دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تحلیل شدت و تداوم دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های مبتنی بر بارش و تبخیر- تعرق

محسن ذبیحی[۱]، رئوف مصطفی‌زاده[۲] و معراج شرری[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)
۳- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۱۰

چکیده

تغییرات زمانی دوره‌های خشک و مرطوب تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی است و بر دسترسی منابع آب و طرح‌های مدیریتی تأثیر خواهد گذاشت. در پژوهش حاضر، دوره‌های خشک و مرطوب در هفت ایستگاه سینوپتیک در غرب ایران (استان کردستان) تحلیل شده است. تعداد ماه‌های متوالی با مقادیر استاندارد بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار صفر با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش و شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق به‌عنوان شاخص‌های مهم پایش خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R تعیین شد. خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس سه‌ماهه محاسبه و طبقه‌بندی شدند. خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب شامل تعداد دوره‌های خشک و مرطوب، حداقل و حداکثر شدت خشکسالی، حداکثر و حداقل و میانگین تداوم خشکسالی محاسبه شدند. بر اساس نتایج، شاخص SPEI متوسط شدت بیش‌تری را برای دوره‌های خشک و مرطوب در تمام ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه برآورد نموده است. بر اساس نتایج، مشخص شد که شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین دوره‌های طولانی خشک و مرطوب تفاوت معنی‌داری ندارند. مقدار SPEI بالاترین تعداد تغییر بین وقوع دوره‌های خشک و مرطوب را برآورد می‌کند که با تغییرات فصلی درجه حرارت و تبخیر و تعرق محاسباتی در ارتباط می‌باشد. هم‌چنین ارتباط خوبی بین شاخص‌ها در شناسایی تعداد ماه‌های مرطوب وجود ندارد، درحالی‌که بین تعداد ماه‌های خشک با استفاده از شاخص‌های مذکور ارتباط مثبت معنی‌داری به‌دست آمد. نتایج نشان داد که نتایج دو شاخص مذکور در تعیین شدت‌های خشک و مرطوب شدید (حدی) با توجه به ضریب همبستگی غیرمعنی‌دار، در یک راستا نیستند، به‌طوری که بر اساس شاخص SPEI تعداد ماه‌هایی با خشکسالی شدید در ایستگاه‌های سنندج و بانه، به‌ترتیب برابر ۱۳ و ۵ ماه بوده است. هم‌چنین در ٤ مورد از ایستگاه‌ها شاخص SPEI حداقل ۱ ماه را به‌عنوان خشکسالی خیلی شدید مشخص نموده است. همبستگی بالا بین شدت دوره‌های مرطوب با کاربرد SPI و SPEI به‌دست آمد. مقایسه شاخص SPEI با دیگر روش‌ها برای درک وقوع و تغییرپذیری وقایع خشک و مرطوب در مناطق اقلیمی مختلف ضروری است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق، شدت و مدت خشکسالی، استان کردستان، SPI، SPEI

مقدمه

تعیین توالی دوره‌های خشک و مرطوب از اهمیت زیادی در مطالعات مرتبط با مدیریت منابع آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است. نظر به پیچیدگی‌های موجود در پدیده‌های هیدرواقلیمی، درک آن نسبت به سایر بلایای طبیعی دشوارتر بوده (۱۵،۴) و مسلماً به اطلاعات بیش‌تر و کامل‌تر جهت مدیریت معضلات و مشکلات منابع آبی ناشی از وقوع دوره‌های خشک در یک منطقه نیاز است. از جمله کاربردهای تعیین دوره‌های مرطوب می‌توان به تولید آب و برنامه‌ریزی کشت، توصیف کمی خشکسالی، سیل‌خیزی و پیش‌بینی و ارزیابی وقوع سیل‌ها اشاره نمود. هم‌چنین امکان محاسبه دقیق میزان تبخیر، تعیین روابط بارش- رواناب به‌منظور کنترل جریان‌های سطحی، مطالعات مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی (۶) از جمله مسائلی است که بر اهمیت بررسی دوره‌های خشک و مرطوب تأکید دارد. بر همین اساس تعیین درجه، شدت، زمان وقوع و خاتمه دوره‌های خشک بسیار مشکل بوده (۳۲) و نیاز به ابزارهایی جهت پایش و ارزیابی دارند. در همین راستا استفاده از شاخص‌ها به‌دلیل سهولت استفاده از آن‌ها ازجمله روش‌های تعیین دوره‌های خشک و مرطوب به شمار می‌رود. هم‌چنین به‌علت محاسبه شاخص‌ها در مقیاس‌های متفاوت زمانی، امکان فراهم نمودن اهداف هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی میسر می‌گردد. اگرچه در تحلیل دوره‌های خشک و مرطوب بایستی عواملی هم‌چون بارندگی، دما، رواناب، رطوبت خاک، تبخیر-تعرق و باد در نظر گرفته شود (۱۱)، اما در این بین، عامل بارندگی به‌دلیل تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر روی سایر عوامل مهم‌تر می‌باشد (۲۹). با این وجود بارش مهم‌ترین عامل در تعیین شروع، شدت و خاتمه دوره‌های خشک و مرطوب می‌باشد (۲۵،۱۶،۱۱،۸). از طرفی از دسترس خارج شدن حدود ۷۰ درصد بارش توسط تبخیر و تعرق (۲) بر اهمیت لحاظ دیگر متغیرها از جمله دما و تبخیر و تعرق برای تعیین خشکسالی تأکید دارد. ضمناً یکسان بودن پاسخ شاخص خشکسالی پالمر به تغییرات مشابه در بزرگی متغیرهای دما و بارش طبق یافته‌های هو و ویلسون (۱۲) به اهمیت نقش دما در تعیین خشکسالی صحه می‌گذارد. در این راستا شاخص‌های استاندارد شده بارش[۱] و استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق[۲] ارائه شده به‌ترتیب توسط مک‌کی و همکاران (۱۴) و ویستنه سرانو و همکاران (۳۰) از جمله شاخص‌های معمول و پرکاربرد در سطح دنیا جهت ارزیابی توالی‌های خشک و مرطوب می‌باشند. مطالعات مختلفی در دنیا و هم‌چنین ایران در

1- Standardized Precipitation Index (SPI)
2- Standardized Precipitation Evaoptranspiration Index (SPEI)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

خصوص تحلیل توالی دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص SPI صورت گرفته است. در این راستا می‌توان به مطالعات پائولو و همکاران (۲۰)، عبدالمالک و قاسم (۱)، رضایی و همکاران (۲۳)، یوسفی و معصوم‌پور سماکش (۳۳) اشاره نمود. هم‌چنین اوتون (۱۹) در پژوهشی از شاخص ترکیبی بارش موثر در مناطق نیمه‌خشک برای کمی‌نمودن شرایط خشکی استفاده نمود و به این نتیجه رسید که علاوه بر مقدار بارش، بایستی از سایر خصوصیات بارش به‌عنوان شاخص خشکی استفاده گردد. سوشاما (۲۶) تغییرات خصوصیات دوره‌های خشکی و پیش‌بینی آن در دو سناریوی تغییر اقلیم بررسی کرده و میزان تغییرات بارش و دوره‌های خشکی در قسمت‌های مختلف کشور کانادا را مشخص نمود. در ایران نیز خلیقی سیگارودی و همکاران (۱۳) در پژوهشی با هدف تحلیل آماری بارش و تعیین سال‌های مرطوب و خشک به این نتیجه دست یافتند که شاخص SPI به‌دلیل تفکیک دقیق‌تر طبقه‌ها در هر یک از پدیده‌های ترسالی و خشکسالی و هم‌چنین دقت بالاتر در جداسازی دوره‌های مرطوب و خشک، به تغییرات بارش حساسیت بیشتری دارد. هم‌چنین مصطفی‌زاده و همکاران (۱۶) از نمودار سه متغیره (بارش، دما، رطوبت نسبی) به‌منظور تحلیل خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI استفاده نمودند و نشان دادند که خشکسالی‌ها معمولاً در رطوبت نسبی کم‌تر از ۶۰ درصد و تقریباً در تمام دامنه‌های دمایی مشاهده می‌شود. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۷) با هدف تحلیل الگوی وقوع دوره‌های پرباران و کم‌باران ماهانه با استفاده از روش آنالیز توانی در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که بر اساس تفسیر نتایج پلات‌های لگاریتمی دوگانه (فراوانی وقوع به ازای طول دوره) می‌توان الگوهای وقوع دوره‌های پرباران و کم‌باران در ایستگاه‌های واقع در مناطق مختلف بارشی را با هم مقایسه نمود. لیکن گزارش‌های محدودی در ایران مبنی بر استفاده از شاخص SPEI به‌منظور تعیین و بررسی دوره‌های خشک و مرطوب ارائه شده است که می‌توان به مطالعه تاج بخش و همکاران (۲۷) و زارع‌ابیانه و همکاران (۳۴) اشاره کرد. در این مطالعات به‌ترتیب پایش خشکسالی براساس شاخص SPEI در دوره آماری یک‌ساله در کشور و پایش خشکسالی بر مبنای شاخص SPEI تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک همدان مورد بررسی قرار گرفتند. بر همین اساس و با توجه به توضیحات فوق و نیز به‌دلیل اهمیت تعیین و تحلیل توالی‌های خشک و مرطوب در مدیریت منابع آب، پژوهش حاضر با هدف تعیین و تحلیل شدت و تداوم دوره‌های خشک و مرطوب با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه‌های هواشناسی استان کردستان در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار R برنامه‌ریزی شده است. تحلیل همبستگی نتایج شاخص‌های SPI و SPEI در برآورد خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب در هریک از ایستگاه‌های مطالعاتی از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی و تحلیل شدت و تداوم توالی‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در استان کردستان صورت پذیرفت. بدین منظور داده‌های هواشناسی و اقلیمی مورد نیاز (حداکثر، حداقل و میانگین دمای روزانه، میانگین ماهانه دما و مجموع بارندگی ماهانه) مربوط به کلیه ایستگاه‌های موجود در استان کردستان اخذ گردید. داده‌های مفقود هر ایستگاه با استفاده از روش همبستگی بازسازی شد و برای آزمون همگنی از روش منحنی جرم مضاعف استفاده شد. سپس با در نظر گرفتن کلیه شرایط و به‌منظور فراهم شدن انجام مقایسه‌ها و تحلیل‌ها اقدام به تعیین دوره آماری مشترک گردید. در این راستا پس از اطمینان از صحت و دقت داده‌ها، نهایتاً ۷ ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری ۱۹ سال (۲۰۱۳-۱۹۹۵) به‌منظور انجام تحلیل‌ها انتخاب گردید. در جدول (۱) نیز اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در تعیین دوره‌های خشک و مرطوب در استان کردستان

Table 1. Climatic characteristics of studied stations for wet and dry spells determination in Kurdistan province

ایستگاه	مشخصه آماری	متوسط بارش ماهانه (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	متوسط درجه حرارت حداقل (درجه سانتی‌گراد)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)
بانه	متوسط	۵۶/۸۳	۱۸/۶۴	۸/۷۳	۱۳/۶۹
	ضریب تغییرات (٪)	۱۰۷/۳۰	۵۶/۶۸	۹۲/۷۸	۶۸/۰۷
بیجار	متوسط	۲۵/۳۳	۱۷/۱۶	۵/۹۶	۱۱/۵۶
	ضریب تغییرات (٪)	۱۰۲/۲۶	۶۴/۵۴	۱۳۳/۸۷	۸۲/۲۳
قروه	متوسط	۲۷/۵۵	۱۷/۷۹	۵/۹۴	۱۱/۸۷
	ضریب تغییرات (٪)	۱۰۸/۲۱	۵۹/۶۶	۱۳۵/۰۳	۷۸/۳۱
مریوان	متوسط	۷۴/۳۳	۲۱/۰۵	۵/۱۴	۱۳/۱۰
	ضریب تغییرات (٪)	۱۱۴/۸۶	۵۰/۰۰	۱۳۰/۰۸	۶۵/۱۶
سقز	متوسط	۳۴/۴۵	۱۸/۹۶	۲/۷۷	۸/۷۸
	ضریب تغییرات (٪)	۱۰۶/۱۳	۵۷/۹۳	۲۵۷/۷۸	۱۰۷/۵۷
سنندج	متوسط	۳۲/۲۹	۲۲/۳۹	۶/۳۵	۱۴/۳۸
	ضریب تغییرات (٪)	۱۱۰/۴۳	۴۸/۱۹	۱۱۵/۳۸	۶۲/۶۱
زرینه	متوسط	۳۱/۱۰	۱۴/۴۲	۱/۹۵	۸/۲۲
	ضریب تغییرات (٪)	۱۰۵/۲۰	۷۴/۷۳	۳۹۹/۲۷	۱۱۲/۵۳

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

در پژوهش حاضر به‌منظور برآورد و مطالعه ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب از شاخص‌های استاندارد شده بارش (SPI) و استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق (SPEI) استفاده گردید. اساس شاخص بارش استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارش برای هر مقیاس زمانی استوار است. طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در شاخص مذکور با استفاده از مقادیر به‌دست آمده از SPI که بین ۲- و ۲+ می‌باشد دوره‌های خشکسالی و ترسالی مشخص شده و نیز شدت‌های آن‌ها به‌صورت نرمال، ملایم، متوسط، شدید و خیلی شدید معلوم گردید. در این روش، دوره خشکسالی زمانی شروع می‌شود که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. در ضمن مقادیر تجمعی SPI، نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. مقدار مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه و مقدار منفی حالت عکس آن است (۹).

شاخص SPEI توسط ویسنته سرانو در سال ۲۰۰۹ ارائه شد و شکل توسعه داده شده شاخص بارش استاندارد است که در آن علاوه بر بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل نیز در نظر گرفته می‌شود و در آن اثر افزایش دما بر بیلان آب لحاظ می‌گردد. شاخص SPEI می‌تواند در مقیاس‌های مختلف ۱ تا ۴۸ ماهه محاسبه گردد و در شرایط کمبود داده نیز می‌توان از روش ساده تورنت‌وایت برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده نمود. دامنه تغییرات شاخص SPEI نیز مانند شاخص بارش استاندارد بوده ولی محدویت‌های شاخص بارش استاندارد را تا حد زیادی برطرف نموده است.

در شاخص SPI دوره‌های خشک و مرطوب فقط بر اساس مقادیر بارندگی محاسبه می‌شوند. در صورتی‌که در شاخص SPEI از متغیر دما در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و تعیین دوره‌های خشک و مرطوب استفاده می‌شود. به‌منظور محاسبه شاخص SPI از الحاقیه آماری "SPI" و نرم‌افزار آماری R استفاده شد (۱۸،۱۶). در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تورنت وایت (۲۸) استفاده شد.

هم‌چنین شاخص SPEI نیز با استفاده از الحاقیه "SPEI" در محیط نرم‌افزار R محاسبه شد (۷). قابل ذکر است که در الحاقیه مذکور بر اساس نوع داده‌های در دسترس می‌توان برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه- PE از روش تورنت وایت، تبخیر و تعرق مرجع- ET_0 از روش‌های هارگریوز و پنمن-مانتیث استفاده نمود (۲۸،۱۰،۷،۳) که در این تحقیق روش تورنت وایت به‌کار گرفته شده است. در ادامه به‌منظور ارزیابی و مقایسه نتایج شاخص‌های SPI و SPEI در برآورد خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب از تحلیل همبستگی و آزمون معنی‌داری ضرایب و نیز تحلیل گرافیکی استفاده شد (۳۱،۲۱).

نتایج و بحث

وقوع دوره‌های خشک و مرطوب یکی از مشخصه‌های نوسانات طبیعی مربوط به چرخه هیدرواقلیمی است. در پژوهش حاضر شدت و تداوم دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های مبتنی بر بارش و تبخیر-تعرق مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از تعیین دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس جداول استاندارد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) و در جدول (۳) ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در استان کردستان ارائه شده است.

بر اساس نتایج جدول (۲) و هم‌چنین طبقه‌بندی استاندارد خشکسالی، تعداد ماه‌های محاسباتی دوره خشکسالی شدید و بسیار شدید شاخص SPEI در کلیه ایستگاه‌ها بیش‌تر از تعداد ماه‌ها بر اساس شاخص SPI است. در حالی‌که در مورد دوره‌های نرمال و ترسالی ملایم تا متوسط این وضعیت برعکس می‌باشد و شاخص SPI تعداد ماه‌های بیش‌تری در این دوره‌ها را تعیین نموده است که نتایج پژوهش شفیعی و همکاران (۲۴) را تأیید می‌نماید.

جدول ۲- تعداد ماه‌های دوره‌های خشک و مرطوب براساس جدول استاندارد SPI در ایستگاه‌های مطالعاتی استان کردستان

Table 2. The number of wet and dry months based on SPI standard table in the studied stations of Kurdistan province

ایستگاه	بانه		بیجار		قروه		مریوان		سقز		سنندج		زرینه	
شاخص	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI
ترسالی بسیار شدید	۰	۵	۳	۴	۳	۸	۲	۲	۰	۳	۳	۳	۴	۵
ترسالی شدید	۲۱	۶	۱۲	۶	۱۶	۴	۱۴	۱۱	۱۴	۱۰	۱۵	۴	۱۷	۴
ترسالی ملایم تا متوسط	۲۶	۲۱	۲۷	۱۳	۱۶	۱۵	۲۳	۸	۳۰	۱۵	۱۵	۱۱	۲۲	۱۹
نرمال	۱۳۵	۱۹۶	۱۴۸	۱۶۷	۱۵۳	۱۶۵	۱۴۹	۲۰۷	۱۴۰	۱۶۵	۱۵۸	۲۱۰	۱۴۴	۱۶۵
خشکسالی ملایم تا متوسط	۴۱	۰	۲۵	۳۸	۲۸	۳۶	۲۷	۰	۳۴	۳۵	۲۳	۰	۲۷	۳۵
خشکسالی شدید	۵	۰	۱۲	۰	۸	۰	۱۲	۰	۱۰	۰	۱۳	۰	۱۴	۰
خشکسالی بسیار شدید	۰	۰	۱	۰	۴	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰

دلیل این امر را می‌توان در متغیرهای مورد بررسی در هر شاخص جستجو نمود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در طبقات خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید تعداد ماه‌های محاسبه شده توسط دو شاخص در هر ایستگاه و ایستگاه‌های مختلف به‌دلیل لحاظ نقش دما در شاخص SPEI و نیز اهمیت نقش دما و محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه مورد نظر متفاوت می‌باشد. در همین راستا در ایستگاه زرینه شاخص SPEI با تعیین ۱۴ ماه خشکسالی، حداکثر تعداد وقوع خشکسالی را به خود اختصاص داده است.

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۳) می‌توان استنباط نمود که متوسط حداقل و حداکثر شاخص خشکسالی محاسبه شده توسط روش SPEI در همه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

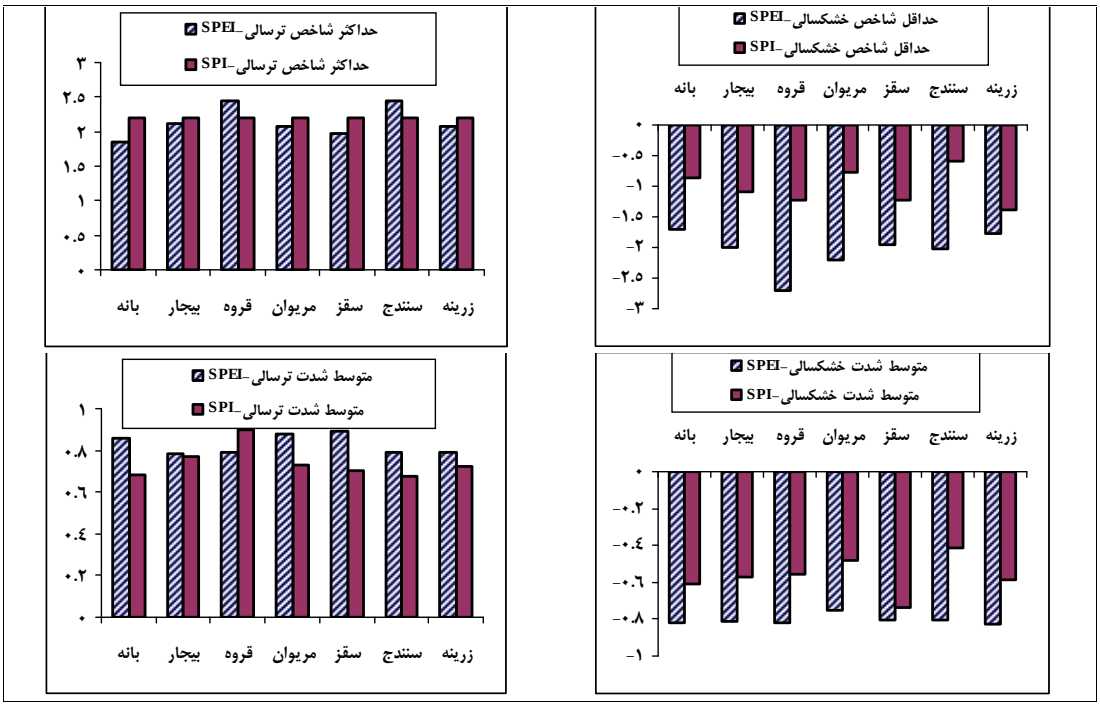
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

ایستگاه‌ها بیش‌تر است. دلیل این امر را می‌توان به در نظر گرفتن عامل درجه حرارت در تعیین دوره‌های خشک و مرطوب نسبت داد. در بین حداقل شاخص خشکسالی نیز ایستگاه قروه در شاخص SPEI و ایستگاه زرینه در شاخص SPI بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در خصوص تعداد تغییر وضعیت‌های مشاهده شده توسط دو شاخص مورد مطالعه، دامنه تغییرات شاخص SPI بیش‌تر از SPEI می‌باشد. در شکل‌های (۱ و ۲) ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب در هر ایستگاه بر اساس شاخص SPI و SPEI نشان داده شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی استان کردستان

Table 3. Characteristics of wet and dry spells based on SPI and SPEI indices in studied stations of Kurdistan province

ایستگاه	بانه		بیجار		قروه		مریوان		سقز		سنندج		زرینه	
شاخص	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI
حداکثر شاخص ترسالی	۱/۸۵۳	۲/۲۰۰	۲/۱۲۱	۲/۲۰۰	۲/۴۴۸	۲/۲۰۰	۲/۰۶۵	۲/۲۰۰	۱/۹۶۳	۲/۲۰۰	۲/۴۴۷	۲/۲۰۰	۲/۰۸۴	۲/۲۰۰
حداقل شاخص خشکسالی	-۱/۶۹۸	-۰/۸۶۲	-۲/۰۰۷	-۱/۰۸۵	-۲/۶۹۷	-۱/۲۲۱	-۲/۲۰۰	-۰/۷۶۵	-۱/۹۵۲	-۱/۲۲۱	-۲/۰۲۱	-۰/۵۸۹	-۱/۷۶۲	-۱/۳۸۳
متوسط شدت ترسالی	۰/۸۵۷	۰/۶۸۴	۰/۷۸۲	۰/۷۶۸	۰/۷۹۱	۰/۹۰۱	۰/۸۸۰	۰/۷۲۷	۰/۸۹۳	۰/۷۰۵	۰/۷۹۱	۰/۶۷۳	۰/۷۹۳	۰/۷۲۴
متوسط شدت خشکسالی	-۰/۸۲۱	-۰/۶۰۷	-۰/۸۱۳	-۰/۵۷۰	-۰/۸۱۶	-۰/۵۵۶	-۰/۷۴۸	-۰/۴۸۴	-۰/۸۰۶	-۰/۷۴۰	-۰/۸۰۷	-۰/۴۱۴	-۰/۸۲۵	-۰/۵۹۰
تعداد تداوم دوره ترسالی	۱۱۳	۱۱۸	۱۲۰	۹۶	۱۱۷	۸۸	۱۰۷	۱۰۴	۱۰۹	۱۰۴	۱۱۶	۱۰۰	۱۱۹	۱۰۶
تعداد تداوم خشکسالی	۱۱۵	۱۰۷	۱۰۸	۱۲۹	۱۱۱	۱۳۱	۱۲۱	۱۲۰	۱۱۹	۱۱۳	۱۱۲	۱۲۴	۱۰۹	۱۲۲
حداکثر تداوم دوره مرطوب (ماه)	۶	۷	۸	۷	۷	۶	۱۱	۸	۹	۷	۸	۸	۷	۸
حداکثر تداوم دوره خشک (ماه)	۱۱	۶	۶	۱۰	۷	۱۰	۱۵	۸	۶	۱۲	۷	۸	۶	۷
تعداد تغییر وضعیت	۱۱۳	۱۱۸	۱۲۰	۹۶	۱۱۷	۸۸	۱۰۷	۱۰۴	۱۰۹	۱۰۴	۱۱۶	۱۰۰	۱۱۹	۱۰۶

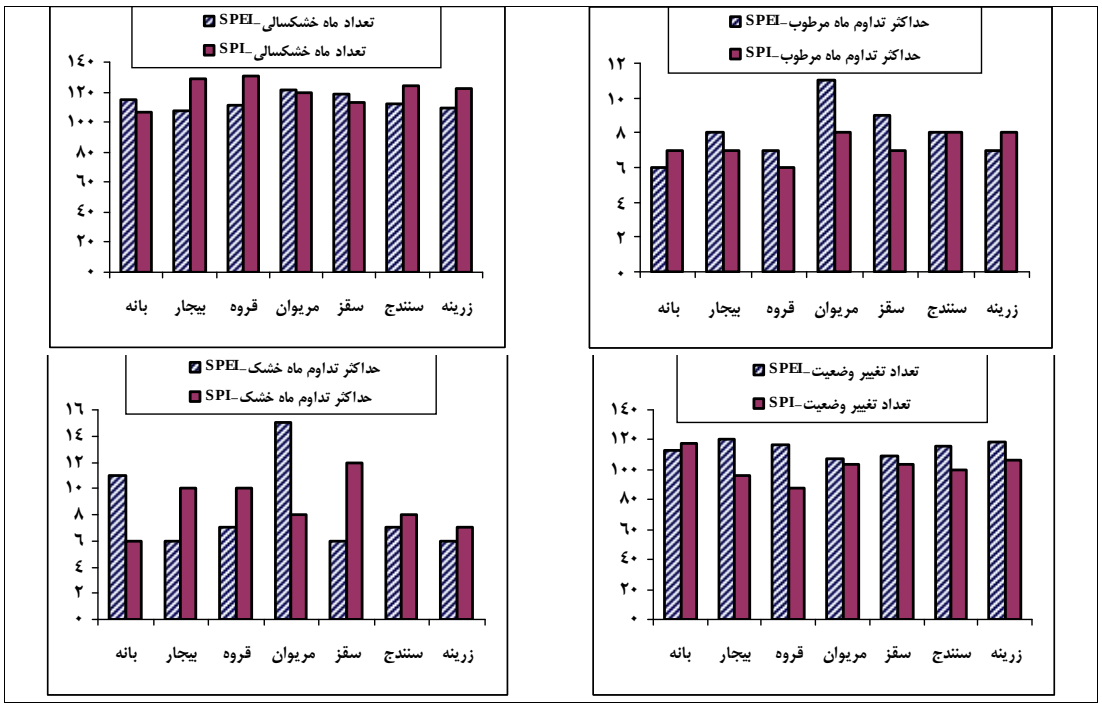


شکل ۱- خصوصیات مقادیر و شدت دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Amount and intensity characteristics of wet and dry spells based on SPI and SPEI indices in studied stations

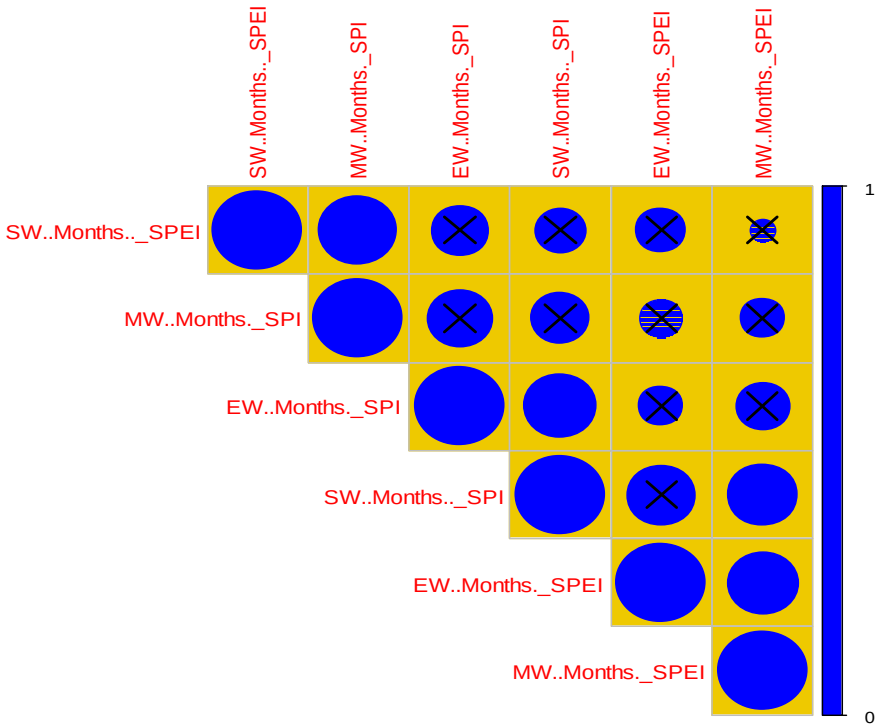
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]



شکل ۲- خصوصیات تداوم دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 2. Duration characteristics of wet and dry spells based on SPI and SPEI indices in studied stations



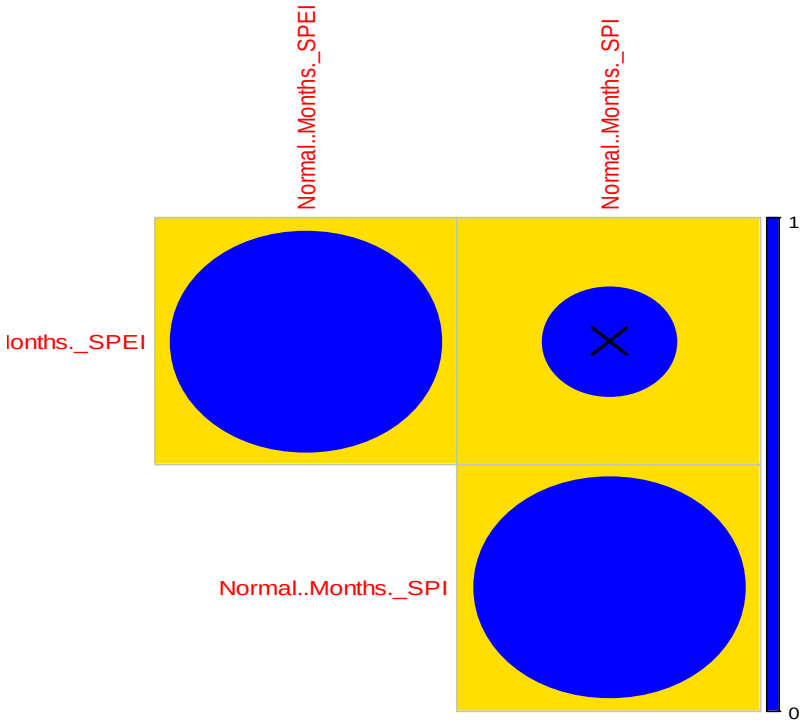
شکل ۳- همبستگی بین شاخص SPI و SPEI در تعداد ماه‌های دوره‌های ترسالی بر اساس جدول استاندارد

Figure 3. Correlation of SPI and SPEI indices in the number of wet and dry months according to SPI standard table

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

مقادیر همبستگی بین متغیرهای مختلف استخراج شده از شاخص‌های مورد استفاده بر اساس اندازه دایره‌ها و نیز عدم وجود همبستگی معنی‌دار از طریق علامت ضربدر در وسط دایره بین متغیرهای مورد بررسی قابل استنباط است، علاوه بر این مقادیر عددی ضریب همبستگی از اعداد محور عمودی شکل‌ها قابل قرائت می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۳)، مشخص می‌گردد که بین تشخیص ماه‌های دارای ترسالی شدید SPEI و SPI همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. در این مورد شاخص SPEI تعداد ماه‌های دارای ترسالی شدید بیش‌تری نسبت به شاخص SPI در کلیه ایستگاه‌ها را مشخص نموده است (جدول ۲). در بین طبقات ترسالی تنها ترسالی شدید SPI با ترسالی متوسط SPEI، ترسالی بسیار شدید SPEI با ترسالی متوسط SPEI و ترسالی بسیار شدید SPI با ترسالی شدید SPI ارتباط معنی‌دار وجود داشته و در سایر طبقات ترسالی موجود در شکل (۳) ارتباطی مشاهده نمی‌شود.

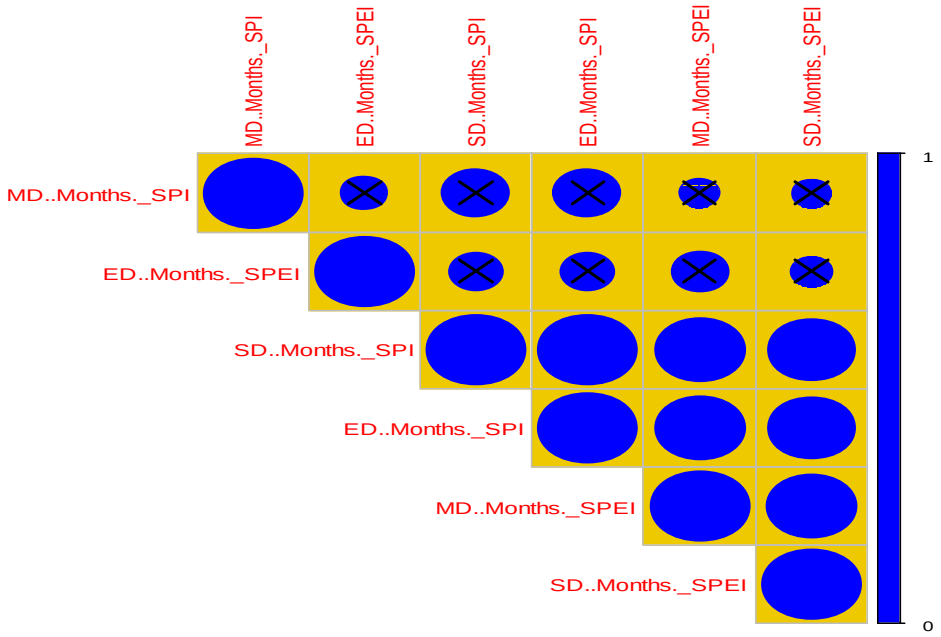


شکل ۴- همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در تشخیص تعداد ماه‌های نرمال بر اساس جدول استاندارد
Figure 4. Correlation of SPI and SPEI indices in determining the number of normal months according to SPI standard table

همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، بین تعداد ماه‌های نرمال به‌وقوع پیوسته در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI هیچ ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. لیکن شاخص خشکسالی استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق تعداد ماه‌های نرمال کم‌تری را نسبت به شاخص استاندارد شده بارش تشخیص داده است (جدول ۲). دلیل این امر را شاید بتوان نقش کم‌تر درجه حرارت و تبخیر و تعرق در زمان‌های با بارندگی زیاد دانست. در همین راستا شاخص SPI ایستگاه مریوان با تشخیص ۲۰۷ ماه نرمال بیش‌ترین تعداد ماه نرمال را به‌خود اختصاص داده است و ایستگاه بانه نیز با تعیین ۱۳۵ ماه نرمال طبق شاخص SPEI کم‌ترین ماه دوره نرمال را دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

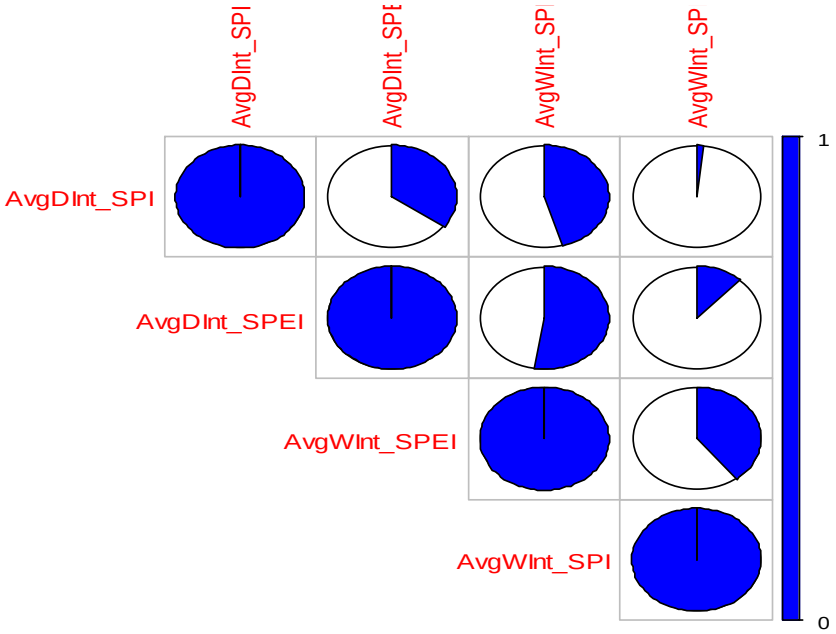
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]



شکل ۵- همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین تعداد ماه دوره‌های خشک بر اساس جدول استاندارد
Figure 5. Correlation of SPI and SPEI indices in the number of wet and dry months according to SPI standard table

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۵) بین تعداد ماه‌های دوره خشکسالی متوسط SPI با خشکسالی شدید و بسیار شدید SPI و هم‌چنین خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید SPEI همبستگی معنی‌دار در ایستگاه‌های مطالعاتی مشاهده نشد. بر اساس نتایج پژوهش در بین تعداد ماه‌های خشکسالی تشخیصی توسط شاخص‌های SPI و SPEI بیش‌ترین همبستگی بین خشکسالی بسیار شدید SPI و خشکسالی شدید SPI در استان کردستان مشاهده شد.

هم‌چنین، نتایج همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در تعیین میانگین شدت وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در شکل (۶) نشان داده شده است.

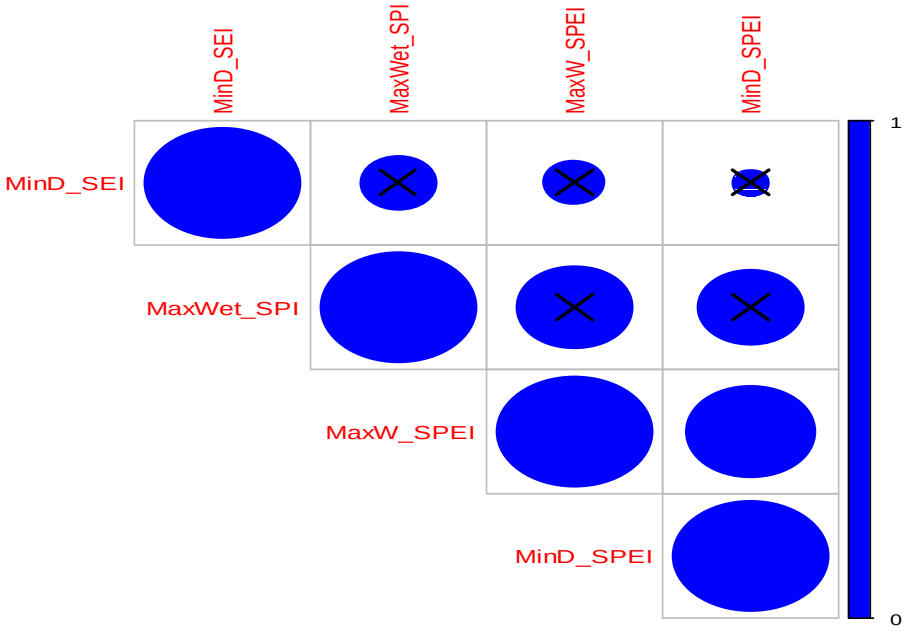


شکل ۶- همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین میانگین شدت وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی
Figure 6. Correlation of SPI and SPEI indices in determining the average occurrence intensity of wet and dry spells

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

با دقت در نتایج شکل (۶)، مشخص شد که کم‌ترین همبستگی شدت خشکسالی متوسط SPI و شدت ترسالی متوسط وجود دارد. در همین خصوص حداکثر همبستگی را شدت خشکسالی متوسط SPEI با شدت خشکسالی متوسط SPI نشان دادند.

شکل (۷) نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص SPI و SPEI در تعیین حداقل و حداکثر شدت وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی را نشان می‌دهد.



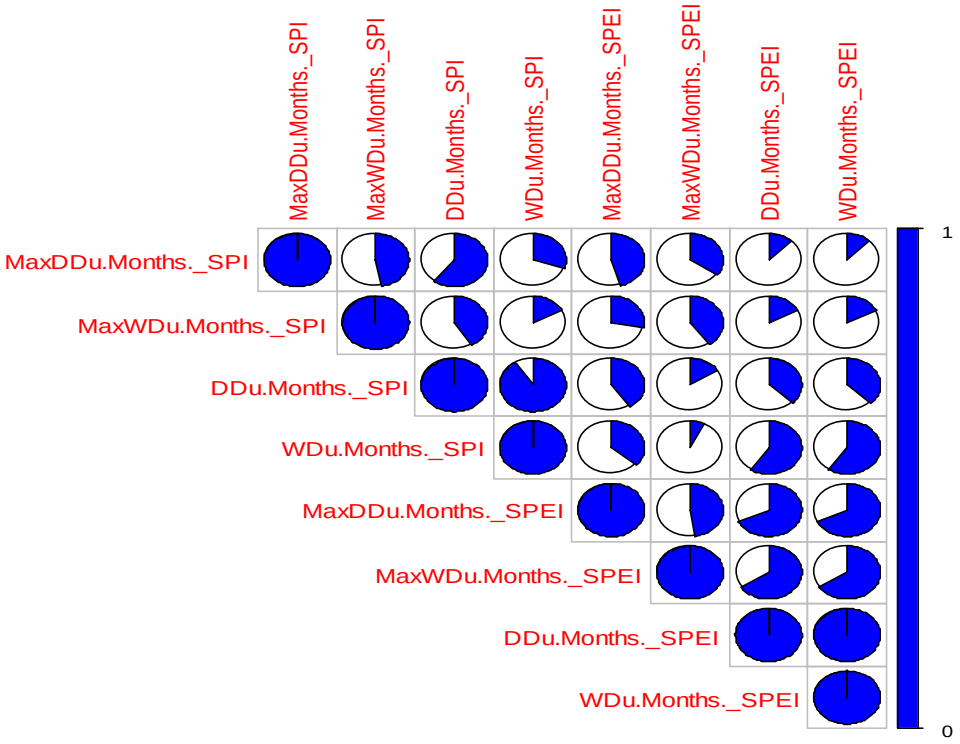
شکل ۷- همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین حداقل و حداکثر شدت وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی

Figure 7. Correlation of SPI and SPEI indices in determining the minimum and maximum occurrence intensity of wet and dry spells

بر اساس نتایج، تنها بین دوره‌های دارای حداکثر شدت وقوع ترسالی SPEI و حداقل شدت وقوع خشکسالی SPEI همبستگی وجود دارد (شکل ۷). در سایر متغیرهای مورد بررسی در شکل (۷) همبستگی معنی‌دار وجود ندارد و بیش‌ترین عدم همبستگی نیز بین حداقل شدت وقوع خشکسالی SPEI و حداقل شدت وقوع خشکسالی SPI مشاهده شده است. همبستگی بین شاخص SPI و SPEI در تعیین تعداد ماه‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی ارئه شده است (شکل ۸).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]



شکل ۸– همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین تعداد ماه‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی
Figure 8. Correlation of SPI and SPEI indices in determining the number of wet and dry spells months

نتایج ارائه شده در شکل (۸) نشان می‌دهد که بین تعداد ماه‌های تعیین شده دوره‌های ترسالی و خشکسالی طبق شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI درجات همبستگی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. بدین صورت که کم‌ترین همبستگی بین تداوم ترسالی SPI و تداوم ترسالی حداکثر وجود دارد و بیش‌ترین همبستگی مربوط به تداوم خشکسالی SPEI و تداوم ترسالی SPEI می‌باشد.

بر اساس نتایج پژوهش، شاخص SPEI در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه توانسته است خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را مشخص نماید که با نتایج پائولو و همکاران (۲۰) در یک راستا می‌باشد. قابل ذکر است که نتایج شاخص‌های SPI و SPEI در تعیین تعداد ماه‌ها و دوره‌های نرمال تا مرطوب در ایستگاه‌ها (جدول ۲) به هم نزدیک‌تر است که با نتایج رضیئی و همکاران (۲۲) و پائولو و همکاران (۲۰) مبنی بر همبستگی بیش‌تر شاخص‌های مذکور در مناطق و دوره‌های مرطوب هم‌خوانی دارد. هم‌چنین بر اساس نتایج، مقادیر حداکثر شاخص ترسالی بر اساس شاخص SPI در همه ایستگاه‌ها بیش‌تر از SPEI است، در حالی‌که مقادیر منفی شاخص حداقل (خشکسالی) در روش SPEI بیش‌تر برآورد شده است. باید اشاره شود که هر چند تعداد تغییر وضعیت وقایع خشک و مرطوب مشخصه مناسبی برای نمایش تغییرات تداوم دوره‌های خشک و مرطوب نیست، اما می‌تواند برای نمایش تغییرات ماهانه مقادیر بارندگی، دما و تبخیر–تعرق مناسب باشد، که این خصوصیت توالی دوره‌های خشک و مرطوب توسط شاخص SPEI به تعداد بیش‌تری برآورد شده است. این یافته‌ها با نتایج زولینا و همکاران (۳۵) در یک راستا می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که شاخص SPEI می‌تواند ابزار مناسبی برای تشخیص تغییر روند وقوع دوره‌های خشکی با در نظر گرفتن عامل درجه حرارت در شدت‌های متفاوت و مناطق مختلف باشد که نتایج پژوهش انصاری و همکاران (۵) نیز این امر را تأیید می‌نماید. مقایسه خصوصیات خشکسالی و توالی دوره‌های خشک و مرطوب حاصل از شاخص SPEI با سایر شاخص‌های متداول جهت دست‌یابی به یک جمع‌بندی نهایی در سایر ایستگاه‌ها و مناطق کشور در راستای نتایج پژوهش حاضر توصیه می‌گردد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

منابع

1. Abdulmalek, A.A. and Y.T. Qassem. 2013. An analysis of dry spells patterns intensity and duration in Saudi Arabia. Middle-East Journal of Scientific Research, 13: 314-327.
2. Abramopoulos, F., C. Rosenzweig and B. Choudhury. 1988. Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration. Journal of Climate, 1: 921-941.
3. Allen, R.G., M. Smith, L.S. Pereira and A. Perrier. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin of the International Commission on Irrigation and Drainage, 35-92.
4. Ansari, H. and K. Davari. 2008. Dry period zoning using standardized precipitation index in GIS environment. Geographical Research, 60: 97-108 (In Persian).
5. Ansari, M., Gh. Noori and S. Fotohi. 2016. Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). Journal of Watershed Management Research, 7: 152-158 (In Persian).
6. Bazuhair, S.A., A. Gohani and Z. Sen. 1997. Determination of monthly wet and dry periods in Saudi Arabia. International Journal of Climatology, 17: 303-311.
7. Begueria, S. and S.M. Vicente-Serrano. 2013. SPEI: Calculation of the standardized precipitation-evapotranspiration index. R package version 1.6. https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/index.html
8. Chang, T.J. and X.A. Cleopa. 1998. A proposed method for drought monitoring. Water Resources Bulletin, 27: 275-281.
9. Edward, D.C. and T.B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales. Climatology Report 972, Dept. Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, 155 pp.
10. Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120: 1132-1139.
11. Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83: 1149-1165.
12. Hu, Q. and G.D. Willson. 2000. Effect of temperature anomalies on the palmer drought severity index in the central United States. International Journal of Climatology, 20: 1899-1911.
13. Khalighi Sigaroudi, Sh., A. Sadeghi Sangdehi, Kh. Ousati and Y. Ghavidel Rahimi. 2009. The study of drought and wet year assessment models for stations in Mazandaran province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 16 (1-34): 44-54 (In Persian).
14. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In proceedings of the 8th conference on applied climatology, 17: 179-183.
15. Mostafazadeh, R. and M. Zabihi. 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan province). Journal of the Earth and Space Physics, 42: 633-643 (In Persian).
16. Mostafazadeh, R., M. Shahabi and M. Zabihi. 2015. Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan province, Iran. Geographical Planning of Space Quarterly Journal, 17: 129-140 (In Persian).
17. Mostafazadeh, R., M. Vafakhah and M. Zabihi. 2015. Analysis of monthly wet and dry spell occurrence by using power laws in Golestan Province, Iran. Ecohydrology, 2: 29-43 (In Persian).
18. Neves, J. 2012. SPI: compute SPI index. R package version 1.1. https://cran.r-project.org/web/packages/spi/index.html.
19. Otun, J.A. 2010. Using precipitation effectiveness variables in indexing drought in semi-arid regions. African Journal of Agricultural Research, 5: 1784-1793.
20. Paulo, A.A., R.D. Rosa and L.S. Pereira. 2012. Climate trends and behavior of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12: 1481-1491.
21. R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL: http://www.R-project.org/.
22. Raziei, T., I. Bordi, L.S. Pereira and A. Sutera. 2011. Detecting impacts of a changing climate on drought characteristics in Iran. Proceedings of the VI International Symposium of EWRA on Water Engineering and Management in a Changing Environment, 113-126 pp. Catania, Italy.
23. Rezaee, M., A. Rezvani Mahmuee and S. Khaksefidi. 2014. Meteorological drought investigation through percent of normal rainfall during the period from 1972 to 2013 A.H. in Zahedan. International Journal of Basic Sciences & Applied Research, 3: 137-141.
24. Shafiei, M., M. Raeini-Sarjaz and R. Fazoula. 2014. Drought monitoring of Arjan-Parishan plain (Study area of Parishan Lake of Fars province). Journal of Watershed Management Research, 5: 46-63 (In Persian).
25. Soltani, S. and S. Sadati. 2007. Drought mapping over Isfahan province using standardized precipitation index (SPI). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 1(2): 64-67 (In Persian).
26. Sushama, L., N. Khaliq and R. Laprise. 2010. Dry spell characteristics over Canada in a changing climate as simulated by the Canadian RCM. Global and Planetary Change, 74: 1-14.
27. Tajbakhsh, S., N. Eisakhani and A. Fazl Kazemi. 2015. Assessment of meteorological drought in Iran using standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). Journal of the Earth and Space Physics, 41: 313-321 (In Persian).
28. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38: 55-94.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

29. Vafakhah, M. and M. Rajabi. 2005. Efficiency of meteorological drought indices for monitoring and assessment of drought in Bakhtegan, Tashk and Maharlo Lakes watershed. Desert, 2: 369-382 (In Persian).
30. Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno. 2009. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index- SPEI. Journal of Climate. 23: 1696-1718.
31. Wei, T. 2013. Corrplot: Visualization of a correlation matrix. R package version 0.73. http://CRAN.R-project.org/package=corrplot.
32. Wilhite, D.A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. Chapter 1, In D.A. Wilhite (Edited), drought: a global assessment, Natural Hazards and Disasters Series, Routledge Publishers, U.K, pp. 3-18.
33. Yousefi, Y. and J. Masoompour Samakosh. 2014. Temporal-spatial variability of the severest dry spells in the north-west of Iran. Desert, 19-1:17-25.
34. Zare Abyaneh, H., M. Ghabaei Sough and A. Mosaedi. 2015. Drought monitoring based on Standardized Precipitation Evaoptranspiration Index (SPEI) under the effect of climate change. Journal of Water and Soil, 29: 384-392 (In Persian).
35. Zolina, O., C. Simmer, K. Belyaev, S.K. Gulev and P. Koltermann. 2013. Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years. Journal of Climate, 26: 2022-2047.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]

Analysis of Wet and Dry Spells Intensity and duration using Precipitation-Based and Evapotranspiration Influenced Indices

Mohsen Zabihi[1], Raoof Mostafazadeh[2] and Meraj Sharari[3]

1- PhD Student, Tarbiat Modares University
2- Assistant Professor, University of Mohaghegh Ardabili (Corresponding Author: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)
3- Assistant Professor, University of Mohaghegh Ardabili
Received: July 5, 2015 Accepted: May 30, 2016

Abstract

Spatio-temporal variability of wet and dry spells can be controlled by climate variability within a watershed and will affect availability of water resources and management plans. The application of the wet-dry spell analysis is presented for seven synoptic stations in the western part of Iran (Kurdistan Province). Numbers of consecutive months with standardized amount greater or less than the zero value were determined using Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) as meteorological drought monitoring indices using R programming software. The characteristics of wet-dry spells which are parameters derived from 3-month SPI and SPEI indices were quantified and used to classify drought occurrence in the study area. Several drought parameters, such as number of wet-dry months/spells, maximum-minimum of drought intensity, max/min and average duration, were compared. The SPEI values calculated higher average intensity of wet and dry events in all stations in the study area. It is found that there is not a significant difference between SPI and SPEI indices in determining the long wet-dry spell durations. The SPEI value determines the highest number of change points between wet and dry spell occurrence which can be related to seasonal variation of temperature and calculated evapotranspiration. There is not a good correlation between SPI and SPEI in identification of the number of wet months, whereas, a significant positive correlation obtained between calculated number of dry spells using employed indices. Results reveal that the SPI and SPEI tools are not in agreement in detection of extreme wet and dry intensities according to insignificance of correlation coefficient. In this regard, the severe drought condition were identified to be 13 and 5 months in the Sanandaj and Baneh stations, respectively. Also the SPEI index were recognized at least 1 month as extreme drought at four stations. A strong correlation was found between the intensity of wet periods through applying SPI and SPEI. Comparison of the SPEI with other methods is necessary to understand the occurrence and variability of wet-dry events through different climatic regions.

Keywords: Climate, Drought duration and intensity, Kurdistan Province, SPEI, SPI, Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.125]