

پایش و تحلیل رطوبت سطحی خاک در حوزه آبخیز کرخه با استفاده از تصاویر سنجنده

MODIS

مهشید کریمی^{۱*}، نوید دهقانی^۲، مسعود گودرزی^۳ و مسیب حشمتی^۴

*۱. پژوهشگر بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران، karimi.mahshid88@gmail.com

۲. استادیار گروه مدیریت حوزه‌های آبخیز پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳. دانشیار گروه خشکسالی و تغییر اقلیم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۴. استاد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

خشکسالی یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در سطح جهان محسوب می‌شود که تاکنون تأثیرات منفی زیادی بر حوزه‌های مختلف مانند کشاورزی، محیط زیست و منابع آبی کشور داشته است. از این‌رو ارزیابی مستمر خشکسالی، یکی از مهم‌ترین راهکارها در مدیریت این پدیده و بهره‌برداری بهینه از منابع آب به شمار می‌رود. بدین منظور در این مقاله با استفاده از شاخص اصلاح شده خشکی دما- پوشش گیاهی (MTVDI) به ارزیابی میزان خشکی خاک و در نهایت خشکسالی کشاورزی طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ در حوزه کرخه پرداخته شد. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۸۷ فقط ۴/۲ درصد از مساحت حوزه در شرایط بدون خشکسالی و دیگر مناطق (۹۵/۸٪) در شرایط خشکسالی خیلی شدید تا خفیف قرار گرفته است، بنابراین این سال به عنوان خشک‌ترین سال طی دوره آماری مذکور مشخص شد. همچنین نتایج این شاخص حاکی از وقوع خشکسالی در سال‌های ۱۳۹۳ (۸۷/۱۵٪)، ۱۳۹۷ (۸۲/۲٪)، با مساحتی کمتر نسبت به سال ۱۳۸۷ در منطقه مورد بررسی است. بررسی همبستگی شاخص SPI با شاخص MTVDI بیانگر بیشترین ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۴ با شاخص SPI-1 است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های ماهواره‌ای از توانایی زیادی برای پایش خشکسالی برخوردار است.

واژگان کلیدی: خشکسالی کشاورزی، رطوبت سطحی خاک، سنجش از دور و شاخص MTVDI

۱- مقدمه

خشکسالی یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی است که باعث مشکلات جدی در امنیت آب و غذا در سراسر جهان می‌شود (Yang و همکاران، ۲۰۱۸) از دیدگاه‌های مختلف، خشکسالی‌ها را می‌توان به خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم کرد (Chang و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به تأثیرات شدید خشکسالی بر کشاورزی، توسعه روش‌های مؤثر برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی ضروری و مهم است. در سال‌های اخیر، نشان داده شده است که سنجش از دور قادر به ارائه اندازه‌گیری‌های سریع، اقتصادی، غیرمخرب و مکانی-زمانی خشکسالی کشاورزی است. بر این اساس شاخص‌های زیادی برای پایش خشکسالی کشاورزی بر اساس داده‌های سنجش از دور پیشنهاد شده‌اند. شاخص‌های خشکسالی کشاورزی را می‌توان به شاخص‌های پوشش گیاهی، دما و دما-پوشش گیاهی تقسیم کرد (Gerhards و همکاران، ۲۰۱۹؛ Dai و همکاران، ۲۰۲۳). یک شاخص پوشش گیاهی می‌تواند با ترکیب اطلاعات طیفی از مناطق مختلف که به ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوفیزیکی پوشش

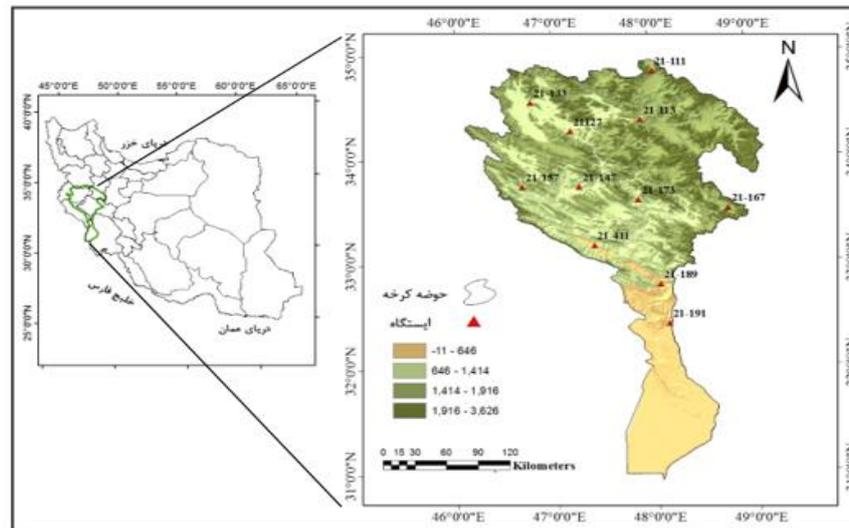
گیاهی حساس هستند، شرایط خشکسالی را تشخیص دهد. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) اولین و پرکاربردترین شاخص پوشش گیاهی است. علاوه بر تغییر در شاخص پوشش گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها روی برگ‌ها تحت تنش آبی نیز می‌تواند منجر به افزایش دمای سطح برگ شود که زودتر رخ می‌دهد و شاخص حساس‌تری نسبت به تغییر در شاخص پوشش گیاهی ارائه می‌دهد. از این‌رو شاخص‌های زیادی براساس دمای سطح زمین (LST) برای پایش خشکسالی پیشنهاد شده‌اند (Gutman و همکاران، ۱۹۹۰). این شاخص‌ها عمدتاً شامل شاخص وضعیت دما (TCI) (Jain و همکاران، ۲۰۰۹) و شاخص دمای اختلاف نرمال شده (NDTI) (Dai و همکاران، ۲۰۲۳) هستند. شاخص‌های دما عملکرد بهتری نسبت به شاخص‌های پوشش گیاهی در پایش دقیق رطوبت خاک ناشی از تبخیر و تعرق و دمای برگ دارند (Goetz، ۱۹۹۷). با این حال، یک شاخص دما به تنهایی نمی‌تواند تفاوت‌های مقاومت به خشکی را در بین انواع مختلف پوشش گیاهی تشخیص دهد و این مسئله منجر به عدم دقت در ارزیابی خشکسالی می‌شود (Moran، ۲۰۰۴). در سال‌های اخیر، رویکردهای مختلفی برای ترکیب شاخص‌های پوشش گیاهی و دما برای تشخیص خشکسالی بررسی شده است (Kogan، ۱۹۹۵؛ Jain و همکاران، ۲۰۰۹؛ Dai و همکاران، ۲۰۲۳) پرکاربردترین شاخص‌های دما-پوشش گیاهی شامل شاخص آب تأمین پوشش گیاهی (VSWI)، شاخص سلامت پوشش گیاه (VHI) و شاخص خشکی پوشش گیاهی دما (TVDI) هستند. TVDI بر اساس فضای مثلث NDVI-LST و با تکیه بر رابطه بین LST و NDVI ساخته می‌شود (Yue و Liu، ۲۰۱۸). در مقایسه با شاخص‌های پوشش گیاهی و دما به صورت جداگانه، TVDI برای پایش خشکسالی و ارزیابی قابل اعتمادتر است (Sun و همکاران، ۲۰۱۲؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، TVDI به دلیل اشباع NDVI، محدودیت‌هایی در مورد پایش خشکسالی در مناطقی با پوشش گیاهی بالا دارد (Sha و همکاران، ۲۰۱۴؛ West و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، اصلاح TVDI به منظور بهبود دقت و قابلیت اطمینان پایش خشکسالی کشاورزی ضروری است. از بین شاخص‌های تنش آبی، شاخص VDI که توسط Maki و همکاران (۲۰۰۴) معرفی شده است از امتیاز ویژه‌ای برای پایش تنش آبی، برخوردار است. این شاخص کمبود میزان آب پوشش گیاهی را با استفاده از باندهای فرورسرخ، در سطح تاج پوشش گیاهی تخمین می‌زند. نتایج معیارهای ارزیابی در بسیاری از تحقیقات نشان داد که شاخص VDI از پتانسیل بالایی برای بررسی خشکسالی برخوردار است (نیازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ امیدوار و همکاران، ۱۴۰۱؛ Chang و همکاران، ۲۰۲۱؛ Cao و همکاران، ۲۰۲۲؛ Almamalachy و همکاران، ۲۰۲۰؛ Amiri و همکاران، ۲۰۲۰؛ Dos Santos و همکاران، ۲۰۲۱). از این‌رو استفاده از شاخص VDI جهت اصلاح TVDI در زمینه پایش دقیق خشکسالی کشاورزی می‌تواند مفید واقع گردد. اخیراً، تحقیقات زیادی در سطح جهان و ایران در زمینه به کارگیری شاخص TVDI انجام گرفته است (فتوت و اسدی زارچ، ۱۴۰۴؛ صفدری مولان و مردانه، ۱۴۰۲؛ شاه‌مرادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Nugraha و همکاران، ۲۰۲۲؛ Przeździecki و همکاران، ۲۰۲۳؛ Dai و همکاران، ۲۰۲۳؛ Guo و همکاران، ۲۰۲۳؛ Chen و همکاران، ۲۰۲۳؛ Wu و همکاران، ۲۰۲۲؛ Zhao و همکاران، ۲۰۲۱؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۷؛ Du و همکاران، ۲۰۱۷) ولی تاکنون تحقیقی در زمینه به کارگیری شاخص اصلاح شده TVDI (MTVDI) بر مبنای شاخص VDI در کشور صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق ارائه شاخص خشکی پوشش گیاهی دمای اصلاح شده (MTVDI) بر مبنای VDI و LST به منظور پایش و تحلیل رطوبت سطحی خاک در حوزه آبخیز کرخه است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب‌غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از شمال به حوضه رودخانه سیروان، قزلاوزن و قره‌چای، از مغرب به حوضه رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از مشرق به حوضه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌گردد. این حوضه از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۶° ۰۶' تا ۴۹° ۱۰' طول شرقی و ۳۰' ۵۸° تا ۳۵° ۳۰' عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه حدود ۵۱۶۴۳ کیلومترمربع است. از شهرهای مهم داخل این حوضه میتوان ملایر، نهاوند، تویسرکان، کنگاور، سنقر، کامیاران، کرمانشاه، کرد، خرم‌آباد و سوسنگرد را نام برد. میانگین بارندگی در حوضه کرخه از حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال در مناطق جنوبی تا فراتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال در ارتفاعات شمالی و مناطق شرقی کرخه تغییر می‌نماید و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است. رژیم دمایی حوضه کرخه به تبعیت از توده‌های

هوایی که منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین ارتفاع متغیر است. میانگین سالانه دمای هوا در حوضه مطالعاتی از کمتر از پنج درجه در بخشی از مناطق کوهستانی تا بالغ بر ۲۵ درجه در بخش جنوبی متغیر است. شکل (۱) موقعیت حوضه کرخه و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه کرخه و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

۲.۲. داده‌ها

۲-۲-۱- داده‌های زمینی

پس از بررسی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های موجود در منطقه تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. با بررسی‌های صورت گرفته تعداد ۱۱ ایستگاه واقع شده در شاخه‌های اصلی انتخاب شدند. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های منتخب در حوضه کرخه نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه کرخه

کد	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	رودخانه	نوع ایستگاه
۲۱-۱۱۱	آغاجان‌بلاغی	۴۸° ۰۴'	۳۴° ۵۰'	شهاب	باران‌سنجی
۲۱-۱۱۳	آران	۴۷° ۳۳'	۳۴° ۲۴'	خرم رود	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۲۷	پل‌چهر	۴۷° ۲۶'	۳۴° ۲۱'	گاماسیاب	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۴۶° ۴۷'	۳۴° ۳۳'	قره سو	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۴۷	هلیلان-سیمره	۴۶° ۳۹'	۳۳° ۴۴'	سیمره	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۵۷	دارتوت	۴۶° ۳۹'	۳۳° ۴۴'	چناره	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۶۷	دهنو	۴۸° ۴۷'	۳۳° ۳۱'	هرود	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۷۳	دوآب ویسیان	۴۸° ۴۷'	۳۲° ۴۸'	خرم آباد	باران‌سنجی
۲۱-۱۸۹	پل زال	۴۸° ۰۵'	۳۲° ۴۸'	آب زال	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۱۹۱	پای پل	۴۸° ۰۹'	۳۲° ۲۵'	کرخه	باران‌سنجی و هیدرومتری
۲۱-۴۱۱	نظرآباد	۴۷° ۲۵'	۳۳° ۱۰'	سیمره	باران‌سنجی و هیدرومتری

۲-۲-۲- داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش تصاویر سطح یک سنجنده MODIS (MOD02HKM) با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و محصول ۸ روزه LST با تفکیک مکانی یک کیلومتر، در ماه می (ماه رویشی در اکثر نقاط حوضه) (۲۳) از پایگاه^۱ USGS طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ دریافت شد.

۲-۳- روش تحقیق

۲-۳-۱ شاخص VDI

شاخص VDI، کمبود آب پوشش گیاهی را در سطح تاج پوشش گیاهی تخمین می‌زند و برای برآورد خشکسالی، نیاز به برآورد شاخص وضعیت آب (WCI) و شاخص دمایی (TCI) دارد. شاخص WCI، می‌تواند حداکثر و حداقل میزان آب را ارزیابی کند و تنش آب مورد نیاز گیاهان را مورد بررسی قرار دهد (Singh و همکاران، ۲۰۱۰) (رابطه ۴).

شاخص وضعیت آب (WCI)

برای محاسبه شاخص WCI، در مرحله اول شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI) محاسبه می‌شود، این شاخص، نخستین بار در سال ۱۹۹۶ توسط McFeeters به منظور جداسازی عوارض آب‌های آزاد و برجسته‌سازی آن‌ها در تصاویر رقومی سنجش از دوری ارائه شده است. در محاسبه VDI، از اختلاف بین دمای مینیمم و ماکزیمم استفاده می‌شود زیرا اختلاف دما با رطوبت خاک ارتباط زیادی دارد (Sun و همکاران، ۲۰۱۳ و امیدوار و همکاران، ۱۴۰۱) (روابط ۱، ۲ و ۳).

$$NDWI = \frac{NIR + SWIR}{NIR - SWIR} \quad (1)$$

$$WCI_i = \frac{NDWI_i - NDWI_{min}}{NDWI_{max} - NDWI_{min}} \quad (2)$$

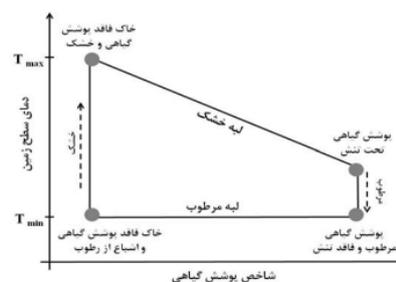
$$TCI_i = \frac{LST_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (3)$$

$$VDI = \alpha_1 \times WCI_i + \alpha_2 \times TCI_i \quad (4)$$

$NDWI_{max}$ و $NDWI_{min}$ حداکثر و حداقل NDWI برای یک پیکسل در تمام ماه‌ها هستند. LST_{max} و LST_{min} حداقل و حداکثر دمای سطح زمین در دوره زمانی مشخص است. دمای زیاد نشان‌دهنده شرایط نامطلوب خشک و دمای سطح کم، شرایط مطلوب را مشخص می‌کند.

۲-۳-۲ شاخص TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index)

شاخص خشکی دما و پوشش گیاهی، یک شاخص سنجش رطوبت سطحی خاک است که با استفاده از نمودار پراکندگی دما و پوشش گیاهی استخراج می‌شود. این شاخص به طور خاص برای ارزیابی میزان خشکی خاک در مناطق مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات مربوط به دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به کار می‌رود (Sandholt و همکاران، ۲۰۰۲) (شکل ۲ و رابطه ۵).



شکل ۲- مفهوم TVDI

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (5)$$

$$LST_{min} = a_1 + b_2 \times NDVI$$

$$LST_{max} = a_1 + b_2 \times NDVI$$

که در آن LST دمای سطح زمین مربوط به هر پیکسل تصویر، LST_{min} و LST_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر دمای سطح زمین مربوط به هر پیکسل است که به لبه های خشک و مرطوب معروف هستند. a_1 ، b_1 ، a_2 و b_2 نیز ضرایب معادلات خطی لبه های خشک و مرطوب هستند. مقادیر شاخص TVDI بین صفر و یک متغیر است که مقدار صفر نشان دهنده وضعیت مرطوب و مقدار یک بیانگر وضعیت خشک است.

۲-۳-۳ شاخص (Modify Temperature Vegetation Dryness Index) MTVDI

استفاده از شاخص NDVI در مطالعات پوشش گیاهی دارای محدودیت هایی است. این شاخص در مناطقی با پوشش گیاهی کم تحت تأثیر خاک پس زمینه قرار می گیرد. آئروسول های موجود در هوا می توانند بر دقت اندازه گیری NDVI تأثیر بگذارد. همچنین در مناطق با تراکم بسیار بالای پوشش گیاهی NDVI ممکن است به اشباع برسد و نتواند اختلاف بین تراکم های بالای پوشش گیاهی را به خوبی تشخیص دهد (نوری و ثنایی نژاد، ۱۳۹۲). بنابراین در این پژوهش MTVDI با ترکیب VDI و LST برای ساخت یک فضای مثلثی توسعه داده شد (رابطه ۶).

$$MTVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (6)$$

$$LST_{min} = a_1 + b_2 \times VDI$$

$$LST_{max} = a_1 + b_2 \times VDI$$

صحت سنجی با MTVDI و SPI

برای صحت سنجی نتایج شاخص ماهواره ای شاخص SPI با استفاده از داده های ایستگاه های باران سنجی محاسبه شد و برای برآورد همبستگی بین داده ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) توسط Maki و همکاران (1993) ارائه شد. تنها عامل مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی است. این شاخص ابزاری در تحلیل داده های بارندگی است.

ضریب همبستگی پیرسون

در این پژوهش، برای ارزیابی شاخص MTVDI از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. یکی از روش های آماری معمول و سودمند، ضریب همبستگی پارامتری پیرسون است که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می دهد. مقدار این ضریب بین -1 و +1 است و از رابطه (7) محاسبه می شود (Wilhite، 2000).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (7)$$

که در این روابط، O_i مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر ایستگاه های باران سنجی، P_i مقدار شاخص خشکسالی ماهواره ای، \bar{O} و \bar{P} به ترتیب میانگین مقدار شاخص زمینی و ماهواره ای و n تعداد کل متغیرها هستند.

۳- نتایج و بحث

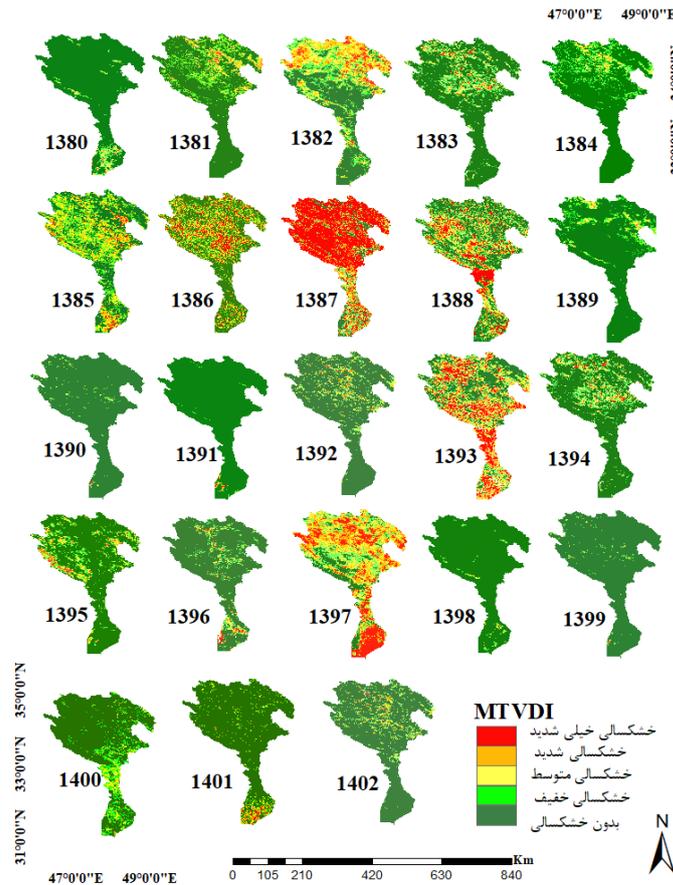
با توجه به اینکه اوج پوشش گیاهی در حوزه آبخیز کرخه مربوط به اردیبهشت ماه می‌باشد به همین دلیل تصاویر ماه می (اردیبهشت) از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ برای محاسبه شاخص MTVDI انتخاب شد. بعد از محاسبه شاخص MTVDI وضعیت خشکسالی در پنج طبقه خیلی شدید، شدید، متوسط، خفیف و بدون خشکسالی دسته‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱- استخراج سال‌های رخداد خشکسالی با استفاده از شاخص MTVDI

طبق نتایج به دست آمده از شاخص MTVDI در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ مشخص شد، در سال ۱۳۸۷ فقط ۴/۲ درصد از مساحت حوضه در شرایط بدون خشکسالی و دیگر مناطق (۹۵/۸٪) در شرایط خشکسالی خیلی شدید تا خفیف قرار گرفته است، بنابراین این سال به عنوان خشک‌ترین سال طی دوره آماری مذکور مشخص شد، که این یافته با نتایج رضایی بنفشه (۱۳۹۴)؛ شاملو و همکاران (۱۳۹۶)؛ کریمی و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. همچنین نتایج این شاخص حاکی از وقوع خشکسالی در سال‌های ۱۳۹۳ (۸۷/۵٪)، ۱۳۹۷ (۸۲/۲٪)، با مساحتی کمتر نسبت به سال ۱۳۸۷ در منطقه مورد بررسی است (جدول ۲ و شکل ۳).

جدول ۲. درصد مساحت طبقات خشکسالی بر اساس شاخص MTVDI برای اردیبهشت ماه در حوزه آبخیز کرخه

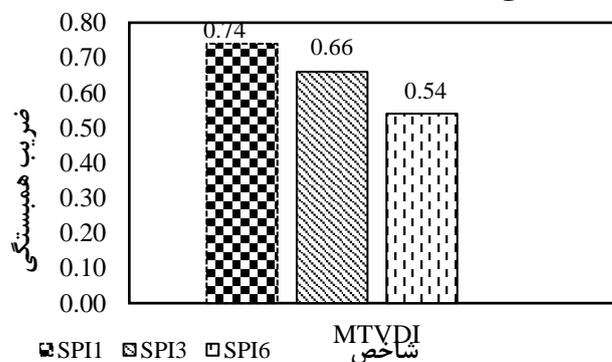
سال	بدون خشکسالی	خفیف	متوسط	شدید	خیلی شدید
۱۳۸۰	۸۹	۹	۲	۰	۰
۱۳۸۱	۳۶	۲۴/۵	۱۶/۱	۱۲	۱۱/۴
۱۳۸۲	۲۸/۱	۲۷/۱	۱۴	۱۳/۶	۱۷/۲
۱۳۸۳	۴۸/۱	۱۹/۵	۱۴/۱	۸/۲	۱۰/۱
۱۳۸۴	۵۶/۸	۲۰/۳	۱۶/۱	۶/۸	۰
۱۳۸۵	۲۸/۲	۲۳/۱	۱۵/۸	۱۹/۶	۱۳/۳
۱۳۸۶	۲۲/۲	۱۰/۳	۳۵/۱	۱۸/۱	۱۴/۳
۱۳۸۷	۴/۲	۳/۴	۷/۹	۱۱/۴	۷۳/۱
۱۳۸۸	۲۷/۶	۱۸/۸	۱۰/۶	۲۰/۵	۲۲/۵
۱۳۸۹	۶۲/۶	۱۸/۹	۸/۴	۶/۷	۳/۴
۱۳۹۰	۸۷/۳	۵/۱	۴/۱	۲/۳	۱/۲
۱۳۹۱	۹۲/۷	۱/۷	۲/۲	۰/۲	۳/۲
۱۳۹۲	۶۸/۶	۱۴/۱	۱۱/۲	۵/۱	۱
۱۳۹۳	۱۲/۵	۱۳/۳	۱۵/۲	۲۲/۴	۳۶/۶
۱۳۹۴	۳۵/۲	۳۰/۸	۱۶/۱	۱۰/۳	۷/۶
۱۳۹۵	۵۲/۲	۲۵/۲	۵/۱	۹/۳	۸/۲
۱۳۹۶	۵۱/۱	۲۵/۱	۹/۶	۷/۵	۶/۷
۱۳۹۷	۱۷/۸	۲۰/۲	۱۵/۲	۲۰/۶	۲۶/۲
۱۳۹۸	۹۲/۲	۴/۳	۲/۲	۰/۳	۱
۱۳۹۹	۹۵/۳	۲/۱	۰/۳	۱	۱/۳
۱۴۰۰	۷۶	۱۶	۴/۲	۲/۸	۱
۱۴۰۱	۸۲/۲	۵/۵	۳/۲	۲/۸	۶/۳
۱۴۰۲	۶۷/۱	۱۵/۱	۶/۲	۷/۲	۴/۴



شکل ۳- وضعیت خشکسالی اردیبهشت ماه بر اساس شاخص MTVDI در حوزه آبخیز کرخه

۳-۲- نتایج بررسی همبستگی بین شاخص زمینی و شاخص سنجش از دوری

بررسی همبستگی شاخص SPI با شاخص خشکسالی سنجش از دوری MTVDI طی دوره آماری مورد بررسی در حوزه آبخیز کرخه بیانگر بیشترین ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۴ بین شاخص MTVDI با SPI-1 است. مقایسه میانگین شاخص MTVDI با شاخص های SPI-1، SPI-2، SPI-3 نشان داد، که رابطه معنی داری بین الگوهای بارش، جریان های سطحی و شرایط خشک و مرطوب وجود دارد و نتایج شاخص MTVDI با شاخص SPI تا حدودی مطابقت خوبی دارد (شکل ۴). بنابراین می توان نتیجه گرفت که شاخص های ماهواره ای از توانایی زیادی برای پایش خشکسالی برخوردار است که این نتیجه با نتایج کریمی و همکاران (۲۰۲۲) و آرخی و همکاران (۱۴۰۳) همخوانی دارد.



شکل ۴- ضریب همبستگی بین شاخص های زمینی و سنجش از دوری در حوزه آبخیز کرخه

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، میزان خشکی خاک و خشکسالی کشاورزی در حوزه آبخیز کرخه با استفاده از شاخص **MTVDI** در طول دوره آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نقشه‌های به‌دست‌آمده از شاخص **MTVDI** نشان داد که در سال ۱۳۸۷، منطقه با ۷۳/۱ درصد مساحت در کلاس خشکسالی شدید قرار داشت، در سال ۱۳۹۳، خشکسالی خیلی شدید با ۳۶/۶ درصد بیشترین سهم را داشت و در سال ۱۳۹۷، خشکسالی شدید با ۲۶/۲ درصد مساحت غالب بود. همچنین، بر اساس نتایج نقشه‌های شاخص **MTVDI**، سال ۱۳۸۷ به عنوان خشک‌ترین سال در طول دوره آماری تعیین شد. نتایج اعتبارسنجی نیز نشان داد که شاخص مورد نظر با میزان بارش همبستگی قوی دارد، که بیانگر کارایی بالای این شاخص در منطقه است. بنابراین، این شاخص می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای تخمین رطوبت سطحی خاک و خشکسالی در بخش کشاورزی باشد.

Abstract

Monitoring and analysis of surface soil moisture in the Karkheh basin using MODIS sensor images

Mahshid Karimi¹, Navid Dehghani², Mosayeb Heshmati³ and Massoud Goodarzi⁴

Drought is one of the most destructive natural disasters in the world, which has had many negative impacts on various areas such as agriculture, the environment, and the country's water resources. Therefore, continuous assessment of drought is considered one of the most important strategies in managing this phenomenon and exploiting water resources. For this purpose, in this research, the Modified Temperature-Vegetation Dryness Index (MTVDI) was used to evaluate the level of soil dryness and ultimately agricultural drought during the statistical period of 2001 to 2022 in the Karkheh basin. The results showed that in 2008, only 4.2% of the basin area was in no drought conditions, and the other regions (95.8%) were in very severe to mild drought conditions. Therefore, this year was identified as the driest year during the statistical period. Also, the results of this index indicate that drought occurred in the years 1393 (87.5%), and 1397 (82.2%), with a smaller area than in 1387 in the studied region. Examining the correlation between SPI and MTVDI shows that the highest correlation coefficient is 0.74 with SPI-1. Therefore, it can be concluded that satellite indices have great potential for drought monitoring.

Keywords: Agricultural drought, Surface soil moisture, Remote sensing, and MTVDI index

فهرست منابع

ارخی، ص.، برزگر سواسری، م.، سوری زائی، ن.، و عشقی، ب. (۱۴۰۳). بررسی همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی با استفاده از تصاویر مودیس (مطالعه موردی: استان‌های قم، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی). *مهندسی/اکوسیستم بیابان*، ۱۲(۴۱): ۲۰-۱.

امیدوار، ک.، نبوی‌زاده، م.، غفاریان مالگیری، ح.ر.، و مزیدی، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی شاخص خشکی گیاه مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در استان سیستان و بلوچستان. *جغرافیای طبیعی*، ۱۵(۵۵): ۴۷-۶۲.

فتوت، ج.، و اسدی زارچ، م.ا. (۱۴۰۴). مقایسه کارایی شاخص‌های خشکسالی اقلیمی SPI، RDI و SPEI در مناطق خشک و نیمه‌خشک با شاخص سنجش از دوری TVDI. *مدیریت بیابان*، ۱۳(۱): ۲۳-۴۲.

نوری، س.، و ثنایی نژاد، س. ح. (۱۳۹۲). بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکی دما-گیاه (TVDI) و دما-گیاه اصلاح شده (MTVDI) و تصاویر سنجنده مودیس. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۷(۴): ۷۵۳-۷۶۲.

نیازی، ی.، طالبی، ع.، مختاری، م.ح.، و وظیفه‌دوست، م. (۱۳۹۶). ارزیابی کارایی شاخص‌های خشکسالی گیاهی (VDI) و دمایی (TDI) مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در محدوده ایران مرکزی. *دوفصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم*، ۷(۱): ۱-۱۶.

1 - Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

2 - Assistant Prof., Watershed Management Department, Soil conservation & watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran.

3- Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

4 - Associate Professor, Department of drought and climate change, Soil conservation & watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran.

- رضایی بنفشه، م.، رضایی، ع.، و فریدپور، م. (۱۳۹۴). تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. *دانش آب و خاک*، ۲۵(۱): ۱۱۳-۱۲۳.
- صفدری مولان، ا.، و مردانه، ع. (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی-پوشش گیاهی (TVDI) و ارتباط آن با عوامل جوی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیاهکوه). *آب و توسعه پایدار*، ۱۰(۳): ۹۹-۱۰۸.
- شاملو، ن.، فریدحسینی، ع.، علیزاده، ا.، و امیدوار، ج. (۱۳۹۷). بررسی خشکسالی با استفاده از دو شاخص خشکی دما-گیاه (TVDI NDVI) و (TVDI LAI) مبتنی بر تصاویر سنجنده MODIS در مقیاس منطقه‌ای (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۳): ۵۲۵-۵۳۵.
- وزارت نیرو جاماب. (1393).
- Bian, Z., Roujean, J. L., Fan, T., Dong, Y., Hu, T., Cao, B., ... & Liu, Q. (2023). An angular normalization method for temperature vegetation dryness index (TVDI) in monitoring agricultural drought. *Remote Sensing of Environment*, 284, 113330.
- Chang, K. Y., Xu, L., Starr, G., & Kyaw Tha Paw, U. (2018). A drought indice reflecting ecosystem responses to water availability: The Normalized Ecosystem Drought Index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250-251, 102-117.
- Chen, A., Jiang, J., Luo, Y., Zhang, G., Hu, B., Wang, X., & Zhang, S. (2023). Temperature vegetation dryness index (TVDI) for drought monitoring in the Guangdong Province from 2000 to 2019. *PeerJ*, 11, e16337.
- Dai, R., Chen, S., Cao, Y., Zhang, Y., & Xu, X. (2023). A Modified Temperature Vegetation Dryness Index (mTVDI) for agricultural drought assessment based on MODIS Data: A case study in Northeast China. *Remote Sensing*, 15(7), 1915.
- Du, L., Song, N., Liu, K., Hou, J., Hu, Y., Zhu, Y., ... & Guo, Y. (2017). Comparison of two simulation methods of the temperature vegetation dryness index (TVDI) for drought monitoring in semi-arid regions of China. *Remote Sensing*, 9(2), 177.
- Gerhards, M., Schleft, M., Mallick, K., & Udelhoven, T. (2019). Challenges and future perspectives of multi-/hyperspectral thermal infrared remote sensing for crop water-stress detection: A review. *Remote Sensing*, 11, 1240.
- Goetz, S. J. (1997). Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 71-94.
- Gutman, G. G. (1990). Towards monitoring droughts from space. *Journal of Climate*, 3, 282-295.
- Jain, S. K., Keshri, R., Goswami, A., Sarkar, A., & Chaudhry, A. (2009). Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 2653-2668.
- Karimi, M., Shahedi, K., Razi, T., & Miryaghoubzadeh, M. (2022). Meteorological and agricultural drought monitoring in Southwest of Iran using a remote sensing-based combined drought index. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(11), 3707-3724. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02220-3> IF: 3.6 Q1 B3
- Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15, 91-100.
- Li, C., Adu, B., Wu, J., Qin, G., Li, H., & Han, Y. (2022). Spatial and temporal variations of drought in Sichuan Province from 2001 to 2020 based on modified temperature vegetation dryness index (TVDI). *Ecological Indicators*, 139, 108883.
- Liu, Y., & Yue, H. (2018). The Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) Based on Bi-Parabolic NDVI-Ts Space and Gradient-Based Structural Similarity (GSSIM) for Long-Term Drought Assessment Across Shaanxi Province, China (2000-2016). *Remote Sensing*, 10, 959.
- McKi, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- McVicar, T. R., & Jupp, D. L. (1998). The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: A review. *Agricultural Systems*, 57, 399-468.
- Moran, M. S. (2004). Thermal infrared measurement as an indicator of planet ecosystem health. *Thermal Remote Sensing of Land Surface Processes*, 1, 257-282.
- Nugraha, A. S. A., Gunawan, T., & Kamal, M. (2022, September). Modification of temperature vegetation dryness index (TVDI) method for detecting drought with multi-scale image. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1039, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.

- Przeździecki, K., Zawadzki, J. J., Urbaniak, M., Ziemblińska, K., & Miatkowski, Z. (2023). Using temporal variability of land surface temperature and normalized vegetation index to estimate soil moisture condition on forest areas by means of remote sensing. *Ecological Indicators*, 148, 110088.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2), 213-224. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7) IF: 11.4 Q1 B1
- Sha, S., Guo, N., Li, Y., Han, T., & Zhao, Y. (2014). Introduction of Application of Temperature Vegetation Dryness Index in China. *Journal of Arid Meteorology*, 32, 128–134.
- Shahzad, A. L. I., Basit, A., Umair, M., Makanda, T. A., Khan, F. U., Siqui, S. H. I., & Jian, N. I. (2023). Spatio-temporal variations in trends of vegetation and drought changes in relation to climate variability from 1982 to 2019 based on remote sensing data from East Asia. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(10), 3193-3208.
- Shi, S., Yao, F., Zhang, J., & Yang, S. (2020). Evaluation of temperature vegetation dryness index on drought monitoring over Eurasia. *IEEE Access*, 8, 30050-30059.
- Singh, V. K., Satpathy, R., Parveenand, R., & Jeyaseelan, A. P. T. (2010). Spatial variation of vegetation moisture mapping using Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer (ASTER) data. *Journal of Environmental Protection*, 1(4), 448.
- Sun, H., Zhao, X., Chen, Y., Gong, A., & Yang, J. (2013). A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day–night land surface temperatures: A case study in China. *International Journal of Remote Sensing*, 34(24), 8986-9001.
- Sun, L., Sun, R., Li, X., Liang, S., & Zhang, R. (2012). Monitoring surface soil moisture status based on remotely sensed surface temperature and vegetation index information. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166, 175–187.
- West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291.
- Wilhite, D. A. (2000). Drought as a natural hazard. In D. A. Wilhite (Ed.), *Drought: A global assessment* (pp. 1-18). Routledge, London.
- Wu, L., Zhang, Y., Wang, L., Xie, W., Song, L., Zhang, H., ... & Lv, Z. (2022). Analysis of 22-year drought characteristics in Heilongjiang Province based on temperature vegetation drought index. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 1003243.
- Yang, J., Chang, J., Wang, Y., Li, Y., Hu, H., Chen, Y., Huang, Q., & Yao, J. (2018). Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index. *Journal of Hydrology*, 557, 651–667.
- Zhao, H., Li, Y., Chen, X., Wang, H., Yao, N., & Liu, F. (2021). Monitoring monthly soil moisture conditions in China with temperature vegetation dryness indexes based on an enhanced vegetation index and normalized difference vegetation index. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 159-176.