

ارزیابی شاخص های سنجش از دوری در شرایط خشکسالی (مطالعه موردی: دشت ارومیه)

آروین میرعلیزاده^{۱*}، سمیه حاجبی^۲، مهدی کوچک زاده^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۳ دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷

چکیده

بخش کشاورزی هر کشور، نسبت به خشکسالی و پیامدهای تغییر اقلیم آسیب پذیر است؛ بنابراین برنامه ریزی به منظور پایش و مدیریت خشکسالی کشاورزی می تواند کمک شایانی به کاهش خسارات ناشی از خشکسالی نماید. امروزه استفاده از تصاویر ماهواره ای به عنوان یک ابزار مفید جهت پایش خشکسالی کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد. از این رو در این تحقیق به بررسی شاخص های سنجش از دوری VCI، TCI و VHI در مقیاس های فصلی، ۶ ماهه و سالانه و بررسی ضریب همبستگی با شاخص بارش استاندارد شده SPI با استفاده از داده های ۴ ایستگاه باران سنجی در دشت ارومیه در طی بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ پرداخته شده است. نتایج نشان داد که شاخص های سنجش از دوری در مقیاس سالانه از همبستگی بالاتری در مقایسه با فصلی و ۶ ماهه با شاخص SPI برخوردار هستند و در حالت کلی ضریب همبستگی شاخص VCI در مقیاس سالانه نسبت به دو شاخص TCI و VHI بالاتر است. نتایج تفکیک دشت ارومیه به ۱۷ ناحیه مورد مطالعه از طریق روش چندضلعی تیسن با استفاده از چاه های پیژومتری جهت بررسی شاخص های سنجش از دوری در مقیاس کوچک تر نیز نشان می دهد که در هر منطقه بسته به شرایط خاص اقلیمی و پوشش گیاهی، ضریب همبستگی متفاوتی با شاخص های سنجش از دوری وجود دارد و نمی توان شاخص بهینه ای برای کل منطقه ارومیه انتخاب نمود؛ بنابراین برای انتخاب شاخص بهینه خشکسالی پیشنهاد می شود مقیاس منطقه مورد مطالعه به ابعاد کوچک تری تقسیم شود تا بهترین شاخص برای ارزیابی و پایش خشکسالی کشاورزی بسته به پوشش گیاهی خاص هر منطقه در مقیاس کوچک تر انتخاب و مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان تصمیم های مهم مدیریتی را در مواجهه با خشکسالی اتخاذ نمود.

کلمات کلیدی: خشکسالی، SPI، VCI، VHI، TCI

خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی و بلایای خطرناک اقلیمی است که در نتیجه کمبود بارش کمتر از حد نرمال پدید می آید. اگر این کمبود بارش در یک دوره زمانی طولانی ادامه یابد نیازهای آبی مربوط به فعالیت های انسانی و محیط زیست تأمین نخواهد شد. از آنجاکه طول دوره خشکسالی در نقاط مختلف جهان متفاوت است در نتیجه اثرات آن در انواع سیستم های اقتصادی و اجتماعی کشورها متفاوت است (ویلهایت، ۲۰۱۲).

خشکسالی باعث تغییر در چرخه هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، افت سطح و کیفیت آب شده در نتیجه باعث به هم خوردن تعادل بین بارش و تبخیر، نفوذپذیری خاک و رواناب می شود. نتیجه مطالعه و پایش خشکسالی در جهت مدیریت جامع حوزه های آبخیز از اهمیت بسیاری برخوردار است (کوئرا و همکاران، ۲۰۲۳). خشکسالی کشاورزی عبارت است از کاهش مقدار رطوبت خاک به گونه ای که گیاه نتواند تبخیر و ترق را جبران کند و رطوبت حاصله از آن کمتر از مقدار مورد نیاز برای رشد گیاه باشد و در نتیجه باعث کاهش محصول شود. این نوع خشکسالی با افزایش خشکسالی هواشناسی، کاهش بارش و افزایش دما همراه است. با توجه به نیازهای آبی مختلف گیاهان، مفهوم خشکسالی از دیدگاه کشاورزی برای انواع مختلف محصولات متفاوت است (کاظم پور چورسی و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از راه های مؤثر و کارآمد برای جلوگیری از خسارت های خشکسالی اجرای طرح های آبخیزداری است. تعیین شدت خشکسالی چندان آسان نیست، زیرا به مدت زمان، گستره جغرافیایی و علاوه بر تأثیرات اقلیمی به فعالیت های انسانی و کشاورزی نیز بستگی دارد. تأثیرات درازمدت خشکسالی باعث می شود تا شناسایی و کمی کردن آن بر محیط زیست و اقتصاد جامعه امری مشکل شود. یکی از کاربردهای فراوان تکنیک های سنجش از دور، استفاده از آن برای اهداف کشاورزی است (اولو و سینه، ۲۰۲۱). برنامه ریزان، مجریان و کشاورزان با آگاهی از خشکسالی می توانند اقدامات مدیریتی مناسب انجام دهند. سنجش از دور ماهواره ای رایج ترین منبع داده برای پایش، اندازه گیری و نقشه برداری از الگوهای تغییرات به دلیل کسب

اطلاعات تکراری مناسب برای پردازش کامپیوتری است (آروالو و همکاران، ۲۰۲۰). پایش تغییرات و ارزیابی از طریق سنجش از دور شامل استفاده از تصاویر چند زمانه برای ارزیابی تغییرات رخ داده تحت شرایط متفاوت محیطی و اقدامات انسانی است (اعلام و همکاران، ۲۰۱۹).

نواقص آماری موجود در پارامترهای جوی مانند بارش و پراکندگی نامناسب ایستگاه های هواشناسی، دلایلی می باشند که لزوم توجه به روش های نوین سنجش از دوری را نشان می دهند. به طوریکه در سال های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی داده های سنجنده های ماهواره ای نقش مهم و روزافزونی در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می کنند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

خلیل و همکاران (۲۰۱۳) به پایش خشکسالی کشاورزی از طریق سنجش از راه دور با استفاده از شاخص های VCI¹، TCI² و VHI³ با استفاده داده های سنجنده MODIS مشاهده نمودند در مصر بین دو شاخص VCI و TCI در بعضی از سال ها همخوانی وجود دارد در حالی که در بعضی از سال ها نتیجه مخالف یکدیگر را داشته اند و به این جمع بندی رسیدند که اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی به طور قابل توجهی بین مناطق، متفاوت است. جهانگیر و مشایدی (۲۰۲۰) به ارزیابی پایش خشکسالی کشاورزی مبتنی بر سنجش از دوری تصاویر مادیس به محاسبه شاخص های VCI و TCI با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش SPI⁴ در حوضه کارون بزرگ در طی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ با استفاده از نرم افزار Envi و Matlab پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کلیه شاخص ها در قسمت های جنوبی حوضه، خشکسالی شدید را نشان می دهد و همچنین از بین شاخص های خشکسالی کشاورزی بیشترین همبستگی را بین VCI و SPI مشاهده نمودند. کلوس و همکاران (۲۰۲۱) به تشخیص خشکسالی کشاورزی با شاخص های سلامت پوشش گیاهی مبتنی بر سنجنده MODIS در جنوب شرقی آلمان با استفاده از شاخص های خشکسالی، شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص وضعیت

1. Vegetation Condition Index
2. Temperature Condition Index
3. Vegetation Health Index
4. Standardized Precipitation Index

های $NDVI^6$ ، EVI^7 ، $NDWI^8$ ، $TVDI^9$ در طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ پرداختند و با تجزیه و تحلیل ضریب همبستگی پیرسون به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI از ضریب همبستگی بیشتری با شاخص NDVI برخوردار است. در همین حال، SPI یک ماهه با NDVI و EVI همبستگی بالاتری نسبت به SPI سه ماهه برخوردار است.

سیستم‌های پایش از ابزارهای لازم برای مدیریت خشکسالی هستند. با این سیستم‌ها می‌توان از شدت و توسعه مکانی خشکسالی آگاهی یافت. به همین منظور در این تحقیق به بررسی و پایش خشکسالی های سنجش از دوری TCI، VCI و VHI در طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ به صورت فصلی، ۶ ماهه و سالانه در دشت ارومیه با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS در محیط Google Earth Engine پرداخته خواهد شد و همبستگی این شاخص‌ها با شاخص هواشناسی SPI با استفاده از سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه جهت یافتن شاخص بهینه جهت پایش و ارزیابی خشکسالی در منطقه ارومیه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

دشت ارومیه یک منطقه وسیع در شمال غرب ایران است که در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این دشت در فاصله ۱۸ کیلومتری دریاچه ارومیه، در مختصات ۴۵ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۷ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی از مبدأ خط استوا در داخل جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و به عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است. دشت ارومیه با مساحت ۱۱۴۳۱۷ هکتار در کنار ضلع غربی دریاچه ارومیه قرار گرفته است. این دشت در اراضی ساحلی و کم شیب غرب دریاچه ارومیه واقع شده و رودخانه‌های شهر چای، روضه چای، باراندوزچای و نازلوچای پس از عبور از ارتفاعات غربی وارد دشت ارومیه شده و به دریاچه ارومیه می‌ریزند.

سامانه گوگل ارث انجین (GEE) سامانه‌ای مبتنی بر وب و محاسبات ابری است که توسط شرکت گوگل و به منظور

گیاهی (VCI) شاخص سلامت گیاهی (VHI) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که VHI و TCI به شدت با رطوبت خاک و ناهنجاری‌های عملکرد کشاورزی مرتبط هستند که نشان می‌دهد هر دو شاخص پتانسیل تشخیص خشکسالی کشاورزی را دارند.

احمدی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر خشکسالی بر تغییر کاربری اراضی و تراز آب زیرزمینی در دشت رزن - قهاوند در استان همدان پرداختند. در این تحقیق برای تغییر کاربری اراضی در این حوضه آبخیز از تصاویر ماهواره لندست بهره گرفتند و برای پایش خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برای ۲ ایستگاه باران‌سنجی و از شاخص هیدرولوژیکی SWI⁵ برای ۶ چاه پیژومتری در منطقه استفاده نمودند. آن‌ها از دو شاخص خشکسالی کشاورزی - سنجش‌ازدور، VCI و TCI جهت همبستگی و ارائه مدل رگرسیونی بین شاخص‌های سنجش‌ازدوری با شاخص زمینی خشکسالی SPI استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که افت تراز آب زیرزمینی با تأخیر دوساله، همبستگی معنی‌داری با خشکسالی هواشناسی دارد و نیز بین شاخص VHI نسبت به شاخص TCI در مقیاس فصلی همبستگی قوی‌تری با شاخص SPI وجود دارد.

اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی سری زمانی خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب از طریق تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس با استفاده از سامانه موتور جستجوگر گوگل به محاسبه شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) طی یک دوره ۲۰ ساله پرداختند و با استفاده از داده‌های بارش ثبت‌شده ایستگاه همدید داراب شاخص SPI را محاسبه نمودند و بیشترین مقدار ضریب همبستگی به میزان ۷۶ درصد بین SPI در مقیاس زمانی دوازده‌ماهه را با شاخص VCI در این منطقه مشاهده نمودند. هلالی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی و تغییرات وسعت آب با استفاده از شاخص هواشناسی SPI و شاخص‌های سنجش از دوری MODIS در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص

6. Normalized Difference Vegetation Index

7. Enhanced Vegetation Index

8. Normalized Difference Water Index

9. Integrating temperature vegetation dryness index

5. Standardized Water-Level Index

شناسایی شاخص سنجش از دوری بهینه و مناسب برای دشت ارومیه تقسیم گردیده است.

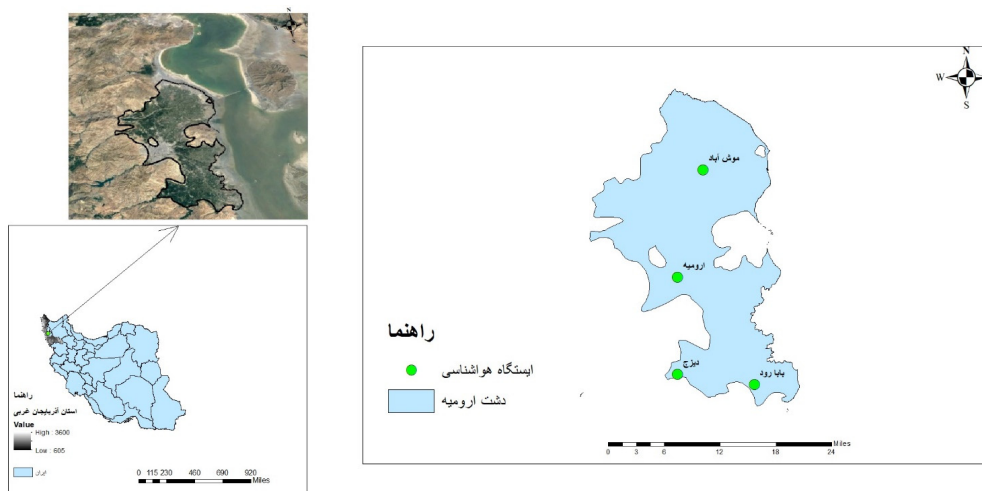
اطلاعات دریافتی از سنجنده مادیس برای محاسبه شاخص VCI شامل محصول پوشش گیاهی با کد مشخصه MOD13A1 با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روزه و داده‌های دریافتی برای محاسبه شاخص TCI از داده‌های تغییرات دمای سطح زمین سنجنده مادیس شامل محصول پوشش گیاهی با کد مشخصه MOD11A2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و تفکیک زمانی ۸ روزه است که به دلیل تطابق زمانی بین شاخص‌های VCI و TCI به ۱۶ روزه تبدیل گردید در محیط گوگل ارث انجین مورد محاسبه قرار گرفت.

داده‌های بارندگی جهت انجام این تحقیق از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در دشت ارومیه در طی دوره بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ شامل: بابا رود، ارومیه، موش آباد و دیزج فتحی مورد استفاده قرار گرفتند. که مشخصات و موقعیت جغرافیایی آنها در جدول (۱) و شکل (۱) آورده شده است.

ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها راه‌اندازی گردیده که از ویژگی بسیار خوب این سامانه، مجانی بودن آن، عدم نیاز به سخت‌افزار پیشرفته و گران‌قیمت و دسترسی آزاد و آنلاین به پایگاه داده‌ها است (بروک و همکاران ۲۰۲۰). این سامانه با تهیه بانک اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر اصلاح شده و پردازش داده‌ها این امکان را برای کاربران فراهم می‌کند تا با سرعت بیشتر و رایگان به داده‌های مورد نظر دسترسی داشته باشند، به همین دلیل در این پژوهش جهت سهولت و سرعت در پردازش قصد داریم به بررسی شاخص‌های خشکسالی کشاورزی سنجش از دور شامل: شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) دشت ارومیه طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ در سامانه گوگل ارث انجین به کمک شاخص پوشش گیاهی NDVI بپردازیم و در ادامه به معرفی این شاخص‌ها و نحوه محاسبه آن‌ها پرداخته شده است. جهت انجام این تحقیق از داده‌های بارندگی ۴ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شد و منطقه مورد مطالعه به ۱۷ ناحیه جهت تفکیک بهتر و

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال تأسیس	نوع ایستگاه
۱	بابارود	۳۵-۰۰۷	۴۵° ۱۴'	۳۷° ۲۴'	۱۳۴۵-۴۶	باران‌سنجی
۲	موش آباد	۳۵-۰۲۶	۴۵° ۱۲'	۳۷° ۴۲'	۱۳۴۶-۴۷	باران‌سنجی
۳	دیزج	۳۵-۰۰۵	۴۵° ۰۴'	۳۷° ۲۳'	۱۳۴۵-۴۶	باران‌سنجی
۴	ارومیه	۴۰-۷۱۲	۴۵° ۳'	۳۷° ۴۰'	۱۳۳۵-۳۶	سینوپتیک



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. مقدار شاخص VHI, VCI, TCI (کوگان، ۲۰۰۱).

طبقه بندی خشکسالی	مقدار شاخص
خشکسالی بسیار شدید	کوچکتر از ۰.۱
خشکسالی شدید	۰.۱ تا ۰.۲
خشکسالی متوسط	۰.۲ تا ۰.۳
خشکسالی خفیف	۰.۳ تا ۰.۴
شرایط نرمال	۰.۴ تا ۰.۶
غیر خشکسالی	بزرگتر از ۰.۶

امروزه با توجه به پیشرفت فناوری، روش‌های متعددی به منظور بررسی و پایش پوشش گیاهی توسعه یافته است. استفاده از این فناوری‌ها محققان را قادر می‌سازد تا آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در طی زمان‌های مختلف را مورد بررسی قرار دهند. جهت محاسبه شاخص NDVI با استفاده از تصاویر سنجنش‌زدوری از فرمول شماره (۱) استفاده می‌شود (فو و همکاران ۲۰۱۹).

در این فرمول NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، RED باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک است.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

NDVI میزان پوشش گیاهی را در بازه ۱- تا ۱+ نمایش می‌دهد که مقادیر منفی حاکی از عدم وجود پوشش گیاهی است. هر چه اعداد از صفر به سمت ۱+ میل می‌کنند، نشان دهند افزایش تراکم پوشش گیاهی در منطقه است.

شاخص وضعیت دمایی TCI در سال ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷ توسط کوگان پیشنهاد گردید و برای پایش تغییرات خشکی گیاهان زمین‌های زراعی به کار گرفته شد، با این حال، فرمول آن بر اساس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی است. هر چه دما بالاتر باشد، خشکسالی شدیدتر است. دمای سطح زمین در شرایط خشکسالی افزایش می‌یابد زیرا آب کمتری برای تبخیر وجود دارد. با تبخیر کمتر، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد و در نتیجه دمای سطح زمین می‌تواند در شاخص‌های ارزیابی خشکسالی تأثیر داشته باشد. برای محاسبه این شاخص سنجنش‌زدوری از فرمول شماره (۲) استفاده می‌شود (کوگان،

$$TCI = \frac{(maxLST - LST)}{(maxLST - minLST)} \quad (2)$$

LST نشان‌دهنده دمای درخشانی است که جهت ارزیابی این شاخص، کوگان جهت پایش خشکسالی طبق جدول شماره (۲) این شاخص را تقسیم‌بندی نموده است.

چ- شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI

این شاخص نیز برای اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شده است و یکی از پارامترهای مؤثر در مطالعه خشکسالی از طریق تغییرات رطوبت گیاهان است. برای محاسبه این شاخص از فرمول شماره (۳) با استفاده از شاخص NDVI از فرمول شماره (۱) استفاده می‌گردد. جهت پایش خشکسالی با استفاده از این شاخص از جدول شماره (۲) که توسط کوگان ارائه گردیده استفاده می‌شود

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI \min)}{(NDVI \max - NDVI \min)} \quad (3)$$

که در آن NDVI max و NDVI min به ترتیب مقادیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) حداکثر و حداقل برای هر ماه می‌باشند.

ح- شاخص سلامت پوشش گیاهی VH

کوگان علاوه بر پیشنهاد دو شاخص VCI و TCI شاخص دیگری را از ترکیب این دو شاخص برای ارزیابی تنش پوشش گیاهی در رابطه با آب و دما برای تشخیص بهتر خشکسالی پیشنهاد داد که نحوه محاسبه آن طبق فرمول شماره (۴) و با استفاده از جدول شماره (۲) همانند دو شاخص دیگر ارزیابی

جدول ۳. طبقه بندی شدت شاخص SPI

طبقه بندی خشکسالی	مقدار شاخص
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر از آن
ترسالی شدید	۱.۵ تا ۱.۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱.۴۹
نرمال	۰.۹۹ تا -۰.۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱.۴۹
خشکسالی شدید	-۱.۵۰ تا -۱.۹۹
خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر از آن

می گردد.

در مقیاس سالیانه در وضعیت نرمال است. ضریب همبستگی در ۱۷ ناحیه مختلف و ۴ ایستگاه بارانسنجی در دشت ارومیه برقرار گردید. خلاصه ای از نتایج به دست آمده از ایستگاه باران سنجی ارومیه با مناطق مورد مطالعه در دشت ارومیه در مقیاس های فصلی، ۶ ماهه و سالانه در جداول ۴ تا ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد شاخص VCI از همبستگی بیشتری در اکثر مناطق مورد مطالعه در دشت ارومیه در مقیاس سالانه برخوردار بوده و سپس شاخص VHI از همبستگی بالاتری در ۳ منطقه (ساعتلوی بیگلر، عسگرآباد تپه و قشلاق شکور) در شمال غربی دشت ارومیه برخوردار است. نتایج نشان می دهد ایستگاه های باران سنجی مختلف از همبستگی متفاوتی با شاخص های سنجش از دوری در دشت ارومیه برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان داد که شاخص VCI از ضریب همبستگی بالاتری نسبت به دیگر شاخص ها در بیشتر مناطق در دشت ارومیه با شاخص SPI ایستگاه باران سنجی ارومیه برخوردار است ولی در مناطق مختلف و ایستگاه های دیگر باران سنجی در منطقه نتیجه مشابهی وجود ندارد به طوری که در ایستگاه باران سنجی بابا رود ضریب همبستگی سالانه با شاخص TCI منطقه عسگرآباد تپه ۰/۴۶۲ و بالاتر از ضریب همبستگی VCI و VHI است. در منطقه دیگر نظیر ساعتلوی بیگلر شاخص سنجش از دوری VHI از ضریب همبستگی بالاتری با شاخص SPI ایستگاه ارومیه نسبت به شاخص های دیگر سنجش از دوری برخوردار است.

نتایج صورت گرفته برای ارزیابی شاخص های ماهواره ای با استفاده از شاخص SPI که از داده های زمینی بارش استفاده می کند برای کل منطقه و تفکیک منطقه مورد مطالعه

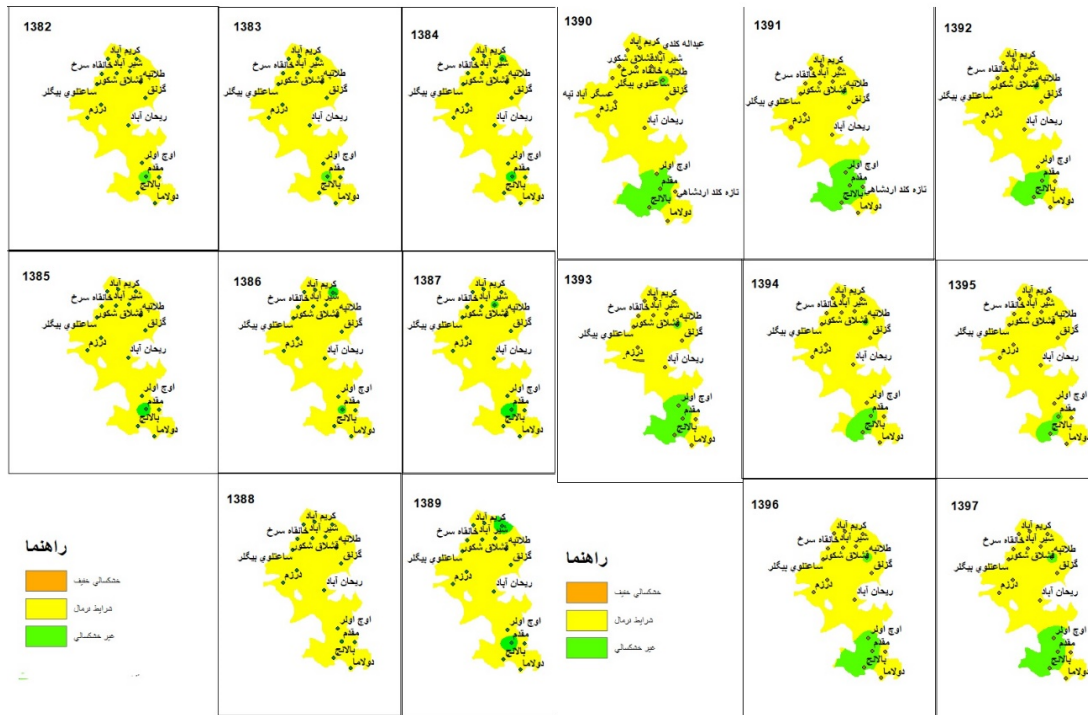
$$VHI = \frac{1}{2} \times VCI + \frac{1}{2} \times TCI \quad (۴)$$

به منظور کمی سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده SPI در مقیاس های زمانی مختلف استفاده می شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی ها برازش داده می شود از این رو برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی داده های بارش نخستین گام است تا از یک توزیع نرمال تبعیت کند که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار یک است و طبق مطالعات ادوارد و مک کی در سال ۱۹۹۷ مشخص شده است که توزیع آماری گاما برازش مناسبی برای این منظور است (مک کی و کلیست ۱۹۹۳). مقادیر مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیشتر از مقدار متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس دارد. شاخص SPI از رابطه شماره (۵) به صورت زیر به دست می آید:

$$SPI = \frac{P - P_{ave}}{\sigma} \quad (۵)$$

نتایج و بحث

نتایج پهنه بندی میانگین سالیانه شاخص VCI، TCI و VHI منطقه مورد مطالعه در سال های مختلف، محاسبه و به دلیل یکسان بودن نتایج هر ۳ شاخص در شکل های ۲ تا ۳ نتایج پهنه بندی شاخص VCI در مقیاس میانگین سالانه ارائه گردیده است. همان طور که مشاهده می شود وضعیت غالب منطقه در سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ طبق پایش هر ۳ شاخص



شکل ۲. نقشه پهنه بندی شاخص VCI میانگین سالیانه در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷

جدول ۴. ضریب همبستگی بین شاخص SPI ایستگاه ارومیه و میانگین فصلی شاخص سنجش‌ازدوری VCI

ارومیه						منطقه
Spi1	Spi3	Spi6	Spi12	Spi24	Spi48	
۰/۰۹۳	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۴۰۰	۰/۲۴۴	۰/۱۶۹	باشلانیشلو
-۰/۰۰۵	۰/۲۰۷	۰/۳۳۰	۰/۱۷۲	-۰/۰۳۹	۰/۱۲۳	تازه کند اردشاهی
-۰/۰۰۷	-۰/۰۴۰	۰/۰۶۴	-۰/۰۰۸	-۰/۱۱۲	۰/۰۲۳	خانقاه سرخ
-۰/۰۴۵	۰/۱۶۰	۰/۳۰۳	-۰/۱۰۷	-۰/۳۹۴	-۰/۰۱۶	درزم
-۰/۰۰۶	۰/۱۵۹	۰/۳۰۸	۰/۱۲۹	-۰/۰۶۴	۰/۱۳۸	ریحان آباد
۰/۱۳۴	۰/۰۸۲	۰/۰۰۱	۰/۱۱۷	۰/۰۳۳	-۰/۰۸۳	ساعتلوی بیگلر
-۰/۰۴۶	-۰/۱۲۰	-۰/۱۴۱	-۰/۱۰۷	-۰/۰۸۶	-۰/۱۴۹	شیرآباد
۰/۰۱۵	۰/۱۱۸	۰/۱۷۲	۰/۰۷۸	-۰/۱۰۰	۰/۰۳۷	طلاتیپه
-۰/۱۲۴	۰/۰۴۹	۰/۱۹۵	۰/۱۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۷۹	عبدالله کندی
۰/۰۴۳	۰/۱۶۷	۰/۲۰۴	۰/۰۶۱	-۰/۰۹۲	۰/۰۳۵	عسگر آباد تپه
۰/۱۵۸	۰/۱۰۰	۰/۰۲۲	۰/۰۹۲	۰/۱۰۱	۰/۰۱۳	قشلاق شکور
-۰/۱۲۴	-۰/۰۳۱	۰/۰۷۶	-۰/۰۸۹	-۰/۳۰۶	-۰/۱۲۲	کریم‌آباد
۰/۰۶۸	۰/۱۷۴	۰/۲۲۷	۰/۲۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۹۵	گزنق
۰/۱۴۹	۰/۱۷۸	۰/۱۰۵	۰/۱۱۰	۰/۱۵۳	۰/۱۳۸	مقدم
۰/۱۳۴	-۰/۲۳۷	۰/۳۸۰	۰/۱۵۳	۰/۰۰۵	۰/۱۹۱	اوج اولر
-۰/۰۱۳	۰/۰۸۴	۰/۱۸۷	۰/۰۲۴	-۰/۰۵۴	۰/۱۸۱	دولاما
۰/۱۳۳	۰/۰۴۹	-۰/۰۳۸	-۰/۰۲۸	-۰/۰۹۳	-۰/۱۲۵	بالانج

برخوردار است؛ و با نتایج سایر پژوهشگران نظیر (جهانگیر موشیدی، ۲۰۲۰) و (احمدی و همکاران، ۲۰۲۱) به بررسی همبستگی در مقیاس وسیع و در پژوهشی دیگر (حمزه و

به قسمت‌های کوچک‌تر از طریق روش چندضلعی تیسن نشان می‌دهد؛ کل منطقه از همبستگی بهتری نسبت به شاخص VCI در مقیاس سالیانه نسبت به شاخص‌های دیگر

جدول ۵. ضریب همبستگی بین شاخص SPI ایستگاه ارومیه و میانگین ۶ ماهه شاخص سنجش از دوری VCI

ارومیه						منطقه
Spi1	Spi3	Spi6	Spi12	Spi24	Spi48	
-.۱۳۰	-.۲۱۳	-.۱۹۰	-.۴۸۸	-.۲۷۹	-.۲۰۶	باشلانیشلو
-.۱۰۷	-.۲۹۸	-.۳۴۹	-.۱۳۵	-.۰۰۸	-.۱۸۵	تازه کند اردشاهی
-.۰۰۴	-.۰۶۲	-.۲۰۶	-.۱۲۶	-.۰۵۵	-.۱۷۹	خانقاه سرخ
-.۱۲۹	-.۲۷۲	-.۳۳۶	-.۰۸۹	-.۱۸۷	-.۰۶۲	درزم
-.۱۱۶	-.۲۲۱	-.۳۱۹	-.۰۹۴	-.۰۰۶	-.۱۷۱	ریحان آباد
-.۰۴۴	-.۰۱۵	-.۰۱۷	-.۱۱۳	-.۰۴۴	-.۰۵۶	ساعتلوی بیگلر
-.۰۸۶	-.۰۳۹	-.۰۶۰	-.۰۲۷	-.۰۲۴	-.۰۴۷	شیرآباد
-.۱۲۰	-.۱۵۱	-.۲۸۰	-.۰۶۹	-.۰۲۳	-.۱۵۶	طلاتیپه
-.۱۰۴	-.۲۹۲	-.۲۷۵	-.۳۱۲	-.۱۷۴	-.۱۹۷	عبدالله کندی
-.۰۸۴	-.۱۴۶	-.۲۱۵	-.۰۳۳	-.۰۸۶	-.۰۵۰	عسگر آباد تپه
-.۰۷۰	-.۰۴۴	-.۰۱۵	-.۱۳۴	-.۱۲۹	-.۱۰۶	قشلاقی شکور
-.۰۲۳	-.۰۹۷	-.۱۹۹	-.۰۱۵	-.۲۴۸	-.۰۰۶	کریم آباد
-.۱۰۶	-.۲۱۴	-.۲۸۴	-.۰۲۰۵	-.۰۰۲	-.۱۵۳	گزنیق
-.۱۵۴	-.۰۸۹	-.۰۰۲	-.۰۹۵	-.۱۸۴	-.۰۸۸	مقدم
-.۱۷۷	-.۲۶۲	-.۳۳۱	-.۱۵۱	-.۰۱۱	-.۱۹۱	اوج اولر
-.۰۵۳	-.۱۵۳	-.۲۱۱	-.۱۱۳	-.۰۳۹	-.۰۳۷	دولاما
-.۰۸۸	-.۰۲۵	-.۰۲۲	-.۰۳۶	-.۰۰۶	-.۰۵۲	بالانچ

** اعداد پررنگ نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۹۵ درصد می باشند

جدول ۶. ضریب همبستگی بین شاخص SPI ایستگاه ارومیه و میانگین سالانه شاخص سنجش از دوری VCI

ارومیه						منطقه
Spi1	Spi3	Spi6	Spi12	Spi24	Spi48	
-.۱۰۶	-.۳۰۷	-.۳۱۵	-.۵۱۶	-.۲۶۰	-.۲۵۹	باشلانیشلو
-.۰۴۲	-.۰۶۰	-.۰۲۹	-.۱۶۳	-.۰۳۲	-.۰۸۹	تازه کند اردشاهی
-.۰۹۰	-.۱۴۷	-.۰۸۹	-.۰۹۹	-.۳۰۲	-.۰۵۵	خانقاه سرخ
-.۰۳۴	-.۱۱۶	-.۱۹۶	-.۵۴۷	-.۶۲۱	-.۳۳۸	درزم
-.۰۸۶	-.۱۲۸	-.۰۸۵	-.۰۹۹	-.۰۹۳	-.۰۰۳	ریحان آباد
-.۰۲۳	-.۰۳۰	-.۰۰۹	-.۰۶۳	-.۱۲۱	-.۱۱۹	ساعتلوی بیگلر
-.۰۲۲	-.۰۲۰	-.۰۶۲	-.۰۸۲	-.۱۴۴	-.۰۴۹	شیرآباد
-.۰۰۲	-.۰۲۵	-.۱۲۲	-.۱۹۰	-.۲۳۹	-.۰۸۵	طلاتیپه
-.۰۶۶	-.۲۱۶	-.۱۹۱	-.۲۷۷	-.۰۲۰	-.۰۵۹	عبدالله کندی
-.۰۳۰	-.۰۷۶	-.۱۵۶	-.۳۹۰	-.۲۸۷	-.۲۳۷	عسگر آباد تپه
-.۰۲۲	-.۱۰۵	-.۱۳۳	-.۰۶۹	-.۰۲۹	-.۰۵۳	قشلاقی شکور
-.۰۵۴	-.۰۷۱	-.۱۳۴	-.۳۰۴	-.۷۲۷	-.۳۹۲	کریم آباد
-.۰۳۴	-.۰۱۰	-.۰۴۵	-.۱۵۹	-.۴۸۵	-.۱۴۴	گزنیق
-.۰۶۴	-.۰۰۱	-.۰۸۷	-.۱۷۶	-.۱۰۸	-.۰۴۱	مقدم
-.۰۳۱	-.۰۰۵	-.۰۲۶	-.۲۰۸	-.۲۳۷	-.۰۸۱	اوج اولر
-.۱۴۰	-.۲۰۷	-.۱۸۳	-.۱۲۵	-.۰۸۵	-.۳۲۶	دولاما
-.۰۵۱	-.۲۰۳	-.۲۴۶	-.۴۴۹	-.۲۱۷	-.۳۹۷	بالانچ

** اعداد پررنگ نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۹۵ درصد می باشند

است. ولی با توجه به تقسیم منطقه مورد مطالعه به منطقه‌های کوچک‌تر مشاهده می‌شود که در بعضی مناطق و ایستگاه‌های واقع در منطقه با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج

همکاران، ۲۰۱۷) به همبستگی در وسعت استان و شهرستان پرداختند همخوانی دارد و با تقسیم منطقه به مقیاس کوچک‌تر شاخص VCI از همبستگی بالاتری در اکثر مناطق برخوردار

جدول ۷. ضریب همبستگی بین شاخص SPI ایستگاه ارومیه و میانگین سالانه شاخص سنجش‌ازدوری TCI

ارومیه						منطقه
Spi1	Spi3	Spi6	Spi12	Spi24	Spi48	
-۰/۲۲۱	-۰/۱۲۲	-۰/۰۱۰	-۰/۰۶۹	-۰/۲۹۶	-۰/۱۷۶	باشلانیشلو
-۰/۰۲۷	-۰/۱۸۶	-۰/۱۵۱	-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۰	-۰/۱۵۰	تازه کند اردشاهی
-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۷	-۰/۰۶۰	-۰/۰۹۵	-۰/۰۱۴	-۰/۲۹۲	خانقاه سرخ
-۰/۰۱۸	-۰/۱۴۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۱۲	-۰/۰۲۱	-۰/۳۱۴	درزم
-۰/۰۵۹	-۰/۱۴۴	-۰/۱۰۱	-۰/۰۷۳	-۰/۱۶۸	-۰/۰۶۷	ریحان‌آباد
-۰/۰۱۵	-۰/۲۵۶	-۰/۴۰۷	-۰/۴۶۹	-۰/۱۹۳	-۰/۱۳۴	ساعتلوی بیگلر
-۰/۰۷۵	-۰/۰۱۲	-۰/۰۶۱	-۰/۰۶۲	-۰/۱۹۰	-۰/۲۱۰	شیرآباد
-۰/۰۲۷	-۰/۱۸۶	-۰/۱۵۱	-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۰	-۰/۱۵۰	طلاتیپه
-۰/۱۰۳	-۰/۰۱۱	-۰/۰۳۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۴۳	-۰/۱۵۸	عبدالله کندی
-۰/۰۲۳	-۰/۱۰۹	-۰/۱۰۱	-۰/۱۹۷	-۰/۱۷۹	-۰/۱۶۷	عسگرآباد تپه
-۰/۱۲۴	-۰/۲۶۸	-۰/۲۴۰	-۰/۳۵۲	-۰/۲۵۶	-۰/۳۹۷	قشلاق شکور
-۰/۰۹۶	-۰/۰۵۵	-۰/۰۸۰	-۰/۰۸۳	-۰/۰۶۹	-۰/۰۱۲	کریم‌آباد
-۰/۰۱۵	-۰/۰۷۳	-۰/۱۱۹	-۰/۰۴۴	-۰/۲۲۰	-۰/۲۳۰	گزنق
-۰/۰۰۷	-۰/۱۱۴	-۰/۲۰۷	-۰/۱۳۰	-۰/۲۷۳	-۰/۳۲۰	مقدم
-۰/۰۶۳	-۰/۰۲۳	-۰/۰۷۴	-۰/۱۲۳	-۰/۰۲۷	-۰/۳۱۲	اوچ اولر
-۰/۰۴۹	-۰/۰۱۲	-۰/۱۲۷	-۰/۱۴۹	-۰/۱۶۴	-۰/۲۷۷	دولاما
-۰/۱۷۶	-۰/۱۲۰	-۰/۰۳۶	-۰/۰۴۹	-۰/۱۸۲	-۰/۲۴۵	بالانچ

** اعداد پررنگ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد می‌باشند

شاخص‌های مختلف سنجش‌ازدوری مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد تا بهترین شاخص برای ارزیابی هر منطقه مشخص شود.

جمع‌بندی

شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی یکی از روش‌های نوین و کارآمد برای پایش و ارزیابی خشکسالی به دلیل در دسترس بودن داده‌ها در هر مقیاس زمانی و مکانی می‌باشند، بنابراین لازم است شاخص‌های سنجش‌ازدوری برای هر منطقه و حوزه آبخیز ارزیابی و صحت‌سنجی شوند تا شاخص بهینه منطقه تشخیص و بهینه‌سازی جهت پایش خشکسالی در مناطق مختلف در جهت مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز نظر گرفته شوند.

مقایسه این شاخص‌ها برای یک منطقه وسیع نتایج مطلوبی نخواهد داشت، بلکه باید شاخص مناسب با توجه به شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی و سایر شرایط مناطق انتخاب گردد.

متفاوتی جهت انتخاب شاخص بهینه خشکسالی به دست می‌آید با تفکیک منطقه به قسمت‌های کوچک‌تر برای ارزیابی شاخص‌های مختلف سنجش‌ازدوری خشکسالی نشان می‌دهد با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج متفاوتی جهت انتخاب شاخص بهینه خشکسالی به دست می‌آید.

در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص‌ها از نظر صحت داده‌ها و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد؛ بنابراین نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از روش‌ها و شاخص‌های یکسانی برای هر منطقه استفاده نموده و نتایج کاملاً مشابهی را انتظار داشت. از این‌رو باید رابطه هر کدام از شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در هر کدام از مناطق به‌طور جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد و برای هر منطقه بسته به شرایط خاص اقلیمی و پوشش گیاهی اقدام به انتخاب

شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی کشاورزی نمود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود وسعت پایش خشکسالی سنجش‌ازدوری در مناطق مختلف، کوچک در نظر گرفته و با

- monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4(3), 53-70. [In Persian].
- Helali, J., Asaadi, S., Jafarie, T., Habibi, M., Salimi, S., Momenpour, S. E., ... & Saeidi, V. (2022). Drought monitoring and its effects on vegetation and water extent changes using remote sensing data in Urmia Lake watershed, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 13(5), 2107-2128.
- Kogan, F. N. (1995). Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection, *Advances in Space Research* 15(11): 91-100.
- Kogan, F. N. (2001). Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment, *Bulletin of the American Meteorological Society* 82(9): 1949-64.
- Kloos, S., Yuan, Y., Castelli, M., & Menzel, A. (2021). Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in southeast Germany. *Remote Sensing*, 13(19), 3907.
- Khalil, A. A., Abdel-Wahab, M. M., Hassanein, M. K., Ouldbdey, B., Katlan, B., & Essa, Y. H. (2013). Drought monitoring over Egypt by using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index. *Nature and Science*, 11(11), 116-122.
- Kazempour Choursi, S., Erfanian, M., & Ebadi Nehari, Z. (2019). Evaluation of MODIS and TRMM Satellite Data for Drought Monitoring in the Urmia Lake Basin. *Geography and Environmental Planning*, 30(2), 17-34. [In Persian].
- McKee, Th., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, MA, USA, 179-83.
- Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2021). Advances in IoT and smart sensors for remote sensing and agriculture applications. *Remote Sensing*, 13(13), 2585.
- Wilhite, D. A. (Ed.). (2012). *Drought assessment, management, and planning: theory and case studies: theory and case studies* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Zhang, F., ZHANG, L. W., WANG, X. Z., & HUNG, J. F. (2013). Detecting agro-droughts in Southwest of China using MODIS satellite data, *Journal of Integrative Agriculture*, 12(1), 159-168.
- Allam, M., Bakr, N., & Elbably, W. (2019). Multi-temporal assessment of land use/land cover change in arid region based on landsat satellite imagery: Case study in Fayoum Region, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 8-19.
- Arévalo, P., Olofsson, P., & Woodcock, C. E. (2020). Continuous monitoring of land change activities and post-disturbance dynamics from Landsat time series: A test methodology for REDD+ reporting. *Remote Sensing of Environment*, 238, 111051.
- Ahmadi, T., Nouri, H., & Ildoromi, A. (2021). Investigation on Impacts of Drought on Landuse/Landcover (LU/LC) and Groundwater Level Changes in Razan-Ghahavand Plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 15(52), 33-43. [In Persian].
- Brooke, S. A., D'Arcy, M., Mason, P. J., & Whittaker, A. C. (2020). Rapid multispectral data sampling using Google Earth Engine. *Computers & Geosciences*, 135, 104366.
- Cotera, R. V., Guillaumot, L., Sahu, R. K., Nam, C., Lierhammer, L., & Costa, M. M. (2023). An assessment of water management measures for climate change adaptation of agriculture in Seewinkel. *Science of the Total Environment*, 885, 163906.
- Esmaili, H., Mirmousavi, S. H., & Soheili, E. (2022). Investigation of agricultural drought time series in Darab city using remote sensing and Google Earth engine system. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 175-192. [In Persian].
- Fu, Y., Li, J., Weng, Q., Zheng, Q., Li, L., Dai, S., & Guo, B. (2019). Characterizing the spatial pattern of annual urban growth by using time series Landsat imagery. *Science of the Total Environment*, 666, 274-284.
- Jahangir, M. H., & Moshayedi, Z. (2020). Evaluation of remote sensing-based agricultural drought monitoring using Standardized Precipitation Index in the growing months (Case study: Karun Bozorg catchment area). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1252-1264. [In Persian].
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chatrobogoun, O., & Gholamnia, M. (2017). Spatio-temporal

Evaluation of remote sensing indicators in drought conditions (case study: Urmia plain)

Arvin Miralizadeh ^{1*}, Somayeh Hejabi ², Mehdi Kouchakzadeh ³

¹ M.Sc Student, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³ Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: arvinmiralizadeh@modares.ac.ir

Received: 14 February 2022, accepted: 17 May 2022

ABSTRACT

The agricultural sector of every country is vulnerable to drought and the consequences of climate change; Therefore, planning to monitor and manage agricultural drought can help to control the damage caused by drought. The use of satellite images is used as a useful tool to monitor agricultural drought. Therefore, in this research, TCI, VCI, and VHI remote sensing indices have been investigated in seasonal, 6 month, and annual scales, and the correlation coefficient with SPI standardized precipitation index has been investigated using the data of 4 rain gauge stations in Urmia Plain during the period of 2003 to 2018. The results show that the distance measurement indices on an annual scale have a higher correlation compared to the seasonal and 6-month ones with the SPI index, and in general, the correlation coefficient of the VCI index on an annual scale is higher than the TCI and VHI indices. By dividing the Urmia plain into 17 study areas through the Thyssen polygon method, using piezometric wells in the Urmia plain to investigate remote sensing indicators on a smaller scale, it shows that in each region, depending on the specific climatic conditions and vegetation, there is a different correlation coefficient with the remote sensing indicators. and it is not possible to choose an optimal index for the whole region of Urmia; Therefore, to choose the optimal drought index, it is suggested to consider the scale of the studied area to be smaller in order to choose the best index for agricultural drought monitoring.

Keywords: Drought, TCI, VCI, VHI, SPI

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Miralizadeh, A.; Hejabi, S.; Kouchakzadeh, M. (2022). Evaluation of remote sensing indicators in drought conditions (case study: Urmia plain). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 5(2): 132-141

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

