

بررسی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران بر اساس شاخص بارش استاندارد شده

روژین فصیحی^۱، عبدالله طاهری تیزرو^{۲*} و مریم بیات ورکشی^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

نویسنده مسئول: ttizro@basu.ac.ir *

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۸

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۹

چکیده

خشکسالی از آثار تغییر اقلیم و خصوصاً کاهش بارندگی‌ها نسبت به حد میانگین درازمدت است. به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی خشکسالی در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی ایران، تعیین جهت این تغییرات می‌تواند در مدیریت آب و تخصیص آن به جنبه‌های مختلف کاربری، نقش مهمی داشته باشد. در این مطالعه، به منظور بررسی توزیع زمانی خشکسالی، از روش ناپارامتری من‌کندال در ۲۸ ایستگاه سینوپتیک کشور طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. روندیابی خشکسالی با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) گویای تفاوت رفتاری شاخص خشکسالی در اقلیم‌های مختلف کشور می‌باشد. با بررسی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مشخص گردید که اکثر اقلیم‌های مورد بررسی دوره خشکسالی سالانه را تجربه کرده‌اند. از نظر وقوع خشکسالی، بیش‌ترین خشکسالی سالانه در اقلیم خشک با زمستان خنک تابستان گرم شامل ایستگاه‌های: تهران، سمنان، کرمان، بیرجند، زاهدان و اصفهان، مشاهده گردید. به طوری که در این اقلیم، درصد وقوع سال‌های خشک به طور میانگین ۲۰/۵۵ درصد به دست آمد. نتایج آزمون من‌کندال شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نیز بیان‌گر روند افزایش معنی‌دار خشکسالی در بررسی سالانه و سه فصل بهار، پاییز، زمستان است. شدیدترین روند افزایش خشکسالی در ایستگاه سنندج مشاهده گردید. بررسی توزیع مکانی خشکسالی نشان داد در مقیاس سالانه، شدیدترین خشکسالی در بخش جنوب‌شرقی کشور می‌باشد. در مقیاس فصلی، توزیع مکانی خشکسالی ناهمگون است. لیکن در فصل زمستان توزیع مکانی خشکسالی بیان‌گر استقرار خشکسالی نرمال در سطح کشور است.

واژه‌های کلیدی: شاخص SPI، ایران، من‌کندال، ArcGIS

۱- پیشگفتار

(۲۰۱۹). از جمله روش‌های مرسوم بررسی پدیده خشکسالی، استفاده از شاخص‌های هواشناسی است که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه می‌شوند. بارش و نوسانات آن در دوره‌های خشک و تر، عمده‌ترین فراسنجه در تعریف خشکسالی و شاخص‌های مربوط به آن است. بررسی هم‌زمان تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی، اطلاعات جامع و کاملی جهت شناخت این پدیده در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مرکز ملی تعدیل خشکسالی ایالات متحده، به منظور پایش خشکسالی و شرایط ذخیره رطوبت خاک از نمایه بارش استاندارد شده استفاده می‌نماید (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵). هائیس و همکاران (۱۹۹۹) گمان دارند که استفاده‌کنندگان از شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) در دنیا رو به افزایش

خشکسالی یکی از پدیده‌های هواشناختی و جدایی ناپذیر از شرایط اقلیمی کشورهای واقع در عرض‌های جنب حاره‌ای مثل ایران است. از جمله پیامدهای نامطلوب خشکسالی، عدم توازن و کاهش میزان آب جریان یافته، کاهش پوشش گیاهی و خطر بروز سیل می‌باشد که جدی‌ترین معضل برای کشاورزی است (میرموسوی و کریمی، ۲۰۱۱). در مواقعی که فراوانی وقوع خشکسالی وجود دارد، خسارت‌های ناشی از آن زیاد و در بخش‌های مختلفی نظیر کشاورزی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی دیده می‌شود. بنابراین اطلاع از شدت، طول مدت و مکان تحت پوشش پدیده خشکسالی باعث کاهش آسیب‌های ناشی از آن می‌شود (سواری و اسکندری دامنه،

¹ Standardized Precipitation Index

مناسب‌تر است. آنان همچنین نشان دادند که پدیده خشکسالی از غرب به شرق از روند تقریباً افزایشی پیروی نموده و در حاشیه شرقی استان یزد شدت خشکسالی به حداکثر می‌رسد. در مطالعه مدرس و سرحدی (۲۰۰۹)، تغییرات مکانی و زمانی بارش سالانه و حداکثر ۲۴ ساعته در ایران مشخص شد بارش سالانه در ۶۷ درصد ایستگاه‌ها کاهش یافته است، در صورتی که حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها افزایش یافته است. روند منفی بارش سالانه عمدتاً در مناطق شمالی و شمال‌غربی مشاهده شد، در حالی که روند مثبت بارش حداکثر ۲۴ ساعته عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران اتفاق افتاده است. یزدانی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) خشکسالی کشور را در دو مقیاس ۳ ماهه و ۱۲ ماهه بررسی نمودند، نتایج حاکی از وجود تعداد زیاد خشکسالی در فواصل زمانی کوتاه‌تر نسبت به دوره طولانی‌تر می‌باشد. خسروی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از چهار شاخص SPI، PNI، SIP و RAI به تعیین شدت خشکسالی در کشور پرداختند و گزارش نمودند که دو شاخص PNI و RAI حساسیت بیشتری داشته و توزیع مکانی خشکسالی را با دقت بالاتری نشان می‌دهند. اسپینونی و همکاران (۲۰۱۵) خشکسالی در اروپا را بررسی نمودند و نشان دادند که اروپای شمالی و شرقی بزرگ‌ترین خشکسالی‌ها را از نظر فراوانی و شدت داشته‌اند. و در دهه ۵۰، کل اروپا تحت تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی گسترده بوده است. در پایان بیان نمودند که از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ افزایش ناچیز و در عین حال پیوسته در وقوع خشکسالی رخ داده است. ژانو و همکاران (۲۰۱۸) خشکسالی با شاخص SPEI و ارتباط آن با NDVI را در چین بررسی نمودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین همبستگی در بررسی دوره سه ماهه و فصل تابستان است. میریعوب‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی که ارائه نمودند ۸ شاخص خشکسالی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش مزیت نسبی بالای شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را نشان داد. قربانی و همکاران (۲۰۱۹) روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از نمونه‌ای من‌کندال، سن و پتیت را در اصفهان مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنان حاکی از آن بود که براساس آزمون پتیت در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها، براساس آزمون سن در 60 درصد ایستگاه‌ها و براساس آزمون من‌کندال در ۵۹ درصد

است. در ترکیه و اکثر کشورهای قاره آفریقا از این نمایه در پایش خشکسالی استفاده شده است، همچنین مرکز آب و هوایی کلرادو، مرکز اقلیم منطقه‌ای غرب و مرکز ملی کاهش خشکسالی در ایالت متحده از این شاخص استفاده می‌نمایند. نتایج فرج‌زاده‌اصل و فضلی (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که تغییرات دما و بارش از ویژگی‌های اصلی آب و هوای ایران محسوب می‌گردد که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانات آب و هوایی شدید در مقیاس‌های مختلف زمانی حاصل می‌شود. به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهایی همچون افزایش روند مثبت در شاخص دما و که موجب کاهش رطوبت نسبی و به تبع کاهش بارش می‌شود را تجربه می‌نماید. بروک و همکاران (۱۹۵۳) بیان داشتند که یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد. ابوطالب و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند تاکنون بیش‌تر مطالعات در ایران و جهان در زمینه آشکارسازی تغییرات آب و هوا، معطوف به روندیابی تغییرات دما و بارش بوده است. بررسی تغییرات زمانی دما و متغیر بارش حاکی از آن است که این تغییرات در اکثر موارد معنی‌دار بوده و در قالب حرکات تصادفی، تغییرات رونددار، نوسانات فصلی و تغییرات دوره‌ای ظاهر می‌شوند. بر همین اساس به لحاظ تغییرات زمانی دما و بارش، ایران به ۵ پهنه مختلف قابل تقسیم می‌باشد (جاوری، ۲۰۰۳).

خلیلی و بذرافشان (۲۰۰۴) با ارزیابی چند نمایه خشکسالی در نواحی اقلیمی ایران، شاخص معیار بارندگی سالانه و شاخص بارش استاندارد شده را به‌عنوان بهترین شاخص‌های ارزیابی خشکسالی هواشناسی معرفی کردند. رضیئی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، به بررسی خشکسالی نواحی مرکزی ایران پرداختند. در این بررسی مشخص شد که شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نسبت به مقیاس زمانی کوتاه مدت برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب نیست و شاخص بارش استاندارد شده بلندمدت (سالانه) برای این مناطق

آب و تخصیص آن به جنبه‌های مختلف کاربری نقش مهمی داشته باشد. مطالعات صورت گرفته در خصوص خشکسالی بیش‌تر به روش‌های پیش‌بینی، گستره جغرافیایی و شدت خشکسالی معطوف بوده است. لذا مطالعه روند تغییرات خشکسالی، برای حداقل‌سازی ریسک، عدم قطعیت و خسارت‌های ناشی از آن ضرورت دارد. در این مطالعه، روند تغییرات سالانه و فصلی خشکسالی در سطح کشور بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق به لحاظ ماهیت، کمی و به لحاظ نوع تحقیق کاربردی است که به روش آماری و توصیفی انجام شد. از آنجایی که لازمه بررسی خشکسالی، به‌کارگرفتن داده‌های طولانی مدت تعداد بیش‌تری از ایستگاه‌ها است، لذا از داده‌های طولانی مدت بارندگی ۲۸ ایستگاه هواشناسی از ۱۹۸۱ تا سال ۲۰۱۰ مطابق جدول ۱، استفاده شد. تمامی ایستگاه‌ها براساس اقلیم نمای یونسکو در ۶ اقلیم دسته‌بندی شدند: خیلی مرطوب^۲، خنک^۳ گرم^۴ (PH-C-W) نیمه‌خشک سرد گرم (SA-K-W)، نیمه‌خشک خنک خیلی گرم (SA-C-VW)، خشک خنک گرم (A-C-W)، خشک معتدل گرم (A-M-W) و خشک خنک خیلی گرم (A-C-VW) (غفاری و همکاران، ۲۰۰۴، زارع‌ایبانه و همکاران، ۲۰۱۰). تمامی اطلاعات پالایش یافته و پردازش شده بارندگی با فرمت استاندارد از پایگاه اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. داده‌های هر ایستگاه به‌صورت سری زمانی سالانه ۱۲ ستونه، به تعداد ماه‌های سال و یک ستون، مقادیر سالانه، و برای بررسی فصلی ۴ ستون برای هر فصل در ردیف‌هایی به تعداد سال-های آماری مرتب شدند. بدین ترتیب جامعه آماری این تحقیق داده‌های سالانه بارندگی با حجم نمونه ۱۴۲۸۰ الگو بود که پس از مرتب کردن و آماده‌سازی، نسبت به درستی و صحت داده‌ها با آزمون توالی^۵، اطمینان حاصل شد. برای اطمینان از نرمال بودن سری داده‌های تشکیل شده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم-افزار SPSS استفاده شد. نتایج بررسی نرمال بودن سری داده‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

ایستگاه‌ها، روند معنی‌دار نزولی وقوع یافته است. در پژوهش دیگری توسط حسینی و همکاران (۲۰۲۰) دوره‌های تر و خشک ایران با استفاده از شاخص GPCC-DI بررسی گردید. نتایج گواه آن بود که روند شدت و گستره خشکسالی‌ها افزایشی است و شدیدترین خشکسالی‌ها در دوره‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه از سال ۲۰۰۰ به بعد اتفاق افتاده است. خیری و همکاران (۲۰۲۱) خشکسالی ایران را با استفاده از دو شاخص SPEI و SC-PDSI در یک دوره ۲۴ ساله بررسی نمودند. نتایج نشان داد در هر دو شاخص بیش‌ترین درصد سال‌ها تحت سیطره طبقه نرمال با تمرکز هسته‌های بیشینه نرمال در نیمه شرقی کشور و کمترین درصد سال‌ها در طبقه خشکسالی بسیار شدید در نیمه غربی، مرکز و جنوب کشور می‌باشد. مزیدی و همکاران (۲۰۲۱) خشکسالی و ترسالی ایستگاه‌های هواشناسی اصفهان را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) طی دوره‌ای ۲۹ ساله بررسی نمودند نتایج حاصل گواه بر آن بود که وضعیت نرمال رو به خشکسالی سهم بیش‌تری نسبت به سایر خشکسالی‌ها در منطقه دارد. رهنما و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از دو شاخص خشکسالی SPEI و MSPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه خشکسالی استان فارس را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که MSPIها از نوسانات سری زمانی SPI به‌ویژه در دوره‌های خشک و مرطوب طولانی مدت پیروی می‌کند.

خشکسالی از آثار تغییر اقلیم و خصوصا کاهش بارندگی‌ها نسبت به حد میانگین درازمدت است که بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر تاثیر دارد. در واقع خشکسالی به عنوان یک بحران ملی در نوع خود پدیده‌ای پیچیده و بغرنج است و به مثابه یک موقعیت بحران‌زا، مدیریت و مقابله موثر در راستای کاهش اثرات مربوطه نیازمند رویکردی جامع هم از بعد شناسایی زمینه‌ها و ریشه‌یابی علل آسیب‌پذیری و هم از بعد طرح و پیگیری ساز و کارهای سازنده در فرآیند مدیریت زیست‌محیطی این بحران در پرتو یک رویکرد جامع‌نگر در تمامی ابعاد است. به علت تغییرپذیری زیاد مکانی و زمانی خشکسالی در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی ایران تعیین جهت این تغییرات در بخش‌های مختلف می‌تواند در آینده در تصمیم‌گیری برای مدیریت

^۴ تابستانه تیپ

^۵ Run Test

^۲ رژیم رطوبتی

^۳ زمستانه تیپ

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰

Table 1. Characteristics of the studied stations during the statistical period of 1981-2010

ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)		ایستگاه	اقلیم	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)		ایستگاه	اقلیم
	طول	عرض				طول	عرض		
۸۷۷	۵۰°۵۱'	۳۴°۴۲'	قم	A-C-VW	۱۳۱۶	۴۵°۰۵'	۳۷°۳۲'	ارومیه	
۱۱۴۸	۴۸°۱۷'	۳۳°۲۶'	خرم‌آباد	SA-C-VW	۱۷۴۱	۴۸°۳۲'	۳۴°۵۲'	همدان	
۱۳۱۹	۴۷°۰۹'	۳۴°۲۱'	کرمانشاه		۲۰۴۹	۵۰°۵۱'	۳۲°۱۷'	شهرکرد	
۹۹۹	۵۹°۳۸'	۳۶°۱۶'	مشهد		۱۲۷۹	۵۰°۰۳'	۳۶°۱۵'	قزوین	
۱۳	۵۴°۱۶'	۳۶°۵۱'	گرگان		۱۱۱۲	۵۷°۱۶'	۳۷°۲۸'	بجنورد	
۱۴۸۴	۵۲°۳۶'	۲۹°۳۲'	شیراز		۱۳۳۲	۴۸°۱۷'	۳۸°۱۵'	اردبیل	
۱۱۹۱	۵۱°۱۹'	۳۵°۴۱'	تهران	۱۶۶۳	۴۸°۳۲'	۳۶°۴۱'	زنجان	SA-K-W	
۱۱۳۱	۵۳°۳۳'	۳۵°۳۵'	سمنان	۱۰	۵۶°۲۲'	۲۷°۱۳'	بندرعباس		
۱۷۵۴	۵۶°۵۸'	۳۰°۱۵'	کرمان	۲۲	۴۸°۴۰'	۳۱°۲۰'	اهواز		
۱۴۹۱	۵۹°۱۲'	۳۲°۵۲'	بیرجند	۲۰	۵۰°۵۰'	۲۸°۵۹'	بوشهر		
۱۳۷۰	۶۰°۵۳'	۲۹°۲۸'	زاهدان	-۲۱	۵۱°۳۰'	۳۶°۳۹'	نوشهر		
۱۵۵۰	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۷'	اصفهان	-۷	۴۹°۳۶'	۳۷°۱۵'	رشت	PH-C-W	

جدول ۲. نتایج بررسی نرمال بودن داده‌های مورد بررسی (۱۹۸۱-۲۰۱۰)

Table 2. The results of checking the normality of the investigated data (1981-2010)

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالانه	دوره
۰/۸۶۲	۰/۱۹۰	۰/۰۱۶	۰/۹۰۲	۰/۷۲۸	مقدار کولموگروف-اسمیرنوف

پیشنهاد نمودند که به شکل رابطه‌های ۱ و ۲ تعریف می‌شوند:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad \text{رابطه ۲}$$

مقدار A برای n مشاهده به شکل رابطه ۳ برآورد می‌گردد:

$$A = \ln(\bar{x}) \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳، n تعداد مشاهداتی است که در آن بارندگی روی داده است و \bar{X} نیز میانگین بارندگی بازه زمانی مورد نظر می‌باشد. با فرض پیروی مقدار بارندگی از توزیع گاما، گام بعدی در محاسبه‌ی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) انتقال احتمال تجمعی به‌دست آمده از توزیع گاما به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد. در واقع شاخص بارش استاندارد شده (SPI) عبارت است از متغیری از تابع

مقدار آماره کلموگروف اسمیرنوف تمامی داده‌های مورد بررسی در سه فصل بهار، پاییز و زمستان و دوره سالانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد که نشان دهنده نرمال بودن داده‌ها است. در فصل تابستان مقدار کمتر از ۰/۰۵ بود و برای نرمال‌سازی از تبدیل لگاریتم پایه طبیعی ($\ln(x)$) استفاده شد.

برای کمی نمودن رخدادهای خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. محاسبه‌ی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مستلزم برازش توزیع احتمالاتی مناسب به سری طولانی مدت داده‌های بارندگی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه در هر ایستگاه است. بسیاری از پژوهش‌گران از جمله مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) توزیع گاما را پیشنهاد دادند. برای برازش داده‌های بارندگی به توزیع گاما لازم است که α و β برآورد گردند. ادوارد و مک‌کی (۱۹۹۵) برای برآورد این دو پارامتر استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی را

برای $0.5 < H(x) \leq 1$

$$Z = \text{SPI} = +t \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad \text{رابطه ۷}$$

برای $0 < H(x) \leq 0.5$ و $0.5 < H(x) \leq 1$ مولفه t به ترتیب از رابطه‌های ۸ و ۹ به دست می‌آید:

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{H(x)^2}} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H(x))^2}} \quad \text{رابطه ۹}$$

مولفه‌های $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ نیز ضرایب ثابتی هستند که برابر $c_0=2.515517, c_1=0.802853, c_2=0.010328, d_1=1.432788, d_2=0.001308, d_3=0.001308$ می‌باشند.

بدین ترتیب مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برابر با نمره استاندارد در توزیع نرمال استاندارد می‌باشد که طبق جدول ۳ طبقه‌بندی می‌شود. در این طبقه‌بندی مقادیر بیش از ۱+ به‌عنوان ترسالی با شدت‌های متفاوت ترسالی، مقادیر بین 0.99 و -0.99 بیان‌گر وضعیت نرمال و مقادیر کمتر از ۱- معادل خشکسالی با شدت‌های مختلف خشکسالی است (ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷).

توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد. با استفاده از پارامترهای برآورد شده در رابطه‌های بالا می‌توان احتمال تجمعی بارندگی در مقیاس مورد نظر را برای هر ایستگاه محاسبه نمود. با فرض $t=x/\beta$ ، احتمال تجمعی به شکل تابع گامای ناقص در خواهد آمد و به شکل رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\tau(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad \text{رابطه ۴}$$

از آنجایی که تابع گاما برای $x=0$ قابل تعریف نمی‌باشد و داده‌های بارندگی همواره دربرگیرنده تعداد زیادی مشاهده با بارندگی صفر می‌باشند، احتمال تجمعی بارندگی به شکل رابطه ۵ تبدیل می‌گردد:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه q برابر است با احتمال مقادیر بارندگی صفر. سرانجام $H(x)$ با استفاده از رابطه ۶ و ۷ به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک انتقال داده می‌شود که نتیجه به دست آمده مقدار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شناخته می‌شود:

برای $0 < H(x) \leq 0.5$:

$$Z = \text{SPI} = (t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \quad \text{رابطه ۶}$$

جدول ۳. طبقه‌بندی مختلف خشکسالی در شاخص بارش استاندارد شده (SPI) (ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷)

Table 3. Different classification of drought in Standardized Precipitation Index (SPI) (Edward and McKee, 1997)

مقدار SPI	طبقات خشکسالی
۲ یا بیش‌تر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید
-۲ یا کم‌تر	خشکسالی بسیار شدید

دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب‌تر هستند (احمدی و رادمنش، ۲۰۱۴). روش‌های پارامتری برمبنای فرضیه نرمال بودن توزیع داده‌ها استوار است در حالی که برای روش‌های ناپارامتری این فرض ضروری نبوده و نسبت به مقادیر حدی حساسیت کم‌تری دارند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). آزمون من‌کنندال یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌ها است. در سال‌های

۲-۱- آزمون ناپارامتری تعیین روند

در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه بررسی روند تغییرات متغیرهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی انجام شده است. در این راستا، روش‌های ناپارامتری برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند. شاید دلیل اصلی این است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا

آماره \square با توزیع نرمال و میانگین صفر ($\square=0$) براساس تعداد داده‌ها از رابطه زیر تقریب زده می‌شود:

$$U_c = \begin{cases} \frac{\text{sgn} + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{sgn} < 0 \\ 0 & \text{sgn} = 0 \\ \frac{\text{sgn} - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{sgn} > 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\text{and } \text{Var}(\text{sgn}) = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) \sum_{p=1}^q t_p (t_p - 1) \binom{2t_p + 5}{2} \quad n > 10$$

$$\text{Var}(\text{sgn}) = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) \sum_{p=1}^q t_p (t_p - 1) \binom{2t_p + 5}{2} \quad n < 10$$

q معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t_p نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. بخش دوم عبارت داخل کروشه در رابطه ۴ عامل تصحیح پراش است که در صورت وجود داده‌های تکراری دارای مقدار است (قهрман و قره‌خانی، ۱۳۸۹). مقادیر مثبت U_c ، موید روند صعودی سری زمانی، مقادیر منفی، روند نزولی و مقادیر صفر به معنای عدم وجود روند در سری زمانی داده‌ها است. در تحلیل مکانی خشکسالی در علم زمین‌آمار از معادله ۱۳، استفاده شد. دقت نتایج حاصل از معادله ۱۳، به نحوه برآورد فاکتور وزنی وابسته است.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده‌ی متغیر x ، مقدار $Z(x_i)$ نمونه‌برداری شده متغیر x ، w_i وزن نقاط نمونه‌برداری شده شامل وزن بیشتر برای نقاط نزدیک‌تر و وزن کم‌تر برای نقاط دورتر، i شماره نقاط نمونه‌برداری و n تعداد کل نقاط نمونه‌برداری است. به منظور بررسی توزیع مکانی خشکسالی، از روش عکس فاصله^۲ (IDW) اقدام به درون‌یابی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در سطح کشور در قالب نرم‌افزار ArcGIS 10.3 شد. در روش IDW، مطابق رابطه ۱۴، وزن نقاط نمونه‌برداری، به ازای توان‌های ۲، ۳ و ۴ محاسبه و با اعمال در رابطه ۱۳، مقادیر هر یک از پارامترهای عوامل خشکسالی محاسبه شد. در این روش فرض بر آن است که نقاط نزدیک به نقطه برآورد به دلیل تشابه بیشتر از وزن بیشتری برخوردارند.

$$w_i = d_i^m \sum_{i=1}^n d_i^{-m} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

در آن d_i ، فاصله اقلیدوسی آمین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، m توان وزن‌دهی فاصله و n تعداد نقاط

اخیر پژوهشگران زیادی از آزمون ناپارامتری من‌کندال برای بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده نموده‌اند. در این پژوهش از آزمون ناپارامتری من‌کندال استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای داده‌هایی که از توزیع نرمال تبعیت نداشتند از تبدیل لگاریتم پایه طبیعی ($\text{Ln}(x)$) استفاده شد. بدین ترتیب اجرای آزمون روند بر روی داده‌های دارای توزیع نرمال انجام شد.

آزمون من‌کندال یکی از متداول‌ترین آزمون‌های ناپارامتری است که به‌طور گسترده در بررسی وجود یا عدم وجود روند افزایشی یا کاهش‌ی در سری داده‌ها استفاده می‌شود (پال و ال‌تابا، ۲۰۰۹). این آزمون ابتدا در سال ۱۹۳۸ توسط کندال با معرفی آماره \square جهت اندازه‌گیری رابطه بین دو متغیر ارائه شد. سپس من در سال ۱۹۴۵ با لحاظ متغیر زمان در یکی از دو متغیر مدنظر کندال، آن را توسعه داد. آماره \square اندازه ناپارامتری از شدت پیوند متغیرهای مورد بررسی با زمان است که مشابه همبستگی پیرسون در محدوده $[-1, +1]$ است (داسیلوا، ۲۰۰۴؛ کاپوانی و عساکره، ۲۰۰۵). بیان ریاضی آماره \square براساس محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات سری‌های X_i و X_k است.

$$\tau = \frac{2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i)}{n(n-1)} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در آن n تعداد دنباله‌ها یا مشاهدات، sgn تابع علامت^۱ که نشانه همه مقادیر محتمل داده‌ها و X_k و X_i سری داده‌ها مشاهداتی در زمان‌های k و i مشروط به $i < k$ است. در آزمون من‌کندال فرض صفر (H_0)، یا فرض مانایی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک (H_1)، یا نامانایی موید وجود روند یکنواخت در امتداد زمان می‌باشد. اگر سری زمانی مشاهدات $n, \dots, 2, 1, t$ ، معادل x_t باشد در این صورت هر مقدار $t-n, t-2, \dots, t-1$ با مقدارهای بعدی آن یعنی $t+n, t+2, \dots, t+1, x_k$ در قالب تابع علامت sgn قابل مقایسه است.

$$\text{sgn}(x_k - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_k > x_i \\ 0 & \text{if } x_k = x_i \\ -1 & \text{if } x_k < x_i \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

² Inverse Distance Weight

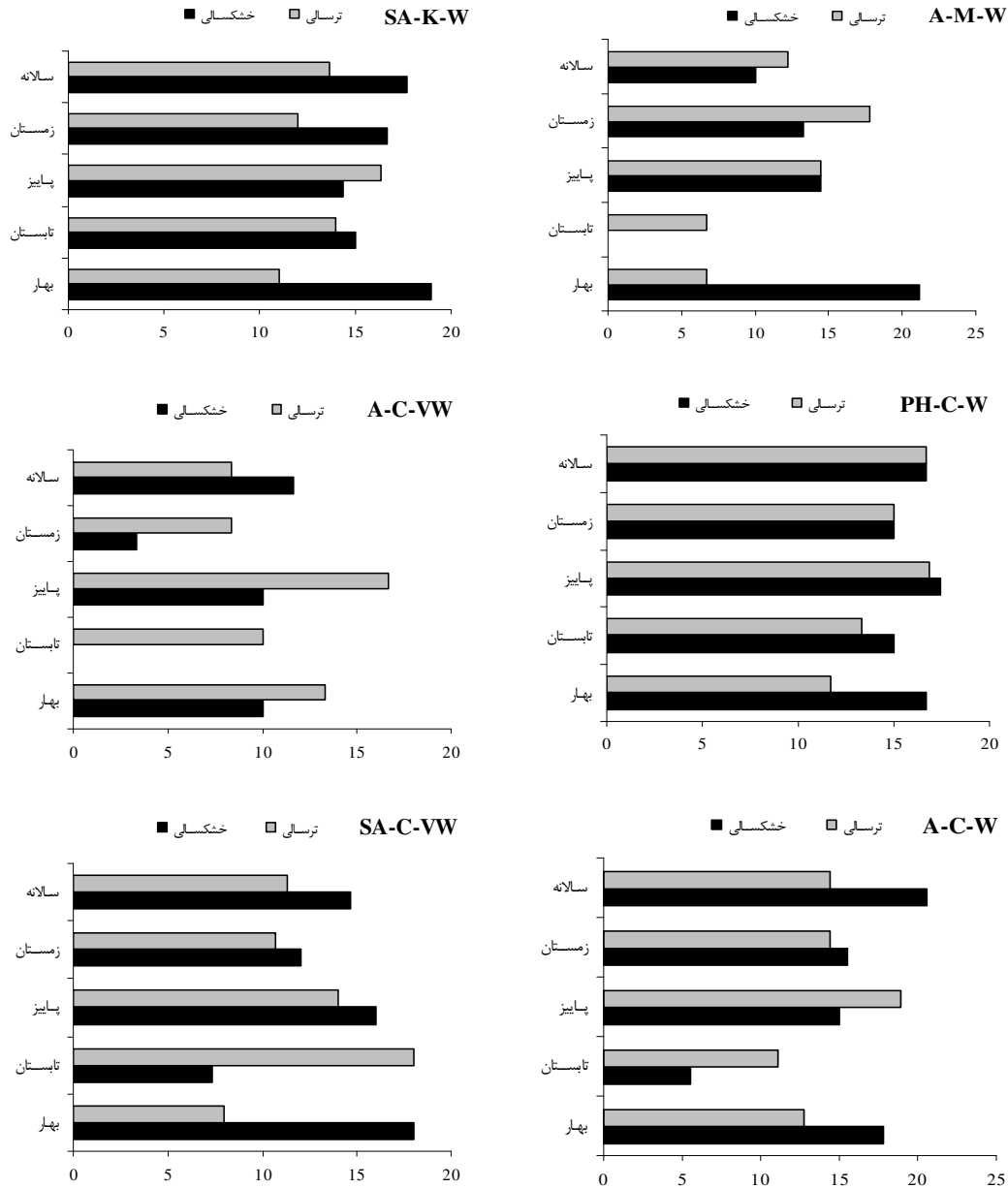
¹ Function Sign

نشان داده شده است. در ترسیم این شکل، مقدار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ایستگاه‌های مورد مطالعه در اقلیم مشابه (جدول ۱) با استفاده از دو محدوده ترسالی (۱) $(SPI \geq 1)$ و خشکسالی $(SPI - 1) \leq$ لحاظ شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، درصد سال‌های وقوع خشکسالی و ترسالی هر یک از اقلیم‌ها به صورت میانگین فصلی و سالانه مورد سنجش قرار گرفته است.

مجاور است. کاربرد روش IDW در برآورد توزیع مکانی متغیرهای هیدرولوژی و هواشناسی در مطالعات توکلی (۱۳۹۰)، نظری‌فر و همکاران (۱۳۸۶) گزارش شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با لحاظ محدوده توصیفی جدول ۲، به‌صورت گرافیکی در شکل ۱



شکل ۱. درصد سال‌های خشک و تر هر یک از اقلیم‌های مورد مطالعه به صورت فصلی و سالانه

Fig. 1. The percentage of dry and wet years of each of the studied climates, seasonally and annually

علیجانی (۲۰۰۵) در بیرجند به خشکسالی زمستانه اشاره شده که همسو با نتایج شکل ۱ می‌باشند. در مجموع، مناطق مختلف کشور، استعداد متفاوتی نسبت به خشکسالی دارند. از آنجا که قسمت عمده بارندگی در گستره ایران توسط سامانه‌های مدیترانه‌ای تولید می‌شود که از غرب به شرق و در بستر بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند (رضیعی و همکاران، ۲۰۰۵)، بنابراین تراکم ترسالی‌ها در این نواحی منطقی به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، مناطق شمالی، شمال‌غربی و غربی کشور که وضعیت بارندگی بهتر و منظم‌تری نسبت به سایر مناطق کشور دارند، خشکسالی‌های شدید را کمتر تجربه کرده‌اند. نتایج بررسی روند سری زمانی متغیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ تنظیم شد. در این جدول، مقادیر روند سالانه و فصلی حاصل از روش ناپارامتری برای ۲۸ ایستگاه قابل مشاهده است. این جدول، نتایج اعمال آزمون من‌کنندال بر سری‌های زمانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ایستگاه‌های منتخب برای سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۴ روند شاخص بارش استاندارد شده (SPI) سالانه در همه ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه‌های بجنورد، بوشهر، قم، تهران و اصفهان کاهش است. به عبارت دیگر، در ۸۲ درصد از ایستگاه‌ها، مقدار خشکسالی طی دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. افزایش خشکسالی با پیش‌بینی پو و اولریچ (۲۰۰۱) مبنی بر افزایش خشکسالی جهانی و افزایش تغییرات در عرض‌های میانه شمالی به علت کاهش پوشش برف هم‌خوانی دارد. از مجموع ۲۳ ایستگاه دارای روند کاهش، ۱۷ ایستگاه در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. به عبارت دیگر ۲۵ درصد از ایستگاه‌های کشور، با روند افزایش معنی‌دار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مواجه بوده‌اند. این نتیجه همسو با گزارش ارائه شده توسط دهقان و همکاران، (۲۰۰۹) می‌باشد. آنان با بررسی روند تغییرات فراسنجه‌های آب و هوایی کشور دریافتند روند فراسنجه تبخیر-تعرق در ۲۴ درصد و فراسنجه دمای هوا در ۲۲ درصد از ایستگاه‌های کشور دارای روند مثبت معنی‌دار می‌باشد. از آنجا که وقوع خشکسالی می‌تواند همسو با افزایش تبخیر-تعرق و دمای هوا باشد، لذا نتایج جدول ۳ منطقی بنظر می‌رسد. شدیدترین روند کاهش شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به ایستگاه سنج

بر اساس نتایج شکل ۱، بیش‌ترین درصد وقوع خشکسالی در مقیاس سالانه مربوط به اقلیم خشک خنک گرم (A-C-W) با میانگین ۲۰/۵۵ درصد می‌باشد که شامل ایستگاه‌های تهران، سمنان، کرمان، بیرجند، زاهدان و اصفهان بود. در این بین، بیش‌ترین درصد سال‌های خشک به ایستگاه زاهدان به میزان ۴۶/۶۷ درصد تعلق داشت. در مطالعه زارع‌ایبانه و همکاران (۲۰۱۳) به رخداد خشکسالی‌های با شدت و مدت بیش‌تر در استان سیستان و بلوچستان اشاره شد. در مقابل بیش‌ترین وقوع ترسالی سالانه در اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم (PH-C-W) قابل مشاهده است که برابر ۱۶/۶۶ درصد می‌باشد. نکته قابل توجه در شکل ۱، آن است که در کلیه اقلیم‌ها بجز اقلیم خشک معتدل گرم (A-M-W)، درصد وقوع خشکسالی سالانه به مراتب بیش از ترسالی می‌باشد. لیکن تنها در اقلیم A-M-W با ترکیب ایستگاه‌های اهواز، بندرعباس و بوشهر تعداد سال‌های تر بیش از سال‌های خشک می‌باشد. در نتایج خسروی و همکاران (۲۰۱۲) نیز به وقوع خشکسالی‌های نرمال در مناطقی با اقلیم خشک معتدل گرم نرمال اشاره شده است. مقایسه درصد سال‌های خشک و تر در فصل بهار نشان می‌دهد که تنها در اقلیم A-C-VW که شامل دو ایستگاه یزد و قم می‌باشند، درصد سال‌های تر بیش از سال‌های خشک می‌باشد. در سایر اقلیم‌ها نتیجه معکوس قابل مشاهده است. در فصل تابستان، دو اقلیم خیلی مرطوب خنک گرم (PH-C-W) و نیمه‌خشک سرد گرم (SA-K-W) که در ناحیه معتدل و مرطوب قرار گرفته‌اند، به دلیل فرآیند گردش اتمسفری با کمبود بارش روبرو شده و دوره خشکسالی را بیش از ترسالی تجربه نموده‌اند. لازم به ذکر است در دو اقلیم خشک خنک خیلی گرم (A-C-VW) و خشک معتدل گرم (A-M-W) به دلیل نبود بارندگی در فصل تابستان، مقدار خشکسالی لحاظ نگردید. بررسی درصد خشکسالی و ترسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز بیان‌گر آن است که در دو اقلیم PH-C-W و SA-C-VW، درصد سال‌های خشک بیش از سال‌های تر می‌باشند. لیکن در سایر اقلیم‌ها درصد سال‌های خشک نسبت به سال‌های تر کاهش یافته است. نتایج بررسی شاخص خشکسالی در فصل زمستان نشان می‌دهد که به جز دو اقلیم A-M-W و AC-V-W، وقوع خشکسالی بیش از ترسالی است. در نتایج موسوی بایگی و اشرف (۲۰۱۱) در خراسان و بنی‌واهب و

مشاهده نشد. برخی مطالعات حاکی از عدم روند معنی‌دار بارش در کشور طی سال‌های گذشته است، لیکن می‌توان دلیل این امر را تاثیر عوامل غیربارشی بر خشکسالی کشور دانست که در مطالعه زارع‌ابیان و همکاران (۲۰۱۱) و نصری و مدرس (۲۰۰۸) بدان اشاره شده است. به نظر می‌رسد وجود سطوح تبخیری بزرگ خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه خزر و سطوح دیگر نظیر مخازن چاه‌نیمه در منطقه زاهدان، دریاچه پریشان در استان فارس و دریاچه سدهای مخزنی بزرگ در ناحیه جنوبی، شمالی و مرکزی کشور نقش مهمی در افزایش رطوبت جو و به تبع افزایش بارش‌ها دارد. در فصل زمستان نیز ۲۵ ایستگاه دارای روند کاهشی می‌باشد. از این بین، ۱۸ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار می‌باشند. مشابه مقیاس سالانه، شدیدترین روند کاهش شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به ایستگاه سنندج تعلق دارد. روند منفی معنی‌دار شاخص خشکی در ایستگاه‌های سنندج در مطالعه تیموری و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی روند شاخص خشکی کشور گزارش شده است که همسو با نتایج این مطالعه می‌باشد.

تعلق دارد که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. از آنجا که کاهش مقدار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بیان‌گر افزایش شدت خشکسالی می‌باشد، بنابراین می‌توان اظهار داشت، افزایش شدت خشکسالی در ایستگاه سنندج نسبت به سایر ایستگاه‌ها در مقیاس سالانه مشهود می‌باشد که همسو با نتایج فرج‌زاده و احمدیان (۲۰۱۴) است. روند خشکسالی در فصل بهار نشان می‌دهد که نیمی از ایستگاه‌های کشور (۱۴ ایستگاه معادل ۵۰ درصد) روند کاهشی می‌باشند. لیکن روند کاهش خشکسالی فصل بهار تنها در ایستگاه بندرعباس معنی‌دار می‌باشد. در فصل تابستان روند کاهش معنی‌دار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در ۶ ایستگاه قابل مشاهده شد. لیکن، تنها در ایستگاه گلستان روند معنی‌دار کاهشی است. مساعدی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی پایش خشکسالی در استان گلستان دریافتند که هیچ منطقه‌ای از این استان از بروز خشکسالی در امان نبوده و به دفعات خشکسالی مشاهده شده است. در ۷۴ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در فصل پاییز کاهشی بود. لیکن روند معنی‌داری در هیچ یک از ایستگاه‌ها

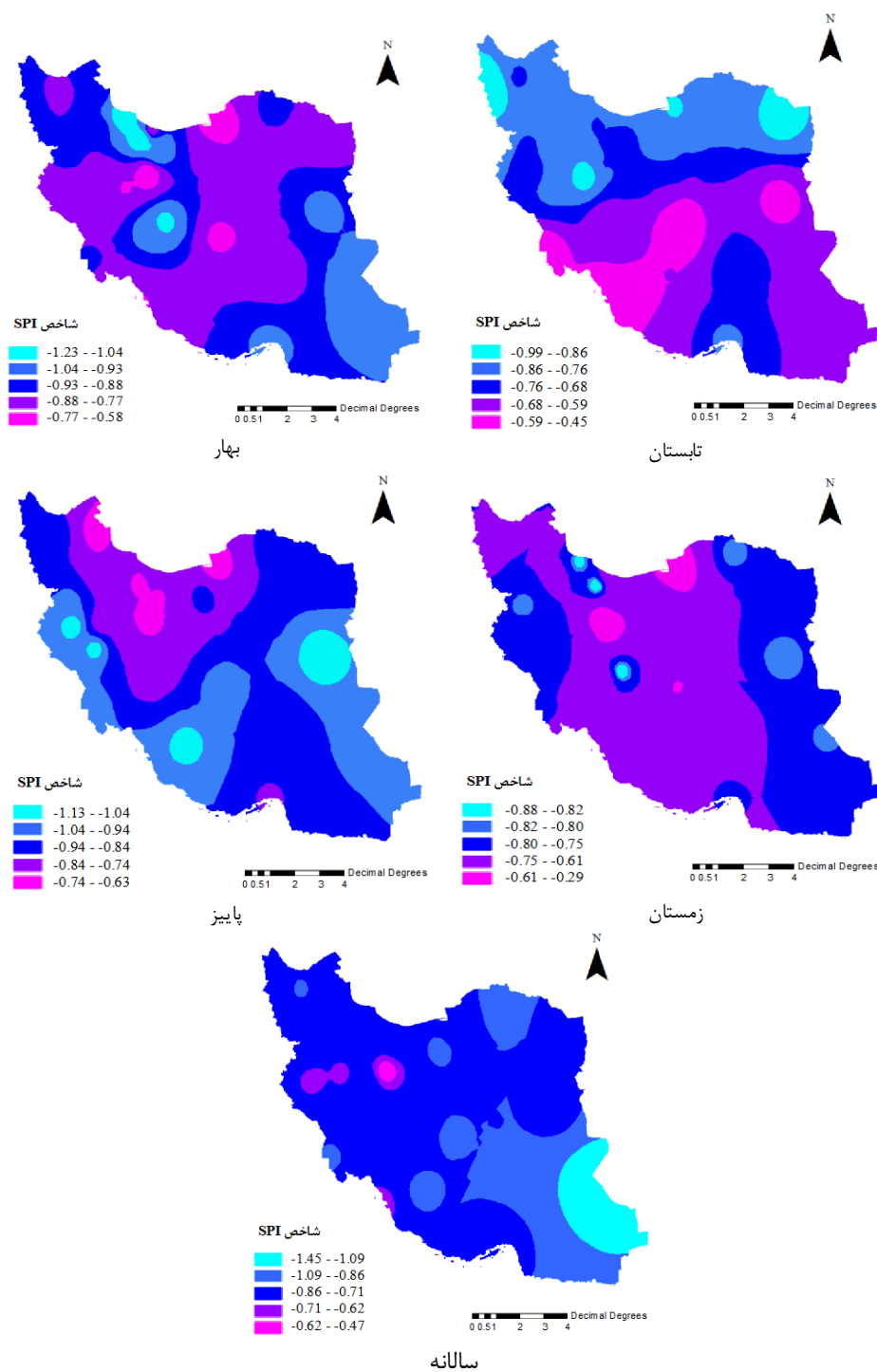
جدول ۴. نتایج آزمون من‌کنندال شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4. Mann-Kendall standardized precipitation index (SPI) test results of the studied stations

ایستگاه	Z آماره				ایستگاه	Z آماره			
	سالیانه	بهار	تابستان	پاییز		سالیانه	بهار	تابستان	پاییز
ایرانشهر	-۱/۶۴	-۰/۲۱	۰/۱۱	-۱/۶۲	ایرانشهر	-۱/۶۴	-۰/۲۱	۰/۱۱	-۱/۶۲
اصفهان	-۱/۱۸	-۰/۴۸	۱/۱۲	-۱/۵۷	اصفهان	-۱/۱۸	-۰/۴۸	۱/۱۲	-۱/۵۷
تهران	-۲/۲۱	۰/۳۹	۱/۸۴*	-۰/۲۰	تهران	-۲/۲۱	۰/۳۹	۱/۸۴*	-۰/۲۰
شهرکرد	-۰/۰۷	-۰/۸۶	۰/۳۳	۰/۲۹	شهرکرد	-۰/۰۷	-۰/۸۶	۰/۳۳	۰/۲۹
قزوین	-۰/۹۶	۰/۷۵	۰/۲۰	-۱/۵۹	قزوین	-۰/۹۶	۰/۷۵	۰/۲۰	-۱/۵۹
بجنورد	۰/۵۰	۰/۸۲	-۰/۰۷	-۰/۲۹	بجنورد	۰/۵۰	۰/۸۲	-۰/۰۷	-۰/۲۹
سنندج	-۳/۷۸***	-۰/۹۳	۱/۹۴*	-۱/۵۳	سنندج	-۳/۷۸***	-۰/۹۳	۱/۹۴*	-۱/۵۳
زنجان	-۱/۲۸	۰/۰۷	۱/۹۶*	-۱/۰۰	زنجان	-۱/۲۸	۰/۰۷	۱/۹۶*	-۱/۰۰
بندرعباس	-۱/۷۵*	-۲/۴۹*	۰/۲۲	-۱/۲۱	بندرعباس	-۱/۷۵*	-۲/۴۹*	۰/۲۲	-۱/۲۱
اهواز	-۱/۷۸*	۰/۷۹	--	-۱/۱۴	اهواز	-۱/۷۸*	۰/۷۹	--	-۱/۱۴
بوشهر	۰/۱۸	-۰/۲۰	--	-۰/۵۴	بوشهر	۰/۱۸	-۰/۲۰	--	-۰/۵۴
نوشهر	-۰/۲۵	-۰/۱۸	-۰/۱۱	۰/۵۰	نوشهر	-۰/۲۵	-۰/۱۸	-۰/۱۱	۰/۵۰
گیلان	-۱/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۶۶	-۱/۱۱	گیلان	-۱/۲۱	-۰/۱۶	-۰/۶۶	-۱/۱۱

خشکسالی سالانه و فصلی پهنه‌بندی گردید. در ترسیم این شکل مقادیر منفی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مدنظر قرار گرفت. نتایج پهنه‌بندی در شکل ۲ آورده شد.

خشکسالی محاسبه شده با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در سطح کشور با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 با روش عکس فاصله در ۵ کلاس برای



شکل ۲. پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)
 Fig. 2. Zoning of annual and seasonal standardized precipitation index (SPI) in the studied stations (1981-2010)

بررسی خشکسالی استان‌های مختلف کشور، بیش‌ترین حساسیت به خشکسالی‌ها در جنوب شرق و شرق کشور گزارش شد. در فصل بهار نیز بخش شمالی از جمله ایستگاه گیلان دارای خشکسالی بیش‌تری است. این نتیجه با

همان‌گونه که از شکل ۲ استنباط می‌گردد، گستره خشکسالی سالانه در نیمه جنوب‌غربی کشور و منطقه زاهدان بیش‌تر بوده و سایر نقاط دارای مقدار متوسط می‌باشد. در مطالعه یزدانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز با

گرم با ۲۰/۵۵ درصد بیش‌ترین خشکسالی سالانه را تجربه کرده است. نتایج آزمون من‌کندال نیز بیان‌گر آن می‌باشد که روند افزایش خشکسالی در بررسی سالانه و فصل بهار، پاییز، زمستان معنی‌دار است. پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 نیز نشان از وجود خشکسالی در بررسی سالانه و فصل‌های بهار و پاییز دارد. همچنین در فصل‌های تابستان و زمستان خشکسالی کشور نرمال است. بررسی توزع مکانی نشان‌دهنده آن می‌باشد که گستره خشکسالی سالانه در نیمه جنوب‌غربی کشور و منطقه زاهدان بیش‌تر است و سایر نقاط دارای مقدار متوسط می‌باشد که لزوم مدیریت و برنامه‌ریزی جهت بحران خشکسالی در این مناطق را می‌رساند. با توجه به اینکه پدیده‌های طبیعی از جمله خشکسالی را می‌توان با برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب و به موقع کنترل نمود با شناخت مناطق مستعد خشکسالی می‌توان تدابیر موثری جهت پیش‌بینی و مدیریت بهینه منابع آب به عمل آورد.

References

- Abu-Taleb, A. A., Alawneh, A. J., & Smadi, M. M (2007) Statistical analysis of recent changes in relative humidity in Jordan. *American Journal of Environmental Sciences*, 3(2): 75-77. doi.org/10.3844/ajessp.2007.75.77.
- Ahmadi, F., & Radmanesh, F (2014) Trend analysis of monthly and annual mean temperature of the northern half of Iran over the last 50 years. *Water and Soil*, 28(4): 855-865. (in persian).
- Banivahab, A. R., & Alijani, A (2005) Studying droughts and forecasting precipitation and temperature in Birjand area. *Journal of Geographical research quarterly*, 37(52): 33-46. (in persian).
- Brooks, C. E. P., & Carruthers, N (1953) *Handbook of statistical methods in meteorology*. Handbook of statistical methods in meteorology. pp 412.
- Da Silva, V. D. P. R (2004) On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 58(4): 575-596.
- Dehghan, H., Arab, S. A., & Kaveh, F (2009) Time Trend of Climatic Parameters in Semi-Arid Regions of Iran. *Water engineering*, 2(4): 23-32. (in persian).
- Edwards, D. C., & McKee, T. B (1997) Characteristics of 20 th century drought in the United States at multiple time scales (Vol. 97, p. 155). Fort Collins: Colorado State University.
- Farajzadeh Asl, M (2012) Revealing the temporal and spatial changes of temperature and precipitation elements in Iran, *Moadres Quarterly of Humanities Planning and Space*

گزارش لشنی زند (۲۰۰۳) مبنی بر وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های واقع در مناطق نیمه مرطوب کشور و احتمال بازگشت آن‌ها، هم‌خوانی دارد. خشکسالی کل کشور در فصل تابستان نرمال می‌باشد. لیکن در نیمه جنوبی کشور به دلیل سامانه‌های موسمی هند، خشکسالی نسبت به شمال کشور کم‌تر است (خسروی و همکاران، ۲۰۱۳). نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) فصل پاییز نشان می‌دهد که مناطق سواحلی دریای خزر از خشکسالی کم‌تری نسبت به سایر نواحی برخوردارند. بررسی تغییرات مکانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در فصل زمستان نشان می‌دهد که غرب و نیمه شرقی کشور خشکسالی بیش‌تری نسبت به نواحی مرکزی کشور دارند. لیکن دامنه تغییرات شاخص خشکسالی بیان‌گر وقوع خشکسالی نرمال در سطح کشور است که در راستای گزارش یزدانی و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر نرمال بودن خشکسالی زمستانه کشور می‌باشد. در مجموع توزیع مکانی خشکسالی در سطح کشور ناهمگون بوده و تغییرات فصلی آن مشهود می‌باشد. فوق در راستای مطالعات زارع‌ایبانه و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر ناهمگونی زمانی و مکانی بارندگی‌های درازمدت ایران و بروز شدت‌های مختلف خشکسالی است. لذا باید انتظار تغییرات وسیع‌تر اقلیم را در اثر کوتاه شدن دوره بازگشت و تأثیرات شدید بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست داشت.

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل روند خشکسالی کشور، با توجه به کمبود بارندگی طی سال‌های گذشته (۲۰۱۰-۱۹۸۱) و لزوم مدیریت بهینه منابع آب، امری ضروری به نظر می‌رسد. این در حالی است که مطالعات اندکی در خصوص بررسی روند تغییرات خشکسالی در سطح کشور صورت گرفته است. در این مطالعه به بررسی خشکسالی‌ها در سطح کشور و روند تغییرات آن پرداخته شد. نتایج بیان‌گر تفاوت رفتاری شاخص خشکسالی در استان‌های مختلف کشور در بررسی فصلی و سالانه بود. روند شاخص بارش استاندارد شده (SPI) سالانه در همه ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه‌های بجنورد، بوشهر، قم، تهران و اصفهان کاهشی گزارش شد. با بررسی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مشخص شد که اغلب اقلیم‌های مورد مطالعه، دوره خشکسالی را تجربه کرده‌اند. از نظر وقوع خشکسالی نیز، اقلیم خشک خنک

- Geography and Environmental Sustainability, 2(4): 53-70. (in persian).
- Lashni Zand, M (2003) Examining the severity, continuity and frequency of climatic droughts, the third regional conference and the first national conference on climate change, Isfahan University, (10-10). (in persian).
- Mazidi, A., Omidvar, K., Malek Ahmadi, A., & Hoseini, S. S (2021) Untersuchung der Dürre und Nässe der Wetterstation Isfahan anhand des SPI-Index. Geograohy and human relationship. 4(1): 114-126.
- McKee, T. B., Nolan, J., & Doesken, J. K (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: Proc. 8 Conference. on applied Climatology, 17-22 January. American Meteorological Society, Massachusetts, 179-184.
- McKee, T. B., Nolan, J., & Doesken, J. K (1995) Drought monitoring with multiple timescales. 9th. Conference on Applied Climatology. 15-20 January, Boston, Massachusetts, 223-236.
- Mirmosavei, S., & Kareimeh, H (2013) Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images case: Kurdistan Province. Geography and Development, 11(31): 57-76. (in persian).
- Miryaghoubzadeh, M., khosravi, S. A., & Zabihi, M (2019) A Review of Drought Indices and their Performance. Journal of Water and Sustainable Development, 6(1): 103-112.
- Modarres, R., & Sarhadi, A (2009) Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D3). 1-9. doi.org/10.1029/2008JD010707.
- Mosaedi, A., Khalilzadeh, M., & Mohammadi, O. A (2008) Drought monitoring in Golestan province. Jurnal of Agricultural Sciences and natural resources, 15(2): 176-182. (in persian).
- Mousavi, B. M., & Ashrafi, B (2011) The study of synoptic patterns that caused autumn and winter droughts in Khorasan Razavi Province. Water and soil conservation journal, 18(4): 167-184. (in persian).
- Nasri, M., & Modares, R (2008) Dry spells trend analysis of Isfahan province. Journal of the Iranian Natural Resource, 61(3): 589-601. (in persian).
- Nazari Fard, M. H., Seifi, K., & Momeni, R (2007) Evaluation of geostatistical and Thiessen methods in estimating regional changes of potential evapotranspiration (case study: Hamedan province), 9th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction , Kerman, Birjand University, 1-8. (in persian).
- Pal, I., & Al-Tabbaa, A (2009) Trends in seasonal precipitation extremes–An indicator of ‘climate change’ in Kerala, India. Journal of Hydrology, 367(1-2): 62-69.
- Planning, Tarbiat Modares University, 16(4): 49-66 (in persian)
- Farajzadeh, M., & Ahmadian, K (2014) Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 3(4): 1-16.
- Ghaffari, A., VR Ghasemi, V. R., & De Pauw, E (2004) Agro-climatically zoning of Iran by UNESCO approach. Iranian Dryland Agronomy Journal, 4(1): 63-74. (in persian)
- Ghahraman, N., & Gharakhani, A (2010) Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4(1): 31-43. (in persian).
- Ghorbani, H., Vali, A. & Zarepour, H (2019) Analysis of the Climatological Drought Trend Variations using Mann-Kendall, Sen and Pettitt Tests in Esfahan Province, Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 6 (2): 129-146. (in persian).
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., & Vanyarkho, O. V (1999) Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American meteorological society, 80 (3): 429-438.
- Hosseini, A., Ghavidel, Y., Khorshiddoust, A. M. & Farajzadeh, M (2020) Spatio-temporal Analysis of Dry and Wet Periods in Iran by Using Global Precipitation Climatology Center - Drought Index (GPCC –DI), Theoretical and Applied Climatology, Published online 24 November 2020, 1-11.
- Javari, M (2003) Temperature and precipitation changes in Iran. Ph. D. thesis in Geography, University of Tehran. (in persian).
- Kaviani, M. R., & Asakereh, H (2005) Statistical study of annual precipitation trend in Isfahan. Research Bulletin Of Isfahan University (Humanities), 1: 143-162. (in persian).
- Khalili, A., & Bazrafshan, J (2004) A trend analysis of annual, seasonal and monthly precipitation over Iran during the last 116 years. Journal of Desert (Biaban), 9(1): 25-34. (in persian).
- Kheyri, R., Mojarrad, F., Masompson, J., & Farhadi, B (2021) Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC-PDSI. The Journal of Spatial Planning, 25(1): 143-174. doi: 20.1001.1.16059689.1400.25.1.6.1.
- Khosravi, M., Bostani, M., Azizoghli, M. A., & Goodarzifar, M (2013) Comparison of the Sistine and Baluchistan Province Precipitation Zones Using Satellite Data and Ground Stations. Journal of Climate Research, 1392(13): 97-110. (in persian).
- Khosravi, M., Movaqqari, A., & Mansouri Daneshvar, M. R (2012) Evaluating the PNI, RAI, SIP AND SPI indices in mapping drought intensity of Iran: Comparing the interpolation method and digital elevation model (DEM).

- southern half of Iran. *Journal of Water Soil*, 21(2): 81-92. (in persian).
- Zareabayneh, H., Bayat Varkeshi, M., Sabziparvar, A. A., Marofi, S., & Ghasemi, A (2011) Evaluation of different reference evapotranspiration methods and their zonings in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 42(4): 95-109. (in persian).
- Zhao, A., Zhang, A., Cao, Sen., Liu, X., Liu, J., & Cheng, D (2018) Responses of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. *CATENA*, 163: 165-171.
- Puhe, J., & Ulrich, B (2012) Global climate change and human impacts on forest ecosystems: postglacial development, present situation and future trends in Central Europe (Vol. 143). Springer Science & Business Media. 592 pp. doi:10.1007/978-3-642-59531-8.
- Rahnama, S., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M., & Mehran, A (2023) Investigating the drought trend using the modified SPEI and MSPI indices in different time scales (case study: Fars province). *Climate Change Research*, 4(13): 89-104. doi: 10.30488/ccr.2023.393409.1125.
- Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P., & Saghafian, B (2005) Annual rainfall trend analysis in arid and semi-arid regions of central and eastern Iran. *Water and Wastewater*, 54: 73-81. (in persian).
- Savari, M., & Eskandari damaneh, H (2019) The Role of Participatory Management in Empowering Local Communities in Coping with Droughts in Southern Kerman Province. *The Journal of Spatial Planning*, 23(2): 123-171. (in persian).
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. V., & Barbosa, P (2015) The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3: 509-524. doi:10.1016/j.ejrh.2015.01.001.
- Tavakoli, E (2011) Estimating Reference Evaptranspiration in Data Lack Conditions (Case Study: North Khorasan Province). Master thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in persian).
- Teymoori, M., Abdulahi Maivan, M., Nejadhasan, B., & Garey, P (2011) study of drought index trend in Iran, Water scarcity and drought research center in agriculture and natural resources- May 2011, Karaj. (in persian).
- Wang, W., Van Gelder, P. H. A. J. M., & Vrijling, J. K (2005) Trend and stationarity analysis for streamflow processes of rivers in western Europe in the 20th century. In *Proceedings: IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance Rethymno, Greece* (Vol. 810). London: IWA. 8-10.
- Yazdani, V., Zare, A. H., & Shadmani, M (2011) Drought Frequency Analysis and Zoning of Iran Using the Standard Precipitation Index and the Geographical Information System. *Journal of water engineering*, 4(8): 31-43. (in persian).
- Zare Abianeh, H., Sabziparvar, A., Marofi, S., Ghiyami, F., Mirmasoud, S. S., & Kazemi, A (2013) Analyzing and monitoring the meteorological droughts in the region of Sistan and Balouchestan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1): 49-61. (in persian).
- Zareabayneh, H., Bayat Varkeshi, M., Dinpashoh, Y (2011) Study of aridity index trends in

Investigating the temporal and spatial distribution of drought in Iran based on the standardized precipitation index

R. Fasihi¹, A. Taheri Tizro^{2*} and M. Bayatvarkeshi³

1- Ph. D. student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Assist. Prof., Dept., of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

* ttizro@basu.ac.ir

Received: 2023.8.20 Accepted: 2023.10.10

Abstract

Drought is result of climate change and specific principle decrease relation to longterm mean margin. for local & time drought variation in disparate weather climate in Iran, nomination vector this variation can in water management and that designation to control variation aspects, these have mater role. In this study the drought variation trend using non-parametric Mann-Kendall in 28 synoptic stations from 1981 to 2010 were studied. Also local dispense survey with earth statistics in ArcGIS9.3 software accomplish. The results of trending drought using Standardized Precipitation Index (SPI) represent the different behavior of drought index in different climates. The results of SPI showed that the majority of climates surveyed have experienced annual drought period. The occurrence of droughts, dry climate with cool winter and hot summer of the highest annual drought was observed. As this climate drought years mean occurrence percent 20.55 percent was observed. Mann-Kendall test results Standardized Precipitation Index (SPI) also Represents that in the 3 seasons, spring, fall, winter and annual scale significant trend increase. The most trend drought significant increase was observed in Sanandaj. Surveyed local dispense observed in annual scale The most drought in south-east of country was increase was observed. In seasons scale, drought local dispense was heterogeneous. But in winter season drought local dispense explanatory was normal drought pitch in country.

Keywords: SPI Index, Iran, Mann-Kendall, ArcGIS

Introduction

Drought is one of the meteorological phenomena and cannot be separated from the climatic conditions of countries located in subtropical latitudes such as Iran. Among the adverse consequences of drought, there is an imbalance in the amount of water, a decrease in the intensity of water flow, a decrease in the depth of surface water, and it is the most serious problem for agriculture. In cases where the duration of its occurrence is long, the damages caused by it are large and can be seen in various sectors such as agriculture, environmental, economic and social. Therefore, knowing the intensity, duration and place covered by the drought phenomenon reduces the damage caused by it. Among the conventional methods of investigating the drought phenomenon is the use of meteorological indicators that are calculated using the data of meteorological stations. Precipitation and its fluctuations in dry and wet periods are the main parameter in defining drought and its related indicators. The

simultaneous investigation of temporal and spatial changes of drought provides users with comprehensive and complete information to understand this phenomenon. The US National Drought Mitigation Center uses the standardized precipitation index to monitor drought and soil moisture storage conditions. Hayes et al. (1999) believe that the users of standardized precipitation index (SPI) are increasing in the world. In Turkey and most countries of the African continent, this index has been used in drought monitoring, also the Colorado Climate Center, the Western Regional Climate Center and the National Drought Mitigation Center in the United States use this index.

Materials & Methods

In terms of nature, this research is quantitative and in terms of the type of applied research, which was carried out by statistical and descriptive method. Since it is necessary to study drought, using long-term data from more stations, therefore, long-term rainfall data from

28 meteorological stations from 1981 to 2010 were used. All the stations were classified into 6 climates based on the UNESCO climate map: very humid cool warm (PH-C-W), semi-arid cold hot (SA-K-W), semi-arid cool very hot (SA-C-VW), dry cool. Warm (A-C-W), moderately warm dry (A-M-W) and very warm cool dry (A-C-VW).

All refined and processed rainfall information in standard format was obtained from the information base of the National Meteorological Organization. The data of each station were arranged as annual time series of 12 columns, with the number of months of the year and one column, annual values, and for seasonal analysis, 4 columns for each season were arranged in rows with the number of statistical years. Thus, the statistical population of this research was the annual rainfall data with a sample size of 14,280 samples, after sorting and preparation, the correctness of the data was confirmed by the sequence test. To ensure the normality of the formed data series, the Kolmogorov-Smirnov test was used in the SPSS environment. Standardized Precipitation Index (SPI) was used to quantify drought events. Mann-Kendall test is one of the most widely used non-parametric methods for data trend analysis. In recent years, many researchers have used the non-parametric Mann-Kendall test to investigate the changes in climatic and hydrological parameters. In this research, the non-parametric Mann-Kendall test was used. The normality of the data was determined by the Kolmogorov-Smirnov test in the MINITAB software, and for the data that did not follow the normal distribution, the logarithm transformation of the natural base ($\ln(x)$) was used. Thus, the trend test was performed on the data with normal distribution. To investigate the geographic spread of drought, the Standardized Precipitation Index (SPI) was interpolated at the country level using the image distance method (IDW) in Arc GIS 10.3 software.

Discussion and Results

The highest percentage of drought occurrence on an annual scale is related to hot dry climate (A-C-W) with an average of 20.55%, which included the stations of Tehran, Semnan, Kerman, Birjand, Zahedan and Isfahan. Meanwhile, the highest percentage of dry years belonged to Zahedan station at the rate of 46.67%. On the other hand, it can be seen that

the highest annual occurrence of drought is in very humid cool warm climate (PH-C-W) which is equal to 16.66%. The trend of annual standardized precipitation index (SPI) is decreasing in all stations except Bojnourd, Booshehr, Qom, Tehran and Isfahan stations. The results of the drought index in winter show that except for two climates A-M-W and A-C-V-W, the occurrence of drought is more than drought. In general, different susceptibility to drought. The northern, northwestern and western regions of the country, which have more regular rainfall, have suffered less from severe droughts than other regions.

In other words, in 82% of Stations, the amount of drought has increased during the studied period. 25% of the country's stations have faced a significant increase in the standardized precipitation index (SPI). The increase in the severity of drought in Sanandaj station is evident compared to other stations on an annual scale. The trend of drought in spring shows that half of the country's stations (14 stations, equal to 50%) are decreasing. But the spring drought reduction trend is significant only in Bandar Abbas station. In summer, a significant decrease in the standardized precipitation index (SPI) was observed in 6 stations. However, only Golestan station has a significant decreasing trend. In winter, 25 stations have a decreasing trend. Among these, 18% of the stations have a significant trend. Similar to the annual scale, the most intense trend of decreasing standardized precipitation index (SPI) belongs to Sanandaj station.

The extent of annual drought is more in the south-western part of the country and Zahedan region, and other places have an average amount. In spring, the northern part, including Gilan station, has more drought. Drought in the whole country is normal in summer. The zoning map of the standardized precipitation index (SPI) of autumn shows that the coastal areas of the Caspian Sea have less drought than other areas. Investigating the spatial changes of the standardized precipitation index (SPI) in winter shows that the western and eastern half of the country have more drought than the central regions of the country. In general, the spatial distribution of drought in the country is heterogeneous, and its seasonal changes are evident. Therefore, we should expect wider climate changes due to the shortening of the

return period and severe effects on human activities and the environment.

Conclusions

In this study, droughts in the country and the process of its changes were investigated. The results showed the difference in behavior of drought index in different provinces of the country in annual and seasonal survey. By examining the Standardized Precipitation Index (SPI), it was found that most of the studied climates have experienced a period of

drought. In terms of the occurrence of drought, the hot dry climate experienced the highest annual drought with 20.55%. The results of the Mann-Kendall test also indicated that the trend of increasing drought in spring, autumn, winter and annual scale was significant. The zoning done using Arc GIS 10.3 software also showed the presence of drought in the spring and autumn seasons in the annual survey, and the country's drought was normal in the summer and winter seasons.