.4	-1.24	-3.84	-0.2	-0.74	-1.28
			2	7	1.00	3.29	9.00	-0.28	-2.53	-9.2	-0.28	-0.65	-1
		RDI	1	6	1.00	1.50	3.00	-0.23	-0.7	-1.67	-0.23	-0.47	-1.6
			2	7	1.00	3.14	9.00	-0.1	-2.85	-8.91	-0.1	-0.81	-1.42
	eRDI	1	6	1.00	1.50	3.00	-0.13	-1.2	-3.4	-0.13	-0.63	-1.1	
		2	7	1.00	3.29	9.00	-0.28	-2.63	-8.87	-0.28	-0.7	-1.38	
	تبریز Tabriz	SPEI	1	4	1.00	1.50	3.00	-0.44	-1.2	-2.1	-0.44	-0.69	-1.15
			2	7	1.00	3.00	7.00	-0.47	-2.7	-6	-0.47	-0.83	-1.27
		SPEI	1	5	1.00	1.60	3.00	-0.19	-1.2	-3.87	-0.19	-0.61	-1.29
			2	3	1.00	7.00	14.00	-0.72	-6.41	-12.16	-0.72	-0.88	-1.6
RDI		1	4	1.00	1.50	3.00	-0.16	-1.12	-2.75	-0.16	-0.66	-1.22	
		2	7	1.00	3.00	7.00	-0.42	-2.82	-7.45	-0.42	-0.75	-1.1	
eRDI	1	5	1.00	1.40	3.00	-0.2	-0.92	-3.1	-0.2	-0.5	-1.15		
	2	4	1.00	5.00	9.00	-1.61	-4.65	-8.68	-0.4	-1.7	-1.86		

جدول ۵- مقادیر مشخصه‌های دوره‌های فاقد خشکسالی بر مبنای تئوری ران در دو دوره‌ی قبل (۱) و بعد (۲) از نقطه شکست داده‌های بارش در دو ایستگاه تبریز و اراک در دو مقیاس سالانه و دوره رشد گیاه

Table 5- Properties of non-drought periods based on Run theory in two periods before (1) and after (2) from the break point of precipitation data at two stations in Tabriz and Arak for two annual and plant growth period scales

مشخص Property	شماره دوره Period No.	تعداد وقایع Count	تداوم Duration length			شدت severity			بزرگی Magnitude				
			حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max	حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max	حداقل Min	متوسط Ave.	حداکثر Max		
دوره رشد گیاه Plant Growth Period	اراک Arak	SPI	1	8	1.00	2.00	4.00	0.17	1.97	4.19	0.17	0.92	1.67
			2	7	1.00	1.86	5.00	0.10	1.30	2.10	0.10	0.57	1.5
		SPEI	1	6	1.00	2.83	5.00	1.24	2.73	5.25	0.62	1.00	1.45
			2	6	1.00	1.83	5.00	0.10	1.46	5.79	0.10	0.64	1.16
		RDI	1	7	1.00	2.57	5.00	0.70	2.26	4.47	0.70	0.85	1.4
			2	6	1.00	1.83	5.00	0.10	1.37	5.32	0.10	0.60	1.6
	eRDI	1	6	1.00	2.83	5.00	0.59	2.44	5.89	0.30	0.88	1.54	
		2	7	1.00	1.57	5.00	0.40	1.28	6.43	0.40	0.54	1.29	
	تبریز Tabriz	SPI	1	4	1.00	4.50	11.00	0.52	4.20	11.89	0.52	0.79	1.8
			2	7	1.00	1.71	4.00	0.13	0.89	2.28	0.13	0.53	1.14
		SPEI	1	3	1.00	6.67	12.00	0.83	5.45	9.82	0.81	0.82	0.83
			2	6	1.00	2.00	4.00	0.70	1.38	4.40	0.70	0.56	1.38
RDI		1	4	1.00	4.75	12.00	0.71	4.60	10.49	0.71	0.85	1.1	
		2	7	1.00	1.71	4.00	0.28	1.70	3.35	0.25	0.59	1.27	
eRDI	1	3	1.00	6.67	12.00	0.81	4.73	7.87	0.66	0.75	0.81		
	2	6	1.00	2.33	6.00	0.50	1.44	4.80	0.50	0.37	1.2		
سالانه Annual	اراک Arak	SPI	1	8	1.00	2.00	4.00	0.13	1.96	4.14	0.13	0.91	1.65
			2	7	1.00	1.86	5.00	0.70	1.40	2.11	0.70	0.57	1.6
		SPEI	1	6	1.00	2.67	5.00	0.72	2.78	6.43	0.71	0.97	1.29
			2	6	1.00	1.67	5.00	0.18	1.48	5.96	0.18	0.69	1.19
		RDI	1	6	1.00	2.83	5.00	1.10	2.70	4.87	0.70	0.95	1.1
			2	6	1.00	1.83	5.00	0.70	1.32	5.12	0.70	0.60	1.2
	eRDI	1	6	1.00	2.83	6.00	0.47	2.63	6.95	0.47	0.82	1.16	
		2	6	1.00	1.67	5.00	0.14	1.46	6.80	0.14	0.65	1.22	
	تبریز Tabriz	SPI	1	4	1.00	5.00	12.00	0.35	4.35	12.98	0.35	0.66	1.8
			2	7	1.00	1.71	4.00	0.21	0.82	1.98	0.12	0.51	1.33
		SPEI	1	5	1.00	3.60	8.00	0.63	3.14	7.11	0.63	0.87	1.35
			2	3	1.00	4.00	6.00	0.40	3.20	5.47	0.40	0.59	0.91
RDI		1	4	1.00	5.00	12.00	0.50	4.28	11.15	0.50	0.76	0.99	
		2	7	1.00	1.71	4.00	0.12	1.10	3.36	0.12	0.56	1.64	
eRDI	1	5	1.00	3.80	8.00	0.61	2.89	6.84	0.58	0.76	1.9		
	2	4	1.00	3.25	6.00	0.40	2.18	4.91	0.40	0.43	0.82		

- 1- Adnan S., Ullah K., Shuanglin L., Gao S., Hayat Khan A., and Mahmood R. 2018. Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Journal of Climate Dynamics* 51(5-6): 1885-1899.
- 2- Alijani B., Ghohroudi M., and Arabi N. 2008. Developing a climate model for Iran using GIS. *Theoretical and Applied Climatology* 92(1-2): 103-112.
- 3- Allen R.G., Pereira L.S., Rees D. and Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration- Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.
- 4- Bahlake M., Fathabadi A., Rouhani H., and Seyedian S.M. 2018. The effect of climate change on wet and dry period's characteristics (Case study: Arazkuse and Tamar stations in Golestan Province). *Scientific Journal of Agricultural Meteorology* 5(2):11-23. (In Persian with English abstract)
- 5- Bazgeer S., Abbasi F., Asadi Oskoue E., Haghghat M., and Rezazadeh P. 2019. Assessing the Homogeneity of Temperature and Precipitation Data in Iran with Climatic Approach. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 6(1): 51-70. (In Persian with English abstract)
- 6- Bazrafshan O., Mahmudzadeh F., and Bazrafshan J. 2016. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Journal of Desert Management* 4(7-8): 54-69. (In Persian with English abstract)
- 7- Byakatonda J., Parida B.P., Moalafhi D.B., and Kenabatho P. 2018. Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. *Atmospheric Research* 213(2018): 492-508
- 8- Duan J., Zhao L., Wang Q., and Li P. 2019. Detecting breakpoints in global temperature, *Earth System Dynamics* 10: 1-12
- 9- Eghtedar Nezhad M., Bazrafshan O., and Bazrafshan J. 2017. Spatio-temporal variations of meteorological drought using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Iran. *Scientific Journal of Agricultural Meteorology* 5(2): 35-46. (In Persian with English abstract)
- 10- Ghabaei Sough M., Zare Abyaneh H., Mosaedi A., and Samadi, S.Z. 2016. Assessment of humidity conditions and trends based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SEPI) over different climatic regions of Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)* 30(5): 1700-1717. (In Persian with English abstract)
- 11- Ghabaei Sough M., and Mosaedi A. 2018. Analysis of trends and breakpoints in precipitation values in some Watersheds of Iran. 7th National Conference of Water Resources Management of Iran, 24-25 October. 2018. Yazd University. (In Persian)
- 12- Ghorbani Kh., Valizadeh E., and Bararkhanpoor S. 2018. Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran. *Journal of Desert Management* 6(11): 25-38. (In Persian with English abstract)
- 13- Ghorbani Kh., Bararkhan Poor S., Valizadeh E., and Molaarazi A.J. 2020. Regional analysis of trend and change point in seasonal series of SPEI drought index in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(4): 185-200. (In Persian with English abstract)
- 14- Guo H., Bao A., Liu T., Jiapaer G., Ndayisaba F., Jiang L., Kurban A., and De Maeyer P. 2018. Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia during 1966-2015. *Journal of Science of the Total Environment* 624: 1523-1538.
- 15- Isaacson DL., and Madsen R. 1976. *Markov Chains: Theory and Applications*. John Wiley, New York.
- 16- Kwarteng F., Shwetha G., and Patil R. 2016. Reconnaissance Drought Index as potential drought monitoring tool in A Deccan Plateau, hot semi-arid climatic zone. *International Journal of Agriculture Sciences* 51(8): 2183-2186.
- 17- Liu Z., Wang Y., Shao M., Jia X., and Li X. 2016. Spatiotemporal analysis of multiscale drought characteristics across the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology* 534: 281-299.
- 18- Lin H., Wang J., Li F., Xie Y., Jiang C., and Sun L. 2020. Drought trends and the extreme drought frequency and characteristics under climate change based on SPI and HI in the upper and middle reaches of the Huai river basin, China. *Water* 12(4): 1100.
- 19- Mahmoudi P., Rigi A., and Miri Kamak M. 2019. A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Journal of Theoretical and Applied Climatology* 137(3-4): 3123-3138.
- 20- Majidi A., Radfar M., Mirabbasi Najafabadi R., and Marofi S. 2018. Analysis of trend Properties of meteorological droughts in Hamedan province. *Journal of Watershed Management Research* 9(17): 295-305. (In Persian with English abstract)
- 21- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceeding, 8th Conference on Applied Climatology*. January 17-22. January Anaheim, California.
- 22- Moghimi M.M., Kouhi E., and Zarei A.R. 2018. Drought Monitoring and Forecasting, using RDI Index and

- Markov Chain Mathematical Model. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 8(3): 153-165. (In Persian with English abstract)
- 23- Mosaedi M., Mohammadi Moghaddam S., and Kavakebi Gh. 2017. Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(6): 27-52. (In Persian with English abstract)
- 24- Mousavi Baigi M., and Ashraf B. 2018. *Weather and Climate in Agriculture*. Ferdowsi University of Mashhad Press. (In Persian)
- 25- Nouri M., Homaei M., and Bannayan M. 2018. Analyzing the trends of precipitation and drought in some semi-arid to humid regions of Iran. *Journal of Water and Soil Science* 22(1): 45-60. (In Persian with English abstract)
- 26- Parsamehr A.H., Mobin M.H., and Khosravani Z. 2018. Using Run theory to analysis of drought severity – duration – return period (case study: Fars province). *Iranian Journal of Ecohydrology* 5(2): 471-481. (In Persian with English abstract)
- 27- Pei Z., Fang S., Wang L., and Yang W. 2020. Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in Inner Mongolia, China. *Water* 12(7): 1925.
- 28- Pirnia A., Golshan M., Bigonah S., and Solaimani K. 2018. Investigating the drought characteristics of Tamar basin (upstream of Golestan Dam) using SPI and SPEI indices under current and future climate conditions. *Iranian Journal of Ecohydrology* 5(1): 215-228. (In Persian with English abstract)
- 29- Salehpour Jam A., Tabatabaei M., Sarreshtehdari A., and Mosaffaie J. 2018. Investigation of drought characteristics in northwest of Iran using deciles index. *Journal of Watershed Engineering and Management* 10(4): 552-563. (In Persian with English abstract)
- 30- Steinman A. 2003. Drought Indicators and Triggers: A stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association* 39(5): 1217-1233.
- 31- Thomas T., Jaiswal R.K., Galkate R.V., and Nayak T.R. 2016. Reconnaissance drought index based evaluation of meteorological drought characteristics in Bundelkhand. *Journal of Procedia Technology* 24: 23-30.
- 32- Tigkas D., Vangelis H., and Tsakiris G. 2017. An enhanced effective Reconnaissance Drought Index for the characterisation of agricultural drought. *Environmental Process* 4(1): 137-148.
- 33- Tsakiris G., and Vangelis H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management* 18:1-12.
- 34- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., and López-Moreno J.I. 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7): 1696-1718.
- 35- Vicente-Serrano S.M., López-Moreno J.I., Gimeno L., Nieto R., Morán –Tejeda E., Lorenzo-Lacruz J., Beguería S., and Azorin-Molina C. 2011. A multiscalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 116: 1-9.
- 36- Yan-Jun I., Xiao-dong Z., Fan L., and Jing MA. 2012. Analysis of drought evolvement characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe river basin. *Journal of Procedia Engineering* 28: 434-437.
- 37- Zarei A.R., Moghimi M.M., and Bahrami M. 2019. Comparison of reconnaissance drought index (RDI) and effective reconnaissance drought index (eRDI) to evaluate drought severity. *Sustainable Water Resources Management* 5(3): 1345-1356.

The Impact of Breakpoints in Rainfall Time Series on Drought Characteristics Changes (Case Study: Tabriz and Arak Stations, Iran)

M. Gaznavi¹- A. Mosaedi^{2*} - M. Ghabaei Sough³

Received: 30-09-2019

Accepted: 19-04-2021

Introduction: Drought is a climatic phenomenon and an integral part of climate fluctuations that occurs periodically and intermittently throughout the world and across all climates. However, the magnitude of this natural hazard in arid and semi-arid regions, such as most parts of Iran, is more acute due to the high sensitivity and weakness of these areas, and its effects may persist for years after the occurrence of drought. Drought is a multifaceted phenomenon as precipitation, temperature, evaporation, wind and relative humidity play important roles in the drought characteristics such as occurrence, severity, and magnitude. Climate change and global warming, and in some cases displacement of meteorological stations cause heterogeneity in time series of meteorological data. Therefore, the purpose of this study was to investigate the homogeneity and break point in precipitation time series data and the effects of a break point in drought characteristics in some synoptic stations in Iran.

Materials and Methods: In this study, homogeneity of rainfall time series data at two time scales of annual (water year) and plant growth periods in some selected synoptic stations of Iran with different climatic conditions was investigated. For this purpose, four tests including Standardized Normal Homogeneity test (SNH), Buishand's Range test (BHR), Buishand's U test (BUR) and Petite's test were applied and the break points were determined. Then, at the stations with break points in the precipitation data series, the drought severity values were determined using four indices of SPI, SPEI, RDI and eRDI, for two periods, (before and after of the break points). Then drought characteristics based on Markov Chain Model and Transition probability matrix including vulnerability, reliability, reversibility and stationary of three condition of droughts (dry, normal and/or wet condition) were determined for the two time scales periods (annual and plant growth periods). Then, the differences between the characteristics for the two periods were investigated. Also, the characteristics of drought-free time intervals for the two periods based on Run's theory were determined and compared.

Results and Discussion: Based on the homogeneity tests, precipitation data of Arak and Tabriz stations for two scales of annual and plant growth periods have break points. According to the results, in the most cases, the second period's reversibility was lower than the first period. Reliability and vulnerability also decreased and increased in all cases in the second period, respectively, compared with the first period. In most cases, there was an increase in stationary of drought in the second period relative to the first period. The rate of change in the probability of survival of the normal and wet condition in both periods was increasing and in some cases decreasing. Regarding the results of Run's theory at the growth periods scale, the average and maximum duration of drought periods increased in all cases in the second period. The minimum, average and maximum severity of drought periods also increased in most cases in the second period. The minimum, average, and maximum values increased in most cases in the second period. On an annual basis, the number of drought periods in most cases has increased in the second period. The average and maximum duration of drought periods increased in all cases in the second period. The minimum, average, and maximum severity of drought periods also increased almost in all cases in the second period. Minimum, average, and maximum of drought magnitude values increased in most cases in the second period with respect to the first one. The minimum, average and maximum values of the drought-free durations (interval time without drought conditions) in most cases were lower in the second period. At the annual scale, the minimum duration of drought was one year in all cases and no change was found between the time slices. The average duration in most cases was lower in the second period.

Conclusion: The results show that the rainfall data of Arak and Tabriz stations have break points in the time

1- Former M.Sc. Student of Watershed Managements, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor in Water Resources Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)

3- Ph.D. in Water Science and Engineering, Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran

DOI: 10.22067/jsw.2021.14899.0

scales of plant growth period and annual periods. The reliability was decreasing while the vulnerability of drought was increasing in the second period, indicating an increase in drought occurrence in recent decades. Moreover, the probability of drought stability (stationary) in the second period increased in most cases. The average and maximum duration of drought periods also increased in the second period. The minimum, average, and maximum drought severity, and the minimum, average, and maximum of magnitude of drought periods were higher during the second period. In most cases, the minimum, average, and maximum of severity and magnitude of drought-free time intervals were lower in the second period. In general, difference in the characteristics of drought before and after of precipitation break point can be due to increased evapotranspiration, as a result of global warming, intensifying the effects of drought. Moreover, based on the results of the eRDI index, the climatic conditions became drier in both stations and time periods. In other words, it can be stated that the effective rainfall has decreased to some extent in recent years compared to the early years of the study period. Further studies are needed to assess the changes in drought characteristics in all synoptic stations in the country having long-term data.

Keywords: Breakpoint, eRDI index, RUN theory, Stationary, Transition probability matrix