



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تعیین خصوصیات خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره‌های مختلف زمانی

\* ابوالفضل مساعدی<sup>۱</sup>، سمانه محمدی‌مقدم<sup>۲</sup> و غزاله کواکبی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۲</sup>دانشجوی دکتری گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی،

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** خشکسالی یک پدیده آب و هوایی است که در سراسر جهان و در همه مناطق اقلیمی اتفاق می‌افتد. هر پدیده خشکسالی با سه مشخصه تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی و بزرگی خشکسالی شناخته می‌شود. به منظور کمی‌سازی خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. از جمله شاخص‌های خشکسالی، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI, Reconnaissance Drought Index) می‌باشد. تغییر اقلیم و به دنبال آن تغییر در خصوصیات پدیده خشکسالی و تأثیر آن بر اکوسیستم‌ها باعث نگرانی در جوامع بشری و در بین پژوهشگران شده است. مطالعات خشکسالی در ایران به‌طور جدی از دهه گذشته آغاز شده است و در اغلب موارد به پایش و توصیف خشکسالی پرداخته شده است، در حالی‌که به ندرت اثرات تغییرات آب و هوایی بر خصوصیات خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به موارد ذکر شده، اگر چه خشکسالی در همه مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد، اما ویژگی‌های آن ممکن است در مناطق مختلف متفاوت باشد. ضمن آن‌که ممکن است ویژگی‌های خشکسالی در طول زمان هم به دلیل موضوع گرمایش جهانی (و تغییر اقلیم) تغییر یابد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی ویژگی‌های خشکسالی (شامل: تداوم، شدت، بزرگی، فاصله و فراوانی خشکسالی) و تغییرات احتمالی آن‌ها در محدوده هشت ایستگاه سینوپتیک کشور در طول یک دوره آماری ۶۰ ساله بر اساس شاخص RDI می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور پایش خشکسالی هشت ایستگاه سینوپتیک اصفهان، اهواز، بابلسر، تبریز، تهران، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد که در موقعیت‌های مختلف آب و هوایی و جغرافیایی کشور واقع شده‌اند، انتخاب شدند. علاوه بر ۳ ویژگی خشکسالی شامل: تداوم، شدت و بزرگی، ویژگی‌های دیگری از خشکسالی در این ایستگاه‌ها شامل فاصله خشکسالی و تعداد دفعات وقوع خشکسالی نیز با استفاده از تئوری ران معرفی و مورد بررسی قرار گرفتند. ضمن آن‌که هم‌زمان با پایش خشکسالی، خصوصیات خشکسالی و تغییرات احتمالی این ویژگی‌ها در طول دوره آماری، مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور، ابتدا مقادیر شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) برای کل دوره آماری (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) و در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه محاسبه شد. آن‌گاه خصوصیات خشکسالی شامل میانگین پارامترهای

\* مسئول مکاتبه: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

تداوم، شدت، بزرگی، فاصله و تعداد در "نیمه اول با نیمه دوم" دوره آماری با استفاده از آزمون من-ویتی در سطح ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. علاوه بر این نقطه شکست (سالی که مقادیر سری زمانی شاخص خشکسالی قبل و بعد از آن بیش‌ترین ناهمگنی را با یکدیگر دارند) با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف تعیین گردید. بر این اساس دوره آماری ۶۰ ساله به دو دوره (دوره قبل از شکست و دوره بعد از شکست) تقسیم شد و خصوصیات خشکسالی در این دو دوره نیز با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، در همه ایستگاه‌ها، نقطه شکست (سال شکست) در دوره آماری ۶۰ ساله با سالی که در میانه دوره قرار دارد (۱۹۸۱) متفاوت می‌باشد. در مقیاس سالانه در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد بررسی خصوصیات تداوم خشکسالی و تعداد خشکسالی تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد نداشته‌اند. سایر خصوصیات خشکسالی هم در مقیاس سالانه فقط در شهرهای تبریز و تهران تفاوت معنی‌دار دارند. در مقیاس فصلی و در مقایسه دوره ۱۹۸۰-۱۹۵۱ (نیمه اول) با دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ (نیمه دوم) در شهر زاهدان در نیمه دوم دوره آماری، شدت، بزرگی و تعداد خشکسالی‌ها افزایش ولی فاصله خشکسالی‌ها کاهش یافته‌است. سایر مناطق تغییر معنی‌داری را در ویژگی‌های خشکسالی نشان نمی‌دهند. در مقیاس فصلی، در مجموع می‌توان بیان نمود که خشکسالی‌های بهاره شدیدتر شده‌اند. ضمن آن که خشکسالی‌های زمستانه هم در اکثر شهرها تغییر محسوسی ننموده‌اند. در مقیاس ماهانه به‌طور کلی بیش‌ترین تعداد کاهش وقایع خشکسالی در ماه آبان اتفاق افتاده است، در حالی که در بسیاری از شهرها تعداد وقایع و یا شدت خشکسالی اردیبهشت و یا فروردین در نیمه دوم نسبت به نیمه اول افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده کاهش بارش‌ها و افزایش تبخیر و تعرق در ماه‌های فصل بهار باشد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی در همه ایستگاه‌ها در سطح ۹۵٪ دارای شکست می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده ناهمگنی و تغییر شرایط کلی خشکسالی می‌باشد. علاوه بر این، تغییراتی در خصوصیات خشکسالی و یا زمان وقوع خشکسالی در بعضی از مناطق کشور رخ داده است که این تغییرات در خشکسالی‌های ماهانه و به‌خصوص ماه‌های فصل بهار مشهودتر است. هر چند این تغییرات در بسیاری از موارد هنوز در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. علت اصلی این موضوع را می‌توان در ارتباط با موضوع گرمایش جهانی و تغییر اقلیم دانست.

**واژه‌های کلیدی:** تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی، تعداد دفعات خشکسالی، شاخص شناسایی خشکسالی (*RDI*)، ایران

## مقدمه

باعث تشدید اثرات این پدیده شود. خشکسالی نه تنها بر منابع آب سطحی، بلکه در درازمدت بر منابع آب زیرزمینی هم تأثیر می‌گذارد و می‌تواند باعث کاهش حجم ذخیره و کیفیت آب، کاهش تولید محصولات کشاورزی، کاهش تولید برقی و اختلال در زیستگاه‌های حواشی رودخانه‌ها شده و همچنین بر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار باشد (۱۴). خشکسالی ممکن است برای سال‌های متوالی ادامه داشته باشد و در نتیجه باعث عدم امنیت غذایی،

خشکسالی به‌عنوان دوره‌ای که در آن بارندگی نسبت به شرایط نرمال منطقه کاهش یافته‌است، تعریف می‌شود. این پدیده در سراسر جهان و در همه مناطق اقلیمی اتفاق می‌افتد (۱۲). به دلایل مختلف، پدیده خشکسالی با سایر بلایای طبیعی متفاوت است. زیرا تعیین شروع و خاتمه آن به‌روشنی مشخص نبوده و علاوه بر آن پدیده‌ای تدریجی بوده و در طی زمان تشدید می‌شود. ضمن این‌که فعالیت‌های بشر می‌تواند

کوتاهمدت (۱ تا چند ماهه) و بلندمدت (۲۴ و حتی ۴۸ ماهه) قابلیت استفاده دارد و از این نظر انعطاف‌پذیر است. این شاخص (RDI) مقایسه منطقی از وضعیت خشکسالی را در مناطق با آب و هوای متفاوت نشان می‌دهد (۵).

تغییر اقلیم و به دنبال آن تغییر در خصوصیات پدیده خشکسالی و تأثیر آن بر اکوسیستم‌های زمینی باعث نگرانی در جوامع بشری و در بین پژوهشگران شده‌است. هویجوورت و همکاران (۲۰۱۴)، اثرات تغییرات آب و هوایی بر خشکسالی را در دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ و دوره آینده ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ در حوضه چند رودخانه در سراسر جهان مورد بررسی قرار دادند (۸). بر اساس نتایج ایشان، وضعیت آب و هوا در آینده تغییر خواهد کرد و در اغلب حوضه‌ها (حدود ۶۵ درصد) طول مدت خشکسالی افزایش می‌یابد. لینگ و همکاران (۲۰۱۴) روند تغییرات خشکسالی در شمال، جنوب و شمال‌غرب چین و همچنین منطقه کیلینگ‌هایه در همین کشور را برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج ایشان، خشکسالی در شمال و جنوب چین روند افزایشی داشته در حالی‌که در شمال‌غرب دارای روند افزایشی با شیب کم و در منطقه کیلینگ‌هایه فاقد روند بوده است (۱۱). ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی روند تغییرات خشکسالی در نواحی مختلف چین با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)<sup>۳</sup> برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ گزارش نمودند که بر اساس نتایج آزمون من-کندال، برخی از مناطق روند کاهشی و برخی دیگر از مناطق روند افزایشی درخشکسالی را تجربه کرده‌اند. ایشان اضافه می‌نمایند که توزیع مکانی خشکسالی نشان می‌دهد که این پدیده از سمت جنوب‌شرقی به سمت شمال‌غربی چین در حال افزایش است (۲۶).

سوءتغذیه، شیوع و گسترش بیماری‌های واگیردار، قحطی و مهاجرت انسان‌ها شود. هر پدیده خشکسالی با سه مشخصه تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی و بزرگی خشکسالی شناخته می‌شود.

در طی قرن بیستم وقوع خشکسالی در هر دو مقیاس منطقه‌ای و جهانی افزایش داشته است (۷). وسعت مناطق متأثر از خشکسالی به‌شدت از دهه ۱۹۷۰ به بعد افزایش یافته‌است و این افزایش به گرم شدن کره زمین نسبت داده می‌شود (۷). بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش فراوانی، شدت و مدت خشکسالی‌ها شده است که این امر نیز اثرات زیان‌باری به سایر بخش‌ها به‌ویژه کشاورزی، آب، انرژی و محیط زیست وارد نموده است (۱۶). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که به‌دلیل تغییر شرایط آب و هوایی، خشکسالی‌ها و اثرات اجتماعی و اقتصادی مربوط به آن، در آینده افزایش خواهد یافت (۸).

به‌منظور کمی‌سازی خشکسالی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. از جمله شاخص‌های خشکسالی، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)<sup>۱</sup> می‌باشد. این شاخص قادر است خشکسالی را در دوره‌های زمانی کوتاهمدت و بلندمدت (۱ ماهه تا ۴۸ ماهه) پایش نماید. این شاخص توسط ساکرینس و وانگلیس (۲۰۰۴) معرفی شده‌است که به دلیل نیاز به داده‌های کم، حساسیت بالا و انعطاف‌پذیری زیاد کاربرد آن در حال افزایش است. این شاخص با توجه به این‌که بر مبنای بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود، نسبت به شاخص‌هایی از خشکسالی که تنها بر مبنای بارندگی می‌باشد (مانند شاخص بارش استاندارد شده، SPI)<sup>۲</sup>، به متغیرها و تغییرات آب و هوایی حساسیت بیشتری دارد (۲۰). این شاخص، همانند شاخص SPI برای بازه‌های زمانی

1- Reconnaissance Drought Index

2- Standardized Precipitation Index

3- Palmer Drought Severity Index

کومار و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تغییرات خشکسالی‌های موسمی در هند با استفاده از شاخص تبخیر و تعرق بارش استاندارد شده (SPEI)<sup>۱</sup>، به این نتیجه رسیدند که شدت خشکسالی متوسط و مناطق تحت‌تأثیر خشکسالی متوسط در دهه‌های اخیر افزایش داشته است. ایشان اضافه می‌نمایند که به‌طور خاص فراوانی خشکسالی‌های چند ساله (۲۴ ماهه) افزایش معنی‌داری داشته است که به‌دلیل افزایش دمای سطحی و خشکی اتمسفر می‌باشد. این پژوهشگران اضافه می‌نمایند که تغییرات خشکسالی‌های موسمی در هند به‌وسیله ناهنجاری‌های دمای سطح آب‌های گرمسیری کنترل می‌شود و بخش عمده‌ای از تغییرات خشکسالی تحت‌تأثیر نوسانات جنوبی (النینو) قرار دارد. ایشان در خاتمه نتیجه می‌گیرند که گرم شدن کره زمین به‌ویژه گرم شدن اقیانوس هند عامل افزایش شدت خشکسالی‌ها در دهه‌های اخیر در هند می‌باشد (۱۰).

مطالعات خشکسالی در ایران به‌طور جدی از دهه گذشته آغاز شده است و در اغلب موارد به پایش و توصیف خشکسالی پرداخته شده است (۱۵، ۳، ۱۸، ۲)، در حالی که به ندرت اثرات تغییرات آب و هوایی بر خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است. خداقلی و همکاران (۲۰۱۴) با تحلیل خشکسالی و روند آن در استان اصفهان بر اساس شاخص بارش استاندارد شده و با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال به این نتیجه رسیدند که مناطق جنوبی و شرقی استان اصفهان شامل گلپایگان، خور و بیابانک، نائین و شهرضا روند نزولی و اردستان، فریدون‌شهر و نطنز روند صعودی در وقوع خشکسالی را در آینده خواهند داشت (۹). زهتابیان و همکاران (۲۰۱۳) نیز با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ارتباط SPI و RDI در خراسان

پوتوپ و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی ویژگی‌های فراوانی و طول مدت خشکسالی، در جمهوری چک در طول فصل رشد (آوریل تا سپتامبر) با استفاده از شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای ۱۸۴ ایستگاه کلیماتولوژی و برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰، بر اساس نتایج آزمون ناپارامتریک من-کندال به این نتیجه رسیدند که روند منفی خشکسالی در اکثر ایستگاه‌ها قابل مشاهده است. همچنین ایستگاه‌هایی که در سطح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد روند منفی معنی‌داری را نشان می‌دهند، ۴۰ درصد از کل ایستگاه‌ها را شامل می‌شوند (۱۷). گوسیچ و راج‌کوویچ (۲۰۱۳) با بررسی روند تغییرات شاخص بارش استاندارد شده با استفاده از رگرسیون خطی، آزمون من-کندال و آزمون اسپیرمن در سطح ۵ درصد، با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در صربستان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰، به این نتیجه رسیدند که فقط در دو ایستگاه از ایستگاه‌های مورد بررسی خشکسالی روند کاهشی داشته است و در سایر ایستگاه‌ها، روند افزایشی بوده است (۶). یان جون و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی ویژگی‌های خشکسالی ۳۵ ایستگاه هواشناسی در حوضه رودخانه هایه در چین بر اساس شاخص بارش استاندارد شده برای مقیاس سالانه و در طی دوره ۵۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۶۱)، به این نتیجه رسیدند که در آغاز قرن ۲۱، فراوانی خشکسالی‌ها و مناطق تحت‌تأثیر خشکسالی در حوضه رودخانه هایه کاهش ولی شدت خشکسالی افزایش یافته است. ایشان اضافه می‌نمایند که عمده خشکسالی‌ها از نوع خفیف و متوسط می‌باشد و خشکسالی شدید به ندرت رخ داده است. ضمن آن‌که در شرایط فعلی تغییر آب و هوا، خشکسالی سبب کاهش تولید محصولات کشاورزی در این منطقه شده است (۲۴).

1- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ در مورد ایستگاه‌های ذکر شده از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید.

**پایش خشکسالی:** به منظور پایش خشکسالی و بررسی اثرات کمی آن، شاخص‌های متفاوتی در دهه‌های گذشته و به خصوص در دو دهه اخیر توسعه یافته‌اند. در این پژوهش به منظور پایش خشکسالی هواشناسی در محدوده ایستگاه‌های مورد مطالعه از شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) استفاده شده است.

شاخص نسبتاً جدید RDI توسط ساگریس و وانگلیس (۲۰۰۴) ارائه گردید. چندی بعد اطلاعات جامع و بیش‌تری از این شاخص به همراه نحوه محاسبه آن، توسط ساگریس و وانگلیس (۲۰۰۵) و ساگریس و همکاران (۲۰۰۷) انتشار یافت. آن‌ها بیان می‌دارند که معمولاً خشکسالی‌هایی که در منطقه مدیترانه به وقوع می‌پیوندد، با افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق همراه هستند، بنابراین بارش به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خصوصیات خشکسالی در این مناطق باشد (۲۱ و ۲۲). این شاخص (به‌طور مثال در مقیاس سالانه) طی مراحل به شرح زیر محاسبه می‌گردد (۲۲).

ابتدا با استفاده از نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر اولیه  $\alpha_0^{(i)}$  برای هر بازه زمانی دلخواه یا سال‌های مختلف بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\alpha_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, \quad i = 1 : N \quad \text{and} \quad j = 1 : 12 \quad (1)$$

جنوبی، بر اساس داده‌های ۶ ایستگاه سینوپتیک این استان در طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۱-۱۹۹۰)، به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص SPI، خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۱ در منطقه اتفاق افتاده است. ضمن آن‌که شاخص RDI فراوانی خشکسالی با شدت‌های بالا را بیش‌تر نشان می‌دهد (۲۵).

با توجه به موارد ذکر شده، اگر چه خشکسالی در همه مناطق آب و هوایی اتفاق می‌افتد، اما ویژگی‌های آن ممکن است در مناطق مختلف، متفاوت باشد. ضمن آن‌که ویژگی‌های خشکسالی در طول زمان هم به دلیل موضوع گرمایش جهانی (و تغییر اقلیم) ممکن است تغییر یابد.

بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی ویژگی‌های خشکسالی (شامل: تداوم، شدت، بزرگی، فاصله و فراوانی خشکسالی) و تغییرات احتمالی آن‌ها در محدوده هشت ایستگاه سینوپتیک کشور (با وضعیت آب و هوایی متفاوت) در طول یک دوره آماری ۶۰ ساله بر اساس شاخص RDI می‌باشد.

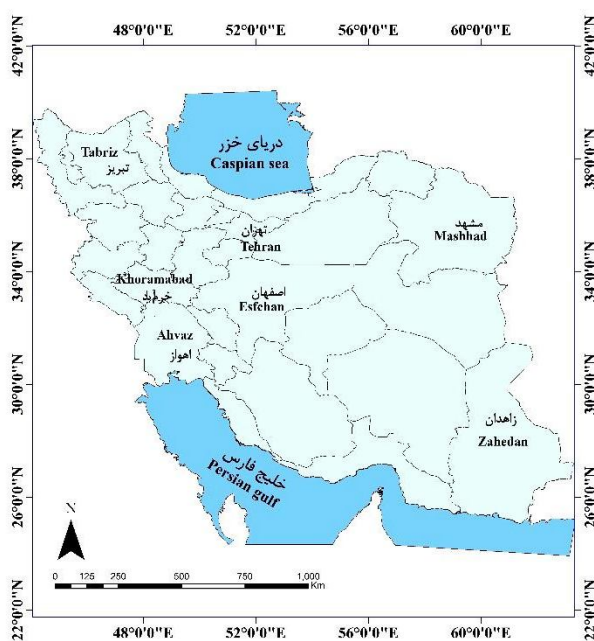
### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** به منظور پایش خشکسالی هشت ایستگاه سینوپتیک اصفهان، اهواز، بابلسر، تبریز، تهران، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد که در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی و شرایط متفاوت آب و هوایی واقع شده‌اند، انتخاب شدند (جدول ۱ و شکل ۱). آمار مقادیر بارندگی، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر و متوسط دمای دماسنج خشک، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و باد برای یک دوره ۶۰ ساله از

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های آب و هوایی شهرهای مورد بررسی.

**Table 1. Geographical locations and climatic characteristics of the studied areas.**

متوسط تبخیر و تعرق سالانه (mm) Annual mean evapotranspiration	متوسط بارندگی سالانه (mm) Annual mean precipitation	متوسط دمای سالانه (°C) Annual mean temperature	ارتفاع (m) Elevation	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Station's name
1475.5	122.94	16.3	1550.40	32°37'	51°40'	اصفهان Esfahan
2083.1	223.60	25.3	22.50	31°20'	48°40'	اهواز Ahvaz
879.8	894.78	17.0	-21.00	36°43'	52°39'	بابلسر Babolsar
1345.7	289.30	12.5	1361.00	38°05'	46°17'	تبریز Tabriz
1559.6	233.91	17.3	1190.80	35°41'	51°19'	تهران Tehran
1425.6	511.06	17.2	1147.80	33°26'	48°17'	خرم‌آباد Khoramabad
1914.1	89.26	18.4	1370.00	29°28'	60°53'	زاهدان Zahedan
1276.4	253.40	14.3	999.20	36°16'	59°38'	مشهد Mashhad



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه در کشور.

**Figure 1. Geographical locations of the studied area in Iran.**

شاخص خشکی ارائه شده از سوی سازمان فائو است. عبارت سوم در محاسبه این شاخص، مقادیر RDI استاندارد شده ( $RDI_{st}$ ) می‌باشند که با فرض این که مقادیر  $\alpha_0^{(i)}$  از توزیع لوگ‌نرمال پیروی می‌کنند با استفاده از مقادیر  $\alpha_0^{(i)}$  سال‌های مختلف، مطابق با رابطه ۳ محاسبه می‌شوند.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\bar{\sigma}_y} \quad (3)$$

که در آن،  $y_i$  برابر است  $\ln(\alpha_0^{(i)})$ ،  $\bar{y}$  و  $\bar{\sigma}_y$  به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر  $y_i$  می‌باشد. در توسعه شاخص RDI استاندارد شده ( $RDI_{st}$ ) از مفاهیم شاخص SPI استفاده شده است. بنابراین، مقادیر طبقه‌های مختلف وضعیت خشکسالی، مشابه با طبقه‌های ارائه شده توسط ادوارد و مک‌کی (۱۹۹۷) برای شاخص SPI می‌باشد که در جدول ۲ ارائه شده است.

در رابطه ۱،  $P_{ij}$  و  $PET_{ij}$  به ترتیب مقادیر باران و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه  $j$  ام از سال  $i$  می‌باشد. در مناطق مدیترانه‌ای که این شاخص در آنجا توسعه یافته است شروع دوره سالانه معمولاً از ماه اکتبر در نظر گرفته می‌شود. پارامتر  $N$  برابر تعداد سال‌های دوره آماری است. روش پیشنهاد شده برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ( $PET$  یا  $ET_0$ ) در این شاخص، روش تورنت وایت ( $Th$ ) می‌باشد که با استفاده از داده‌های دمای میانگین به محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ ) می‌پردازد.

عبارت دوم در محاسبه این شاخص، مقادیر RDI نرمال شده ( $RDI_n$ ) می‌باشند که با استفاده از مقادیر  $\alpha_0^{(i)}$  محاسبه شده برای سال‌های مختلف در گام قبلی، مطابق با رابطه ۲ محاسبه می‌شوند.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\bar{\alpha}_0} - 1 \quad (2)$$

که در آن،  $\bar{\alpha}_0$  میانگین حسابی مقادیر  $\alpha_0^{(i)}$  در سال‌های مورد بررسی می‌باشد که برابر با نسبت

جدول ۲- طبقات مختلف وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص RDI: (۲۲).

Table 2. Classification of drought conditions according to RDI indices.

مقدار شاخص Index value	نماد Symbol	طبقات خشکسالی Drought classes
2.00 or more	EW	ترسالی بسیار شدید Extremely Wet
1.50 to 1.99	VW	ترسالی شدید Severely Wet
1.00 to 1.49	MW	ترسالی متوسط Moderately Wet
-0.99 to 0.99	N	نرمال Normal
-1.49 to -1.00	MD	خشک‌سالی متوسط Moderately Drought
-1.99 to -1.50	SD	خشک‌سالی شدید Severely Drought
-2.00 or less	ED	خشک‌سالی بسیار شدید Extremely Droughty

طول دوره خشکسالی یا تداوم خشکسالی<sup>۲</sup> (DL) به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$DL = t_f - t_i + 1 \quad (5)$$

که در آن،  $t_i$  و  $t_f$  به ترتیب زمان شروع و پایان خشکسالی و DL طول دوره (تداوم) خشکسالی است. مجموع کمبودها یا شدت خشکسالی<sup>۳</sup> (DS) برابر با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر در دوره وقوع خشکسالی می‌باشد. بر این اساس، شدت خشکسالی (DS) به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$DS = \sum_{t=1}^{dl} |x_0 - x_t| \quad (6)$$

بزرگی خشکسالی<sup>۴</sup> (DM) که همان میانگین کمبودها است برابر با نسبت مجموع کمبودها (DS) به طول دوره خشکسالی (DL) است و از رابطه ۷ محاسبه می‌باشد.

$$DM = \frac{DS}{DL} \quad (7)$$

در شکل ۲ ناحیه‌های هاشور خورده ۱، ۲ و ۳ به ترتیب دوره‌های خشکسالی با بیشترین کمبود، طولانی‌ترین مدت و بیشترین بزرگی را نشان می‌دهند (۲۴).

علاوه بر ۳ خصوصیت فوق که در رابطه با خشکسالی تعریف شده است، در این پژوهش خصوصیتی دیگری از خشکسالی شامل فاصله خشکسالی<sup>۵</sup> (DI) و تعداد دفعات خشکسالی<sup>۶</sup> (DN) نیز معرفی و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

با توجه به این که روش فائو- پنمن- مانتیث به عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از سوی فائو پیشنهاد شده است (۱)، در این پژوهش جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش فائو- پنمن- مانتیث (رابطه ۴) استفاده شد و پس از آن مقادیر شاخص RDI در بازه زمانی سالانه در هر ایستگاه محاسبه شد.

$$FPM = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (8)$$

که در آن، T میانگین دمای روزانه (°C)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), G چگالی شار گرمای خاک ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $\gamma$  ضریب سایکرومتری رطوبتی ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  فشار بخار اشباع (kPa)،  $e_a$  فشار بخار واقعی (kPa) می‌باشد (۱). به این منظور از داده‌های متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، ساعت آفتابی، متوسط درصد رطوبت نسبی و متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری در طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ در رابطه با هر یک از ایستگاه‌های هشت‌گانه استفاده شد.

**تحلیل ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از تئوری ران:** یکی از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی، تئوری ران<sup>۱</sup> می‌باشد (۱۳). با استفاده از این تئوری سه ویژگی مهم خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی) را می‌توان تعریف نمود که در شکل ۲ این مشخصات با در نظر گرفتن سطح آستانه  $X_0$  برای متغیر اصلی  $X_t$  نشان داده شده‌اند. بر اساس این روش، طول دوره خشکسالی برابر فاصله زمانی است که در طی آن، مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی کم‌تر است (ناحیه‌های هاشور خورده در شکل ۲). بر این اساس



و تغییرات احتمالی این ویژگی‌ها در طول دوره آماری، مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور، ابتدا مقادیر شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) برای کل دوره آماری (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰) و در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه محاسبه شد. بر این اساس، سری زمانی مقادیر RDI در هر یک از سه مقیاس زمانی تشکیل شد. آن‌گاه بر اساس آزمون ناپارامتری کلموگروف-اسمیرنوف نقطه شکست در هر یک از ۳ سری زمانی تعیین شد. نقطه شکست، در سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی به‌عنوان سالی در نظر گرفته شد که مقادیر شاخص خشکسالی قبل از آن سال با مقادیر شاخص خشکسالی بعد از آن سال، بیش‌ترین ناهمگنی را با یکدیگر از نظر آماری دارند. این آزمون برای ارزیابی همگنی متغیرهای رتبه‌ای، در دو نمونه (مستقل و یا غیرمستقل) و یا همگنی توزیع یک نمونه با توزیعی که برای جامعه فرض شده است، به‌کار می‌رود. به‌منظور تعیین نقطه شکست در سری زمانی، سری زمانی مقادیر شاخص RDI به دو بخش تقسیم شد و این دو بخش با یکدیگر مقایسه شدند. در این بررسی حداقل طول دوره آماری در هر بخش ۲۰ سال در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که طول دوره آماری ۶۰ سال می‌باشد، ابتدا وضعیت همگنی مقادیر شاخص خشکسالی RDI در ۲۰ سال اول با مقادیر RDI در ۴۰ سال آخر مقایسه شد. سپس، وضعیت همگنی مقادیر RDI در ۲۱ سال اول با ۳۹ سال آخر و به همین صورت این بررسی تا مقایسه وضعیت همگنی مقادیر RDI در ۴۰ سال اول با ۲۰ سال آخر انجام شد. در نهایت دو وضعیتی که در آن بیش‌ترین اختلاف معنی‌دار از نظر همگنی رخ داده است، به‌عنوان نقطه تغییر در سری داده‌ها تعیین شد. آزمون در سه سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد انجام گرفت.

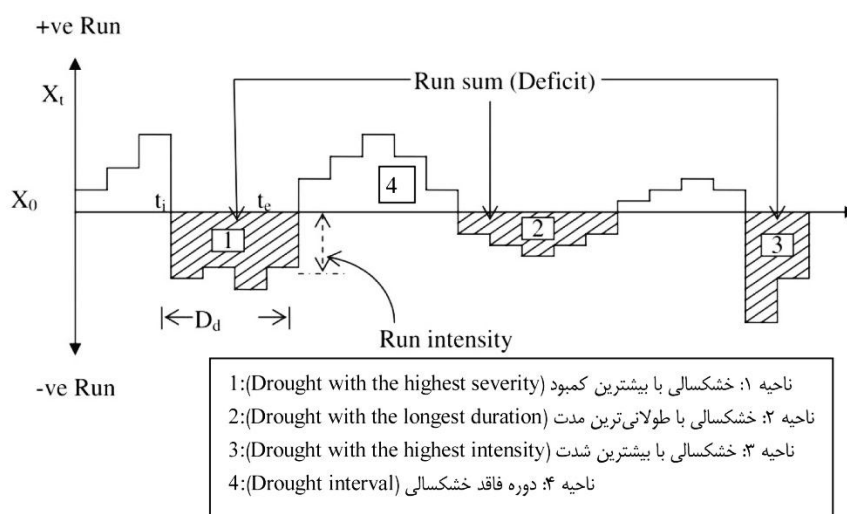
**فاصله خشکسالی (DI):** فاصله بین دو واقعه خشکسالی می‌باشد. با توجه به شکل ۲، فاصله خشکسالی برابر است با طول مدتی که سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی بالای سطح آستانه خشکسالی (مثلاً بالاتر از -۱) قرار می‌گیرند. در شکل ۲ این ناحیه در محدوده ۴ نشان داده شده است. با توجه به موارد ذکر شده فاصله خشکسالی (زمان خاتمه خشکسالی تا شروع خشکسالی بعدی، یا به‌عبارت دیگر زمانی که بین یک خشکسالی تا خشکسالی بعدی وقفه افتاده است) با استفاده از رابطه ۸ تعیین شده است.

$$DI = t_{i+1} - t_f + 1 \quad (8)$$

که در آن،  $t_{i+1}$  و  $t_f$ ، به‌ترتیب زمان شروع خشکسالی بعدی و زمان پایان خشکسالی قبلی و DI طول زمان فاقد خشکسالی (شرایط نرمال یا ترسالی) یا به‌عبارتی دیگر فاصله بین دو خشکسالی متوالی است.

**تعداد دفعات خشکسالی (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 پائین‌تر از سطح آستانه خشکسالی (مثلاً کم‌تر از -۱) قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال در شکل ۲ تعداد دفعات خشکسالی ۳ مرتبه می‌باشد.

**پارامترهای مورد بررسی:** با توجه به این‌که احتمال داده می‌شود که تغییرات ناشی از گرمایش جهانی که از دهه‌های گذشته شروع شده است، بر خصوصیات خشکسالی در مناطق مختلف اقلیمی اثر گذاشته و خصوصیات آن‌ها را تغییر داده باشد، در این پژوهش هم‌زمان با پایش خشکسالی، خصوصیات خشکسالی



شکل ۲- توصیف خصوصیات خشکسالی با استفاده از تئوری ران با در نظر گرفتن سطح آستانه  $X_0$ .

Figure 2. Description of drought characterization by using Run theory with truncation level of  $X_0$ .

از فرضیات آزمون من- ویتنی این است که داده‌ها، نمونه‌های تصادفی مستقل از دو جمعیت با شکل توزیع و واریانس یکسان هستند و مقیاس داده‌ها به صورت پیوسته است یا اگر به صورت گسسته باشد، دارای ترتیب طبیعی است. این آزمون بر اساس مقایسه میانگین‌های یک پارامتر در دو تیمار (در اینجا دو نیمه یا دو دوره آماری با طول متفاوت) عمل می‌نماید و نمی‌تواند مقدار کل یک پارامتر از دو تیمار را مقایسه کند. به همین دلیل انجام آزمون من- ویتنی در مورد مقایسه تعداد خشکسالی در مقیاس سالانه در نیمه اول با نیمه دوم امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا در این صورت فقط دو عدد (تعداد کل خشکسالی در نیمه اول و نیمه دوم) باید با یکدیگر مقایسه شود. ولی در مورد تعداد خشکسالی در مقیاس‌های فصلی و ماهانه با توجه به این‌که تعداد متوسط خشکسالی‌ها در هر فصل یا ماه مورد بررسی قرار گرفته است، می‌توان با استفاده از آزمون من- ویتنی مقایسه میانگین‌ها را انجام داد. محاسبات مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزارهای Excell و R انجام شده است.

در مرحله بعد خصوصیات خشکسالی (بر اساس رابطه‌های ۵ تا ۸) در طول کل دوره آماری تعیین شد. آن‌گاه کل دوره آماری به دو نیمه، (نیمه اول ۱۹۵۱-۱۹۸۰ و نیمه دوم ۲۰۱۰-۱۹۸۱) تقسیم شد و خصوصیات خشکسالی در نیمه اول با نیمه دوم مورد مقایسه قرار گرفت. علاوه بر آن، با توجه به نقطه شکست سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی بر اساس نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنوف، خصوصیات خشکسالی در بخش اول (دوره قبل از شکست) با بخش دوم (دوره بعد از شکست) مورد مقایسه قرار گرفت.

**آنالیز آماری:** خصوصیات خشکسالی شامل میانگین پارامترهای تداوم، شدت، بزرگی، فاصله و تعداد دفعات وقوع خشکسالی در "نیمه اول با نیمه دوم دوره آماری" با استفاده از آزمون من- ویتنی در سطح ۹۵ درصد مقایسه شده است. آزمون مساوی بودن میانگین‌های دو جمعیت را می‌توان با استفاده از آزمون من- ویتنی انجام داد که فرض‌های این آزمون به صورت " $H_0$ : فرض مساوی بودن میانگین‌ها" در مقابل " $H_1$ : فرض نامساوی بودن میانگین‌ها" می‌باشد.

## نتایج و بحث

همان‌گونه که بیان شد وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) در طول دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۵۱ الی ۲۰۱۰) در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه تعیین شد. بر اساس نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در سری زمانی مقادیر شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) در همه ایستگاه‌ها، سال شکست (نقطه شکست، سالی که سری زمانی مقادیر (RDI) در قبل از آن سال با سری زمانی بعد از آن سال بیش‌ترین ناهمگنی را دارد)، با سال شروع نیمه دوم دوره آماری (۱۹۸۱)، متفاوت

می‌باشد (جدول ۳). به عبارت دیگر، بیش‌ترین شکست و یا ناهمگنی سری زمانی مقادیر خشکسالی در میانه دوره آماری اتفاق نیفتاده است. به بیان دیگر بیش‌ترین شکست در سری زمانی مقادیر شاخص شناسایی خشکسالی در میانه این سری نمی‌باشد. در شهرهای اصفهان، اهواز، بابلسر و تهران این شکست قبل از سال ۱۹۸۰ و در شهرهای تبریز، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد این شکست بعد از سال ۱۹۸۰ اتفاق افتاده است (جدول ۳).

جدول ۳- سال وقوع بیش‌ترین شکست و ناهمگنی در سری زمانی مقادیر RDI بر اساس آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در شهرهای مورد بررسی طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱.

Table 3. Cut point time according to Kolmogorov-Smirnov test for RDI time series values in the studied area over the period 1951-2010.

مشهد	زاهدان	خرم‌آباد	تهران	تبریز	بابلسر	اهواز	اصفهان	
Mashhad	Zahedan	Khormabad	Tehran	Tabriz	Babolsar	Ahvaz	Esfahan	
1986	1982	1988	1974	1989	1977	1974	1975	سال شکست cut year
0.89	0.98	0.78	0.64	0.75	0.94	0.64	0.81	احتمال همگنی Porob. of homogeneity
0.15	0.11	0.17	0.19	0.18	0.13	0.19	0.16	حداکثر اختلاف Max. difference
36	32	38	24	39	27	24	25	تعداد سال‌های دوره اول No. of years in 1 <sup>st</sup> period
24	28	22	36	21	33	36	35	تعداد سال‌های دوره دوم No. of years in 2 <sup>nd</sup> period

کل آماری در هر ایستگاه به دو دوره‌ای که با یکدیگر بیش‌ترین ناهمگنی را داشتند، تفکیک شد. آن‌گاه خصوصیات خشکسالی در دوره اول با دوره دوم (دو دوره متفاوت) مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به جدول‌های ۴ و ۵ بر اساس دو نیمه مساوی و دو دوره متفاوت، در مقیاس سالانه در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد بررسی ویژگی‌های تداوم خشکسالی و تعداد دفعات وقوع

مقایسه خصوصیات خشکسالی: با استفاده از رابطه‌های ۵ تا ۸ خصوصیات خشکسالی در طول کل دوره آماری ۶۰ ساله تعیین شد. با تقسیم دوره آماری به دو نیمه مساوی (هر نیمه ۳۰ سال) خصوصیات خشکسالی در نیمه اول با نیمه دوم مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که بیان شد، با توجه به نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و بر اساس جدول ۳، دوره

در شهر بابلسر نیز تداوم خشکسالی در هر دو روش مقایسه افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. برای مثال در مقایسه نیمه اول (۱۹۸۰-۱۹۵۱) با نیمه دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱) تداوم خشکسالی از ۱/۰۲ ماه به ۱/۲۷ ماه افزایش یافته است (جدول ۴). در هیچ‌کدام از مناطق تعداد و فاصله خشکسالی در مقایسه دو نیمه مساوی تغییر معنی‌داری نداشته‌اند. در حالی‌که در وضعیت دو دوره متفاوت، در اهواز فاصله خشکسالی‌ها از ۸ ماه به ۵ ماه کاهش و در تهران از ۵ ماه به ۷ ماه افزایش یافته است (جدول ۵). بر اساس نتایج هر دو روش مقایسه، خصوصیات خشکسالی در شهر اصفهان در هیچ‌یک از ویژگی‌های خشکسالی و در هیچ‌یک از مقیاس‌های زمانی تغییر معنی‌داری ایجاد نشده است. در حالی‌که در سایر شهرها حداقل یکی از ویژگی‌ها در حداقل یک مقیاس زمانی اختلاف معنی‌داری را دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد از میان شهرهای مورد بررسی اصفهان تنها شهری است که در آن ویژگی‌های خشکسالی در طول دوره مورد بررسی تغییر معنی‌داری نداشته است.

#### مقایسه طبقات خشکسالی

**مقیاس سالانه و فصلی:** درصد وقوع دفعات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی در مقیاس‌های سالانه و فصلی در دو نیمه متفاوت و در دو دوره متفاوت در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. در این جدول‌ها درصد وقوع هر یک از وضعیت‌های خشکسالی (متوسط، شدید و بسیار شدید) و در هر یک از دو نیمه یا دو دوره آماری در مقایسه با کل وقایع خشکسالی در طول دوره آماری نشان داده شده است. بر اساس هر دو روش تفکیک دوره آماری، فقط در سه شهر (اصفهان، اهواز و تهران) تعداد کل خشکسالی‌های سالانه کاهش و در پنج شهر (بابلسر، تبریز، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد) افزایش یافته است (جدول‌های ۶ و ۷).

خشکسالی تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد نداشته‌اند. سایر خصوصیات خشکسالی هم در مقیاس سالانه فقط در شهرهای تبریز و تهران تفاوت معنی‌دار دارند. در تهران دو خصوصیت شدت و بزرگی هم در مقایسه دو نیمه مساوی و هم دو دوره متفاوت، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. در این ایستگاه بزرگی و شدت خشکسالی نسبت به دوره گذشته کاهش یافته است. در تبریز هم در مقایسه دو نیمه مساوی و هم دو دوره متفاوت، خصوصیت فاصله خشکسالی کاهش یافته است و در مقایسه دو دوره نامساوی از ۱۸/۵ سال به ۲/۶ سال تغییر یافته است (جدول ۵).

در مقیاس فصلی و در مقایسه نیمه اول (۱۹۸۰-۱۹۵۱) با نیمه دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در شهر زاهدان شدت، بزرگی و تعداد خشکسالی‌ها افزایش و فاصله خشکسالی‌ها کاهش دارد (جدول ۴). در شهر اهواز تعداد خشکسالی‌ها افزایش و فاصله آن‌ها کاهش یافته است. سایر مناطق تغییر معنی‌داری را در خصوصیات خشکسالی فصلی نشان نمی‌دهند (جدول ۴). در مقایسه دو دوره متفاوت فاصله خشکسالی فصلی و تعداد دفعات آن در شهرهای زاهدان و خرم‌آباد در بین دو نیمه اختلاف معنی‌داری را پیدا نموده است، به‌گونه‌ای که تعداد دفعات وقوع خشکسالی به‌ترتیب از ۷ مرتبه به ۱۷ مرتبه و ۱۲ مرتبه به ۱۶ مرتبه افزایش یافته است. در نتیجه متوسط فاصله خشکسالی فصلی در این شهرها به‌ترتیب از حدود ۱۷ فصل به ۶ فصل و از حدود ۱۰ فصل به ۴ فصل کاهش یافته است (جدول ۵). در تبریز نیز بزرگی خشکسالی از ۱/۹۴- به ۱/۸۱- کاهش یافته است که این تغییر در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است (جدول ۵).

در مقیاس ماهانه بر اساس هر دو روش مقایسه خصوصیات خشکسالی، (دو نیمه مساوی (جدول ۴) و یا دو دوره متفاوت (جدول ۵) در شهر مشهد تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی کاهش یافته است.

می‌شود که در مقیاس سالانه، در ۷ شهر از ۸ شهر مورد بررسی تعداد خشکسالی‌های متوسط در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. در عین حال تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید، فقط در سه شهر از ۸ شهر مورد بررسی افزایش پیدا نموده است (جدول ۶).

مقایسه طبقات مختلف وضعیت خشکسالی در مقیاس سالانه، در شرایطی که دو نیمه اول و دوم دوره آماری با یکدیگر مقایسه شوند نشان می‌دهد که فقط در دو شهر (بابلسر و خرم‌آباد) تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید افزایش یافته است (جدول ۶). در حالی که با توجه به جدول ۷ مشاهده

جدول ۴- میانگین مقادیر ویژگی‌های خشکسالی در دو دوره آماری ۳۰ ساله (دو نیمه مساوی) و نتایج آزمون من-وینتی در شهرهای مورد بررسی.

**Table 4. The average values of droughts characteristic in two halves periods (30yr) and, results of Mann-Whitney test for the studied areas.**

مشهد Mashhad	زاهدان Zahedan	خرم‌آباد Khorambad	تهران Tehran	تبریز Tabriz	بابلسر Babolsar	اهواز Ahvaz	اصفهان Esfahan	مقیاس زمانی Time intervals	ویژگی Characteristics	
1.33	1	1	1.2	1	1.25	2	2	سالانه Annual	تداوم	
1.2	1.4	1.4	1	1.33	1.20	1	1.33		2	Duration
-2.12	-1.35	-1.45	-2.10*	-1.69	-1.56	-3.28	-3.23		1	شدت
-1.77	-2.54	-1.83	-1.31	-2.19	-1.97	-2.18	-1.89		2	Severity
-1.64	-1.35	-1.45	-1.82*	-1.69	-1.24	-1.73	-1.56		1	بزرگی
-1.43	-1.42	-1.37	-1.31	-1.50	-1.70	-2.18	-1.51		2	Magnitude
6.5	6.75	5	4	14.5*	5	5	4.4		1	فاصله
4.8	2.20	4.6	6.75	2.6	4.8	6.5	6.5		2	Interval
3	3	5	5	2	4	3	4	1	تعداد	
5	5	5	3	5	5	3	3	2	Number	
1.21	1	1.2	1.3	1.57	1.16	1	1.07	فصلی Seasonal	تداوم	
1.46	1.22	1.2	1.13	1.38	1.28	1.22	1		2	Duration
-1.65	-1.41*	-1.92	-1.89	-2.83	-1.91	-1.28	-1.60		1	شدت
-2.39	-2.33	-1.75	-1.92	-2.43	-2.47	-1.61	-1.69		2	Severity
-1.39	-1.41*	-1.60	-1.47	-1.98	-1.69	-1.28	-1.55		1	بزرگی
-1.52	-1.92	-1.51	-1.68	-1.82	-1.91	-1.25	-1.69		2	Magnitude
4.89	16.28*	9.81	4.55	14.83	8.15	12.14*	6.5		1	فاصله
6.21	5.5	5.10	6.86	5.92	7.28	5.05	6.11		2	Interval
22	6*	10	20	15	12	8*	14	1	تعداد	
10	17	18	15	7	14	18	16	2	Number	
1.32*	1.07	1.12	1.30	1.24	1.02*	1.2	1.20	ماهانه Monthly	تداوم	
1.15	1.26	1.13	1.26	1.17	1.27	1.19	1.25		2	Duration
-2.13*	-1.64	-2.01	-2.13	-1.80*	-1.98	-1.87	-1.78		1	شدت
-1.74	-1.96	-1.79	-2.00	-2.27	-2.36	-1.90	-1.99		2	Severity
-1.53*	-1.52	-1.73	-1.65	-1.45*	-1.94	-1.54	-1.56		1	بزرگی
-1.46	-1.50	-1.61	-1.55	-1.92	-1.86	-1.62	-1.53		2	Magnitude
7.02	9.22	7.9	5.92	7.2	8	6.06	7.33		1	فاصله
6.77	8.21	8.63	7.33	6.4	6.86	8.65	6.40		2	Interval
43	27	39	49	41	39	52	42	1	تعداد	
46	38	35	42	48	44	36	46	2	Number	

\* تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۵٪

جدول ۵- میانگین مقادیر ویژگی‌های خشکسالی‌ها در دو دوره آماری با طول متفاوت و نتایج آزمون من-وینتی در شهرهای مورد بررسی.

Table 5. The average values of droughts characteristic in two different periods and results of Mann-Whitney test for the studied areas.

مشهد Mashhad	زاهدان Zahedan	خرم‌آباد Khorambad	تهران Tehran	تبریز Tabriz	بابلسر Babolsar	اهواز Ahvaz	اصفهان Esfahan	شماره دوره	ویژگی Characteristics	مقیاس زمانی Time intervals
1.3	1	1	1.2	1	1.25	2	2	1	تداوم	سالانه Annual
1.2	1.40	1.40	1	1.33	1.20	1	1.33	2	Duration	
-2.12	-1.35	-1.45	-2.10*	-2.37	-1.56	-2.18	-3.23	1	شدت	
-1.77	-2.54	-1.83	-1.31	-2.02	-1.97	-2.18	-1.89	2	Severity	
-1.64	-1.35	-1.45	-1.82*	-1.61	-1.24	-1.73	-1.56	1	بزرگی	
-1.43	-1.42	-1.37	-1.31	-1.54	-1.70	-2.18	-1.51	2	Magnitude	
7.75	7	6.4	3.4	18.5*	4.20	5	3.20	1	فاصله	
3.8	4.20	3.20	8.5	2.6	5.60	6.5	8	2	Interval	
4	3	5	5	2	4	3	4	1	تعداد	
5	5	5	3	5	5	3	3	2	Number	
1.18	1	1.16	1.31	1.5	1.20	1	1.09	1	تداوم	فصلی Seasonal
1.6	1.23	1.25	1.15	1.42	1.25	1.21	1	2	Duration	
-1.61	-1.58*	-1.77	-1.95	-2.96	-2.04	-1.29	-1.63	1	شدت	
-2.61	-2.32	-1.84	-1.86	-2.22	-2.32	-1.59	-1.65	2	Severity	
-1.38	-1.58	-1.50	-1.51	-1.94*	-1.78	-1.29	-1.53	1	بزرگی	
-1.57	-1.88	-1.57	-1.61	-1.81	-1.83	-1.25	-1.65	2	Magnitude	
4.86	16.71*	10.30*	4.53	11.66	8.36	9.16	6.38	1	فاصله	
6.18	5.64	4.17	6.63	6.1	7.25	6.44	6.25	2	Interval	
22	7*	12*	16	10	10	7	11	1	تعداد	
10	17	16	19	12	16	19	19	2	Number	
1.34*	1.10	1.10	1.31	1.24	1.02*	1.19	1.23	1	تداوم	ماهانه Monthly
1.1	1.24	1.16	1.26	1.15	1.25	1.20	1.23	2	Duration	
-2.09*	-1.68	-1.91	-2.19	-1.91	-1.95	-1.8	-1.74	1	شدت	
-1.74	-1.94	-1.89	-1.97	-2.25	-2.35	-1.97	-2	2	Severity	
-1.48	-1.52	-1.68	-1.68	-1.58*	-1.90	-1.50	-1.49	1	بزرگی	
-1.50	-1.51	-1.67	-1.54	-1.88	-1.89	-1.64	-1.58	2	Magnitude	
7.20	9.51	8.36	5.28*	7.07	1.41	5.35*	6.72	1	فاصله	
6.51	8.16	8.06	7.64	5.77	7.38	8.86	6.92	2	Interval	
49	28	46	41	52	35	44*	37	1	تعداد	
40	37	30	50	37	48	44	51	2	Number	

\* تفاوت معنی‌دار در سطح ۰.۰۵٪

افزایش، خشکسالی شدید کاهش و خشکسالی متوسط بدون تغییر باقی مانده است. در فصل زمستان خشکسالی بسیار شدید و متوسط کاهش یافته است. در حالی که خشکسالی شدید افزایش پیدا کرده است. در تبریز بر اساس روش نقطه شکست هر سه طبقه

به‌طورکلی در اصفهان بر اساس روش نقطه شکست (مقایسه دو دوره آماری که بیش‌ترین ناهمگنی را با یکدیگر دارند)، در مقیاس سالانه هر سه طبقه خشکسالی در نیمه دوم کاهش داشته است (جدول ۷). اما در فصل بهار خشکسالی بسیار شدید

شهر (با میانگین بارش سالانه نزدیک به ۹۰ میلی‌متر) در شرایط آب و هوایی خشک و بیابانی قرار دارد و عدم دریافت بارش در فصل تابستان وضعیت طبیعی و نرمال منطقه محسوب می‌شود. بنابراین، نباریدن بارش در فصل تابستان در زاهدان، خشکسالی محسوب نمی‌شود. مقایسه وضعیت خشکسالی در فصل پائیز در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که خشکسالی در شهر زاهدان بر اساس هر دو روش مورد مقایسه شدیدتر شده است. به‌عنوان مثال در نیمه اول و یا دوره اول بر اساس هر دو روش، خشکسالی شدید و متوسط اتفاق نیفتاده است، در حالی که در نیمه دوم و یا دوره دوم، ۲۸ درصد از کل خشکسالی‌های پائیزه این شهر در این دو طبقه قرار می‌گیرند (جدول‌های ۶ و ۷). همچنین خشکسالی بسیار شدید از ۱۴ درصد به ۷۱ درصد افزایش یافته‌است. بنابراین می‌توان گفت که شرایط رطوبتی در شهر زاهدان در فصل پائیز به‌سمت خشک‌تر شدن تغییر یافته است. خشکسالی‌های متوسط پائیزه در شهر تهران در نیمه دوم و یا دوره دوم به‌طور محسوسی کاهش یافته است. همچنین در شهر تبریز در این فصل شدت خشکسالی‌ها ثابت و یکسان باقی مانده است، در حالی که در بابل‌سر با وجود آن که درصد کل خشکسالی‌ها تغییری نکرده است، اما وضعیت خشکسالی از شدید به متوسط و یا بسیار شدید تغییر یافته است (جدول‌های ۶ و ۷).

بررسی وضعیت‌های مختلف خشکسالی زمستانه در شهرهای مورد بررسی نشان می‌دهد که بر اساس هر دو روش مورد مقایسه بیش‌ترین افزایش در وقوع خشکسالی در شهر اهواز (۶۶ درصد افزایش در وقوع خشکسالی در نیمه دوم نسبت به نیمه اول) به وقوع پیوسته است، در حالی که در شهر اصفهان خشکسالی زمستانه در نیمه دوم نسبت به نیمه اول ۲۰ درصد کاهش داشته است (جدول‌های ۶ و ۷). بیش‌ترین

خشکسالی در بهار در نیمه دوم افزایش داشته است (جدول ۷). در زمستان نیز خشکسالی شدید و متوسط افزایش و خشکسالی بسیار شدید کاهش داشته است. در پاییز هیچ‌یک از طبقات خشکسالی تغییری نداشته‌اند. در حالی که با مقایسه دو نیمه مساوی، در فصل بهار هر سه طبقه خشکسالی در نیمه دوم دوره آماری نسبت به نیمه اول افزایش داشته‌است (جدول ۶).

در تهران فراوانی در هر طبقه خشکسالی، بر اساس هر دو روش مقایسه خصوصیات خشکسالی در دو فصل پاییز و زمستان کاملاً یکسان می‌باشد. در هر دو فصل زمستان و پاییز، خشکسالی بسیار شدید و متوسط کاهش داشته است. در حالی که خشکسالی شدید تغییر نکرده است. با تقسیم دوره آماری به دو نیمه مساوی، درصد وقوع (و یا تعداد وقایع) خشکسالی متوسط در فصل بهار در هر دو نیمه برابر می‌باشد (جدول ۶). در حالی که با تقسیم دوره آماری به دو دوره‌ای که با یکدیگر بیش‌ترین ناهمگنی را دارند، درصد وقوع خشکسالی متوسط از ۱۴ به ۴۳ درصد افزایش یافته است (جدول ۷).

به‌طورکلی در ایستگاه خرم‌آباد و بر اساس هر دو روش مقایسه، تعداد کل خشکسالی‌ها در نیمه دوم و یا دوره دوم نسبت به نیمه یا دوره اول افزایش داشته است. با توجه به جدول‌های ۶ و ۷ در ایستگاه زاهدان هیچ‌کدام از طبقات خشکسالی در هیچ‌یک از فصل‌ها کاهش نداشته‌اند. بر اساس روش نقطه شکست، درصد وقوع خشکسالی در فصل‌های زمستان، بهار و پاییز (به‌جز خشکسالی متوسط در فصل زمستان که تغییری نداشته است) در دوره دوم نسبت به دوره اول بیش‌تر می‌باشد.

بر اساس نتایج هر دو روش، در شهر زاهدان و در فصل تابستان در طول دوره مورد بررسی خشکسالی تابستانه اتفاق نیفتاده است (جدول‌های ۶ و ۷). این

وقوع خشکسالی را داشت. بر این اساس، بر مبنای شاخص RDI، خشکسالی‌هایی با شدت متوسط در ماه‌های خرداد الی مهر اتفاق افتاده است (جدول ۸). یادآوری می‌شود که شاخص RDI یک شاخص چند معرفه است و علاوه بر در نظر گرفتن مقدار بارندگی، مقدار تبخیر و تعرق را هم در وقوع خشکسالی در نظر می‌گیرد. با توجه به موارد فوق، در ادامه این بخش تحلیل ویژگی‌های خشکسالی در مورد ماه‌های آبان الی اردیبهشت (که معمولاً دوره بارش در اکثر مناطق کشور می‌باشد) ارائه خواهد شد.

در اصفهان بر اساس دو دوره متفاوت، تعداد وقایع خشکسالی بسیار شدید و یا متوسط در ماه‌های بهمن و آذر افزایش داشته است، در حالی که خشکسالی شدید در ماه آذر بدون تغییر باقی‌مانده و در ماه بهمن افزایش یافته است (جدول ۹). در ماه فروردین در همه شهرها به جز زاهدان کل خشکسالی‌ها در نیمه دوم افزایش یافته است. در ماه اردیبهشت نیز به جز در شهرهای تهران و زاهدان که درصد وقایع خشکسالی تغییری نکرده‌اند، در سایر شهرها درصد وقوع خشکسالی در نیمه دوم افزایش یافته است. در شهر مشهد در ماه بهمن و نیمه دوم نه تنها در صد وقوع کل خشکسالی‌ها، بلکه خشکسالی در هر طبقه تغییر ننموده است. در شهر زاهدان نیز در ماه‌های آبان، فروردین و اردیبهشت درصد وقایع خشکسالی در نیمه اول و دوم مشابه می‌باشد. به‌طور کلی، وقایع خشکسالی در ماه آذر و دی تا حدودی کاهش یافته است، ولی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت درصد وقوع خشکسالی تا حدودی افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند به‌طور کلی نشان‌دهنده تغییر توزیع زمانی بارش باشد.

تغییرات در خشکسالی شدید و بسیار شدید مربوط به فصل زمستان می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین افزایش شرایط خشکسالی به ترتیب مربوط به تهران و مشهد می‌باشد (جدول‌های ۶ و ۷). در بررسی وضعیت خشکسالی‌های بهاره با توجه به جدول‌های ۶ و ۷، مشاهده می‌شود که کم‌ترین تغییر در وضعیت خشکسالی بهاره در خرم‌آباد و مشهد اتفاق افتاده است، به‌گونه‌ای که در شهر مشهد فقط خشکسالی بسیار شدید افزایش یافته است و خشکسالی شدید و متوسط تغییری نکرده است. در خرم‌آباد نیز فقط خشکسالی متوسط افزایش یافته است و برعکس خشکسالی بسیار شدید و شدید تغییری نکرده است. به‌طور کلی در همه شهرها بر اساس هر دو روش مورد مقایسه، خشکسالی‌ها در فصل بهار در نیمه دوم نسبت به نیمه اول افزایش داشته‌اند.

**مقیاس ماهانه:** نتایج پایش خشکسالی ماهانه (جدول‌های ۸ و ۹) نشان می‌دهند که در بازه ماه‌های تیر تا شهریور خشکسالی بسیار شدید به ندرت اتفاق افتاده است. ضمن آن‌که خشکسالی‌های مشاهده شده در بازه خرداد تا مهر هم عموماً از نوع متوسط و یا شدید می‌باشد. با توجه به شرایط آب و هوایی در اکثر مناطق ایران، تابستان‌های خشک و بدون بارش، طبیعی بوده و شرایط نرمال منطقه را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر عدم دریافت بارش در هر یک از ماه‌های تیر تا شهریور (و حتی ماه‌های خرداد و مهر) دلیلی بر وقوع خشکسالی نمی‌باشد، بلکه خشکی در این ماه‌ها وضعیت نرمال اکثر مناطق کشور می‌باشد. در این ماه‌ها، در شرایطی که به هر دلیلی تبخیر و تعرق در طول یک ماه نسبت به شرایط نرمال منطقه افزایش داشته است، می‌توان انتظار حادث‌تر شدن شرایط رطوبتی نسبت به شرایط نرمال منطقه و در نتیجه



جدول ۶- درصد وقوع دفعات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی در مقیاس‌های سالانه و فصلی در دو دوره مساوی (دو نیمه مساوی).

**Table 6. The frequency of droughts for each droughts classes in annual and seasonal scales for two halves.**

مشهد Mashad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khoramabad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfahan		طبقه خشکسالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.		
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
10	10	9	0	0	8	0	22	0	10	9	0	11	22	8	17	بسیار شدید ED	سالانه Annual
10	10	27	9	8	8	0	22	20	10	9	0	11	0	0	17	شدید SD	
40	20	36	18	67	8	33	22	60	0	36	45	11	44	25	33	متوسط MD	
0	10	71	14	10	20	9	18	17	17	25	0	2	0	14	14	بسیار شدید ED	پاییز Autumn
30	0	14	0	20	10	9	9	17	17	0	50	8	8	0	14	شدید SD	
10	50	14	0	30	10	9	45	17	17	25	0	41	17	43	14	متوسط MD	
0	22	18	0	10	0	0	22	0	12	14	29	33	0	0	10	بسیار شدید ED	زمستان Winter
11	22	9	9	20	0	22	22	37	0	14	14	17	0	30	10	شدید SD	
33	11	45	18	40	30	11	22	37	12	29	0	33	17	10	40	متوسط MD	
25	0	20	10	22	22	43	0	25	0	33	0	0	0	33	11	بسیار شدید ED	بهار Spring
12	12	10	0	0	0	0	0	12	0	11	0	0	0	0	11	شدید SD	
25	25	40	20	44	11	29	29	62	0	11	44	100	0	22	22	متوسط MD	
9	9	0	0	0	0	0	0	11	33	25	12	0	0	14	14	بسیار شدید ED	تابستان Summer
27	0	0	0	0	0	12	6	11	0	0	0	0	0	0	14	شدید SD	
9	45	0	0	67	33	29	53	22	22	37	25	40	60	43	14	متوسط MD	

جدول ۷- درصد وقوع دفعات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی در مقیاس‌های سالانه و فصلی در دوره متفاوت.

**Table 7. The frequency of droughts for each drought classes in annual and seasonal scale in two different periods.**

مشهد Mashhad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khorambad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfahan		طبقه خشکسالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.		شماره دوره Period No.					
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
10	10	9	0	0	8	0	22	10	0	9	0	11	22	8	17	بسیار شدید ED	سالانه Annual
10	10	27	9	8	8	0	22	20	10	9	0	11	0	0	17	شدید SD	
40	20	36	18	50	25	33	22	60	0	36	45	11	44	25	33	متوسط MD	
0	10	71	14	10	20	9	18	17	17	25	0	2	0	14	14	بسیار شدید ED	پاییز Autumn
30	0	14	0	20	10	9	9	17	17	0	50	8	8	0	14	شدید SD	
10	50	14	0	30	10	9	45	17	17	25	0	41	17	43	14	متوسط MD	
0	22	18	0	10	0	0	22	0	12	14	29	33	0	0	10	بسیار شدید ED	زمستان Winter
11	22	9	9	20	0	22	22	37	0	14	14	17	0	30	10	شدید SD	
33	11	45	18	40	30	11	22	37	12	29	0	33	17	10	40	متوسط MD	
25	0	20	10	22	22	43	0	25	0	33	0	0	0	44	0	بسیار شدید ED	بهار Spring
12	12	10	0	0	0	0	0	12	0	11	0	0	0	0	11	شدید SD	
25	25	40	20	44	11	43	14	50	12	22	33	100	0	22	22	متوسط MD	
9	9	0	0	0	0	0	0	0	44	25	12	0	0	14	14	بسیار شدید ED	تابستان Summer
27	0	0	0	0	0	12	6	11	0	0	0	0	0	0	14	شدید SD	
18	36	0	0	67	33	50	31	11	33	50	12	40	60	43	14	متوسط MD	

جدول ۸- درصد وقوع دفعات خشکسالی برای هر طبقه از خشکسالی در مقیاس ماهانه در دو نیمه مساوی در شهرهای مورد بررسی.

**Table 8. The frequency of droughts for each drought classes in monthly scales in two halves periods for the studied areas.**

مشهد Mashhad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khoramabad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلرسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfahan		طبقه خشکسالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.			
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
20	10	0	0	0	8	0	14	17	67	0	20	0	0	0	0	بسیار شدید ED	مهر Oct.
0	30	0	0	17	50	7	36	17	0	0	0	0	0	0	0	شدید SD	
20	20	0	0	17	9	14	29	0	0	20	60	22	78	44	56	متوسط MD	
0	43	0	0	25	50	25	25	20	0	22	11	9	36	9	18	بسیار شدید ED	آبان Nov.
29	14	0	0	25	0	12	0	20	0	0	0	18	9	27	36	شدید SD	
14	0	45	55	0	0	37	0	0	60	33	33	9	18	0	9	متوسط MD	
0	14	0	0	40	20	33	33	25	0	25	0	37	0	14	14	بسیار شدید ED	آذر Des.
14	0	57	21	0	20	17	17	25	12	12	12	12	25	0	14	شدید SD	
14	57	14	7	0	20	0	0	12	25	37	12	12	12	43	14	متوسط MD	
0	22	28	42	14	14	8	8	50	0	11	11	10	20	25	12	بسیار شدید ED	ژانویه Jan.
0	33	0	0	14	0	8	8	0	33	0	22	0	20	0	12	شدید SD	
11	33	28	0	43	14	33	33	17	0	33	22	40	10	25	25	متوسط MD	
10	10	29	43	12	12	11	22	0	14	33	0	37	25	33	17	بسیار شدید ED	فبروان Feb.
10	10	14	0	25	25	11	11	29	0	22	44	12	0	17	0	شدید SD	
30	30	14	0	25	0	22	22	29	29	0	0	0	25	33	0	متوسط MD	
0	25	37	25	25	12	11	0	37	0	33	0	20	20	17	17	بسیار شدید ED	اسفند Mar.
25	0	0	0	12	0	0	22	12	12	11	0	20	0	0	33	شدید SD	
25	25	12	25	25	25	0	67	25	12	56	0	0	40	17	17	متوسط MD	
25	0	30	30	0	11	33	11	25	0	14	0	9	45	20	20	بسیار شدید ED	فروردین Apr.
25	0	10	10	22	22	22	0	25	0	29	14	18	0	10	10	شدید SD	
37	12	10	10	33	11	11	22	12	37	29	14	18	9	20	20	متوسط MD	

ادامه جدول ۸-۸

Continue Table 8.

مشهد Mashhad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khoramabad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfahan		طبقه خشک‌سالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.			
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
14	29	0	0	22	11	0	50	27	0	9	18	0	0	0	7	بسیار شدید ED	اردیبهشت May
0	0	0	0	0	11	25	0	0	0	9	9	0	0	36	14	شدید SD	
43	14	42	42	44	11	12	12	27	45	36	18	47	53	36	7	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	43	14	12	25	0	0	0	0	بسیار شدید ED	خرداد Jun.
0	14	0	0	0	0	0	21	29	14	12	0	0	0	0	0	شدید SD	
36	50	0	0	100	0	50	29	0	0	37	12	50	50	37	62	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	42	0	0	0	0	بسیار شدید ED	تیر Jul.
0	0	0	0	0	0	0	0	6	17	0	29	0	50	0	0	شدید SD	
50	50	0	0	22	78	62	37	22	55	14	0	0	50	80	20	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	20	0	0	0	0	بسیار شدید ED	مرداد Aug.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0	شدید SD	
36	64	0	0	40	60	63	37	50	50	40	0	50	17	60	40	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	10	0	0	0	0	بسیار شدید ED	شهریور Sep.
0	0	0	0	0	0	0	0	27	7	0	0	0	0	0	0	شدید SD	
37	63	0	0	60	40	64	36	27	40	20	40	29	71	50	50	متوسط MD	

جدول ۹- درصد وقوع دفعات خشکسالی برای هر طبقه خشکسالی در مقیاس ماهانه در دو دوره متفاوت در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

**Table 9. The frequency of droughts for each drought classes in monthly scales in two different periods for the studied areas.**

مشهد Mashhad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khoramabad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfahan		طبقه خشکسالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.	شماره نیمه Half No.		
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	بسیار شدید ED	مهر Oct.
0	30	0	0	0	8	0	14	17	67	0	20	0	0	0	0	شدید SD	
10	30	0	0	8	15	21	21	0	0	20	60	22	78	44	56	متوسط MD	
0	43	0	0	25	50	25	25	20	0	22	11	9	36	9	18	بسیار شدید ED	آبان Nov.
29	14	0	0	25	0	0	12	20	0	0	0	18	9	27	36	شدید SD	
14	0	45	55	0	0	37	0	0	60	33	33	9	18	0	9	متوسط MD	
0	14	0	0	40	20	33	33	25	0	25	0	37	0	43	0	بسیار شدید ED	آذر Des.
14	0	50	29	0	20	17	17	25	12	12	12	12	25	0	0	شدید SD	
14	57	14	7	0	20	0	0	0	37	37	12	12	12	43	14	متوسط MD	
0	22	28	42	14	14	8	8	50	0	11	11	10	20	25	12	بسیار شدید ED	دی Jan.
11	22	0	0	14	0	8	8	0	33	0	22	0	20	0	12	شدید SD	
11	33	28	0	43	14	33	33	0	17	33	22	40	10	25	25	متوسط MD	
10	10	29	43	12	12	11	22	0	14	33	0	50	12	50	0	بسیار شدید ED	بهمن Feb.
10	10	14	0	25	25	11	11	29	0	22	44	12	0	17	0	شدید SD	
30	30	14	0	25	0	22	22	29	29	0	0	12	12	33	0	متوسط MD	
0	25	37	25	25	12	11	0	37	0	33	0	20	20	17	17	بسیار شدید ED	اسفند Mar.
25	0	0	0	12	0	11	11	12	12	11	0	20	0	0	33	شدید SD	
25	25	12	25	25	25	0	67	25	12	56	0	0	40	17	17	متوسط MD	
25	0	30	30	0	11	30	10	25	0	14	0	27	27	30	10	بسیار شدید ED	فروردین Apr.
12	12	10	10	22	22	20	10	25	0	29	14	18	0	20	0	شدید SD	
37	12	10	10	33	11	20	10	12	37	29	14	18	9	20	20	متوسط MD	

ادامه جدول ۹-۹

Continue Table 9.

مشهد Mashhad		زاهدان Zahedan		خرم‌آباد Khoramabad		تهران Tehran		تبریز Tabriz		بابلسر Babolsar		اهواز Ahvaz		اصفهان Esfehan		طبقه خشک‌سالی Drought class	مقیاس زمانی Time intervals
شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.		شماره نیمه Half No.					
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
14	29	0	0	22	11	12	37	27	0	9	18	0	0	0	7	بسیار شدید ED	اردیبهشت May
0	0	0	0	0	11	25	12	0	0	9	9	0	0	36	14	شدید SD	
43	14	42	42	44	11	12	0	27	45	36	18	58	42	36	7	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	43	14	12	25	0	0	0	0	بسیار شدید ED	مرداد Jun.
0	14	0	0	0	0	0	21	29	14	12	0	0	0	0	0	شدید SD	
36	50	0	0	100	0	50	29	0	0	37	12	50	50	37	62	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	29	0	0	0	0	بسیار شدید ED	تیر Jul.
0	0	0	0	0	0	0	0	6	17	14	14	0	50	0	0	شدید SD	
17	83	0	0	22	78	62	37	11	67	14	0	0	50	80	20	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	20	0	0	0	0	بسیار شدید ED	مرداد Aug.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0	شدید SD	
36	64	0	0	20	80	75	25	50	50	40	0	50	17	60	40	متوسط MD	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	10	0	0	0	0	بسیار شدید ED	شهریور Sep.
0	0	0	0	0	0	0	0	13	20	0	0	0	0	0	0	شدید SD	
37	63	0	0	40	60	64	36	27	40	30	30	43	57	36	64	متوسط MD	

## نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر به منظور شناسایی خصوصیات خشکسالی و تغییرات آن در هشت ایستگاه سینوپتیک کشور (اصفهان، اهواز، بابلسر، تبریز، تهران، خرم‌آباد، زاهدان و مشهد) از شاخص خشکسالی RDI استفاده شد. خصوصیات مورد بررسی شامل تداوم، شدت، بزرگی، فاصله و تعداد دفعات وقوع خشکسالی می‌باشد. از این‌رو، در هر ایستگاه، پس از پایش وضعیت خشکسالی، در طول دوره آماری ۶۰ ساله، سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی در ۳ مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه، تعیین شد. سپس با استفاده از آزمون اسمیرنوف-کلموگراف نقطه شکست سری زمانی (سالی که سری زمانی مقادیر شاخص خشکسالی در قبل از آن سال با سری زمانی بعد از آن سال بیش‌ترین ناهمگنی را دارد) مشخص شد. آنگاه هر یک از خصوصیات ذکر شده از خشکسالی برای دو نیمه اول و دوم دوره آماری (دو نیمه ۳۰ ساله) و همچنین دو دوره‌ای که بیش‌ترین ناهمگنی را با یکدیگر داشته‌اند، تعیین گردید. پس از آن، با استفاده از آزمون ناپارامتری من-ویتنی هر یک از خصوصیات خشکسالی در هر یک از دو نیمه و یا دو دوره با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. در مقیاس فصلی، در مجموع می‌توان بیان نمود که خشکسالی‌های بهاره شدیدتر شده‌اند. ضمن آن‌که خشکسالی‌های زمستانه هم در اکثر شهرها تغییر محسوسی ننموده‌اند. به‌طورکلی خصوصیات خشکسالی در فصل‌های مختلف تغییر چندانی ننموده‌است. وانلون و همکاران (۲۰۱۴) نیز دریافتند که اقلیم فصلی تأثیری بر نحوه خصوصیات خشکسالی ندارد (۲۳).

بر اساس نتایج هر دو روش مقایسه خصوصیات خشکسالی، در شهر اصفهان در هیچ‌یک از ویژگی‌های خشکسالی و در هیچ‌یک از مقیاس‌های زمانی تغییر معنی‌داری ایجاد نشده است. در حالی که در سایر

شهرها حداقل یکی از ویژگی‌ها در حداقل یک مقیاس اختلاف معنی‌داری را دارد. بنابر این، از میان شهرهای مورد بررسی اصفهان تنها شهری است که در آن ویژگی‌های خشکسالی در طول دوره مورد بررسی تغییر معنی‌داری نداشته است، در حالی که حداقل، بعضی از خصوصیات خشکسالی در اکثر شهرها تغییر یافته‌است.

نتایج پایش خشکسالی ماهانه نشان می‌دهد که در ماه‌های خرداد تا شهریور به‌ندرت در ایستگاهی خشکسالی از نوع بسیار شدید اتفاق افتاده است. ضمن آن‌که خشکسالی‌های مشاهده شده در این بازه عموماً از نوع متوسط و یا شدید می‌باشد. با توجه به شرایط آب و هوایی در اکثر مناطق ایران، تابستان‌های خشک و بدون بارش، شرایط طبیعی و نرمال منطقه را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر عدم دریافت بارش در طول هر یک از ماه‌های تیر تا شهریور (و حتی ماه‌های خرداد و مهر) دلیلی بر وقوع خشکسالی در این ماه‌ها نمی‌باشد، بلکه خشکی در این ماه‌ها وضعیت نرمال اکثر شهرهای کشور می‌باشد. به‌طورکلی بیش‌ترین تعداد کاهش وقایع خشکسالی در ماه آبان اتفاق افتاده است، در حالی که در بسیاری از شهرها تعداد وقایع و یا شدت خشکسالی اردیبهشت‌ماه و یا فروردین‌ماه در نیمه دوم دوره آماری نسبت به نیمه اول افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده کاهش بارش‌ها و افزایش تبخیر و تعرق در فصل بهار باشد. یان جون و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش نموده‌اند که در حوضه رودخانه هایه در چین در آغاز قرن ۲۱، فراوانی خشکسالی‌ها و مناطق تحت‌تأثیر خشکسالی کاهش ولی شدت خشکسالی افزایش یافته است (۲۴). اسپینونی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی‌های جهان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۵۱ افزایش معنی‌دار در شدت، مدت و فراوانی خشکسالی، در آفریقا، شرق آسیا، منطقه مدیترانه و جنوب استرالیا را

### سپاسگزاری

این پژوهش در راستای انجام طرح تحقیقاتی دانشگاهی به شماره ۱۸۳۳۰ به انجام رسیده است که از حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تشکر به عمل می‌آید.

گزارش نمودند (۱۹). بنابراین، به نظر می‌رسد که تغییراتی در خصوصیات خشکسالی و یا زمان وقوع خشکسالی در بعضی از مناطق کشور در حال وقوع است، هر چند این تغییرات در بسیاری از موارد از نظر آماری در سطوح ۹۹ و یا ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

### منابع

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing cropwater requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56, Rome, Italy, 300p.
2. Ansari, H. 2011. Evaluate the strengths and weaknesses of Palmer drought severity index for drought monitoring. J. Water Res. Agric. 25: 2. 107-119. (In Persian)
3. Bayazidi, M., and Saghafian, B. 2011. Local Drought Analysis of Flow River in Westsouth Area of Iran. J. Sci. Water. Manage. Engin. 14: 37-50. (In Persian)
4. Edwards, D.C., and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report Number 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, 174p.
5. Elagib, N.A., and Elhag, M. 2011. Major climate indicators of ongoing drought in Sudan. J. Hydrol. 409: 612-625.
6. Gocic, M., and Trajkovic, S. 2013. Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980-2010. J. Hydrol. 494: 32-42.
7. He, B., Cui, X., Wang, H., and Chen, A. 2014. Drought: The most important physical stress of terrestrial ecosystems. Acta Ecologica Sinica. 34: 179-183.
8. Huijgevoort, M.H.J.V., Lanen, H.A.J.V., Teuling, A.J., and Uijlenhoet, R. 2014. Identification of changes in hydrological drought characteristics from a multi-GCM driven ensemble constrained by observed discharge. J. Hydrol. 512: 421-434.
9. Khodaghali, M., Sabouhi, R., Soltani, S., and Skandari, Z. 2014. Past trends and future predictions of drought in Esfahan. J. Sci. Tech. Agric. Natur. Resour. 18: 67. 367-379. (In Persian)
10. Kumar, K.N., Rajeevan, M., Pai, D.S., Srivastava, A.K., and Preethi, B. 2013. On the observed variability of monsoon droughts over India. Weather and Climate Extremes. 1: 42-50.
11. Liang, L., Shu-he, Z., Zhi-hao, Q., Ke-xun, H., Chong, C., Xing-dong, Z., and Yun-xiao, L. 2014. Drought Change Trend Using MODIS TVDI and Its Relationship with Climate Factors in China from 2001 to 2010. J. Integ. Agric. 13: 7. 1501-1508.
12. Madadgar, S., and Moradkhani, H. 2014. Spatio-temporal drought forecasting within Bayesian networks. J. Hydrol. 512: 134-146.
13. Mishra, A.K., Singh, V.P., and Desai, V.R. 2009. Drought characterization: a probabilistic approach. Stochastic Environ Research Risk Assess. 23: 41-55.
14. Mishra, A., and Singh, V. 2010. A review of drought concepts. J. Hydrol. 391: 202-216.
15. Mosaedi, A., KhaliliZade, M., and Mohammadi, A. 2008. Drought Monitoring in Golestan Province. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 2. 176-182. (In Persian)
16. Muller, J.C.Y. 2014. Adapting to climate change and addressing drought – learning from the Red Cross Red Crescent experiences in the Horn of Africa. Weather and Climate Extremes. 3: 31-36.
17. Potop, V., Boroneant, C., Mozny, M., Stepanek, P., and Skalac, P. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. Theoretical and Applied Climatology. 115: 563-581.



18. Shayegh, A., and Soltani, S. 2011 Comparison Meteorological Drought Indexes in Yazd Province. *J. Sci. Tech. Agric. Natur. Resour. Branch of Water and Soil Sciences.* 15: 57. 231-249. (In Persian)
19. Spinoni, J., Gustavo Naumann, G., Hugo Carrao, H., Paulo Barbosa, P., and Jürgen Vogt, J. 2014. World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *Inter. J. Climatol.* 34: 2792-2804.
20. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *J. Water Resour. Manage.* 18: 1-12.
21. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water.* 910: 1-9.
22. Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management.* 21: 821-833.
23. Van Loon, A.F., Tisdeman, E., Van Lanen, H.A.J., Teuling, A.J., and Uijlenhoet, R. 2014. How climate seasonality modifies drought duration and deficit. *J. Geophysic. Res. Atm.* Pp: 4640-4656.
24. Yan-jun, L., Xiao-dong, Z., Fan, L., and Jing, M. 2012. Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *Procedia Engineering.* 28: 434-437.
25. Zehtabian, Gh., Karimi, K., Nakhee Nejadfard, S., Mirdashtvand, M., and Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan province in Iran. *Inter. J. Adv. Biol. Biomed. Res.* 1: 9. 981.15.
26. Zhang, B., Wu, P., Zhao, X., and Wang, Y. 2012. Drought variation trends in different subregions of the Chinese Loess Plateau over the past four decades. *Agricultural Water Management.* 115: 167-177.



## **Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran**

**\*A. Mosaedi<sup>1</sup>, S. Mohammadi Moghaddam<sup>2</sup> and Gh. Kavakebi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Rangeland and Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>2</sup>Ph.D. Student, Dept. of Rangeland and Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili,

<sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 03/29/2015; Accepted: 12/03/2016

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Drought is a climatic phenomenon that occurs worldwide and in all climatic zones. Drought has three characteristics of duration, severity and magnitude. In order to quantify drought, drought indices are used. Reconnaissance Drought Index (RDI) is an indicator for drought. Climate change and subsequent changes in the characteristics of the phenomenon of drought and its impact on terrestrial ecosystems caused concern among researchers in human societies. Studies of drought have started in the last decade seriously and in most cases had been applied to monitor and characterize drought. While, rarely were evaluated effects of climate change on future drought. Due to these reasons, although drought occurred in all climate zones, but its features may vary by region. Characteristic's drought may changes at time during due to word warming (Climate change). Therefore, propose of this study is investigating drought characteristics (including: severity, intensity, magnitude, time interval and frequency of drought) and their statistical Characteristics based on RDI in 8 synoptic station at time period of 60 years.

**Materials and Methods:** In order to monitor droughts for 8 selected synoptic stations of Esfahan, Ahwaz, Babolsar, Tabriz, Tehran, Khoramabad, Zahedan and Mashhad from different weather's conditions, Run Theory is a common method in analysis of drought. In addition to the three above characteristics of drought (severity, intensity, magnitude), in this study, other features of droughts include time interval and number of droughts is introduced and studied. While at the same time of drought monitoring, drought characteristics and possible changes in these properties during the studied period, were investigated. For this purpose, first, the values of Reconnaissance Drought Index (RDI) for the entire period of 1951 to 2010 in three scales of annual, seasonal and monthly were calculated. Drought characteristics include severity, intensity, magnitude, time interval and frequency for the "first half and the second half" was compared together using the Mann-Whitney test at 95% level. Cut point (the year that drought index values have the most heterogeneous before and after the year) was determined by Kolmogorov-Smirnov test. Accordingly, the whole period of 60 years was divided into two periods (the period before the cut point and the period after it) and characterization of drought in these two periods were compared with each other.

**Results:** Based on the results, in all stations, cut point year in the period of 60 years is different from the middle year (1981). On an annual scale, in any of the studied stations, the characteristics of duration and drought number had no significant difference at 95%. Other features of drought in annual scale have significant differences only in Tabriz and Tehran. In the seasonal scale by comparing the two periods of 1951-1980 (first half) with 1981-2010 (second half) in the city of Zahedan, in the second half period, theseverity, magnitude and frequency of drought were increased while, the interval time between the droughts was reduced. Other regions show no significant change in the properties of drought. At the seasonal scale, in general it can be concluded that in spring droughts are more severe comparing with the first period. While drought in the winter did not noticeably change in most stations. For monthly scales, In general, the highest reduction of drought events was happened in November, while in many cities the number or severity of drought events were increased in May or April in the second half than the first half. This could indicate reducing of rainfall and increasing of evapotranspiration in the spring months.

**Conclusion:** In general, time series of drought indices values in all stations have a cut point at 95% level. This reflects the heterogeneity and changes in drought conditions. In addition, some changes were occurred in the drought characteristics or in occurrence time in some stations. This changes in drought characteristics is more pronounced, especially in the spring months. Although these changes were not significant in many cases, at 95% yet. The main reason for this can be seen in relation to the issue of global warming and climate change.

**Keywords:** Drought frequency, Drought duration, Drought severity, Reconnaissance Drought Index (RDI), Iran

---

\* Corresponding Author; Email: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)