

بررسی تأثیر خودواکاوی روند دمایی در مدیریت مخاطره خشکسالی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

آسیه عسگری دستنائی

گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

امیر گندمکار*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

مرتضی خداقلی

تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۶/۱۶ - تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۷/۲۹)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر ۲۶ الگوی پیوند از دور با میانگین دمای ماهانه به‌صورت فصلی و سالانه برای سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ و ارتباط آن با مخاطره خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. برای این کار از انواع الگوی پیوند از دور و چهار ایستگاه سینوپتیک بروجن، شهرکرد، لردگان و کوهرنگ به‌همراه شاخص خشکسالی SPEI در استان چهارمحال و بختیاری خودواکاوی شد. داده‌ها با روش‌های آماری مختلف از جمله آمار توصیفی، همبستگی و آزمون من-کندال بررسی شدند. شدیدترین خشکسالی‌ها مربوط به ناحیه چهار (کوهرنگ) است. در بین الگوهای پیوند از دور، الگوی استخر گرم نیمکره غربی بیشترین تأثیر را بر رخداد خشکسالی ناحیه‌های جنوب غرب استان دارد. ارتباط این شاخص با خشکسالی در ناحیه مذکور مثبت است. ارتباط خشکسالی در ناحیه بروجن در بیشتر الگوهای پیوند از دور از جمله شاخص اقیانوس اطلس و الگوی نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس شمالی در فصل پاییز معنی‌دار است. خشکسالی نیمه جنوبی (لردگان) در فصل گرم سال (بهار و تابستان) ارتباط معنی‌داری با الگوی حاره‌ای اطلس جنوبی، شاخص حاره‌ای اقیانوس اطلس شمالی و اطلس شرقی نشان می‌دهد. خشکسالی‌های شمال غرب (شهرکرد) ارتباط معنی‌داری با شاخص چندمتغیره انسو و اطلس شمالی و آرام شرقی نشان می‌دهند. بررسی شاخص SPEI ایستگاه‌های لردگان و قسمت‌های مرکزی فارس نشان داد که رخداد‌های خشکسالی در مناطق مرکزی و شرق استان چهارمحال و بختیاری از فراوانی و شدت بیشتری با الگوهای حاره‌ای نیمکره‌ای شمالی و انسو برخوردار است. براساس شاخص خشکسالی، ۷ درصد از مساحت استان چهارمحال و بختیاری در محدوده طبیعی است و ۲۳ درصد آن دچار خشکسالی خفیف، ۲۵ درصد دچار خشکسالی متوسط، ۳۰ درصد دچار خشکسالی شدید و ۱۵ درصد دچار خشکسالی بسیار شدید است.

واژه‌های کلیدی: استان چهارمحال و بختیاری، خشکسالی، خودواکاوی، روند دمایی، مدیریت مخاطره.

مقدمه

تغییرات سیستم‌های آب‌وهوایی از چالش‌برانگیزترین پدیده‌های محیطی به شمار می‌رود. این پدیده ویژگی‌های محیطی مانند بارش، خشکسالی، جابه‌جا شدن زباله‌های پرارتفاع و ... را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ممکن است موجب به هم ریختگی نظم آنها شود [۲۴]. خشکسالی نوعی پدیده اقلیمی تکرارشونده در سیستم اقلیمی است که اثرهای آن فقط به نواحی خشک و نیمه خشک محدود نمی‌شود [۲۰]. خشکسالی ناشی از کاهش غیرمنتظره بارش در مدتی معین است [۱۱] و ویژگی‌های آن به مدت استمرار، شدت و وسعت منطقه تحت تأثیر بستگی دارد [۱۲]. خشکسالی در صورت مدیریت نشدن، به مخاطره و بی‌نظمی‌های محیطی تبدیل می‌شود [۱۴]. درجات مختلف خشکسالی در سطوح مختلفی به وقوع می‌پیوندند [۷]. مخاطره خشکسالی عمده‌ترین مشکل مناطق خشک و نیمه خشک است و تنوع بسیار زیاد در زمان و مکان وقوع خشکسالی، تشخیص دقیق آن براساس مشاهدات مکانی را سخت و پیچیده می‌کند [۲۳]. شاخص‌های خشکسالی تنها برای یک محل معتبرند و قدرت تفکیک مکانی لازم را برای ارزیابی خشکسالی ندارند. با توجه به پیچیدگی و سازوکار اقلیم به خصوص در تغییرات سال به سال و دهه‌ای، تحقیق درباره آشکارسازی فرایندهای اثرگذار بر این تغییرات و نوسان‌ها ضروری است. الگوها و شاخص‌های آب‌وهوایی دور از منطقه از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر نوسان‌های آب‌وهوایی به صورت سالانه است [۹]. پیش‌بینی عناصر اقلیمی و ارتباط سنجی آنها با دیگر عناصر و عوامل اقلیمی، فرصت بیشتر و بهتری را برای برنامه‌ریزی و معرفی راهکارهای مناسب در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران قرار می‌دهد [۴]. امروزه بحران کمبود آب در جهان نظر بسیاری از اندیشمندان را به خود جلب کرده است. خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که بر اثر نبود بارش شکل می‌گیرد. برخلاف خشکی که ویژگی بارز یک منطقه است، خشکسالی ممکن است در هر نوع آب‌وهوایی رخ دهد. درک علل و ماهیت تغییرات اقلیمی از مهم‌ترین اهداف جمع‌آوری داده‌های هوا، اقلیم و پایش پدیده‌های اقلیمی است؛ بنابراین نوسان‌های اقلیمی ناشی از الگوهای پیوند از دور اهمیت زیادی دارد [۹]. پیوند از دور، ارتباط همزمان بین نوسان‌های عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و دمای سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر است [۱۲]. از این‌رو درک اینکه چگونه نوسان‌ها در حالت‌های مختلف اقیانوسی و جوی با تنوع بر مناطق مختلف اثر می‌گذارد بسیار حائز اهمیت است. فرایندهای اقلیمی جهانی، منطقه‌ای و محلی نشان می‌دهند که شرایط دما و بارندگی در مناطق مختلف جهان مانند آسیا، اروپا، قاره آمریکا و آفریقا تحت تأثیر این حالت‌ها هستند [۲۵]. تحقیقات

گسترده‌ای در زمینه الگوی پیوند از دور و خشکسالی در سطح ایران و جهان انجام گرفته است. امینی و همکاران (۱۳۹۶)، تأثیر نوسان‌های ماهانه دمای آب دریای مدیترانه بر نوسان ماهانه بارش‌های شمال غرب ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری (در سطح اطمینان ۱۱ تا ۱۵ درصد) بین گرم بودن تمام دریا و افزایش بارش ماه آوریل در منطقه شمال غرب مشاهده شد [۲]. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۹) روند تغییرات دمای سواحل جنوبی ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور را با استفاده از داده‌های حداقل و حداکثر دمایی طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که الگوهای نوسان‌های مدیترانه بر روند دمایی تأثیر بسیار زیادی دارد [۱]. لی و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر الگوی پیوند از دور بر بارندگی جنوب غربی چین را با استفاده از دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۷۹ بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که ارتباط گردش جوی جنوب آسیا با آتلانتیک شمالی برای ناهنجاری‌های باران مثبت است [۲۲]. برانسون و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی تأثیر الگوهای پیوند از دور بر مدت زمان یخبندان رودخانه‌های یخی در کانادا در طی دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۵۰ پرداختند. نتایج نشان داد که قوی‌ترین پیوندها بین الگوهای ارتباطی حاره‌ای اطلس شمالی، اطلس شرقی و قطبی ارتباطات ال‌نینیو با اقیانوس آرام و مدت زمان یخ در غرب کانادا است [۱۵]. چن و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی تأثیر الگوهای پیوند از دور بر دمای بهاره در شمال مرکزی اروپا و شمال شرقی آسیا در طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۵۷ پرداختند. نتایج نشان داد که نوسان‌های قطب شمال و الگوی آتلانتیک شمالی-اوراسیا بیشترین تأثیر را بر دمای بهاره در این دو منطقه دارد. استان چهارمحال و بختیاری از مناطقی است که در سال‌های متمادی دچار تغییرات آب و هوایی و نوسان‌های دمایی شده است [۱۶]. خورشیددوست و همکاران (۱۳۸۹)، تأثیر انسو را بر بارش‌های فرین و خشکسالی‌های مناطق حاره‌ای بررسی کردند. یافته‌های آنها بیانگر ارتباط بسیار زیاد بارش و خشکسالی با پدیده انسو است [۴]. استیج و همکاران (۲۰۱۵)، نیز به مقایسه توزیع فراوانی شاخص خشکسالی SPEI در اروپا پرداختند و توزیع‌های دوپارامتری گاما و مقادیر حد عمومی را برای شاخص SPEI مناسب تشخیص دادند [۲۶]. هدف این پژوهش، بررسی رابطه تأثیرات ۲۶ الگوی پیوند از دور با میانگین دمای ماهانه به صورت فصلی و سالانه و ارتباط آن با مدیریت مخاطره خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI است. نوآوری تحقیق این است که با توجه به اینکه مقادیر شاخص خشکسالی تنها نمایانگر شدت خشکسالی با توجه به مقادیر بارش است، در این پژوهش سعی شده گذشته از وضعیت شدت خشکسالی، مدیریت مخاطره خشکسالی از نظر الگوهای پیوند از دور در استان چهارمحال و بختیاری نیز بررسی شود.

روش تحقیق

در این پژوهش از میانگین داده‌های دمای ماهیانه ایستگاه‌های بروجن، لردگان، شهرکرد و کوهرنگ استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های الگوهای پیوند از دور نیز از سایت ناسا تهیه شد. در این پژوهش از ۲۶ الگوی پیوند از دور استفاده شد. نتایج به صورت فصلی و برای سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شده و برای تعیین ارتباط بین دما و خشکسالی از شاخص SPEI استفاده شد. برای ارزیابی روند تغییر در میانگین دما، ابتدا کیفیت آماری و همگن بودن داده‌های ایستگاه‌های بروجن، لردگان، شهرکرد و کوهرنگ با استفاده از آزمون ران ارزیابی و ارتباط خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPEI و پیروی سری داده‌ها از الگوی همگن تأیید شد. پس از آن ناهنجاری و بهنجاری داده‌های میانگین دما با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. براساس نتایج تجزیه و تحلیل‌های آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، اگر p کوچک‌تر از $0/05$ بود، به معنای نرمال نبودن توزیع است. برای بررسی معنی‌دار بودن روند تغییرات از آزمون من-کندال استفاده شد و در فاصله اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی شد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دامنه زمانی
بروجن	۵۱° ۳۰' ۰۰"	۳۱° ۹۵' ۰۰"	۲۱۹۷	از زمان تأسیس تا سال ۲۰۱۹
لردگان	۵۰° ۸۱' ۶۶"	۳۱° ۵۱' ۶۶"	۱۵۸۰	از زمان تأسیس تا سال ۲۰۱۹
شهرکرد	۵۰° ۸۵' ۰۰"	۳۲° ۲۸' ۳۳"	۲۰۴۹	از زمان تأسیس تا سال ۲۰۱۹
کوهرنگ	۵۲° ۱۱' ۶۶"	۳۲° ۴۳' ۳۳"	۲۲۸۵	از زمان تأسیس تا سال ۲۰۱۹

ضریب همبستگی پیرسون که به آن همبستگی گشتاوری پیرسون نیز گفته می‌شود، با علامت r همواره با کنارنوشت آن که معرف متغیرهایی است که ضریب همبستگی آنها محاسبه می‌شود (برای نمونه r_{XY} که همبستگی بین متغیرهای X و Y را نشان می‌دهد) نمایش داده می‌شود. این ضریب به منظور بررسی رابطه بین دو متغیر پیوسته (فاصله‌ای یا نسبی) استفاده می‌شود و میزان تغییرپذیری مشترک بین دو متغیر یا اشتراک آنها را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین $+1$ و -1 در نوسان است. ضریب همبستگی پیرسون از طریق رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$r_{pearson} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

آزمون ناپارامتری من-کندال توسط من (۱۹۴۵) ارائه شد و توسط کندال (۱۹۷۵) برپایهٔ رتبهٔ داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این آزمون در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد که در بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی بارها و در موارد مختلف استفاده شده است. از این آزمون برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود [۱۲]. این آزمون با استفاده از رابطهٔ ۲ صورت می‌گیرد:

$$T = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (2)$$

T آمارهٔ من-کندال، N تعداد کل سال‌های آماری و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف in است که بعد از آن قرار می‌گیرند.

شاخص خشکسالی SPEI مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و نیز ترسالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی است [۵]. مقادیر مثبت بیانگر بارش بیشتر از مقدار متوسط و مقادیر منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط بارش است. شاخص خشکسالی SPEI در بررسی تأثیرات کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراه‌ها کارایی مناسبی دارد [۱۲]. به‌صورت خلاصه معادلهٔ محاسباتی این شاخص از طریق رابطهٔ ۳ ارائه می‌شود:

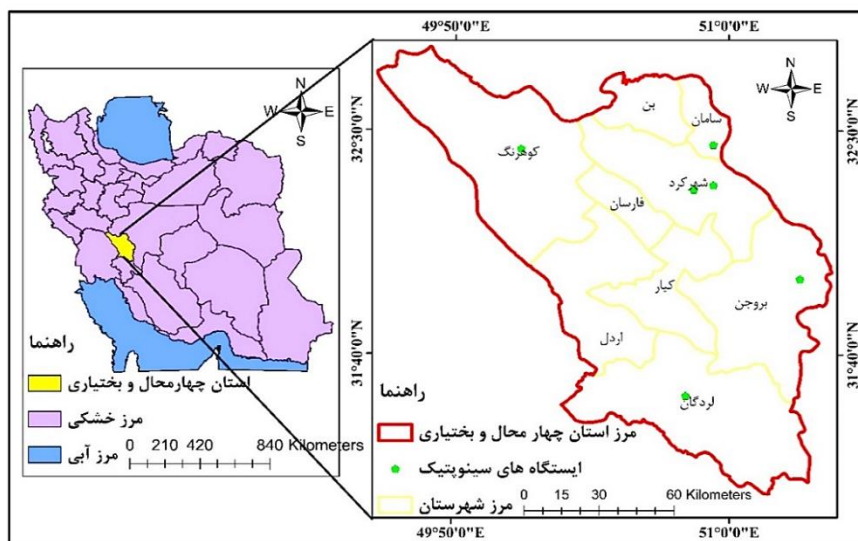
$$SPEI = \frac{X_{ij} X_{im}}{\sigma} \quad (3)$$

که در آن σ انحراف معیار، X_{ij} بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی i با z تعداد مشاهده و X_{im} میانگین درازمدت بارندگی است.

محدودهٔ پژوهش

استان چهارمحال و بختیاری در نیمهٔ جنوبی کشور بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵ ثانیهٔ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه و ۴۹ ثانیهٔ شرقی واقع شده است. قسمت عمدهٔ استان چهارمحال و

بختیاری در شرق توده کوهستانی بلند زردکوه بختیاری قرار گرفته و مرزهای آن از شمال به استان‌های لرستان و اصفهان، از شرق به استان اصفهان، از جنوب به استان کهگیلویه و بویراحمد و از غرب به استان خوزستان محدود شده است. مساحت استان چهارمحال و بختیاری ب اساس نقشه پایه طرح آمایش ۱۶۴۱۰ کیلومتر مربع است. این استان با میانگین ارتفاعی ۲۱۳۵ متر از سطح دریاهای آزاد به بام ایران نیز معروف است. زردکوه بختیاری با بیش از ۴۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد، بلندترین قله این منطقه است. همچنین شش ایستگاه سینوپتیک در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارند که عبارت‌اند از دو ایستگاه در شهرکرد، یک ایستگاه در کوهرنگ، یک ایستگاه در لردگان، یک ایستگاه در بروجن و یک ایستگاه نیز در سامان (شکل ۱) [۱۳].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

بحث و یافته‌ها

بررسی آمار توصیفی نشان می‌دهد که بیشترین میانگین دمایی در ایستگاه‌های بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و لردگان در ماه جولای به ترتیب ۲۲/۷۴، ۲۳/۳۸، ۲۲/۲۱ و ۲۷/۸۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین دمایی در ایستگاه‌های بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و لردگان در ماه ژانویه به ترتیب ۰/۹۹، -۱/۲۰، -۳/۸۵ و ۳/۷۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین سالانه در ایستگاه‌های بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و لردگان به ترتیب ۱۱/۲۹، ۱۱/۴۸، ۹/۹۰ و ۱۵/۷۹

درجه سانتی‌گراد است. بررسی چولگی و کشیدگی میانگین دمای ایستگاه‌های بروجن، شهرکرد، کوهرنگ و لردگان نشان می‌دهد که مقادیر چولگی و کشیدگی در همه ایستگاه‌ها بین ۲- و ۲+ است، بنابراین داده‌ها به صورت نرمال است. با توجه به جدول ۲ و بررسی رابطه بین میانگین دمای ایستگاه‌ها، رابطه معناداری بین پارامترها وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ و لردگان با بروجن به ترتیب ۰/۵۴۴، ۰/۹۵۷، ۰/۹۴۹ و بین لردگان و کوهرنگ ۰/۹۳۷ است. همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین ایستگاه‌های کوهرنگ و لردگان با ایستگاه شهرکرد به ترتیب ۰/۴۸۴ و ۰/۴۸۳ است. نتایج نشان داد که در استان چهارمحال و بختیاری، لانه‌گزینی نواحی خشکسالی براساس الگوهای پیوند از راه دور و ارتباط آن با شاخص خشکسالی، تداعی‌کننده مسیر عبور و گذر از سامانه‌های بارش‌زاست. با اینکه مناطقی در این استان قرار گرفته‌اند که به لحاظ مقدار بارش دریافتی یکسان نیستند، وارد نشدن الگوها و سامانه‌های از دور به منزله نبود رخداد بارش و خشکسالی در کل این استان چه در مناطق کم‌بارش و چه در مناطق پر بارش خواهد بود.

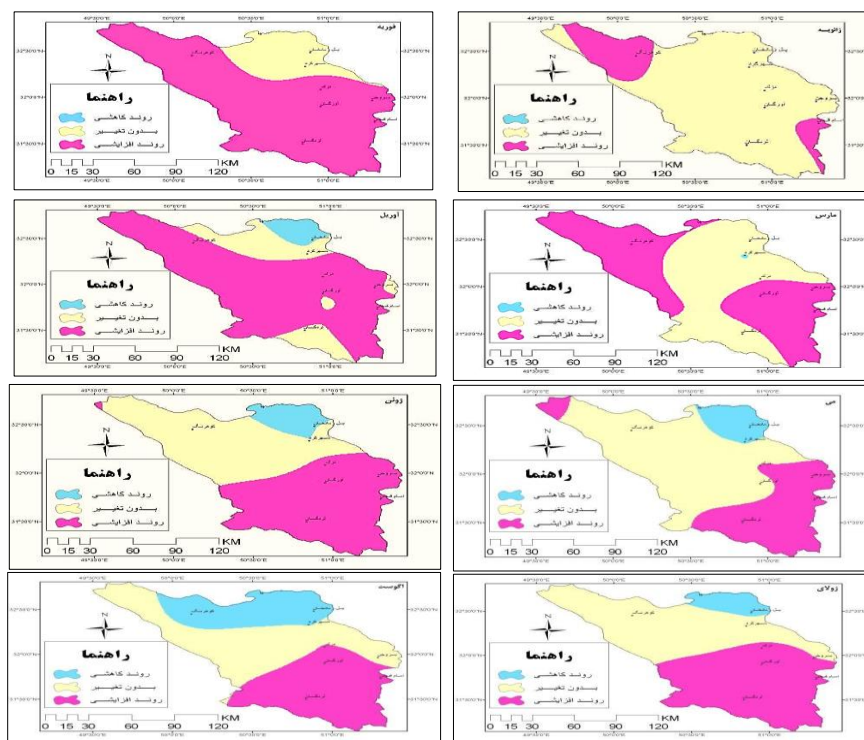
جدول ۲. مقادیر همبستگی میانگین دمای ایستگاه‌های همدیدی با یکدیگر در طول دوره آماری

ایستگاه‌ها	بروجن	شهرکرد	کوهرنگ	لردگان
بروجن	۱	۰/۵۴۴**	۰/۹۵۷**	۰/۹۴۹**
شهرکرد	۰/۵۴۴**	۱	۰/۴۸۴*	۰/۴۸۳*
کوهرنگ	۰/۹۵۷**	۰/۴۸۴*	۱	۰/۹۳۷**
لردگان	۰/۹۴۹**	۰/۴۸۳*	۰/۹۳۷**	۱
مقادیر sig				
ایستگاه‌ها	بروجن	شهرکرد	کوهرنگ	لردگان
بروجن	۰	۰/۰۰۶	۰	۰
شهرکرد	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
کوهرنگ	۰	۰/۰۱۷	۰	۰
لردگان	۰	۰/۱۷	۰	۰

نتایج مبتنی بر ضریب همبستگی بین الگوهای پیوند از دور و میانگین دما در ایستگاه‌ها در فصل بهار نشان می‌دهد که ایستگاه بروجن با الگوی اطلس جنوبی در سطح خطای ۵ درصد و با الگوهای اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای در سطح خطای ۱ درصد دارای همبستگی معنی‌دار است. ایستگاه شهرکرد با الگوی اطلس شمالی در سطح خطای ۵ درصد دارای همبستگی معنی‌دار است و در سطح خطای ۱ درصد با هیچ‌کدام از الگوهای پیوند از دور همبستگی معنی‌داری ندارد.

ایستگاه کوه‌رنگ با الگوهای اطلس جنوبی در سطح خطای ۵ درصد و با الگوهای اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای در سطح خطای ۱ درصد دارای همبستگی معنی‌دار است. ایستگاه لردگان با الگوی اطلس شمالی در سطح خطای ۵ درصد و با الگوهای اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای در سطح خطای ۱ درصد دارای همبستگی معنی‌دار است. در بین الگوهای پیوند از دور، الگوی اطلس جنوبی به صورت مشترک در همه ایستگاه‌ها دارای همبستگی معنی‌دار و الگوهای اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای به جز ایستگاه شهرکرد با ایستگاه‌های دیگر دارای همبستگی معنی‌دار است. الگوهای قطبی با برخی از ایستگاه‌ها رابطه مثبت و با برخی رابطه منفی دارند. نتایج ضریب همبستگی بین الگوهای پیوند از دور و میانگین دما در ایستگاه‌ها در فصل تابستان نیز نشان می‌دهد که ایستگاه بروجن در سطح خطای ۵ درصد با الگوی اقیانوس آرام و در سطح خطای ۱ درصد با الگوهای اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای همبستگی معنی‌دار دارد. ایستگاه شهرکرد با الگوی اقیانوس اطلس در سطح خطای ۵ درصد همبستگی معنی‌دار دارد و در سطح خطای ۱ درصد با هیچ‌کدام از الگوهای پیوند از دور دارای همبستگی معنی‌دار نیست. ایستگاه شهرکرد با هیچ‌کدام از الگوها در سطح خطای ۵ و ۱ درصد دارای همبستگی معنی‌دار است. ایستگاه کوه‌رنگ در سطح خطای ۵ درصد با الگوی اقیانوس اطلس شمالی و در سطح خطای ۱ درصد با الگوهای اقیانوس شمالی همبستگی معنی‌دار دارد. ایستگاه لردگان در سطح خطای ۱ درصد با الگوهای اقیانوس اطلس شمالی دارای همبستگی معنی‌دار است و با هیچ‌کدام از الگوهای پیوند از دور مورد بررسی دارای همبستگی معنی‌دار نیست. ایستگاه لردگان در سطح خطای ۱ درصد با الگوهای اقیانوس اطلس شمالی و اقیانوس آرام دارای همبستگی معنی‌دار است و با هیچ‌کدام از الگوهای پیوند از دور مورد بررسی دارای همبستگی معنی‌دار نیست. الگوهای قطبی، اقیانوس اطلس شمالی و اقیانوسی و منطقه‌ای با همه ایستگاه‌ها دارای رابطه مثبت و الگوهای اطلس جنوبی و اطلس شرقی با همه ایستگاه‌ها دارای رابطه منفی است. دیگر الگوها با برخی از ایستگاه‌ها رابطه مثبت و با برخی دیگر رابطه منفی دارند. در مشاهدات فصل بهار، مشخص شد که براساس سناریوهای اقلیمی تغییراتی در تعداد وقایع و حتی طبقات خشکسالی نسبت به دوره پایه مشاهده نمی‌شود، اما در دوره میانی وقایع خشکسالی و طبقات خشکسالی تغییر کرده و به طبقات شدت خشکسالی متوسط و شدید نسبت به الگوهای پیوند از دور اقیانوس اطلس شمالی و قطبی برای همه ایستگاه‌ها تمایل یافته است.

نوسان‌های خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان چهارمحال و بختیاری با نواحی دیگر متفاوت است. ارتباط خشکسالی‌های این ناحیه با الگوی فاز منفی، سبب خشکسالی در این ناحیه شده است. پیوند انسو، الگوی آرام شرقی، قطبی مثبت بوده و فاز مثبت آن سبب ترسالی و فاز منفی سبب خشکسالی در این ناحیه شده است.



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی معناداری روند نوسان حداقل دما

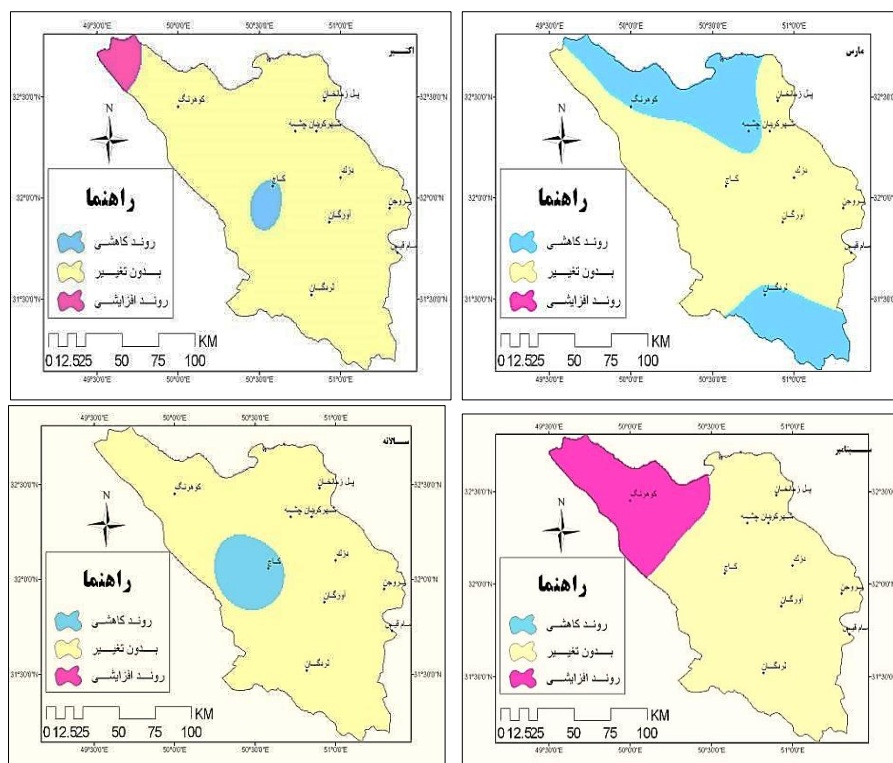
تحلیل الگوهای پیوند از دور با استفاده از آزمون من - کندال

نتایج آزمون من - کندال میانگین دما در ایستگاه بروجن نشان می‌دهد که مقدار p-value در ماه‌های ژانویه، مارس، جون، سالانه، زمستان، بهار، تابستان کمتر از $0/05$ است؛ بنابراین نمی‌توان فرض صفر را رد کرد و دارای روند نیست. در مقابل برای ماه‌های فوریه، آوریل، می، جولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر و پاییز به دلیل اینکه مقدار p-value بزرگ‌تر از $0/05$ است، فرض صفر را می‌توان رد کرد و دارای روند است. در ایستگاه شهرکرد نتایج نشان می‌دهد که مقدار p-value در ماه‌های آگوست و پاییز کمتر از $0/05$ است؛ بنابراین نمی‌توان فرض صفر را رد کرد و دارای روند نیست. در مقابل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، جون، جولای، سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر، سالانه، زمستان، بهار و تابستان، مقدار p-value بزرگ‌تر از $0/05$ است؛ بنابراین فرض صفر را می‌توان رد کرد و دارای روند است. نتایج آزمون من - کندال و شیب سین در ایستگاه کوهرنگ نشان می‌دهد که مقدار p-value در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس،

جولای، سالانه، زمستان و تابستان کمتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین نمی‌توان فرض صفر را رد کرد و دارای روند نیست (شکل ۳). در مقابل در ماه‌های آوریل، می، جون، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر و پاییز به دلیل اینکه مقدار p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، فرض صفر را می‌توان رد کرد و دارای روند است. در ایستگاه لردگان نتایج نشان می‌دهد که مقدار p-value در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، جون، سپتامبر، سالانه، پاییز، زمستان، بهار و تابستان کمتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین نمی‌توان فرض صفر را رد کرد و دارای روند نیست. در مقابل برای ماه‌های آوریل، جولای، آگوست، اکتبر، نوامبر و دسامبر که مقدار p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است فرض صفر را می‌توان رد کرد. با توجه به آزمون من-کندال و ارتباط آن با الگوی پیوند از دور، روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری نیز در طی دوره پژوهش با نوسان همراه بوده است. شدیدترین ترسالی این ناحیه با الگوی پیوند از دور اقیانوس اطلس شمالی بوده است. در مرتبه اول بیشتر بارش دریافتی در این استان در فصل پاییز درخور توجه است و سامانه بارشی این ناحیه به صورت ادغامی سودان و مدیترانه است یا به صورت انفرادی هر کدام از الگوهای پیوند از راه دور منجر به بارش می‌شود و اثر خشکسالی را در این ناحیه کم‌رنگ‌تر می‌کند (جدول ۳).

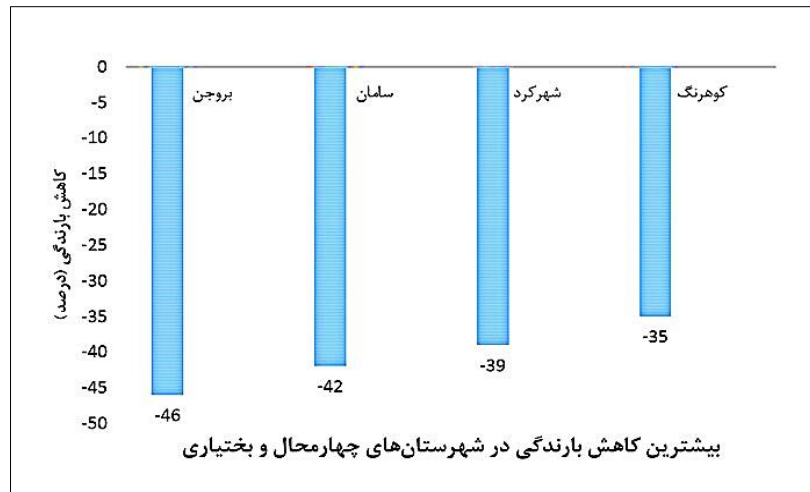
جدول ۳. تحلیل آزمون من - کندال در دمای میانگین ایستگاه‌ها

	p-value				Kendall's tau			
ژانویه	لردگان	کوهنگ	شهرکرد	بروجن	لردگان	کوهنگ	شهرکرد	بروجن
۰/۳۸۴	۰/۰۴۰	۰/۰۰۷	۰/۳۴۴	۰/۰۰۹	۰/۳۰۴	۰/۳۹۹	۰/۱۷۴	۰/۳۸۴
فوریه	۰/۲۷۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	۰/۸۲۳	۰/۰۶۳	۰/۳۴۱	۰/۰۳۶	۰/۲۷۵
مارس	۰/۴۹۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۱۴۳	۰/۰۰۱	۰/۳۴۸	۰/۲۱۷	۰/۴۹۳
آوریل	۰/۱۸۸	۰/۴۲۷	۰/۰۹۷	۰/۴۴۲	۰/۲۰۶	۰/۱۲۰	-۰/۱۱۶	۰/۱۸۸
می	۰/۲۹۰	۰/۰۴۵	۰/۳۸۵	۰/۳۳۳	۰/۰۵۰	۰/۲۹۷	-۰/۱۴۵	۰/۲۹۰
جون	۰/۴۶۴	۰/۰۰۶	۰/۰۶۳	۰/۹۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴۰۶	۰/۰۲۲	۰/۴۶۴
جولای	۰/۲۴۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۵۶۸	۰/۰۹۷	۰/۵۵۵	-۰/۰۸۷	۰/۲۴۶
آگوست	۰/۰۲۹	۰/۱۴۳	۰/۵۰۳	۰/۰۰۳	۰/۸۶۲	۰/۲۱۷	-۰/۱۰۱	-۰/۴۳۵
سپتامبر	۰/۲۹۰	۰/۰۰۱	۰/۱۳۰	۰/۰۷۰	۰/۰۵۰	۰/۵۰۰	-۰/۲۶۸	۰/۲۹۰
اکتبر	۰/۲۹۰	۰/۰۹۷	۰/۱۸۹	۰/۴۴۲	۰/۰۵۰	۰/۲۴۶	-۰/۱۱۶	۰/۲۹۰
نوامبر	۰/۱۱۶	۰/۶۷۳	-۰/۶۰۲	۰/۰۸۷	۰/۴۴۲	۰/۰۶۵	-۰/۰۸۰	-۰/۲۵۴
دسامبر	۰/۱۶۷	۰/۱۴۳	۰/۱۰۷	۰/۸۲۳	۰/۲۶۴	۰/۲۱۷	۰/۰۳۶	۰/۱۶۷
سالانه	۰/۴۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۹۸۰	۰/۰۰۳	۰/۵۱۴	-۰/۰۰۷	۰/۴۴۲
پاییز	۰/۲۷۵	۰/۰۰۹	۰/۵۶۸	۰/۰۴۵	۰/۰۶۳	۰/۳۸۴	-۰/۲۹۷	۰/۲۷۵
زمستان	۰/۳۹۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۰/۲۰۶	۰/۰۰۷	۰/۳۴۱	۰/۱۸۸	۰/۳۹۹
بهار	۰/۴۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۷۴۷	۰/۰۰۱	۰/۴۲۰	۰/۰۵۱	۰/۴۷۸
تابستان	۰/۴۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹	۰/۱۰۷	۰/۰۰۵	۰/۵۶۵	-۰/۲۳۹	۰/۴۱۳



شکل ۳. نقشه‌های پهنه‌بندی معناداری روند بارش براساس شاخص من-کندال

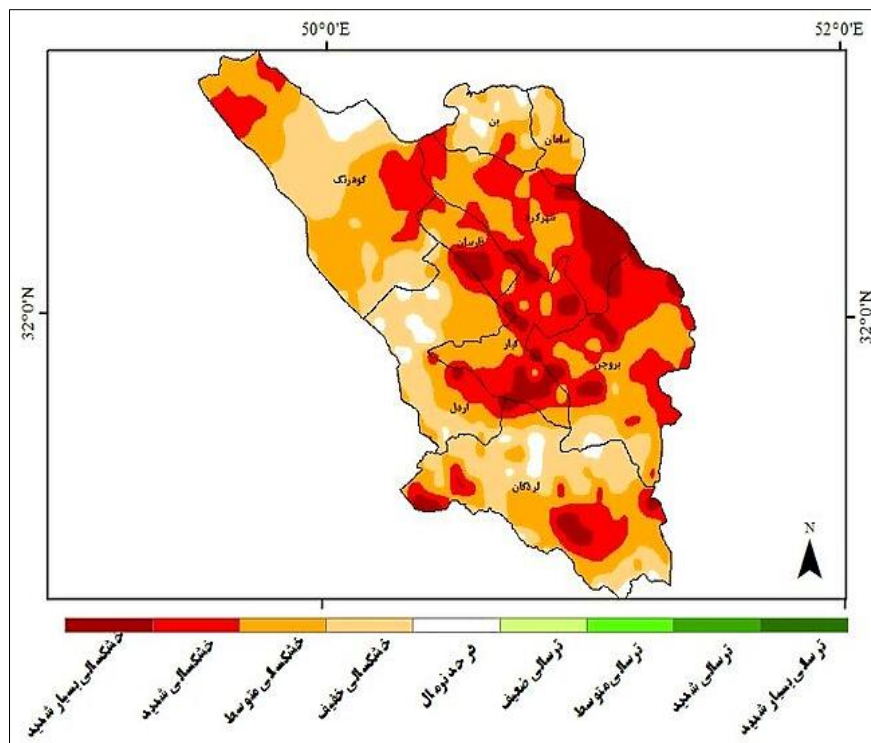
کاهش میانگین بارش در سال‌های آبی استان چهارمحال و بختیاری میانگین وزنی بارش در استان چهارمحال بختیاری تاکنون ۳۷۶ میلی‌متر بوده است و با توجه به میانگین وزنی بارش بلندمدت که ۵۳۳ میلی‌متر است تا پایان فروردین ۶۵ درصد از میانگین سالانه بارندگی رخ داده است. بیشترین کاهش بارندگی در استان در شهرستان بروجن با منفی ۴۶ درصد، در شهرستان سامان با منفی ۴۲ درصد، در شهرکرد با منفی ۳۹ درصد و در کوهرنگ با منفی ۳۵ درصد است (شکل ۴).



شکل ۴. کاهش میانگین بارش در سال‌های آبی استان چهارمحال و بختیاری

پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در استان چهارمحال و بختیاری

با توجه به تغییر رژیم بارش و زمان بارش از زمستان به یک ماه در بهار و یک ماه در پاییز می‌توان گفت تأثیرات خشکسالی بیشتر در تأمین آب شرب و همچنین در بخش کشاورزی و باغداری خواهد بود و نیمه شرقی استان آسیب بیشتری خواهد دید. افزایش گازهای گلخانه‌ای، تبخیر و تعرق پتانسیل، سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی هوا از عوامل مؤثر در خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری است. افزایش دمای جوی، تغییر شکل و کاهش بارش‌ها با الگوهای پیوند از دور و نبود مدیریت به‌روز از جمله مواردی است که سبب افزایش خشکسالی و کمبود آب در مناطق مختلف استان چهارمحال و بختیاری می‌شود. بیشتر قسمت‌های استان چهارمحال و بختیاری دارای خشکسالی متوسط، ضعیف و نرمال است؛ اما در هیچ یک از شهرستان‌ها، ترسالی شدید تا ترسالی بسیار شدید دیده نمی‌شود. نتایج نشان داد براساس شاخص خشکسالی، ۷ درصد مساحت استان چهارمحال و بختیاری در محدوده نرمال است و ۲۳ درصد آن دچار خشکسالی خفیف، ۲۵ درصد دچار خشکسالی متوسط، ۳۰ درصد دچار خشکسالی شدید و ۱۵ درصد دچار خشکسالی بسیار شدید است. نبود این ترسالی‌ها در استان چهارمحال و بختیاری سبب ایجاد بحران و مخاطرات کم‌آبی، کاهش منابع آبی زیرزمینی، ایجاد بحران در حوزه اقتصاد و صنعت، کاهش تنوع زیست‌محیطی، تهدید محیط زیست، افزایش آتش‌سوزی‌های طبیعی، افزایش تلفات دام و کمبود مواد غذایی شده است (شکل ۵).



شکل ۵. پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در سطح استان چهارمحال و بختیاری براساس شاخص SPEI

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استان چهارمحال و بختیاری از نظر توپوگرافی، سرزمینی مرتفع و کوهستانی است. دمای هر منطقه تحت تأثیر عوامل عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی و ... تغییر می‌کند. ارتفاعات بلند و کوهستانی استان چهارمحال و بختیاری سبب شده که دما در بیشتر مناطق استان نسبت به دیگر مناطق غرب، جنوب و جنوب غربی ایران بسیار کمتر باشد. بنابراین بررسی تغییرات اقلیمی و تأثیر الگوهای پیوند از دور بر دمای منطقه بسیار حائز اهمیت است. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و پهنه‌بندی خشکسالی استان چهارمحال و بختیاری به کمک شاخص خشکسالی SPEI بود. داده‌های شاخص از داخل ایستگاه‌های استان چهارمحال و بختیاری شامل بروجن، شهرکرد، لردگان و کوهرنگ استخراج شده و به کمک آزمون من-کندال خودواکاوی شدند. سپس ارتباط هر کدام از پهنه‌ها با الگوهای پیوند از دور

جوی - اقیانوسی تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که استان چهارمحال و بختیاری از نظر شدت شاخص خشکسالی به چهار ناحیه و پهنه متفاوت و مجزا به لحاظ مکانی تقسیم می‌شود: ناحیه جنوب شرقی، ناحیه شمال غربی، نیمه شمالی و نیمه جنوبی. مکان‌گزینی پهنه‌ها نشان‌دهنده تأثیر سامانه‌های بارش‌زا و عبور و محل گذر آنها در استان چهارمحال و بختیاری است. روند خشکسالی و ترسالی در هر کدام از نواحی (شهرکرد، بروجن، لردگان و کوهرنگ) به صورت متوالی دیده می‌شود. شدیدترین خشکسالی‌ها مربوط به ناحیه چهار (کوهرنگ) است. در بین الگوهای پیوند از دور الگوی استخر گرم نیمکره غربی بیشترین تأثیر را بر رخداد خشکسالی ناحیه‌های جنوب غرب استان دارد. ارتباط این شاخص با خشکسالی در ناحیه مذکور مثبت است. ارتباط خشکسالی در ناحیه بروجن با بیشتر الگوهای پیوند از دور از جمله شاخص اقیانوس اطلس و الگوی نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس شمالی در فصل پاییز معنی‌دار است. خشکسالی نیمه جنوبی (لردگان) در فصل گرم سال (بهار و تابستان) ارتباط معنی‌داری با الگوی حاره‌ای اطلس جنوبی، شاخص حاره‌ای اقیانوس اطلس شمالی و اطلس شرقی نشان می‌دهد. خشکسالی‌های شمال غرب (شهرکرد) ارتباط معنی‌داری با شاخص چندمتغیره انسو و اطلس شمالی و آرام شرقی نشان می‌دهد. رضی و همکاران (۱۳۸۶) نیز در بررسی تغییرات دمای سواحل جنوبی ایران به این نتیجه رسیدند که الگوهای واقع در اطلس شمالی و آرام حاره‌ای بیشترین اثر را بر دمای سواحل جنوبی ایران دارند [۵]. پژوهش‌های صلاحی و حاجی‌زاده (۱۳۹۲) نیز نشان می‌دهد که الگوی TSA، مؤثرترین الگو در تبیین تغییرات دمای ایستگاه‌هاست [۶]. نوآوری تحقیق بیان‌کننده این است که مقادیر شاخص خشکسالی تنها نمایانگر شدت خشکسالی با توجه به مقادیر بارش است. از این‌رو در این پژوهش سعی شد که تنها وضعیت شدت خشکسالی در نظر گرفته نشود، بلکه مدیریت مخاطره خشکسالی از نظر الگوهای پیوند از دور در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شود. پیشنهادها و پژوهش‌های حاضر به منظور مدیریت خشکسالی در منطقه عبارت است از تقویت و حمایت از تشکل‌های مردمی در مدیریت مخاطرات خشکسالی و به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی‌های آتی خشکسالی برای آسیب‌پذیری کمتر.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت گروه آب و هواشناسی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد انجام گرفته که به این وسیله از آنها تشکر می‌شود.

منابع

- [۱]. اسماعیلی، کامران؛ گندمکار، امیر؛ و خداقلی، مرتضی (۱۳۹۹). «شناسایی روند تغییرات دمای سواحل جنوبی ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور»، *جغرافیای طبیعی*، دوره ۱۳، شماره ۴۹، ص ۱-۲۲.
- [۲]. امینی، میترا؛ براتی، غلامرضا؛ شکیبا، علیرضا؛ مرادی، محمد؛ و کریمپور؛ مصطفی (۱۳۹۶). «تأثیر نوسانات ماهانه دمای آب دریای مدیترانه بر نوسانات ماهانه بارندگی در شمال غرب ایران»، *پژوهش‌های دانش زمین*، دوره ۸، شماره ۳، ص ۲۸-۴۱.
- [۳]. حمزه، سعید؛ فراهانی، زهرا؛ مهدوی، شهریار؛ چترآبگون، امید؛ و غلام‌نیا، مهدی (۱۳۹۶). «پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور؛ مورد مطالعه: استان مرکزی ایران»، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، دوره ۴، شماره ۳، ص ۷۰-۵۳.
- [۴]. خورشیددوست، علی‌محمد؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ و عباس‌زاده، کریم (۱۳۸۹). «کاربرد الگوهای کلان‌مقیاس جوی - اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش (مطالعه موردی: ایستگاه اهر)»، *فضای جغرافیایی*، دوره ۱۰، شماره ۲۹، ص ۹۵-۱۲۸.
- [۵]. رضیئی، طیب؛ دانش‌کار آراسته، پیمان؛ اختری، روح‌انگیز؛ و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۶). (۱۳۹۵). «بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقليمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف»، *تحقیقات منابع آب ایران*، دوره ۳، شماره ۱، ص ۲۵-۳۵.
- [۶]. صلاحی، برومند؛ و حاجی‌زاده، زهرا (۱۳۹۲). «تحلیلی بر رابطه زمانی نوسان اطللس شمالی و شاخص‌های دمای سطحی اقیانوس اطللس با تغییرپذیری بارش و دمای استان لرستان»، *تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۸، شماره ۳، ص ۱۱۹-۱۳۰.
- [۷]. عساکره، حسین؛ قائمی، هوشنگ؛ و فتاحیان، مختار (۱۳۹۵). *اقلیم‌شناسی مرز شمالی پشته پرفشار جنب حاره بر روی ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، سال ۷، شماره‌های ۲۵ و ۲۶، ص ۲۱-۳۲.
- [۸]. فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ احمدی، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ مفیدی، عباس؛ و بابائیان، ایمان (۱۳۹۲). «بررسی وردایی الگوهای پیوند از دور و اثر آنها بر بارش ایران»، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، سال ۴، شماره‌های ۱۵ و ۱۶، ص ۲۱-۴۱.

- [۹]. قلی‌زاده، محمدحسین (۱۳۸۳). پیش‌بینی و پیش‌آگهی خشکسالی در غرب ایران. رساله دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران.
- [۱۰]. کاویانی، محمدرضا؛ و عساکره، علی (۱۳۸۲). بررسی آماری روند طولانی‌مدت بارندگی سالانه در اصفهان، سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییرات آب‌وهوا، اصفهان.
- [۱۱]. کردوانی، پرویز (۱۳۸۰). *خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۲]. محمدنژاد، وحید (۱۳۹۰). تحلیل مقایسه‌ای تحول مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی البرز شرقی (دامغان تا گرمسار)، دانشگاه تهران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی.
- [۱۳]. مطالعات آمایش استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۹۵).
- [۱۴]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). *دانش مخاطرات*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [15]. Bonsal. R.; Prowse T. D.; Duguay. R.; & Lacroix. M. (2019). "Impacts of Large-Scale Teleconnections on River-Ice Duration over Canada. In 13th workshop on the hydraulics of ice covered Rivers". *Committee on river ice processes and the environment*.
- [16]. Chen. S.; Wu. R.; Chen. W.; Yao. S.; & Yu. B. (2020). "Coherent Interannual Variations of Springtime Surface Temperature and Temperature Extremes between Central- Northern Europe and Northeast Asia". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.
- [17]. Delima. M.; Santo. F.; Ramos. A.; & Trigo. R. (2015). "Trends and correlations in annual extreme precipitation indices for mainland Portugal". *Theoretical and Applied Climatology*. NO. 119, pp: 55-75.
- [18]. Edossa D. C.; Babel. M.S.; & Gupta, A.D. (2009). Drought Analysis in the Awash River Basin, Ethiopia, Springer science + Business Media B. V, Water Resour Manage, pp: 1441-1460.
- [19]. Fiorillo, F.; Guadagno, F. M. (2010). "Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI", *Water Resources Management*, 24(9), 1867-1884.
- [20]. Goudie, A. S. (2006). "Global Warming and Fluvial Geomorphology", *Geomorphology*, No,79, pp: 384-394.
- [21]. Howitt, R.; MacEwan, D.; Medellín- Azuara, J.; Lund, J.; & Sumner, D. (2015). Economic Analysis of the 2015 Drought for California Agriculture, University of California Davis, P. 31.
- [22]. Li. G.; Chen. J.; Wang. X.; Luo. X.; Yang. D.; Zhou. W.; & Yan. H. (2018). "Remote impact of North Atlantic sea surface temperature on rainfall in southwestern China during boreal spring". *Climate dynamics*. NO. 50, pp: 541-553.

-
- [23]. Lin, W.C.; & Yang, S.C. (2011). "Exploring students' perceptions of integrating Wiki technology and peer feedback into English writing courses", *English Teaching: Practice and Critique*, 10(2), pp: 88-103.
- [24]. Mallya, G.; Mishra, V.; Niyogi, D.; Tripathi, S.; & Govindaraju, R.S. (2016). "Trends and variability of droughts over the Indian monsoon region", *ScienceDirect Weather and Climate Extremes*, Vol, 12. June 2016, pp: 43-68.
- [25]. Müller. G.; & Ambrizzi. T. (2007). "Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated to generalized frosts over southern South America". *Climate Dynamics*. NO. 29, pp: 633-645.
- [26]. Stagge. J. H.; Tallaksen. L.; Gudmundsson. L.; Van. Loonc.; & Stahl. K. (2015). "Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)". *International J. of Climatology*.