دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه ی
علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ۹۱
پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۱۶۸-۱۴۷

مهسان کروژده[۱]- کریم امینی نیا[۲]* - سید مهدی ثاقبیان[۳]

۱- دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.

۲- گروه جغرافیا، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. (نویسنده مسؤول). karimaminini@gmail.com

۳- گروه عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.

بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص‌های SPEI و VCI

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۱۰/۲۳

چکیده

خشکسالی یک خطر طبیعی است که می تواند اثرات شدید و طولانی مدتی بر سیستم‌های طبیعی و انسانی داشته باشد. انتظار می‌رود افزایش گازهای گلخانه‌ای ویژگی‌های خشکسالی را تغییر دهد. لذا برای بررسی خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ٤٠ ساله از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک با یک دوره ٤٠ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و یک دوره زمانی ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۱) از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra با تفکیک افقی ۱۰۰۰ متر انجام شد. شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده شاخص بارش تبخیر-تعرّق استانداردشده (SPEI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) است. نتایج نشان داد که خشکسالی استان خرسان رضوی در ٤٠ سال گذشته با شدت و فراوانی بالایی رخ داده است. بالاترین فروانی و شدت خشکسالی در دهه سوم (۲۰۱۰-۲۰۰۱) با بیشینه شدت خشکسالی ۱/٦۹- و فراوانی ۳٤/۲٤ درصد به دست آمده است. بررسی شاخص خشکسالی ماهواره‌ای نشان داد که الگوهای خشکسالی نشان داده شده توسط SPEI و VCI تا حد زیادی موافق هستند. بررسی دهه‌ای شدت و فراوانی خشکسالی نشان داد که ویژگی اصلی اقلیمی استان پس از دهه ۲۰۰۰ حرکت به سمت یک اقلیم خشک‌تر است. مقایسه همزمان این دو شاخص

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

نشان داد که رویدادهای خشکسالی ناشی از بارش (شاخص SPEI) منجر به خشکسالی مبتنی بر پوشش گیاهی در سطح استان نمی‌شوند. همچنین رویدادهای خشکسالی پوشش‌گیاهی (شاخص VCI) به عنوان یک نتیجه از کمبود بارش رخ نمی‌دهند.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص SPEI، شاخص VCI، سنجنده MODIS، خراسان رضوی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

مقدمه

خشکسالی پرهزینه‌ترین مخاطره جهان است و هر ساله بخش‌های بزرگی از ایران و جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس یک آمار بین المللی متوسط خسارت ناشی از خشکسالی در سطح جهان بین ٦ تا ٨ میلیارد دلار آمریکا است (Bae et al., 2018:328). خشکسالی به عنوان یک فاجعه زیست محیطی شناخته می‌شود. مطالعات مختلفی کاهش قابل توجه در دسترس بودن آب ناشی از کمبود بارش را ساده‌ترین و در عین حال جامع‌ترین تعریف خشکسالی دانسته‌اند (Koutroulis et al., 2011:209). در سال‌های اخیر، افزایش شدت و مدت خشکسالی، ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی را به‌طور چشمگیری تغییر داده است. به ویژه، پیش بینی می شود که رخدادهای حدی اقلیمی مانند خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک با فراوانی بیش‌تر، شدیدتر و طولانی تر شوند.

خشکسالی به طور منظم منجر به اثرات اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی بزرگی می‌شود. خشکسالی یکی از شدیدترین مخاطرات طبیعی است و تغییر اقلیم باعث می‌شود که در بسیاری از مناطق جهان در قرن بیست و یکم خشکسالی‌ها با طول دوره بزرگتر و گسترده‌تر اتفاق بی‌افتند (Bates et al., 2008: 11). برای شناخت شدت اثرات خشکسالی مستلزم مدیریت هدفمند با پایش دقیق آن است. پایش خشکسالی چالش‌هایی زیادی همراه است، زیرا در بسیاری از موارد، خشکسالی به تدریج ایجاد می‌شود و شناسایی آن دشوار است.

با توجه به ویژگی‌های مختلف خشکسالی، انواع مختلفی از خشکسالی وجود دارد که می‌توان به خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی اشاره کرد (Mishra & Singh, 2011: 208). خشکسالی هواشناسی یک رخداد اقلیمی است که مهم‌ترین دلیل آن کاهش بارش است. خشکسالی هواشناسی منجر به سه نوع دیگر خشکسالی می‌شود. به دلیل پیچیدگی و شدت خشکسالی، شناسایی و بررسی ویژگی‌های خشکسالی چالش برانگیز است (Wang et al., 2020: 966). در دهه های گذشته، تعداد زیادی از شاخص برای بررسی خشکسالی توسعه یافته است. از مشهورترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI) و شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) اشاره کرد.

دو شاخص SPI و SPEI دارای مقیاس‌های زمانی مختلفی هستند که می‌توانند انواع مختلف خشکسالی را نشان دهند و تغییرات ویژگی های خشکسالی را بهتر منعکس کنند که از این دو شاخص به طور گسترده در سراسر جهان استفاده شده است. تئوری‌های SPI و SPEI مشابه هستند، اما تفاوت های آشکاری بین متغیرهای محاسباتی SPI و SPEI وجود دارد (Hong et al., 2015: 545). شاخص SPI فقط بارش را در نظر می گیرد که محاسبه آن آسان است اما SPEI بر اساس تفاوت بین بارش (P) و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) محاسبه می شود. با توجه به شدت یافتن گرمایش جهانی و افزایش تبخیر-تعرق نقش این متغیر در خشکسالی بسیار مهم است. بنابراین SPEI به طور قابل توجهی بهتر از SPI در پایش خشکسالی است (Mathbout et al., 2018: 153).

فناوری سنجش از دور امکان نظارت بر رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی در مناطق وسیع را فراهم کرده است. در مکان هایی با تعداد محدودی از ایستگاه‌های هواشناسی، داده های سنجش از دور ممکن است تنها منبع اطلاعاتی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

موجود برای پایش خشکسالی باشد. شاخص های خشکسالی مبتنی بر ماهواره مانند شاخص وضعیت پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص NDVI به طور گسترده برای تشخیص شروع خشکسالی و اندازه گیری شدت، مدت و تأثیر خشکسالی در سطح جهانی استفاده شده است. مزیت آشکار VCI این است که می توان آن را به راحتی محاسبه کرد. زیرا به داده‌های ایستگاهی نیاز ندارد و به عنوان یک محصول خشکسالی مبتنی بر ماهواره می تواند داده‌های نزدیک به زمان واقعی را در سراسر جهان با وضوح فضایی نسبتاً بالا ارائه دهد (Quiring & Papakryiakou, 2003).

با توجه به اهمیت خشکسالی مطالعات بی‌شماری در سطح جهان و ایران به بررسی این پدیده مخاطره آمیز اقلیمی پرداخته‌اند. Hisdal & Tallaksen (2003) به برآورد ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دانمارک پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها برای ویژگی‌های خشکسالی نشان داد که خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی نسبت به خشک‌سالی‌های هواشناسی از همگنی کمتر، تکرار کمتر و دوره‌های زمانی طولانی‌تری در دانمارک برخوردار هستند. ویژگی‌های مکانی و زمانی خشکسالی در صربستان پژوهشی است که Gocic & Trajkovic (2018) به مطالعه آن پرداختند. آن‌ها برای ارزیابی ویژگی‌های مکانی و زمانی خشکسالی از داده‌های بارش ماهانه از ۲۹ ایستگاه سینوپتیک برای دوره ۲۰۱۲-۱۹٤۸ استفاده کردند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سه زیر منطقه مختلف را برای خشکسالی در صربستان نشان داد: (۱) شمال و بخش شمال شرقی صربستان است. (۲) بخش غربی صربستان مرکزی و بخش جنوب غربی صربستان است و (۳) منطقه بخش مرکزی، شرقی، جنوبی و جنوب شرقی صربستان است.

Touma et al (2015) به ارزیابی ارزیابی چند مدلی و چند شاخصی ویژگی‌های خشکسالی در قرن بیست و یکم در سطح جهانی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در صورت ادامه غلظت گازهای گلخانه‌ای در طول مسیر فعلی خود، خطر افزایش تنش‌های مربوط به خشکسالی برای سیستم‌های طبیعی و انسانی به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد.

ویژگی‌های خشکسالی ناگهانی در ایالات متحده آمریکا پژوهشی است که توسط Chen et al (2019) انجام شده است. آن‌ها نشان دادند که شاخص استاندارد شده بارش سه ماهه عمدتاً درست قبل از شروع خشکسالی ناگهانی را نشان می-دهد. همچنین آن‌ها نشان دادند که نظارت بر تغییرات سریع در تبخیر-تعرق، همراه با بارش و شرایط رطوبت خاک، می‌تواند هشدارهای اولیه در مورد توسعه خشکسالی ناگهانی ارائه دهد. ارزیابی ویژگی‌های خشکسالی در اروپا طی ۵۰ سال گذشته پژوهشی است که توسط Oikonomou et al (2020) انجام شده است. آن‌ها در این پژوهش از شاخص-های استاندارد بارش (SPI) و شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد خشکسالی و ویژگی‌های آن در اروپا طی نیم قرن گذشته روند افزایشی داشته است. Feng et al (2020) ویژگی‌های خشکسالی و وابستگی ارتفاعی آن در فلات چینگهای-تبت در نیم قرن گذشته مورد بررسی قرار دادند. آن-ها نشان دادند که شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPEI از ۰.۱۹- در سال ۱۹۷۰ به ۰.۳۸- در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است و در آینده نیز رو به رشد است که نشان دهنده افزایش شدت خشکسالی در این منطقه است. Lee et al (2022) تغییرات زمانی-مکانی ویژگی‌های خشکسالی را در پاکستان مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که بیشترین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

فراوانی خشکسالی در نواحی جنوبی پاکستان مشاهده می‌شود و انتظار می‌رود که رخدادهای خشکسالی در اواخر زمستان، اوایل بهار و اوایل پاییز بیشتر اتفاق بیفتد، در حالی که انتظار می‌رود خشکسالی در تابستان کمتر اتفاق بیفتد.
در ایران نیز خشکسالی مورد توجه زیادی قرار گرفته است و پژوهش‌های مختلف به بررسی خشکسالی در مناطق مختلف ایران پرداختند. Mosaedi et al (2017) به تعیین خصوصیات خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره‌های مختلف زمانی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که تغییراتی در خصوصیات خشکسالی و یا زمان وقوع خشکسالی در بعضی از مناطق کشور رخ داده‌است که این تغییرات در خشکسالی‌های ماهانه و بخصوص ماه‌های فصل بهار مشهودتر است. تحلیل تغییرات زمانی- مکانی خشکسالی‌های فصلی هواشناسی تحقیقی است که Faghani et al (2016) به بررسی آن پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تعداد بهینه خوشه ها برای بررسی خشکسالی در فصل های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۸، ۱۰، ۹ و ٦ عدد می باشد. تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی دوره های خشکسالی و ترسالی شمال غرب کشور بر اساس دو شاخص خشکسالی SPI و RAI پژوهش دیگری است که توسط Montaseri et al (2016) انجام شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که می‌توان از هر دو شاخص خشکسالی SPI و RAI صرفاً برای تعیین روند تغییرات دوره های خشکسالی و ترسالی به دلیل همبستگی بالای دو شاخص خشکسالی فوق در ارزیابی و تعیین روند تغییرات خشکسالی و ترسالی استفاده کرد.
بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI) پژوهش دیگری است که توسط Mohammadi et al (2018) انجام شده است. نتایج آن‌ها نشان داد حداکثر ۵۷ درصد تغییرات شاخص منبع آب زیرزمینی (٤٨ ماهه) توسط شاخص بارش استاندارد (٤٨ ماهه با تأخیر زمانی شش‌ماهه) قابل تبیین و توجیه است. این مهم به تأثیر سایر عوامل از جمله برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی بر افت سفرهٔ آب زیرزمینی و میزان شاخص منبع آب زیرزمینی مرتبط است. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش و خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران تحقیق دیگری است که Mirzayi Hasanlo et al (2020) انجام شده است. آن‌ها نشان دادند که شدیدترین مقدار خشک‌سالی براساس هر دو شاخص به ترتیب (٤/۳-) و (۳/۳-) در ایستگاه همدید بوشهر و در ۲۰۱۰ رخ داد، که شاخص RDI خشک‌سالی را در وضعیت شدیدتری نشان می‌دهد. همچنین پیشنهاد کردند که شاخص RDI به‌جای شاخص SPI، برای پایش و مدیریت خشک‌سالی استفاده شود تا اثر دما عامل مستقیم و اثرگزار بر خشک‌سالی باشد.
بررسی مرور منابع نشان می‌دهد که خشکسالی در سطح جهانی و ایران مورد توجه بسیاری بوده است. به رغم مطالعات خوبی که در ایران انجام شده است اما تاکنون پژوهش مستقلی به بررسی خشکسالی و بخصوص خشکسالی‌های ماهواره‌ای در استان خراسان رضوی نپرداخته است که از این نظر ضرورت دارد تا مطالعه‌ای دقیق از بررسی خشکسالی در این استان انجام شود. استان خراسان رضوی در شمال‌شرقی ایران واقع شده است. با توجه به جغرافیای خشک و نیمه خشک این استان، خراسان رضوی در برابر تغییر اقلیم بسیار آسیب پذیر است و محیط زیست آن بسیار شکننده

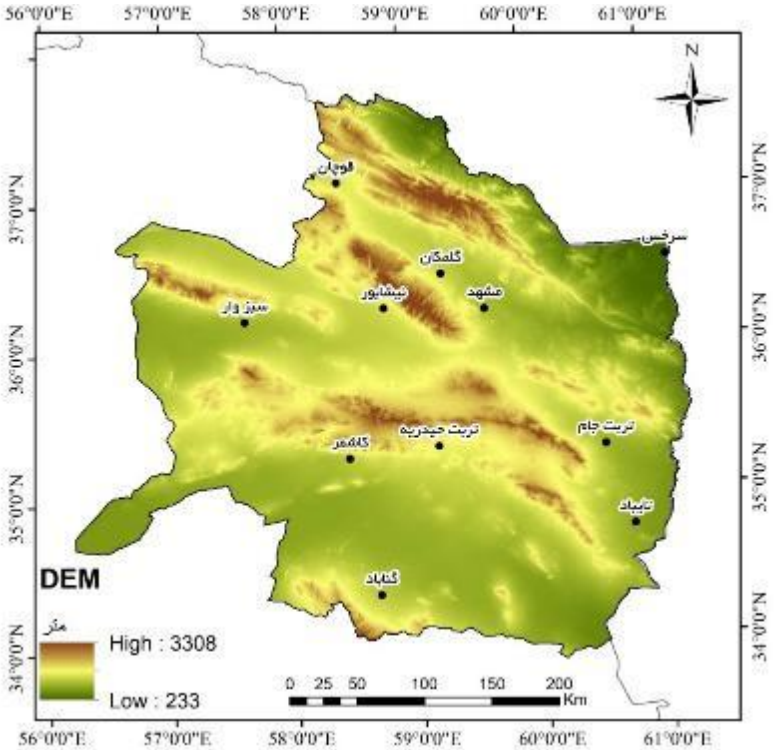
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

است. خشکسالی شایع ترین مخاطره طبیعی در استان خراسان رضوی است و بیشترین تأثیر را بر تولیدات کشاورزی، منابع آب، صنایع و دامپروری دارد. لذا پایش بر خشکسالی در استان خراسان رضوی و درک ویژگی‌های آن در بلند مدت بسیار مهم است. نتایج تحقیق کاربردهای بسیاری را در بخش‌های مختلف همانند کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و کشاورزی خواهد داشت.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی منطقه مورد مطالعه این تحقیق است. این استان در شمال‌شرقی ایران قرار دارد. توپوگرافی استان خراسان رضوی پیچیده است و عمدتاً از مناطق کوهستانی در شمال تا مناطق خشک جنوبی تشکیل شده است(شکل ۱). بارش سالانه استان خراسان رضوی از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و دما به تدریج از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این استان یک پایگاه مهم برای تولیدات کشاورزی و دامپروری و فرآوری صنایع غذایی در ایران است از این نظر بررسی خشکسالی‌های این استان بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر این منطقه از نظر اکولوژیکی شکننده است و برای کنترل بیابان‌زایی و همچنین ریزگردها لازم است تا بررسی دقیق از وضعیت خشکسالی آن داشت.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی؛ مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استان خراسان رضوی در پس زمینه ایستگاه‌ها ارائه شده است.

Figure 1. Location of the study area along with the synoptic stations under investigation; the Digital Elevation Model (DEM) of Razavi Khorasan Province is presented in the background.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

داده‌های مورد استفاده

برای بررسی خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ٤٠ ساله از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک با یک دوره ٤٠ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۰) استفاده شده است که موقعیت ایستگاه‌ها در شکل (۱) آمده است. متغیرهای مورد بررسی شامل دمای هوا، ساعات آفتابی، بارش و سرعت در مقیاس روزانه هستند که برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) و شاخص خشکسالی SPEI مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همگنی داده‌ها با آزمون همگنی ران تست (Run Test) مورد بررسی قرار گرفت و همگنی آن‌ها تایید شده است.

شاخص بارش تبخیر-تعرّق استانداردشده (SPEI)

شاخص بارش تبخیر-تعرّق استانداردشده (SPEI)، توسط Vicente-Serrano et al (2010) به‌عنوان یک شاخص خشک‌سالی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارش و تبخیر-تعرق نیاز دارد. معادله ترازمندی اقلیمی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D_i = P_i - PET_i$$ رابطه۱)

که P و PET به ترتیب بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره ماه موردنظر است. معادلات مختلفی برای محاسبه PET وجود دارد که در استفاده از هر یک از آن‌ها محدودیتی برای SPEI وجود ندارد. در نسخه نخست SPEI، از روش ساده تورنت وایت (Thornthwaite) استفاده شد، ولی در نسخه دوم آن توصیه‌شده است که از روش پنمن-مانتیث فائو (FAO Penman-Monteith) استفاده شود. بررسی‌های Vicente-Serrano et al (2010) نشان داد توزیع لوگ-لجستیک سه پارامتری کارایی مناسبی برای محاسبه شاخص SPEI دارد. تابع چگالی احتمال لوگ-لجستیک به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2}$$ رابطه ۲)

که در آن α، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدأ و x سری تجمعی مقادیر D در گام زمانی معین است.

جدول ٤- طبقات مختلف شاخص خشکسالی SPEI

طبقه	ترسالی	نرمال	خشکسالی
خفیف	۰/۵+ تا ۰/۸+	۰/۵- تا ۰/۵+	۰/۸- تا ۰/۵-
متوسط	۰/۸+ تا ۱/۳+		۱/۳- تا ۰/۸-
شدید	۱/۳+ تا ۱/٦+		۱/٦- تا ۱/۳-
بسیار شدید	۱/٦+ تا ۲/۰+		۲/۰- تا ۱/٦-
بی‌نهایت	مساوی یا بیشتر از ۲/۰+		مساوی یا کمتر از ۲/۰-

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

شاخص اختلاف بهنجار شده پوشش‌گیاهی (NDVI)

یکی از رایج‌ترین شاخص‌های پوشش‌گیاهی در مطالعات اکولوژیکی، شاخص اختلاف بهنجار شده پوشش‌گیاهی است. شاخص اختلاف بهنجار شده پوشش‌گیاهی یک شاخص بدون بعد در محدوده ۱- تا ۱+ است که تفاوت بین بازتاب قرمز و مادون قرمز نزدیک پوشش‌گیاهی را توصیف می‌کند و می‌تواند برای برآورد تراکم پوشش گیاهی در یک منطقه استفاده شود (Jackson & Huete, 1991). شاخص اختلاف بهنجار شده پوشش‌گیاهی براساس رابطه زیر محاسبه می-شود.

$$NDVI = \frac{P_{NIR}-P_{red}}{P_{NIR}+P_{red}}$$ رابطه۳)

در این رابطه P_{red} و P_{NIR}، دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. پوشش‌گیاهی سبز دارای جذب نور مرئی بالا و بازتاب مادون قرمز نزدیک است که منجر به مقادیر بالای NDVI می‌شود. از طرفی پوشش‌گیاهی خشک، برف، آب، ابرها و خاک به میزان قابل توجهی مقدار بیشتری از NIR را جذب می‌کنند که منجر به کاهش مقادیر NDVI می‌شود. در واقع عدد صفر بیانگر عدم پوشش‌گیاهی و مقادیر منفی نشان دهنده سطوحی غیر از پوشش‌گیاهی مانند آب و برف است (Myneni et al. 1995). امروزه با پیشرفت فناوری سنجش از دور می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای در زمینه پایش و آشکارسازی متغیرهای مختلف استفاده کرد. از جمله داده‌های مفید و قدرتمند در این زمینه می‌توان به سنجنده MODIS اشاره کرد. سنجنده MODIS بر روی دو ماهواره Terra و Aqua نصب شده است. این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی در طول موج های ۱۴/۴- ۰/۴ می‌باشد که محدوده طیفی مرئی تا مادون قرمز را پوشش می‌دهد و با تفکیک‌های مکانی۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر از زمین تصویربرداری می‌کند. در این پژوهش شاخص اختلاف بهنجار شده پوشش‌گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در مقیاس ماهانه با تفکیک افقی ۱۰۰۰ متری از سنجنده MODIS ماهواره TERRAتهیه شد.

شاخص خشکسالی وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) یکی از اولین شاخص‌های سنجش از دور خشکسالی بود که به طور گسترده برای پایش خشکسالی استفاده شده است. این شاخص از NDVI مشتق شده است و به راحتی محاسبه می‌شود و برای تفکیک‌های زمانی-مکانی مختلف قابل دسترسی است. مفهوم VCI در ابتدا برای استخراج مؤلفه اقلیمی از مقادیر NDVI با در نظر گرفتن تغییرات رویشی توسط عوامل اقلیمی طراحی شد. در مطالعه حاضر، VCI به دلیل مزایای متعدد آن انتخاب شد و عمدتاً به این دلیل که نه تنها تغییرات زمانی-مکانی پوشش گیاهی را منعکس می‌کند، بلکه امکان شناسایی تأثیر اقلیم بر پوشش گیاهی را نیز فراهم می‌کند.

$$VCI = \frac{NDVI_j-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}}*100$$ رابطه ٤)

در این شاخص NDVI شاخص پوشش گیاهی NDVI، مقدار min کمینه و مقدار max بیشینه شاخص پوشش گیاهی در طول سری زمانی است (Kogan, 1995). به گفته(1995) Kogan ، شاخص NDVI دو سیگنال محیطی اکوسیستم

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

و اقلیم را نشان می‌دهد. اکوسیستم، تغییرات طولانی‌مدت در پوشش گیاهی را توضیح می‌دهد (بر اساس اقلیم، خاک، نوع پوشش گیاهی، توپوگرافی و غیره). مولفه اقلیم (شرایط کوتاه‌مدت) توضیح می‌دهد تغییرات بین سالانه در هر اکوسیستم در پاسخ به نوسانات اقلیمی به چه شکل است.

درونیابی خشکسالی با روش کریجینگ

درونیابی یکی از مهم ترین تکنیک‌هایی است که اقلیم شناسان در مطالعات پهنه ای- مکانی از آن بهره می‌گیرند. روش-های درونیابی برحسب ملاک های مختلف قابل تقسیم بندی هستند (Asakereh, 2008: 29). در این تحقیق از روش درونیابی کریجینگ به عنوان یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد استفاده شده است. در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی استفاده شد در این روش فرض غلبه مولفه‌های همبستگی مکانی و بکارگیری مستقیم نیمه پراش نگار است.

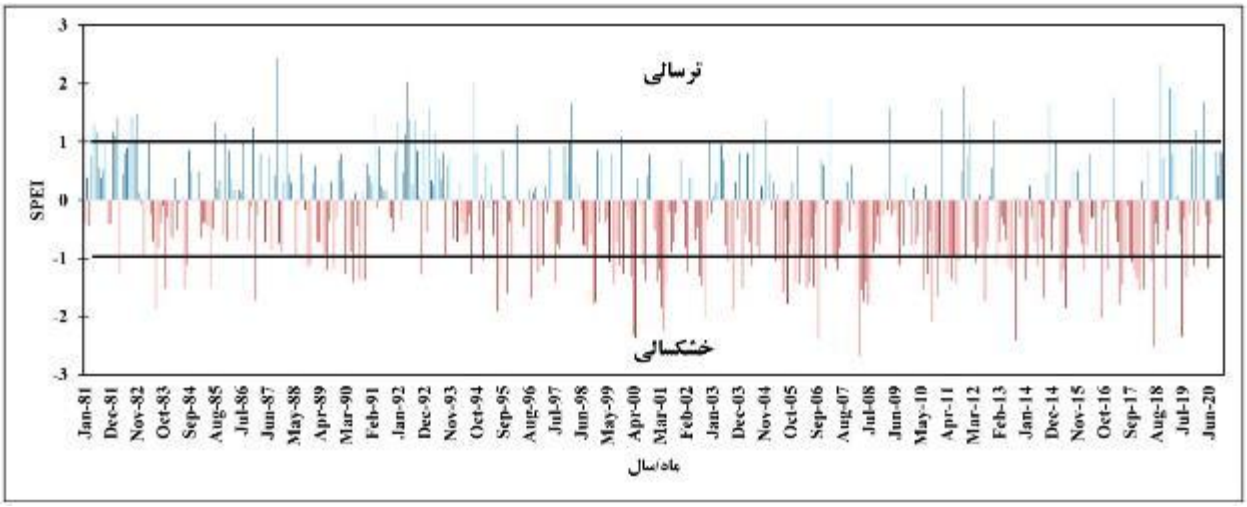
نتایج و بحث

بر اساس توزیع لجستیکی، SPEI ۱ ماهه به عنوان شاخص خشکسالی هواشناسی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ محاسبه شد و نتایج در شکل (۲) نشان داده شده است. بررسی تأثیر خشکسالی در استان خراسان رضوی نشان داد که در سال‌های اخیر رخدادهای خشکسالی عمده در استان خراسان رضوی رخ داده است. شدت خشکسالی در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بیش‌تر از دوره‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۱ و ۲۰۰۰-۱۹۹۱ بوده است. همچنین بالاترین فراوانی رخداد خشکسالی در دوره ۲۰۱۰۰-۲۰۰۱ و کمترین فراوانی خشکسالی نیز در دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱ اتفاق افتاده است. این نتایج نشان داد که خشکسالی‌های با فراوانی و شدت بیشتری در سال های اخیر در استان خراسان رضوی رخ داده است.

شکل (۲) مقدار SPEI را نشان می دهد، همانطور که پیداست دهه ۱۹۸۰ و حتی تا میانه دهه ۱۹۹۰ بسیاری از مقادیر SPEI مثبت هستند و برخی از سال ها دارای مقدار شاخص بیش از ۲ هستند. با این حال، با شروع دهه ۲۰۰۰ میلادی، تقریباً مقادیر قابل توجهی از SPEI منفی است. تقریباً نیمی از مقدار SPEI کمتر از ۱- است. طبق نتایج ارائه شده و مقایسه مقادیر به‌دست از SPEI با آستانه‌های این شاخص، درجه خشکسالی با مقدار SPEI همبستگی منفی دارد، که نشان می دهد خشکسالی در استان خراسان رضوی با فراوانی قابل توجهی در سال‌های اخیر رخ داده است. روند افزایشی-کاهشی SPEI نشان می‌دهد که اقلیم استان خراسان رضوی به ویژه پس از دهه ۲۰۰۰ در حال تغییر است و به سمت اقلیم خشک‌تر حرکت می‌کند. به طور واضح تر دسترسی به منابع آب در استان طی سال‌های اخیر محدود تر شده است به عبارت دیگر یعنی تفاوت بین بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل در حال افزایش است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]



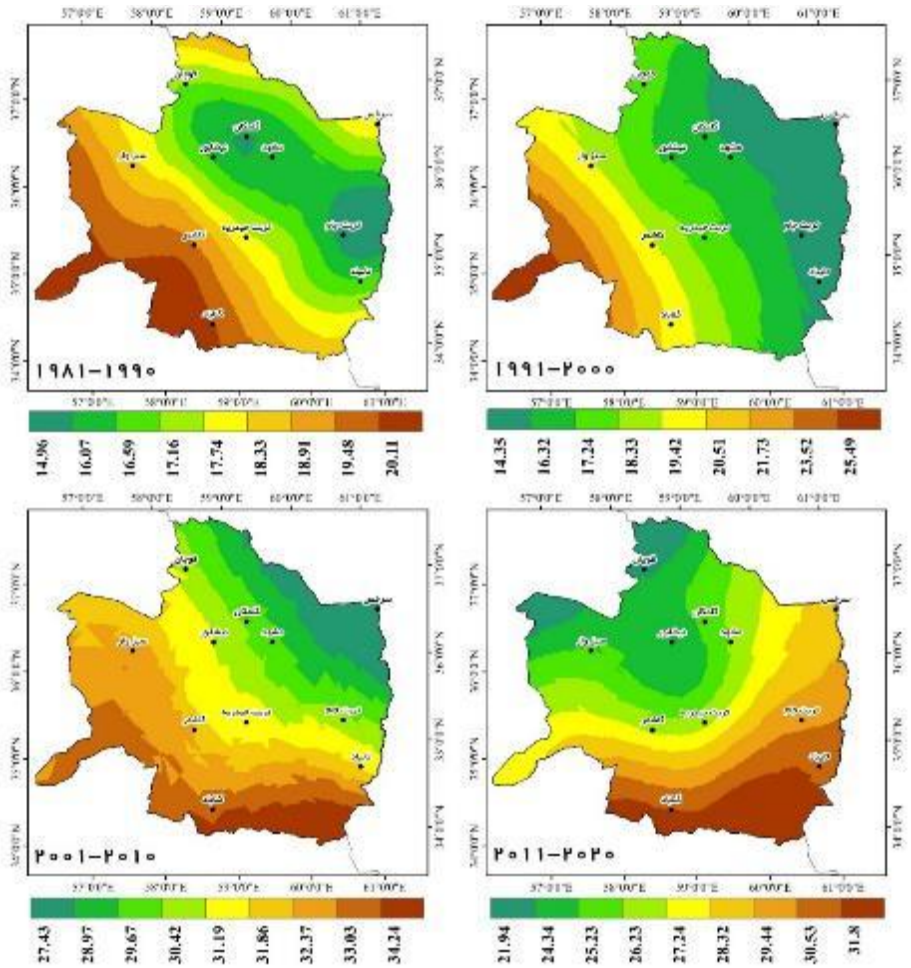
شکل ۲: سری زمانی شاخص خشکسالی SPEI در استان خراسان رضوی برای دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰

Figure 2: Time series of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Razavi Khorasan Province for the period 1981–2020.

فراوانی خشکسالی بر حسب درصد طی چهار دهه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. فراوانی خشکسالی طی چهار دهه گذشته روند افزایشی قابل توجهی داشت. بیشینه فراوانی خشکسالی طی دهه اول و دوم در مناق غربی استان با مقادیر ۲۰/۱۱ و ۲۵/۴۹ درصد بیشینه است. در مقابل شاخص در دهه‌های سوم و چهارم در مناطق جنوبی استان با مقادیر بیشینه ۳٤/۲٤ درصد و ۳۱/۸ درصد بیشینه مقدار خود را نشان داده است (شکل ۳). تغییرات دهه‌های خشکسالی در استان خراسان رضوی یک جابجایی مکانی را نشان می‌دهد بطوریکه خشکسالی در دهه–های اول و دوم به سمت مناطق جنوبی و شرقی استان در دهه‌های سوم و چهارم جابجا شده‌اند. همگام با روند افزایشی مناطقی با بیشینه فراوانی خشکسالی، کمینه فراوانی نیز طی چهار دهه مورد بررسی روند افزایشی را نشان داده‌اند. کمینه فراوانی خشکسالی طی دهه اول ۱٤/۹٦ درصد، دهه دوم ۱٤/۳۵ درصد، دهه سوم ۲۷/٤۳ درصد و در دهه چهارم به ۲۱/۹٤ درصد رسیده است. در بین چهار دهه مورد بررسی فراوانی خشکسالی در دهه سوم مورد بررسی (۲۰۱۰–۲۰۰۱) بالاترین مقدار را نشان داده است (شکل ۳). بطوریکه در مناطق جنوبی و جنوب شرقی استان فراوانی خشکسالی در این دهه در بیش از یک سوم ماه‌های سال دیده شده است. افزایش زیاد خشکسالی در مناطق جنوبی استان در نتیجه دمای بسیار زیاد، کاهش بارش و به دلیل مقدار بالای تبخیر–تعرق پتانسیل است. لذا می‌توان اذعان داشت که در مناطق خشک و نیمه خشکی همچون استان خراسان رضوی شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر تبخیر–تعرّق پتانسیل (PET) از کارایی بالاتری نسبت به شاخص‌های فقط مبتنی بر بارش همانند SPI برخوردار هستند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]



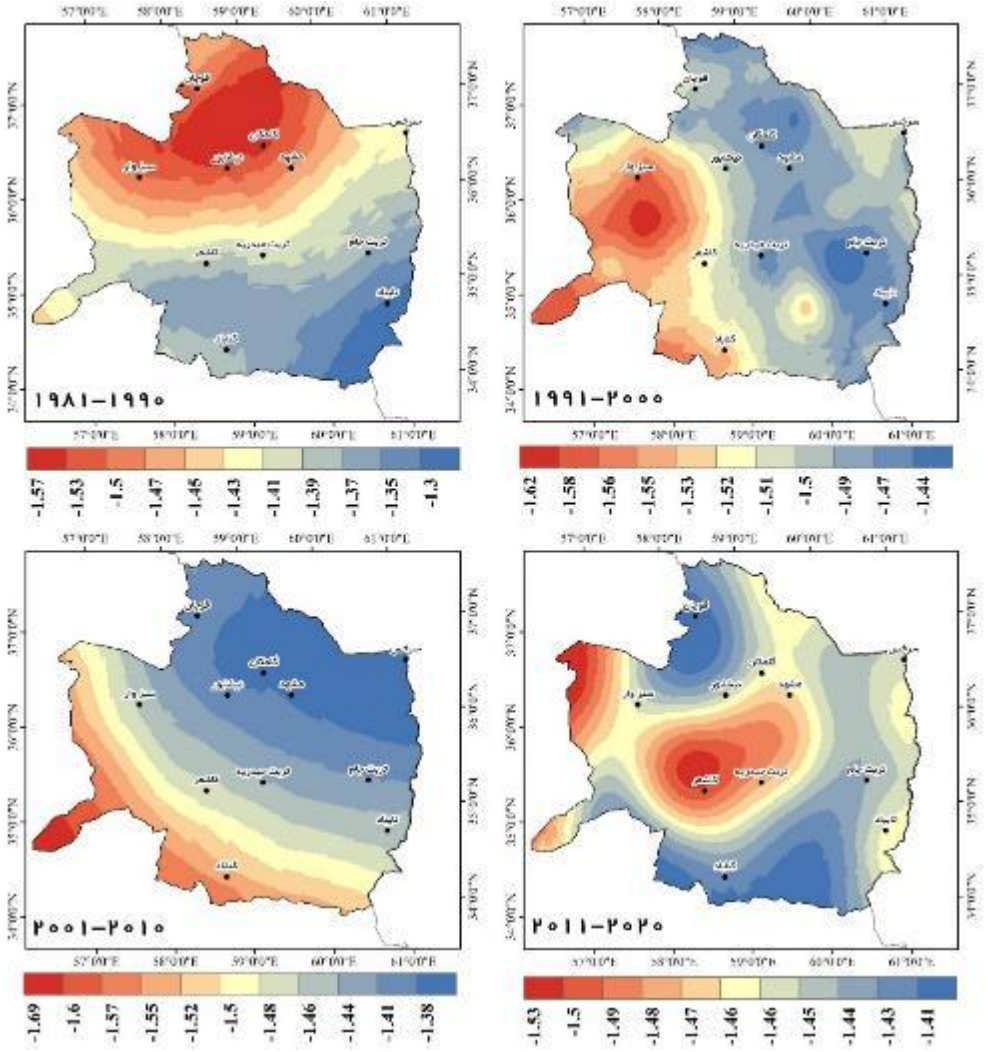
شکل ۳: تغییرات دهه‌ای فراوانی شاخص بارش تبخیر-تعرّق استانداردشده (SPEI) (واحد: درصد) در استان خراسان رضوی طی دوره ٤٠ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰)

Figure 3: Decadal variations in the frequency of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (unit: percent) in Razavi Khorasan Province during the 40-year period (1981–2020).

از نظر فضایی، کل استان خراسان رضوی طی دوره مورد مطالعه روند خشکسالی شدت زیادی را تجربه کرده است. این در حالی است که قسمت‌های شرقی، شمال‌غربی روند خشکسالی بارزتر بوده است. تجزیه و تحلیل روند خشکسالی با شاخص SPEI-1 نشان می دهد روند زیاد شدت و فراوانی خشکسالی استان خراسان رضوی جدی است (شکل ٤). تفاوت آشکاری از روند خشکسالی در بین مناطق مختلف اقلیمی استان در مقیاس سالانه وجود داشته است. تغییر روند خشکسالی، در فراوانی و شدت خشکسالی نیز منعکس شده است. شدت خشکسالی در مناطق شرقی و شمال‌غربی استان به طور قابل توجهی افزایش یافت و خشکسالی با درجات مختلف به طور مکرر در این منطقه رخ می‌دهد. این بدان معناست که اکوسیستم شکننده استان با چالش‌های شدیدتری مواجه است. لذا یکی از دلایل اصلی طوفان های گردوغبار مکرر در شرق استان در سال‌های اخیر افزایش قابل توجه خشکسالی و کاهش شدید پوشش گیاهی است. بیشینه شدت خشکسالی در استان خراسان رضوی دارای تغییرات همانند فراوانی خشکسالی است بطوریکه شدت خشکسالی در دهه اول ۱/۵۷-، دهه دوم ۱/٦۲-، دهه سوم ۱/٦۹- و دهه چهارم به ۱/۵۳- رسیده است. شدت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

خشکسالی نیز همانند فراوانی خشکسالی دارای جابجایی مکانی زیادی در مناطق استان است. بطوریکه شدت خشکسالی در دهه‌های اول و دوم بیشتر در مناطق غربی و شمالی استان دیده می‌شد. اما رفته رفته طی دهه‌های سوم و چهارم به به مناطق جنوبی غربی استان نیز کشده است که نشان دهنده تغییرات خزنده این شاخص در طول زمان است.



شکل ٤: تغییرات دهه‌ای شدت شاخص بارش تبخیر–تعرّق استانداردشده (SPEI) (واحد: درصد) در استان خراسان رضوی طی دوره ٤٠ ساله (۱۹۸۱–۲۰۲۰)

Figure 4: Decadal variations in the intensity of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (unit: percent) in Razavi Khorasan Province during the 40-year period (1981–2020).

خشکسالی‌های رخ داده در فصول گرم سال مربوط به دوره‌های کشاورزی در استان با توجه به شدت و مدت زمان آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. الگوی مکانی–زمانی رویدادهای خشکسالی در استان خراسان روضی در سال‌های ۲۰۰۱–۲۰۲۰ به عنوان میانگین شاخص خشکسالی VCI به طور میانگین در هر پیکسل در طول در فصول مختلف نشان داده شده است (شکل ۵). در مجموع، نتایج شاخص خشکسالی VCI نشان داده است که یک الگوی خشکسالی پویا از

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

نظر زمانی و مکانی برای دوره زمانی مورد بررسی آشکار شده است. بدینوسیله، شرایط فصلی خشکسالی منطقه‌ای گسترده، که عمدتاً در مناطق مرکزی تا شمال غربی با سیگنال‌های خشکسالی قوی قرار دارند، به نمایش گذاشته شدند. برای بسیاری از مناطق استان خراسان رضوی، بخش بزرگتری از فصول گرم سال تحت تأثیر خشکسالی نشان داده شده توسط VCI، در مقایسه شاخص SPEI قرار گرفته است (شکل های ٤ و ٥ را مقایسه کنید). این نتیجه به روشنی نشان می دهد که شاخص ماهواره‌ای VCI به خوبی توانسته است وضعیت خشکسالی را در استان نمایش دهد.

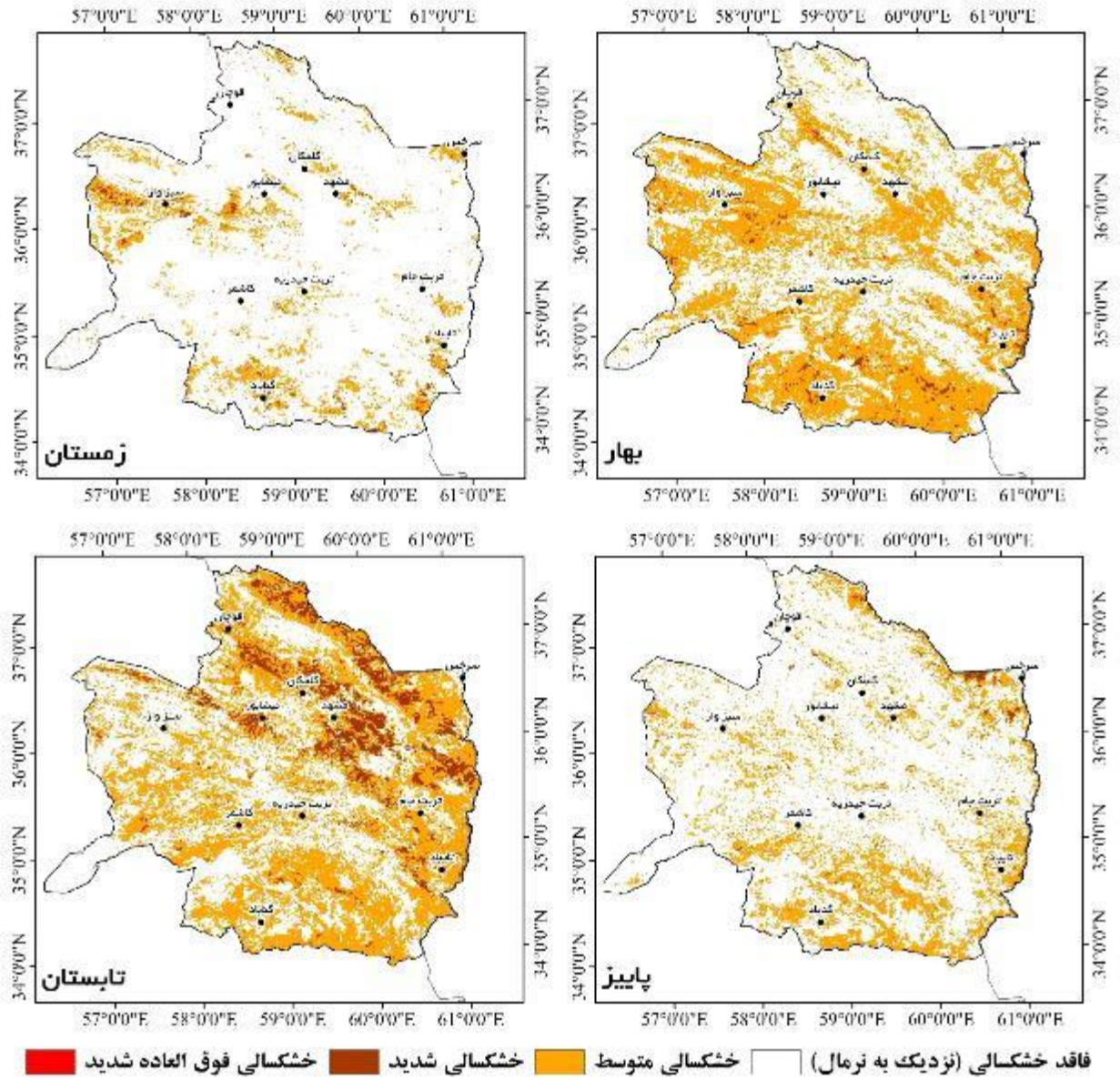
اگرچه الگوهای خشکسالی نشان داده شده توسط SPEI و VCI تا حد زیادی موافق هستند (شکل‌های ۳ تا ۵)، اما انحرافاتی را نیز می‌توان برای چندین منطقه یافت. از یک سو، این تفاوت‌ها را می‌توان با ویژگی‌های خاص خود شاخص‌های خشکسالی توضیح داد. در حالی که SPEI کمبود بارش را از نقطه نظر هواشناسی در درجه اول اندازه گیری می کند، این در حالی است که VCI وضعیت پوشش گیاهی را ارزیابی می کند، که نه تنها تحت تأثیر در دسترس بودن آب از بارش است، بلکه تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در قالب فعالیت های کشاورزی (به عنوان مثال، آبیاری، خاک ورزی، کود دهی)، تغییرات کاربری زمین (به عنوان مثال، بهره برداری از منابع طبیعی) و سایر تأثیرات طبیعی مانند دمای بالا، آتش سوزی، آفات یا بیماری‌های گیاهی قرار می گیرد. این عوامل تأثیرگذار می‌توانند مسئول تغییرات در NDVI باشند که اساس VCI را فراهم می کند. روش‌های آبیاری می‌توانند نقش عمده‌ای برای اختلاف بین سیگنال‌های خشکسالی مشتق شده داشته باشند.

همچنین اثر دما بر تبخیر-تعرق قابل ذکر است که به نوبه خود وضعیت پوشش گیاهی را به میزان قابل توجهی کنترل می کند. با این حال، این جنبه ها توسط SPEI در نظر گرفته نمی شوند (شکل ٤). سایر دلایل بالقوه انحراف بین شاخص های خشکسالی استفاده شده، اثرات کمبود بارش بر وضعیت پوشش گیاهی و پاسخ تاخیری متوالی آن است. در این راستا، ذخیره آب در مخزن خاک یک حائل مهم بین رویدادهای بارش و رطوبت خاک برای گیاهان است و شرایط پوشش گیاهی را کنترل می کند. بزرگی این تاخیر زمانی به نوع و ویژگی های پوشش گیاهی، شرایط خاک و تبخیر-تعرق پتانسیل بستگی دارد.

علاوه بر این، ناهنجاری‌های بارش مبتنی بر SPEI شامل رویدادهای براش‌های حدی است که لزوماً تأثیر مثبتی بر وضعیت پوشش گیاهی ندارند. بدین ترتیب، نفوذ به خاک جزئی است، زیرا بیشتر آب به دلیل رواناب سطحی از بین می رود. علاوه بر این، زمان‌بندی کمبود بارش برای وقوع تنش پوشش گیاهی و کاهش آن در VCI تعیین‌کننده است (شکل ۵). کمبود بارش در داخل یا خارج از فصل رشد و همچنین بسته به فاز فصل رشدی که تأثیر می گذارد یا مرحله فنولوژیکی خاص تأثیرات متفاوتی دارد. از این رو، همه رویدادهای خشکسالی ناشی از بارش منجر به خشکسالی مبتنی بر پوشش گیاهی نمی‌شوند. همچنین در حالت عکس نیز همه رویدادهای خشکسالی پوشش گیاهی به عنوان یک نتیجه از کمبود بارش رخ نمی‌دهند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]



شکل ۵: شاخص خشکسالی VCI در استان خراسان رضوی بر اساس داده‌های سنجنده MODIS ماهواره TERRA طی دوره ۲۰۰۱–۲۰۲۰ با تفکیک افقی ۱۰۰۰ متر

Figure 5. Vegetation Condition Index (VCI) in Razavi Khorasan Province based on MODIS sensor data from the TERRA satellite during the period 2001–2020 with a spatial resolution of 1000 meters.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

نتیجه گیری

در این مطالعه، از شاخص SPEI در استان خراسان رضوی به عنوان شاخص شاخص در نظر گرفته شده است. دما در استان خرسان رضوی در حال افزایش است و دامنه خشکسالی نیز به تبع آن در حال گسترش است. با توجه به در نظر گرفتن دما در SPEI، خشکسالی منعکس شده توسط SPEI در مقیاس های زمانی مختلف روند افزایشی نشان داده است.

نتایج نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی طی سال‌های اخیر به شکل قابل توجهی خشک‌تر شده است بزرگی شدت خشکسالی به سمت جنوب و شرق استان افزایش یافته است. در سطح جهانی نیز Vicente-Serrano et al (2014) تایید کردند که شدت خشکسالی در نتیجه تقاضای تبخیر جوی بیشتر ناشی از افزایش دما است. استان خراسان رضوی تا حد زیادی یک منطقه خشک و نیمه خشک است که دارای بارش کم است و افزایش تبخیر ناشی از افزایش دمای هوا نقش بسیار مهمی در تغییر اقلیم و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی این استان ایفا می کند. نتایج نشان‌داده شده توسط سری زمانی متوسط پهنه‌ای شاخص SPEI در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که تغییر جزئی در شدت خشکسالی، تغییر آشکاری در فراوانی خشکسالی و افزایش در وسعت فضایی خشکسالی داشته است. در همین حال، نتایج نشان‌داده شده توسط SPEI نشان دهنده طول مدت خشکسالی طولانی‌تر (متوسط، حداکثر)، شدت خشکسالی بیشتر و وسعت فضایی بیشتر خشکسالی ناشی از تغییر اقلیم است.

تغییرات در ویژگی خشکسالی بر اساس داده‌های ٤٠ سال گذشته، از جمله فراوانی، شدت و مناطق تحت تاثیر خشکسالی نشان داد که خشکسالی‌های استان خراسان رضوی در طول ٤٠ سال گذشته تغییرات دهه‌ای کاملاً مشخصی را نشان می‌دهند. بر اساس تغییرات منطقه‌ای خشکسالی، چندین تفاوت منطقه‌ای خشکسالی شناسایی شده است. بیشینه فراوانی خشکسالی در دهه اول (۱۹۹۰-۱۹۸۱) نسبت به دهه چهارم (۲۰۲۰-۲۰۱۱) افزایش ۱۱/٦۹ درصدی را تجربه کرده است. به همین ترتیب کمینه شاخص نیز افزایش ٦/۹۸ درصدی را نشان داده است. این تغییرت به روشنی نشان دهنده افزایش قابل توجه خشکسالی در استان خراسان رضوی است که لازم است برنامه‌های ویژه‌ای برای مقابله با این پدیده مخاطره آمیز در استان خراسان رضوی اتخاذ شود. بالاترین مقادیر برای شدت و فراوانی خشکسالی در استان خراسان رضوی در دهه سوم مورد بررسی (۲۰۱۰-۲۰۰۱) به‌دست آمده است.

در این مطالعه، تغییرات زمکانی-مکانی شاخص خشکسالی VCI با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI بررسی شده است. بر اساس ناهنجاری‌های بارش و داده‌های مربوط به شرایط پوشش گیاهی (VCI)، الگوهای مقیاس بزرگ خشکسالی در سطح استان شناسایی شد. یافته ها به طور کلی با رویدادهای عمده خشکسالی ثبت شده مطابقت دارد. نتایج این تحقیق کاربرد همزمان دو شاخص مربوط به بارش تبخیر-تعرق (SPEI) و پوشش گیاهی (VCI) را به عنوان شاخص‌هایی برای نظارت جامع برای خشکسالی ثابت کرده است. تفاوت بین شدت-های خشکسالی به دست آمده از هر یک از شاخص های مورد استفاده را می توان با رابطه بین ناهنجاری های بارش و شرایط پوشش گیاهی توضیح داد که تحت تأثیر پارامترهای محیطی متعدد و شیوه های کاربری زمین مانند آبیاری هستند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

تجزیه و تحلیل های بیشتر نشان می‌دهد که تغییرات دما و بارش نقش های متفاوتی در تعیین خشکسالی در استان خراسان رضوی نشان می‌دهند. نقش‌های مختلف در درجه اول به میزان تغییرات در الگوهای اقلیمی مختلف مربوط می‌شود. واکنش‌های قوی به تغییرات دما در شرق و جنوب استان دیده می‌شود. این ناهمگنی فضایی تا حدی با تغییرات محلی و مقدار کل بارش مرتبط است. بطور کلی بی‌هنجاری‌های دما در طول دهه‌های اخیر سهم بیشتری را در رخداد خشکسالی در ایران نشان می‌دهد (Zarrin and Dadashi-Roudbari, 2020: 583). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که گرم شدن سریع ایران در دهه‌های اخیر نقش نسبتاً بیشتری در تعیین تغییرات خشکسالی دارد.

نتایج این تحقیق پیامدهای مهمی برای مدیریت کوتاه مدت و بلندمدت ریسک خشکسالی در استان خراسان رضوی دارد. افزایش احتمال خطرات خشکسالی به معنی افزایش خطر برای کل سیستم‌های طبیعی و انسانی در استان خراسان رضوی است. برای مدیریت این خطرات خشکسالی سیاست‌های مدیریت آب باید اصلاح شوند، زیرا بعید است که شیوه‌های مدیریت آب موجود قادر به کاهش اثرات منفی خشکسالی بر تامین آب باشند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

References

-Asakereh, H. (2008), "Kriging application in climatic element interpolation a case study: iran precipitation in 1996.12.16", ***Geography and Development***, 6(12): 25-42. Doi:10.22111/GDIJ.2008.1241. [In Persian].

-Bae, S., Lee, S. H., Yoo, S. H., & Kim, T. (2018). "Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010", ***Water***, 10(3): 327-335.Doi:10.3390/w10030327.

-Chen, L. G., Gottschalck, J., Hartman, A., Miskus, D., Tinker, R., & Artusa, A., (2019), "Flash drought characteristics based on US drought monitor", ***Atmosphere***, 10(9): 498-509.Doi:10.3390/atoms10090498.

-Faghani, M., Ghorbani, K., & Salarijazi, M. (2016). "Spatial-temporal analysis of seasonal meteorological drought", ***Journal of Agricultural Meteorology***, 4(1), 1-11. [In Persian].

-Feng, W., Lu, H., Yao, T., & Yu, Q. (2020). "Drought characteristics and its elevation dependence in the Qinghai–Tibet plateau during the last half-century", ***Scientific Reports***, 10(1), 1-11.Doi:10.1038/s41598-020-71295-1.

-Gocic, M., & Trajkovic, S. (2018). "Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia", ***Journal of Hydrology***, 510, 110-123.Doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.12.030.

-Hisdal, H., & Tallaksen, L. M. (2003). "Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark". ***Journal of Hydrology***, 281(3), 230-247.Doi:10.1016/s0022-1694(03)00223-6.

-Hong, X., Guo, S., Xiong, L., & Liu, Z. (2015). "Spatial and temporal analysis of drought using entropy-based standardized precipitation index: a case study in Poyang Lake basin, China". ***Theoretical and Applied Climatology***, 122(3), 543-556. Doi:10.1007/s00704-014-1312-y.

-Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991), "Interpreting vegetation indices", ***Preventive veterinary medicine***, 11(3-4), 185-200.10.1016/s0167-5877(05)80004-2.

-Kogan, F. N. (1995). "Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data".***Bulletin of the American Meteorological Society***, *76*(5),655-668.Doi:10.1175/1520-0477(1995)076.

-Koutroulis, A. G., Vrohidou, A. E. K., & Tsanis, I. K. (2011). "Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of Crete", ***Journal of Hydrometeorology***, 12(2), 206-226.Doi:10.1175/2010JHM1252.1.

-Lee, J. E., Azam, M., Rehman, S. U., Waseem, M., Anjum, M. N., Afzal, A., & Rehman, S. A. U. (2022). "Spatio-temporal variability of drought characteristics across Pakistan". ***Paddy and Water Environment***, 20(1), 117-135.Doi:10.1007/s10333-021-00881-4.

-Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., Bech, J., & Rodrigo, F. S. (2018). "Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012". ***Atmospheric Research***, 200, 153-168.Doi: 10.1016/j.atmosres.2017.09.016.

-Mirzayi Hasanlo, A., Abghari, H., Erfanian, M., & Choobe, S. (2020). "An assessment of spatial and temporal changes in precipitation and drought in iranian synoptic stations of Iran".***Watershed Management Research Journal***, 33(4), 123-141. Doi:10.22092/wmej.2020.341216.1298. [In Persian].

-Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2014). "A review of drought concepts". ***Journal of hydrology***, 391(1-2), 202-216. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.

-Mohammadi, S., Naseri, F., & Nazaripour, H. (2018). "Investigating the temporal variation and meteorological drought effect on groundwater resources in Kerman plain using SPI and GRI

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

indices". ***Iranian journal of Ecohydrology***, 5(1), 11-22. Doi:10.22059/IJE.2017.225329.434. [In Persian].

-Montaseri, M., Amirataee, B., & Khalili, K. (2016). "identification of trend in spatial and temporal dry and wet periods in northwest of iran based on spi and rai indices", ***Water and Soil***, 30(2),655-671. Doi:10.22067/jsw.v30i2.39679.I[In Persian].

-Mosaedi, A., Mohammadi-Moghadm, S., Kavakebi, G. (2017). "Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 23(6), 27-52. Doi: 10.22069/JWFST.2017.8878.2266. [In Persian].

-Myneni, R. B., Maggion, S., Iaquinta, J., Privette, J. L., Gobron, N., Pinty, B., ... & Williams, D. L. (1995), "Optical remote sensing of vegetation: modeling, caveats, and algorithms", ***Remote sensing of environment***, 51(1): 169-188. Doi.org/10.1016/0034-4257 (94)00073-V.

-Oikonomou, P. D., Karavitis, C. A., Tsesmelis, D. E., Kolokytha, E., & Maia, R.. (2020). "Drought characteristics assessment in Europe over the Past 50 Years". ***Water Resources Management***, 34(15), 4757-4772. Doi: 10.1007/s11269-020-02688-0

-Quiring, S. M., & Papakryiakou, T. N. (2003). "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies". ***Agricultural and forest meteorology***, *118*(1-2), 49-62. Doi.org/10.1016/S0168-1923 (03)00072-8.

-Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S. C., & Diffenbaugh, N. S. (2015). "A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century", **Journal of Hydrology**, 526, 196-207. Doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.011.

-Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). "A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index". ***Journal of climate***, 23(7),1696-1718.

-Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., ... & Espejo, F. (2014). "Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe", ***Environmental Research Letters***, 9(4), 044001.1-9. **Doi:** 10.1088/1748-9326/9/4/044001.

-Wang, X., Zhuo, L., Li, C., Engel, B. A., Sun, S., & Wang, Y. (2020). "Temporal and spatial evolution trends of drought in northern Shaanxi of China: 1960–2100". ***Theoretical and Applied Climatology***, 139(3), 965-979. Doi: 10.1007/s00704-019-03024-2.

-Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. A. (2020). "Projection the long-term outlook iran future temperature based on the output of the coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6)". ***Journal of the Earth and Space Physics***, 46(3), 583-602. Doi: org/10.22059/jesphys.2020.304870.1007226. [In Persian].

Extended Abstract

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

Assessment Of Drought Conditions In Razavi Khorasan Province Using Spei And Vci Indices

Mahsan Karoosjdeh[1], Karim Amininia[2]* , Seyed Mehdi Saqebian[3]

Abstract:
Drought is a natural hazard that can exert severe and long-lasting impacts on both natural and human systems. The increase in greenhouse gases is expected to alter the characteristics of droughts. In this regard, to investigate drought conditions in Razavi Khorasan Province over a 40-year period, data from synoptic meteorological stations (1980–2020) and remotely sensed data from the Terra satellite MODIS sensor with a spatial resolution of 1000 meters for a 20-year period (2001–2020) were utilized. The applied drought indices included the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and the Vegetation Condition Index (VCI). Results indicated that Razavi Khorasan has experienced frequent and intense droughts over the past four decades. The highest frequency and severity of drought occurred during the third decade (2001–2010), with a maximum drought intensity of −1.69 and a frequency of 34.24%. Analysis of the satellite-based drought index revealed a strong agreement between the drought patterns identified by SPEI and VCI. Decadal assessment of drought severity and frequency suggested a trend toward a drier climate in the province after the 2000s. A comparative analysis of the two indices demonstrated that precipitation-induced droughts (SPEI) do not necessarily result in vegetation-based droughts at the provincial scale. Similarly, vegetation drought events (VCI) are not solely attributable to precipitation deficits.

Keywords: Drought, SPEI Index, VCI Index, MODIS Sensor, Razavi Khorasan

Introduction :Droughts regularly lead to significant socio-economic and environmental impacts. Drought is considered one of the most severe natural hazards, and climate change is expected to cause longer and more widespread drought events in many regions of the world during the 21st century (Bates et al., 2008: 11). Understanding the severity of drought impacts requires targeted management supported by precise monitoring. However, drought monitoring is accompanied by numerous challenges, since in many cases drought develops gradually, making its detection difficult. A review of the literature reveals that drought has been widely addressed both globally and in Iran. Despite valuable studies conducted in the country, no independent research has yet focused on drought assessment—particularly satellite-based drought monitoring—in Razavi Khorasan Province. This highlights the necessity of a detailed investigation of drought conditions in the region. Razavi Khorasan Province is located in northeastern Iran. Owing to its arid and semi-arid geographical setting, the province is highly vulnerable to climate change, with a fragile environment. Drought is the most common natural hazard in Razavi Khorasan and has the greatest impacts on agricultural production, water resources, industry, and livestock farming. Therefore, monitoring drought and understanding its long-term characteristics in Razavi Khorasan Province is of great importance. The findings of this study will have significant applications in various sectors, including agriculture, water resources, and environmental management.

Materials and Methods
To investigate drought conditions in Razavi Khorasan Province over a 40-year period, data from synoptic meteorological stations covering the period 1980–2020 were utilized. The locations of the stations are presented in Figure 1. The examined variables included air temperature, sunshine hours, precipitation, and wind speed on a daily scale, which were employed to calculate potential evapotranspiration (PET) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). The homogeneity of the data was assessed using the Run Test, and the results confirmed their

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

homogeneity. The Vegetation Condition Index (VCI) is one of the earliest remote sensing–based drought indices that has been widely applied for drought monitoring. This index is derived from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), is simple to compute, and is available at various temporal and spatial resolutions. The VCI concept was initially developed to extract the climatic component from NDVI values by accounting for vegetation variations driven by climatic factors. In the present study, VCI was selected due to its multiple advantages, particularly because it not only reflects the spatiotemporal variations of vegetation cover but also enables the identification of climatic impacts on vegetation dynamics.

Results and Discussion

There were clear differences in drought trends across the various climatic regions of the province on an annual scale. Changes in drought trends were also reflected in both drought frequency and intensity. The severity of drought has increased considerably in the eastern and northwestern parts of the province, where droughts of varying magnitudes now occur repeatedly. This indicates that the fragile ecosystem of the province is facing increasingly severe challenges. One of the main reasons for the frequent dust storms observed in the eastern part of the province in recent years is the significant intensification of drought combined with the drastic reduction of vegetation cover.The maximum drought intensity in Razavi Khorasan Province followed a pattern similar to that of drought frequency. Specifically, the maximum drought intensity was −1.57 in the first decade, −1.62 in the second decade, −1.69 in the third decade, and −1.53 in the fourth decade. Moreover, drought intensity, like drought frequency, exhibited considerable spatial variability across the province. In the first and second decades, the most severe droughts were concentrated in the western and northern regions, but over time, during the third and fourth decades, the pattern shifted toward the southwestern areas of the province. This gradual spatial displacement highlights the creeping nature of drought changes over time.

Conclusion

Further analyses revealed that variations in temperature and precipitation play different roles in determining drought conditions in Razavi Khorasan Province. These differing roles are primarily related to the extent of changes in various climatic patterns. Stronger responses to temperature changes were observed in the eastern and southern parts of the province. This spatial heterogeneity is partly associated with local variability and the total amount of precipitation. Overall, temperature anomalies in recent decades have shown a greater contribution to drought occurrence in Iran (Zarrin and Dadashi-Roudbari, 2020: 583). Accordingly, it can be concluded that the rapid warming of Iran in recent decades has played a relatively greater role in shaping drought variability.The findings of this study carry important implications for both short-term and long-term drought risk management in Razavi Khorasan Province. An increasing probability of drought hazards implies a heightened risk for the entire set of natural and human systems in the region. To effectively manage these risks, water management policies must be revised, as the current practices are unlikely to mitigate the adverse impacts of drought on water supply.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.3.4112]