



بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی و خطر بیابان‌زایی در استان کرمانشاه

خسرو شهبازی^{۱*}، مسیب حشمتی^۲، زهرا سعیدی فر^۳

۱. استادیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
۲. دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۳. دکترای بیابان‌زایی، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
* نویسنده مسئول: k.shahbazi42@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

چکیده

نوسان اقلیمی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک است. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر خشکسالی و خطر بیابان‌زایی در استان کرمانشاه با استفاده از کمیت‌های بارش، دما، تبخیر و رطوبت نسبی ایستگاه‌های هواشناسی در بازه زمانی ۲۵ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ بود. وضعیت خشکالی و شاخص بیابان‌زایی به‌ترتیب با استفاده از شاخص SPEI "شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده" و UNEP محاسبه شد. نتایج پژوهش نشان داد که عوامل اقلیمی در سطح این استان در دهه اخیر دچار تغییری قابل توجهی شده‌است، به‌طوری که میانگین دمای دراز مدت بیشتر ایستگاه‌های استان افزایش معنی‌داری داشت. رطوبت نسبی در بیشتر ایستگاه‌ها کاهش یافته و بارش نیز روندی کاهشی را نشان می‌دهد. این تغییرها در شهرستان کرمانشاه نسبت به دیگر نقاط استان مشهودتر و معنی‌دارتر بود. بررسی شاخص SPEI نشان داد که به جز بخش‌های کوچکی در جنوب شرقی که دچار خشکالی خفیف تا متوسط بوده، نواحی جنوب غربی با خشکسالی شدیدتری مواجه هستند. روند تغییر خشک‌سالی نیز نشان داد که در بیشتر نقاط استان در دهه اخیر نسبت به دهه‌های گذشته شاهد افزایش شدت و طول دوره خشک‌سالی و کاهش طول دوره ترسالی بود. بررسی خطر بیابان‌زایی نیز نشان داد که کم‌ترین خطر بیابان‌زایی در نقاط شمالی و بیش‌ترین مقدار در جنوب غرب استان یعنی محدوده شهر سومار مشاهده شد اما روند تغییرها تنها در شهرستان کرمانشاه افزایش خطر بیابان‌زایی را نشان داد که متأثر از تغییر معنی‌دار متغیرهای اقلیمی در این شهرستان بود.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی؛ رطوبت نسبی؛ روند تغییر؛ تبخیر و تعرق

■ مقدمه

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین خطرهای پیش روی بشر در دوران کنونی و آینده می‌باشد (۱۷). بر اساس گزارش هیأت بین‌المللی بین‌الدول تغییر اقلیمی، تغییر اقلیم که بیش‌تر در قالب گرم‌تر شدن کره زمین بروز می‌کند موجب تغییر بیش‌تر در الگوهای مکانی بارندگی و بروز بیش‌تر پدیده‌های حدی مانند خشک‌سالی می‌شود. بر این اساس تغییر اقلیم موجب افزایش فراوانی، شدت و مدت خشک‌سالی می‌شود (۱۸).

پدیده خشک‌سالی تابع عوامل مختلفی است و بر همین اساس شاخص‌های مختلفی برای بیان وقوع آن ارائه گردیده است. در عمده مطالعات انجام شده، بارش اصلی‌ترین متغیری است که در تعریف شاخص‌های خشک‌سالی به کار گرفته می‌شود، یعنی خشک‌سالی و ترسالی در مقایسه با کم‌تر یا بیش‌تر بودن ریزش‌های آسمانی نسبت به میانگین بارندگی یک منطقه سنجیده می‌شود. انتخاب شاخصی که تمامی متغیرهای مؤثر در وقوع خشک‌سالی را در نظر بگیرد، اهمیت بسیار دارد. از طرفی، انتخاب شاخص مناسب باید به گونه‌ای باشد، که وقوع پدیده تغییر اقلیم را نیز در نظر بگیرد. با توجه به وقوع پدیده‌ی تغییر اقلیم، بدون در نظر گرفتن متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل بررسی خشک‌سالی صحیح نیست، وقوع خشک‌سالی بر اثر کاهش در مقدار بارش یا افزایش تبخیر و تعرق اتفاق می‌افتد (۶، ۳۸).

پیش‌بینی می‌شود با تغییر اقلیم و تغییر در الگوی گردش عمومی جو و وقوع پدیده‌های حدی از جمله: خشک‌سالی‌های شدید، تخریب جنگل‌ها، مراتع و دیگر بوم‌نظام‌های مدیریت شده را به دنبال دارد و در پایان موجب به بیابان‌زایی می‌شود (۲۹، ۳۷).

یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم، بیابان‌زایی است که دامنه آن رو به گسترش است و بیش از ۲۵۰ میلیون نفر در جهان به‌طور مستقیم متأثر از خطر بیابان‌زایی هستند، و چندین میلیارد نفر نیز در سراسر دنیا در معرض این پدیده قرار دارند (۶) پدیده بیابان‌زایی همراه با کاهش توان اکولوژیکی و بیولوژیکی ممکن است در تمام اقلیم‌ها اتفاق بیفتد. علاوه بر عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی نیز موجب بروز فرآیند بیابان‌زایی شود

(۱۰). به‌طور طبیعی در مناطق مرطوب، فعالیت‌های مخرب انسانی در وقوع این پدیده مؤثرتر است. اما در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند منطقه مورد مطالعه، فعالیت انسانی مخرب، بسیار تأثیرگذار بوده و در تشدید نقش متغیرهای اقلیمی از قبیل تغییر روند بارش، دما، تبخیر، رطوبت نسبی بر خشک‌سالی و در نهایت پدیده بیابان‌زایی نقش به‌سزایی دارد. بنابراین در مناطق خشک علاوه بر نظارت بر فعالیت‌های توسعه‌ای، پایش تغییرات، متغیرهای اقلیمی در اثر پدیده تغییر اقلیم نیز در برنامه‌های مدیریت بیابان ضروری است (۶).

بررسی روند گسترش مکانی اقلیم خشک و نیمه‌خشک در ایران به‌عنوان اولین حلقه تأثیرگذار در گسترش و تشدید بیابان‌زایی با شاخص زیست اقلیم یونپ (UNEP) صورت گرفت که در آن یک دوره ۳۰ ساله به سه زیر دوره ۱۰ ساله تقسیم شد که نتایج آن نشان داد که به لحاظ مکانی شدیدترین تغییرات ابتدا در غرب و شمال‌غرب و سپس در جنوب شرق ایران مشاهده شده است، به‌طوری‌که در غرب و شمال غرب ایران جایگزین شدن اقلیم نیمه‌خشک به جای اقلیم خشک نیمه‌مرطوب و نیمه‌مرطوب به‌وضوح قابل مشاهده است (۳۳). این روند در ارزیابی نوسان زمانی - مکانی شاخص خشکی در ترکیه وجود داشته و آن را به‌سمت خشک‌تر شدن پیش می‌رود (۳۳). بررسی اثر تغییر اقلیم بر بیابان‌زایی در شمال چین از طریق تجزیه و تحلیل روند تبخیر و تعرق بالقوه و بارش نشان داد که بیابان‌زایی در چین طی دوره‌های مختلف گسترش و توسعه یافته است و تصور می‌شود که تغییرات آب و هوایی مهم‌ترین عامل برگشت بیابان‌زایی در این کشور باشد (۳۶). در مقیاس جهانی نیز ارزیابی تغییرات اقلیم مناطق نیمه‌خشک با استفاده از شاخص خشکی نشان داد که بزرگترین گسترش خشکی از اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع شده که در ۱۵ آخر (۱۹۹۰-۲۰۰۴) ۷٪ بیشتر از دوره ۱۵ ساله پیشین (۱۹۴۸-۱۹۶۲) بوده است (۳۵).

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که امروزه ارزیابی پیامدهای حاصل از تغییر اقلیم از جمله پدیده‌های خشک‌سالی و بیابان‌زایی در نقاط مختلف دنیا و ایران با استفاده از مدل‌ها و شاخص‌هایی انجام می‌گیرد

اساساً سال را می‌توان به دو فصل اصلی گرم و سرد یعنی تابستان و زمستان تقسیم نمود. فصول انتقالی پاییز و بهار بسیار کوتاه و زودگذر هستند (۱۳).

روش کار

مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیرپذیری وقوع خشک‌سالی و بیابان‌زایی از تغییر متغیرهای مهم اقلیمی نظیر بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، رطوبت نسبی بیشینه، رطوبت نسبی کمینه، رطوبت نسبی میانگین و تبخیر انجام گردید. بدین منظور اطلاعات مورد نظر از ۳۲ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی دریافت شد. این ایستگاه‌ها شامل ۱۳ ایستگاه همدید و ۱۹ ایستگاه اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی کشور بود (شکل ۱). از آن‌جایی که فقط پنج ایستگاه کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، روانسر و اسلام‌آباد غرب از میان ایستگاه‌های مذکور از آمار به نسبت بلندمدت برخوردار بودند بعد از بازسازی و تکمیل نواقص آماری داده‌های هواشناسی این ایستگاه‌ها، به منظور بررسی روند و پایش تغییرات پارامترهای اقلیمی طی دوره زمانی ۲۵ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ استفاده شد.

بررسی روند تغییر متغیرهای اقلیمی

به منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی از داده‌های ماهانه بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، رطوبت نسبی بیشینه، رطوبت نسبی کمینه، رطوبت نسبی میانگین و تبخیر استفاده شد.

پارامتر دما از میانگین دمای بیشینه و کمینه استفاده استخراج شد و پارامتر رطوبت نسبی میانگین رطوبت نسبی بیشینه و کمینه برحسب درصد، مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل از روش بلانی کریدل استفاده گردید که بر اساس رابطه ۱ در گیاه مرجع چمن محاسبه گردید (۳۶).

$$ET_0 = a + b [p (0.46T + 8.13)] \quad (1)$$

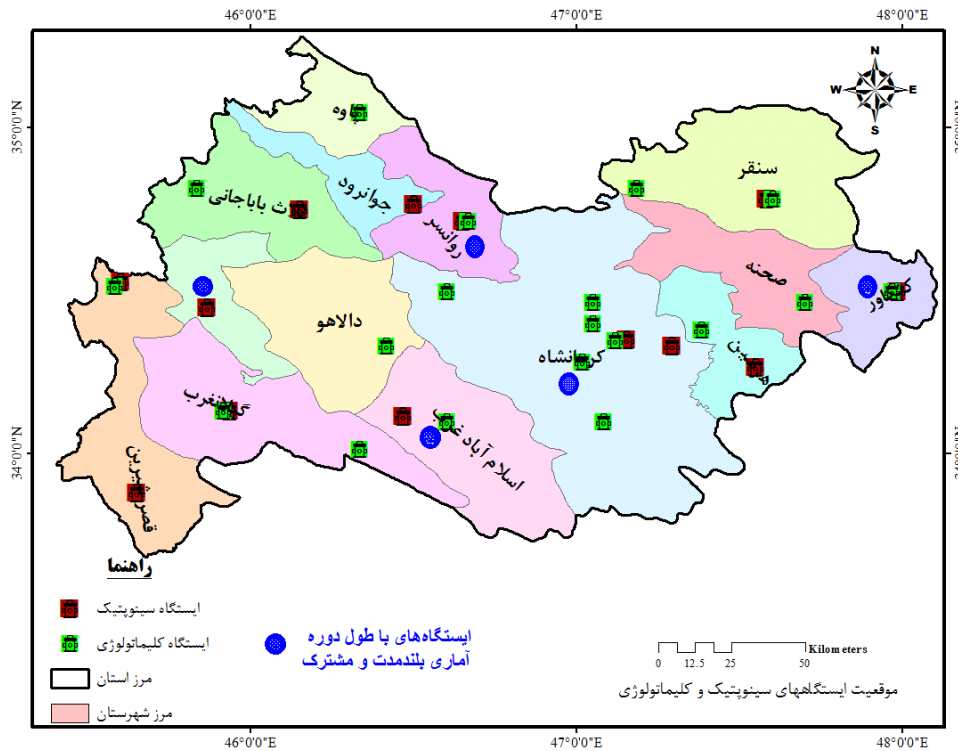
که بیشتر متکی به داده‌های هواشناسی از جمله دما، تبخیر و بارش است که مهم‌ترین آن‌ها شاخص خطر بیابان‌زایی یونپ و شاخص خشک‌سالی بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) است (۵، ۲۱، ۲۵، ۲۷ و ۲۸). بدین منظور پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر تغییرات خشک‌سالی و خطر بیابان‌زایی در استان کرمانشاه انجام شد. از ویژگی‌های این پژوهش ترکیب همزمان شاخص خشک‌سالی، پارامترهای اقلیمی و شاخص کاربردی یونپ جهت ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در استان کرمانشاه می‌باشد. وجود چنین مطالعه‌ای در استان کرمانشاه با توجه به عدم بررسی وضعیت بیابان‌زایی اقلیمی در این منطقه، می‌تواند در مدیریت سرزمین و برنامه‌ریزی‌های آتی راهگشا باشد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

استان کرمانشاه به عنوان منطقه مورد مطالعه در غرب کشور واقع شده است. این استان با مساحت حدود ۲/۵ میلیون هکتار در محدوده عرض جغرافیایی ۳۶' ۳۳° تا ۱۵' ۳۵° شمالی و طول جغرافیایی ۲۴' ۴۵° تا ۳۰' ۴۸° شرقی گسترش دارد و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود شده است. اهمیت استان در تنوع آب و هوایی، جمعیت قابل توجه، وسعت اراضی زراعی، جنگلی و مرتعی، حاصل‌خیزی خاک و منابع آب است (۲۷). این استان دارای ۱۴ شهرستان، ۳۱ بخش، ۳۲ شهر و ۸۶ دهستان و ۳۱۶۳ روستا است.

استان کرمانشاه به دلیل قرارگیری در زون‌های مختلف زاگرس دارای اراضی کوهستانی، تپه‌ماهور و دشت‌های متعددی است و جهت گسترش آن موجب شده که در معرض جبهه‌های بارندگی شمال‌غرب، غرب و جنوب‌غرب قرار گیرد. متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان بین ۳۰۰ mm تا ۸۰۰ mm در نوسان است. نزدیکی به بین‌النهرین و بیابان‌های عراق و عربستان از یک طرف و ارتفاع کم بخش‌های غربی این استان پیامدهای اقلیمی مهمی برای ساکنان به بار آورده است. در استان کرمانشاه



شکل ۱. نقشه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه

که در آن مقادیر x_i و x_j داده‌های متوالی است، N طول سری زمانی است و تابع sgn نیز به صورت ذکر شده در ادامه معادله قابل محاسبه است. واریانس فرآیند از رابطه ۳ تعیین می‌گردد.

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (3)$$

که t_i تعداد دنباله‌ها برای i امین مقدار و i تعداد مقادیر دنباله‌ها و N طول سری زمانی است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است.

بر اساس آماره s و واریانس محاسبه شده در روابط ۱ و ۲ آماره استاندارد شده آزمون منکندال (Z) از رابطه ۴ بدست می‌آید (۹ و ۲۹).

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma_s}, & if s > 0 \\ 0, & if s = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma_s}, & if s < 0 \end{cases} \quad (4)$$

که مقدار Z بدست آمده با رابطه‌های فوق با مقادیر Z بدست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد با سطح

که در آن a و b ضرایب اقلیمی هستند و بستگی به رطوبت نسبی هوا، نسبت ساعت واقعی آفتاب به بیشینه ساعت آفتابی ممکن و سرعت باد در روز دارد؛ T متوسط دمای ماهانه درجه حرارت و P ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه است که به صورت روزانه توصیف می‌شود (متوسط ساعات روشنایی هرروز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰).

برای بررسی روند تغییر متغیرهای مورد بررسی از آزمون‌های آماری منکندال (۹) و شیب سن (۱۵) استفاده شد.

آزمون منکندال یک آزمون ناپارامتریک برای بررسی روند تغییرات می‌باشد. در این روش، فرض H_0 داده‌ها مستقل از سری و دارای توزیع یکسان می‌باشند. آزمون منکندال بر اساس آماره S با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (۹ و ۳۲).

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i), \text{ where } \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در این دو رابطه (۹ و ۸) N تعداد دفعات برآورد شیب Q_i (حاصل از رابطه ۶) و Q_N شیب برآورد شده در N امین داده مشاهداتی است.

نتیجه حاصل از این روابط، به‌دست آمدن شیب خط روند Q_{med} است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند و اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است. مرحله بعد، آزمون شیب به‌دست آمده در فاصله اطمینان ۹۹ و ۹۵٪ است. بدین منظور دو دامنه بیشینه و کمینه (Q_{max} و Q_{min}) برای هر یک از این فاصله اطمینان‌ها محاسبه شد. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده‌ها تأیید می‌گردد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون پذیرفته می‌شود.

شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) برای برآورد شدت خشک‌سالی از شاخص بارندگی - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) استفاده شد. در این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شد (۱). با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل در مقیاس‌های زمانی مختلف به صورت رابطه زیر محاسبه شد (رابطه ۱۰).

$$D_n^K = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad (10)$$

در این رابطه K ماه‌ها در مقیاس زمانی مورد نظر و n ماه مورد نظر در محاسبه می‌باشد. در این رابطه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش بلانی کریدل محاسبه گردید. در این روش لازم است برای دوره مورد بررسی متوسط دمای و ضرایب اقلیمی که بستگی به رطوبت نسبی هوا، نسبت ساعت واقعی آفتاب به بیشینه ساعت آفتابی ممکن و سرعت باد در روز دارد و سپس با داشتن تابش خورشیدی مقدار تبخیر و تعرق قابل محاسبه است (۲۸).

اطمینان مورد نظر مقایسه می‌شود. چنانچه Z محاسباتی بزرگتر از Z جدول بود فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود روند با سطح اطمینان مورد نظر رد می‌شود. در صورت وجود روند مقادیر Z مثبت نشان دهنده روند مثبت و مقادیر منفی Z نشان دهنده روند منفی می‌باشد.

برای برآورد شیب واقعی روند در یک سری زمانی، از روش ناپارامتریک سن استفاده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من‌کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد (رابطه ۵).

$$f(t) = Qt + B \quad (5)$$

که Q_t ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است.

جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ابتدا باید شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، محاسبه شود (رابطه ۶).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (6)$$

در این رابطه Q_i شیب بین داده‌های مشاهداتی، x_k و x_j به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های j و k است که $k < j$ است. با اعمال این رابطه، برای هر جفت داده مشاهداتی، یک شیب بدست می‌آید. با قرار دادن این شیب‌ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید. یعنی اگر n تعداد x_j در سری زمانی وجود داشته باشد. برآورد شیب Q_i به تعداد محاسبه شده در رابطه ۷ خواهد بود (۳۱).

$$N = n(n-2/1) \quad (7)$$

$$Q = Q_{\left[\frac{N+2}{2}\right]} \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{2} \left[Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\left[\frac{N+2}{2}\right]} \right] \quad (9)$$

هنگامی شروع می‌شود که مقادیر شاخص به منفی ۰/۵ برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می‌یابد (۲۵) (جدول ۱). همچنین بررسی خشک‌سالی‌ها در مقیاس زمانی ۱ ماهه و ۱۲ ماهه نیز در قالب نمودار روند تغییرات انجام گردید که در این نمودارها محور معادل سال محور عمودی بیانگر تغییرات شاخص SPEI می‌باشد.

بررسی خطر بیابان‌زایی

برنامه محیط زیست سازمان ملل نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل را تحت عنوان شاخص خشکی معرفی کرده است (جدول ۲). برای تمامی مناطق استان ضریب خشکی، بر اساس شاخص خشکی محاسبه (رابطه ۱۱) و بر اساس روش یونپ (روش فائو) (۲۰) پهنه‌بندی گردید (جدول ۲).

$$Ai = P / PET \quad (12)$$

در این رابطه Ai : شاخص خشکی، p بارش بر حسب میلیمتر و PET مجموع تبخیر سالانه بر حسب میلیمتر می‌باشد.

برای محاسبه شاخص خشک‌سالی توزیع سه پارامتری نیاز است تا به‌تواند مقادیرهای منفی در داده‌های D را پوشش دهد. در این زمینه تابع لجستیک لگاریتمی که برازش خوبی بر سری زمانی داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارد بکارگرفته شد. بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده‌های D براساس تابع لجستیک لگاریتمی به صورت رابطه ۱۱ می‌باشد.

$$F(X) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right) \right] \quad (11)$$

که α پارامتر مقیاس، γ پارامتر شکل و اصلی برای مقادیرهای D در محدوده D است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می‌گردد (۲۵). کدنویسی لازم برای محاسبه این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه برای تمام استان کرمانشاه توسط نرم افزار R انجام شد و در پایان نقشه‌های گستره خشک‌سالی و ترسالی استان برای دهه اخیر تهیه شد. مقادیرهای مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیرهای منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب منظور شد. خشک‌سالی

جدول ۱. تعیین درجه خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از شاخص SPEI (۲۵)

مقدار SPEI	توصیف وضعیت
+۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۲	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۵	ترسالی متوسط
۱ تا -۱	بهنجار
-۱ تا -۱/۵	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	خشک‌سالی شدید
-۲ و کم‌تر	خشک‌سالی بسیار شدید

جدول ۲. پهنه‌بندی اقلیمی بر اساس شاخص خشکی یونپ (۲۰)

خطر بیابان‌زایی	شاخص خشکی UNEP	گونه اقلیمی
بیابان واقعی	$0.05 > R$	فرا خشک
بسیار شدید	$0.2 > R > 0.05$	خشک
شدید	$0.5 > R > 0.2$	نیمه خشک
متوسط	$0.65 > R > 0.5$	خشک نیمه مرطوب
کم	$0.75 > R > 0.65$	نیمه مرطوب
ندارد	$R > 0.75$	مرطوب و بسیار مرطوب

■ نتایج

متغیرهای مهم اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی

خلاصه میانگین سالانه پارامترهای مهم اقلیمی ایستگاه‌های هم‌دید منتخب استان کرمانشاه در جدول شماره ۳ درج شده، که شامل بارش، تبخیر، دما و رطوبت نسبی است. همچنین نقشه پهنه بندی دو پارامتر کلیدی اقلیمی بارش و دما جهت دید بهتر از شرایط اقلیمی منطقه ارائه گردید. بر این اساس، بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین بارش سالانه این ایستگاه‌ها به ترتیب مربوط به روانسر ۴۹۲ mm و کنگاور ۳۷۶ mm است. از لحاظ توزیع ماهانه بارش ماه‌های اسفند و آبان بیش‌ترین میزان بارش در استان کرمانشاه رخ داده است (جدول ۳). بطورکلی در غالب ایستگاه‌ها سال ۱۳۷۱-۱۳۷۲ پرباران‌ترین سال‌های دوره مورد بررسی و سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ کم باران‌ترین آن‌ها بود. همچنین بخش‌های شمالی استان بیش‌ترین میزان بارش را به خود اختصاص داده‌اند و پس از آن نواحی مرکزی و شرقی در رتبه بعدی قرار داشتند. کم‌ترین میزان بارش دریافتی در

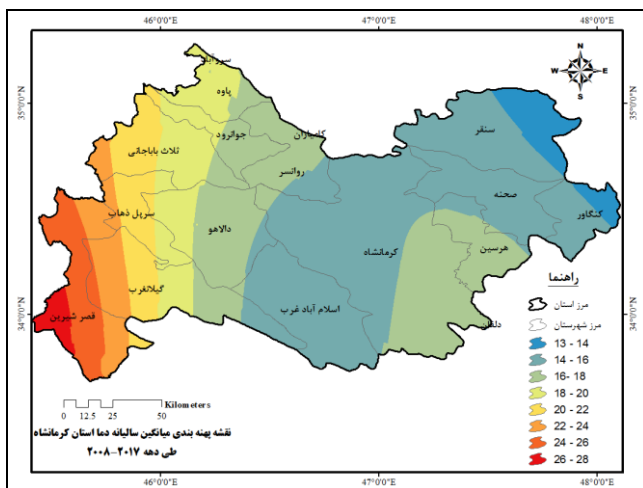
جنوب‌غربی استان و در سومار ثبت شده بود (شکل ۳ الف). از لحاظ پارامتر تبخیر نیز بیش‌ترین و کم‌ترین تبخیر سالانه به ترتیب در ایستگاه سرپل ذهاب با ۱۴۶۶ mm و کم‌ترین آن ۱۱۵۸ mm در ایستگاه کنگاور رخ داده بود. بررسی داده‌های آماری ایستگاه‌ها نشان داد. از شرق به غرب استان مقدار تبخیر افزایش می‌یابد و در ماه‌های مهر و آبان تبخیر دارای بیش‌ترین مقدار است. همچنین الگوی تغییرات ماهیانه دما نیز ماه‌های دی و بهمن را به ترتیب دارای کم‌ترین دما و ماه‌های تیر و مرداد دارای بیش‌ترین دما در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد. تغییرات مکانی پارامتر دما نیز بیش‌ترین میزان میانگین دما را در نواحی جنوب غربی و غرب استان نشان داد (شکل ۳ ب). حداکثر رطوبت نسبی میانگین دراز مدت سالانه در ایستگاه‌های منتخب مربوط به ایستگاه کنگاور برابر ۵۱/۳٪ و حداقل آن در ایستگاه روانسر برابر ۳۰/۲٪ ثبت شده بود. بیش‌ترین رطوبت نسبی ثبت شده در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به ماه‌های دی و بهمن می‌باشد.

جدول ۳. برخی از ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد بررسی در ایستگاه‌های هواشناسی در مقیاس زمانی ماهانه (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶)

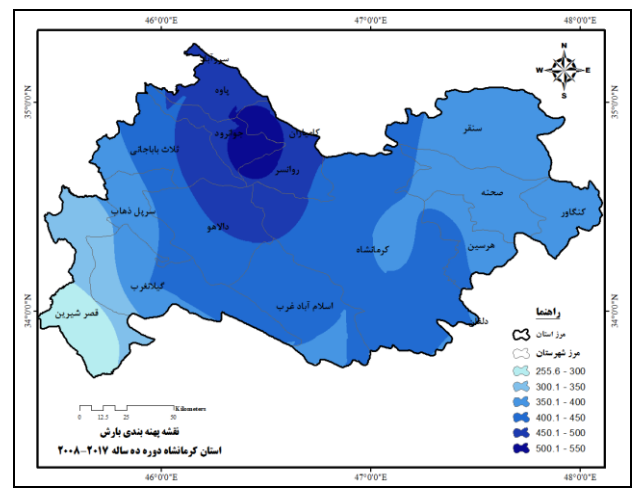
ایستگاه	مشخصه آماری	بارش (mm)	دمای بیشینه (°C)	دمای کمینه (°C)	دمای میانگین (°C)	رطوبت نسبی بیشینه (%)	رطوبت نسبی کمینه (%)	رطوبت نسبی میانگین (%)	تبخیر (mm)
	بیشینه	۳۱۱	۳۸/۲	۱۸/۶	۳۰/۶	۹۵/۴	۷۱/۸	۸۵/۲	۱۳۸/۶
	میانگین	۲۸/۶	۲۲/۴	۵/۳	۱۴/۱	۷۰/۷	۳۰/۵	۵۰/۳	۱۰۰
اسلام آباد	کمینه	۰	۲/۱	-۱۰/۱	-۴/۵	۲۷/۳	۷/۱	۱۵/۴	۵۰/۸
	انحراف معیار	۲۰/۱	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۶	۲۸/۴
	ضریب تغییرات (%)	۷۰/۲	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۲۸/۴
	بیشینه	۲۸۸/۹	۳۸/۷	۱۶/۸	۲۹/۸	۹۷	۶۹/۲	۸۶	۱۳۶/۶
	میانگین	۲۲/۲	۲۱/۷	۴/۵	۱۳/۴	۷۵/۸	۳۰/۲	۵۱/۴	۹۶/۵
کنگاور	کمینه	۰	-۲/۱	-۱۳/۷	-۸/۷	۴۶/۴	۷/۴	۲۴/۱	۴۱/۶
	انحراف معیار	۱۶/۹	۱	۰/۹	۰/۸	۱/۲	۳/۱	۲/۲	۳۰/۱
	ضریب تغییرات (%)	۷۶/۳	۰	۰/۲	۰/۱	۰	۰/۱	۰	۳۱/۲
	بیشینه	۲۹۱/۵	۴۰/۱	۲۰/۳	۳۱	۹۵/۶	۶۵/۸	۸۳/۱	۱۴۱/۸
	میانگین	۲۳/۳	۲۳/۶	۷	۱۵/۵	۶۳/۱	۲۴/۹	۴۳/۲	۱۰۲/۳
کرمانشاه	کمینه	۰	۲/۳	-۸/۲	-۳/۴	۲۰/۵	۳/۵	۱۰/۹	۵۵/۹
	انحراف معیار	۱۷/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۲/۴	۱/۸	۲/۱	۲۷/۹
	ضریب تغییرات (%)	۷۵/۷	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰	۲۷/۳

ادامه جدول ۳. برخی از ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد بررسی در ایستگاه‌های هواشناسی در مقیاس زمانی ماهانه (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶)

ایستگاه	مشخصه آماری	بارش (mm)	دمای بیشینه (°C)	دمای کمینه (°C)	دمای میانگین (°C)	رطوبت نسبی بیشینه (%)	رطوبت نسبی کمینه (%)	رطوبت نسبی میانگین (%)	تبخیر (mm)
	بیشینه	۲۵۸/۷	۳۸/۵	۲۴/۸	۳۱/۷	۹۵/۵	۷۱	۸۵/۲	۱۴۴/۱
	میانگین	۳۱/۶	۲۱/۸	۸/۴	۱۵/۲	۶۱/۴	۲۸/۵۲	۴۴/۳	۱۰۳/۲
روانسر	کمینه	۰	۰/۲	-۷/۲	-۳/۸	۲۰/۶	۶/۵	۱۳/۲	۵۱/۳
	انحراف معیار	۲۰/۸	۰/۸	۰/۵	۰/۶	۲/۶	۳/۱	۲/۸	۲۹/۳
	ضریب تغییرات (%)	۶۵/۸	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۲۴/۴
	بیشینه	۱۷۸/۲	۴۴/۸	۲۵/۵	۳۶/۵	۹۳/۵	۶۲	۸۰/۳	۱۵۸/۱
	میانگین	۲۶/۳	۲۸/۳	۱۲/۳	۲۰/۴	۶۶/۶	۲۷	۴۶/۶	۱۲۲/۲
سرپل ذهاب	کمینه	۰	۹/۱	-۰/۲	۴/۳	۳۰/۹	۶/۷	۱۸/۸	۸۶/۲
	انحراف معیار	۱۸/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۱/۹	۲/۳	۲/۴	۲۶/۳
	ضریب تغییرات (%)	۶۸/۸	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۲۱/۵



(ب)



(الف)

شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی متغیرهای اقلیمی بارش (الف) و دما (ب) در استان کرمانشاه.

بررسی روند متغیرهای اقلیمی

خلاصه نتایج بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی با استفاده از آزمون آماری من‌کندال و شیب‌سن معنی‌دار در ایستگاه‌های همدید مورد بررسی در جدول ۳ درج گردیده است. بررسی روند تغییرات میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان نشان داد که میانگین بارش سالانه در تمام ایستگاه‌های همدید مورد بررسی روند کاهشی غیر معنی‌دار داشته است. در ایستگاه اسلام آباد غرب هرچند در بعضی ماه‌ها روند بارش کاهشی بود، ولی در بیشتر ماه‌ها تغییری در بارش در دوره مورد بررسی رخ نداده است. بیش‌ترین کاهش بارش در دوره مورد بررسی در این ایستگاه در دی ماه رخ داده است. در ایستگاه کنگاور روند کاهشی بارش نسبت به ایستگاه

اسلام آباد محسوس‌تر بوده ولی باز هم به جز در ماه‌های بهمن و تیر که در سطح ۹۰٪ معنی‌دار است در دیگر ماه‌ها معنی‌دار نبود. در ایستگاه روانسر که معرف بخش شمالی استان می‌باشد شاهد شدیدترین کاهش در بارش در ماه‌های تیر در سطح ۹۹٪ و در دی ماه در سطح ۹۰٪ معنی‌دار بود. در ایستگاه سرپل ذهاب که معرف غرب استان است بیش‌ترین کاهش را به خود اختصاص داد به طوری که در بیش‌تر ماه‌های سال این کاهش معنی‌دار بود. ولی تغییر سالانه آن معنی‌دار نبود.

بررسی روند تغییر دما طی دوره ۲۵ ساله مورد بررسی نشان از افزایش غیر معنی‌دار دمای سالانه در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی استان به‌جز ایستگاه کرمانشاه که دارای روند افزایشی کاملاً معنی‌داری است در طول

دوره دارد. کم‌ترین و بیش‌ترین تغییر دما استان در سطح ۹۹٪ به ترتیب برابر با 0.071°C در سال در ایستگاه اسلام‌آباد غرب و 0.49°C در سال در ایستگاه کرمانشاه بود. بیش‌ترین افزایش ماهانه دما که به صورت معنی‌دار در استان رخ داد مربوط به ماه بهمن می‌باشد. در ایستگاه کرمانشاه افزایش معنی‌دار دما در سطح ۹۵٪ در بیشتر ماه‌های سال رخ داده است. هم‌چنین نوسان دما در این ایستگاه یک نقطه جهش را در سال ۱۳۹۱ در دوره مورد بررسی نشان داد.

روند تغییر تبخیر سالیانه نشان‌دهنده افزایش تبخیر در تمامی ایستگاه‌های استان در طول دوره مورد بررسی می‌باشد. در مجموع روند افزایش تبخیر در تمام سطح استان غالب می‌باشد. این روند افزایش در ایستگاه‌های کرمانشاه و روانسر به صورت معنی‌دار بود. بررسی روند تغییرات رطوبت نسبی در استان نیز نشانگر روند منفی غیرمعنی‌دار این تغییرات در تمام ایستگاه‌ها به جز کرمانشاه می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان این کاهش به ترتیب -0.005% در سال در ایستگاه کنگاور و 0.295% در سال در ایستگاه کرمانشاه بود.

جدول ۴. روند تغییرات مشخصه‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره ۲۵ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۶)

متغیر اقلیمی	ایستگاه	روند من‌کندال		بر آورد شیب سن		
		Signific.	Test Z	Q	Qmax99	Qmin95
	اسلام آباد غرب	No	۰	۰/۰۳	۸/۰۹	-۷/۲۳
	سرپل ذهاب	No	-۱/۶۱	-۴/۰۱	۲/۱۷	-۹/۷۴
بارش	کنگاور	No	-۰/۹۶	-۲/۲۱	۵/۹۳	-۸/۹۵
	کرمانشاه	No	-۰/۶۳	-۱/۵۵	۵/۱۶	-۷/۶۱
	روانسر	No	-۱/۶۱	-۴/۴۴	۵/۶۷	-۱۰/۱۶
	اسلام آباد غرب	No	۰/۳۲	۰/۰۱	۰/۰۶	-۰/۰۴
	سرپل ذهاب	No	۱/۳۲	۰/۰۳	۰/۰۸	-۰/۰۱
دما	کنگاور	No	۰/۶۸	۰/۰۲	۰/۰۵	-۰/۰۲
	کرمانشاه	***	۳/۵۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۳
	روانسر	No	۱/۳۶	۰/۰۲	۰/۰۶	-۰/۰۱
	اسلام آباد غرب	+	۰/۷۳	۰/۵۱	۳/۷۴	-۱/۷۹
	سرپل ذهاب	+	۰/۶۱	۰/۳۶	۲/۴۳	-۱/۰۹
تبخیر	کنگاور	No	۰/۰۴	۰/۰۴	۴/۲۶	-۳-۲
	کرمانشاه	***	۳/۳۲	۲/۰۹	۴/۴۹	۰/۹۵
	روانسر	**	۳/۰۲	۲/۳۹	۶/۰۱	۰/۹۱
	اسلام آباد غرب	No	-۱/۰۵	-۰/۰۸	۰/۱۵	-۰/۲۴
	سرپل ذهاب	No	-۱/۴۱	-۰/۰۷	۰/۱۲	-۰/۱۸
رطوبت نسبی	کنگاور	No	-۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۱۳	-۰/۱۳
	کرمانشاه	***	-۳/۳۹	-۰/۳۰	-۰/۰۹	-۰/۴۶
	روانسر	No	-۱/۳۱	-۰/۱۱	۰/۱۲	-۰/۲۶

*** روندهای قابل توجه آماری در سطح اطمینان ۹۵٪

** روندهای قابل توجه آماری در سطح اطمینان ۹۹٪

+ روندهای قابل توجه آماری در سطح اطمینان ۹۰٪ ،

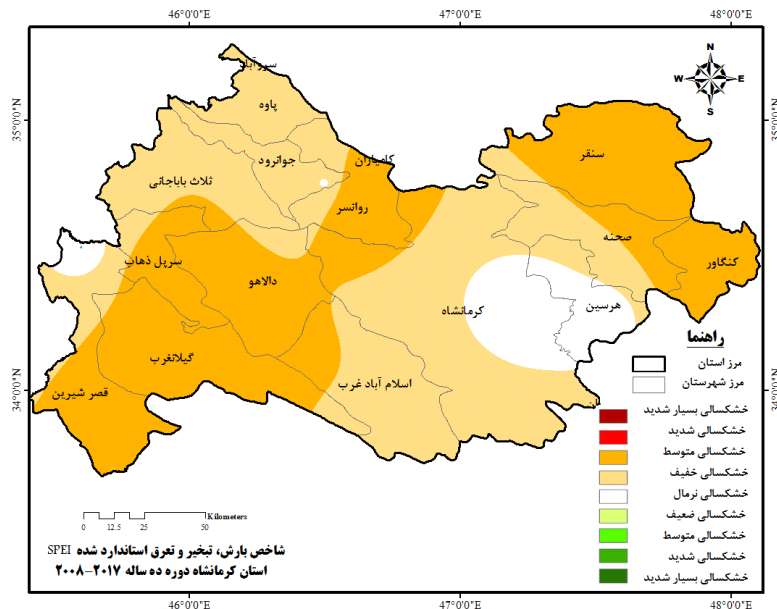
Q برآورد شیب سن و No بدون سطح اطمینان

شاخص خشک‌سالی بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI

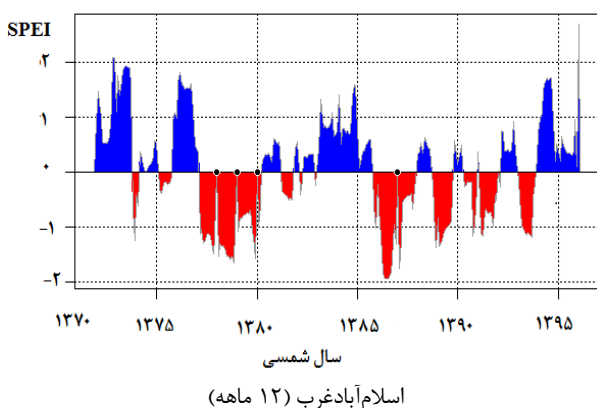
شاخص SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف یک ماه، ۶ ماه و ۱۲ ماه محاسبه گردید. براساس این شاخص در طول دوره ده ساله اخیر از ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵، غالب بخش‌های استان به‌جز قسمت‌های کوچکی از جنوب شرق و شمال غرب استان که دارای وضعیت نرمال است، دچار خشک‌سالی خفیف تا متوسط بود. مقدار شاخص خشک‌سالی بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) برای ایستگاه‌های استان کرمانشاه محاسبه و نقشه پهنه‌بندی آن تهیه شد (شکل ۳). بر این اساس، در دوره زمانی مورد بررسی مناطق شمال شرقی در محدوده شهرستان‌های سنقر، کنگاور و جنوب غربی شامل شهرستان‌های گیلانغرب، دالاهو و بخش‌هایی

از قصر شیرین، سرپل ذهاب، روانسر و کرمانشاه بیش‌ترین خشک‌سالی را نشان دادند. همچنین روند تغییرات سالانه شاخص خشک‌سالی به دو صورت SPEI ماهانه و ۱۲ ماهه نشان داده شد (شکل ۴). نمودار SPEI ۱۲ ماهه تصویر واضح‌تری را از وضعیت خشک‌سالی در استان نشان داده است.

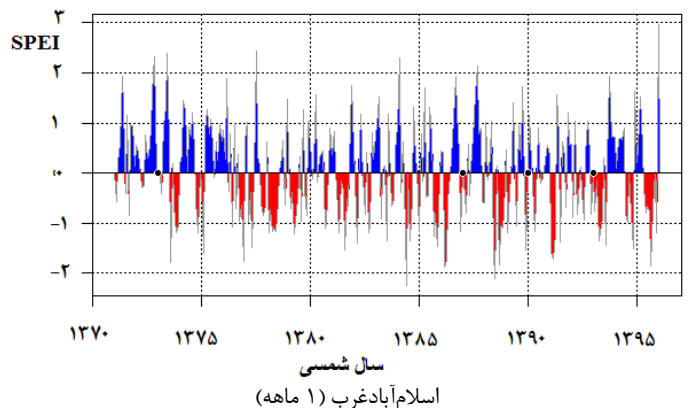
بر اساس این نمودار در بیشتر ایستگاه‌های استان طی دهه اخیر از طول دوره ترسالی‌ها کاسته شده و بر شدت و طول دوره خشک‌سالی‌ها افزوده شد. همچنین بررسی‌های سالانه نشان داد که در غالب نقاط استان سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۷۴ شدیدترین ترسالی‌ها و سال ۱۳۸۶ شدیدترین خشک‌سالی‌ها به وقوع پیوسته است.



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی استان کرمانشاه بر اساس شاخص SPEI در بازه زمانی ده‌ساله (۱۳۸۶-۱۳۹۵)

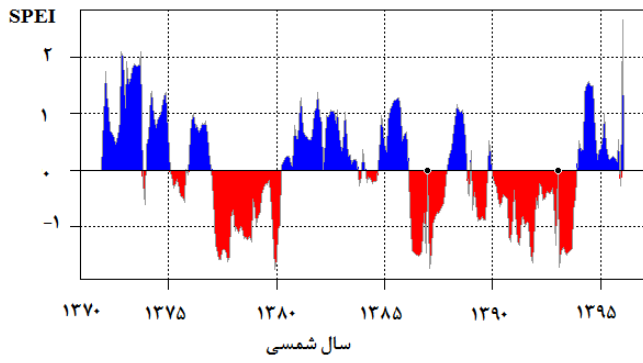


اسلام‌آبادغرب (۱۲ ماهه)

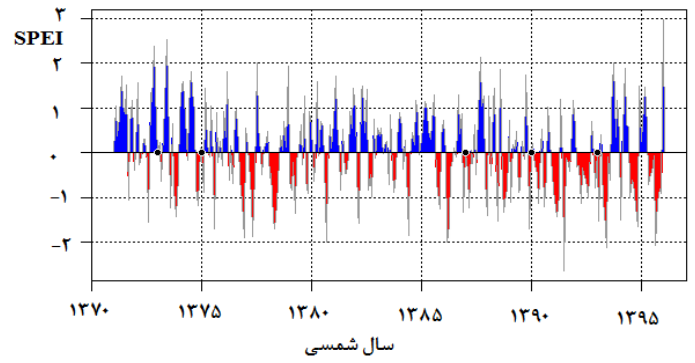


اسلام‌آبادغرب (۱ ماهه)

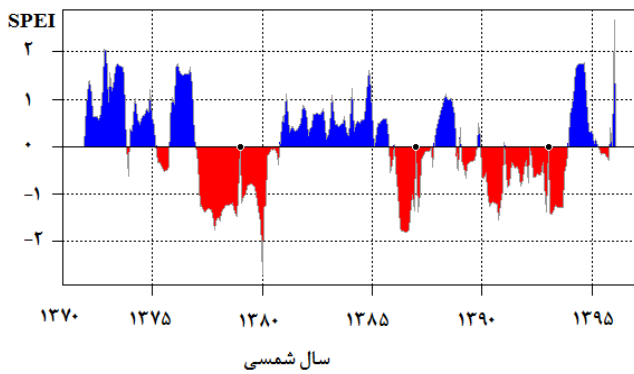
شکل ۴. روند تغییر شاخص بارش، تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI ماهانه و ۱۲ ماهه استان کرمانشاه طی دوره ۲۵ ساله ۱۳۷۰-۹۶



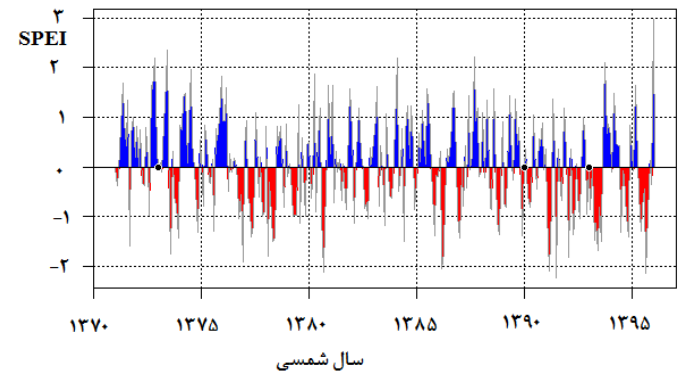
کنگاور (۱۲ ماهه)



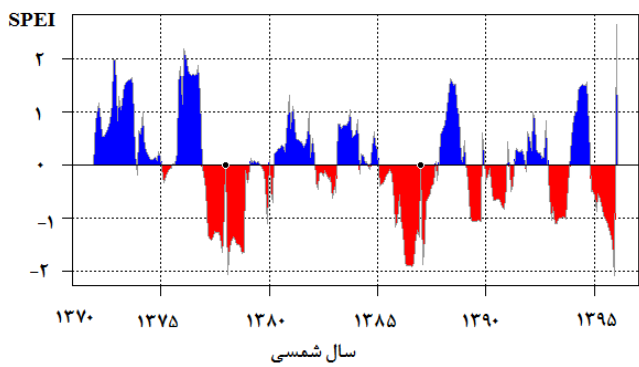
کنگاور (۱ ماهه)



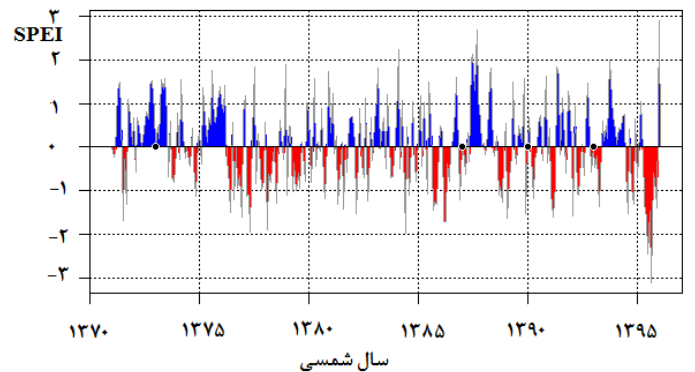
روانسر (۱۲ ماهه)



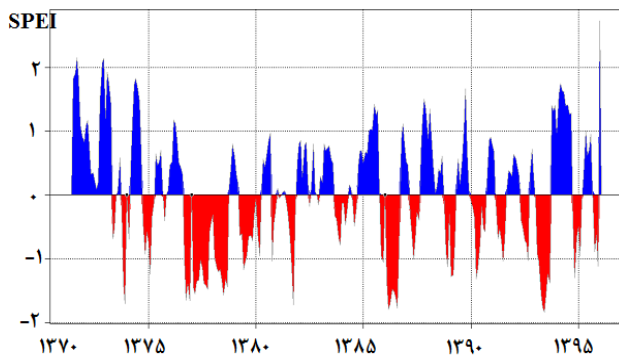
روانسر (۱ ماهه)



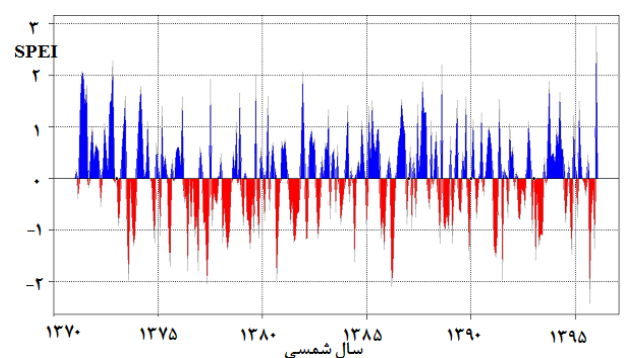
سریل ذهاب (۱۲ ماهه)



سریل ذهاب (۱ ماهه)



کرمانشاه (۱۲ ماهه)



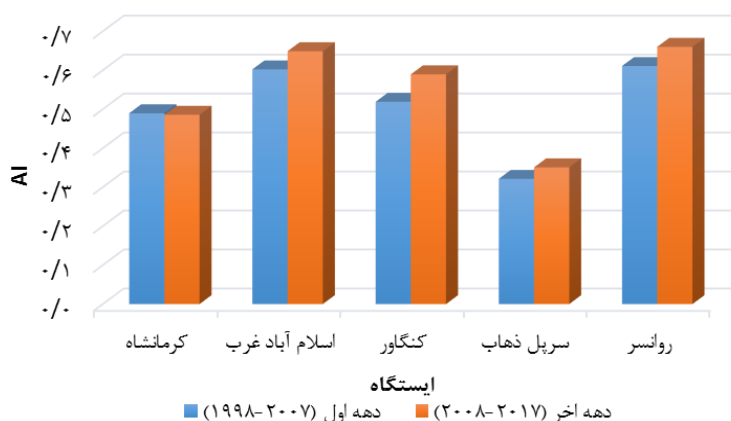
کرمانشاه (۱ ماهه)

ادامه شکل ۴. روند تغییر شاخص بارش، تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI ماهانه و ۱۲ ماهه استان کرمانشاه طی دوره ۲۵ ساله ۱۳۷۰-۹۶

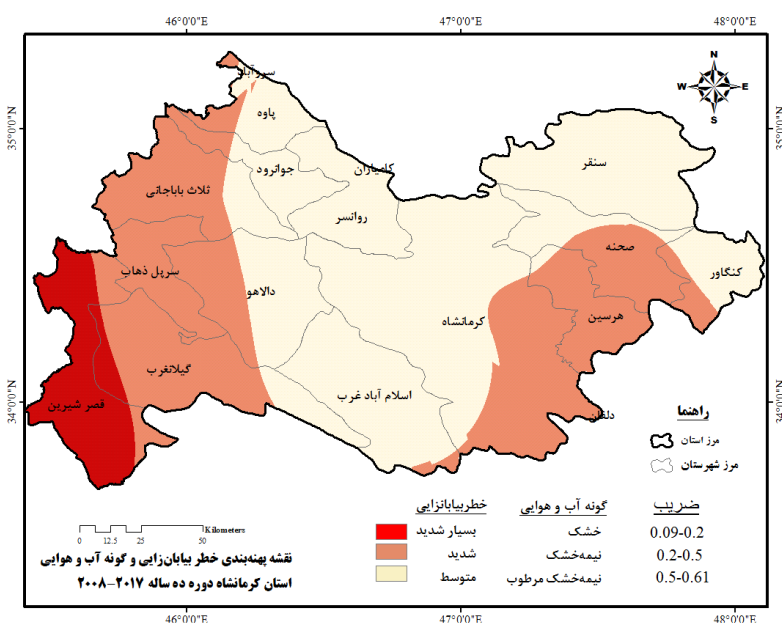
شاخص خشکی (AI) و خطر بیابان‌زایی

بررسی تغییرات شاخص خشکی به صورت دهه‌ای در ایستگاه‌های دارای آمار مناسب صورت گرفت و پس از آن به دلیل کمبود آمار پهنه‌بندی تنها در دوره ۱۰ سال اخیر که تقریباً از لحاظ آماری غالب ایستگاه‌های استان را پوشش می‌داد انجام شد. بررسی دهه‌ای نشان داد که طی دهه اخیر از ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی به جز ایستگاه کرمانشاه که در آن کاهش جزئی رخ داده و شرایط به سمت بیابانی‌تر شدن پیش رفته در دیگر ایستگاه‌ها شاهد افزایش شاخص خشکی و کاهش خطر بیابان‌زایی در دهه اخیر نسبت به دهه قبل از آن بوده‌ایم هر چند استان از نظر خطر بیابان‌زایی در شرایط متوسط تا شدید قرار دارد (شکل

۵). بر این اساس مناطق غرب و جنوب غربی استان در دهه اخیر دارای خطر بیابان‌زایی شدید بوده‌اند. براساس این شاخص شهرستان‌های گیلانغرب، ثلاث باباجانی و سرپل ذهاب و همچنین مناطق جنوب شرقی استان جزء مناطق خشک به شمار آمده و دارای خطر بیابان‌زایی شدید بوده‌اند. در دیگر نقاط استان گونه‌های اقلیمی از نوع نیمه‌خشک و با خطر بیابان‌زایی متوسط بود. برای دهه اخیر نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی و گونه‌های اقلیمی در استان با استفاده از مدل یونپ بدست آمد (شکل ۶). براین اساس در دهه اخیر مناطق غرب و جنوب غربی استان دارای خطر بیابان‌زایی شدید بوده‌اند.



شکل ۵. تغییرات دهه‌ای شاخص خشکی در ایستگاه‌های استان کرمانشاه



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی و گونه‌های اقلیمی استان کرمانشاه در دوره ده ساله ۱۳۸۶-۱۳۹۵

■ بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و تبخیر در نقاط مختلف جهان استفاده می‌شود. از مهم‌ترین مشخصه‌های اقلیمی هر منطقه مقدار بارندگی آن می‌باشد. این مشخصه اقلیمی از دیگر متغیرهای اقلیمی تغییرپذیری بسیار بیشتری دارد و بر منابع آب یک منطقه به‌طور جدی تأثیرگذار است. در مواردی ممکن است تغییرات در بارندگی یک منطقه به ایجاد روند وقوع بارندگی تبدیل شده و باعث شود که به تدریج بارندگی یک منطقه در طول زمان کاهش و یا افزایش یابد.

بررسی میانگین بارش سالیانه استان کرمانشاه نشان داد که در طول دوره ۲۵ ساله مورد بررسی روند تغییر بارش سالانه و در بیش‌تر ماه‌های سال به‌صورت کاهش‌ی ولی غیر معنی‌دار بود. این کاهش در مناطق شمالی و بعد از آن غربی استان از شدت بیش‌تری برخوردار بود. بررسی روند تغییر دما طی دوره ۲۵ ساله مورد بررسی افزایش معنی‌دار دما را در محدوده شهرستان کرمانشاه و افزایش غیر معنی‌دار آن را در سایر نقاط استان نشان داد. چنین روندی منجر به افزایش دمای خاک سطحی و تشدید خشکی و کاهش بیش‌تر رطوبت خاک می‌شود (۲، ۲۰). بیش‌ترین افزایش دمای رخ داده در محدوده شهرستان کرمانشاه بود و بیش‌ترین افزایش ماهانه دما که به‌صورت معنی‌دار در استان رخ داد مربوط به ماه بهمن می‌باشد. بر اساس پژوهش‌های زیادی که در سراسر جهان انجام شده از جمله مجموع گزارش‌های IPCC (۱۷)، این روند افزایش معنی‌دار دما، در اثر افزایش انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای جهانی است. روند افزایشی تشخیص داده شده در ماه‌های گرم که دوره رشد گیاهان در ایران نیز هست، یک واقعیت است که نمی‌توان به راحتی آن را دست‌کم گرفت. واضح است که درجه حرارت یک نوع عنصر اقلیمی غالب است و به تشدید متغیرهای دیگر بوم‌نظام از جمله تبخیر و تعرق و افزایش نیاز آبی گیاهان منجر می‌گردد. که پیامد آن بر

ترکیب و توزیع پوشش گیاهی در مقیاس‌های محلی، ملی و منطقه‌ای اثرگذار می‌باشد. هم‌چنین بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تبخیر سالیانه با روندی افزایشی برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی مواجه بود که به ترتیب در ناحیه مرکزی و سپس غربی استان بیش‌ترین روند افزایشی معنی‌دار را دارا بود. آزمون روند تغییر رطوبت نسبی در استان کرمانشاه نمایان‌گر تغییرات منفی و غیر معنی‌دار در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی به جز ایستگاه کرمانشاه بود. بیش‌ترین کاهش رطوبت نسبی در استان در این ایستگاه کرمانشاه و به‌صورت معنی‌دار رخ داد.

این روند تغییر متغیرهای اقلیمی در کشور به شکلی آرام و خزانده موجب بحران کم‌آبی، خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، شور شدن منابع آب زیرزمینی به‌همراه مهاجرت و آسیب‌های اقتصادی-اجتماعی گردیده است و در ارتباط با برآورد سناریوهای تغییر اقلیم چه خوش بینانه و چه بد بینانه در آینده نیز با شدت‌های مختلف ادامه خواهد داشت (۳، ۷، ۱۶).

بررسی وضعیت شاخص خشک‌سالی و روند تغییرات آن در استان کرمانشاه بیانگر تشدید خشک‌سالی‌ها به‌ویژه در دهه اخیر می‌باشد که در جنوب غربی و شرق استان سریع‌تر و با شدت بیش‌تری نسبت به دیگر مناطق بروز کرده است. با توجه به تعداد سال‌های درگیر با پدیده خشک‌سالی و ادامه روند افزایشی آن در آینده، وقوع خشک‌سالی‌های کشاورزی و کاهش تولید محصول، خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک و کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و البته خشک شدن منابع آبی و هم‌چنین خشک‌سالی‌های اقتصادی-اجتماعی و پیامدهای زیست‌محیطی آن دور از انتظار نیست.

بررسی خطر بیابان‌زایی استان نیز نشان داد که غالب نقاط استان در خطر بیابان‌زایی بسیار شدید تا متوسط قرار دارد. بر اساس مدل یونپ مناطق جنوب غربی استان در معرض خطر بسیار شدید بیابان‌زایی قرار دارند. بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف حدود ۶۱٪ مساحت ایران متأثر از تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی است که در مرکز، غرب و شمال‌غرب از شدت بیش‌تری برخوردار است (۱۸). نتایج تحقیقات پیرامون تجزیه و تحلیل

استان سمنان بر اساس دو شاخص بارندگی و پوشش گیاهی نشان داد که شدت این پدیده در مناطق با سطح خاک لخت و شور افزایش چشمگیر داشته است (۱۱).

با توجه به روند کاهشی بارش و افزایش دما طی سال‌های اخیر باید برنامه‌ها و اقدامات لازم برای جلوگیری از گسترش روزافزون دامنه بیابان‌زایی و خشکسالی حاصل از تغییرات اقلیمی در نواحی که با تخریب شدید سرزمین و کاهش بارندگی مواجه‌اند، متمرکز شود. همچنین لازم است آسیب‌پذیری ناشی از تغییرات اقلیمی در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی مشخص گردد و برآوردی دقیق‌تر از پیامدهای آن بر منابع آب، کشاورزی، نیروی کار و جوامع روستایی در مقیاس محلی انجام گیرد تا به‌توان روند آنرا مدیریت کرد (۱۹، ۲۱، ۳۶). به‌طور کلی بر اساس نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه، روند خشکسالی در ایران و به‌ویژه مناطق نیمه‌خشک جدی است و روندیابی خشکسالی با شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) و تحلیل آن با استفاده از روش من-کندال برای ایران متداول و قابل اطمینان است که می‌تواند تغییر بارش و توزیع مکانی آنرا نیز نمایان سازد (۱۲، ۱۹، ۳۰).

■ سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از طرح تحقیقاتی با شماره مصوب ۰۰۰۹-۰۹-۱۲۷-۹۶۱۰۴۷ می‌باشد. که توسط مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تأمین اعتبار و به استان ابلاغ و طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۶ انجام یافت. بدین‌وسیله از کلیه همکارانی که در این پژوهش ما را یاری نموده‌اند از جمله ریاست محترم مؤسسه مذکور، ریاست محترم بخش تحقیقات بیابان، پژوهش‌گران و کارشناسان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه برای فراهم نمودن کمک‌های مالی، اداری و پژوهشی و اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه که داده‌های هواشناسی لازم را در اختیار پژوهش‌گران قرار دادند، کمال سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

داده‌های هواشناسی از جمله با استفاده از شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI)، بیانگر تشدید فراوانی و مدت خشک‌سالی‌ها در آینده برای غالب نقاط ایران است به‌طوری که در ۳۰ سال آینده با شدت بیشتری ادامه می‌یابد (۱۵، ۲۳). پیامدهای این روند تغییر در ابعاد محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی نگران‌کننده است. پیامد اقتصادی آن در سال ۷۹-۱۳۷۸ حدود ۱۰۸۴۰ میلیارد ریال بوده و به‌طور متوسط ۲۶٪ محصولات کشاورزی را کاهش داده است و خشکیدگی جنگل‌ها، تالاب‌ها و کاهش منابع آب، تشدید پدیده‌های پیش‌روی ماسه‌های روان، گرد و غبار، افت سطح آب‌های زیرزمینی، آتش‌سوزی، مهاجرت اجباری روستاییان از جمله آن است (۱۰). نتایج بررسی سیر تحول متغیرهای مؤثر بر تغییرات خشک‌سالی و بیابان‌زایی استان نشان داد که طی چند سال اخیر عوامل اقلیمی تأثیر زیادی بر افزایش دوره‌های خشک‌سالی و شدت بیابان‌زایی داشته است. بیش‌ترین تغییر معنی‌دار عوامل اقلیمی در محدوده شهر کرمانشاه رخ داده است که شاهد کاهش بارش هم‌زمان با بیش‌ترین افزایش معنی‌دار دما، تبخیر و رطوبت نسبی در این محدوده بوده‌ایم. در این محدوده بیش‌ترین افزایش خطر بیابان‌زایی در استان رخ داده است در دیگر نقاط دنیا از جمله مناطق مختلف کشور چین نیز ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و خطر بیابان‌زایی به اثبات رسیده است (۳۴). با توجه به تغییرات غیرمعنی‌دار اقلیم در دیگر مناطق استان می‌توان خطر زیاد بیابان‌زایی در آن مناطق را به وجود عامل دیگری از جمله مدیریت سرزمین و عوامل انسانی نسبت داد.

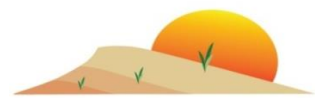
نکته حائز اهمیت در این زمینه، تشدید دامنه و پیامدهای تغییر اقلیم بر اثر فعالیت‌های انسانی است. تغییر کاربری و پوشش گیاهی سطح زمین که در اشکال مختلفی رخ می‌دهد از یکسو بر عواقب آنرا افزایش می‌دهد و از سویی منجر به تشدید تغییرات اقلیمی از طریق افزایش انتشار کربن آلی خاک می‌گردد. به‌طور معمول در مناطقی که پوشش گیاهی سطح زمین زیاد است، این روند نیز شدیدتر است. روندیابی بیابان‌زایی در

■ References

1. Afzali, A., Mahdavi, M. & Zare Chahouki, M.A. (2011). Study Efficiency Thornthwaite Method Comparison with Class A Pan in South Coastal of Iran. *Watershed Management Research* 1(2), 109-114. (in Farsi)
2. 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 Farsi)
3. Alavi, S. H. (1994). Climatic changes, desertification and the Republic of Sudan. *Geo Journal*, 33(4), 393-399.
4. Alizadeh, A. (2006). Principles of Applied Hydrology, 20th Edition, Astan Quds Razavi Publications (Publishing Company), Mashhad, 807 pages. (in Farsi)
5. Amiri, M., & Pourghasemi, H. R. (2019). Comparing Different Methods of Potential Evapotranspiration and Studying Temporal and Spatial Changes in the Mahalou Watershed using GIS. *Watershed Management Research*, 10(19), 22-35. (in Farsi)
6. Araghinejad, S., Ansari Ghoghghar, M., Pourgholam Amigi, M., Liaghat, A. & Bazrafshan, J. (2019). The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 7(21), 13-32. (in Farsi)
7. Asadi Zarch, M. A., Sivakumar, B. & Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *Hydrology*, 526, 183-195.
8. Azizi, G. & Sharifi L. (2017). Spatial Analysis of thunder storm in Iran. *Applied researches in Geographical Sciences*, 17(47), 241-257. (in Farsi)
9. Badger, W.N, Benjaminsen, T.A., Brown, K. & Svarstad. H. (2000). Advancing a Political Ecology of Global Environmental Discourse. Centre of Social and Economic Research on the Global Environment.
10. Bagherpour, M., Seyedian, M., Fathabadi, A., & Mohamadi, A. (2017). Study of Mann-Kendall test performance in detecting the series of autocorrelation. *Watershed Management Science and Engineering*, 11(36), 11-21. (in Farsi)
11. Bazgeer, S., Fakhravar, H., Darban Astane, A. & Shamsipour, A. (2019). 'Assessing Direction of desertification changes in an Arid Region (A Case study: Semnan County, Iran)', *Desert*, 24(2), 217-227.
12. Ghorbani, K., Valizadeh, E. & BararkhanPoor, S. (2018). 'Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran', *Desert Management*, 6(11), 25-38. (in Farsi)
13. Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated area from climatological irrigation data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
14. Doostan R. (2020). Analysis of Drought Researches of Iran. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(4), 53-94. (in Farsi)
15. Ebrahimzadeh, I. & Esmaeilnegad, M. (2017). The Future Challenge of Climatic Refugees Regional Developments Case study: South Khorasan, *Geography and Development*, 15 (48), 1-18. (in Farsi)
16. Ekhtesasi, M.R., & Sepehr, A. (2011). Methods and models to evaluate and produce desertification maps. Yazd University Publications, Yazd. (in Farsi)

17. Ghamghami, M. & Bazrafshan, J. (2012). Prediction of meteorological drought conditions in Iran using Markov chain model. *Soil and Water Resources Conservation*, 1(3), 1-12. (in Farsi)
18. Gharekhani, A. & Ghahreman, N. (2014). Seasonal and Annual Trend of Relative Humidity and Dew Point Temperature in Several Climatic Regions of Iran. *Water and Soil*, 24(4), 636-646. (in Farsi)
19. Ghorbani, K., Valizadeh, E., BararkhanPoor, S. (2018). 'Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran', *Desert Management*, 6(11), 25-38. (in Farsi)
20. Greene, C. (2021) Drought isn't just water, it is living?': Narratives of drought vulnerability in California's San Joaquin Valley, *Geoforum*, 121, 33-43.
21. Haigh, T., Hayes, M., Smyth, J., Prokopy, L., Francis, C. & Ranchers, B.M. (2021). Use of Drought Contingency Plans in Protective Action Decision Making, *Rangeland Ecology & Management*, 74, 50-62.
22. Heidari, S, Goodarzi, M., Shamsipoor, A. A., Bazgir, S., & Abdolahi Kakrudi, A. (2018). Evaluating Statistical Methods for Detecting Trend of Precipitation (Case Study: Kermanshah Province). *Watershed Management Science and Engineering*, 12(42), 81-90. (in Farsi)
23. Hosseinizadeh, A., SeyedKaboli, H., Zareie, H., Akhondali, A. & Farjad, B. (2015). Impact of climate change on the severity, duration, and frequency of drought in a semi-arid agricultural basin. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1), 2-23.
24. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change; The physical science basis-summary for policymakers. Intergovernmental Panel of Climate Change, Stockholm.
25. Javan, K., Azizzade, M., Bashiri, H. & Shahriar, F. (2015). Zoning SPI and DI Drought Indices Using Rainfall Network Data in Northwest of Iran. *Natural Geography*, 8(29), 117-130. (in Farsi)
26. Khodagholi, M., Sabohi, R., Jaferyan, M. & Safari, K. (2016). Climate zoning for evaluation factors affecting dust phenomenon in Ilam, Khuzestan and Boosher Provinces, Iran, Research report, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Report No: 1- 12-29-8803-9007. (in Farsi)
27. Maugeri, M. & Nanni, T. (1998). Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1993. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(3-4), 191-196.
28. Mesbahzadeh T., Mirakbari M., mohseni saravi M., khosravi H. & Mortezaei G. (2019). Study of Current and Future Meteorological Drought Conditions using the CMIP5 Model under RCP scenarios. *Watershed Management Science*, 3(46), 11-21. (in Farsi)
29. Mishra A.K., & Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Hydrology*, 391, 202-216.
30. Nosrati, K., Mohseni Saravi, M., Shahbazi, R. (2014). Application and Comparison of Standardized Precipitation and Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices for Evaluating Meteorological Drought Condition of Tehran Province, *Desert Management*, 2(3), 77-90. (in Farsi)
31. Pouyan, S., Zare, M. & Ekhtesasi, M. (2019). Regional distribution and clustering of dust storm index (DSI) using linear moments approach, *Range and Watershed Management*, 72(1), 29-43. (in Farsi)
32. Purkey, D., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates, D. & Dracup, A. (2008). Robust Analysis of Future Climate Change Impacts on Water for Agriculture and Other Sectors: A Case Study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*, 87(1), 109-22.
33. UNEP, (1991). Stop Deserts Growing. Save Soils. UNEP Calendar 1991, UNEP, Nairobi.

34. Uzuner, C. & Dengiz, O. (2020). Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas, *Ecological Indicators*, 114, 106295.
35. Vicente-Serrano S M, López-Moreno J I, Drummond A, Gimeno L, Nieto R, MoránTejeda E, Lorenzo-Lacruz J, Beguería S & Zabalza, J. (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930-2006). *Climate Research*, 48(2-3), 203– 212.
36. Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A. & Nikbakht, H. (2014). Climatic fluctuations and dusty days in the west and southwest of Iran, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(5), 13-19. (in Farsi)
37. Zhang, C., Xunming, W., Jinchang, L. & Ting, H. (2020) Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation, *Ecological Indicators*, 112, 106141.
38. Zolfaghari, H., Masoumpour Samakosh, J., Shaygan Mehr, S. & Ahmadi, M. (2011). A Synoptic Investigation of Dust Storms in Western Regions of Iran during 2005- 2010 (A Case Study of Widespread Wave in July (2009), *Geography and Environmental Planning*, 22(3), 17-34. (in Farsi)



Investigating the Effect of Climate Change on Drought and Desertification Risk in Kermanshah Province

Kh. Shahbazi^{1*}, M. Heshmati², Z. Saieedifar³

1. Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
 2. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
 3. Ph.D. of Combating Desertification, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- * Corresponding Author: k.shahbazi42@areeo.ac.ir

Received date: 31/12/2020

Accepted date: 06/03/2021

Abstract

Climate change is the most important global challenge, particularly in semi-arid regions. The objective of this study was to investigate the effect of changes in climatic parameters on drought and desertification hazard in Kermanshah province, Iran, using precipitation, temperature, evaporation and relative humidity data during period of 1992 and 2018. Desertification risk was assessed through UNEP index. The results of this study showed that during the last decade, climatic elements in Kermanshah province have undergone significant changes. Among all climatic parameters, changes in air temperature were noticeable, so that the maximum, minimum and average temperature at most stations in Kermanshah province has increased significantly. Relative humidity decreased at most stations and precipitation decreased. These changes have been more evident and significant in Kermanshah city than in other parts of the province. The study of SPEI index showed that all part of the provinces impacted by drought and the southwestern areas are facing with more severe drought. The trend of drought changes in Kermanshah province in most parts of the province during the last decade compared to the decades also showed, an increase in the drought intensity and duration and a decrease in the length of wet duration. The desertification risk is observed in north. The highest desertification risk is observed in the southwestern regions of the province, mainly Somar, Naftshar and Ghasreshirin, but the trend of changes only in Kermanshah showed increased desertification risk due to significant changes in climatic elements.

Keywords: UNEP index; Changing Trend; Relative humidity; Evapotranspiration