

تغییرپذیری فراوانی و شدت خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر تعرق

حمید نظری پور^{*}، محسن حمیدیان پور، محمود خسروی و محدثه وزیری مهر^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۵)

چکیده

در این پژوهش، تغییرپذیری دهه‌ای فراوانی و شدت خشکسالی در گستره ایران بررسی شده است. برای این منظور از داده‌های شبکه‌ای مقیاس یک ماهه از شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر تعرق در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ استفاده شده است. بر اساس آستانه‌های قراردادی رایج، مشخصه‌های فراوانی و شدت خشکسالی برای تک تک پیکسل‌ها محاسبه و مبنای تحلیل وضعیت خشکسالی قرار گرفته است. سپس، فراوانی طبقات شدت خشکسالی محاسبه و روند آن با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال بررسی شده است. یافته‌های پژوهش بیانگر تنوع فضایی زمانی الگوهای شدت خشکسالی در گستره ایران است. فراوانی خشکسالی‌های خفیف از جنوب به شمال و از شرق به غرب کاهش یافته؛ در حالی که فراوانی رخداد خشکسالی‌های شدیدتر از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش یافته است. فراوانی بیشینه از رخداد خشکسالی‌های خفیف و متوسط به ترتیب روی بخش میانی و پایانی ناهموارهای زاگرس بوده؛ در حالی که فراوانی بیشینه رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید روی مناطق بیابانی مرکزی، شرقی و جنوب شرقی است. فراوانی خشکسالی‌های خفیف در جنوب شرق، شمال غرب و شمال شرق بین ۵ تا ۴۰ درصد افزایش یافته است. در حالی که فراوانی خشکسالی‌های شدیدتر، در غالب گستره ایران بین ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش داشته است. تغییر فراوانی طبقات شدیدتر خشکسالی‌ها در حوضه آبریز فلات مرکزی و همچنین خلیج فارس - دریای عمان بارزتر است. روند شدت خشکسالی همزمان با رژیم بارش غالب گستره ایران، کاهش (تشدید خشکسالی) است. روند افزایشی معنی‌دار در شدت خشکسالی (تشدید ترسالی) تنها در جنوب شرق ایران همزمان با رژیم بارش موسمی مشاهده می‌شود. با وجود این، نواحی خشک و فراخشک جنوب شرق ایران متأثر از فراوانی و شدت خشکسالی، دارای درجه آسیب‌پذیری بالا هستند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، تغییرپذیری، شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر تعرق، آزمون روند من‌کندال، تحلیل فضایی - زمانی

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: h.nazaripour@gep.usb.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یک ویژگی عادی اقلیم است که ممکن است در همه جا رخ دهد؛ هرچند ویژگی‌ها و تأثیرات آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت باشد (۳۰). خشکسالی به‌عنوان یک عدم توازن موقت طبیعی از موجودیت آب، ناشی از فرایند مستمر بارش کمتر از حد متوسط تعریف می‌شود که بسامد، دوام و شدت نامعلوم داشته و پیش‌بینی رخداد آن مشکل و منجر به کمبود موجودی منابع آب و کاهش ظرفیت تحمل اکوسیستم‌ها می‌شود (۱۳). خشکسالی یکی از مرگبارترین خطرات طبیعی است. به‌عنوان مثال، از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۶ به دلیل خشکسالی‌های بزرگ در سراسر جهان، ۱/۸۵۲ میلیارد نفر تحت تأثیر قرار گرفته و ۱۱/۴ میلیون نفر جان باخته‌اند (۲۴). در میان بلاهای هیدرواقليمی، خشکسالی نسبت به هر بلای دیگری از نظر اقتصادی ویرانگر است (۵). خشکسالی تنش آبی را افزایش و ظرفیت سازگاری اجتماعی و اقتصادی را کاهش می‌دهد (۸). خشکسالی‌های پایدار باعث تغییرات قابل توجه هیدرولوژیک در رطوبت خاک، منابع آب سطحی و زیرزمینی و ذخیره آب طولانی‌مدت می‌شوند (۲۱). مطالعات اخیر از ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های آینده ناشی از تغییرات اقلیمی بر تولید ناخالص داخلی نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی ممکن است تا ۷۰ درصد در برخی از مناطق افزایش یابد (۱۸). بنابراین، ارزیابی عینی وضعیت خشکسالی در یک منطقه خاص نخستین گام در برنامه‌ریزی منابع آب به‌منظور پیشگیری و کاهش اثرات منفی رخدادهای آتی آن لازم است.

تغییرپذیری ویژگی‌های خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم است زیرا بی‌درنگ باعث تنش آبی می‌شود. الگوهای تغییر شدت و فراوانی خشکسالی به‌عنوان خطرات زیست‌محیطی با پیامدهای گسترده توسط پژوهشگران مورد تحلیل قرار گرفته است. نگرانی‌ها درباره تأثیر بالقوه تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشکسالی منجر به تحقیقات گسترده‌ای شده است. افزایش شدت و فراوانی

خشکسالی در دهه‌های اخیر در برخی از مناطق جهان تأیید شده است. مشخصه‌های خشکسالی از جمله شدت و فراوانی آن به دلیل تغییرات اقلیمی همچنان تغییر خواهد کرد. روند افزایشی شدت و فراوانی خشکسالی را در اتیوپی کاسای (۱۴) و بیرگا (۳۱) تأیید کرده‌اند. کاهش دوام و افزایش شدت خشکسالی در بریتانیا نیز در پژوهش بلینکنسوپ و فولر (۳) گزارش شده است. چن و سان (۴) افزایش فراوانی و شدت خشکسالی را در چین گزارش کرده‌اند. روند افزایشی خشکسالی در سوریه نیز توسط مسبوط و همکاران (۲۰) آشکار شده است. تغییرات آینده (۲۰۹۹-۲۰۷۰) فراوانی خشکسالی نسبت به دوره تاریخی (۱۹۹۹-۱۹۷۰) بیانگر روند افزایشی خشکسالی شدید در نتیجه تغییرات بارش و تبخیر و تعرق بالقوه در کل سیاره زمین است (۲۶). تغییرات زمانی و مکانی سه ویژگی خشکسالی هواشناختی بر مبنای شاخص بارش استاندارد شده شامل شدت، مدت و اوج در مناطق مختلف اقلیمی ایران توسط شرافتی و همکاران (۲۸) مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داده است که منطقه شمال غرب از نظر ویژگی‌های خشکسالی، مستعدترین منطقه و روند افزایشی مشخصه‌های خشکسالی در مناطق مرکزی و ارتفاعات مشهود بوده است. درگاهیان و رضوی‌زاده (۷) دریافته‌اند که روند افزایشی شدت خشکسالی در ایران با افزایش همزمان دوام آن همراه بوده است. اقتدارنژاد و همکاران (۹) دریافته‌اند که روند شدت خشکسالی هواشناسی بر مبنای شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق در بخش وسیعی از گستره سرزمینی ایران در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه، افزایشی بوده است. رخدادهای خشکسالی با بسامد بالا دارای خطرات ماندگار بوده و یکی از ویژگی‌های اقلیم ایران است. در سال‌های اخیر، نگرانی‌ها درباره افزایش تغییرپذیری خشکسالی و خشکی در ایران مطرح شده است. هادی‌پور و همکاران (۱۱) دریافته‌اند که قریب به ۵ درصد از گستره مناطق نیمه‌خشک با جایگزینی مناطق خشک به دلیل افزایش

ما را درباره رفتار فضایی- زمانی خشکسالی هواشناسی در ایران افزایش داده و از سوی دیگر آسیب پذیری مناطق مختلف ایران را بر اساس بسامد رویدادهای خشکسالی نشان دهد.

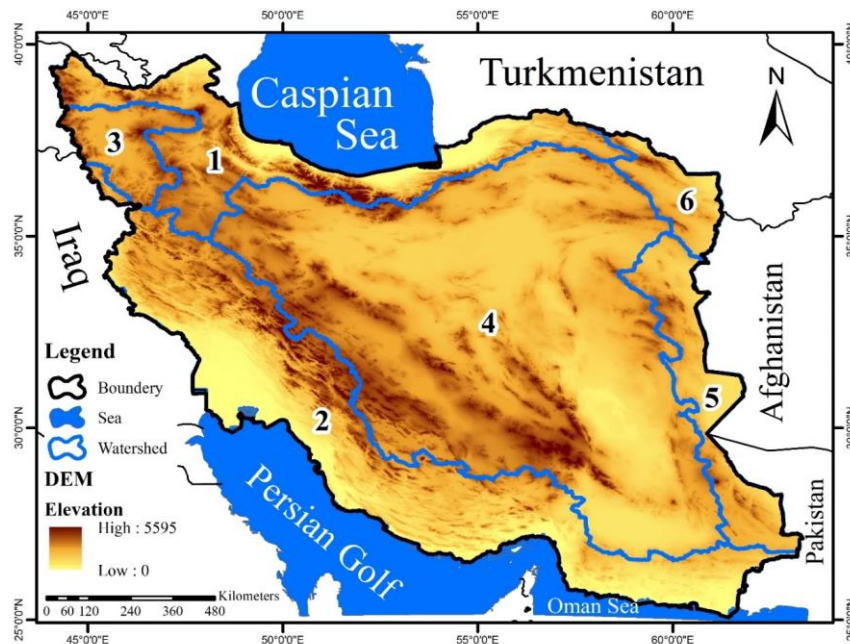
مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

سرزمین ایران در کمربند خشک دنیا واقع شده و اقلیم غالب گستره آن (بیش از ۹۰ درصد) خشک بوده و با پیکره های آبی خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب همسایه است. توزیع فضایی بارش در گستره وسیع سرزمینی ایران به شدت به ناهمواری ها وابسته است. رشته کوه البرز با امتداد غربی- شرقی در شمال و رشته کوه زاگرس با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی ورود سامانه های بارش را به سمت فلات مرکزی را کنترل می کنند. احاطه شدن سرزمین ایران توسط پیکره های آبی، بیابان ها و دامنه وسیعی از رشته کوه ها، اقلیم متنوعی را ایجاد کرده است. بر اساس شاخص طبقه بندی دومارتن، اقلیم ایران به طور کلی خشک (حدود ۶۵ درصد)، نیمه خشک (حدود ۲۰ درصد) و تنها ۱۰ درصد آن مرطوب است (۱۵). سرزمین ایران بر اساس ویژگی های هیدرولوژیک به شش حوضه آبریز اصلی تقسیم می شود (شکل ۱). پربارش ترین حوضه آبریز ایران، حوضه آبریز دریای خزر است که در جنوب دریای خزر و امتداد رشته کوه البرز واقع شده است. حوضه آبریز خلیج فارس- دریای عمان با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی در راستای رشته کوه زاگرس دارای اقلیم های متنوع بوده و کشیده ترین حوضه آبریز ایران است. حوضه آبریز دریایچه ارومیه با مشخصه های منحصر به فرد در شمال غربی ایران واقع شده است. حوضه آبریز فلات مرکزی، وسیع ترین حوضه آبریز ایران به شمار می رود و گرم ترین بخش های ایران از جمله بیابان لوت در این حوضه آبریز واقع شده است. خشک ترین حوضه آبریز ایران در مرز شرقی در مجاورت افغانستان و پاکستان قرار دارد.

خشکسالی کاهش یافته است. از آنجا که سرزمین ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است، تغییر ویژگی های شدت و فراوانی خشکسالی بر روند خشکی و بیابان زایی آن تأثیر می گذارد.

برای پایش وضعیت خشکسالی هواشناسی شاخص های متعددی در کشورهای مختلف بر اساس تعاریف خشکسالی و روش محاسبه ای ارائه شده است، که شاخص بارش استاندارد شده (SPI) یکی از پرکاربردترین این شاخص ها تا به امروز است (۲۷ و ۳۲). شاخص دیگری که برای پایش وضعیت خشکسالی ارائه شده است، شاخص بارش- تبخیر و تعرق SPEI است. در این شاخص سه متغیر بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) لحاظ شده است. شاخص SPEI، حساسیت شاخص خشکسالی پالم (PDSI) به تغییرات نیاز تبخیر را با محاسبات ساده و طبیعت چندمقیاسی شاخص استاندارد شده بارش ترکیب می کند. بنابراین می توان هر دو ویژگی شاخص های SPI و PDSI را داشته باشد (۲۲). به طور کلی، پیشینه استفاده از شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI چندان غنی نیست. اندک پژوهش های انجام گرفته در ایران نیز بیشتر شاخص SPEI را با شاخص SPI مقایسه کرده اند (۱، ۲، ۱۰، ۱۲ و ۳۳) یافته های پژوهشگران متعدد نشان می دهد شاخص SPEI به دلیل استفاده از متغیر کمکی تبخیر و تعرق پتانسیل قادر به نمایش واقع بینانه تر از شرایط خشکسالی است. به همین دلیل، امروزه سازمان هواشناسی جهانی در مطالعات پایش خشکسالی تأکید بر استفاده از شاخص SPEI دارد. هدف اصلی این پژوهش بررسی الگوهای فضایی- زمانی تغییرپذیری دهه ای از فراوانی خشکسالی در مناطق مختلف ایران بر مبنای تقسیمات هیدرولوژیک (حوضه های آبریز) است. برای این منظور از داده های شبکه ای مقیاس ماهانه شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق (SPEI) استفاده شده و روند فراوانی خشکسالی با استفاده از آزمون من کندال ارزیابی شده است. یافته های این پژوهش می تواند از یک سو، دانسته های



شکل ۱. توزیع جغرافیایی حوزه‌های آبریز شش‌گانه ایران در ارتباط با ناهمواری‌ها

بیانگر زمان (12×60) و ستون‌ها بیانگر موقعیت مکانی است. جزئیات شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر و تعرق شبکه‌ای در (۲۹) یافت می‌شود. درجات شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر و تعرق همانند شاخص استاندارد شده بارش (پلانگ و همکاران، ۲۰۱۹) است. به طور خاص، مقادیر SPEI بین $+0.99$ و -0.99 - نشانگر شرایط تقریباً نرمال، بین -1 تا -1.49 - شرایط خشکی متوسط، بین $-1/5$ تا $-1/99$ - خشکی سخت (شدید) و مقادیر کوچک‌تر از -2 - شرایط فوق‌العاده خشک است. دامنه های عددی مشابه با مقادیر مثبت بیانگر شرایط مرطوب (تر) هستند (۱۷). به طور معمول، مقیاس‌های زمانی ۱ یا ۳ ماهه برای توصیف شرایط خشکسالی هواشناسی استفاده می‌شود.

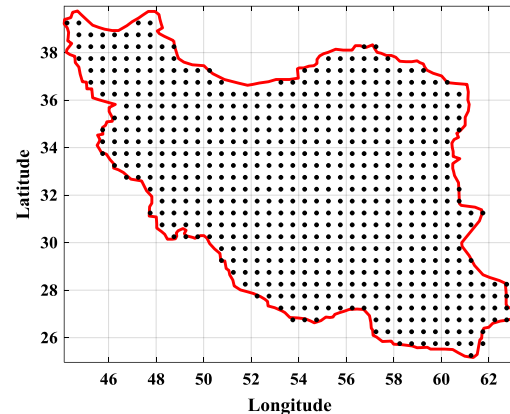
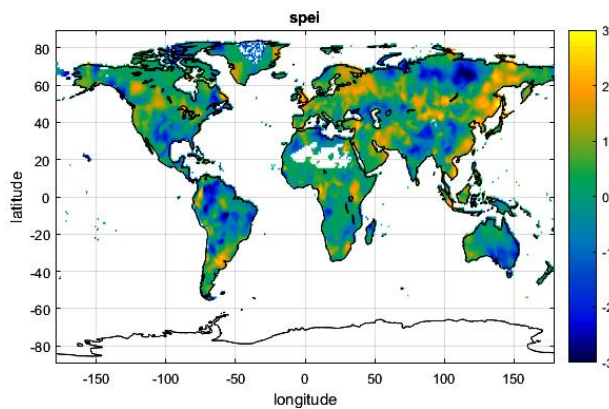
استخراج فراوانی و شدت خشکسالی

برای ارزیابی و پایش خشکسالی، معمولاً چندین ویژگی خشکسالی شناسایی می‌شود. زمان آغاز (Onset time)، زمان پایان (End time)، فراوانی (Frequency)، سختی (Severity)، شدت (Intensity)، دوام (Duration)، بسامد (Periodicity) و گستره فضایی (Areal extent) از آن جمله هستند. این

کوچک‌ترین حوزه آبریز ایران نیز در شمال شرقی ایران واقع شده است (۲۳). مبنای ارزیابی داده‌ها و تحلیل خشکسالی بر اساس این تقسیمات هیدرولوژیک انجام گرفته است.

شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر و تعرق (SPEI)

داده‌های شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر و تعرق به صورت شبکه‌ای برای کل خشکی‌های سیاره زمین در مقیاس های زمانی ۱ تا ۴۸ ماهه از ژانویه ۱۹۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه قوسی به سرپرستی ویسته سرانو از مؤسسه اکولوژی پیرنه واقع در زاراگوزا (اسپانیا) تهیه شده است (۲۹). در این بررسی از نسخه نهایی (SPEIbase v.2.6) این مجموعه داده در مقیاس یک ماهه (spei01) برای شش دهه (۱۹۵۶-۲۰۱۵) استفاده شده است. داده‌ها برای محدوده ایران از طریق امکانات برنامه‌نویسی در محیط متلب (MATLAB) با تابع inpolygon استخراج شده است. تعداد ۶۲۱ یاخته گستره ایران را پوشش می‌دهد (شکل ۲). در نهایت یک ماتریس جدید با آرایش $SPEI01_{720 \times 621}$ تشکیل و مبنای پردازش‌های بعدی قرار گرفته است. سطرهای این ماتریس



شکل ۲. نقشه جهانی شاخص خشکسالی spei (سمت چپ) و موقعیت یاخته‌های استخراجی برای گستره ایران (سمت راست)

ناپارامتری من- کندال (MK) ارزیابی شده‌اند (۱۹ و ۱۶) آزمون MK به‌طور گسترده برای تجزیه و تحلیل روندهای هیدرواقليمی در سرتاسر جهان استفاده شده است. سازمان جهانی هواشناسی نیز این آزمون را به‌عنوان آزمون استاندارد برای تحلیل روند سری‌های هیدرواقليمی پیشنهاد داده است. آماره این آزمون (S) برای یک سری از داده‌ها (x) با n یاخته به صورت رابطه ۱ تخمین زده می‌شود:

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \cdot \sum_{i=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_k) \quad (1)$$

در اینجا، x_i و x_j به ترتیب مقدار i ام و j ام سری داده‌ها هستند و بر اساس رابطه ۲ روند تعیین می‌شود:

$$\text{sign}(x_i - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{when } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{when } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{when } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

پراش آماره این آزمون یا $\text{var}(S)$ برای تخمین آماره Z در تعیین معنی‌داری روند استفاده می‌شود که به شکل رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

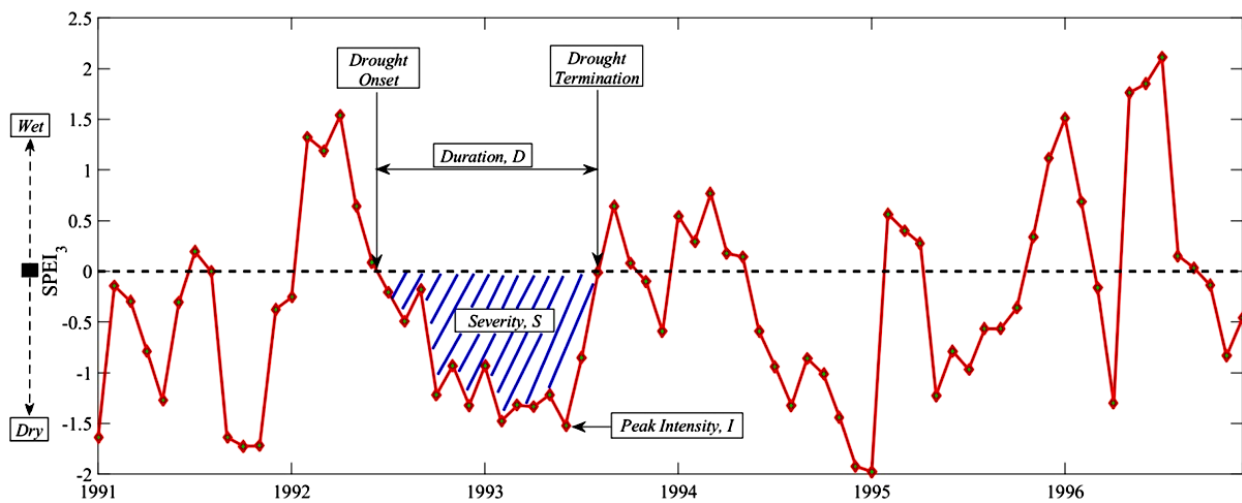
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{when } S > 0 \\ 0 & \text{when } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{when } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

آماره Z برای برآورد سطح معنی‌داری (α) استفاده می‌شود.

ویژگی‌ها بر مبنای آستانه‌های قراردادی از طریق شاخص‌های خشکسالی شناسایی می‌شوند. برخی از این ویژگی‌ها، بیشتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. ارزش‌های SPEI یک سری زمانی بوده و مقادیر آن دلالت بر شدت خشکسالی (ترسالی) دارد. مقادیر منفی SPEI به این مفهوم است که بارش در زیر شرایط نرمال قرار داشته و به‌عنوان خشکسالی استنباط می‌شود. ارزش‌های محدود در دامنه بین ۰ تا ۰/۹۹- بیانگر درجه خفیف، ۱- تا ۱/۴۹- متوسط، ۱/۵۰- تا ۱/۹۹- شدید و کوچک تر از آن بیانگر درجه فوق‌العاده شدید از خشکسالی است. ویژگی‌های هر رویداد خشکسالی بر اساس رویه نشان داده شده در شکل ۳ استخراج می‌شود. در شکل ۳ نماد D بیانگر دوام هر رویداد خشکسالی بوده و به‌معنی ارزش‌های منفی مداوم از SPEI است. سختی خشکسالی به مجموع ارزش‌های منفی در هر رویداد خشکسالی و شدت آن به نسبت مجموع ارزش‌های منفی بر دوام رویداد خشکسالی تعریف می‌شود. بر این اساس، فراوانی طبقات چهارگانه شدت خشکسالی محاسبه شده است. در هر رویداد خشکسالی، فراوانی ارزش‌های محدود در طبقات شدت خشکسالی به‌عنوان فراوانی آن طبقه از شدت خشکسالی تعیین می‌شود.

آزمون روند من- کندال

الگوهای فضایی روند فراوانی خشکسالی با استفاده از آزمون



شکل ۳. طرح تشریحی از ویژگی‌های خشکسالی

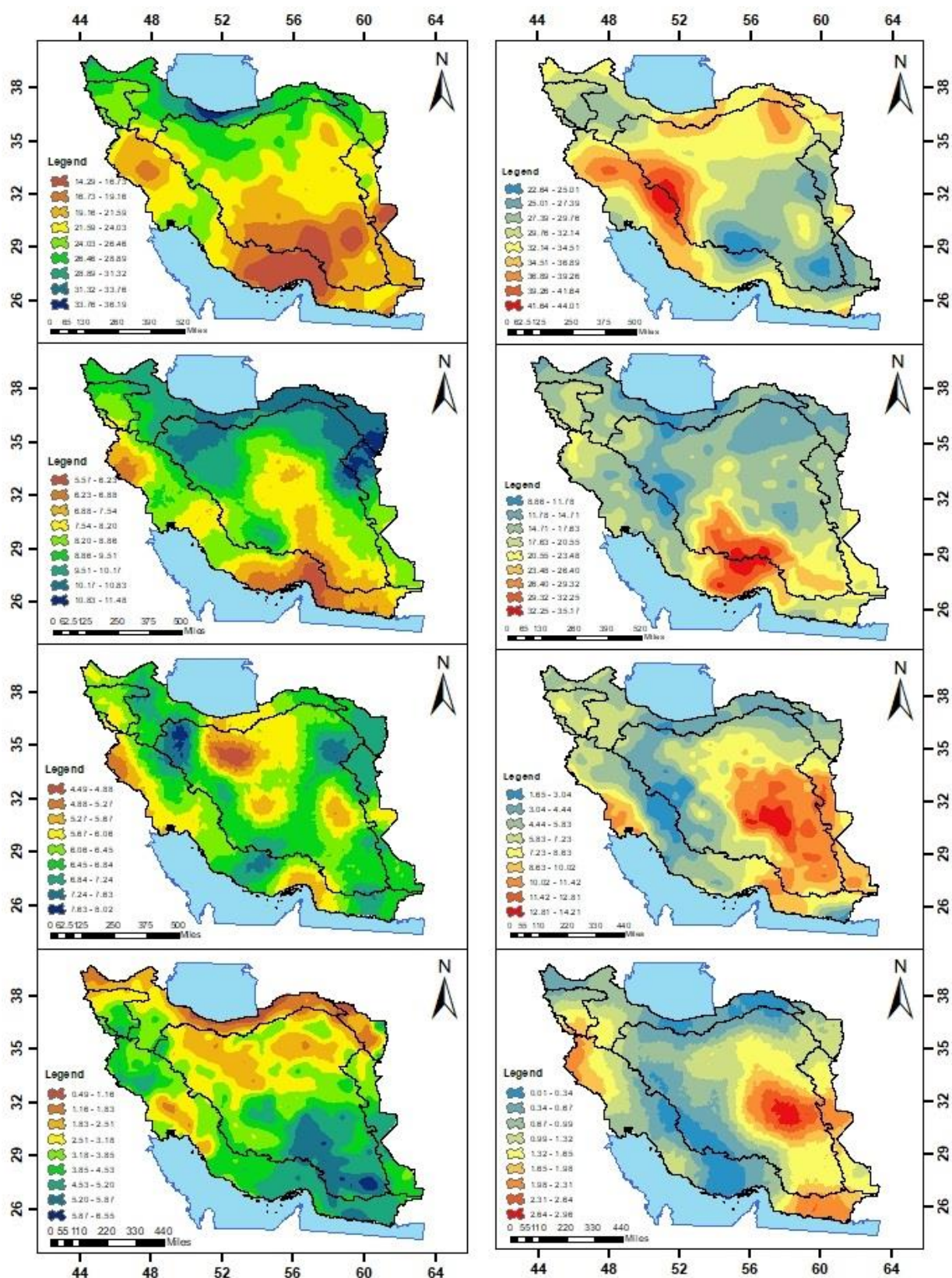
خفیف بر آرایش ناهمواری‌های زاگرس منطبق است. این محدوده جغرافیایی مرز میان حوضه‌های آبریز خلیج فارس- دریای عمان و حوضه آبریز فلات مرکزی است. سرچشمه عمده رودهای پرآب در هر دو حوضه آبریز از جمله کارون، کرخه، دز و زاینده‌رود در این محدوده قرار دارد. تقریباً در نیمی از دوره مورد مطالعه در این قلمرو خشکسالی خفیف رخ داده و بنابراین احتمال رخداد آن بسیار بالاست. خشکسالی‌های خفیف در محدوده جنوب شرق ایران در حداقل بوده و به‌ندرت رخ می‌دهند. ترسالی‌های خفیف ویژگی غالب مناطق شمالی تنگه هرمز تا جازموریان را شامل می‌شود. الگوی فضایی فراوانی خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید بر خلاف خشکسالی خفیف از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایشی است. بیشینه فراوانی خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید منطبق بر مناطق کم‌بارش ایران در جنوب، جنوب شرق، مرکز و شرق ایران است. در صورتی که مناطق پربارش در غرب و شمال ایران حداقل فراوانی این قبیل خشکسالی‌ها را تجربه کرده‌اند. گستره خشکسالی‌های شدید با تمرکز بسیار بالا بوده و بیش از ۷۰ درصد از گستره ایران را شامل می‌شود. به‌طور کلی، هر قدر به سمت نواحی خشک‌تر ایران پیش می‌رویم این نواحی با فراوانی بیشتر خشکسالی‌های شدید و شدیدتر

فرضیه صفر (H_0) مادام که آماره Z در دامنه $[-Z_{1-\alpha/2}, Z_{1-\alpha/2}]$ باشد نمی‌تواند رد شود. از سوی دیگر، H_0 می‌تواند رد شود هنگامی که Z بزرگ‌تر از $Z_{1-\alpha/2}$ (روند افزایشی) و یا کوچک‌تر از $-Z_{1-\alpha/2}$ (روند کاهشی) باشد. در مطالعه حاضر، روندها در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد ارزیابی شده‌اند. بنابراین، اگر مقادیر Z خارج از دامنه‌های $-2/58$ تا $2/58$ ، $-1/96$ تا $1/96$ و $-1/65$ تا $1/65$ باشد، آنگاه فرض صفر مبنی بر نبود روند به ترتیب در سطوح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد رد می‌شود.

نتایج و بحث

تغییرپذیری فضایی زمانی خشکسالی در ایران

خشکسالی در سرزمین ایران یک خطر غالب شناخته می‌شود که هر ساله بخش‌های زیادی از گستره آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجا که بارش در ایران دارای تغییرپذیری فضایی- زمانی بالایی است، الگوی خشکسالی‌ها نیز توزیع مشابهی را پیروی می‌کند. الگوی کلی بارش در ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهشی است. مطابق با شکل ۴ فراوانی خشکسالی‌های خفیف از جنوب به شمال و از شرق به غرب افزایشی است. بیشینه فراوانی رخداد خشکسالی‌های



شکل ۴. توزیع فضایی از درصد فراوانی طبقات خشکسالی (سمت راست) و ترسالی (سمت چپ) هواشناسی در دوره ۱۹۵۶-۲۰۱۵ ردیف اول تا چهارم به ترتیب طبقات ضعیف، متوسط، شدید و خیلی شدید (رنگی در نسخه الکترونیکی)

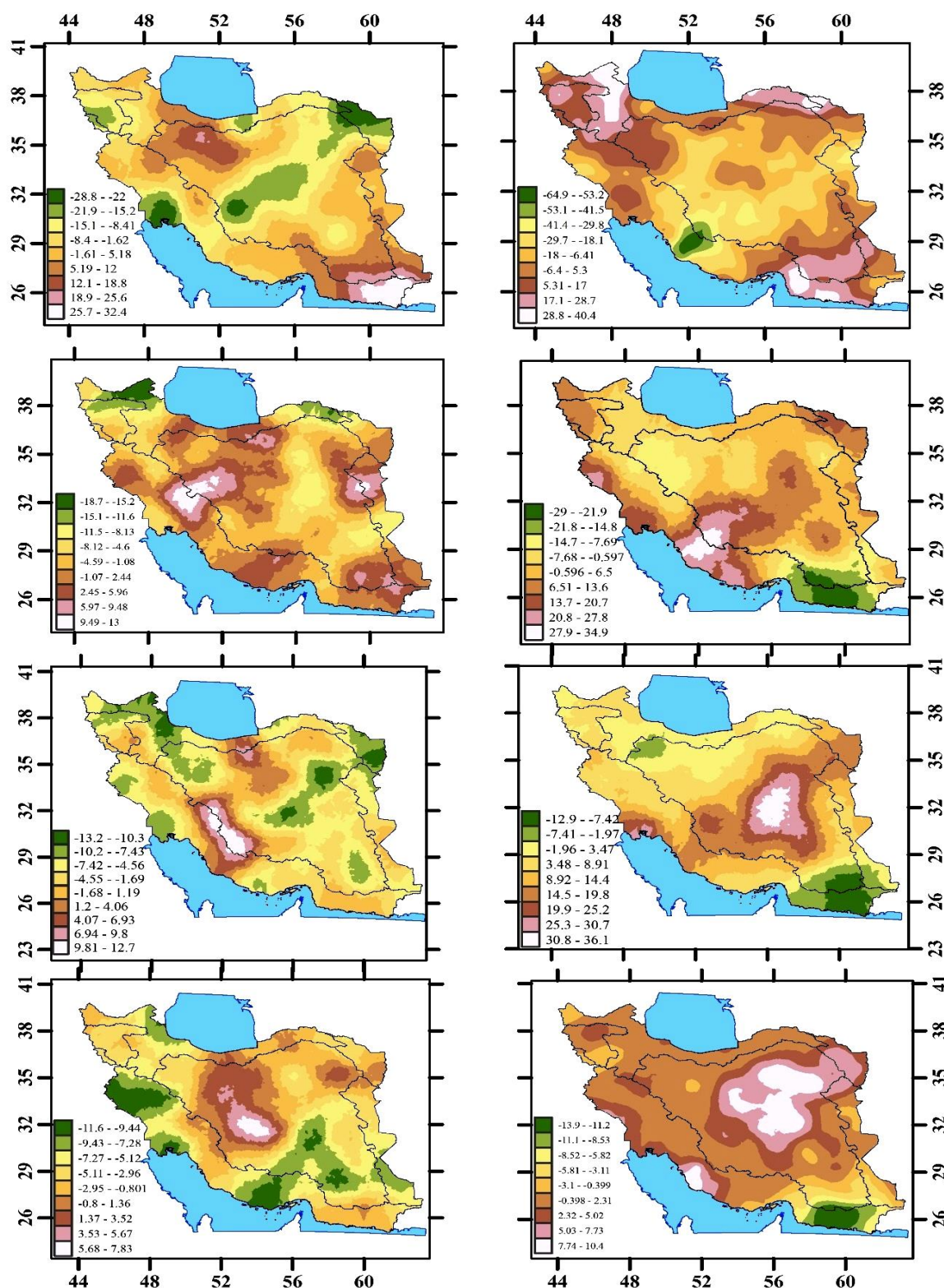
روبه‌رو هستند. مقدار بارش به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر چرخه هیدرولوژیک، به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی ایران بسیار اندک بوده و تأثیر ملموس آن در کمبود آب نمایان می‌شود. به‌گونه‌ای که کمبود این عنصر حیاتی در کل گستره، محدودیت‌های متعددی را برای رشد و توسعه ایجاد کرده است. علاوه بر کمبود مقدار بارش، نظام دریافت بارش (رژیم بارش) نیز از تغییرپذیری بسیار بالایی برخوردار است. به‌گونه‌ای که اعتماد به رژیم بارش در فعالیت‌های مرتبط به مانند کشاورزی بسیار اندک است. با وجود این، فراوانی ترسالی‌های فرین نیز در این مناطق بالاست. با ملاحظه رژیم بارش این مناطق، پیامدهای این ترسالی‌ها، سیلاب‌های مخرب بوده که علاوه بر خسارت‌های هنگفت به زیرساخت‌ها و منابع طبیعی مانند خاک، در نهایت بیشتر آن از دسترس سرزمینی خارج و غیرقابل استفاده می‌شود. ترسالی‌های فرین به‌ندرت در مناطق پربارش رخ می‌دهند. البته این وضعیت به مفهوم کمبود بارش این مناطق تلقی نمی‌شود بلکه به رفتار بارش این مناطق مربوط می‌شود. در میان مناطق هیدرواقلمی ایران، آسیب‌پذیری مناطق جنوب شرق و شرق نسبت به الگوهای توزیع فضایی شرایط خشکسالی و ترسالی بیشتر از سایر مناطق بوده و نیازمند تدوین و اجرای راهکارها و استراتژی‌ها در راستای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش میزان تاب‌آوری زیست بوم آن است.

الگوی فضایی فراوانی طبقات خشکسالی در دو دوره سی ساله اول (۱۹۸۵-۱۹۵۶) و دوم (۲۰۱۵-۱۹۸۶) با همدیگر مقایسه شده است (شکل ۵). الگوی فضایی درصد فراوانی طبقات خشکسالی‌ها تفاوت معنی‌داری گذر زمان نداشته و در هر دو دوره مطالعاتی بیشترین خشکسالی‌های طبقه خفیف در نواحی پربارش ایران و خشکسالی‌های شدیدتر در نواحی جنوب شرقی ایران مشاهده می‌شود. درصد فراوانی خشکسالی‌های خفیف در دوره سی ساله دوم (۲۰۱۸-۱۹۸۶) نسبت به دوره سی ساله نخست (۱۹۸۵-۱۹۵۶) در جنوب شرق در ارتفاعات مکران و در شمال غرب و همچنین شمال شرق ایران بین ۵ تا ۴۰ درصد افزایش داشته است. در سایر مناطق به‌ویژه بخش‌های مرکزی این

تفاوت کاهشی بوده است. به‌طور کلی خشکسالی‌های خفیف در غالب گستره ایران از لحاظ درصد فراوانی رخداد تغییر کرده است. الگوی فضایی طبقات شدیدتر خشکسالی متفاوت است. درصد فراوانی خشکسالی متوسط نسبت به دوره نخست در گوشه جنوب شرق ایران، کاهش معنی‌دار داشته است. درحالی که در امتداد ناهمواری‌های زاگرس در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان تا حوضه آبریز بندرعباس-سدیج این تفاوت افزایشی بوده است. تفاوت‌های افزایشی در فراوانی رخداد خشکسالی‌های متوسط در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران نیز مشاهده می‌شود. فراوانی رخداد خشکسالی‌های متوسط تا ۳۵ درصد در مناطق یاد شده تغییر افزایشی داشته است. الگوی فضایی درصد رخداد خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید در غالب گستره ایران به‌جز گوشه جنوب شرق، افزایشی است. بیشینه افزایش فراوانی خشکسالی‌های شدید در حوضه آبریز فلات مرکزی به‌ویژه حوضه آبریز کویر لوت رخ داده است. در سایر مناطق گستره ایران به‌جز گوشه جنوب شرق این تفاوت افزایشی تا ۲۰ درصد بوده است. فراوانی خشکسالی‌های خیلی شدید به‌جز حوضه بلوچستان جنوبی، در سایر مناطق ایران تا ۱۰ درصد افزایش داشته است که بیشینه آن در حوضه آبریز فلات مرکزی مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، فراوانی رخداد طبقات خشکسالی در گذر زمان افزایش داشته است. این تغییر در حوضه آبریز خلیج فارس-دریای عمان و همچنین فلات مرکزی ایران بارزتر بوده است.

روند شدت خشکسالی در ایران

روند شدت خشکسالی در فصل زمستان در کل گستره ایران کاهشی است. روند کاهشی شدت خشکسالی به توجه به اعداد منفی شاخص خشکسالی به معنی کاهش بارش است. بنابراین انتظار می‌رود بارش فصل زمستان در کل گستره ایران در گذر زمان کاهش یابد. روند شدت خشکسالی در ماه ژانویه به‌ویژه در شرق و جنوب شرق در محدوده حوضه آبریز مرز شرقی و فلات مرکزی ایران کاهشی است. اندک مناطقی که در کل

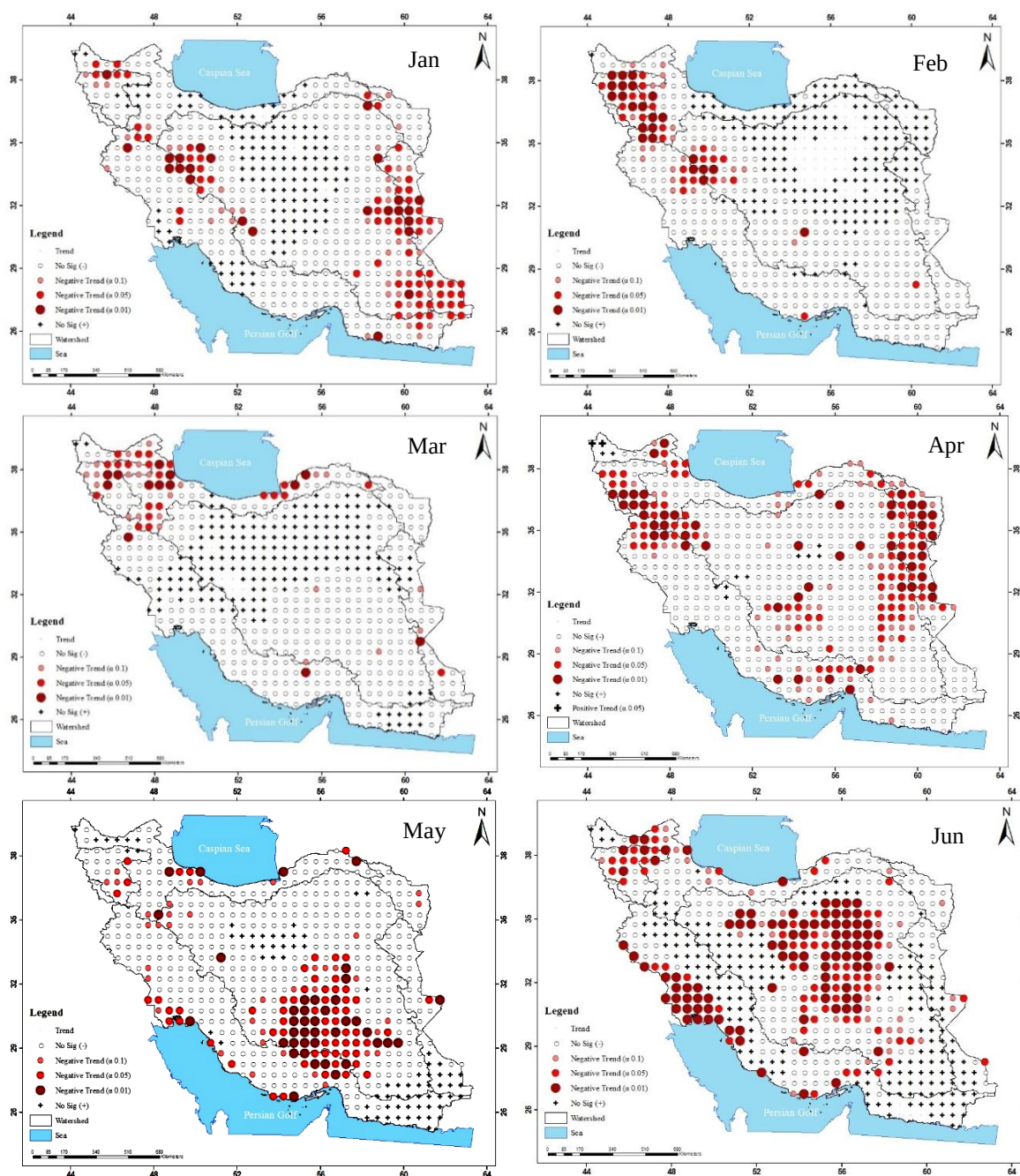


شکل ۵. توزیع فضایی از تفاوت درصد فراوانی طبقات خشکسالی (سمت راست) و ترسالی (سمت چپ) هواشناسی دوره سی ساله دوم (۱۹۸۶-۲۰۱۶) از دوره سی ساله اول (۱۹۵۶-۱۹۸۵). ردیف اول تا چهارم به ترتیب طبقات ضعیف، متوسط، شدید و خیلی شدید (رنگی در نسخه الکترونیکی)

گستره ایران روندهای افزایشی غیرمعنی دار را نشان می‌دهند. مناطق مرکزی ایران پیرامون دشت کویر است. الگوی فضایی مناطق دارای روند شدت خشکسالی در ماه فوریه نیز به غیر از بخش شمال شرق، دارای روند کاهشی است. در این ماه از سال روندهای کاهشی معنی دار برخلاف ماه ژانویه منطبق بر مناطق شمال غرب است. الگوی روند شدت خشکسالی در ماه پایانی فصل زمستان نیز مشابه فوریه است (شکل ۶). رژیم بارش غالب گستره ایران، زمستانه بوده و روندهای کاهشی در شدت خشکسالی نوید روزهای خشک تر در این فصل را دارد. انتظار می‌رود به مرور زمان، فراوانی خشکسالی‌های خفیف در جنوب شرقی ایران کاهش و فراوانی طبقات شدیدتر خشکسالی افزایش یابد. از سوی دیگر، اندک فراوانی خشکسالی‌های خفیف نیز در مناطق پربارش ایران حذف شده و فراوانی طبقات شدیدتر جایگزین آن شود. این شرایط بخش زیادی از معیشت وابسته به آب به‌ویژه کشاورزی دیم و کوچندگان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

الگوی فضایی روند شدت خشکسالی در فصل بهار بسیار مشابه فصل زمستان است، اگرچه روند شدت خشکسالی‌ها در فصل بهار شدیدتر و گستره آن بیشتر است (شکل ۶). شدت خشکسالی در ماه آغازین فصل بهار تقریباً در تمام گستره ایران دارای روند کاهشی است. روندهای کاهشی معنی دار در حوضه آبریز قره‌قوم، مرزی شرقی، دریاچه ارومیه و به صورت پراکنده در فلات مرکزی ایران مشاهده می‌شود. مکانیزم‌های بارش اوایل فصل بهار نیز بیشتر مشابه فصل زمستان بوده و به همین دلیل الگوی فضایی روند شدت خشکسالی آن مشابه است. در مناطق شمال شرقی ایران که بارش‌های بهاره سهم قابل توجهی از بارش سالانه را عهده‌دار است کاهش خواهد داشت. شرایط در استان‌های غربی و شمالی غربی به‌ویژه کرمانشاه و کردستان و همدان که به شدت وابسته به مرتع در فصل بهار هستند نیز بغرنج خواهد بود. در ماه‌های می و ژوئن، مکانیزم بارش ایران از جبهه‌ای به همرفتی تغییر می‌یابد. دامنه‌های گرم و جنوب‌سو در این زمان مستعد دریافت بارش هستند. در ماه می روند

شدت خشکسالی نیز اغلب کاهشی بوده و به‌ویژه در بخش‌های جنوبی حوضه آبریز فلات مرکزی ایران در قلمرو استان کرمان شدیدتر است. تنوع اقلیمی استان کرمان با سبک معیشت متنوع دامداری، زراعت و باغداری از این وضعیت بسیار آسیب‌پذیر خواهد بود. یک الگوی فضایی خردمقیاس از روند افزایشی شدت خشکسالی در حوضه‌های آبریز مشکیل و بلوچستان جنوبی در این ماه نمود می‌یابد که با افزایش بارش‌های همرفتی و موسمی در جنوب شرق بی‌رباط نیست. قلمرو این محدوده در ماه‌های گرم سال گسترش می‌یابد. در ماه پایانی از فصل بهار، روند کاهشی معنی دار از شدت خشکسالی در بخش‌های شمالی حوضه آبریز فلات مرکزی، جلگه خوزستان و شمال غرب ایران مشاهده می‌شود. روند افزایشی ارزش‌های شاخص خشکسالی به سمت اعداد مثبت نیز علاوه بر جنوب شرق در آرایش ناهمواری‌های زاگرس مشاهده می‌شود. در فصل تابستان، بخش کوچکی از گستره ایران در سواحل دریای خزر و جنوب شرق از سامانه‌های متفاوت بارش دریافت می‌کنند و سایر مناطق بیشتر بدون بارش هستند. الگوی فضایی شدت خشکسالی در ماه آغازین فصل تابستان با روندهای منفی و مثبت از ارزش‌های شاخص خشکسالی مشخص می‌شود. روندهای کاهشی ارزش‌های شاخص خشکسالی در جلگه خوزستان و مناطق مرکزی مشهود است. روندهای افزایشی ارزش‌های خشکسالی نیز در بخش شمال غربی، آرایش ناهمواری‌های زاگرس و معدود نقاطی در بخش شرقی ایران مشاهده می‌شود. در ماه میانی فصل تابستان، گستره روندهای افزایشی، زیاده‌تر شده و روندهای افزایشی معنی دار در جنوب شرق ایران و در محدوده عملکرد سامانه‌های بارشی تابستانه نمود می‌یابد. الگوی فضایی شدت خشکسالی در ماه پایانی فصل تابستان با اندک تغییری در شدت مشابه ماه میانی این فصل است. در ماه پایانی فصل تابستان نیز شرایط بارشی ایران به تدریج تغییر می‌یابد و از فاز بدون بارش به رژیم بارش پاییزه-زمستانه تبدیل می‌شود. روندهای افزایشی شدت خشکسالی در ماه‌های فصل تابستان به غیر از گوشه



شکل ۶. روند فراوانی خشکسالی در شش ماه نخست سال (رنگی در نسخه الکترونیکی)

گستره ایران نمود دارد. این وضعیت در ماه میانی فصل پاییز نیز موجود بوده و معنی‌داری بهبود می‌یابد. تنها مناطق دارای روندهای منفی ارزش‌های شاخص خشکسالی در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز در سواحل دریای خزر مشهود است. بیشینه بارش دریافتی فصل پاییز در سواحل دریای خزر رخ می

جنوب شرقی ایران دارای معنی‌داری آماری نبوده و قابل اعتماد نیست. با وجود این، به نظر می‌آید مقیاس یک ماه شاخص خشکسالی قادر به نمایش واقعیت‌های شدت خشکسالی در مجموع دوره گرم سال نباشد. روندهای مثبت ارزش‌های شاخص خشکسالی در ماه آغازین فصل پاییزه نیز در غالب

دهد و این روند کاهشی ارزش‌های خشکسالی در این زمان به مفهوم کاهش تدریجی سهم بارش‌های پاییزه در تأمین بارش سالانه این گستره است که هشدار برای فعالیت‌های وابسته به آن از جمله کشاورزی است. در ماه پایانی فصل پاییز، شرایط تغییر کرده و غالب گستره ایران روندهای کاهشی را دارا هستند. این الگوی فضایی از روند شدت خشکسالی کاملاً با الگوی ماه‌های فصل زمستان همسان است. به جز جلگه خوزستان، سایر مناطق واقع در عرض‌های جنوبی تر از ۳۲ درجه شمالی روند منفی شدت خشکسالی را دارا هستند. شدت خشکسالی در گوشه شمال غربی و غرب به‌ویژه استان‌های کردستان، همدان و کرمانشاه نیز مشهود است. به‌طور کلی، رژیم زمستانه- پاییزه که رژیم غالب گستره ایران نیز است با کاهش بارش در آینده مواجه خواهد بود.

نتیجه‌گیری

خشکسالی از جمله مهم‌ترین مخاطرات محیطی در ایران با فراوانی رخداد بالا و تغییرپذیری زیاد شناخته می‌شود که ناشی از تنوع اقلیمی و شرایط جغرافیایی گستره پهناور ایران است. خشکسالی علاوه بر آثار کوتاه‌مدت، توسعه پایدار بخش‌های اقتصادی- اجتماعی کشور را نیز تهدید می‌کند. مشخصه‌های خشکسالی به‌ویژه شدت و فراوانی رخداد آن در دهه‌های اخیر به دلایل متعدد از جمله تغییرات اقلیمی و اثر فراینده فعالیت‌های انسانی تغییر کرده است. در این مطالعه، ارزیابی تغییرپذیری فضایی- زمانی مشخصه‌های مهم خشکسالی شامل فراوانی و شدت در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق در گستره ایران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از داده‌های شبکه‌ای با وضوح بالا برای ارزیابی بهتر الگوهای فضایی مشخصه‌های خشکسالی و روند آنها استفاده شده است. این رویکرد مطالعاتی به‌ندرت در مطالعات پیشین برای گستره ایران مورد استفاده قرار گرفته است. یافته‌های

پژوهش بیانگر تنوع فضایی زمانی الگوهای شدت خشکسالی در گستره ایران است. الگوی فضایی از فراوانی خشکسالی‌های خفیف از جنوب به شمال و از شرق به غرب کاهشی است؛ درحالی که فراوانی رخداد خشکسالی‌های شدیدتر از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایشی است. بیشینه رخداد خشکسالی‌های خفیف و متوسط به ترتیب روی بخش میانی و پایانی ناهموارهای‌های زاگرس حاکم است؛ درحالی که بیشینه رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید روی مناطق بیابانی مرکزی، شرقی و جنوب شرقی است. گستره خشکسالی‌های شدید بسیار وسیع بوده و بیش از ۷۰ درصد ایران را شامل می‌شود. به‌طور کلی، مناطق خشک‌تر ایران با فراوانی رخداد بیشتر خشکسالی‌های شدید و شدیدتر مواجه هستند. در میان مناطق هیدرواقلمی ایران، آسیب‌پذیری مناطق جنوب شرق و شرق نسبت به الگوهای فضایی خشکسالی و ترسالی بیش از سایر مناطق است. این آسیب‌پذیری نتیجه اثر تلفیقی خشکسالی‌های شدید و کمبود آب با ترسالی‌های شدید و مخاطره سیلاب‌های ویرانگر است. فراوانی رخداد طبقات خشکسالی در گستره ایران تغییر یافته است. مازاد بر آن، روند شدت خشکسالی نیز همزمان با رژیم بارش غالب گستره ایران، کاهشی (تشدید خشکسالی) است. تنها روند افزایشی معنی‌دار در شدت خشکسالی (تشدید ترسالی) در جنوب شرق ایران همزمان با رژیم بارش موسمی مشاهده می‌شود. اقدامات عاجل برای توسعه سیستم کارآمد هشدار اولیه خشکسالی، تهیه برنامه‌های مدیریت خشکسالی در جهت تعدیل اثرات خشکسالی و سازگاری با آن و همچنین استراتژی‌های بلندمدت مدیریت آب برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و پایداری زیست‌محیطی در گستره ایران ضروری است. این اقدامات می‌تواند از آثار غیرمستقیم و تجمعی خشکسالی مانند فقر فزاینده، جابه‌جایی جمعیت و نا آرامی‌های بکاهد.

منابع مورد استفاده

1. Banimahd, S. and D. Khalili. 2014. Drought class transition analysis by Markov Chains and Log-Linear models: approach for early drought warning. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 8(24): 37-56.
2. Bazrafshan, O., F. Mahmudzadeh and J. Bazrafshan. 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert Management* 4(8): 54-69. doi: 10.22034/jdmal.2017.24662.
3. Blenkinsop, S. and H. J. Fowler. 2007. Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology* 342(1-2): 50-71. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.003>.
4. Chen, H. and J. Sun. 2015. Changes in drought characteristics over China using the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 28(13): 5430-5447. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00707.1>.
5. Dabanlı, İ., A. K. Mishra and Z. Şen. 2017. Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology* 552: 779-792. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>.
6. Dargahian, F. and S. Razavi Zadeh. 2020. Identification of annual and decadal changes in drought trends of the Karoun basin using the SPEI index. *Iran Nature* 4(6): 71-76. doi: 10.22092/irn.2020.120804.
7. Dargahian, F. and S. Razavi Zadeh. 2020. Identification of annual and decadal changes in drought trends of the Karoun basin using the SPEI index. *Iran Nature* 4(6): 71-76.
8. Desbureaux, S. and A. S. Rodella. 2019. Drought in the city: The economic impact of water scarcity in Latin American metropolitan areas. *World Development* 114: 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.026>.
9. Eghtedar Nezhad, M., O. Bazrafshan and J. Bazrafshan. 2017. Spatio-temporal variations of meteorological drought using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Iran. *Journal of Agricultural Meteorology* 5(2): 35-46. doi: 10.22125/agmj.2018.59719.
10. Ghorbani, K., E. Valizadeh and S. BararkhanPoor. 2018. Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran. *Desert Management* 6(11): 25-38. doi: 10.22034/jdmal.2018.32321.
11. Hadipour, S., A. K. Abd Wahab and S. Shahid. 2020. Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. *Atmospheric Research* 233: 104704. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104704>.
12. Hosseini Pazhouh, N., K. Ahmadaali and A. Shokoohi. 2019. Assessment of standardized precipitation and standardized precipitation-evapotranspiration indices for wet period detection. *Journal of Water and Soil Conservation* 25(6): 207-221. doi: 10.22069/jwsc.2019.15175.3036.
13. Huang, S., L. Wang, H. Wang, Q. Huang, G. Leng, W. Fang and Y. Zhang. 2019. Spatio-temporal characteristics of drought structure across China using an integrated drought index. *Agricultural Water Management* 218: 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.053>.
14. Kassaye, A. Y., G. Shao, X. Wang and S. Wu. 2021. Quantification of drought severity change in Ethiopia during 1952-2017. *Environment, Development and Sustainability* 23(4): 5096-5121. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00805-y>.
15. Katirai-Boroujerdy, P. S., N. Nasrollahi, K. L. Hsu and S. Sorooshian. 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of Arid Environments* 97: 205-219. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.05.013>.
16. Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edn. Charles Griffin, London.
17. Li, X., B. He, X. Quan, Z. Liao and X. Bai. 2015. Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982-2012. *Remote Sensing* 7(8): 10917-10937. <https://doi.org/10.3390/rs70810917>.
18. Liu, Y. and J. Chen. 2021. Future global socioeconomic risk to droughts based on estimates of hazard, exposure, and vulnerability in a changing climate. *Science of the Total Environment* 751: 142159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142159>.
19. Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13(3): 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
20. Mathbout, S., J. A. Lopez-Bustins, J. Martin-Vide, J. Bech and F. S. Rodrigo. 2018. Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961-2012. *Atmospheric Research* 200: 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016>.
21. Mishra, V. 2020. Long-term (1870-2018) drought reconstruction in context of surface water security in India. *Journal of Hydrology* 580: 124228. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124228>.
22. Mostafazadeh, R. and M. Zabihi. 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics* 42(3): 633-643. doi: 10.22059/jesphys.2016.57881.
23. Movahhed-Danesh, A. A. 2013. *The Hydrology of the surface water of Iran*. The Organization for Researching and Composing University Textbooks in the Islamic Sciences and the Humanities (SAMT). ISBN 978-964-459-113-6.

24. Noorisameleh, Z., W. A. Gough and M. Mirza. 2021. Persistence and spatial-temporal variability of drought severity in Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 28(35): 48808-48822. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14100-4>.
25. Polong, F., H. Chen, S. Sun and V. Ongoma. 2019. Temporal and spatial evolution of the standard precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Tana River Basin, Kenya. *Theoretical and Applied Climatology* 138(1): 777-792. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02858-0>.
26. Qi, Y., H. Yu, Q. Fu, Q. Chen, J. Ran and Z. Yang. 2022. Future changes in drought frequency due to changes in the mean and shape of PDSI probability density function under RCP4. 5 scenarios. *Frontiers in Earth Science* 386. doi: 10.3389/feart.2022.857885.
27. Sadeghinia, A., Z. Hejazizadeh, M. Hamidianpour and R. Poursarbandan. 2013. Estimation of drought and wet period probabilities using SPI index and Markov chain model. *Journal of Geographic Space* 13(43): 65-81.
28. Sharafati, A., S. Nabaei and S. Shahid. 2020. Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology* 40(3): 1864-1884. <https://doi.org/10.1002/joc.6307>.
29. Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería and J. L. López-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7): 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
30. Wilhite, D. A. 1997. Responding to drought: common threads from the past, visions for the future 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 33(5): 951-959. doi:10.1111/j.1752-1688.1997.tb04116.x.
31. Yirga, S. A. 2021. Spatio-temporal analysis of drought variability in central Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change* 12(5): 1778-1787. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.226>.
32. Yousefi, H., A. Kashki, M. karami, A. hosseinzadeh and E. Reyhani. 2018. Assessment and zoning of groundwater quality of Bojnord plain during drought and wet periods with using SPI, RAI and PN indices. *Iranian Journal of Ecohydrology* 5(3): 993-1005. doi: 10.22059/ije.2018.257381.875.
33. Zareabyaneh, H., M. Ghobaeisoogh and A. Mosaedi. 2015. Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Water and Soil* 29(2): 374-392. doi: 10.22067/jsw. v0i0.36472.

Variability of Drought Frequency and Intensity in Iran using SPEI

H. Nazaripour*, M. Hamidianpour, M. Khosravi and M. Vazirimehr¹

(Received: April 30-2022; Accepted: June 26-2022)

Abstract

In this study, the decade variability of frequency and severity of drought in Iran has been investigated. The one-month scale data from the standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI 01) in the period 1956 - 2015 have been used. Based on the common numerical thresholds, the characteristics of the frequency and severity of drought for each pixel have been calculated and they are the basis for the analysis of the drought situation. Then, the frequency of drought severity classes was calculated and its trend was investigated using the non-parametric Mann-Kendall test. The findings indicated the spatio-temporal variability of drought frequency and intensity patterns in Iran. The frequency of mild droughts has decreased from south to north and from east to west; while the frequency of more severe droughts has increased from north to south and from west to east. The frequency of mild droughts in the southeast, northwest, and northeast has increased by 5 to 40 percent. While the frequency of more severe droughts in most parts of Iran has increased between 10 and 20 percent. Variability in the frequency of more severe droughts is more pronounced in the Central Plateau catchment area as well as in the Persian Gulf-Oman Sea. The trend of drought intensity is decreasing (drought intensification) at the same time as the prevailing rainfall regime in Iran. A significant increase in drought intensity (wet season intensification) is observed only in southeastern Iran at the same time as the monsoon regime. However, extra-arid and arid regions of southeastern Iran are affected by the frequency and severity of drought and have a high degree of vulnerability.

Keywords: Drought, Variability, SPEI, Mann–Kendall trend test, Spatial-temporal analysis.

1. Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

*: Corresponding author, Email: h.nazaripour@gep.usb.ac.ir