

بررسی روند خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در مناطق نیمه خشک، خشک و فراخشک جهان

محمد رضا کوثری^{۱*}، محمدرضا اختصاصی^۲، حسین ملکی نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۳۰

چکیده

خشکسالی یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی است که وقوع آن به‌خصوص در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت جدی منابع آب روبه‌رو هستند، شرایط نامناسبی را پدید می‌آورد. همچنین، پدیده تغییر اقلیم نیز می‌تواند خشکسالی‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، بررسی روند خشکسالی‌ها طی سال‌های گذشته در این مناطق، امری ضروری است. در این مقاله، روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان و براساس شاخص استاندارد شده بارش^۱ (SPI) مورد بررسی قرار گرفته است. SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت ۱، ۳ و ۶ ماهه براساس داده‌های شبکه‌ای بارش فراهم شده به وسیله^۲ CRU، در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ ایجاد و سپس روند کلاس‌های متوسط تا شدید و بسیار شدید آن‌ها به وسیله^۳ آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از فراوانی مناطق بدون روند است. باین حال، وجود روندهای پراکنده معنادار صعودی و نزولی در بسیاری از مناطق مورد بررسی مشاهده می‌شود. روندهای منفی SPI که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی‌هاست، در منطقه خاورمیانه، مرکز استرالیا و غرب آمریکا بیشتر مشهود است. افزایش شدت خشکسالی‌ها می‌تواند به محدودیت بیشتر منابع آب، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه دامن بزند.

واژه‌های کلیدی: خشک، خشکسالی، فراخشک، روند، مقیاس جهانی، نیمه‌خشک.

۱. دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول / mohammad_kousari@yahoo.com

۲. استاد و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۳. دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

مقدمه

خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی در بسیاری از نقاط جهان است. در حقیقت خشکسالی یک واقعت تکرارپذیر است که در گذشته وجود داشته، در حال حاضر نیز وجود دارد و در آینده نیز وجود خواهد داشت. این بلای طبیعی در بسیاری از مناطق جهان، به قدری تأثیرگذار است که ذهن عموم مردم را به‌خصوص در فصل‌های بارش به خود معطوف می‌کند.

البته این موضوع در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک اهمیت بسزایی می‌یابد. در واقع در کنار خشکی اقلیمی، خشکسالی نیز این مناطق را در شدت‌های مختلف، تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و بدین ترتیب اثر عامل خشکی اقلیم را تشدید می‌کند. همچنین برخلاف سایر بلاهای طبیعی مانند سیل، زلزله و طوفان، خسارات ناشی از بحران خشکسالی، به‌صورت تدریجی اما گسترده و در مدت طولانی بروز می‌کند. به دلیل آنکه ماهیت این پدیده، آرام و خزننده بودن آن است، شناسایی زمان شروع و خاتمه آن به‌صورت دقیق، امری بسیار مشکل می‌باشد (میشرا و سینگ^۱، ۲۰۱۰؛ میشرا و دسای^۲، ۲۰۰۵). از آنجایی که وجود آب شیرین کافی، مهم‌ترین محدودیت اکولوژیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود، اندک تغییرات در بارش دریافتی به‌طور قابل توجهی بر فعالیت‌های مختلف این مناطق تأثیرگذار است. از جمله اثرات آن عبارت‌اند از: رواج فقر، افزایش قیمت غذا، کاهش منابع آب شرب و کشاورزی، کاهش تولیدات زراعی، کاهش کمی و کیفی مراتع، خشک شدن تالاب‌ها و... . متأسفانه چنین مسائلی موجب افزایش تنش بین مردم و جوامع می‌شود و در صورت افزایش شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی، این تنش‌ها بیش‌ازپیش شدت گرفته و حالات گسترده‌تری مانند جنگ آب را نمایان می‌سازد. این وضعیت در شرایط کمبود منابع آب کافی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بسیار مستعد است.

همچنین، امروزه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی (هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی^۳، ۲۰۰۷) نیز به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ جهانی ظاهر شده و اثرات احتمالی گرمایش

جهانی بر افزایش وقوع خشکسالی‌ها مورد اشاره بسیاری از محققان واقع شده است (دای^۴ و همکاران، ۲۰۰۴؛ دای، ۲۰۰۶؛ دای، ۲۰۱۱؛ اسلامیان و همکاران، ۲۰۱۱؛ نفرزادگان و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوثری و همکاران، ۲۰۱۴). در چنین وضعیتی، پایش وضعیت خشکسالی‌ها و روند آن‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیتی دوچندان برخوردار می‌شود. در جهان به‌هم‌پیوسته امروز، تغییرات کوچک و بزرگ جوامع به‌راحتی در سطح جهان گسترده می‌شود. برای مثال، وضعیت بحرانی حال حاضر خاورمیانه بسیاری از مناطق جهان را تحت تأثیر خود قرار داده است. به‌یقین یکی از عوامل تشدید درگیری‌ها در این منطقه، محدودیت منابع آب است. مباحث مربوط به ریزگردها، احداث سدها (همانند آنچه بر رودهای دجله و فرات در عراق یا هیرمند در افغانستان اتفاق افتاده است) و تغییر حق‌آبه‌ها، کم‌آب شدن رودخانه‌های بزرگ و افزایش تقاضای آب برای بسیاری از فعالیت‌ها به‌ویژه کشاورزی و صنعت، مشکلات و چالش‌های بین کشورها را در این مناطق تحت تأثیر خود قرار داده است. از این‌رو لازم است تا شرایط خشکسالی و روند آن طی سال‌های گذشته در مناطق اقلیمی شکننده خشک و نیمه‌خشک جهان مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات معدودی در زمینه بررسی روند خشکسالی‌ها در سطح مناطق مختلف دنیا از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است. نتایج شفلد^۵ و همکاران (۲۰۱۲) نشان‌دهنده تغییرات نسبتاً اندک خشکسالی طی ۶۰ سال اخیر است. مطالعات آندردیس و لتنمایر^۶ (۲۰۰۶) حاکی از افزایش بزرگی و مدت خشکسالی‌ها در غرب آمریکا و کاهش آن‌ها در قسمت‌های شرقی این کشور است. دامبرگ و آقاچوک^۷ (۲۰۱۴) روند خشکسالی و الگوهای آن را در سطح جهانی مورد بررسی قرار دادند. البته مناطق خشکی که دارای بارش‌های کمتر از ۱۵ میلی‌متر در ماه‌اند، در این مطالعه لحاظ نشده است. در رابطه با تغییرات و روند مساحت خشکسالی، نتایج ایشان نشان‌دهنده عدم افزایش معنادار مساحت مناطق تحت تأثیر خشکسالی در نیمکره شمالی است؛ این در

4. Dai

5. Sheffield

6. Andreadis & Lettenmaier

7. Damberg & AghaKouchak

1. Mishra and Singsh

2. Mishra and Desai

3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

کاربرد گسترده‌تری دارد و به‌فراوانی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی (آندریدیس و لئنمایر، ۲۰۰۶؛ آقاچوکچک و نججیری، ۲۰۱۲؛ دامبرگ و آقاچوکچک، ۲۰۱۴) مورد استفاده قرار گرفته است (فرهمند و آقاچوکچک، ۲۰۱۵). SPI یک شاخص بسیار قوی و در عین حال ساده از لحاظ محاسبات است (سازمان جهانی هواشناسی^۴، ۲۰۱۲). برای محاسبه این شاخص تنها احتیاج به داده‌های بارش است. همچنین این شاخص در تشخیص دوره‌های تر و خشک بسیار مؤثر عمل می‌کند. یکی دیگر از مزایای بسیار مهم و اصلی SPI، قابلیت محاسبه آن در مقیاس‌های زمانی مختلف است که بر این اساس می‌توان خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و همچنین بلندمدت را مورد بررسی قرار داد (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰؛ سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۱۲).

آنچه در تعریف واژه خشکسالی واضح است، در واقع تعریف مشخص و شاخص خاص و یگانه‌ای برای تعیین خشکسالی وجود ندارد (ویلپیت و گلتنز^۵، ۱۹۸۵). در کل، خشکسالی در چهار گروه اصلی شامل خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی و اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شود (همان؛ انجمن هواشناسی آمریکا^۶، ۲۰۰۴). خشکسالی یک حادثه طبیعی بسیار پیچیده است که تعریف و شناسایی آن بسیار مشکل است. این پدیده بخش‌های زیادی و مقیاس‌های زمانی متنوعی را پوشش می‌دهد و بنابراین، ارائه یک شاخص واحد برای اندازه‌گیری آن متناسب با تمام گروه‌ها و مقیاس‌های زمانی غیرممکن است. البته در اینجاست که قابلیت‌های SPI مشخص می‌شود و آن ارتباط بین انواع خشکسالی‌ها و مقیاس سری‌های زمانی SPI است (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۱۲). همان‌طور که گفته شد، SPI در مقیاس‌های زمانی مختلفی تولید می‌شود که مرسوم‌ترین آن‌ها ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه‌اند. سری‌های زمانی با مقیاس کمتر یا کوتاه‌مدت SPI برای اندازه‌گیری خشکسالی هواشناسی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و سری‌های زمانی با مقیاس بلندمدت را می‌توان مبنایی برای اندازه‌گیری خشکسالی‌های هیدرولوژیک

حالی است که در نیمکره جنوبی، روند معنادار افزایشی مشاهده شده است. همچنین نتایج تغییرات مکانی خشکسالی‌ها در مطالعه مذکور، بیان‌کننده آن است که مناطق جنوب غربی آمریکا، تگزاس و بخش‌هایی از آمازون، شاخ آفریقا و بخش‌هایی از منطقه مدیترانه، دارای روند افزایشی خشکسالی بوده‌اند. همچنین مناطق مرکزی قاره آفریقا، مناطقی از جنوب شرقی آسیا، مناطق مرکزی آمریکا، شمال استرالیا و بخش‌هایی از اروپای شرقی، روند افزایشی شرایط ترسالی را تجربه کرده‌اند.

در ایران، کوثری و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی روند شاخص احيایی بارش^۱ (RDI) در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نشان دادند که سری‌های خشکسالی دارای روند معنادار و عمدتاً افزایشی هستند؛ البته این موضوع بیشتر در سری‌های بلندمدت خشکسالی (مقیاس‌های زمانی ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) قابل توجه است. بررسی‌های آهنی و همکاران (۲۰۱۲) نشان‌دهنده روند غیر معنادار در حجم بارش‌های دریافتی در سطح استان فارس است. البته نتایج بررسی سری‌های زمانی در این مطالعه نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۴ به بعد، حجم بارش‌های دریافتی در این استان، به شدت کاهش یافته است. مطالعه مدرس و همکاران (۲۰۱۶) حاکی از وجود روندهای افزایشی و کاهش‌ی در سری‌های زمانی خشکسالی و سیلاب در ایران بوده است. این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش خشکسالی‌ها و همچنین سیلاب‌ها در ایران ناشی از تغییرات کاربری اراضی، روند منفی بارش‌های دریافتی سالانه، روند افزایشی بارش‌های حداکثر و همچنین سیاست‌های نادرست مدیریت منابع آب در کشور است.

باتوجه به اهمیت موضوع، این مقاله به بررسی تغییرات روند خشکسالی طی سال‌های اخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان پرداخته است. در این راستا از داده‌های بارش در سطح جهانی، جمع‌آوری شده توسط CRU^۲ استفاده شده است. برای کمی‌سازی خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) توسعه یافته توسط مک‌کی^۳ و همکاران (۱۹۹۳) استفاده شده است. این شاخص، یکی از مرسوم‌ترین شاخص‌ها در تعیین اندازه خشکسالی است و در میان شاخص‌های هواشناسی،

4. World Meteorological Organization (WMO)

5. Wilhite and Glantz

6. American Meteorological Society (AMS)

1. Reconnaissance Drought Index

2. Climatic Research Unit - University of East Anglia

3. McKee

UNEP (۱۹۷۷) استفاده شد. مطابق با جدول (۱)، در این تقسیم‌بندی، مناطق با ضریب خشکی^۵ (AI) کوچک‌تر از ۰/۰۵، بزرگ‌تر از ۰/۰۵ و کوچک‌تر از ۰/۲ و همچنین بزرگ‌تر از ۰/۲ و کوچک‌تر از ۰/۵ به ترتیب مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک را تشکیل می‌دهند. همچنین شکل (۱) نشان‌دهنده دامنه اقلیم‌های مختلف براساس تقسیم‌بندی UNEP (۱۹۷۷) است. این شکل با تقسیم میانگین مقادیر بارش سالانه، بر تخییر و تعرق پتانسیل سالانه و تقسیم‌بندی آن براساس جدول (۱)، در محیط نرم‌افزار MATLAB تهیه شده است. داده‌های مورد استفاده شامل سری‌های زمانی بارش ماهانه به صورت شبکه‌بندی شده (با قدرت تفکیک ۰/۵ درجه) و در بازه زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۳ و در سطح جهانی است که توسط CRU جمع‌آوری شده است (هریس^۶ و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین داده‌های تخییر و تعرق نیز توسط CRU تهیه شده است (همان) که در این مطالعه، برای برآورد ضریب خشکی از آن استفاده شده است. به‌طور معمول، برای محاسبه SPI نیاز به ۲۰ تا ۳۰ سال داده ماهانه بارش است. البته در صورت وجود داده، افزایش طول دوره آماری به ۵۰ تا ۶۰ سال شرایط مطلوب‌تری را فراهم می‌آورد (گوتمن^۷، ۱۹۹۴). در این مطالعه، بازه زمانی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ انتخاب شده است. مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی از سال ۱۹۷۰ روند قابل‌توجهی داشته است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰؛ هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی، ۲۰۰۷). علت انتخاب این بازه آن است که علاوه بر طول دوره کافی برای محاسبات SPI، می‌توان اثرات محتمل تغییرات اقلیمی بر خشکسالی‌ها را نیز در نظر گرفت.

جدول (۱): تقسیم‌بندی مناطق اقلیمی جهان براساس تقسیم‌بندی UNEP

۱۹۹۷ (UNEP, 1997)

منطقه اقلیمی	حد پایین
$AI < 0.05$	فراخشک
$0.05 < AI < 0.2$	خشک
$0.2 < AI < 0.5$	نیمه‌خشک
$0.5 < AI < 0.65$	نیمه‌مرطوب
$AI > 0.65$	مرطوب

و یا اقتصادی و اجتماعی قرار داد. مبنای این تقسیم‌بندی‌ها بر آن است که رطوبت هوا و خاک در بازه‌های زمانی کمتری تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این در حالی است رواناب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی در بازه‌های زمانی طولانی‌تری، تحت تأثیر کمبودهای بارش قرار می‌گیرند (همان). بنابراین در این مطالعه، سری‌های زمانی کوتاه‌مدت خشکسالی (در سری‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه) SPI برای اندازه‌گیری و پیرو آن، بررسی روند خشکسالی هواشناسی و کشاورزی مورد توجه قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون آماری ناپارامتری من‌کنندال، معناداری روند در این سری‌های زمانی مورد بررسی واقع شد. آزمون من‌کنندال (کنندال^۱، ۱۹۷۵) از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌شمار می‌رود. از نقاط قوت روش من‌کنندال، کاربرد آن برای سری‌های زمانی است که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند (هریچ^۲ و همکاران، ۱۹۹۳؛ ژای و فنگ^۳، ۲۰۰۸). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (هریچ و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین داده‌های ناقص نیز بر این روش تأثیرگذار نیستند (یو^۴ و همکاران، ۱۹۹۳). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) نیز حاکی از وجود روند در سری داده‌هاست.

نتایج این بررسی به‌ویژه از لحاظ افزایش شدت خشکسالی‌ها در طی سال‌های اخیر، در برخی از مناطق حساس و استراتژیک واقع در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک جهان و لزوم در نظر گرفتن تهدید بسیار بالای این افزایش خشکسالی‌ها بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

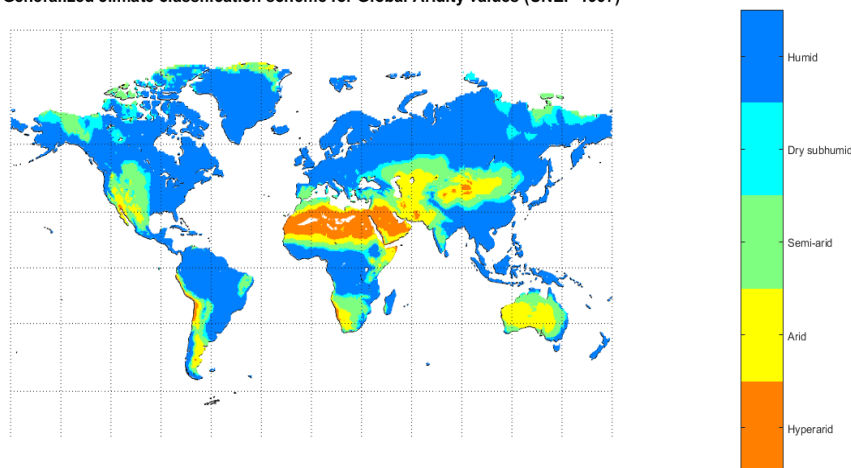
معرفی محدوده مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

محدوده مورد مطالعه مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان است. برای تعیین محدوده این مناطق، از تقسیم‌بندی

5. Area Index
6. Harris
7. Guttman

1. Kendall
2. Hirsch
3. Zhai and Feng
4. Yu

Generalized climate classification scheme for Global-Aridity values (UNEP 1997)



شکل (۱): پراکنش اقلیم‌های مختلف در سطح جهان براساس تقسیم‌بندی UNEP (UNEP, 1997)

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (۳)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (۴)$$

در معادله فوق، A از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (۵)$$

در رابطه فوق، n تعداد مشاهدات بارندگی و \bar{x} میانگین بارندگی تجمعی برای یک ماه مشخص در طی دوره آماری است. در روش ناپارامتری محاسبه SPI، به جای تابع توزیع گاما یا هر توزیع دیگر، توزیع احتمال تجربی استفاده می‌شود. براساس مطالعه فرمند و آفاکوچک (۲۰۱۵) مطابق با فرمول ذیل، از روش Gringorten (گرینگورتن، ۱۹۶۳) برای این کار استفاده شده است.

$$P(X_i) = \frac{i-0.44}{n+0.12} \quad (۶)$$

در این رابطه، n تعداد نمونه، i رتبه داده‌های غیر صفر بارش به ترتیب صعودی و $P(X_i)$ مقدار احتمال تجربی هر یک از داده‌های بارش در سری زمانی است. خروجی‌های رابطه فوق با استفاده از رابطه زیر به شاخص استاندارد شده بارش تبدیل می‌شود.

$$SPI = \varphi^{-1}(p) \quad (۷)$$

در رابطه فوق، φ تابع توزیع نرمال استاندارد و p مقدار احتمالی است که از رابطه مربوط به توزیع احتمال تجربی به دست آمده است؛ البته مقدار SPI را می‌توان از طریق رابطه

شاخص استاندارد شده بارش (Standardized Precipitation)
(Index or SPI)

برای تعیین شاخص SPI از روش ارائه شده توسط فرمند و آفاکوچک (۲۰۱۵) براساس روش ناپارامتری برآزش تابع چگالی احتمال SPI به ترتیبی که در ادامه آمده، استفاده شد. این روش در اقلیم‌های مختلف و برای پارامترهای مختلف قابلیت کاربرد دارد. در محاسبه شاخص SPI، تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت زیر تعریف شده است (مک‌کی، ۱۹۹۳).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (۱)$$

for : $x > 0$
در اینجا $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که به شکل رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (۲)$$

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده در رابطه با برآزش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است. پارامترهای α و β برای هر ایستگاه و برای هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال برآورد می‌شوند. با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی می‌توان مقادیر بهینه α و β را براساس معادلات زیر برآورد کرد:

ذیل نیز تقریب زد.

MATLAB صورت گرفته است.

نتایج

جدول (۲) حاوی اطلاعات مربوط به درصد فراوانی روندهای معنی دار افزایشی، کاهش و بدون روند در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه خشک جهان و در مقیاس های زمانی SPI ۱، ۳ و ۶ ماهه در کلاس خشکسالی متوسط تا شدید و در سطح معناداری ۰/۰۵ است. در وهله اول، این جدول نشان دهنده وجود انواع روند، شامل افزایشی و کاهش معنادار و هم سری های بودن روند است. همچنین درصد روندهای معنی دار (هم افزایشی و هم کاهش) با افزایش مقیاس زمانی SPI افزایش می یابد. برای مثال، مقدار روندهای کاهش معنادار در مقیاس زمانی ۱ ماهه SPI، در مناطق فراخشک، خشک، نیمه خشک و مجموع این مناطق به ترتیب ۵/۴۲، ۳/۵۲، ۳/۹۳ و ۴/۰۶ است. این مقادیر در مقیاس زمانی ۳ ماهه SPI، در مناطق فراخشک، خشک، نیمه خشک و مجموع این مناطق به ترتیب ۵/۶۶، ۷/۹۲، ۹/۶۲ و ۸/۳۳ است و در مقیاس زمانی ۶ ماهه SPI، به ۵/۲۳، ۱۴/۹۳، ۱۴/۴۵ و ۱۲/۹۴ درصد تبدیل می شود. در واقع از درصد سری های بدون روند کاسته شده و به انواع روند افزایشی یا کاهش معنادار افزایش می یابد. نکته بسیار مهم که در این جداول مشاهده می شود، درصد به مراتب بیشتر مناطق با روند افزایشی SPI نسبت به روند کاهش SPI است. برای مثال در مناطق فراخشک و در رابطه با SPI ۱ ماهه، درصد مناطق با روند افزایشی برابر با ۴۲/۴۸ درصد است. این در حالی است که روند کاهش SPI برابر با ۵/۴۲ درصد است. در رابطه با سایر مقیاس های زمانی SPI و همچنین مناطق مختلف اقلیمی نیز چنین حالتی مشاهده می شود.

جدول (۳) حاوی اطلاعات مربوط به درصد فراوانی روندهای معنی دار افزایشی، کاهش و بدون روند (در سطح ۰/۰۵) در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه خشک جهان و در مقیاس های زمانی SPI ۱، ۳ و ۶ ماهه در کلاس خشکسالی بسیار شدید است. همانند اطلاعات جدول (۲)، این جدول نیز نشان دهنده وجود انواع روند، شامل افزایشی و کاهش معنادار و هم سری های بدون روند است. همچنین درصد روندهای معنی دار (هم افزایشی و هم کاهش) با افزایش مقیاس زمانی

$$SPI = \begin{cases} -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) & \text{if } 0 < P \leq 0.5 \\ \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) & \text{if } 0.5 < P \leq 1.0 \end{cases} \quad (8)$$

که در آن $c_0 = 2.515517$ ، $c_1 = 0.802853$ ، $c_2 = 0.010328$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_2 = 0.189269$ ، $d_3 = 0.001308$ است.

و t نیز از رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{P^2}\right)} \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-P)^2}\right)} \end{cases} \quad (9)$$

بدین ترتیب SPI به صورت استاندارد شده، مقدار انحرافات بالاتر یا پایین تر از میانگین را نشان می دهد. براساس روش مذکور، SPI در سری های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه و در مناطق خشک، نیمه خشک جهان محاسبه شد. بازه زمانی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ در نظر گرفته شد. همچنین مطابق با مطالعه دامبرگ و آقاچوکچک (۲۰۱۴) رده خشکسالی مورد بررسی، کلاس متوسط تا شدید ($-2 < SPI < -1$) و همچنین بسیار شدید ($SPI < -2$) در نظر گرفته شد. محاسبات فوق الذکر در محیط نرم افزار MATLAB صورت پذیرفت.

آزمون من-کندال

البته استفاده از روش من-کندال به خوبی شناخته شده و در بسیاری از مقالات ارائه شده است. بنابراین، در اینجا از ارائه جزئیات آن صرف نظر شده است. شایان ذکر است که برای حذف اثر احتمالی خودهمبستگی ها در درون سری های زمانی SPI، آزمون وجود خودهمبستگی برای هر سری زمانی SPI نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در صورت وجود خودهمبستگی، عملیات Pre-Whitening بر سری های زمانی اعمال شده و سپس آزمون من-کندال به کار رفته است. همچنین سطح معناداری روند برابر با ۰/۰۵ که نشان دهنده ۹۵ درصد اطمینان است، در نظر گرفته شده است. محاسبات تعیین روند نیز در محیط نرم افزار

SPI افزایش می‌یابد. البته برخلاف کلاس متوسط تا شدید، در را به خود اختصاص می‌دهد. جدول (۳)، درصد مناطق بدون روند معنادار مقدار قابل توجهی

جدول (۲): درصد فراوانی روندهای معنادار افزایشی، کاهش و بدون روند (در سطح ۰/۰۵) در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه SPI و کلاس خشکسالی متوسط تا شدید

نوع اقلیم	معنادار کاهش	بدون روند	معنادار افزایشی
SPI ۱ ماهه	فراخشک	۵/۴۲	۴۲/۴۸
	خشک	۳/۵۲	۳۲
	نیمه‌خشک	۳/۹۳	۲۴/۵۳
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۴/۰۶	۳۰/۳۳
SPI ۳ ماهه	فراخشک	۵/۶۶	۶۰/۹۹
	خشک	۷/۹۲	۳۸/۷۲
	نیمه‌خشک	۹/۶۲	۳۴/۹۰
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۸/۳۳	۴۰/۹۲
SPI ۶ ماهه	فراخشک	۵/۲۳	۶۲/۲۱
	خشک	۱۴/۹۳	۳۷/۲۸
	نیمه‌خشک	۱۴/۴۵	۳۴/۸۷
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۱۲/۹۴	۴۰/۶۴

جدول (۳): درصد فراوانی روندهای معنادار افزایشی، کاهش و بدون روند (در سطح ۰/۰۵) در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه SPI و کلاس خشکسالی بسیار شدید

نوع اقلیم	معنادار کاهش	بدون روند	معنادار افزایشی
SPI ۱ ماهه	فراخشک	۱/۹۵	۳/۵۲
	خشک	۲/۷۴	۱۲/۵۰
	نیمه‌خشک	۲/۸۸	۱۱/۱۴
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۲/۶۷	۱۰/۲۳
SPI ۳ ماهه	فراخشک	۵/۶۶	۲۱/۶۵
	خشک	۸/۳۰	۲۶/۵۹
	نیمه‌خشک	۸/۴۰	۲۰/۸۳
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۷/۸۷	۲۲/۹۰
SPI ۶ ماهه	فراخشک	۶/۳۴	۳۳/۰۸
	خشک	۱۱/۶۸	۲۸/۷۰
	نیمه‌خشک	۱۳/۳۷	۲۳/۵۸
	فراخشک، خشک، نیمه‌خشک	۱۱/۵۲	۲۷/۰۵

گرچه جداول (۲) و (۳) اطلاعات باارزشی از وضعیت نسبت انواع روندها فراهم آورده است، نمایش پراکنش مکانی انواع روندها در قالب نقشه، امکان مقایسه و تحلیل مکانی روندها را نیز مشخص می‌سازد. شکل (۲) تا (۷) به ترتیب

نمایش داده شده‌اند، سطح قابل توجهی از نقشه‌های تولیدشده را پوشش داده‌اند؛ به‌ویژه در رابطه با خشکسالی‌های متوسط تا شدید، چنین حالتی بیشتر مشاهده می‌شود.

در مقیاس زمانی ۱ ماهه SPI و در رابطه با خشکسالی‌های متوسط تا شدید در گستره اقلیم فراخشک (نقشه بالا و سمت چپ شکل ۲)، روندهای کاهش SPI به‌صورت لکه‌های قرمز در بین عمدتاً زمینه سبز (بدون روند) ظاهر شده‌اند؛ البته در این نقشه، روند افزایشی SPI در بخش‌های قابل توجهی از گستره اقلیم فراخشک جهان قابل مشاهده است. در اینجا مشخص است که سطح گسترده‌ای از شمال آفریقا و همچنین عربستان دارای روند افزایش SPI بوده‌اند. در مناطق خشک (نقشه بالا، سمت راست شکل ۲)، روند کاهش SPI در بخش‌های مرکزی ایران قابل مشاهده است. چنین حالتی یعنی روند کاهش SPI در رابطه با خشکسالی بسیار شدید (شکل ۳) نیز مشاهده می‌شود؛ البته گستره روندهای افزایشی SPI ۱ ماهه در این شکل، نسبت به نقشه‌های مربوط به شدت خشکسالی متوسط تا شدید (شکل ۲) چندان زیاد نیست.

نتایج مشابهی را می‌توان برای SPI ۳ ماهه نیز مشاهده کرد (شکل ۴ و ۵). البته در تطابق با اطلاعات جداول ۲ و ۳، مناطق دارای روند افزایشی یا کاهش SPI، سطح گسترده‌تری دارند. شکل‌های شماره ۴ و ۵ نشان می‌دهند که روندهای افزایشی SPI سه‌ماهه و در کلاس خشکسالی‌های متوسط تا شدید، معمولاً به‌صورت یکپارچه و گسترده ظاهر شده‌اند. این در حالی است که روندهای کاهش SPI، به‌صورت پراکنده و در بخش‌هایی از خاورمیانه، آسیای شرقی، بخش‌هایی از شمال آفریقا، بخش‌های کوچکی از استرالیا و غرب آمریکای جنوبی و به‌طور گسترده‌تر در غرب قاره آمریکای شمالی ظاهر شده‌اند. همچنین شکل (۵) نشان می‌دهد گرچه نسبت به کلاس خشکسالی‌های متوسط تا شدید، مناطق کمتری از جهان، روندهای معنادار SPI دارند، روند کاهش قابل توجهی از SPI و در رابطه با خشکسالی‌های بسیار شدید در کشور ایران مشاهده می‌شود.

در مقایسه با SPI های ۱ و ۳ ماهه، روندهای کاهش SPI ۶ ماهه در کلاس‌های مختلف متوسط تا شدید و بسیار شدید

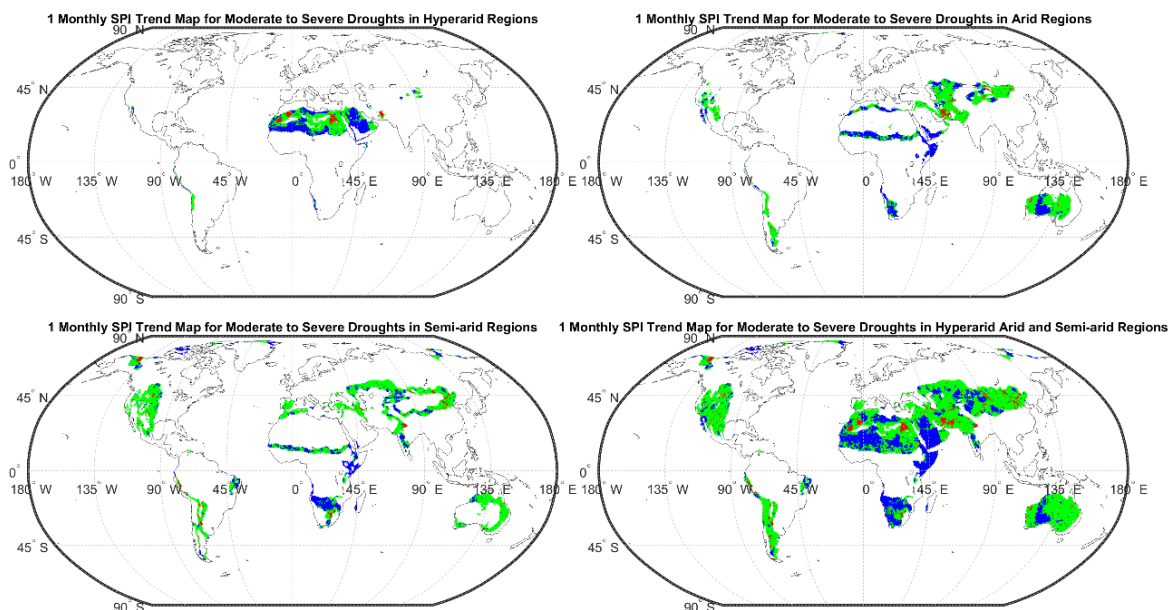
نشان‌دهنده پراکنش مکانی انواع روندهای معنی‌دار افزایشی، کاهش و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه SPI است. البته تغییرات روند در هر سری زمانی مربوط به دو رده خشکسالی‌های متوسط تا شدید و بسیار شدید است. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهش معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است. برای نمایش هرچه بهتر پراکنش مکانی روندها در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک، هر شکل به چهار بخش تقسیم شده است. در هر یک از این بخش‌ها، پراکنش مکانی انواع روندها در هر یک از مناطق فوق‌الذکر نشان داده شده است؛ البته در بخش چهارم هر شکل، اطلاعات پراکنش انواع روندها در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک تجمیع شده است.

شکل (۱) و همچنین شکل‌های (۲) تا (۷) نشان می‌دهند که بخش عمده‌ای از مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان در قاره‌های آسیا و آفریقا قرار دارد. بخش‌هایی از شرق آسیا، آسیای مرکزی، خاورمیانه، شمال و جنوب آفریقا را این نوع اقلیم پوشانده است. البته تقریباً تمام بخش‌های استرالیا، بخش غربی قاره‌های آمریکای شمالی و جنوبی نیز تحت تأثیر این نوع اقلیم قرار دارند. بیشتر مناطق فراخشک جهان در بخش‌های مرکزی ایران، بخش غربی خاورمیانه و همچنین شمال آفریقا قرار گرفته‌اند. اقلیم خشک، بخش‌های گسترده‌ای از کشور ایران، آسیای مرکزی، نوارهایی در شمال و جنوب آفریقا، غرب آمریکای شمالی و جنوبی و بخش‌های مرکزی و شرقی استرالیا را پوشانده است. اقلیم نیمه‌خشک به‌صورت نوارهایی اطراف مناطق خشک را در مناطق مذکور محاط کرده است.

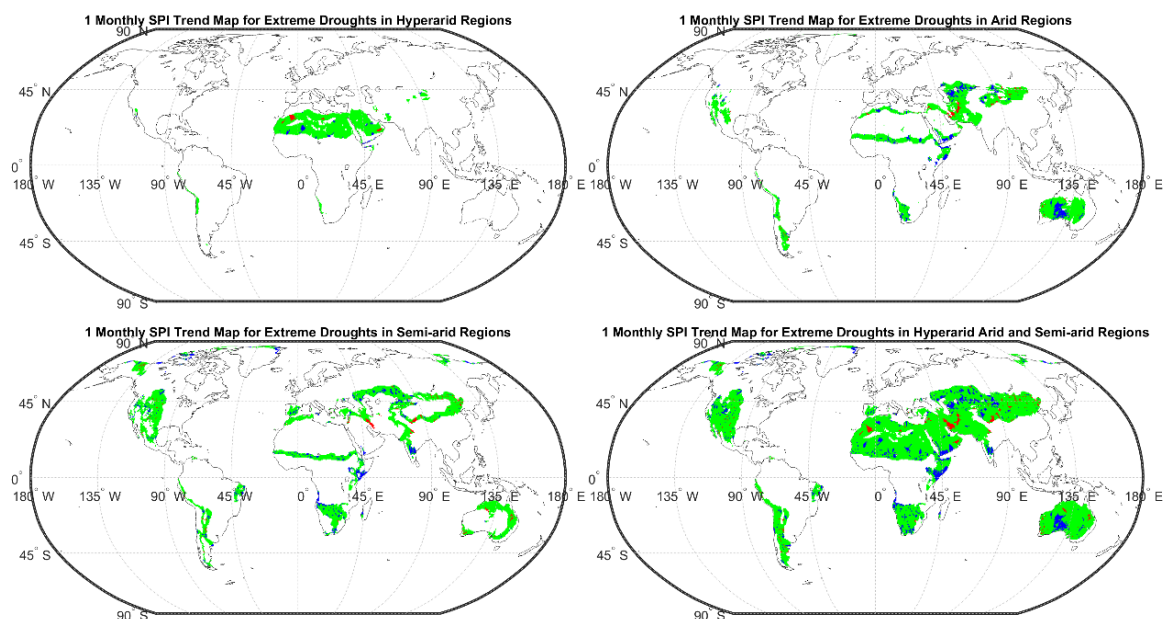
در تطابق با اطلاعات جداول (۲) و (۳)، نقشه‌های ارائه‌شده نیز نشان‌دهنده افزایش روندهای معنادار کاهش و افزایش متناسب با افزایش مقیاس زمانی SPI قابل مشاهده است؛ چنان‌که با افزایش مقیاس زمانی SPI، از سطح رنگ سبز (مناطق بدون روند معنادار) کاسته شده و به‌جای آن مناطق با رنگ قرمز یا آبی نمایان می‌شود؛ البته روند افزایشی SPI در بیشتر مواقع مشهود است. این مناطق که با رنگ آبی

است. همچنین نتایج این نقشه‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های قابل توجهی از کشور ایران، به‌همراه مناطق تحت تنش نظیر افغانستان، پاکستان و بخش‌هایی از ترکیه، دارای روند کاهشی SPI هستند.

جهان (شکل ۶ و ۷)، تا حدودی، گستره بیشتری از روند کاهشی SPI را نشان می‌دهد. برای مثال، مقایسه تغییرات روند کاهشی SPI ۶ ماهه در مناطق خشک استرالیا نشان‌دهنده گسترده‌تر شدن دامنه این روند است. چنین شرایطی در غرب آمریکای جنوبی و به‌خصوص آمریکای شمالی نیز مشهود

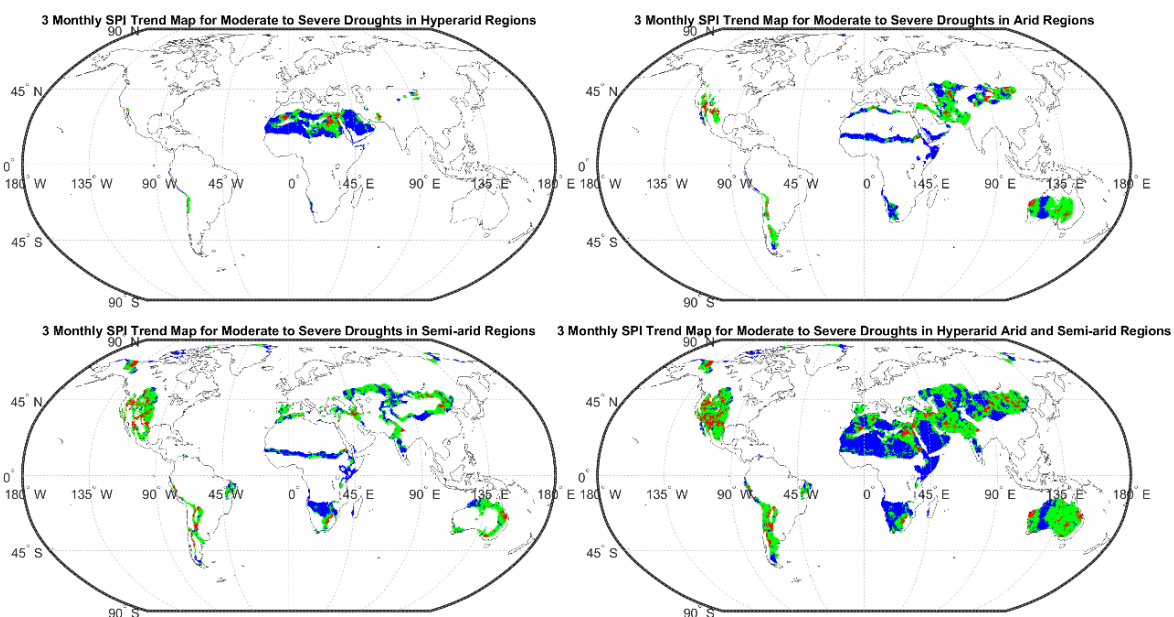


شکل (۲): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی متعادل تا شدید معنی‌دار افزایشی، کاهشی و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۱ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهشی معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است. سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ است.

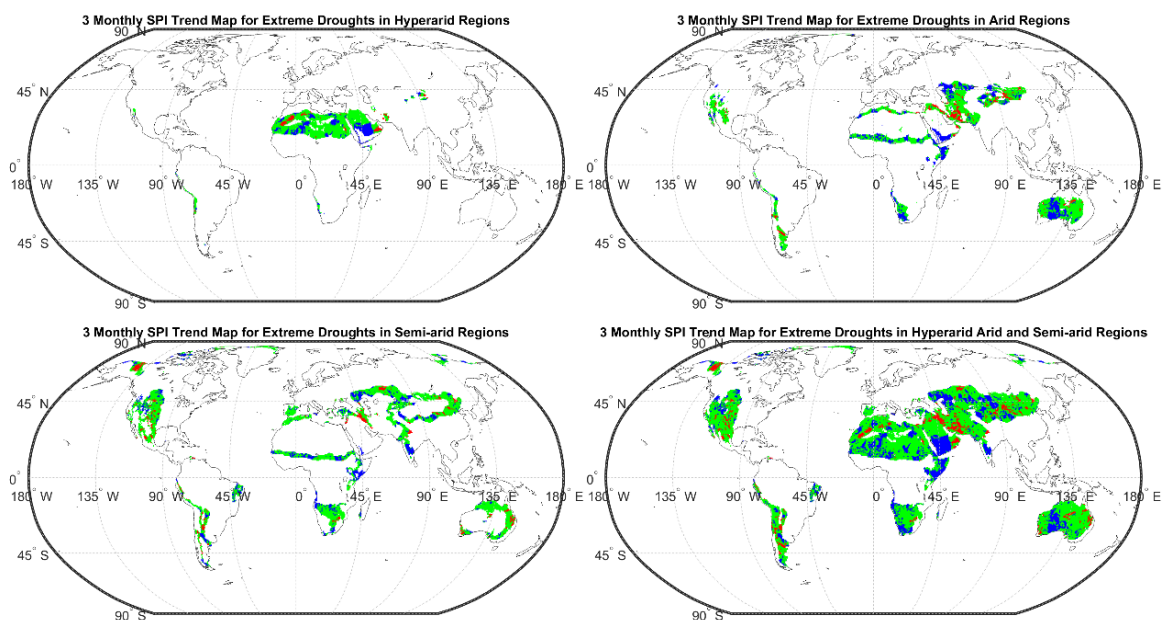


شکل (۳): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی خیلی شدید معنی‌دار افزایشی، کاهشی و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۱ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهشی معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای

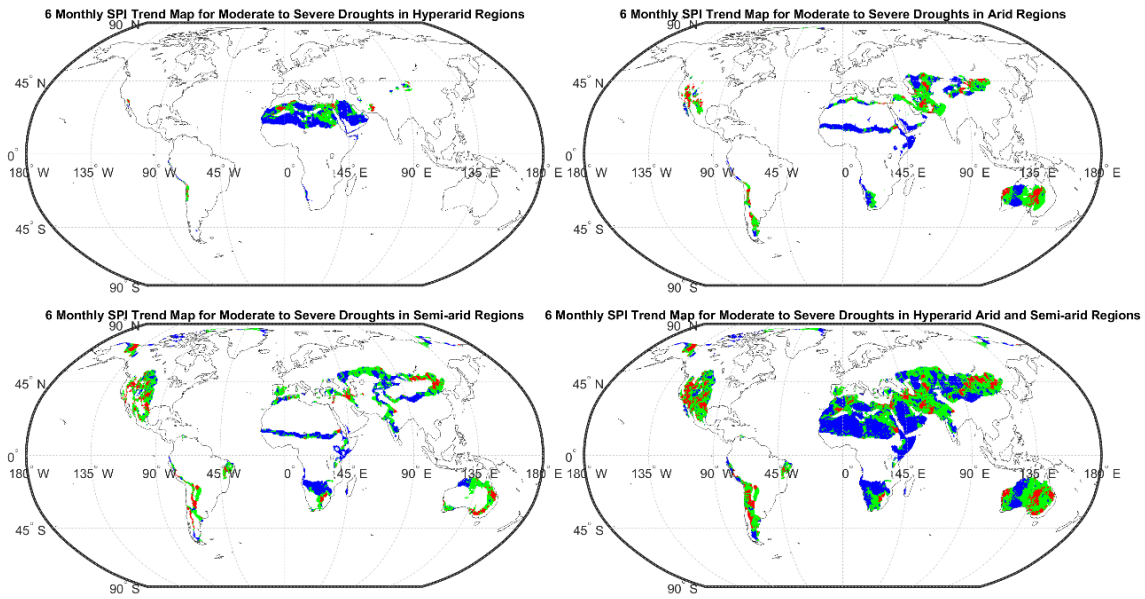
افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است. سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ است.



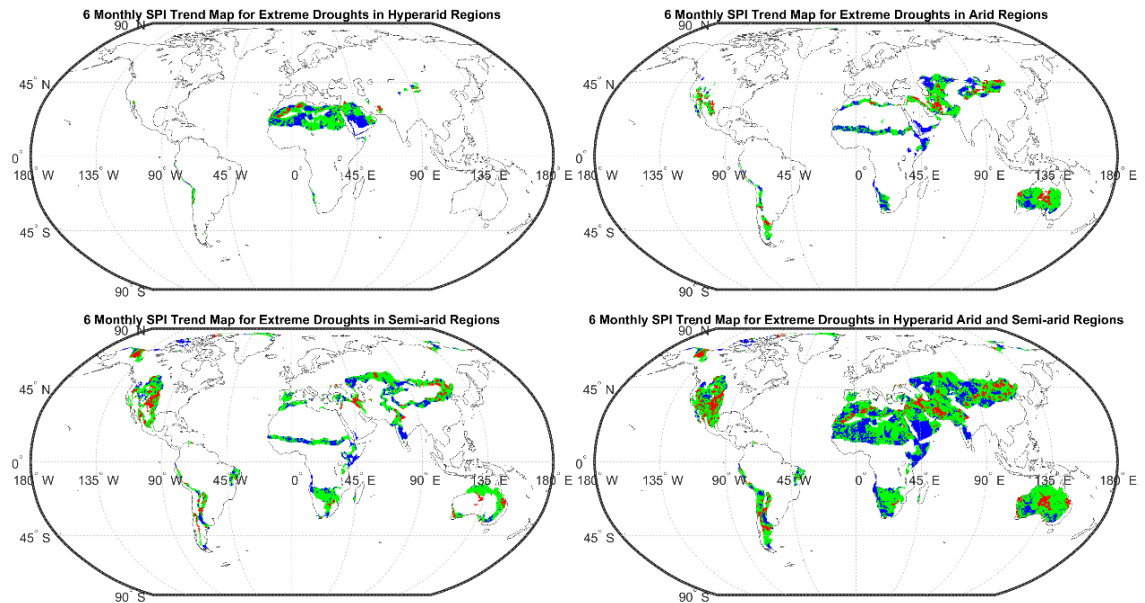
شکل (۴): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی متعادل تا شدید معنی‌دار افزایشی، کاهش و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۳ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهش معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است. سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ است.



شکل (۵): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی بسیار شدید معنی‌دار افزایشی، کاهش و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۳ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهش معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است. سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ است.



شکل (۶): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی متوسط تا شدید معنی‌دار افزایشی، کاهش و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۶ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهش معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است.



شکل (۷): نقشه پراکنش مکانی انواع روندهای خشکسالی بسیار شدید معنی‌دار افزایشی، کاهش و بدون معنی در مناطق اقلیمی فراخشک، خشک، نیمه‌خشک جهان و در مقیاس زمانی ۶ ماهه SPI. در این نقشه‌ها، رنگ قرمز نشان‌دهنده روندهای کاهش معنادار، رنگ آبی نشان‌دهنده روندهای افزایشی معنادار و مناطق با رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط عدم وجود روند معنادار است.

بحث و نتیجه‌گیری

نشان‌دهنده وجود انواع روندها (کاهش معنادار، افزایش معنادار و بدون روند معنادار) در این مناطق است. باید توجه داشت که روند کاهش SPI به معنای روند افزایشی وقوع خشکسالی‌هاست. در طول یک سری زمانی SPI، کاهش نسبی

در این تحقیق، روند سری‌های زمانی کوتاه‌مدت شدت خشکسالی براساس شاخص SPI و در مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق

سری زمانی کاهش و دامنه آن افزایش یابد، روندها بیشتر نمایان می‌شوند؛ زیرا با توجه به نحوه تعیین روند توسط تابع من-کندال و در صورت وجود روند، احتمال اینکه تعداد بیشتری از اعضای یک سری زمانی، مقادیر بیشتر یا کمتر از مقادیر ابتدای سری داشته باشند، افزایش می‌یابد. در این صورت است که تابع من-کندال وجود روند را بهتر نمایان می‌سازد.

درصد قابل توجهی از مساحت مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان دارای شرایط بدون روند معنادارند. با توجه به موارد مذکور و با افزایش سری‌های زمانی، ممکن است از سری‌های زمانی بدون روند کاسته و به نوع معنادار افزایشی یا کاهش‌ی تغییر پیدا کند؛ البته نتایج مربوط به خشکسالی‌های متوسط تا شدید نشان می‌دهد که با افزایش مقیاس زمانی، سری‌های معنادار کاهش SPI (افزایشی خشکسالی)، افزایش بیشتری نسبت به سری‌های افزایشی SPI دارند. از این رو، با افزایش مقیاس زمانی سری‌ها، این امکان وجود دارد که بخش قابل توجهی از مناطق بدون روند معنادار، به سری‌های کاهش‌ی SPI یا افزایشی خشکسالی اختصاص یابند.

همچنین باید در نظر داشت افزایش تعداد خشکسالی‌های کوتاه‌مدت ممکن است در سری‌های زمانی بلندمدت نیز تأثیرگذار باشد. به عبارتی بهتر، افزایش وقوع خشکسالی کوتاه‌مدت می‌تواند منجر به افزایش وقوع خشکسالی‌های بلندمدت گردد و بالعکس. در نهایت، این امکان وجود دارد که سطح بیشتری از این مناطق در سری‌های بلندمدت خشکسالی، به صورت معنادار ظاهر شوند. نتایج این مقاله در افزایش سطوح روندهای معنادار از SPI ۱ ماهه به ۶ ماهه، مؤید این موضوع است. از آنجایی که افزایش خشکسالی‌های بلندمدت می‌تواند منجر به وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیک شود (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۱۲)، بررسی روند سری‌های بلندمدت در این مناطق نیز ضروری به نظر می‌رسد که می‌تواند به عنوان موضوع مهمی مورد توجه محققان واقع شود.

افزایش خشکسالی‌های کوتاه‌مدت هرچند به نسبت کم، بسیار حائز اهمیت است. افزایش چنین خشکسالی‌هایی بر رطوبت هوا و رطوبت خاک تأثیر گذارند. در واقع اندک رطوبت موجود در چنین اقلیم‌هایی نیز تحت تأثیر این خشکسالی‌ها قرار

مقادیر SPI به معنای کاهش نسبی شرایط مرطوب یا افزایش نسبی شرایط خشکی است. برخلاف آن، روند افزایشی در یک سری زمانی SPI، به معنای افزایش نسبی شرایط مرطوب یا کاهش نسبی شرایط خشکی است. بنابراین، آنچه به خصوص در رابطه با محدودیت منابع آب در مناطق با اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک مطلوب می‌باشد، روند افزایشی سری‌های زمانی خشکسالی است.

نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق با اقلیم فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان، هم‌روند افزایشی و کاهش‌ی معنادار و هم شرایط بدون روند را تجربه کرده‌اند. از این رو، فقط داشتن شرایط اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک منجر به افزایش وقوع خشکسالی‌ها در این مناطق نمی‌شود؛ البته روند افزایشی یا کاهش‌ی سری‌های زمانی، جدای از بحث نوع اقلیم، می‌تواند ناشی از اثرات پیوند از راه دور^۱ برخی از پدیده‌های اقلیمی بزرگ جهانی مانند تغییرات دمای سطح آب اقیانوس آرام باشد.

اثرات احتمالی ارتباط سیگنال‌های پیوند از راه دور و روند خشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از موضوعات مهمی است که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

همان طور که نتایج نشان داد، در کل، مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر، روند معنادار بیشتری را نشان می‌دهند. به عبارتی دیگر، با افزایش مقیاس زمانی از ۱ ماهه به سوی ۶ ماهه SPI، درصد روند‌های معنادار افزایش می‌یابد. این موضوع به مقیاس سری‌های زمانی مربوط می‌شود. در واقع با کاهش مقیاس زمانی سری‌ها، دامنه تغییرات SPI کاهش و فروانی وقوع یا نوسان آن افزایش می‌یابد. با توجه به نحوه محاسبه شاخص SPI، مقادیر ۱ ماهه SPI از خود سری زمانی بارش (بدون تغییر) محاسبه می‌شوند. این در حالی است که محاسبه SPI ۳ و ۶ ماهه ابتدا بایستی سری‌های جمع متحرک^۲ ۳ و ۶ ماهه بارش ایجاد و سپس تابع SPI بر آن‌ها اعمال شود. لذا با افزایش مقیاس سری زمانی SPI و به سبب ایجاد جمع متحرک در سری‌ها، نوسان آن‌ها کمتر و دامنه تغییرات افزایش می‌یابد. در صورتی که نوسان

1. Teleconnections
2. Moving sum

مدیریت صحیح این منابع (مدرس و همکاران، ۲۰۱۶)، افزایش وقوع خشکسالی‌های کوتاه‌مدت منجر به روند صعودی برداشت از این منابع شده باشد. در صورتی که چنین حالتی ادامه یابد، به دلیل محدودیت منابع، مشکلات قابل توجهی گریبان‌گیر جامعه خواهد شد. معمولاً کشاورزان و دامداران از جمله اولین اقشاری هستند که مستقیماً تحت تأثیر مشکلات خشکسالی قرار می‌گیرند؛ به گونه‌ای که خشکسالی مهم‌ترین محدودیت موجود در مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک، یعنی محدودیت منابع آب را نشانه گرفته و بدین ترتیب بسته به درجه آن بر مشکلات کشاورزان می‌افزاید. افزایش فقر، بیکاری و مهاجرت از روستاها به مراکز جمعیتی بزرگ‌تر و عواقب آن، مشکلات بسیار زیادی را برای جوامع ایجاد می‌کند.

نکته قابل توجه دیگر، افزایش خشکسالی‌ها در مقیاس جهانی و نه در مقیاس منطقه‌ای است. به عبارتی بهتر، افزایش خشکسالی‌ها محدود به یک منطقه خاص مانند خاورمیانه نیست؛ این موضوع در سایر قاره‌ها نیز اتفاق افتاده است. برای نمونه، مناطق غرب آمریکا یا بخش قابل توجهی از استرالیا نیز با چنین مشکلاتی مواجه شده است. آنچه مهم است درجه توسعه‌یافتگی کشورهاست که چگونگی واکنش آن‌ها را به افزایش خشکسالی‌ها مشخص می‌کند.

همچنین نتایج این مقاله نشان‌دهنده افزایش وقوع خشکسالی‌ها در مناطقی از افغانستان، پاکستان و ترکیه است که در حال حاضر، به شدت درگیر مشکلات مربوط به جنگ داخلی هستند؛ البته بخش‌هایی از مرکز ایران و جنوب شرقی کشور ما نیز درگیر روند کاهش SPI یا افزایش خشکسالی‌ها طی دهه‌های اخیر بوده است. ادامه این روند، به‌ویژه در منطقه حساس خاورمیانه که از یک طرف با خشکی اقلیم و محدودیت منابع آب درگیر است و از طرف دیگر درگیر جنگ‌های شدید، مشکلات متعددی را در ایجاد صلح دائم در این منطقه به وجود خواهد آورد. بنابراین، توجه به این مسئله نیز از اهمیت خاصی برخوردار است و شاید ایجاد یک سیستم مدیریت جامع منابع آب در سطح منطقه خاورمیانه، بتواند از مشکلات مربوط به افزایش روند خشکسالی‌ها در این منطقه بکاهد.

گرفته و به‌خصوص در رابطه با رطوبت خاک، پتانسیل‌های مربوط به کشت دیم را کاهش می‌دهند. همچنین کاهش رطوبت موجب افزایش دور آبیاری اراضی کشاورزی شده که در این مناطق قرار دارند. در نتیجه، مصرف آب در چنین شرایطی افزایش می‌یابد. از آنجایی که بخش عمده‌ای از مصارف منابع آب شیرین مربوط به بخش کشاورزی می‌شود، افزایش وقوع خشکسالی‌های کوتاه‌مدت، مصارف آب را در بخش کشاورزی افزایش می‌دهد.

همچنین باید توجه داشت که بسیاری از کشورهای در حال توسعه در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک قرار دارند. امروزه حوزه‌های آبخیز این مناطق که منابع تولید آب به‌شمار می‌آیند، در برخی قسمت‌ها، طی چند دهه گذشته، تغییرات زیادی را متحمل شده‌اند. کاهش توان اکولوژیک حوزه‌ها، افت کمیت و کیفیت اکوسیستم‌های گیاهی به‌خصوص مراتع، افزایش مقدار فرسایش و تحویل رسوب از سطح حوزه‌های آبخیز و پیرو آن خسارات جبران‌ناپذیر وارد بر منابع آب، خاک و نیز سدها، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی، از جمله تجربه‌های تلخی هستند که برخی از حوزه‌های آبخیز این مناطق در چند دهه گذشته تجربه کرده‌اند. اگر موارد مذکور را در یک طرف معادله قرار دهیم، طرف دوم معادله چیزی جز کاهش توان و پتانسیل اکولوژیک اکوسیستم‌ها نیست و به‌یقین، اکوسیستم‌های پرتوان بهتر می‌توانند در مقابل بحران‌هایی نظیر بحران خشکسالی توان مقاومت داشته باشند؛ البته خلاف آن نیز صادق است. به هر حال، خشکسالی یک واقعیت تکرارشده است که با افزایش وقوع آن، اکوسیستم‌های ضعیف بیشتر دچار حالت بحرانی می‌شوند.

در هر صورت، یکی از مهم‌ترین مشکلات اساسی در اقلیم‌های فراخشک تا نیمه‌خشک، محدودیت منابع آب است و باید به این نکته توجه کرد که در بسیاری از مناطق با اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک، بخش قابل توجهی از منابع آب ذخیره‌شده، به‌خصوص منابع آب زیرزمینی، برداشت و استفاده شده است. در واقع، ذخیره منابع آب شیرین در این مناطق با شتاب بسیار زیادی برداشت شده است. شاید در کنار عدم

منابع

1. (AMS), A. M. S. 2004. Statement on meteorological drought. Bull Am Meteorol Soc, 85:771-773.
2. AghaKouchak, A., Nakhjiri, N. A. 2012. near real-time satellite-based global drought climate data record. Environ Res Lett, 7:044037.
3. Damberg, L., AghaKouchak, A. 2014. Global trends and patterns of drought from space. Theor Appl Climatol 117:441-448.
4. Dai Aiguo †Lamb Peter J †Trenberth Kevin E † Hulme Mike †Jones Philip D. And Xie Pingping. (2004). The recent Sahel drought is real. International Journal of Climatology, †24(11): 1323-1331.
5. Dai Aiguo. (2006). Recent Climatology, Variability, and Trends in Global Surface Humidity. Journal of Climate †19(15): 3589-3606.
6. Dai A. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdisciplinary Reviews; Clim. Change †2(1): 45-65.
7. Eslamian Saeid †Khordadi Mohammad Javad و Abedi-Koupai Jahangir. (2011). Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. Global and Planetary Change †78(3-4): 188-194.
8. Farahmand, A., AghaKouchak, A. 2015. A generalized framework for deriving nonparametric standardized drought indicators. Advances in Water Resources, 76:140-145.
9. Gringorten, I. I. 1963. A plotting rule for extreme probability paper. J Geophys Res, 68:813-814.
10. Guttman, N. B. 1994. On the sensitivity of sample L moments to sample size. Journal of Climate, 7:1026-1029.
11. Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., Lister, D. H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. International Journal of Climatology, 34:623-642.
12. Hirsch, R., Helsel, D., Cohn, T., Ilroy, E. 1993. Statistical analysis of hydrologic data. Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York.
13. IPCC. 2007 Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)].
14. Kendall, M. G. (1975) Rank Correlation Methods. Griffin, London.
15. Kousari, M., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheyli, E., Hayatzadeh, M., Chezgi, J. 2014. Trend Detection of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran Based on Implementation of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Application of Non-Parametrical Statistical Method. Water Resour Manag, 28:1857-1872.
16. Mishra, A., Singh, V. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391:202-216.
17. Modarres, R., Sarhadi, A., Burn, D. H. 2016. Changes of extreme drought and flood events in Iran. Global and Planetary Change, 144:67-81.
18. Mishra A. K و Desai V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment † 19(5): 326-339.
19. Mckee T.B †Doesken N.J و Kleist J. . (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proc. 8th conference on applied climatology †Anaheim, California.
20. Nafarzadegan A. R †Rezaeian Zadeh M †Kherad M †Ahani H †Gharehkhani A †Karampoor M. A و Kousari M. R. (2012). Drought area monitoring during the past three decades in Fars province, Iran. Quaternary International †250(0): 27-36.
21. Sheffield, J., Wood, E. F., Roderick, M. L. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. Nature, 491:435-438.
22. UNEP (United Nations Environment Programme), 1997. World atlas of desertification 2ED. UNEP, London.
23. Wilhite, D. A., Glantz, M. H. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water Int. 10:111-120.
24. WMO. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. Journal,
25. Yu, Y., Zou, S., Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. J Hydrol 150:61-80.
26. Zhai, L., Feng, Q. 2008. Spatial and temporal pattern of precipitation and drought in Gansu Province, Northwest China. Nat Hazard, 49:1-24.

Investigation of meteorological and agricultural drought trends in hyper-arid, arid and semi-arid regions of the world

Mohamad Reza Kousari^{1*}, Mohamad Reza Ekhtesasi², Hosein Maleikenzhad³

Received: 28/2/2017

Accepted: 20/5/2017

Abstract

Drought is one of the most costly natural hazards and is more dangerous in arid and semiarid regions which suffer from limited water resources. Climate change can also affect drought intensity; therefore, it is essential to analyze the trends of drought, particularly in these regions. This study surveyed the trends of meteorological and agricultural drought in hyper-arid, arid and semiarid regions of the world using the standardized precipitation index (SPI). Short time scales of 1-, 3- and 6-month SPI (moderate to severe and extreme drought) were derived for the period of 1970 to 2014 from the gridded precipitation data provided by CRU. The trends of the time series were computed using the Mann-Kendall nonparametric statistical test. The results showed that non-significant trends were dominant; however, some territories showed significant upward and downward SPI trends in different parts of the study regions. The significant negative SPI trends, which imply increased drought, were observed in the Middle East, central Australia and western North America. An increase in drought severity can increase consumption of water resources, particularly in developing countries.

Keywords: Arid, drought, global scale, hyper-arid, semi-arid, trend.

1. PhD watershed, College of Natural Resources and Desert, Yazd University mohammad_kousari@yahoo.com

2. Professor and Faculty member of the Department of Range and Watershed, College of Natural Resources and Desert, Yazd University

3. Associated Professor and Faculty member of the Department of Range and Watershed, College of Natural Resources and Desert, Yazd University