

پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در مناطق خشک (مطالعه موردی: مراتع استان یزد)

لیلا فاضل دهکردی^{۱*}، طیبه السادات سهرابی^۲، فرهاد محمودی کهن^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۴

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی و اقلیمی است که موجب اختلال در اکوسیستم می‌شود. اکوسیستم‌های مرتعی مناطق خشک که بخش چشمگیری از سرزمین ما نیز در قلمرو آن قرار دارد، در مجموع نظام‌های شکننده‌ای هستند که در برابر تغییرات اقلیمی به سادگی در معرض انهدام قرار می‌گیرند. بنابراین شناخت و پایش خشکسالی با شاخص‌های معتبر، اولین قدم در جهت مدیریت این پدیده محسوب می‌شود. پایش خشکسالی با استفاده از سیستم‌های سنتی مرسوم دشوار است. فناوری سنجنش از دور علی‌رغم عمر کوتاه خود، به همراه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، توانایی خود را در ارائه اطلاعات سودمند و بموقع درباره پدیده خشکسالی نشان داده است. تحقیق حاضر در مراتع استان یزد و به منظور پایش خشکسالی انجام شده است. نظر به مقایسه رابطه بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای، به منظور برآورد شاخص اقلیمی SPI آمار بارندگی ماهانه، نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۸ به کار گرفته شد. برای استخراج شاخص‌های ماهواره‌ای (LST, NMDI, EVI, NDVI و TCI) تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر، فاصله زمانی برداشت هشت روز برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و در ماه‌های فوریه تا سپتامبر یعنی ماه‌های رشد، قبل و بعد از آن تهیه شد. نتایج شاخص خشکسالی SPI در سایت‌های مرتعی استان یزد نشان داد که طی سال ۲۰۰۰ خشکسالی شدید و در ۲۰۰۷ ترسالی رخ داده است. بررسی شاخص در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه نشان داد که نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت بیشتر است، اما تداوم کمی دارند. با توجه به ارتباط خشکسالی و بارندگی، بررسی نتایج شاخص خشکسالی هواشناسی و مقادیر بارندگی نشان داد که شاخص خشکسالی در بازه زمانی سه و نه ماهه با مقادیر بارندگی در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار دارند. به عبارت دیگر، تغییرات مقادیر بارش ماهانه بر روند تغییرات شاخص SPI در بازه زمانی کوتاه‌مدت مؤثر است. مقایسه آماری بین نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص خشکسالی هواشناسی نشان داد که شاخص SPI در بازه کوتاه‌مدت با شاخص‌های حرارتی و شاخص NMDI در سطح یک درصد، بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پایش خشکسالی، سنجنده مودیس، مراتع استان یزد، شاخص اقلیمی SPI.

۱. دکترای تخصصی مرتعداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران / Email: lfazel193@yahoo.com

۲. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۳. کارشناسی ارشد سنجنش از دور، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان، ایران

مقدمه

پس از استرس را فراهم می‌کند (یونگانای و کوگان^۵، ۱۹۹۸). در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی در رابطه با پایش خشکسالی ارائه شده که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه است. برخی از مدل‌ها عبارت‌اند از: شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI^۶) (کوگان^۷، ۱۹۹۷)، شاخص VCI و NDVI^۸ (گیلسون^۹ و همکاران، ۱۹۹۸)، شاخص نسبت LST^{۱۱} (بایارجال^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۶) به NDVI، شاخص NDWI^{۱۲} (جو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۷)، شاخص NDVI، NDWI، LST و VTCI^{۱۴} (پرویز و همکاران، ۲۰۱۰).

از آنجاکه امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به‌کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده مودیس استفاده شد؛ زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکسالی مناسب‌تر است (سکاتو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۱؛ ژائو^{۱۶}، ۱۹۹۵) از این‌رو از سال ۲۰۰۰ پس از کسب اولین داده‌های ماهواره‌ای از این سنجنده، استفاده از اطلاعات آن به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی مد نظر قرار گرفت. دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکسالی در مناطق کشاورزی و نیمه‌خشک تاکنون ارائه شده است (سکاتو و همکاران، ۲۰۰۱).

همگی با استفاده از شاخص‌های متعدد محاسبه شده حاصل از تصاویر سنجنده مودیس، اقدام به ارزیابی و پایش خشکسالی کردند و نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داده است که اطلاعات این سنجنده برای تعیین خشکسالی مناسب است. با در نظر داشتن نتایج مطالعات صورت‌گرفته تاکنون و همچنین با توجه به حساسیت و شکنندگی اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشک و اهمیت ارزیابی خشکسالی در این اقالیم، با علم به فقدان

خشکسالی عمده‌ترین شکل مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تنوع بسیار زیاد در زمان و مکان وقوع خشکسالی، کار تشخیص دقیق وقوع آن را براساس مشاهدات مکانی سخت و پیچیده می‌کند (لین^۱ و همکاران، ۲۰۱۱) خشکسالی حادثه‌ای طبیعی است که روی اقتصاد، کشاورزی و جنبه‌های اجتماعی جامعه اثر می‌گذارد. این پدیده تدریجی است به‌گونه‌ای که آغاز و پایان آن معلوم نیست، تداوم آن ممکن است از چندین ماه تا چندین سال طول بکشد و مساحت تحت پوشش آن در طول زمان تغییر کند، به همین دلیل نیاز به پایش آن بیشتر احساس می‌شود (بویان^۲، ۲۰۰۴). اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (سیلوا^۳، ۲۰۰۳). شروع استفاده از شاخص‌های جامع را می‌توان با شاخص‌های معرفی شده توسط پالمر در سال ۱۹۶۵ دانست. شاخص‌های هواشناسی با در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی مانند میزان بارش، رطوبت و دما، خشکسالی را تعریف می‌کنند (سیلر^۴ و همکاران، ۱۹۹۸) نظر به اینکه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی تنها برای یک محل معتبرند و قدرت تفکیک مکانی لازم را برای ارزیابی خشکسالی ندارند. همچنین این شاخص‌ها به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی وابسته بوده و ایستگاه‌ها اغلب با فاصله مکانی زیادی از هم توزیع شده‌اند. این مسئله بر قابلیت اعتماد این شاخص‌ها تأثیر منفی خواهد داشت. از این جهت شاخص‌های ماهواره‌ای نظر به دارا بودن قدرت مکانی و زمانی بالا و امکان بررسی شرایط مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

شروع استفاده از فناوری سنجش از دور برای پایش خشکسالی به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین باز می‌گردد. یک‌مرتبه کالبره کردن اطلاعات ماهواره‌ای با واقعیت زمینی، امکان استفاده از داده‌ای ماهواره‌ای برای پایش شروع خشکسالی، واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی و بهبود

1. Lin
2. Bhuiyan
3. Silva
4. Seiler

5. Unganai & Kogan
6. Vegetation Condition Index
7. Kogan
8. Normalized Difference Vegetation Index
9. Gileston
10. Land Surface Temperature
11. Bayarjargal
12. Normalized Difference Water Index
13. Gu et al
14. Vegetation Temperature Condition Index
15. Ceccato
16. Gao

اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی، از شاخص اقلیمی شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند. سپس همبستگی بین این دو شاخص را در نواحی مختلف استان اصفهان سنجیدند. برای برآورد شاخص SPI آمار بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه هواشناسی و برای استخراج شاخص پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده AVHRR استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسب برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد.

محمودی کهن و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه نقش بارندگی در وقوع خشکسالی در مناطق خشک پرداختند و همچنین با استفاده از شاخص‌های گیاهی بیان کردند که بین بارندگی تجمعی و شاخص‌های سنجش از دور (NDVI، VCI، NDVI و SVI) رابطه وجود دارد و بیشترین همبستگی بین بارندگی تجمعی نه‌ماهه و شاخص‌های NDVI و VCI و بارندگی تجمعی دو ساله و شاخص NDVI و SVI وجود دارد. ایشان معتقدند که همبستگی شاخص‌های سنجش از دور با بارندگی‌های تجمعی طولانی‌مدت نشان‌دهنده تأثیر محدود بارندگی در وقوع خشکسالی در بازه‌های کوتاه‌مدت است. نظر به اینکه دمای سطح زمین نمایانگر خوبی برای تعادل انرژی بین جریانات سطحی است، همچنین در گیاه می‌تواند تنش ایجاد نماید، به‌عنوان یک شاخص برای پایش خشکسالی در نظر گرفته شده است. کوگان در سال ۱۹۹۵ شاخص TCI را معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

از بین تیپ‌های مرتعی استان یزد سه تیپ مرتعی واقع در مناطق استپی انتخاب و مطالعه شد. انتخاب تیپ‌های مورد مطالعه، براساس اطلاعات مستخرج از طرح ملی ارزیابی مراتع در مناطق مختلف آب‌وهوایی صورت گرفت. جدول (۱) مشخصات تیپ‌های مرتعی انتخاب شده در استان را نشان می‌دهد. تیپ‌های مرتعی احمدآباد، اشنیز پایین و فهرج واقع در شهرستان‌های بافق، میبد و یزد با غالب گونه‌های بوته‌ای و درختچه به‌ترتیب با متوسط ارتفاع ۱۵۰۰، ۱۱۴۰ و ۱۲۸۰ متر از سطح دریا جزء

اطلاعات هواشناسی در همه مناطق با توزیع زمانی مناسب، تحقیق حاضر به بررسی شاخص‌های NDVI، EVI، NMDI، LST و TCI مستخرج از اطلاعات سنجنده مودیس به‌منظور ارزیابی خشکسالی در محدوده مراتع استان یزد و مقایسه آن با شاخص خشکسالی اقلیمی پرداخته است.

در این زمینه، سیلر و همکارانش (۱۹۹۸) از دو شاخص VCI و TCI برای پایش خشکسالی در آرژانتین استفاده کردند و بیان داشتند که این دو شاخص برای ارزیابی مشخصات مکانی، مدت و شدت خشکسالی مفید بوده و با داده‌های بارندگی رابطه مناسبی را نشان می‌دهند.

وان^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۱ رابطه بین NDVI و تغییرات بارش را در کانزاس مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی مشخص شد در تابستان در صورتی که از بارندگی در ۱ تا ۲ ماه آخر میانگین‌گیری شود، بیشترین همبستگی قابل مشاهده است. در ضمن مشخص شد که میزان همبستگی بین NDVI و بارش به نوع پوشش گیاهی وابسته است.

بویان و همکاران در سال ۲۰۰۶، به مطالعه شاخص‌های SPI، VCI و شاخص سطح آب زیرزمینی در شمال هند پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی ضعیفی بین VCI و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب‌شناسی وجود دارد. همچنین همبستگی بین VCI و SPI در فصل موسمی افزایش می‌یابد، زیرا شادابی گیاه کاملاً وابسته به بارندگی است.

ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور بررسی ارزیابی خشکسالی در مناطق خشک با استفاده از سنجش از دور (منطقه مورد مطالعه: شیرکوه، یزد) ضمن استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ و داده‌های بارش از ۲۳ ایستگاه هواشناسی، بیان کردند که شاخص SAVI روند تغییرات پوشش گیاهی را به‌خوبی آشکار می‌سازد و نتایج نشان داده است که شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۲، با وجود بارندگی بیشتر در مقایسه با سال ۱۹۹۹، افزایش یافته است که این به دلیل کاهش درصد پوشش گیاهی ناشی از کاهش بذردهی گیاهان مرتعی در سال‌های قبل است.

باعقیده و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی قابلیت شاخص

نظر به مقایسه رابطه بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای، به‌منظور برآورد شاخص اقلیمی SPI آمار بارندگی ماهانه نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۰۰ به‌کار گرفته شد. برای استخراج شاخص‌های ماهواره‌ای تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر، فاصله زمانی برداشت هشت روز برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ و در ماه‌های فوریه تا سپتامبر یعنی ماه‌های رشد، قبل و بعد از آن تهیه شد. با توجه به متفاوت بودن بازه زمانی اطلاعات بارندگی و تصاویر ماهواره‌ای، بازه مشترک مقایسه شاخص سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۷ در نظر گرفته شد. اطلاعات سایر سال‌ها به‌منظور بررسی صحت نتایج به‌کار رفت. از کل پنج تصویر مودیس مربوط به کشور ایران، استان یزد در یک تصویر واقع شده و همین امر روند محاسبه شاخص‌ها را تسریع می‌بخشد. از آنجاکه تصاویر ماهواره‌ای دارای سیستم مختصات سینوسوئیدال هستند، سیستم مختصات آن‌ها به جغرافیایی تغییر داده شد تا همخوانی لازم با نقشه توپوگرافی وجود داشته باشد. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰، محدوده استان یزد از کل تصویر جدا و اقدام به محاسبه شاخص‌ها شد. با توجه به این‌که هدف مطالعه محدوده‌های مرتعی منتخب است، از روی نقشه پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات سایت‌های مرتعی طرح ملی ارزیابی به‌عنوان مناطق کلید، تیپ‌های مرتعی مرتبط با سایت جدا و به‌صورت پلی‌گون آماده شدند. سپس براساس مرز تیپ‌ها شاخص‌های ماهواره‌ای از کل استان مجزا شدند. همه مراحل پردازش تصاویر و جداکردن شاخص‌ها توسط نرم‌افزار ENVI و تهیه نقشه‌های مرز استان و تیپ گیاهی توسط نرم‌افزار Arc Map انجام گرفت. شاخص‌های محاسبه‌شده در سه گروه شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص محتوای آب گیاه و شاخص‌های حرارتی دسته‌بندی می‌شوند. شاخص NDVI اولین بار توسط توکر در سال ۱۹۷۹ به‌عنوان شاخص سلامت و تراکم پوشش گیاهی پیشنهاد شد. در سال ۱۹۹۷ شاخص EVI به‌منظور بهبود شاخص NDVI و با هدف کاهش اثرات جوی، از جمله مواد معلق (گرد و

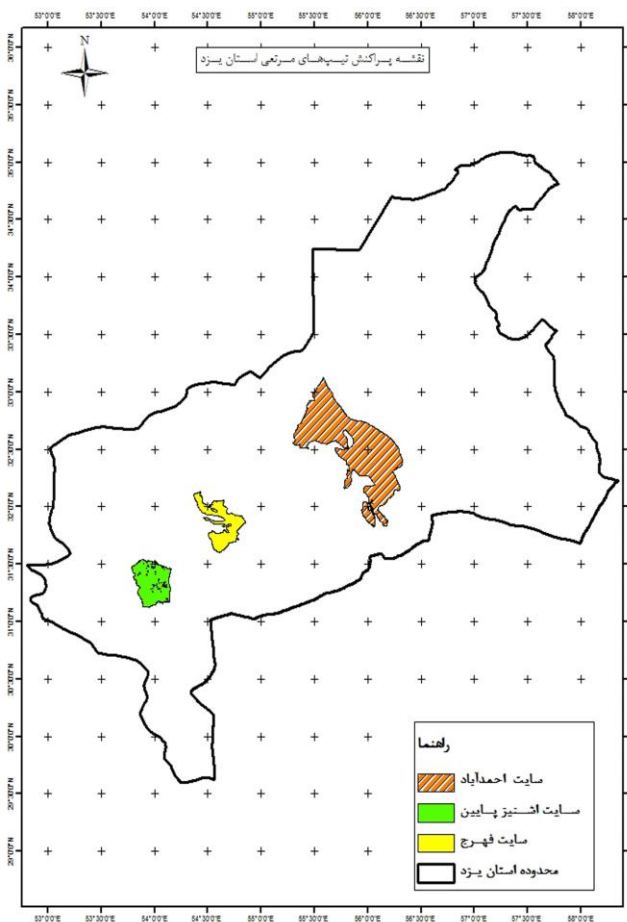
مراع فقیر طبقه‌بندی می‌شوند. متوسط بارندگی سالانه در محدوده‌های مرتعی کمتر از ۷۰ میلی‌متر است. شکل (۱) موقعیت تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه را در استان یزد نشان می‌دهد (فاضل دهکردی، ۱۳۹۲).

جدول (۱): مشخصات تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه در استان یزد

نام تیپ	ارتفاع (متر)	تیپ گیاهی
احمدآباد	۱۵۰۰	<i>Cornulaca monocanta- Artemisia sieberi</i>
اشنیزپایین	۱۱۴۰	<i>Fortuynia bungei- Artemisia sieberi</i>
فهرج	۱۲۸۰	<i>Hammada salicornia-Artemisia sieberi</i>

روش تحقیق

منابع مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل نقشه توپوگرافی، پوشش گیاهی، اطلاعات ماهواره‌ای سنجنده مودیس و اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی محدوده است (فاضل دهکردی، ۲۰۱۳).



شکل (۱): پراکنش تیپ‌های مرتعی در استان یزد

زمانی دلخواه تعریف و شناسایی کند (مک کی^۸ و همکاران، ۱۹۹۳). از آنجاکه این شاخص بی‌بعد است، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گسترده خشکسالی را با دقت بیشتری تولید کرد (آگنیو^۹، ۲۰۰۰). رابطه این شاخص به صورت زیر است:

$$SPI_{j,k} = \frac{P_{j,k} - \bar{P}_j}{\sigma P_j} \quad (1)$$

به منظور محاسبه شاخص از نرم افزار DIP استفاده شد. همچنین برای طبقه‌بندی شرایط نرمال، تر و خشک اطلاعات جدول (۳) به کار رفت. محاسبه SPI در دوره‌های زمانی کوتاه مدت (سه ماهه، شش ماهه و نه ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) انجام شد. سری‌های زمانی کوتاه مدت برای بررسی خشکسالی‌های کشاورزی و سری‌های بلندمدت برای بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارند (هوت^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). نظر به پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مختلف استان، برای محاسبه شاخص اقلیمی SPI از میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌ها براساس نوع آن‌ها (کلیماتولوژی و باران‌سنجی) استفاده شد. در رابطه با اطلاعات بارندگی برای تیپ‌های مرتعی، از میانگین اطلاعات ایستگاه‌ها باران‌سنجی هم‌تراز تیپ‌ها استفاده شد. جدول (۳) طبقه‌بندی شرایط اقلیمی را براساس شاخص SPI نشان می‌دهد.

جدول (۳): طبقه‌بندی دوره‌های خشکسالی و ترسالی براساس شاخص

SPI	
SPI	طبقات خشکسالی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

8. McKee
9. Agnew
10. Huete

خاک) و مایعات توسط هوت^۱ ارائه شد. شاخص NMDI از تفاوت بین دو باند جذب آب (۱/۶۴ و ۲/۱۳ میکرومتر) که به رطوبت خاک و پوشش گیاهی حساس‌اند، محاسبه می‌شود (وانگ^۲، ۲۰۰۷). دو باند حرارتی ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس قادر به نشان دادن میزان دمای سطح است، شاخص TCI برای اولین بار توسط (کوجان^۳، ۱۹۹۵) و با هدف پایش خشکسالی از طریق باندهای حرارتی معرفی شد. جدول (۲) نحوه محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۲): نحوه محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای

نام شاخص	فرمول محاسبه شاخص	مرجع
NDVI	$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + B_{RED}}$	روس ^۴ (۱۹۷۳)
EVI	$EVI = 2.5 * \left(\frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + 6B_{RED} - 7.5B_{BLUE} + 1} \right)$	هوت ^۱ (۱۹۹۷)
NMDI	$NMDI = \frac{B_2 - (B_6 - B_7)}{B_2 + (B_6 - B_7)}$	وانگ ^۲ (۲۰۰۷)
LST	به دست آمده از محصولات دمای سطحی MODIS	
TCI	$TCI_{ijk} = \frac{LST_{ijk} - LST_{i \min}}{LST_{i \max} - LST_{i \min}}$	کوجان ^۳ (۱۹۹۵)

بازتابش BRED، BNIR در محدوده قرمز و مادون قرمز و B1، B3 و B4 باندهای ۱، ۳ و ۴ سنجنده مودیس، LST باندهای ۳۱ و ۳۲

شاخص SPI^۵

شاخص استاندارد بارش یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی به شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (بوناکورسو^۶، ۲۰۰۳). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (تساکیریس^۷ و همکاران، ۲۰۰۴) و به تحلیل گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام

- Huete
- Wang
- Kogan
- Rouse
- Standardized Precipitation Index
- Bonaccorso
- Tsakiris

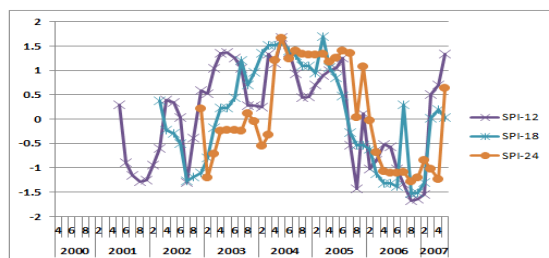
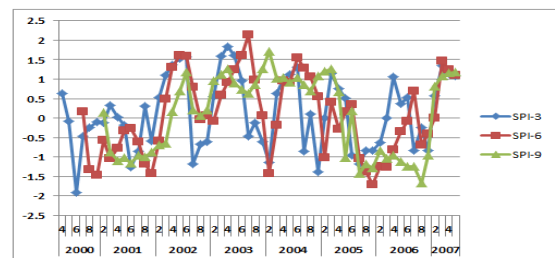
نتایج

نتایج شاخص خشکسالی SPI در سایت های مرتعی استان یزد طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ با در نظر گرفتن اطلاعات بارندگی ایستگاه های هواشناسی منتخب در بازه زمانی مختلف در جداول زیر ارائه شده است.

جدول (۴): مقادیر سالانه شاخص SPI در تپ مرتعی اشنیز پایین

سال	SPI	طبقات خشکسالی	سال	SPI	طبقات خشکسالی
۲۰۰۰	-۱/۳۴	خشکسالی شدید	۲۰۰۴	۱/۱۴	ترسالی متوسط
۲۰۰۱	-۰/۶۸	تقریباً نرمال	۲۰۰۵	-۱/۰۳	خشکسالی متوسط
۲۰۰۲	۰/۳۷	تقریباً نرمال	۲۰۰۶	-۰/۷۲	تقریباً نرمال
۲۰۰۳	۰/۸۲	تقریباً نرمال	۲۰۰۷	۱/۴۲	ترسالی متوسط

چنان که در جدول (۴) مشخص است، محدوده این عرصه مرتعی در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ دچار خشکسالی شده است. در سال ۲۰۰۷ شاخص SPI ترسالی متوسط را نشان می دهد. تغییرات شاخص SPI در بازه زمانی سه ماهه تا ۲۴ ماهه در شکل (۲) درج شده است. حداقل مقادیر شاخص خشکسالی در ماه های فوریه و مارس و همچنین ماه های جولای- سپتامبر است.



شکل (۲): تغییرات ماهانه شاخص خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی مختلف تپ اشنیز

با توجه به مقایسه آماری مقادیر شاخص خشکسالی SPI و شاخص های ماهواره ای، کمترین میزان R^2 در بازه زمانی ۱۶ روزه و بیشترین در بازه زمانی ۲۴ ماهه مشاهده شد. روابط رگرسیونی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص های ماهواره ای سایت اشنیز در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): روابط رگرسیونی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و ماهواره ای سایت اشنیز پایین

زمان	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۱۸ ماهه	۲۴ ماهه
EVI (8 days)	-	-	۰/۳۶۶*	۰/۳۹۲**	-	۰/۳۵۲*
NDV (8 days)	-	-	۰/۳۱۰*	۰/۳۲۸*	-	-
NMDI	-۰/۳۳۹**	-۰/۲۹۰*	-۰/۳۳۳*	-۰/۳۷۱**	-۰/۳۴۵*	-
LST	-۰/۷۳۶**	-۰/۶۰۱**	-۰/۳۷۴**	-۰/۵۴۹*	-	-
TCI	-۰/۶۸۶**	-۰/۴۵۲**	-	-۰/۳۹۰**	-	-

شد. جدول (۶) ضرایب همبستگی بین شاخص ها را در بازه زمانی مختلف نشان می دهد.

در بازه ۳ و ۶ ماهه بیشترین همبستگی بین شاخص SPI و شاخص های حرارتی وجود دارد. در بازه ۹ و ۱۲ ماهه بین شاخص های پوشش گیاهی، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه و شاخص خشکسالی هواشناسی همبستگی وجود دارد. در بازه زمانی ۱۸ ماه همبستگی چندانی بین شاخص ها مشاهده نشد.

با توجه به ضریب تشخیص مدل ۱۶ روزه، این مدل صحت و اعتبار کافی برای برآورد شاخص خشکسالی اقلیمی ندارد. از آنجاکه هدف از این مطالعه، مقایسه رابطه بین شاخص های ماهواره ای و شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین کارایی شاخص های ماهواره ای در پایش خشکسالی است، همبستگی بین متغیرها با شاخص SPI در بازه های مختلف بررسی و پس از حذف شاخص ها با همبستگی ضعیف، مدل رگرسیونی محاسبه

جدول (۶): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های ماهواره‌ای تپ اشنیزپایین

مدل رگرسیون	R ²	زمان
SPI=4.02+95 NDVI _(16 days) +74 NDIIb6-39 NDIIb7-132 SAVI-1.3 TCI	۱۱/۹۳	۱۶ روزه
SPI=19.18-84 EVI _(16 days) +134 NDIIb6-0.33 LST+6.1 TCI	۶۵/۶۴	۳ ماهه
SPI=34.98-201 NDVI _(16 days) -270 EVI _(8 days) +177 NDIIb7-150 NDVI _(8 days) +575 SAVI+38 VARI-0.09 VCI-0.87 LST+16.2 TCI	۷۳/۶۴	۶ ماهه
SPI=65.07-151 EVI _(8 days) +35 NDIIb6-235 NDVI _(8 days) +205 SAVI-0.16 VCI-1.24 LST+16.6 TCI	۶۷/۳۸	۹ ماهه
SPI=68.38+269 EVI _(8 days) +155 NDIIb6-358 NDVI _(8 days) +132 NDWI-54 NMDI+0.15 VCI-1.41 LST+31 TCI	۷۵/۲۶	۱۲ ماهه
SPI=-11.06-517 EVI _(8 days) -310 NDIIb6+683 NDVI _(8 days) +162 VARI-0.51 VCI+0.62 LST	۷۲/۶۵	۱۸ ماهه
SPI=155.1+362 EVI _(8 days) -637NDVI _(8 days) +453 NDWI-216 NMDI+519 SAVI+135 VARI	۸۴/۳۶	۲۴ ماهه

** : در سطح یک درصد * : در سطح پنج درصد

پس از بررسی همبستگی بین متغیرها با شاخص SPI در بازه‌های مختلف و حذف شاخص‌ها با همبستگی ضعیف، مدل رگرسیونی محاسبه شد. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین متغیرها از طریق رابطه رگرسیونی در جدول (۷) ارائه شده است. براساس اطلاعات مندرج در جدول، بیشترین ضریب تبیین معنی‌داری مربوط به مدل رگرسیون زمانی ۲۴ ماهه و پس از آن نه ماهه است. مدل رگرسیون ۱۸ ماهه کمترین ضریب را دارد.

جدول (۷): بهترین روابط رگرسیونی میان شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای سایت اشنیز

مدل رگرسیون	R ²	زمان
SPI = 8.14 - 3.57 NMDI + 0.31 VARI - 0.0623 VCI - 0.163 LST	۵۸/۵	۳ ماهه
SPI = 17.9 - 161 NDVI _(16 days) + 109 NDIIb7 + 8.4 NMDI + 170 SAVI - 0.107 VCI - 0.792 LST + 13.3 TCI	۵۹	۶ ماهه
SPI = 66.9 + 4.3 EVI _(8 days) - 204 NDVI _(8 days) + 443 NDIIb6 - 0.5 NMDI - 0.157 VCI - 0.852 LST	۶۲/۵	۹ ماهه
SPI= 48.1 + 101 EVI _(8 days) - 161 NDVI _(8 days) + 245 NDIIb6 - 12.5 NMDI - 0.258 VCI- 23.1 TCI	۶۰/۵	۱۲ ماهه
SPI= 22.5 - 2.0 NMDI + 173 VARI	۲۴/۶	۱۸ ماهه
SPI= 48.0 + 258 EVI _(8 days) + 546 NDIIb6 - 125 NDVI _(8 days) + 30.9 VARI - 0.310 VCI	۶۸/۳	۲۴ ماهه

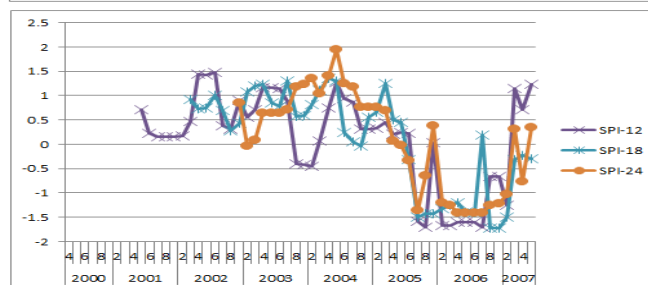
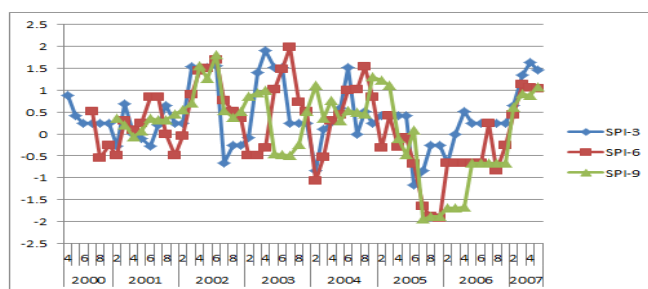
از آنجاکه شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شده است، روند تغییرات این شاخص در هر بازه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. شکل (۳) بیانگر تغییرات شاخص اقلیمی است. نتایج نشان داد که میزان شاخص خشکسالی در ماه‌های مارس تا ژوئیه افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. افزایش شاخص خشکسالی هواشناسی همزمان با شروع فصل تابستان و کاهش میزان رطوبت است. بالاترین مقدار R² مربوط به مدل رگرسیونی بازه زمانی ۱۸ ماهه و پس از آن ۳ ماهه است (جدول ۹).

محاسبه شاخص SPI در محدوده تپ مرتعی فهرج نشان داد که سال ۲۰۰۱ با خشکسالی متوسط همراه بوده است و سایر سال‌ها نرمال تا مرطوب بوده‌اند. نکته مهم در محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی در این تپ آن است که به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات بارندگی در سال ۲۰۰۶، وضعیت این سال مشخص نشد. جدول (۸) نتایج محاسبه شاخص اقلیمی سالانه را نشان می‌دهد.

جدول (۸): مقادیر سالانه شاخص SPI در تپ مرتعی فهرج

سال	SPI	طبقه خشکسالی	سال	SPI	طبقه خشکسالی
۲۰۰۰	-۰/۴۱	تقریباً نرمال	۲۰۰۴	۰/۷۳	تقریباً نرمال
۲۰۰۱	-۱/۴۵	خشکسالی متوسط	۲۰۰۵	-۰/۳۷	تقریباً نرمال
۲۰۰۲	۰/۸۵	تقریباً نرمال	۲۰۰۶	-	-
۲۰۰۳	۰/۴۴	تقریباً نرمال	۲۰۰۷	۱/۱۳	ترسالی متوسط

پس از محاسبه مقادیر شاخص SPI با در نظر گرفتن دوره‌های زمانی مختلف، این شاخص با شاخص‌های ماهواره‌ای در دوره زمانی مشابه مقایسه و همبستگی بین متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. مدل رگرسیونی با بیشترین ضریب در بازه زمانی ۱۸ ماهه و کمترین در بازه زمانی ۱۶ روزه مشاهده شده است.



شکل (۳): تغییرات ماهانه شاخص خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی مختلف تپ فهرج

جدول (۹): روابط رگرسیونی شاخص هواشناسی و شاخص‌های ماهواره‌ای تپ فهرج

مدل رگرسیون	R ²	زمان
$SPI = -4.17 + 126 EVI_{(16 \text{ days})} - 36 NDIIb6 + 40 NDWI + 0.27 - 10.2 TCI$	۱۱/۸۵	۱۶ روزه
$SPI = 0.75 + 312 EVI_{(16 \text{ days})} - 107 NDVI_{(8 \text{ days})} - 0.18 VCI - 907 TCI$	۴۲/۵۷	۳ ماهه
$SPI = 4.3 + 1223 EVI_{(16 \text{ days})} - 239 EVI_{(8 \text{ days})} - 232 NDIIb6 - 313 NDVI_{(8 \text{ days})} - 707 SAVI - 0.44 VCI - 1.9 LST + 54 TCI$	۵۷/۷۷	۶ ماهه
$SPI = 44.47 + 1089 EVI_{(16 \text{ days})} + 909 NDVI_{(16 \text{ days})} - 175 NDIIb7 + 125 NDWI - 93 NMDI - 2482 SAVI - 2.3 LST + 74 TCI$	۴۳/۷۳	۹ ماهه
$SPI = 92.05 - 1405 EVI_{(16 \text{ days})} - 163 NMDI - 211 VARI - 5.4 LST + 164 TCI$	۴۴	۱۲ ماهه
$SPI = -54.89 + 1811 NDVI_{(16 \text{ days})} - 541 NDIIb6 + 99 NMDI - 0.76 VCI$	۶۴/۵۱	۱۸ ماهه
$SPI = -216.6 + 1580 NDVI_{(16 \text{ days})} - 935 NDIIb6 + 545 NDWI + 355 NMDI + 741 SAVI + 8.9 LST - 370 TCI$	۵۵/۲۸	۲۴ ماهه

جدول (۱۰): بهترین روابط رگرسیونی شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای تپ فهرج

مدل رگرسیون	R ²	زمان
$SPI = 1.31 + 134 EVI_{(16 \text{ days})} + 109 NDVI_{(16 \text{ days})} - 6.2 NMDI - 0.212 VCI - 6.20 TCI$	۴۰/۴	سه ماهه
$SPI = 5.9 + 211 EVI_{(16 \text{ days})} - 0.1 NMDI - 0.269 VCI - 1.20 LST + 23.4 TCI$	۲۵/۵	شش ماهه
$SPI = 14.6 - 424 NDVI_{(8 \text{ days})} - 99 SAVI$	۱۴/۵	نه ماهه
$SPI = 18.1 - 389 NDVI_{(8 \text{ days})} + 86.9 NDWI - 0.219 VCI$	۲۱/۲	۱۲ ماهه
$SPI = -44.8 + 806 EVI_{(16 \text{ days})} - 1099 EVI_{(8 \text{ days})} - 472 NDIIb6 + 188 NDIIb7 + 105 NMDI$	۵۱/۹	۱۸ ماهه
$SPI = -63.0 + 92 NDVI_{(8 \text{ days})} + 81 NDWI + 152 NMDI + 1.92 LST$	۲۶/۵	۲۴ ماهه

متغیرهای مختلف بیانگر این مطلب است که شاخص SPI در بازه زمانی سه و شش ماهه با شاخص‌های حرارتی بیشترین ضریب همبستگی را دارد. در سایر بازه‌های زمانی تعداد کمی از شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص خشکسالی همبستگی قوی نشان دادند.

با توجه به ضریب تشخیص مدل ۱۶ روزه این مدل، صحت و اعتبار کافی برای برآورد شاخص خشکسالی اقلیمی ندارد (جدول ۱۰). بالاترین مقدار R^2 مربوط به مدل رگرسیونی بازه زمانی ۱۸ ماهه و پس از آن سه‌ماهه است. جدول (۱۱) ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها را در بازه زمانی مختلف نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه آماری بین

جدول (۱۱): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های ماهواره‌ای تیپ فهرج

زمان	ماهه ۳	ماهه ۶	ماهه ۹	ماهه ۱۲	ماهه ۱۸	ماهه ۲۴
EVI (8days)	-	-	-	-	-۰/۵۸۴**	-
NDVI (8days)	-	-	-۰/۳۸۰**	-۰/۳۷۵**	-	-۰/۴۰۲*
NMDI	-۰/۳۴۹**	-۰/۲۸۰**	-	-	۰/۳۶۶*	۰/۴۵۶**
LST	-۰/۴۷**	-۰/۴۱۶**	-	-	-	۰/۳۶۵*
TCI	-۰/۳۷**	-۰/۳۴۹**	-	-	-	-

** : در سطح یک درصد * : در سطح پنج درصد

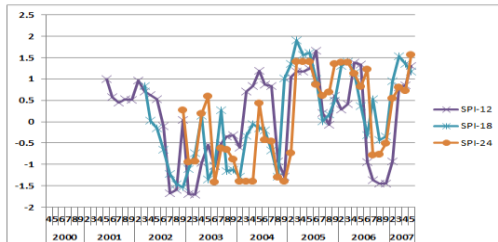
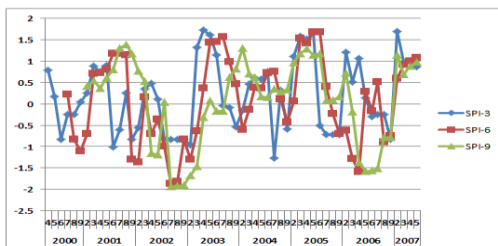
نتیجه حاصل از مقایسه آماری بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی هواشناسی در سایت احمدآباد، در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که بازه زمانی ۱۸ و نه ماهه بیشترین رابطه معنی‌دار را با شاخص‌های ماهواره‌ای دارند. بررسی نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۶ روزه برآورد دقیقی را از روابط بین متغیرها نشان نمی‌دهد (جدول ۱۳).

بررسی شاخص SPI در بازه زمانی ۳ تا ۲۴ ماه در شکل (۴) درج شده است. نتایج شکل (۴) نشان داد که بیشترین تغییرات شاخص SPI به سمت مثبت در ماه‌های مارس تا ژوئن رخ داده است. شاخص خشکسالی طی ماه‌های ژوئیه تا فوریه سال بعد نشان‌دهنده کاهش میزان رطوبت است. نظر به وضعیت آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه وقوع شرایط خشک در ماه‌های تابستان طبیعی است.

جدول (۱۲): مقادیر سالانه شاخص SPI در تیپ مرتعی احمدآباد

سال	SPI	طبقات خشکسالی	سال	SPI	طبقات خشکسالی
۲۰۰۰	-۱/۰۳	خشکسالی متوسط	۲۰۰۴	۰/۴۵	تقریباً نرمال
۲۰۰۱	۰/۸۳	تقریباً نرمال	۲۰۰۵	۰/۵۶	تقریباً نرمال
۲۰۰۲	-۱/۶۶	خشکسالی شدید	۲۰۰۶	-۰/۹۰	تقریباً نرمال
۲۰۰۳	۰/۳۴	تقریباً نرمال	۲۰۰۷	۱/۴۳	ترسالی متوسط

بنابراین شاخص خشکسالی به وضعیت زیر نرمال سوق می‌کند. نتایج بررسی بازه‌های زمانی طولانی مدت بیانگر این موضوع است که با افزایش زمان محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی بر خلاف زمان کوتاه مدت، شدت تغییرات شاخص کمتر است و شکل از ثبات بیشتری برخوردار است.



شکل (۴): تغییرات ماهانه شاخص خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی مختلف تیپ احمدآباد

نتایج حاصل از مقایسه آماری بین متغیرهای مختلف بیانگر این مطلب است که در کوتاه مدت، شاخص های حرارتی و در بلندمدت، شاخص های حرارتی، پوشش گیاهی با SPI رابطه معنی دار نشان می دهند. این مسئله می تواند بیانگر رابطه بین دما در بلندمدت و وقوع خشکسالی باشد. زیرا با افزایش میزان دما

کاهش بارندگی در بلندمدت از پوشش گیاهی کاسته شده و همچنین محتوای آب گیاه نیز تحت تأثیر قرار می گیرد. این روند می تواند سبب وقوع خشکسالی و آسیب جدی به پوشش گیاهی بشود (جدول ۱۴).

جدول (۱۳): ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص های ماهواره ای تپ احمدآباد

زمان	ماه ۳	ماه ۶	ماه ۹	ماه ۱۲	ماه ۱۸	ماه ۲۴
EVI (8 days)	-	۰/۳۹۵ **	-	-	۰/۴۴۵ **	۰/۵۰۰ **
NDVI (8 days)	۰/۲۸۸ *	-	-	۰/۴۴۰ **	-	-
NMDI	۰/۳۹۲ **	۰/۳۴۵ **	-	۰/۳۴۶ *	۰/۴۴۲ **	۰/۳۵۱ *
LST	۰/۷۴۹ **	۰/۵۸۵ **	۰/۴۳۵ **	۰/۵۸۶ **	۰/۷۸۰ **	۰/۶۶۷ **
TCI	۰/۷۴۴ **	۰/۶۲۴ **	۰/۴۸۳ **	۰/۶۵۴ **	۰/۷۷۶ **	۰/۶۹۷ **

** : در سطح یک درصد * : در سطح پنج درصد

جدول (۱۴): روابط رگرسیونی میان شاخص های هواشناسی و ماهواره ای تپ احمدآباد

مدل رگرسیون	R ²	زمان
$SPI = -1.89 + 74 NDVI_{(16\ days)}$	۲/۲۷	۱۶ روزه
$SPI = 0.38 + 113 NDVI_{(16\ days)} - 69 NDIIb7 - 0.15 VCI - 24.5 TCI$	۶۵/۴۲	۳ ماهه
$SPI = -0.53 + 137 EVI_{(16\ days)} - 241 NDIIb6 - 229 NDVI_{(8\ days)} + 339 SAVI - 0.29 VCI - 70 TCI$	۶۷/۹۲	۶ ماهه
$SPI = 29.45 + 246 EVI_{(16\ days)} + 411 NDIIb6 - 358 NDVI_{(8\ days)} - 420 NDWI - 579 SAVI - 128 VARI - 0.26 VCI - 93 TCI$	۸۱/۱۹	۹ ماهه
$SPI = -2.87 + 187 EVI_{(16\ days)} - 301 NDVI_{(16\ days)} + 510 EVI_{(8\ days)} - 407 NDIIb6 - 346 NDVI_{(8\ days)} - 133 TCI$	۷۳/۴۴	۱۲ ماهه
$SPI = -13.09 + 413 EVI_{(8\ days)} - 266 NDWI - 0.82 VCI - 166 TCI$	۸۱/۸۳	۱۸ ماهه
$SPI = 26.86 + 775 EVI_{(16\ days)} - 667 NDVI_{(16\ days)} - 4.7 LST$	۵۶/۱	۲۴ ماهه

بازه ۱۶ روزه برآورد دقیقی از رابطه متغیرها به دست نمی دهد، بنابراین از مدل رگرسیونی حذف می شود (جدول ۱۵). خشکسالی هواشناسی در بازه زمانی ۱۸ ماهه و سپس ۱۲ و ۳ ماهه است. بیشترین ضریب R² مربوط به مدل محاسبه شده برای شاخص

جدول (۱۵): بهترین مدل رگرسیونی میان شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای تیپ احمدآباد

مدل رگرسیون	R ²	زمان
$SPI = 96.2 NDVI_{(16 \text{ days})} - 68.5 NDIIb7 + 22.4 NDVI_{(8 \text{ days})} + 0.4 NMDI - 3.7 VARI - 0.155 VCI - 24.9 TCI$	۶۵/۵	۳ ماهه
$SPI = 2.67 + 157 EVI_{(16 \text{ days})} - 90 NDVI_{(16 \text{ days})} + 33 EVI_{(8 \text{ days})} + 27.3 NMDI - 0.237 VCI - 79.1 TCI$	۶۳/۵	۶ ماهه
$SPI = -2.60 + 283 EVI_{(16 \text{ days})} + 47.1 NDWI + 2.84 LST - 177 TCI$	۴۴/۹	۹ ماهه
$SPI = 18.0 + 263 EVI_{(16 \text{ days})} - 552 NDVI_{(8 \text{ days})} - 14.1 NDWI + 9.4 NMDI - 148 TCI$	۶۶/۳	۱۲ ماهه
$SPI = 18.3 - 482 NDVI_{(16 \text{ days})} + 677 EVI_{(8 \text{ days})} + 244 NDIIb7 - 352 NDWI + 4.3 NMDI + 25 SAVI + 65 VARI - 181 TCI$	۷۵/۶	۱۸ ماهه
$SPI = 34.0 - 477 NDVI_{(16 \text{ days})} - 72 EVI_{(8 \text{ days})} + 14 NDIIb7 - 28 NMDI + 922 SAVI + 0.066 VCI - 342 TCI$	۵۳/۴	۲۴ ماهه

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی و بارندگی، بررسی نتایج شاخص خشکسالی هواشناسی و مقادیر بارندگی نشان داد که شاخص خشکسالی در بازه زمانی سه و نه‌ماهه با مقادیر بارندگی در سطح یک درصد همبستگی معنی‌دار دارند. به عبارت دیگر، تغییرات مقادیر بارش ماهانه بر روند تغییرات شاخص SPI در بازه زمانی کوتاه‌مدت مؤثر است. جوانمرد و همکاران (۲۰۰۳) بیان داشتند که SPI کوتاه‌مدت شرایط رطوبت را منعکس می‌کند و قادر به برآورد فصلی بارندگی است.

مقایسه آماری بین نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص خشکسالی هواشناسی نشان داد که شاخص SPI در بازه کوتاه‌مدت با شاخص‌های حرارتی و شاخص NMDI در سطح یک درصد بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد.

نتایج شاخص خشکسالی SPI در سایت‌های مرتعی استان یزد طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ با در نظر گرفتن اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در بازه زمانی مختلف نشان داد که سال ۲۰۰۰، خشکسالی شدید و در سال ۲۰۰۷، ترسالی در محدوده‌های مورد مطالعه رخ داده است. بررسی شاخص در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه نشان داد که نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت بیشتر است، اما تداوم کمتری دارد. به همین دلیل در بازه زمانی کوتاه‌مدت، تعداد وقوع خشکسالی در ماه بیشتر از سایر بازه‌های زمانی است. یزدانی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که تعداد خشکسالی‌ها در فواصل زمانی کوتاه‌تر بیش از تعداد آن‌ها در فواصل زمانی طولانی‌تر است. با توجه به ارتباط

منابع

1. Agnew, C.T, 2000, using the SPI to Identify Drought, Drought Network News, Vol. 12, No. 1, winter 1999-Spring 2000.
2. Baaghideh, M., Alijani, B., 2012, Investigation of probability of using of vegetation indicate(NDVI) in drought analysis of Esfahan Province, Geography studies of dry land, first year, No.4:1-16.
3. Bayarjargal. Y, Karnieli. A, Bayasgalan. M., Khudumur. S, Gandush. C, and Tucker. C.J., 2006, A Comparative Study of NOAA-AVHRR Derived Drought Indices Using Change Vector Analysis. Remote Sensing of Environmental. 105.Pp. 9-22.
4. Bhuiyan, C., 2004, various droughts for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In Proceedings of the XXth ISPRS Conference. Int. Soc. Photogramm. Remote Sensing, Istanbul.
5. Bhuiyan, C., Singh R. P., Kogan, F. N., 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: Pp. 289–302.
6. Bonaccorso, B., et al., 2003, Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily, *Water Resources Management* 17:273-296.
7. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Gregoire, J. M., 2001, Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77, Pp. 22–33.
8. Ebrahimi, M., A. A. Matkan, R. Darvishzadeh, 2010, Remote Sensing for drought assessment in arid regions (A case study of central part of Iran, Shirkooh-Yazd) a RS & GIS Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran.
9. Fazel Dehkordi, L., 2014, Drought hazard warning to manage of rangeland, PhD thesis, Tehran University, Tehran. 101-263.
10. Gao, B. C., 1996, NDWI—A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, Pp. 257–266.
11. Gao, B.C., 1995, Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Proceedings of SPIE* 2480: Pp.225-236.
12. Gitelson, A.A., F. Kogan, E. Zakarin, L. Spivak and L. Lebed. 1998. Using AVHRR data for quantitative estimation of vegetation conditions: Calibrating and validation. *Adv. Space Res. Vol. 22 (5): Pp.673-676.*
13. Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., Wardlaw, B., 2007, A Five Year Analysis of MODIS NDVI and NDWI for Grassland Drought Assessment over The Central Great Plains of The United States. *Geophysical Research Letters*. 34.Pp. 1-6.
14. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira, 2002, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83:Pp.195–213
15. Javanmard, S., Bodaghjamali., Ahmadian, J., Ghahraman, N., Moaghar Moghadam, H., 2002, Caring system of drought intensity using drought intensity indicators Palmer, Bolten of total climate center, No.4.
16. Kogan, F.N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: Pp.621-636.
17. Kogan, F. N., 1995, Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 76, Pp. 655– 668.
18. Lin, M. L., Chu, Ch. M., Tsai, B. W., 2011, Drought Risk Assessment in Western Inner-Mongolia, *Int. J. Environ. Res.*, 5(1):Pp.139-148.
19. McKee, T.B., Doesken, N., J., and Kleist, J., 1993, the relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the English Conference on Applied Climatology*, 1993, Boston, MA: American Meteorology Society, Pp. 179-184
20. Mahmoodi Kohan, F., 2012, Drought monitoring in dry land using of remotely science indicators, Msc thesis, Kerman Graduate University.
21. Mahmoodi Kohan, F., Esmaeeli, A., Hani, S.M., 2012, Study of the role of precipitation in drought using of vegetation indicators of remotely science, Case study: Rafsanjan, National seminar of Geomatics.
22. Parviz, L., Kholghi, M., Valizadeh, Kh., Araghinejad, Sh., 2012, Investigation of efficiency of remotely science indicators in climate drought monitoring. Case study: Sefeedrood watershed, geography and development, No.22:147-164.
23. Seiler, R.A., Kogan, F., Sullivan, J., 1998, AUHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina, *Advances in Space Research*, Vol.21, Pp. 481-484
24. Silva, V.P.R., 2003, On Climate Variability in Northeast Brazil, *Journal of Arid Environment*. 54(2):Pp.256-367.
25. Tsakiris G.H. Vangelis, 2004, Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI, *Water Resources Management*, vol 18.
26. Wan, P., Li, X., Gong, J., Song, C., 2001, Vegetation temperature condition index and its

- application for drought monitoring, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia.
27. Wang, L., 2007, NMDI: Anormalized multi-band drought index for monitoring soil and vaegetation moisture with satellite remote sensing, Geophysocal research letters, Vol 34.
28. Yazdani, V., Zare Abyaneh, H., Shadmani, M., 2012, Analysis of Drought frequency of Iran using of standardized indicators of precipitation, Journal of water resources engineering, fourth year, 31-43.
29. Unganai, L.S., and F.N. Kogan, 1998, Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data, Remote Sensing of the Environment, 63, Pp.219-232.

Drought monitoring by Using of MODIS Satellite Images in Dry land (Case study: YAZD Rangelands)

Leyla Fazel Dehkordi^{1*}, Tayyebeh Sadat Sohrabi², Farhad Mahmoodi Kohan³

Received: Nov/10/2015

Accepted: Feb/13/2015

Abstract

Drought is a natural and climatic phenomenon that occurs in world wide areas every year and occurrence becomes an inevitable issue. This phenomenon is impaired in ecosystem. Arid rangeland ecosystems are a significant part of our land that is brittle systems that climatic changes are useful to simply unfounded destruction. Therefore, drought identifying and monitoring valid descriptive statistics indicators is the first step toward managing this phenomenon. Drought monitoring by using traditional systems is difficult. Remote sensing technology, coupled with geographic information systems, their ability in data performance has shown that in time of drought. This study was conducted at rangelands of Yazd Province to monitor of drought. In this study has been trying to research this index NDVI, EVI, NMDI, LST and TCI bands of MODIS images extracted from the data and precipitation data from climatology stations to use the range . Regarding the comparison between drought indices and indicators for climate satellite and satellite set performance indicators , to evaluate the climatic index SPI closest climatology stations to the monthly precipitation statistics for the period 2000-2008 types of rangeland in the study was used . To extract the parameters of satellite imagery resolution bands of MODIS images of 500 meters, the eight -day harvest interval for the period 2000 to 2012 and during the months of February through September, before and after it was prepared. Due to the different periods of precipitation data and satellite imagery, Joint Range Index Comparison between 2000 -2007 was considered. Data from other years was used to verify the accuracy of the results. Indices at intervals of three, six, nine, 12, 18 and 24 months showed that the volatility of short-term drought intervals greater than long-term intervals. But enjoying a bit of persistence. So in short periods of drought month intervals is greater than the other. Regarding the relationship between drought and precipitation, precipitation and meteorological drought index results showed that drought index ranged from three to nine months; with precipitation amounts of one percentage correlations are significant. In other words, changes in the amount of monthly precipitation index SPI is effective in short-term timeframe. Statistical comparison between results of calculation of satellite indicators and meteorological drought index showed that SPI index in short term with heat index and NMDI index has the highest correlation in one percent level.

Keywords: Drought monitoring, MODIS sensor, Rangelands of Yazd Province, Climatic index SPI.

1. PhD Student in Range Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: lfazel93@yahoo.com

2. PhD Student of Combat Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan, Iran.

3. MSc in Remote Sensing, Faculty of Civil and Surveying Engineering, Kerman Graduate University of Technology, Kerman, Iran.