



پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه مدت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جازموریان)

مجتبی سلیمانی ساردو^۱ و مهدی زارعی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، (نویسنده مسوول: mojtaba.soleimani@ujroft.ac.ir)

۲- استادیار، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۳۱

صفحه: ۲۵۰ تا ۲۶۱

چکیده

خشکسالی‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدات تولیدات کشاورزی در جهان، از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو در ایران به‌شمار می‌روند. این پدیده با کاهش میزان نزولات آسمانی شروع شده و به کاهش رطوبت خاک و افزایش دمای سطح زمین منجر گردیده که در نهایت رشد پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش، خشکسالی حوزه جازموریان (رودبار جنوب) با استفاده از شاخص‌های VCI، VHI، TCI و SPI به کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS مورد بررسی قرار گرفته است. به‌این‌منظور، تولیدات LST (MOD11A1) و تولیدات شاخص پوشش گیاهی (MOD13A1)، برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مربوط به هفته اول ماه مارچ (اسفندماه) انتخاب شدند. در انتخاب تصاویر پایه سعی شده است تا هم‌خوانی زمانی رعایت شود. از این‌رو، ابتدا نقشه‌های شاخص خشکسالی VCI و VHI استخراج گردید و سال‌های رخداد خشکسالی با طبقات بحرانی و خیلی شدید مشخص شد، سپس با استفاده از شاخص SPI و داده‌های بارندگی نیز به برآورد خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک کهنوج در منطقه مطالعاتی مبادرت شد. یافته‌های این پژوهش در بررسی شاخص VHI نشان داد که سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ از وضعیت حادث‌تری نسبت به خشکسالی برخوردارند، به‌طوری که بیش از ۷۵ درصد وسعت منطقه در کلاس خشکسالی شدید، خیلی شدید و بحرانی قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی شاخص VHI، غالبیت کلاس خشکسالی خیلی شدید در قسمت‌های وسیعی از مرکز حوضه به‌وضوح قابل مشاهده است و بخش‌های شرقی و جنوب‌شرقی حوضه بیشتر در کلاس بحرانی خشکسالی واقع شده‌اند که در ارتباط با ویژگی‌های توپوگرافی منطقه و غالبیت خشکی در این نواحی و فقر پوشش گیاهی می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج حاصل از شاخص VHI با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت (یک‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه) نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین انطباق نسبی شاخص مزبور با SPI شش‌ماهه مشاهده شده است. به‌طور کلی بخش اعظم منطقه مورد مطالعه در گستره کلاس‌های خشکسالی خیلی شدید و شدید قرار گرفته است که نیازمند توجه به مدیریت بهینه منابع آبی در این نواحی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، پوشش گیاهی، VHI، SPI، جازموریان

مقدمه

خشکسالی به‌عنوان یکی از تهدیدات تولیدات کشاورزی در جهان (۴)، از مهم‌ترین چالش‌های اخیر ایران به‌شمار رفته، که شناخت نحوه وقوع و پیامدهای آن، در سازگاری با این پدیده از اهمیت بالایی برخوردار است. خشکسالی فرایندی آهسته و تدریجی بوده که با کمبود نزولات آسمانی شروع شده و به کاهش رطوبت خاک و افزایش دمای سطح زمین منجر می‌گردد و در نهایت، رشد پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۷). به‌طور معمول، خشکسالی‌ها در چهار گروه هواشناسی، اقتصادی-اجتماعی، کشاورزی و هیدرولوژی تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۹، ۱۰۶). در این بین، خشکسالی کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است که کمبود رطوبت خاک و کاهش آب قابل دسترس برای رشد گیاهان بیانگر وقوع آن می‌باشد.

در دهه‌های اخیر، پایش این پدیده با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است (۱). داده‌های سنجنش از دور به‌دلیل برخورداری از قابلیت‌های مکانی و زمانی متنوع، به‌عنوان ابزار مفیدی جهت ارزیابی خشکسالی‌ها و خصوصاً خشکسالی کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. به‌این‌منظور شاخص‌های VCI، TCI (۱۴، ۱۵)، و شاخص VHI^۳ (۱۱) معرفی و در تحقیقات

خشکسالی رواج یافته‌اند. شاخص‌های مزبور به کمک تولیدات NDVI^۲ و LST^۱ تصاویر ماهواره‌ای MODIS^۴ قابل برآورد می‌باشند. برخی یافته‌ها نشان داده است که استفاده تلفیقی از شاخص‌های VCI و TCI نتایج بهتری را نسبت به کاربرد جداگانه آنها در پی دارد، از این رو، اقدام به توسعه شاخص VHI برای پایش خشکسالی‌ها نمودند (۱۲).

در همین خصوص تحقیقات بسیاری به‌منظور پایش و بررسی رفتار خشکسالی‌ها در ایران و جهان انجام شده است که از آن جمله: دو و همکاران (۷) از تلفیق داده‌های سنجنده MODIS و TRMM^۵ در روش پایش خشکسالی‌های فراگیر بهره بردند و بیان داشتند که این روش وقوع رخداد خشکسالی مهیب در استان شاندانگ^۸ چین طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ را نشان داده است. ژانگ و همکاران (۲۸) در پایش شدت تاثیر خشکسالی کشاورزی در شمال چین بر مزارع گندم زمستانه از شاخص DSI^۶ و تصاویر ماهواره MODIS استفاده نمودند و اظهار داشتند که شاخص مذکور با شدت خشکسالی کشاورزی تطابق خوبی داشته و همچنین در اراضی دیم عملکرد بهتری را نسبت به اراضی آبیاری شده نشان داده است. همچنین در پژوهشی دیگر ژانگ و همکاران (۲۷) در مطالعه خشکسالی ایالات متحده طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به مقایسه نتایج حاصل از برآورد شاخص‌های خشکسالی

1- Vegetation Condition Index

4- Normalized Difference Vegetation Index

6- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

8- Shandong

2- Temperature Condition Index

5- Land Surface Temperature

7- Tropical Rainfall Measuring Mission

9- Drought Severity Index

3- Vegetation Health Index

پوشش گیاهی استان کردستان پرداختند و وقوع خشکسالی متوسط در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ را در استان کردستان گزارش نمودند. همچنین ایشان وجود همبستگی بالا (۷۷٪) را میان شاخص SPI و NDVI را در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ تایید نمودند.

با توجه به تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد تصاویر ماهواره ای در مطالعات خشکسالی و توانمندی تکنیک‌های سنجش از دور در شناسایی تغییرات پوشش گیاهی، شاخص‌های متعددی تعریف و توسعه داده شده است که از پرکاربردترین آنها شاخص‌های VCI، TCI و VHI را می‌توان نام برد. از سوی دیگر وجود شاخص‌های هواشناسی مانند SPI به سبب در نظر گرفتن داده‌های بارندگی، امکان ارزیابی آنها و صحت‌سنجی رخدادهای خشکسالی را ممکن‌پذیر نموده است، که در پژوهش پیش رو، به بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مزبور در جنوب استان کرمان و در حوزه آبخیز جازموریان (رودبار جنوب) پرداخته شده است تا از این طریق به شناسایی و درک بهتر رفتار این پدیده مبادرت شود.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با عنوان حوزه آبخیز جازموریان (رودبار جنوب)^۴ و به مساحت تقریبی یک میلیون و یکصد هزار هکتار، واقع در جنوب استان کرمان و در حوزه آبریز جازموریان قرار دارد که به طول جغرافیایی ۵۴' ۵۹" تا ۲۴' ۵۷" شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵' ۲۷" تا ۳۱' ۲۸" شمالی می‌باشد (شکل ۱). وجود مخروط افکنه‌های قدیم و جدید در مناطق بالادست حوضه، به همراه اراضی ماسه‌ای در دشت‌سره‌های مجاور کوهستان و نهشته‌های رودخانه‌ای و مناطق ماندابی موقت در پایین دست، از ویژگی‌های بارز این ناحیه به شمار می‌روند. همچنین، مراتع فقیر با پوشش گیاهی کم و پراکنده و اراضی شور و رسی و مناطق کشاورزی از مهم‌ترین انواع کاربری اراضی در این ناحیه قلمداد می‌گردند. شهرستان‌های کهنوج و رودبار جنوب از مهم‌ترین مراکز جمعیتی در این ناحیه به شمار می‌آیند.

هواشناسی و کشاورزی پرداختند و بیان داشتند که شاخص‌های TCI، VCI، PDI و MPDI^۱ تشابه بالایی با داده‌های SPI-۳ ماهه نشان داده‌اند اما همبستگی ضعیفی میان شاخص‌های مزبور با شاخص‌های ایستگاهی (SPI و ESPI) در مناطق پرباران، نواحی با نفوذپذیری بالای خاک، اراضی وسیع کشاورزی و مناطق جنگلی مشاهده شده است. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در خصوص برآورد خشکسالی به کمک تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که از آن جمله تحقیقات سینق و همکاران (۲۴) و بویان و همکاران (۳) را می‌توان نام برد.

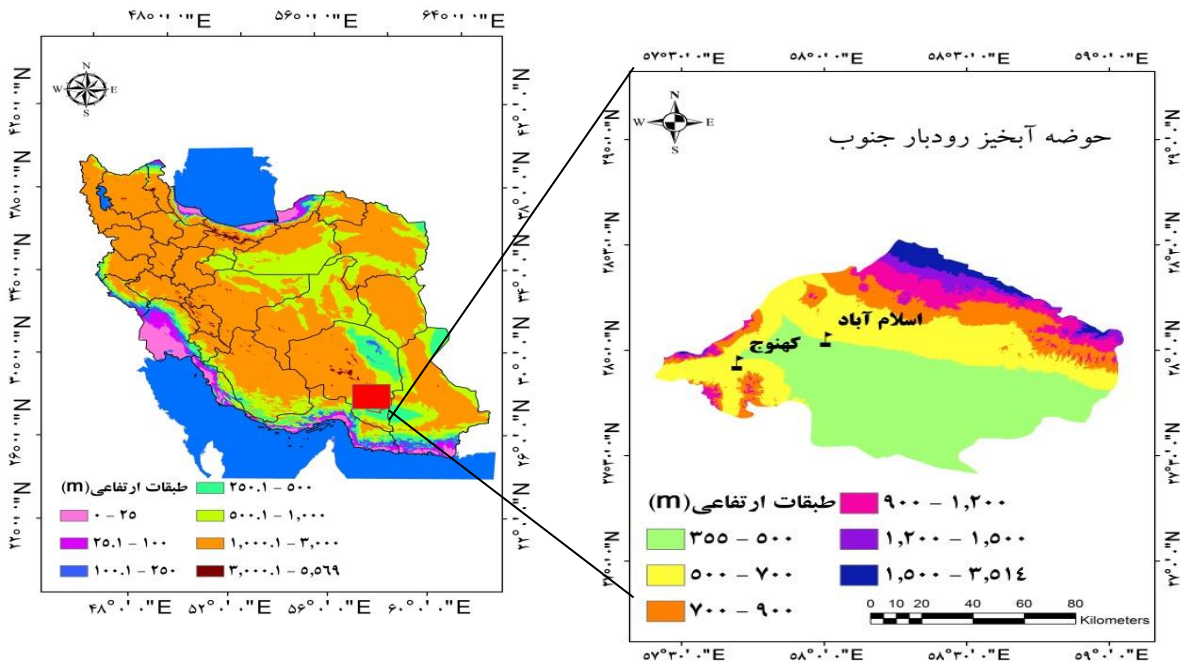
رضایی‌مقدم و همکاران (۲۱) همبستگی معنی‌دار شاخص VCI با SPI سه ماهه را در تحقیقات خود بیان نمودند، همچنین ایشان به نقل از بلاق جمالی و همکاران (۲) گزارش نمودند که SPI کوتاه مدت نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است و با کوچکترین تغییری در بارش ماهانه، پاسخ می‌دهد، لذا به‌عنوان یک ابزار قوی به منظور پایش شرایط رطوبتی و تغییرات کوتاه مدت بر آن تاکید نموده‌اند. ساداتی‌نژاد و همکاران (۲۲) در تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی در حوزه کارون یک با استفاده از نمای SPI بیان داشتند که در کل منطقه خشکسالی هواشناسی شدیدی رخ نداده است و وضعیت متناظر خشکسالی حداکثر در حد خشکی کم ونسبتا خشک می‌باشد. سرابی و همکاران (۲۳) در ارزیابی ارتباط میان شاخص‌های گیاهی سنجنده MODIS و خشکسالی مراتع شمالی استان گلستان، نشان دادند که همبستگی متوسط و خوب میان شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص SPI در ماه‌های اوج رشد پوشش گیاهی مشاهده شده است. همچنین همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی با SPI سه و شش ماهه در فصول غیر رشد پوشش گیاهی و در فصول رشد پوشش گیاهی با SPI یک ماهه بیشتر بوده است. همچنین دماوندی و همکاران (۵)، در پایش مکانی خشکسالی کشاورزی از طریق سری‌های زمانی شاخص NDVI و LST داده‌های MODIS در استان مرکزی، بیان داشتند که بر اساس نتایج شاخص VHI، سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ شاهد بیشترین شدت و سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ دارای کمترین شدت خشکسالی بوده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، میرموسوی و کریمی (۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به بررسی اثر خشکسالی بر

1- Perpendicular drought index

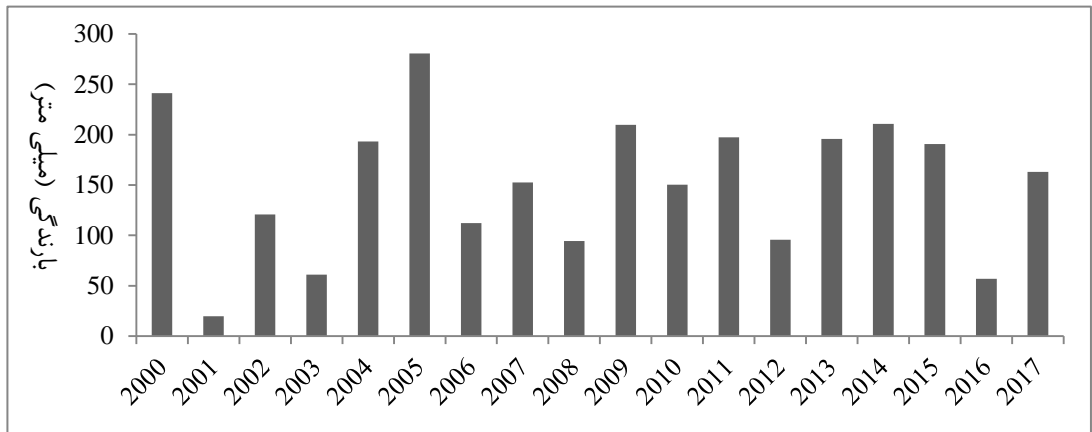
2-Modified perpendicular drought index

3-Standardized Precipitation Index

۴- زیرحوضه ۴۵۰۱، دفتر منابع آب ایران



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی
Figure 1. Geographic location of study area



شکل ۲- نمودار بارندگی در ایستگاه سینوپتیک کهنوج طی دوره زمانی مورد مطالعه
Figure 2. Rainfall graph at Kahnooj synoptic station during the study period

از پوشش گیاهی می‌باشند. شاخص NDVI به عنوان یکی از رایج‌ترین شاخص‌های تعیین میزان تراکم پوشش گیاهی، با استفاده از نسبت اختلاف انعکاس طیف مادون قرمز نزدیک و طیف قرمز به کمک رابطه (۱) حاصل می‌شود و بر اساس مقادیر بین ۱- تا ۱+ ارزش گذاری می‌شود.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red}$$

که در آن NIR انعکاس باند مادون قرمز نزدیک و Red انعکاس باند قرمز سنجنده می‌باشد. مقادیر پایین NDVI (۰/۱ و کوچکتر)، ناشی از ماسه و خاک لخت و برف می‌باشند و مقادیر متوسط آن (۰/۳-۰/۲) بیانگر علفزارها و بوته زارها

روش تحقیق

به منظور ایجاد سری‌های زمانی، تولیدات شاخص‌های گیاهی NDVI و LST تصاویر سنجنده MODIS مختص ماهواره Terra از سایت ناسا (ladsweb) گردآوری شدند. به این منظور، محصول LST با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۸ روز و سطح ۳ (MOD11A1) و تولیدات شاخص پوشش گیاهی (MOD13A1) ۱۶ روزه سطح ۳ با تفکیک ۵۰۰m نیز برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مربوط به هفته اول ماه مارچ (اسفندماه) انتخاب شدند. حتی الامکان در دانلود تصاویر پایه سعی شده است تا همخوانی زمانی رعایت شود. در ماه مذکور در منطقه مورد مطالعه، گیاهان مرتعی در مرحله رویش و اراضی کشاورزی نیز پوشیده

1- <https://eos.com/ndvi/>

2- <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation>

مطلوبتری می‌باشد. شاخص مزبور با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود (۷).

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}}$$

که LST، LSTmax و LSTmin به ترتیب بیانگر مقادیر شاخص، حداکثر و حداقل ارزش‌های هر پیکسل می‌باشد. همچنین شاخص VCI مبتنی بر سری‌های زمانی NDVI و طبق رابطه زیر برآورد می‌گردد (۱۲):

$$VCI = 100 \times \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

که در آن، NDVI_{max} و NDVI_{min} به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل NDVI می‌باشند.

با استفاده از ترکیب شاخص‌های VCI و TCI، شاخص VHI به منظور بررسی سلامت گیاهی استفاده می‌شود (۱۲). مقصود از این شاخص، سهم نمودن شرایط رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین در یک شاخص واحد می‌باشد (۵). بر اساس این شاخص، خشکسالی کشاورزی در ۵ گروه طبقه‌بندی شده است و طبق رابطه زیر حاصل می‌شود (۲۶؛ جدول ۱). در این پژوهش، کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS ۱۰.۳ و ENVI ۵.۳ انجام شد.

$$VHI = 0.5 (VCI) + 0.5 (TCI)$$

جدول ۱- طبقات خشکسالی کشاورزی بر اساس شاخص‌های VHI و VCI (۲۶)

Table 1. Agricultural drought classification based on the VHI & VCI

VHI - VCI	طبقات خشکسالی
$40 \geq x > 22$	خشکسالی خفیف
$32 \geq x > 24$	خشکسالی متوسط
$24 \geq x > 16$	خشکسالی شدید
$16 \geq x > 8$	خشکسالی خیلی شدید
$8 \geq x > 0$	خشکسالی ویژه (بحرانی)

با مقیاس‌های زمانی مختلف، ممکن نموده است (۹). مقادیر مثبت آن، مقادیر بیشتر از میانه بارندگی و مقادیر منفی آن، مقادیر کمتر از میانه بارش را نشان می‌دهد (جدول ۲). هرگاه مقادیر SPI به طور منفی باشد، معرف وقوع خشکسالی است. در این تحقیق، برای برآورد SPI از نرم‌افزار DIP استفاده شد.

Table 2. Drought classification based on the SPI

SPI	وضعیت خشکسالی
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی ملایم

بوده و همچنین ارزش‌های بالاتر این شاخص (۰/۸-۰/۶) نشان‌دهنده جنگل‌های بارانی معتدل و گرمسیری می‌باشند. از سوی دیگر، تصاویر ماهواره‌ای به سبب وجود باندهای حرارتی، منبع ارزشمندی جهت تهیه نقشه‌های حرارتی سطح زمین به حساب می‌آیند. شاخص LST بیانگر درجه حرارت سطح زمین می‌باشد که برای اندازه‌گیری آن باندهای ۳۱ و ۳۲ در سنجنده MODIS مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). تغییرات مقادیر LST در طول روز در داخل تصویر برحسب کلون قابل مشاهده است. در طول روز پوشش‌های گیاهی و پهنه‌های آبی از دماهای کمتر و نواحی که فاقد پوشش گیاهی می‌باشند که از دماهای بیشتری برخوردارند. به کمک تولیدات مزبور، شاخص‌های VCI، TCI و VHI قابل برآورد می‌باشند.

شاخص‌های VHI و TCI، VCI

با پیشرفت خشکسالی، سطح زمین با تنش‌های گرمایی مواجه می‌شود، به این منظور، "شاخص وضعیت دمایی" (TCI)، مبتنی بر سنجش از دور و به منظور تعیین وقوع خشکسالی مربوط به درجه حرارت معرفی شده است (۱۳). این شاخص با این فرض که وقوع خشکسالی سبب کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش‌های گرمایی در سطح زمین گردیده، بنا شده است، در نتیجه ارزش‌های بیشتر شاخص LST در سال‌های خشک نسبت به ماه مشابه در سال‌های نرمال مشاهده می‌شود (۷). بر همین اساس، سینق و همکاران (۲۴) وجود دماهای بالای سطح زمین در فصل رشد گیاهان را نشان دهنده وضعیت نامطلوب و خشکسالی بیان نمودند، درحالی که دمای پایین سطح زمین عموماً بیانگر شرایط

شاخص SPI

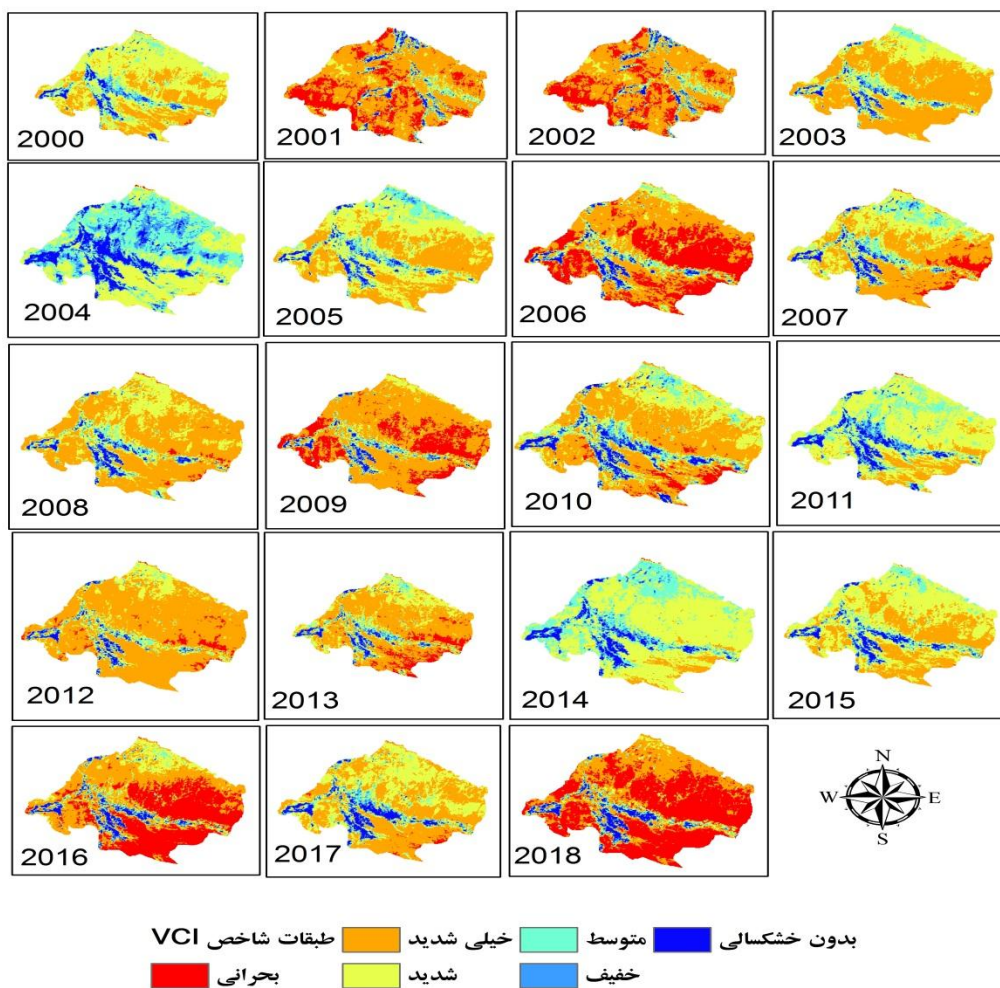
در این پژوهش به منظور برآورد خشکسالی هواشناسی در منطقه از شاخص SPI استفاده شد (۱۷). از مهم‌ترین ویژگی‌های شاخص SPI سهولت کاربرد و انعطاف پذیری زمانی آن می‌باشد که استفاده از آن را در پایش خشکسالی‌ها

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس طبقه‌بندی SPI (۱۷)

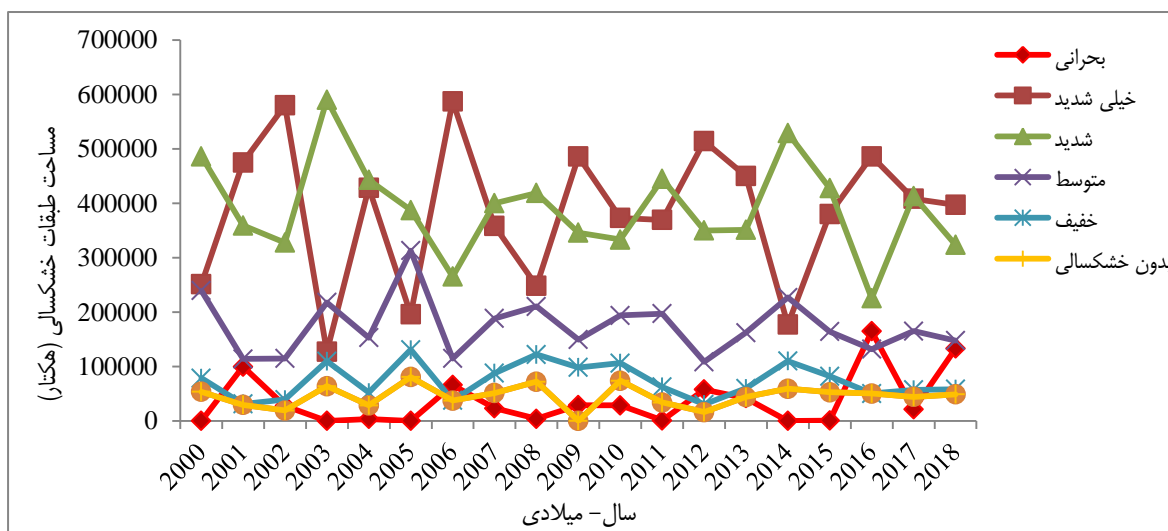
نتایج و بحث

در این پژوهش، وضعیت پوشش گیاهی به کمک شاخص VCI بیان شده است. در نقشه‌های VCI استخراج شده، مقادیر پیکسل‌ها مابین ۰ تا ۱۰۰ ارزش‌گذاری شده است، به طوری که اگر مقادیر این شاخص به صفر نزدیک شود نشان‌دهنده وقوع خشکسالی شدید می‌باشد و وجود مقادیر نزدیک به ۵۰ درصد بیانگر شرایط نرمال بوده و چنانچه این ارزش‌ها به ۱۰۰ درصد نزدیک شوند نشان‌دهنده سلامت پوشش گیاهی و شرایط بدون خشکسالی می‌باشد (۲۵). به طور کلی مقادیر بالاتر و نزدیک به ۱۰۰ بیانگر وجود رطوبت بیشتر در پوشش گیاهی و وضعیت بهتری بوده و ارزش‌های پایین‌تر بیانگر وضعیت تنش در پوشش گیاهی و وضعیت

نامطلوب می‌باشد. همانطور که نقشه‌های حاصل از شاخص VCI نشان می‌دهد، طبقه بحرانی خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸ وسعت بیشتری از منطقه را پوشانده است که بیانگر شرایط نامناسب وضعیت پوشش گیاهی و خشکسالی در این سال‌ها می‌باشد (شکل ۳). همچنین نتایج نشان می‌دهد که کلاس خشکسالی خیلی شدید در سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ از بیشترین مقدار برخوردار بوده است و بررسی روند کلاس‌های خشکسالی بحرانی و خیلی شدید در منطقه نشان از روند صعودی در وقوع کلاس‌های مزبور در منطقه مورد مطالعه در سالیان اخیر می‌دهد (شکل ۴).



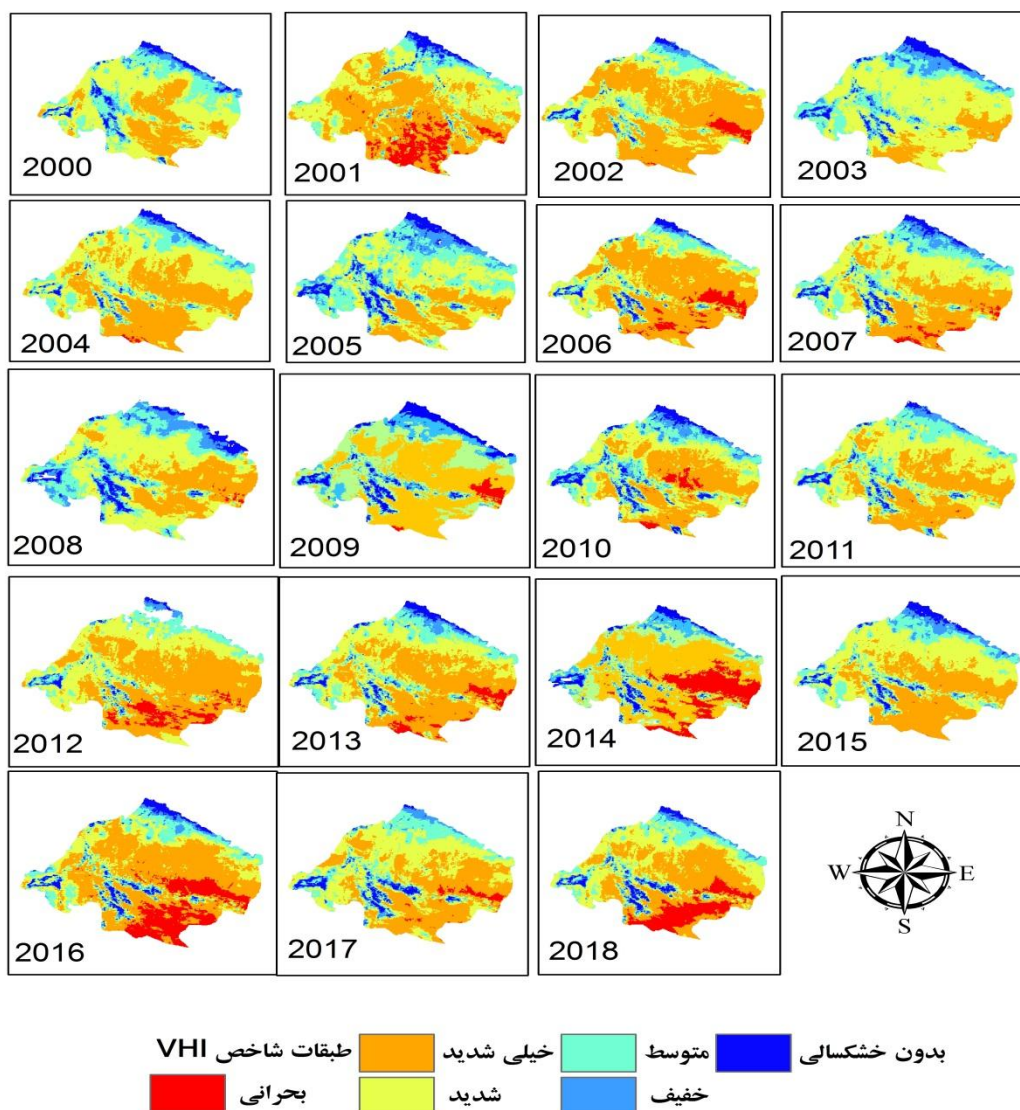
شکل ۳- وضعیت خشکسالی براساس شاخص VCI
Figure 3. Drought condition based on the VCI index



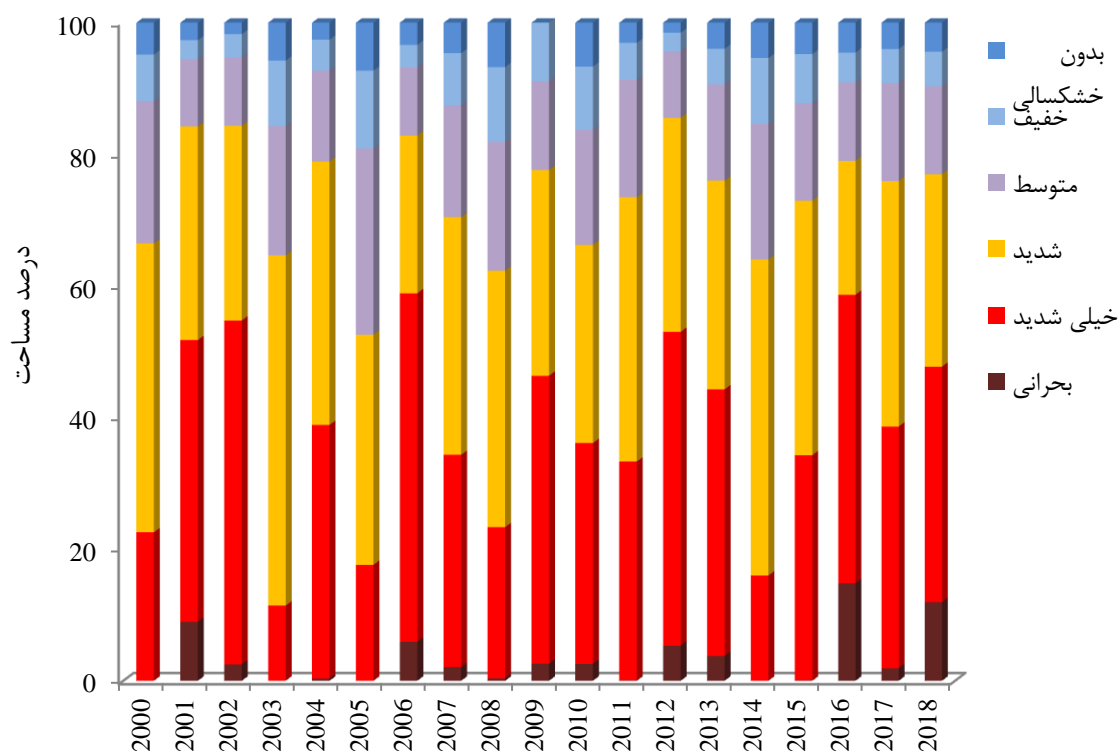
شکل ۴- روند رخداد انواع کلاس‌های خشکسالی در محدوده مورد مطالعه بر اساس شاخص VCI
 Figure 4. Drought classes' trend based on the VCI index

حوضه بیشتر در کلاس بحرانی خشکسالی نمایان شده‌اند که در ارتباط با ویژگی‌های توپوگرافی منطقه و عوامل خرد اقلیمی محلی می‌باشد. همچنین قسمت‌های وسیعی از مرکز حوضه همواره در کلاس خشکسالی خیلی شدید واقع شده است (شکل ۵). به طور کلی مساحت عمده منطقه در طی دوره مطالعاتی در گستره کلاس‌های خشکسالی خیلی شدید و شدید قرار گرفته است.

بررسی شاخص VHI طی دوره زمانی ۱۹ ساله در منطقه مورد مطالعه نشان داد که سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ وضعیت بحرانی خشکسالی را تجربه نموده‌اند. همچنین، در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ قریب ۴۰ تا ۵۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس خشکسالی خیلی شدید واقع شده است (شکل ۶). با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی شاخص VHI، بخش‌های شرقی و جنوب شرقی



شکل ۵- وضعیت خشکسالی کشاورزی براساس شاخص VHI
 Figure 5. Drought condition based on the VHI index

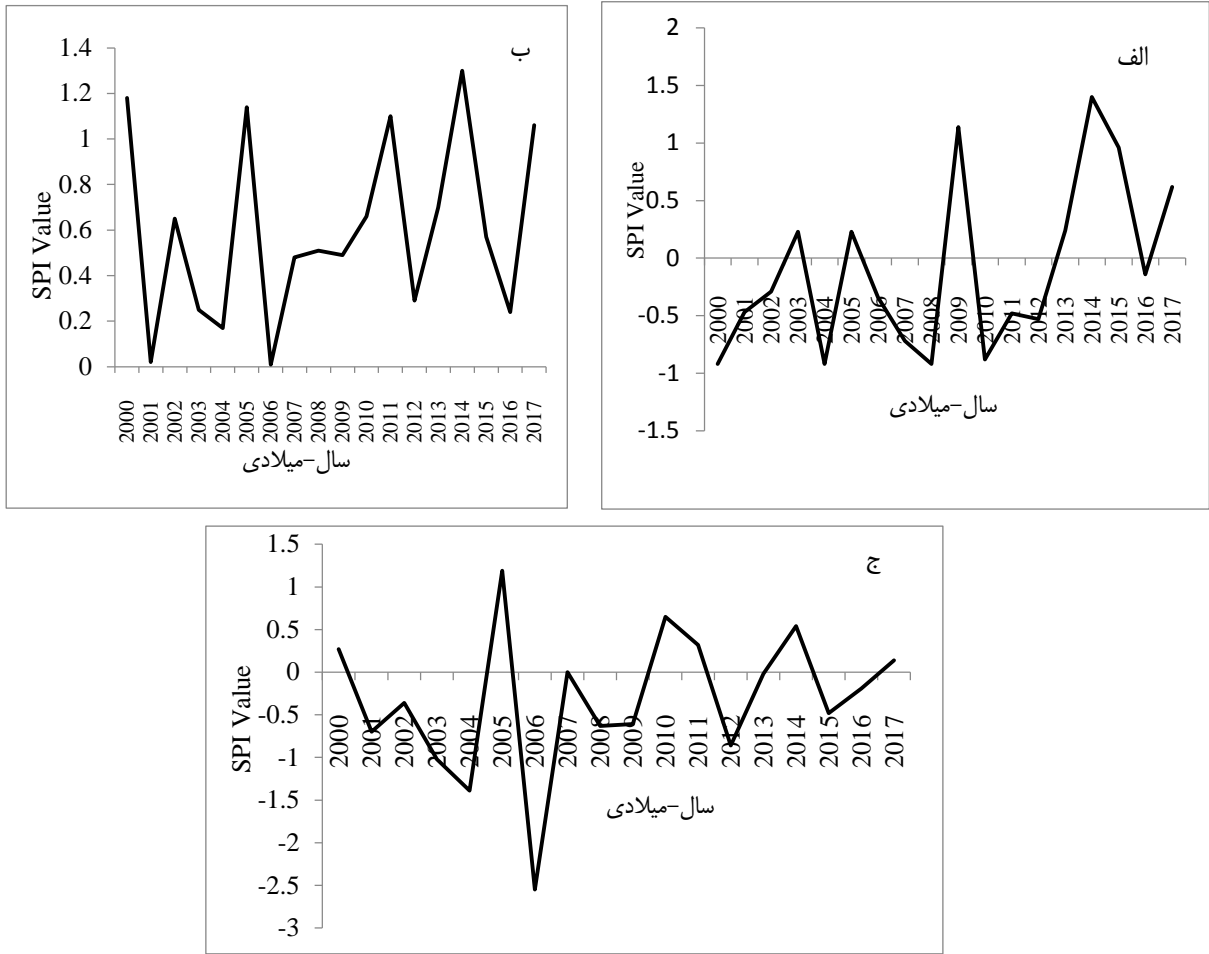


شکل ۶- توزیع درصد مساحت طبقات مختلف خشکسالی بر اساس شاخص VHI
 Figure 6: Percentage of different drought classes based on the VHI index

برآورد شد. بر اساس یافته‌های تحقیق، همانطور که بررسی روند خشکسالی در شکل (۷) نشان می‌دهد، بهترین انطباق نسبی نتایج شاخص SPI با نتایج حاصل از شاخص VHI در SPI شش ماهه مشاهده می‌شود که در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ خشکسالی متوسط و در سال ۲۰۰۶ وقوع یک خشکسالی خیلی شدید را نشان داده است.

بررسی خشکسالی در ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه با استفاده از شاخص SPI (یک ماهه، سه ماهه و شش ماهه)

در تحقیق حاضر، داده‌های ایستگاه سینوپتیک کهنوج در حوزه آبریز جازموریان مورد آنالیز قرار گرفت و شاخص خشکسالی SPI در ماه مارچ، سه ماهه منتهی به ماه مارچ و شش ماه منتهی به ماه مارچ طی دوره زمانی مورد مطالعه،



شکل ۷- طبقه‌بندی خشکسالی در محدوده مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI کوتاه مدت (الف: ۱ ماهه، ب: ۳ ماهه، ج: ۶ ماهه)
 Figure 7. Drought classification based on the short-term SPI index (A: 1 month, B: 3 months, C: 6 months)

نشان می‌دهد، میزان بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ از مقدار کمتری نسبت به میانگین درازمدت دوره مورد بررسی برخوردار بوده است، که این امر ارتباط نزدیک میزان بارندگی سالانه با نتایج حاصل از شاخص VHI را نشان می‌دهد. بویان و همکاران (۳) در تحقیقات خود، وجود همبستگی مناسب بین SPI و VHI را گزارش نمودند، همچنین سرابی و همکاران (۲۰) در ارزیابی ارتباط میان شاخص‌های گیاهی سنجنده MODIS و خشکسالی مراتع شمال گلستان، وجود همبستگی مناسب میان شاخص VCI با میانگین متحرک سه ماهه SPI را اظهار نمودند. در مطالعه حاضر، برآورد خشکسالی بر اساس نتایج حاصل از شاخص VHI در مقایسه با شاخص SPI در دوره‌های کوتاه مدت زمانی (۱ ماهه، ۳ ماهه و ۶ ماهه) مشخص گردید که شاخص VHI با نتایج حاصل از SPI شش ماهه در سال‌های وقوع خشکسالی انطباق بیشتری را نشان داده است، این امر برخلاف نتایج تحقیقات مزبور می‌باشد، به طوری که در برآورد SPI سه ماه

در پاسخ به تنش‌های محیطی و شرایط خشکی، بازخورد پوشش گیاهی به عنوان مهم‌ترین مولفه اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک، به عنوان سنجش جهت بررسی و ارزیابی رخداد خشکسالی‌های مد نظر پژوهشگران علوم طبیعی قرار گرفته است. از این رو استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل قابلیت‌های تفکیک مکانی و زمانی بالا و پوشش وسیع اراضی، کمک شایانی به محققین در خصوص پایش خشکسالی‌های کشاورزی نموده است، در پژوهش حاضر، بررسی خشکسالی حوزه آبخیز جازموریان با استفاده از شاخص‌های VCI و VHI، به کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS مورد آزمون قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ از وضعیت حادثه‌تری نسبت به خشکسالی برخوردار بوده‌اند، به طوری که بیش از ۷۵ درصد وسعت منطقه در کلاس خشکسالی شدید، خیلی شدید و بحرانی قرار گرفته است. به طور کلی بارندگی مهم‌ترین عامل در وقوع خشکسالی است (۲۰). همانطور که بررسی شکل (۲)

نزدیک این شاخص‌ها با میزان بارندگی در هر منطقه را نشان می‌دهد. در این خصوص، همانطور که پورخسروانی و همکاران (۲۰) بیان داشتند، عوامل متعددی مانند نوع و خصوصیات پوشش گیاهی و شرایط دمایی آنها در شدت اثرات خشکسالی بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی نیز نقش دارند.

به طور کلی، به دلیل حاکمیت اقلیم خشک و نیمه خشک در منطقه مورد مطالعه، توجه به بهره‌وری و راندمان آب از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا اهمیت شناخت وقوع خشکسالی‌ها و تاثیر آن بر بخش کشاورزی به عنوان مهم‌ترین فاکتور در تامین معیشت ساکنین منطقه از ضرورت بالایی برخوردار است. درک رفتار خشکسالی به سبب گستردگی منطقه، نیازمند نگاه علمی و یکپارچه در پایش این پدیده می‌باشد، که این مهم همانطور که رضایی مقدم و همکاران (۲۱)، بر کارایی مناسب استفاده از شاخص‌های VCI و VHI و تصاویر ماهواره‌ای در برآورد خشکسالی‌ها تاکید نمودند، با بهره‌گیری از تکنیک‌های دورسنجی، ممکن پذیر می‌باشد تا از این طریق به بهبود و ارتقای برنامه‌های کاهش اثرات خشکسالی مبادرت شود.

متمهی به ماه مارچ، شاهد وقوع هیچ گونه رخداد خشکسالی در دوره مورد بررسی نمی‌باشیم. بررسی‌های میدانی حاصل از این پژوهش نشان داد که عمده نواحی اراضی کشاورزی در مناطق با خشکسالی خفیف و متوسط متمرکز شده‌اند، و در نواحی شرقی و جنوب شرقی حوضه مورد مطالعه، کلاس خشکسالی بحرانی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ از گستردگی بیشتری برخوردار است که خشکی محیطی بیشتر این مناطق حوضه نیز به وضوح قابل مشاهده است. یافته‌های این بخش تحقیق موید نتایج حاصل از بررسی‌های لطفی نسب و همکاران (۱۶) در پایش خشکسالی حوزه جازموریان است که حساسیت بالای نواحی شرقی این حوضه را به خشکسالی بیان نموده‌اند، به گونه‌ای که بر میزان فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی‌ها به سمت نواحی جنوب و جنوب شرقی حوضه افزوده می‌شود. از آنجا که کوچکترین میزان نوسانات بارندگی در هر منطقه، تاثیر خود را به طور مستقیم بر پوشش گیاهی و سلامت آن بر جای می‌گذارد، به طوری که در اغلب زمان‌هایی که کلاس بحرانی و خیلی شدید شاخص خشکسالی VHI بر گستره وسیعی از منطقه احاطه داشته است، در همان سال‌ها نیز با کاهش نزولات آسمانی روبه رو بوده‌ایم که این امر ارتباط

منابع

1. AghaKouchak, A., A. Farahmand, F.S. Melton, J. Teixeira, M.C. Anderson, B.D. Wardlow and C.R. Hain. 2015. Remote sensing of drought: progress, challenges and opportunities. *Reviews. Geophysics*, 53:452-480. doi.org/10.1002/2014RG000456.
2. Badaq Jamali J., M Asiaee, S. Samadi Naghab and S. Javanmard. 2005. Drought risk management (knowledge and solutions). Sokhan Gostar press (In Persian).
3. Bhuiyan, C., R.P. Singh and 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: 289-302.
4. Campbell, B.M., S.J. Vermeulen, P.K. Aggarwal, C. Corner-Dolloff, E. Girvetz, A.M. Loboguerrero, J. Ramirez-Villegas, T. Rosenstock, L. Sebastian, P.K. Thornton and E. Wollenberg. 2016. Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Ssecurity*, 11: 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002>
5. Damavandi, A., M. Rahimi, M.R. Yazdani and A.A. Noroozi. 2016. Spatial monitoring of agricultural drought through time series of NDVI and LST indices of MODIS data (case study: Markazi Province). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(99):115-126 (In Persian).
6. Dracup, J.A., K.S. Lee and E.G. Paulson Jr. 1980. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resource Research*, 16: 289-296.
7. Du, L., T. Qingjiu, Y. Tao, Q. Meng, T. Jancso, P. Udvardy and Y. Huang. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 245-253.
8. Farahani, F., T. Farahnaz, M. Hatami and E. Owlad. 2014. Identification of thermal anomalies in Saravan earthquake based on Satellite Image Processing. 16th Iranian Geophysical Conference, 203-208 (In Persian).
9. Guttman, N.B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American water resources Association*, 35(2): 311-322.
10. Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8): 1149-1166.
11. Kogan, F. 2002. World droughts in the new millennium from AVHRR-based vegetation health indices. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 83(48): 557-563.
12. Kogan, F., N. Stark, A. Gitelson, L. Jargalsaikhan, C. Dugrajav and S. Tsooj. 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14): 2889-2896.
13. 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.

14. Kogan, F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11): 91-100 .
15. Liu, W. and F.N. Kogan. 1996. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*. 17: 2761-2782.
16. Lotfi Nasab, S., A. Gohar Dost and M. Khosroshahi. 2018. Assessment and Application of Geostatistics in Identifying and Analyzing Drought Characteristics of Jazmourian Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 10(18): 12-25.
17. Mckee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist 1993. The relationship of drought frequency and duration to time Scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184.
18. Mirmosavei, H. and H. Kareimeh. 2013. Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images case: Kurdistan Province. *Geography and Development Iranian Journal*, 11(31): 57-76.(In Persian)
19. Orville, H.D. 1990. AMS statement on meteorological drought. American Meteorological Society. 45 Prepared by the AMS Committee on Applied Climatology.
20. Pourkhosravani, M., A. Mehrabi and S.H. Mousavi. 2018. Drought spatial analysis of Sirjan basin using remote sensing. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(20):13-23.
21. Rezaeimoghdam M., K. Khalil Valizadeh, H. Rostamzadeh and A. Rezaee. 2012. Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Geography and Sustainability of Environment*, 2(5): 37-52 (In Persian).
22. Sadatinejad, S.J., S.H. Alavinia, R. Abedi, A. Honarbakhsh and KH. Abdollahi. 2015. Frequency analysis of regional meteorological drought in Karun-1 basin of Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12): 108-117.
23. Sarabi, S., A. Heshmatpour, B. Komaki and A. Tahmasebi. 2015. Relationship between MODIS vegetation indices and drought in northern rangelands of Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(2): 392-405 (In Persian).
24. Singh, R.P., S. Roy and F. Kogan. 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22): 4393-4402.
25. Thenkabail, P.S., M.S.D.N. Gamage and V.U. Smakhtin. 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. *Research Report 85*, International Water Management Institute.
26. Yagci, A.L., L. Di, M. Deng, W. Han and Ch. Peng. 2011. Agricultural drought monitoring from space using freely available MODIS data and impacts on cotton commodity .*Pecora 18 – Forty Years of Earth Observation. Understanding a Changing World*, November 14–17, 2011. Herndon, Virginia.
27. Zhang, L., W. Jiao, H. Zhang, Ch. Huang and Q. Tong. 2017. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 190: 96-106.
28. Zhang, J., Q. Mu and J. Huang. 2016. Assessing the remotely sensed Drought Severity Index for agricultural drought monitoring and impact analysis in North China. *Ecological Indicators*, 63: 296-309.

Drought Monitoring Using MODIS Data and Its Comparison With SPI Meteorological Index in Short Periods (Case Study: Jaz_Murian basin)

Mojtaba Soleimani Sardo, Mahdi Zarei

-
- 1- Assistant Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Iran
2- Assistant Professor, Research Center of Social Studies & Geographical Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

Received: December 7, 2018 Accepted: April 20, 2019

Abstract

Drought is one of the most important threats for agricultural production in the world, especially in Iran. This phenomenon has started with reduction of precipitations that lead to a decrease in soil moisture and an increase in soil surface temperature, which affect the vegetation growth. The purpose of this study was to investigate droughts in the Jaz_Murian basin by VHI, VCI, TCI and SPI indices using MODIS satellite imagery and meteorological data. For this purpose, the LST products (MOD11A1) and vegetation products (MOD13A1) were selected from 2000 to 2018 at the same time (the first week of March). The VHI and VCI maps were produced and the drought occurrences with critical and very severe classes were identified. Also, the SPI index was calculated using precipitation data in Kahnooj synoptic meteorological station. According to the VHI index, the results showed that over 75% of the study area was classified as the severe, very severe and extreme classes of drought and has suffered from drought in 2001, 2002, 2006, 2009, 2012, 2016 and 2018. Very severe and extreme classes are covered the center of the region, and the eastern and southeastern parts of the basin that likely is related to the rainfall reduction and topographic characteristics of the area and poor vegetation. In comparison with the SPI meteorological index in the short periods (one month, three months, six months), the VHI index indicates the more correlation with the six-month SPI. According to the results obtained in this study, a large part of the study area is located in severe and very severe of drought classes which need more attention to water resource management in this region.

Keywords: Drought, Vegetation Cover, VHI, SPI, Jaz_Murian