مقاله پژوهشی **شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7**

پایش اثرات خشکسالی بر شاخص‌های محیطی حاصل از سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱

(مطالعه موردی: مراتع استان اصفهان)

هادی اسکندری دامنه[۱]، حامد اسکندری دامنه[۲]، حسن خسروی *[۳]، احمد گیلوری[۴] و محسن عادلی ساردوئی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

چکیده

با توجه به خسارت شدید خشکسالی به جوامع و بخش‌های مختلف مخصوصا جوامع گیاهی و رطوبت خاک در پژوهش حاضر سعی شده است تا با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارش شاخص خشکسالی SPEI استخراج گردد و هم‌چنین در ادامه با داده‌های ماهواره‌ای دریافت شده و تحلیل و پردازش آن‌ها شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و رطوبت خاک CWSI محاسبه گردید. سپس به روند تغییرات هر کدام از این شاخص‌ها طی بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ پرداخته شد و در انتها رابطه همبستگی این شاخص‌ها با خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج روند تغییرات خشکسالی در استان اصفهان نشان می‌دهد که استان اصفهان در طول دوره زمانی ۱۹ سال، خشکسالی‌های متعددی را تجربه کرده است که شدیدترین این خشکسالی‌ها در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ در این استان دیده شده است و به‌دنبال این خشکسالی در این سال‌ها حداقل مقدار شاخص پوشش گیاهی و رطوبت خاک نیز مشاهده شد. بررسی روند شاخص‌های SPEI، EVI و CWSI نشان داد که روند افزایشی این شاخص‌ها به‌ترتیب ۸۸/۵۴، ۱۳/۱۴ و ۹۰/۷۲ درصد و روند کاهشی آن‌ها ۲/۹۳، ۷۸/۳۳ و ۹/۲۸ درصد در استان اصفهان می‌باشد. این درحالی است که از این مقدار افزایش در این شاخص‌ها به‌ترتیب ۶/۹۳، ۶/۳۲ و ۶۳/۵۶ درصد در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است و از مقادیر کاهشی این شاخص‌ها به‌ترتیب ۰/۳۳، ۷/۴۵ و ۸/۷۵ درصد در همین سطح معنی‌دار می‌باشد. بررسی همبستگی بین شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص رطوبت خاک و پوشش گیاهی نشان داد که اثر شاخص خشکسالی بر رطوبت خاک و پوشش گیاهی به‌ترتیب در ۸۷/۲۳ مثبت و در ۵۶/۵۶ درصد از استان اصفهان منفی می‌باشد که کاهش کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و رطوبت خاک را سبب می‌گردد. بدیهی است اطلاعات تولید شده با استفاده از این داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای کمک شایانی به سیاست‌مداران و برنامه‌ریزان در مواجهه با خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی و رطوبت خاک خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاخص خشکسالی، شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت خاک.

[۱] - دکتری بیابانزدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
[۲] - دانشجوی دکتری بیابانزدایی، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
[۳]- دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
*: نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir
[۴] - دکتری بیابانزدایی، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
[۵] - استادیار گروه اقتصاد و ترویج کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

مقدمه

خشکسالی به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در سراسر جهان شناخته می‌شود؛ که در هر منطقه با هر اقلیمی ممکن است رخ دهد (۱ و ۳۰) و باعث خسارت هنگفتی به بخش‌های مختلف گردد و افراد بیش‌تری را نسبت به سایر بلاهای طبیعی در سرتا سر دنیا به خود درگیر نموده است (۱۶، ۴۰ و ۱۰). کشور ایران نیز این قاعده مستثنی نمی‌باشد به‌طوری‌که به‌دلیل قرار گرفتن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشکسالی‌های گوناگونی را با درجات متعدد رخداد در خود تجربه نموده است (۹). یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین ابزارهای در دسترس برای شناسایی و پایش کیفی و کمی خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌باشد (۱۲). یکی از شاخص‌های بسیار مهم که به کمک آن می‌توان به این پدیده پی برد می‌توان به شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل[1] اشاره نمود. برآورد این شاخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود بارش و افزایش دما همراه است، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به‌طوری‌که با کمک این شاخص می‌توان به اثرات مستقیم و غیر مستقیمی متعددی که این پدیده مخرب بر روی جوامع مختلف ایجاد می‌کند پی برد. از جمله جوامعی که به‌طور مستقیم و غیر مستقیم از پدیده خشکسالی متأثر می‌شود می‌توان به جوامع گیاهی و رطوبت خاک اشاره نمود به‌طوری‌که آثار آن بر روی این جوامع به‌صورت تدریجی ظاهر می‌شود و کاهش کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و رطوبت خاک را سبب می‌گردد. مشاهده این اثرات با استفاده از علم سنجش از راه دور قابل تشخیص می‌باشد (۱۳ و ۲۴). به‌طوری‌که با توجه به توسعه صنعت ماهواره‌ای، این علم در سال‌های اخیر، ابزار بسیار مناسبی برای پایش و تخمین پوشش گیاهی و رطوبت خاک فراهم نموده است. استفاده از سنجش از دور در مقیاس‌های بزرگتر به‌دلیل فراهم کردن اطلاعات کافی و نیز صرف‌جویی در هزینه و زمان، ایجاد پوشش مکانی وسیع، سطح قابل قبولی از اطمینان را در مقایسه با اندازه‌گیری‌های سنتی ارائه نماید و نقش مهمی در مدیریت و پایش خشکسالی، پوشش گیاهی و رطوبت خاک و اثرات متقابل آن‌ها ایفا نماید (۳۵). بنابراین با کمک فن‌آوری‌های سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان میزان پوشش گیاهی و مقدار رطوبت خاک را در مناطق خشک و نیمه‌خشک در بازه‌های زمانی متعدد پایش نمود و با توجه به کاهش تدریجی پوشش گیاهی و رطوبت خاک، پدیده مخرب خشکسالی را هشدار داد و از پیامدهای ناشی از آن جلوگیری کرد (۴۱)، که در همین راستا به تعدادی از شاخص‌های که برای ارزیابی خشکسالی به کمک سنجش از راه دور استفاده می‌شود؛ می‌توان به شاخص‌های اکولوژیکی از قبیل پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق[2] (ET) (۲۴)، شاخص ایستگاه هواشناسی از قبیل بارندگی و هم‌چنین متغیرهای هیدرولوژیکی از قبیل رطوبت خاک، رواناب، سطح آب زیرزمینی، سطح دریا و سطح برف اشاره کرد (۲۸، ۲۹، ۳۶، ۴، ۶ و ۴۴).

یکی از مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص استرس آبی است که از نسبت بین تبخیر و تعرق به تبخیر و تعرق پتانسل به‌دست می‌آید و برای ارزیابی خشکسالی استفاده می‌گردد که این شاخص نوعی شاخص تنش آب برای محصولات گیاهی قلم‌داد می‌شود، برای این مفهوم جکسون و ایدسو (۱۹۸۱) شاخص تنش آب محصول[3] (CWSI) و موران و همکاران (۱۹۹۴) شاخص کمبود آب[4] (WDI) را پیشنهاد دادند. علاوه بر این، روش شاخص رطوبت یک رویکرد است برای پایش اثرات خشکسالی در مقیاس‌های مختلف معرفی شده است (۵۰، ۱۴ و ۷). ویسنت سرانو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم شاخص تنش آبی محصولات از رابطه بین تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل میزان تنش وارده به گیاهان را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات زیادی با پایش تبخیر و تعرق و رطوبت خاک با شاخص پوشش گیاهی گیاهان به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر رطوبت خاک و کارایی پوشش گیاهی پرداختند (۳۹، ۴۶ و ۱۷). مارتینز- فرناندز و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود از شاخص مبتنی بر رطوبت خاک برای بررسی خشکسالی استفاده کرده‌اند. در این مطالعه با استفاده از شاخص رطوبتی SWDI اثرات کمبود رطوبت بر تولیدات

[1] -Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
[2]- Evapotranspiration
[3]- Crop Water Stress Index (CWSI)
[3]- Water Deficit Index (WDI)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

گیاهی را برآورد کردند که این تخمین با ضریب تبیین R^2=۰/۸۱ برآورد مناسبی نشان داده است. وی و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه شاخص رطوبت-خشکی و بارندگی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری مقدار رطوبت خاک را محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین شاخص رطوبت–خشکی و رطوبت خاک حاصل از داده‌های میدانی نسبت به سایر پارامترهای مورد بررسی همبستگی بالایی برقرار بوده است به‌طوری‌که بین این دو پارامتر ضریب تبیین ۰/۶۱ دیده شده است.

با استفاده از این مطالعات می‌توان تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی را با دقت بیش‌تری ارزیابی کرد، هرچند که هر شاخص دارای نقاط قوت و ضعف است که باید به‌طور واضح درک شود و در طراحی سیستم‌های هشدار زودرس خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی از تغییرات دما و بارش پیروی می‌کند، بنابراین بررسی همزمان پارامترهایی اقلیمی مانند دما و بارش و هم‌چنین روند آن‌ها در پارامترهای ترکیبی تبخیر و تعرق پتاسیل و واقعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۳۲). استان اصفهان به‌علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک از این قاعده مستثنی نیست به‌طوری‌که با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر این استان و کمبود بارش و خشکسالی‌های متوالی و خشک شدن رودخانه دائمی و پر آب زاینده‌رود در آن به‌علت احداث سدهای متعدد برروی آن یکی از استان‌های در معرض خطر در کشور محسوب می‌شود. به‌طوری‌که با آگاهی دانستن از وضعیت خشکسالی و پوشش گیاهی می‌توان چشم‌انداز فهم و درک مناسبی از وضعیت خشکسالی و پوشش گیاهی در این استان ارائه داد و از اثرات این پدیده در درازمدت و هم‌چنین اثرات مخرب اکولوژیکی، پدید آمدن بحران‌های اجتماعی جلوگیری کرد. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی شده است تا با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارش، شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل استخراج شود و با تحلیل و پردازش شاخص‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، رابطه همبستگی بین این شاخص‌ها با شاخص خشکسالی تعیین شود. بدیهی است اطلاعات تولید شده با استفاده از این داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای کمک شایانی به سیاست‌مداران و برنامه‌ریزان در مواجهه با خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی و رطوبت خاک خواهد نمود.

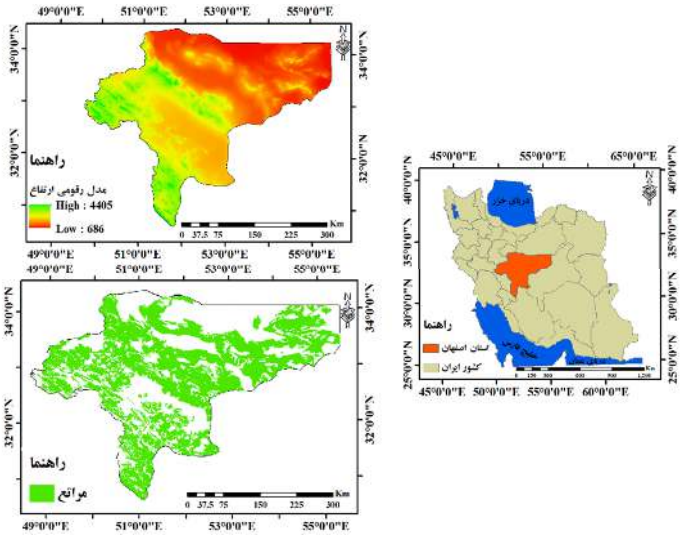
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در این تحقیق استان اصفهان با مساحت ۱۰۶۱۷۹ کیلومترمربع با مختصات °۳۰ و ″۴۲ تا °۳۴ و ″۳۰ عرض شمالی و°۴۹ و″۳۶ تا °۵۵ و″۵۴ طول شرقی می‌باشد. با توجه به وسعت و گسترگی این استان و قرار گرفتن در منطقه خشک مرکزی ایران دارای اقیلم، خاک و پوشش گیاهی متنوع می‌باشد. تغییرات شدید ارتفاع از سطح دریا بین ۶۸۶ تا حدود ۴۴۰۵ متر نوسان دارد و ارتفاع متوسط آن حدود ۱۶۰۵ متر است و اغلب ارتفاعات در این استان دارای جهت شمال غربی-جنوب شرقی است. متوسط کل بارش استان در حدود ۲۴۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه استان تقریبا ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد است (۱۱). بیوم عمده استان اصفهان شامل اراضی مرتعی می‌باشد. شکل ۱ موقعیت این استان در کشور ایران (شکل ۱، الف)، تغییرات ارتفاعی (شکل ۱، ب) و کاربری مرتع (شکل ۱، ج) را نشان می‌دهد (۵۲).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

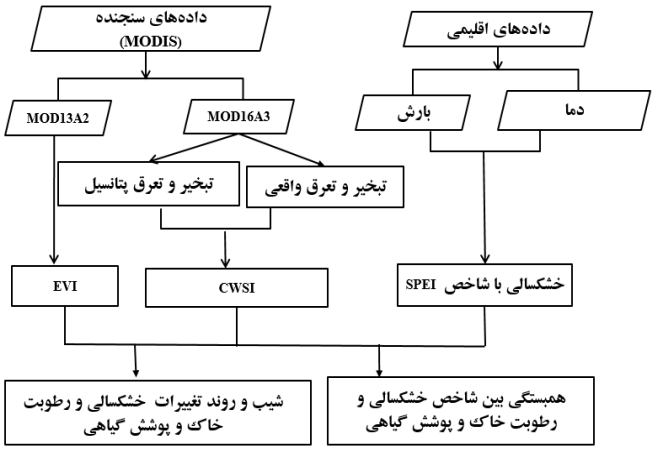
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]



شکل ۱: الف: موقعیت استان اصفهان درکشور ایران، ب: نقشه تغییرات ارتفاعی و ج: نقشه کاربری اراضی

روش تحقیق

در این تحقیق داده‌های بارش و دمای سالانه ایستگاه هواشناسی در استان اصفهان جهت بررسی پدیده خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل طی دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ از سازمان هواشناسی استان اصفهان تهیه گردید و هم‌چنین با استفاده از اطلاعات سنجش از راه دوری شاخص‌های پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در این بازه زمانی از سایت USGS تهیه شد. پس از پردازش آن‌ها، به‌بررسی اثرات خشکسالی بر این دو شاخص محیطی پرداخته شد که مراحل انجام تحقیق به‌شرح زیر می‌باشد (شکل، ۲): برای پردازش و تجزیه تحلیل داده‌ها در این تحقیق از نرم‌افزارهای GIS10.5، ENVI5.3 و IDRISI SELVA استفاده گردید.



شکل ۲: چهارچوب مراحل انجام تحقیق

شاخص خشکسالی SPEI

شاخص بارش- تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد (SPEI) توسط ویسنت- سرانو (۲۰۱۰) به‌عنوان یک شاخص اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد (اسکندری دامنه،

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

۲۰۲۰) (۱۲). معادله ترازمندی آب اقلیمی به‌صورت معادله ۱ تعریف شده است (۳۳).

$$D_i = P_i - PET_I \quad (1)$$

که P و PET به‌ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و I شماره ماه مورد نظر است. پس از محاسبه مقادیر D، از رهیافتی همانند شاخص بارش استاندارد برای محاسبه SPEI استفاده می‌شود. برای این منظور، مجموع مقادیر سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اگر x سری تجمعی D در پنجره زمانی معین باشد، در مرحله بعد یک توضیح احتمالی مناسب برای سری x برازش می‌یابد. طبق بررسی‌های محققین ویسنت-سرانو (۲۰۱۰) توزیع لوگ لوجستیک سه پارامتری کارایی مناسبی در مدل‌سازی سری x دارد. فرم تابع چگالی احتمال توزیع مذکور به‌صورت معادله ۲ بیان شده است.

$$f(x)\frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (2)$$

که در آن α، β و γ به‌ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ و x سری تجمعی مقادیر D در پنجره زمانی معین است. طبقه‌بندی SPEI همانند SPI است و برای طبقه‌بندی مقادیر آن می‌توان از آستانه‌های مندرج در جدول ۴ استفاده کرد (۲۰ و ۳). این شاخص برای ۱۵ ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقه که دارای پایه زمانی مشترک و پراکنندگی مناسب بودند، به‌دست آمد سپس نقشه رستری مربوط به آن برای سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۱ با استفاده از روش درون‌یابی IDW در نرم‌افزار ARCGIS10.5 تهیه گردید (۱۱).

جدول ۱: طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل شده به روش شاخص SPEI (۴۵).

ترسالی بسیار شدید	۲ <
ترسالی شدید	۱/۹۹ تا ۱/۵
ترسالی متوسط	۱/۴۹ تا ۱
نزدیک به نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی۲- >

شاخص EVI

برای بررسی پوشش گیاهی در این پژوهش، از شاخص ارتقا یافته پوشش گیاهی (EVI) حاصلاز تصاویر ماهواره ترا سنجنده مودیس (MOD13A2) به‌دست می‌آید، استفاده شد. سنجنده MOD13A2، شاخص ارتقا یافته پوشش گیاهی با قدرت تفکیک مکانی (رزولیشن) ۱ کیلومتر در بازه زمانی ۱۶ روزه تولید می‌کند. این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، به‌جزء در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد. شاخص EVI از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (۳۴ و ۵۳).

$$EVI = G \times \frac{NIR - R}{L + NIR + C_1 R - C_2 - B} \quad (3)$$

که در آن NIR، بازتاب در باند فروسرخ نزدیک و RED انعکاس در باند قرمز و B انعکاس در باند آبی است (۲۳). در این رابطه L فاکتور تعدیل کننده خاک، C_1 و C_2 ضرایب تصحیح کننده آئروسل در باند قرمز با استفاده از باند آبی می‌باشند و به‌طور معمول G=۲/۵ C_1 =۶ و C2=۷/۵ و ۱ =C2 می‌باشند، مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ می‌باشد (۱۹). هر چه پوشش گیاهی متراکم‌تر باشد این شاخص به‌سمت ۱+ و هر چه پوشش گیاهی کم تراکم‌تر باشد به‌سمت ۱- میل می‌نماید، به‌طوری‌که این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی از ۰/۱ (تنک) تا ۰/۸ (متراکم) می‌باشد (۴۳، ۲۳ و ۳۷).

شاخص CWSI[1]

در این مطالعه برای محاسبه رطوبت خاک از شاخص شاخص خشکی CWSI استفاده شد. برای محاسبه این

[1]- Crop Water Stress Index (CWSI)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

شاخص از داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل از محصولات ماهانه سنجنده مودیس MOD16A3 با اندازه سلولی ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ استفاده شد. شاخص CWSI براساس تعادل انرژی سطح زمین با استفاداز رابطه (۴) محاسبه گردید (۲۲ و ۲۱):

$$CSWI = 1 - \frac{ET}{PET} \quad (۴)$$

در این فرمول ET و PET به‌ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشند. دامنه عددی شاخص CSWI بین صفر تا یک می‌باشد که این مقادیر، شاخص خشکی را از کم به زیاد نشان می‌دهند.

آنالیز آماری

بررسی روند تغییرات

روند تغییرات شاخص EVI، CSWI و SPEI در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ برای هر پیکسل تصویر با استفاده از رگرسیون خطی براساس رابطه (۵) شبیه‌سازی گردید:

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{j=1}^{n} j \times X_j - \sum_{j=1}^{n} j \times \sum_{j=1}^{n} X_J}{N \times \sum_{j=1}^{n} j^2 - \left[\sum_{j=1}^{n} j\right]^2} \quad (۵)$$

که در این رابطه θ_{slope} شیب تغییرات شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، n سال‌های مورد استفاده در پایش، Xi مقدار سالانه شاخص مد نظر برای سال j، $\theta_{slope} > ۰$ و $\theta_{slope} < ۰$ به‌ترتیب نشان دهنده شیب تغییرات مثبت و منفی در میزان شاخص مربوطه می‌باشد (۵۳).

آنالیز همبستگی بین شاخص بین شاخص SPEI، EVI و CSWI

از ارتباط بین شاخص‌های EVI، CSWI و شاخص SPEI با استفاده از آنالیز همبستگی به‌منظور بررسی روند تخریب اراضی استفاده گردید (رابطه۶).

$$R_{x.y} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - X)(y_i - y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2 \times \sum_{i=1}^{n}(y_i - y)^2}} \quad (۶)$$

Rx.y ضریب همبستگی ساده بین x و y است، xi مقدار شاخص مستقل سال iام، yi متغیرهای مستقل مثل SPEI سال iام و i شماره سال‌ها است (۵۵).

نتایج

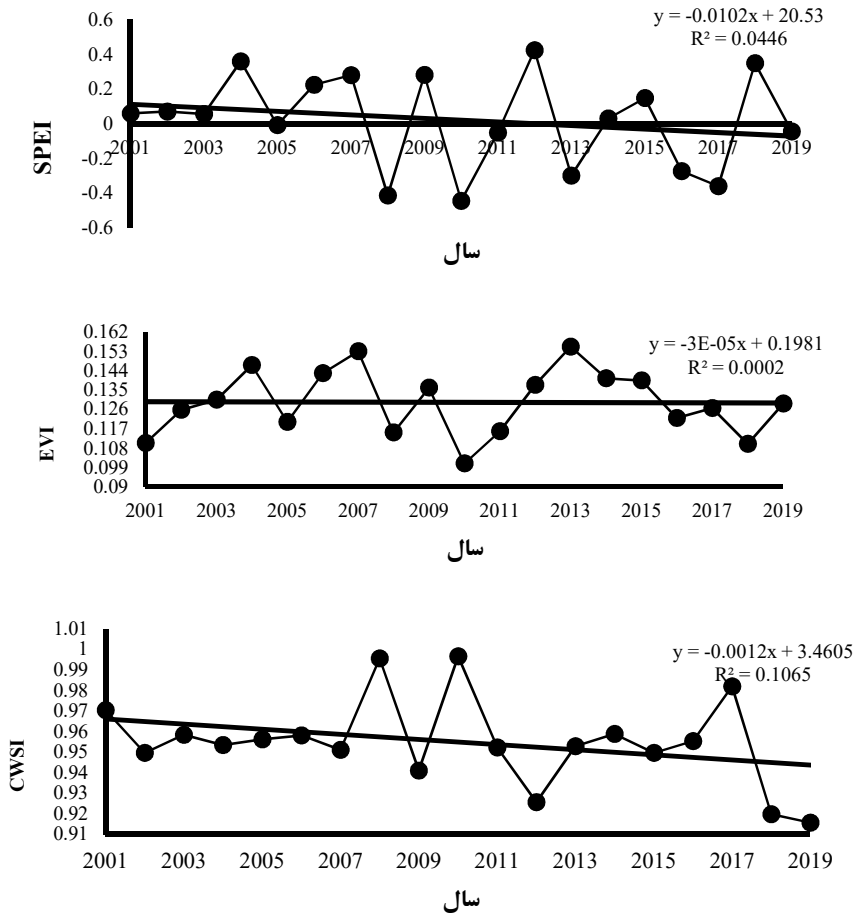
بررسی زمانی و مکانی شاخص‌های خشکسالی EVI، CWSI و SPEI

بررسی روند متوسط شاخص‌های SPEI، EVI و CWSI در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱ در استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI نشان می‌دهد که روند خشکسالی رو به افزایش می‌باشد که از بیش‌ترین این شاخص به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ با مقادیر ۰/۴۴-، ۰/۰۴۱- و ۰/۳۵- بوده که در طبقه خشکسالی نزدیک به نرمال قرار می‌گیرد. این درحالی است که مقادیر زیاد این شاخص در به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۸ با مقادیر ۰/۴۲، ۰/۳۶ و ۰/۳۴ می‌باشد که بیانگر خشکسالی نزدیک به نرمال می‌باشد. در حالت کلی این استان در این بازه زمانی ۱۹ ساله خشکسالی‌های متعدد را به‌خود تجربه کرده است (شکل ۳، الف). بررسی مکانی تغییرات خشکسالی نشان می‌هد که در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ بیش‌تر سطح استان دچار خشکسالی‌های متوسط تا خیلی شدید بوده که حداکثر خشکسالی‌ها در قسمت‌های جنوبی و غربی استان را دربرگرفته است، این درحالی است که در سایر سال‌ها بیش‌تر استان خشکسالی نرمال تا ترسالی‌ها را مشاهده کرده است (شکل ۴). بررسی روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی EVI نشان داد که در این بازه زمانی ۱۹ ساله استان با شیب کم در حال افزایش است. به‌طوری حداقل مقدار متوسط پوشش گیاهی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و به‌ترتیب ۰/۱۰، ۰/۱۱۱ و ۰/۱۱۵ مشاهده شده است. هم‌چنین حداکثر مقدار این شاخص در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۰۷ به‌ترتیب ۰/۱۵۵ و ۰/۱۵۳ می‌باشد (شکل ۳، ب). بررسی مکانی شاخص پوشش گیاهی EVI نشان می‌دهد که در بیش‌ترین مقدار این شاخص در قسمت‌های مرکزی اطراف زاینده‌رود و غرب و قسمت‌های جنوبی و مساحت کمی در قسمت‌های شمالی استان مشاهده شده است درحالی‌که در سایر قسمت‌های استان مقادیر کم تا متوسط است این شاخص دیده شده است (شکل ۵). بررسی روند تغییرات ۱۹ ساله شاخص رطوبت خاک CWSI نشان داد که در این بازه زمانی این شاخص روند کاهشی داشته که این کاهش روند معنی‌داری را نشان نداده است. براساس این شکل حداکثر مقدار این شاخص به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۷ و ۲۰۰۱ به‌ترتیب مقدار ۰/۹۹۶، ۰/۹۹۵، ۰/۹۸۱ و ۰/۹۷۰ بوده است. مقادیر کم این شاخص در ۲۰۱۹، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۲ به‌ترتیب ۰/۹۱۵، ۰/۹۱۹ و ۰/۹۲۵

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

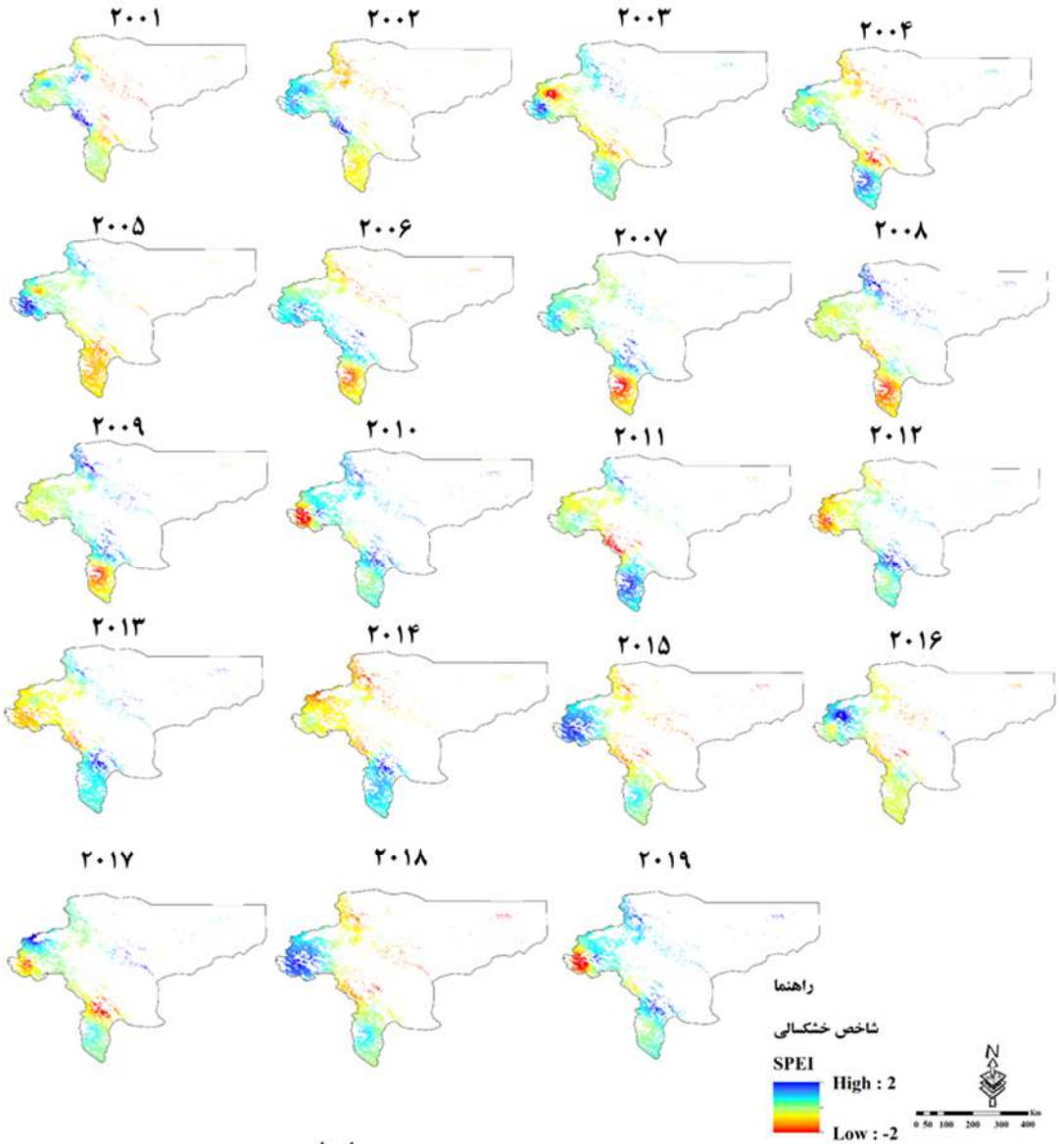
مشاهده گردید (شکل ۳، پ). از نظر مکانی بیش‌ترین مقدار شاخص خشکی و رطوبتی خاک در سال‌های مختلف در مناطق شمالی جنوبی و غربی استان دیده شده است این درحالی است که مقدار کم این شاخص در مناطق مرکزی و به‌صورت پراکنده در قسمت‌های غربی و جنوبی استان اصفهان دیده می‌شوند (شکل ۶).



شکل۳: بررسی زمانی شاخص‌های خشکسالی SPEI، EVI، CWSI به‌ترتیب در قسمت‌های الف، ب و ج

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

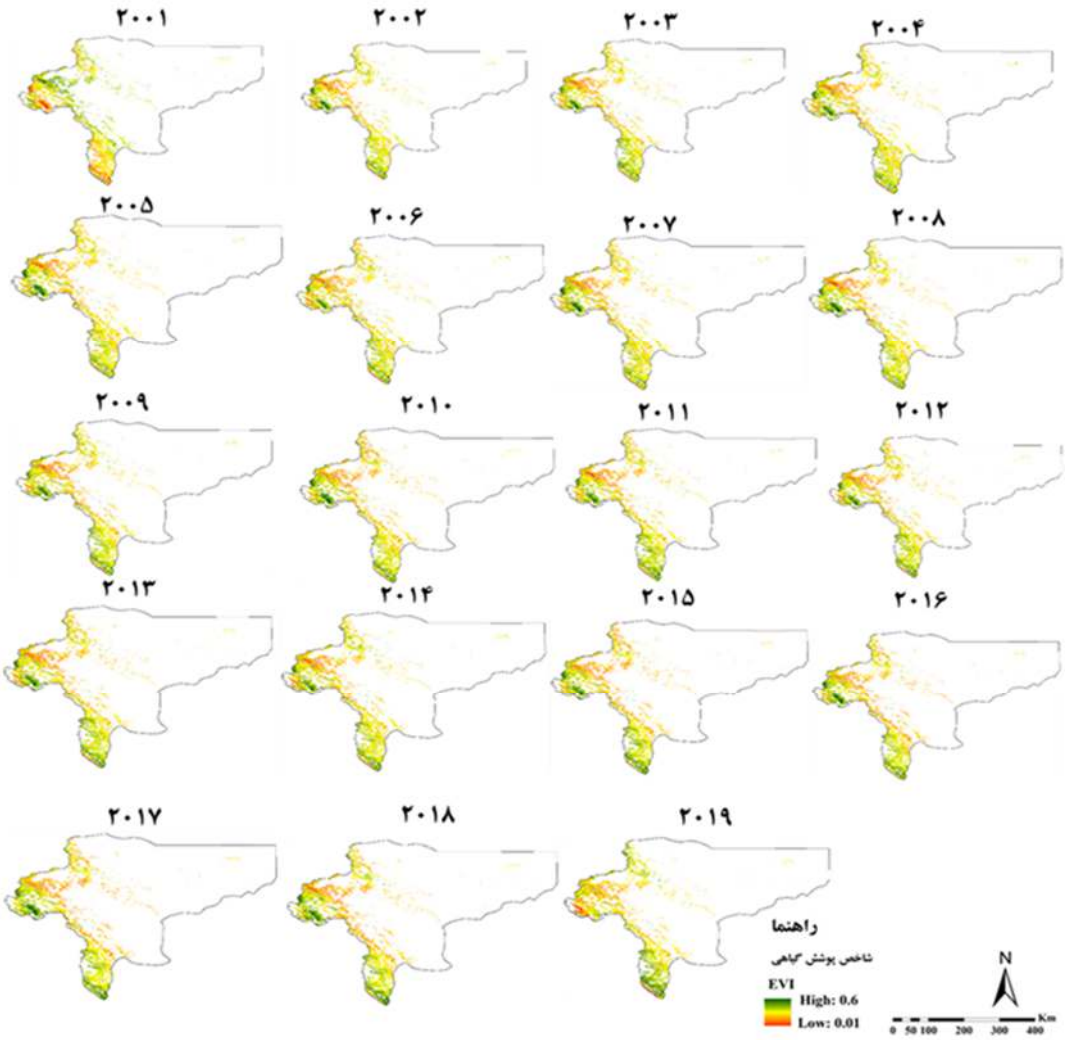
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]



شکل ۴: پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPEI در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

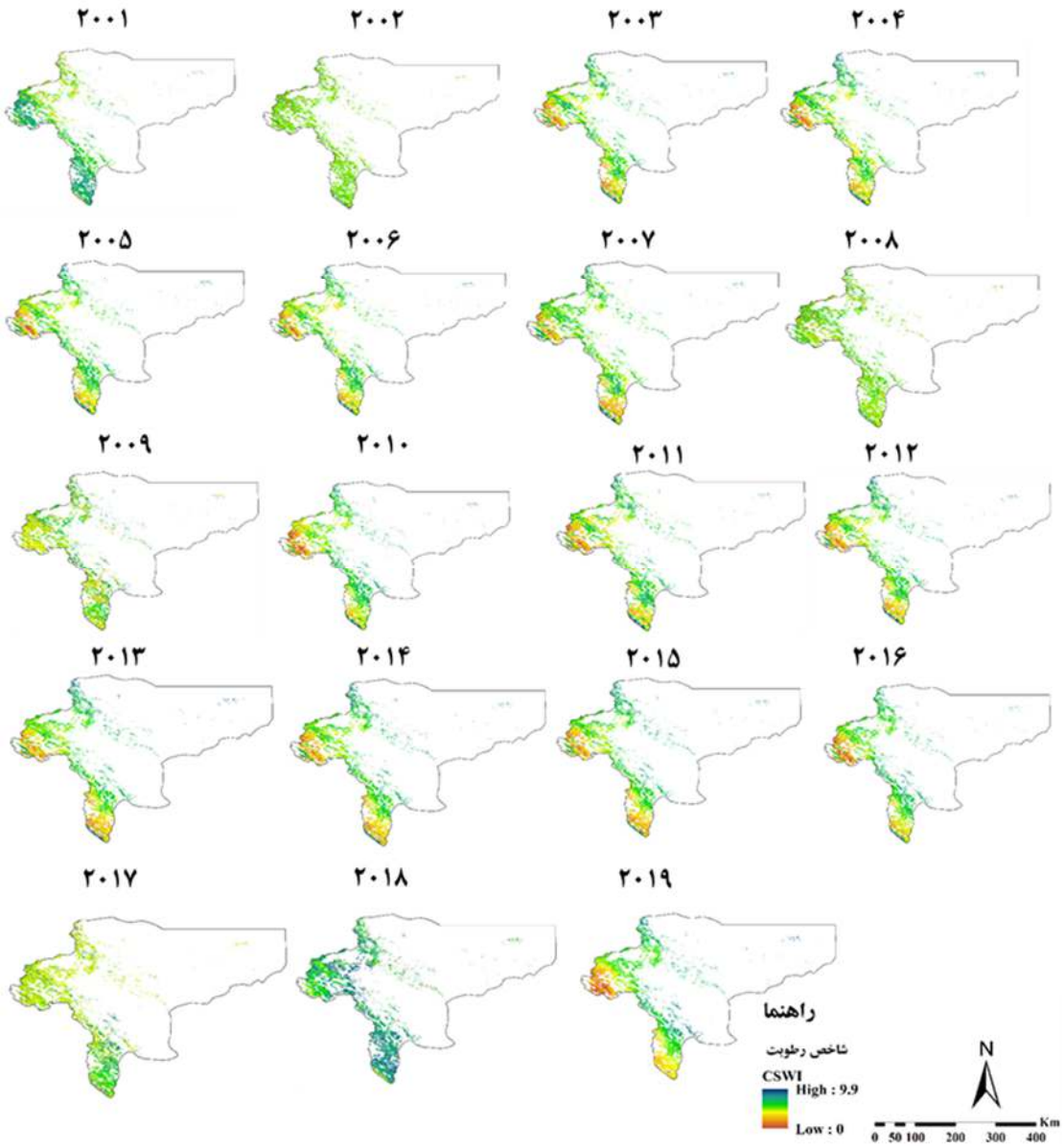
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]



شکل ۵: پهنه‌بندی شاخص پوشش گیاهی EVI در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

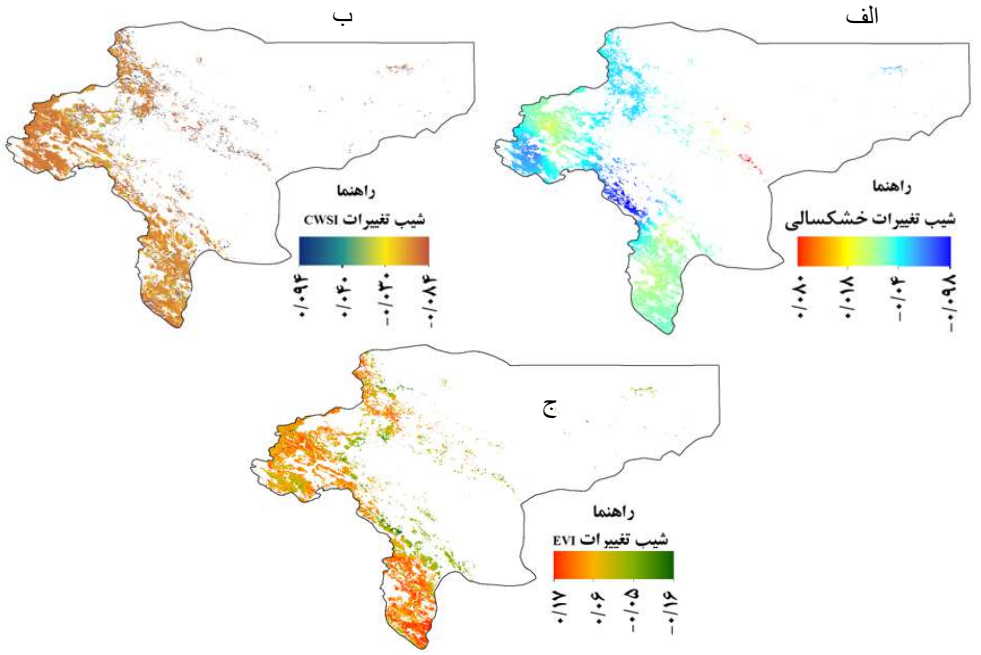


شکل ۶: پهنه‌بندی شاخص رطوبت خاک CSWI در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۱

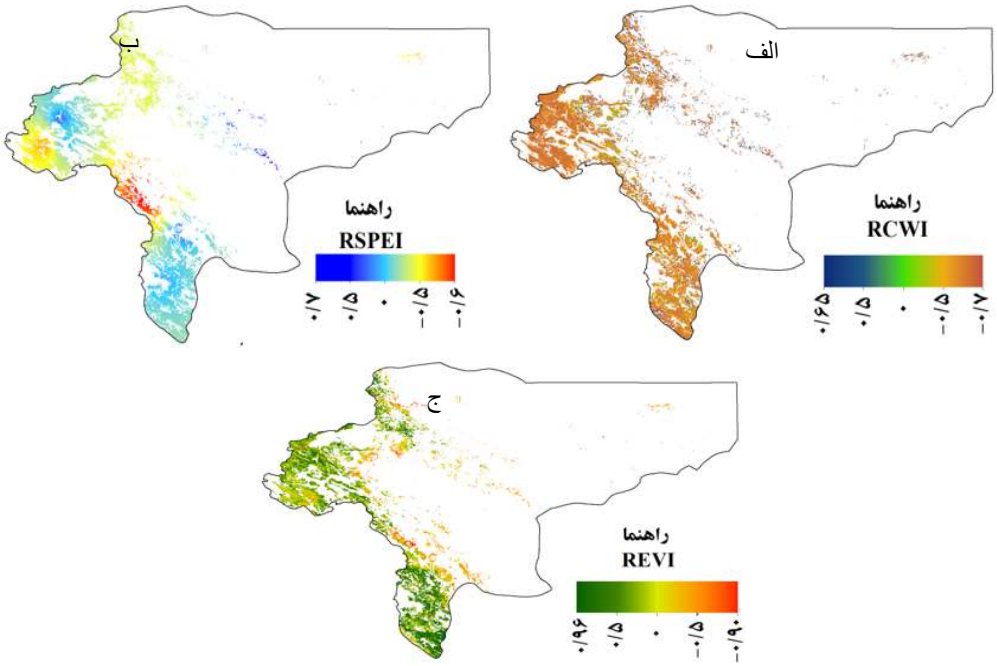
بررسی شیب تغییرات و تغییرات در واحد زمان شاخص‌های SPEI، EVI و CWSI

بررسی شیب تغییرات شاخص‌های SPEI، EVI و CWSI نشان داد که روند افزایشی این شاخص‌ها به‌ترتیب ۸۸/۵۴، ۱۳/۱۴ و ۹۰/۷۲ و روند کاهشی آن‌ها ۲/۹۳، ۷۸/۳۳ و ۹/۲۸ درصد از استان اصفهان دیده شده است (شکل ۷، الف، ب و ج). این در حالی است که از این مقادیر افزایشی در این شاخص‌ها به‌ترتیب ۶/۹۳، ۶/۳۲ و ۶۳/۵۶ درصد در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است و از مقادیر کاهشی این شاخص‌ها به‌ترتیب ۰/۳۳، ۷/۴۵ و ۸/۷۵ درصد در همین سطح معنی‌دار می‌باشد (شکل ۸، الف، ب و ج).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]



شکل ۷: بررسی شیب تغییرات شاخص‌های SPEI، CWSI و EVI به‌ترتیب در قسمت‌های الف، ب و ج



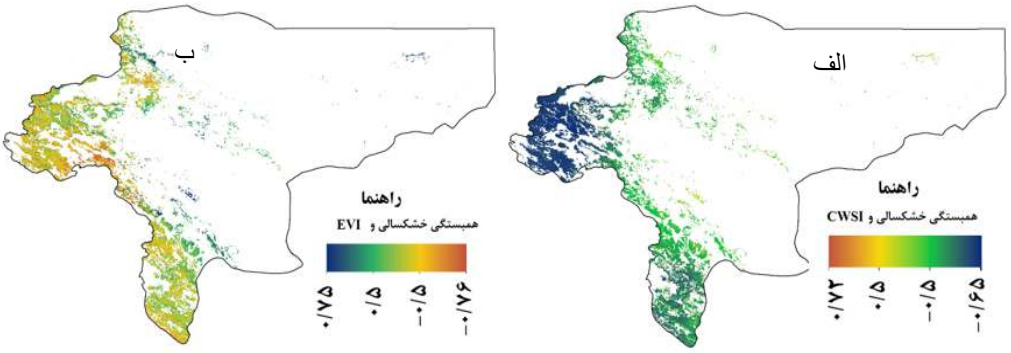
شکل ۸: بررسی تغییرات در واحد زمان شاخص‌های SPEI، CWSI و EVI به‌ترتیب در قسمت‌های الف، ب و ج

همبستگی بین SPEI، EVI و CSWI

بررسی همبستگی بین شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص رطوبت خاک CSWI نشان می‌دهد که اثر این شاخص خشکسالی بر رطوبت خاک در ۸۷/۲۳ درصد از استان اصفهان مثبت می‌باشد و از این مقدار ۴۲/۷۷ درصد آن در سطح ۹۵ درصد همبستگی معنی‌دار

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

داشته است. این در حالی است همبستگی منفی بین این دو شاخص در ۱۲/۷۷ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه دیده شد که از این مساحت ۳/۳۸ درصد آن معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین بررسی اثر این نوع خشکسالی بر شاخص پوشش گیاهی EVI نشان داد که اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی در ۵۶/۵۶درصد از استان اصفهان منفی است که از این مقدار ۲۸/۲۳ درصد رابطه معنی‌داری را نشان داده است هم‌چنین همبستگی مثبت بین این نوع خشکسالی و پوشش گیاهی در ۴۳/۴۴ درصد از استان اصفهان مثبت می‌باشد که از این مقدار ۸/۶۰ درصد رفتار مثبت معنی‌داری نشان داده است (شکل ۹، الف و ب).



شکل ۹: همبستگی بین خشکسالی SPEI و شاخص‌های CSWI، EVI به‌ترتیب در قسمت‌های الف و ب

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر روی رطوبت خاک و پوشش گیاهی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های سنجش از دوری ماهواره ترا، سنجنده مودیس استفاده گردید. با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارش شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست آمد، روند تغییرات این نوع خشکسالی در این منطقه نشان می‌دهد که استان اصفهان در طول دوره زمانی ۱۹ سال، مقادیر خشکسالی متعددی را تجربه کرده است که شدیدترین این خشکسالی‌ها در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و۲۰۱۰ در این منطقه دیده شده است و به‌دنبال این نوع خشکسالی در این سال‌ها حداقل مقدار پوشش گیاهی و رطوبت خاک مشاهده شده است. براساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی از سال ۱۹۶۰ میانگین دمای سالانه کره زمین ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار متوسط بارش نیز کاهش یافته است. بنابراین این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک نمود بیش‌تری پیدا خواهد کرد، بخش‌هایی از خاورمیانه که شامل کشور ایران نیز می‌شود از این قاعده مستثنی نمی‌باشد به‌طوری‌که این کاهش بارندگی و افزایش دما و به‌دنبال آن افزایش خشکسالی‌ها باعث کاهش رطوبت خاک در نتیجه کاهش پوشش و عملکرد گیاهان می‌شود (۴۸). برگ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود بیان کردند یکی از عوامل اصلی و مؤثر در مختل کردن عملکرد اکوسیستم‌ها، پدیده خشکسالی است زیرا این پدیده با اثر گذاری بر روی آب موجود در خاک باعث استرس در رشد گیاهان و اختلال در عملکرد طبیعی اکوسیستم‌ها می‌شود در نتیجه مقدار رشد و تولید گیاهان در این زیست بوم‌ها را متأثر می‌سازد. روستا و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود بیان داشتند که کشور افغانستان در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ بیش‌ترین مساحت خشکسالی را مشاهده کرده است هم‌چنین در این سال پوشش گیاهی و رطوبت خاک حداقل مقدار خود را نشان داده است. بر این اساس می‌توان اذعان نمود که کاهش بارندگی و افزایش دما به‌دنبال آن کاهش رطوبت خاک به‌شدت باعث کاهش پوشش گیاهی در مناطق مختلف می‌گردد. رابطه همبستگی بین خشکسالی و شاخص خشکی CWSI نشان می‌دهد که در بیش از ۸۰ درصد از سطح منطقه این رابطه مثبت بوده است یعنی با افزایش خشکسالی مقدار رطوبت خاک کاهش می‌یابد. که از این مقدار ۴۲/۷۷ درصد آن دارای مقادیر R>۰/۵ می‌باشد. از طرفی دیگر اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی در بیش از

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

۵۰ درصد منطقه منفی بوده به‌طوری‌که ۲۸/۲۳ درصد آن با R>۰/۵ معنی‌دار می‌باشد. اثر خشکسالی بر آب قابل دسترس مخصوصا آب ذخیره شده در اطراف ریشه گیاه بسیار قابل توجه می‌باشد. مطالعات زیادی به رابطه همبستگی بالا بین رطوبت سطح و عمق خاک اشاره نموده‌اند (۲، ۱۸ و ۸)، اگر چه این همبستگی با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد (۱۵ و ۴۹). و این کاملا به شرایط اقلیمی و هیدورلوژیکی منطقه بستگی دارد (۳۴). برای بررسی اثرات خشکسالی بر شرایط سطحی خاک از قبیل پوشش گیاهی و رطوبت، استفاده از داده‌های سنجش از دور با توجه به نتایج قابل اعتماد آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی دیگر با بررسی رابطه بین شرایط اقلیمی و ویژگی‌های پوشش گیاهی می‌توان اثر گذاری شرایط حدی مانند خشکسالی بر رطوبت خاک را پایش و مورد ارزیابی قرار داد. بنیون و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مانند CVI و NDVI و بررسی همبستگی آن‌ها با خشکسالی حاصل از داده‌های اقلیمی به‌بررسی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاهش بارش و به‌پیرو آن افزایش خشکسالی، کاهش رطوبت خاک اتفاق خواهد افتاد و رابطه بین پوشش گیاهی با تغییرات اقلیمی مانند خشکسالی منفی می‌باشد. با این حال اگر چه با پایش شاخص پوشش گیاهی مانند EVI و NDVI می‌توان شرایط پوشش گیاهی نسبت به خشکسالی را ارزیابی کرد اما فاکتورهای محیطی مختلف دیگر مانند رطوبت خاک نیز در بررسی اثرات خشکسالی بسیار مفید و حائز اهمیت می‌باشد (۴۲). بنابراین برای بررسی دقیق اثرات تغییرات اقلیمی بر تخریب اراضی باید تبادل سیستم هیدورلوژیکی خاک-اقلیم و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گیرد. زنگ و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثرات بارندگی بر پوشش گیاهی بیان کردند که افزایش و یا کاهش رطوبت خاک به‌مرور زمان از افزایش و یا کاهش بارندگی تبعیت می‌نماید.

در انتها می‌توان اذعان نمود که بررسی اثرات خشکسالی بر رطوبت و پوشش گیاهی یکی از فاکتورهای مهم برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر فرایندهای سطحی خاک است که این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای اکوسیستم حساس و شکننده می‌باشند، بسیار حائز اهمیت است. در این راستا می‌توان عنوان کرد با استفاده از داده‌های اقلیمی به‌روز و هم‌چنین داده‌های ماهواره‌ای مانند داده‌های سنجنده مودیس و استخراج شاخص‌هایی از قبیل پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق حاصل از آن‌ها به‌خوبی می‌توان به اثرات مخرب پدیده تخریب سرزمین پی برد و این پدیده را با دقت بالا مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان بیان کرد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در برآورد و بررسی اثرات پدیده خشکسالی بر خاک و پوشش گیاهی بسیار مفید بوده و از نتایج حاصله از این تحقیق می‌توان برای سیاست‌گزاری و تصمیم‌گیری مناسب در برخورد با این پدیده مخرب در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد.

References

1. Ahmadaali, K., H. Eskandari Damaneh, B. Ababaei & H. Eskandari Damaneh, 2021. Impacts of droughts on rainfall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran. Arabian Journal of Geoscience, 14(126):1-15.
2. Albergel, C., C. Rüdiger, T. Pellarin, C. J. Calvet., N. Fritz, F. Froissard & E. Martin, 2008. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: an assessment of the method based on in-situ observations and model simulations. Hydrology and Earth System Sciences, 12(6): 1323–1337.
3. Araghinejad, S., M. Ansari Ghojghar, M. PourGholam Amigi, A.Liaghat & J. Bazrafshan, 2018. The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran, Journal of Desert Ecosystem Engineering, 7(21): 13-32.
4. Benyon, R. G., S. Theiveyanathan & T. M. Doody, 2006. Impacts of tree plantations on groundwater in south-eastern Australia. Australian Journal of Botany, 54(2): 181-192.
5. Berg, A. & J.Sheffield, 2018. Climate change and drought: the soil moisture perspective. Current Climate Change Reports, 4(2): 180-191.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

6. Bhuiyan, C., R. P. Singh & F. N. Kogan, 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4): 289-302.
7. Chen, D., J. Huang & T. J. Jackson, 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and short-wave infrared bands. Remote Sensing of Environment, 98(2-3): 225-236.
8. Dorigo, W. A., A. Gruber, R. A. M. De Jeu, W. Wagner, T. Stacke, A. Loew & R. Kidd, 2015. Evaluation of the ESA CCI soil moisture product using ground-based observations. Remote Sensing of Environment, 162: 380-395.
9. Eskandari Damaneh, H., G. Zehtabian, H. Khosravi & A. Azareh, 2016. Investigation and Analysis of Temporal and Spatial Relationship between Meteorological and Hydrological Drought in Tehran Province. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 24(96): 113-120.
10. Eskandari Damaneh, H., H. Eskandari Damaneh, H. Khosravi & H. Gholami, 2018. Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: the west basin of Jaz Murian wetland). Rangeland, 13(3): 461-475.
11. Eskandari Damaneh, H., H. Gholami, R. Mahdavi, A. Khorani & J. Li, 2021. Monitoring Land Degradation and Desertification in the Arid and Semi-Arid Regions with an Emphasis in Response to Gross Primary Production Relative to the Climatic Variables during the 2001-2017 in the Province of Fars. Watershed Management Research Journal, 34(1):41-58.
12. Eskandari Damaneh, H., R. Jafari & S. Soltani, 2018. Assessment of land degradation indices obtained from remote sensing data. Desert Management, 5(10): 43-56.
13. Eskandari Damaneh, H., G.H. Zehtabian, H. Khosravi, H. Azarnivand & A. A. Barati, 2020. Investigation of vegetation changes trend affected by drought in arid and semi-arid regions using remote sensing technique (Case study: Hormozgan province). Journal of Desert Ecosystem, 9(28): 13-20.
14. Fensholt, R & I. Sandholt, 2003. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. Remote Sensing of Environment, 87(1): 111-121.
15. Ford, T. W., E. Harris & S. M. Quiring, 2014. Estimating root zone soil moisture using near-surface observations from SMOS. 1foldr Import 2019-10-08 Batch 11.
16. Ghorbani, M., H. Eskandari-Damaneh, M. Cotton, O. Mehrab Ghoochani & M. Borji, 2021. Harnessing indigenous knowledge for climate change-resilient water management–lessons from an ethnographic case study in Iran. Climate and Development, 1-14.
17. Han, L., P. Wang, H. Yang, S. Liu & J. Wang, 2006. Study on NDVI-T s space by combining LAI and evapotranspiration. Science in China Series D, 49(7):747-754.
18. Hirschi, M., B. Mueller, W. Dorigo & S. I. Seneviratne, 2014. Using remotely sensed soil moisture for land–atmosphere coupling diagnostics: The role of surface vs. root-zone soil moisture variability. Remote Sensing of Environment, 154: 246-252.
19. Hodel, E., 2012. Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar).
20. Hosseini Pazhouh, N., K. Ahmadaali & A. Shokoohi, 2019. Assessment of standardized precipitation and standardized precipitation-evapotranspiration indices for wet period detection. Journal of Water and Soil Conservation, 25(6): 207-221.
21. Jackson, R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato & P. J. Pinter Jr, 1988. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water resources research, 17(4): 1133-1138.
22. Jackson, R. D., W. P. Kustas & B. J. Choudhury, 1988. A reexamination of the crop water stress index. Irrigation science, 9(4): 309-317.
23. Khosravi, H., A. Azareh, H. Eskandari Dameneh, E. Rafiei Sardoii & H. E. Eskandari Dameneh, 2017. Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. Arabian Journal of Geosciences, 10(4): 93.
24. Li, R., A. Tsunekawa & M.Tsubo, 2017. Assessment of agricultural drought in rainfed cereal production areas of northern China. Theoretical and Applied Climatology, 127(3-4): 597-609.
25. Liu, Y., Y. Li, S. Li & S. Motesharrei, 2015. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: Correlations with climate and human factors. Remote Sensing, 7(10):13233-13250.
26. Mahmood, R., A. Littell, K. G. Hubbard & J. You, 2012. Observed data-based assessment of relationships among soil moisture at various depths, precipitation, and temperature. Applied Geography, 34: 255-264.
27. Martínez-Fernández, J., A. González-Zamora, N. Sánchez & A. Gumuzzio, 2015. A soil water based index as a suitable agricultural drought indicator. Journal of Hydrology, 522: 265-273.
28. Mishra, A. K & V. P. Singh, 2010. A review of drought concepts. Journal of hydrology, 391(1-2): 202-216.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

29. Mishra, A. K & V. P. Singh, 2011. Drought modeling–A review. Journal of Hydrology, 403(1-2): 157-175.
30. Mohit Esfahani, P., S. Soltani, R. Modarres & S. Pourmanafi, 2020. Assessment of Multivariate Standardized Drought Index (MSDI) and Meteoro-Agricultural Drought Monitoring in Chaharmahal and Bakhtiari Porvince. JWSS, 24 (3): 33-47.
31. Moran, M. S., T. R. Clarke, Y. Inoue &, A. Vidal, 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. Remote sensing of environment, 49(3): 246-263.
32. Mostafazadeh, R & M. Shahabi, 2017. 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(3): 633-643.
33. Mostafazadeh, R., M. Shahabi & M. Zabihi, 2015. Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. Geographical Planning of Space, 5(17): 129-140.
34. Muhammad, S., Y. Zhan, L. Wang, P. Hao & Z. Niu, 2016. Major crops classification using time series MODIS EVI with adjacent years of ground reference data in the US state of Kansas. Optik, 127(3): 1071-1077.
35. Niazi, Y., A. Talebi, M. Mokhtari & M. Vazifedoust, 2018. Presenting a soil moisture-based drought index derived from Global Land Data Assimilation System (GLDAS-SMDI) in Central Iran. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 27(107): 179-191.
36. Ochsner, T. E., M. H. Cosh, R. H. Cuenca, W. A. Dorigo, C. S. Draper, Y. Hagimoto & M. Zreda, 2013. State of the art in large-scale soil moisture monitoring. Soil Science Society of America Journal, 77(6):1888-1919.
37. Pandey, A. & A. Sahu, 2002. Generation of curve number using remote sensing and geographic information system, Water Resources, Map India Conference.
38. Rousta, I., H. Olafsson, M. Moniruzzaman, H. Zhang, Y. A. Liou, T. D. Mushore & A.N. Gupta, 2020. Impacts of drought on vegetation assessed by vegetation indices and meteorological factors in Afghanistan. Remote Sensing, 12(15): 2433.
39. Sandholt, I., K. Rasmussen & J. Andersen, 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of environment, 79(2-3): 213-224.
40. Savari, M., H. Eskandari Damaneh & H. Damaneh Eskandari, 2020. Factors influencing farmers' management behaviors toward coping with drought: evidence from Iran. Journal of Environmental Planning and Management, 1-49.
41. Semeraro, T., G. Mastroleo, A. Pomes, A. Luvisi, E. Gissi & R. Aretano, 2019. Modelling fuzzy combination of remote sensing vegetation index for durum wheat crop analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 156: 684-692.
42. Sivakumar, M., R. Stone, P. C. Sentelhas, M. Svoboda, P. Omondi, J. Sarkar & B. Wardlow, 2010. Agricultural drought indices: summary and recommendations. In Agricultural drought indices Proceedings of an expert meeting: 172-197.
43. Thenkabail, P. S., M.S.D.N. Gamage & V.U. Samakhtin, 2002. Evaluation of Narrowband and Broadband Vegetation Indices for Determining Optimal Hyperspectral Wavebands for Agricultural Crop Characterization, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68: 607-621.
44. Vanegas, D. X., X. Xiao & J. B. Basara, 2014. Vegetation drought monitoring from MODIS imagery and soil moisture data in Oklahoma Mesonet sites. Revista de Tecnología, 13(2): 10-27.
45. Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería & J.I. López-Moreno, 2011. Comment on "Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900–2008" by AiguoDai, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(19): 1-9.
46. Wang, C., J. Qi, S. Moran & R. Marsett, 2004. Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS-2 and TM imagery. Remote Sensing of Environment, 90(2): 178-189.
47. Wei, W., S. Pang, X. Wang, L. Zhou, B. Xie, J. Zhou & C. Li, 2020. Temperature vegetation precipitation dryness index (TVPDI)-based dryness-wetness monitoring in China. Remote Sensing of Environment, 248:111957.
48. WMO, 2016. Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events
49. Wu, W., M. A. Geller & R. E. Dickinson, 2002. The response of soil moisture to long-term variability of precipitation. Journal of Hydrometeorology, 3(5):604-613.
50. Xu, H. J & X. P. Wang, 2016. Effects of altered precipitation regimes on plant productivity in the arid region of northern China. Ecological Informatics, 31: 137-146.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]

51. Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International journal of remote sensing, 27(14): 3025-3033.
52. Yaghmaie L, S. Soltani & M. Khodagholi, 2008. Effect of Climatic Factors on Distribution of Artemisia sieberi and Artemisia aucheri in Isfahan Province Using Multivariate Statistical Methods. JCPP, 12(44): 359-370.
53. Zhan, Y., S. Muhammad, P. Hao & Z. Niu, 2018. The effect of EVI time series density on crop classification accuracy. Optik, 157: 1065-1072.
54. Zhang, F., L. W. Zhang, X. Z. Wang & J. F. Hung, 2013. Detecting agro-droughts in Southwest of China using MODIS satellite data. Journal of Integrative Agriculture, 12(1): 159-168.
55. Zhou, Q., Y. Luo, X. Zhou, M. Cai & C. Zhao, 2018. Response of vegetation to water balance conditions at different time scales across the karst area of southwestern China-A remote sensing approach. Science of the Total Environment, 645: 460-470.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.8.7]