

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI (مطالعه موردی: مراتع استان ایلام)

- ❖ لیلا فاضل دهکردی؛ دانش آموخته دکترای مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ حسین آذر نیوند*؛ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ محمدعلی زارع چاهوکی؛ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ فرهاد محمودی کهن؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه کرمان، ایران
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی؛ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

به منظور شناسایی شاخص مناسب برای ارزیابی و پایش خشکسالی، اطلاعات بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان ایلام از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و تصاویر ماهواره MODIS با فاصله زمانی ۱۶ روزه، تهیه و پردازش شد. محاسبه SPI بر اساس میزان بارش انجام گردید، بنابراین اطلاعات بارش برای محاسبه این شاخص و تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه NDVI بکار گرفته شد. همچنین اطلاعات درصد تاج پوشش در تیپ‌های مرتعی انتخاب شده از بین سایت‌های مورد مطالعه در "طرح ملی ارزیابی مراتع در مناطق مختلف آب و هوایی" استخراج گردید. سپس به بررسی همبستگی بین SPI با NDVI و همچنین تاج پوشش گیاهی و شاخص ماهواره‌ای پرداخته شد. روابط بین دو شاخص پوشش گیاهی و خشکسالی هواشناسی از طریق رابطه رگرسیونی مشخص شد. نتایج حاصل از محاسبه سالانه شاخص بارش استاندارد شده خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۰ و ترسالی متوسط در سال ۲۰۰۶ را در مراتع مورد مطالعه استان ایلام نشان داد. نوسان‌های مقادیر شاخص NDVI نیز این مطلب را تأیید کرد. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و فرم رویشی پهن‌برگان و گندمیان یکساله است. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین SPI و NDVI در بازه زمانی مختلف، مبین آن است که SPI در دوره زمانی سه و شش ماهه، با شاخص NDVI در سطح یک درصد همبستگی دارد. بررسی میزان کارایی مدل‌های رگرسیونی، مدل در بازه زمانی سه و شش ماهه را برای پایش خشکسالی مناسب نشان داد. نتایج حاصل از رگرسیون بین شاخص‌ها بیانگر این مطلب است که NDVI معیار مناسبی برای ارزیابی و پایش خشکسالی است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، NDVI، رگرسیون، استان ایلام و مراتع.

۱. مقدمه

ایران کشوری است واقع در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و مساحتی حدود ۱۰۵ میلیون هکتار (حدود ۶۵ درصد) از کشور را این اقلیم شامل می‌شود. متوسط بارش در کشور ۲۲۴ تا ۲۷۵ میلیمتر در سال و حدود یک سوم میانگین بارندگی خشکی‌های جهان است. بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور، ریزش‌های جوئی (بیش از ۴۱۳ میلیارد مترمکعب)، منشأ اصلی منابع آب ایران را تشکیل می‌دهد. از این میزان، حدود ۷۱ درصد آن به‌صورت تبخیر از دسترس خارج شده و تنها بخشی از آن (۸۸/۵ میلیارد مترمکعب) برای مصارف بخش‌های کشاورزی، صنعت، معدن و شرب برداشت می‌گردد [۳]. بارش موجود در کشور به لحاظ مکانی و زمانی از توزیع مناسبی برخوردار نیست، از این‌رو خشکسالی همواره به‌عنوان یک خطر طبیعی بخش‌های مختلف کشور را متاثر می‌کند. آستانه ۸۰ درصد بارش میانگین را می‌توان مرز وقوع خشکسالی در کشور تلقی کرد که هر قدر این درصد کاهش می‌یابد شدت خشکسالی افزایش پیدا می‌کند. البته شدت خشکسالی‌ها علاوه بر کم بودن نزولات جوی، به دوره تداوم آن نیز ارتباط پیدا می‌کند، بدین‌معنی که به تناسب استمرار شرایط خشکسالی، شدت آن بیشتر جلوه می‌کند. بر همین مبنای مقادیر ۷۰ تا ۸۰ درصد بارش میانگین به‌عنوان خشکسالی ضعیف، ۵۵ تا ۷۰ درصد به‌عنوان خشکسالی متوسط، ۴۰ تا ۵۵ درصد به‌عنوان خشکسالی شدید و کمتر از ۴۰ درصد به‌عنوان خشکسالی بسیار شدید در نظر گرفته شده است [۹]. بررسی‌ها نشان داده است که در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ بارش سالانه کشور حدود ۴۵ درصد کاهش یافته، از این‌رو کشور در شرایط خشکی و کم‌آبی قرار گرفته است. در دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ روند خشکسالی به‌ویژه در مناطق جنوب، جنوب‌شرقی، مرکز و تا حدودی جنوب‌غرب ادامه داشته است. مطالعات و نتایج آن نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر کشور با خشکسالی همراه بوده است. این

مسئله همراه با اثرات ناشی از آن می‌تواند سبب وقوع مشکلات جدی گردد. بر اساس تحقیقات انجام شده در کشور، اثر مستقیم خسارت ناشی از کاهش هر ۱ میلیمتر بارندگی برابر ۹۸ میلیارد ریال است. با فرض آنکه تفاوت میزان آب استحصالی در ترسالی در مقایسه با خشکسالی ۱۳ میلیارد مترمکعب باشد، خسارت کاهش سطح زیر کشت ناشی از آن برابر ۱۲۷۴ میلیارد ریال می‌گردد، که این مسئله می‌تواند بر میزان علوفه مورد نیاز دام‌ها که از طریق کشاورزی تأمین می‌گردد تأثیرگذار باشد. با در نظر گرفتن اهمیت وقوع خشکسالی تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است. به‌طوری‌که بیشترین مطالعات از دهه ۱۹۶۰ به بعد انجام شده است که منجر به ارائه شاخص‌های مختلف، روش‌های ارزیابی و پایش، تعیین اثرات، ارائه راهکارهای مدیریتی برای مقابله با خشکسالی شده است [۴، ۵]. برای اولین بار در جنوب‌غرب آسیا برای بررسی الگوی خشکسالی از داده‌های ماهانه سنجنده AVHRR برای سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۸۲ و اطلاعات هشت روزه سنجنده MODIS برای سال ۲۰۰۰ استفاده کردند. شاخص‌های بکار گرفته شده در مطالعه آنها NDVI و VCI بود. آنان بیان کردند که به لحاظ وضوح و قدرت تفکیک بین این دو سنجنده تفاوت معنی‌دار وجود دارد، همچنین بیان کردند که نتایج حاصل از سنجنده MODIS به واقعیت نزدیک‌تر است و امید است در آینده نزدیک از آن در تحقیقات بیشتری استفاده شود. به‌منظور بررسی درازمدت پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۳ ساله [۴] با استفاده از شاخص پوشش گیاهی دوره‌های خشکسالی و ترسالی را در صحرای آفریقا مشخص کردند. جلیلی و خلیل‌پور (۲۰۰۹) خشکسالی‌های ایران را در طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۷۴ بررسی و بر اساس تغییرات شاخص NDVI خشکسالی را در سطح کشور تحلیل کردند. در مطالعه دیگری در شمال‌غرب کشور با استفاده از تصاویر AVHRR و شاخص‌های NDVI و VCI به بررسی خشکسالی پرداخته شد و مشخص گردید که شاخص NDVI در مقایسه با VCI نتایج بهتری را نشان می‌دهد [۲۰]. با در

۲۰۱۱ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. آنگاه برای استخراج شاخص پوشش گیاهی NDVI تصاویر سنجنده MODIS با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر برای بازه زمانی مشابه با اطلاعات هواشناسی و در ماه‌های فوریه تا سپتامبر یعنی ماه‌های رشد و قبل آن تهیه گردید. بازه زمانی مورد مطالعه دربرگیرنده سال‌های خشک و تر است. فاصله زمانی برداشت اطلاعات ماهواره‌ای ۱۶ روز است و در طول ۱۳ سال مورد مطالعه در مجموع ۲۰۷ تصویر (ماه‌های فوریه تا سپتامبر) مورد بررسی قرار گرفت. این تعداد آمار برای انجام محاسبات آماری کافی است. به منظور بررسی آماری داده‌های بارندگی و تصاویر ماهواره‌ای از بازه زمانی مشترک (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱) استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و در فاصله زمانی ۱۶ روز برداشت شده و شامل ۴ باند و ۲ شاخص گیاهی است که همگی به لحاظ خطاهای اتمسفری و هندسی توسط سازمان ناسا تصحیح شده‌اند. از این‌رو نیاز به انجام تصحیحات بر روی این تصاویر نیست. اما از آنجا که کل کشور در پنج تصویر ماهواره‌ای از سنجنده MODIS قرار دارد و استان ایلام در دو تصویر می‌شود واقع، لازم است تصاویر موزائیک شود. پس از موزائیک تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ مرز استان ایلام جدا و در سیستم مختصات جغرافیایی به صورت نقشه پلی‌گون آماده گردید. از آنجا که تصاویر سنجنده MODIS دارای سیستم مختصات سینوسوئیدال^۱ هستند، سیستم مختصات آنها به جغرافیایی تغییر داده شد تا همخوانی لازم با نقشه استان وجود داشته باشد. بدین ترتیب امکان استخراج شاخص‌ها در محدوده مورد مطالعه فراهم شد. همچنین به منظور جدا کردن مرز تیپ‌های گیاهی مورد نظر از نقشه پوشش گیاهی استان تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری استفاده شد. از آنجایی که در طرح ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و

نظر داشتن امکان کاربرد تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی و پایش خشکسالی و با توجه به اینکه استان ایلام با دارا بودن وضعیت خاص توپوگرافی و تفاوت زیاد عرض جغرافیایی و به تبع آن اقلیم‌های متنوع آب و هوایی و تنوع در پوشش گیاهی از نظر نوع پوشش و تراکم آن حائز اهمیت است. در ضمن مراتع با وسعت ۱,۱۱۲,۳۵۶ هکتار، ۵۵/۵ درصد مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین در استان ایلام پوشش گیاهی به‌ویژه در اقلیم نیمه‌مرطوب حساسیت بالاتری به خشکسالی دارد. زیرا با افزایش متوسط میزان بارش سالانه حساسیت گیاهان به تغییرات بارش بیشتر می‌شود [۵]. بدین سبب به بررسی خشکسالی در این استان با هدف مدیریت مراتع در زمان خشکسالی پرداخته شده است. در این راستا آنچه اهمیت استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و شاخص‌های محاسبه شده از آن را چند برابر می‌کند، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین عدم وجود نظم و تداوم در اطلاعات مستخرج از آنهاست. در حالی که این نقیصه در داده‌های ماهواره‌ای به چشم نمی‌خورد. البته پایش مستمر و کارآمد خشکسالی مستلزم دسترسی منظم و دائمی به اطلاعات منطقه مورد مطالعه است و در حال حاضر این ویژگی در اطلاعات ماهواره‌ای وجود دارد. این امر سبب شده است تا در مطالعه حاضر با استفاده از شاخص پوشش گیاهی کارایی این داده‌ها برای برآورد خشکسالی مورد بررسی قرار گیرد تا از طریق اثبات کارایی و قابلیت این شاخص بتوان راه مناسب و دقیقی برای ارزیابی خشکسالی ارائه کرد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق از شاخص اقلیمی بارش استاندارد شده و شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شده است. سپس همبستگی بین این شاخص‌ها در استان و با توجه به تیپ‌های مختلف مرتعی سنجیده شد. ابتدا به منظور برآورد شاخص اقلیمی SPI آمار بارندگی روزانه و ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی در استان در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا

¹ Sinusoidal

به صورت زیر است.

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad \text{معادله (۱)}$$

این شاخص کاربردی ترین و معروف ترین شاخص پوشش گیاهی است که در مطالعات مختلف در زمینه پوشش گیاهی بکار رفته است، این محققین برای اولین بار بر مبنای رفتار گیاه در انعکاس طیف الکترومغناطیسی، شاخص NDVI را به عنوان شاخص سلامت و تراکم پوشش گیاهی پیشنهاد کردند [۱۵، ۲۵]. به دلیل ارتباط نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک که یکی از معرف های اصلی پایش خشکسالی است، NDVI به طور وسیع در مطالعات خشکی مورد استفاده قرار گرفته است [۲، ۱۰، ۱۷، ۱۹].

شاخص SPI

شاخص های متعددی برای ارزیابی خشکسالی بکار برده می شوند که در بین آنها، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در تحلیل منطقه ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه ای میان مناطق مختلف متداول تر بوده و قابلیت بالای آن در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است [۷، ۱۶]. شاخص SPI یکی از بهترین و جامع ترین و در عین حال ساده ترین روش های مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آنها محسوب می گردد. این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی ارائه شده است. از این جهت برای بازه های مختلف قابل محاسبه است و اثرات خشکسالی را بر منابع آب قابل دسترس در بازه زمانی محاسبه شده نشان می دهد. از آنجا که این شاخص بی بعد است، می توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید کرد [۱]. رابطه این شاخص به صورت زیر است:

$$SPI_{j,k} = \frac{P_{j,k} - \bar{P}_j}{\sigma P_j} \quad \text{معادله (۲)}$$

هوایی کشور، هر ساله در سایت های انتخاب شده فاکتورهای مربوط به پوشش و خاک از قبیل: پوشش تاجی، تراکم، تولید، زادآوری و پوشش سطح خاک در زمان آمادگی مرتع در طول چهار ترانسکت و ۶۰ پلات اندازه گیری شده است، از اطلاعات جمع آوری شده طی هشت سال در استان ایلام، اطلاعات مربوط به پوشش تاجی بکار گرفته شد. نظر به اینکه هر سایت نقش منطقه کلید را برای هر تیپ اجرا می کند به سهولت می توان اطلاعات سایت ها را به تیپ های مربوط به آنها تعمیم داد. بنابراین با استفاده از نقشه پوشش گیاهی استان، مرز پنج تیپ (پنج سایت) مشخص و جدا شد (شکل ۱). در واقع پنج نقشه پلی گونی مجزا با هدف استخراج شاخص مرتبط با محدوده هر تیپ آماده شد. سیستم مختصات تمامی نقشه های تهیه شده یکسان در نظر گرفته شده است. کلیه مراحل پردازش تصاویر و جدا کردن شاخص ها توسط نرم افزار ENVI و تهیه نقشه های مرز استان و تیپ گیاهی توسط نرم افزار ArcMap انجام شد. به منظور بررسی همبستگی و همچنین روابط رگرسیون و محاسبه معیارهای سنجش نکویی برآزش شامل: ریشه میانگین مربعات خطا^۱ و میانگین قدر مطلق خطا^۲ از نرم افزار آماری minitab و Excel استفاده شد. جدول ۱ مشخصات تیپ های مرتعی انتخاب شده در استان را نشان می دهد.

شکل ۱ پراکنش تیپ های مرتعی منتخب در استان ایلام را نشان می دهد.

شاخص NDVI

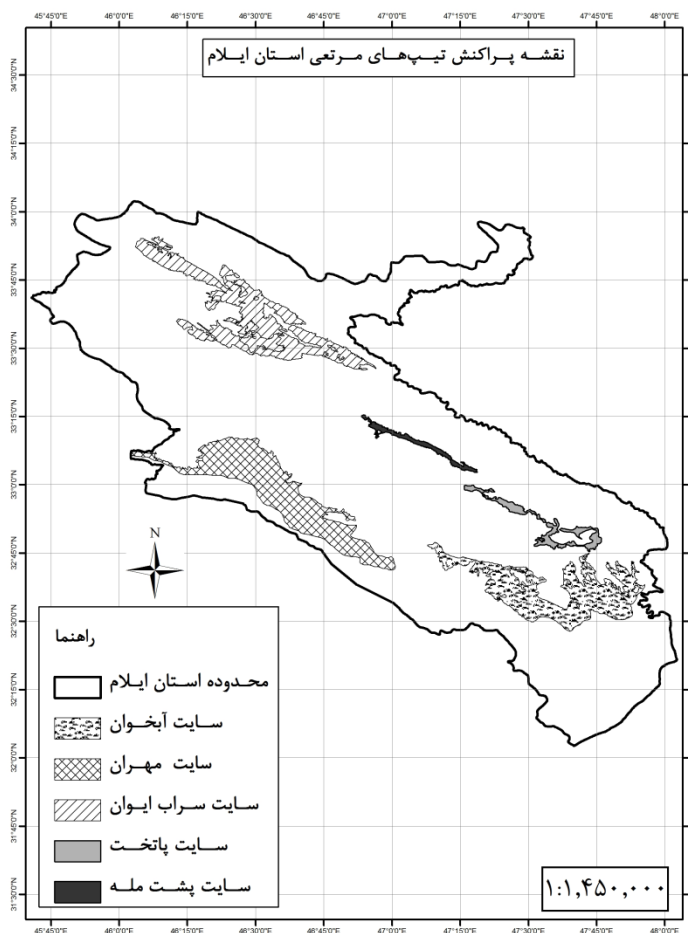
NDVI (شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهان) اولین بار توسط Rouse و همکارانش در سال ۱۹۷۳ معرفی شد. این شاخص بر اساس نسبت بانندی بین باندهای مادون قرمز و قرمز محاسبه می گردد و دامنه تغییرات آن بین یک و منفی یک است. فرمول عمومی این شاخص

^۱ Root Mean Square Error

^۲ Mean Absolute Error

بلندمدت (۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه) انجام شد. سری‌های زمانی کوتاه‌مدت برای بررسی خشکسالی‌های کشاورزی و سری‌های بلندمدت برای بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارند [۱۱].

به منظور سهولت در محاسبات از نرم‌افزار DIP برای محاسبه شاخص بارش استاندارد شده استفاده شد. همچنین برای طبقه‌بندی شرایط نرمال، تر و خشک اطلاعات جدول ۲ به کار رفت. محاسبه SPI در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت (سه ماهه، شش ماهه و نه ماهه) و



شکل ۱. موقعیت تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه در استان

جدول ۱. مشخصات تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه در استان ایلام

نام تیپ	ارتفاع (m)	مساحت (ha)	بارندگی (mm)	تیپ گیاهی
آبخوان	۱۸۰	۷۸۵۰/۶	۲۶۰	<i>Stipa capensis</i> - <i>Plantago ovata</i>
مهران	۲۵۰	۹۲۰۱/۴	۲۲۳	<i>Stipa capensis</i> - <i>Plantago ovata</i>
پاتخت	۶۰۰	۱۳۰۹	۴۸۴	<i>Plantago ovata</i> - <i>Traxacum syriacum</i> - <i>Stipa capensis</i>
سراب ایوان	۱۴۷۰	۷۹۱۲/۴	۷۵۲	<i>Aegilops crassa</i> - <i>Hordeum bulbusum</i> - <i>Carthamus lanathus</i>
پشت مله	۱۵۷۰	۶۷۵/۶	۶۲۰	<i>Trachynia distachya</i> - <i>Bromus tectorum</i> - <i>Taeniatenum crinitum</i>

جدول ۲. طبقه‌بندی دوره‌های خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI

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

خشکسالی شدید قرار دارند. سایر سال‌ها بطور متوسط در شرایط نرمال بوده‌اند. بیشترین وقوع ترسالی در سال ۲۰۰۶ مشاهده شده است. شکل ۲ تغییرات شاخص خشکسالی اقلیمی را در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

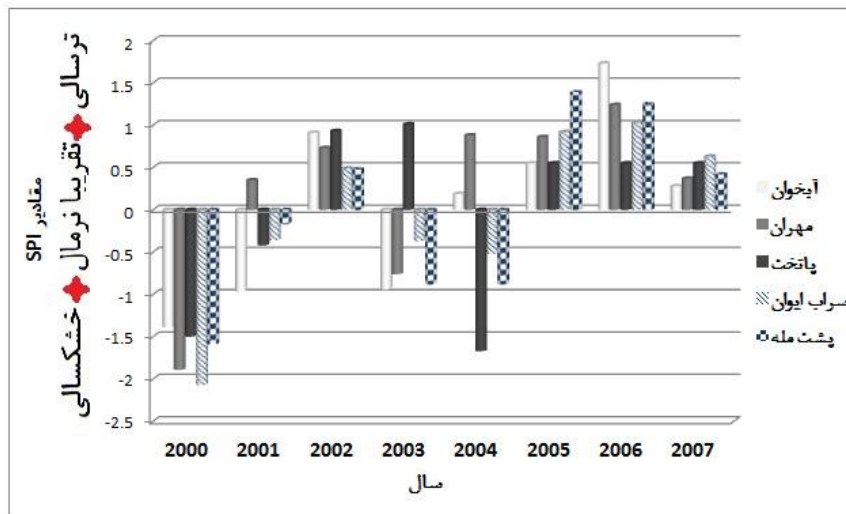
بررسی بین مقادیر شاخص NDVI با شاخص اقلیمی SPI در بازه زمانی مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی در سطح یک درصد بین شاخص‌های پوشش گیاهی با SPI سه ماهه و دوازده ماهه و در سطح پنج و یک درصد با SPI شش ماهه مشاهده شده است. به طوری که کمترین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و SPI مربوط به بازه زمانی ۱۸ ماهه است. مقادیر همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و اقلیمی در جدول ۳ آورده شده است.

در ادامه روند تغییرات شاخص NDVI در بازه زمانی ۱۶ روزه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ مقادیر محاسبه شده شاخص پوشش گیاهی در تیپ‌های منتخب استان ایلام را طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ در ماه‌های فوریه تا سپتامبر نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقادیر شاخص پوشش گیاهی NDVI در ماه‌های انتهای فصل رشد و پس از آن بشدت کاهش یافته است. نکته دیگر آن که با توجه به محاسبه شاخص SPI سالانه سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ در طبقه‌بندی در طبقه خشکسالی شدید و ترسالی متوسط واقع شده‌اند که این مسئله در نوسان مقادیر NDVI به وضوح مشاهده می‌گردد.

برای بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی، شاخص اقلیمی SPI برای دوره‌های ۱۶ روزه محاسبه و امکان بررسی همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و اقلیمی فراهم شد. پس از جداکردن مرز استان از کل تصویر مربوطه، اقدام به استخراج مقادیر شاخص NDVI از تصاویر گردید که در مجموع ۲۰۷ باند مورد استفاده قرار گرفت. تعداد زیاد باندها به نزدیکی فاصله زمان برداشت اطلاعات (۱۶ روز) برمی‌گردد. پس از استخراج شاخص به منظور سهولت کار تمامی باندها توسط نرم‌افزار رویهم قرار گرفت، که این پردازش امکان جدا کردن مقادیر هر شاخص برای محدوده تیپ‌های منتخب را تسریع بخشید. ابتدا، پیش از بررسی شاخص‌ها و روابط بین آنها برای هر تیپ گیاهی، اطلاعات مربوط به شاخص گیاهی و همچنین شاخص اقلیمی با توجه به نوع ایستگاه هواشناسی برای کل استان استخراج و محاسبه گردید. سپس اطلاعات مربوط به پوشش تاجی برای تیپ‌های گیاهی از اطلاعات حاصل از طرح ملی ارزیابی استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. نظر به پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مختلف استان، برای محاسبه شاخص اقلیمی SPI از میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌ها باران‌سنجی همتراز تیپ‌ها استفاده شد.

۳. نتایج

محاسبه سالانه شاخص SPI در تیپ‌های مرتعی نشان داد که طی سال ۲۰۰۰ کلیه تیپ‌های مرتعی در شرایط

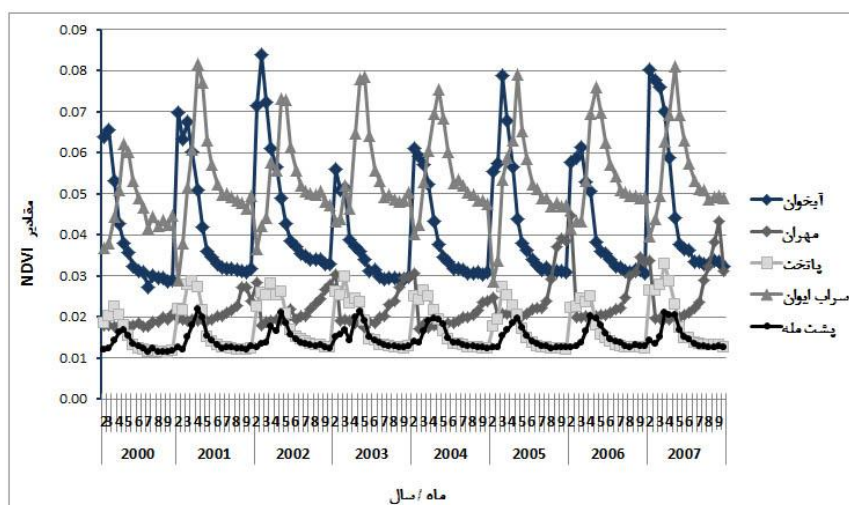


شکل ۲. مقادیر سالانه شاخص SPI در هر تیپ طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷

جدول ۳. ضریب همبستگی بین شاخص‌های NDVI و SPI در تیپ‌های مرتعی منتخب سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷

نام تیپ	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 18	SPI 24
آبخوان	۰/۵۶ **	۰/۲۶ *	ns	۰/۶۷ **	ns	-۰/۴۶ **
مهران	۰/۵۵ **	۰/۲۹ *	۰/۳۱ *	۰/۳۷ **	ns	۰/۵۲ **
پاتخت	۰/۵۷ **	۰/۵۰ **	۰/۳۰ *	۰/۶۴ **	ns	ns
سراب ایوان	۰/۶۰ **	۰/۵۰ **	ns	ns	ns	-۰/۵۹ **
پشت مله	۰/۵۸ **	۰/۴۶ **	ns	۰/۳۷ **	۰/۵۶ **	۰/۵۲ **

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



شکل ۳. مقادیر NDVI شانزده روزه، در هر تیپ طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ (ماه فوریه تا سپتامبر)

پهن‌برگان چندساله در سطح پنج درصد همبستگی دارد. به‌نحوی که بیشترین میزان همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و فرم رویشی بوته‌ای در سطح یک درصد (۰/۹۹) در تیپ پشت مله مشاهده شده است. نتایج مندرج در جدول ۴ نشان داد که همبستگی قوی بین شاخص NDVI و گندمیان چندساله در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه وجود ندارد.

همبستگی بین شاخص NDVI و تاج پوشش گونه‌های مرتعی با در نظر گرفتن فرم رویشی گونه‌ها بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی تیپ‌های آبخوان، مهران و پاتخت با فرم رویشی پهن‌برگان - گندمیان، تیپ سراب ایوان با فرم رویشی پهن‌برگان و تیپ پشت مله با فرم رویشی گندمیان - پهن‌برگان نشان داد که شاخص NDVI با گندمیان و پهن‌برگان یکساله و پس از آن با

جدول ۴. ضریب همبستگی بین شاخص NDVI و فرم رویشی گونه‌های مرتعی

نام تیپ	پهن‌برگان چندساله	پهن‌برگان یکساله	گندمیان چندساله	گندمیان یکساله	بوته‌ای
آبخوان	-	۰/۸۵ *	-	۰/۴۰	۰/۸۲ *
مهران	۰/۹۸ *	۰/۵۳	-	۰/۶۵ *	۰/۲۷
پاتخت	۰/۱۵	۰/۷۸ *	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۴۹
سراب ایوان	۰/۱۳	۰/۶۹ *	۰/۵۸	۰/۷۳ *	۰/۶۶
پشت مله	۰/۹۲ *	۰/۴۴	-	۰/۸۸ *	۰/۹۹ **

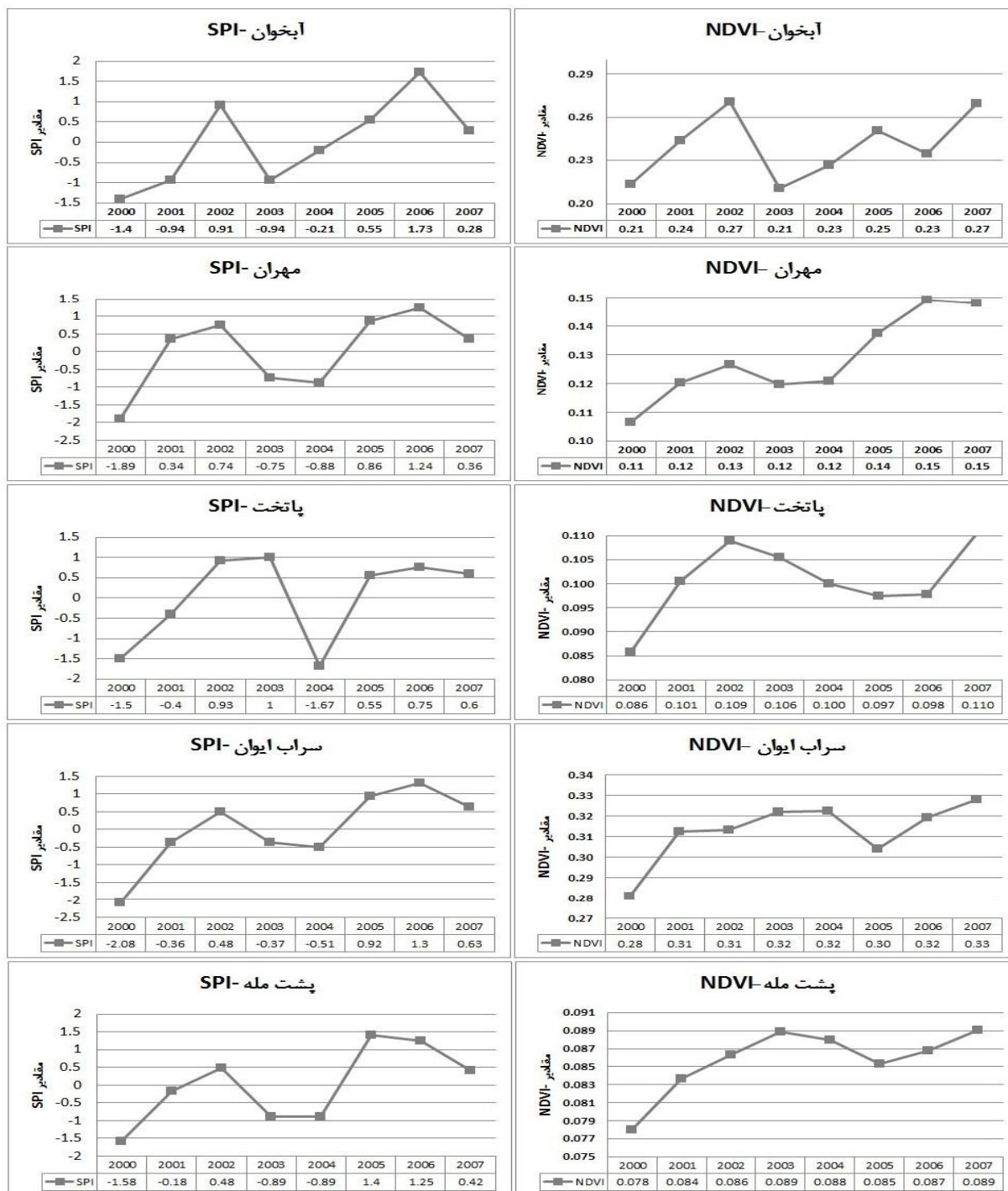
** : در سطح یک درصد * : در سطح پنج درصد

تیپ‌های مرتعی با در نظر داشتن وضعیت اقلیمی نشان می‌دهد که تیپ آبخوان و مهران در اقلیم نیمه‌خشک، تیپ سراب ایوان، پاتخت و پشت مله در اقلیم نیمه‌مرطوب واقع شده‌اند. در ضمن به لحاظ گونه‌های غالب و فرم رویشی نیز با هم متفاوت هستند. این دو مسئله سبب شده است تا تغییرات شاخص پوشش گیاهی در تیپ‌های مورد مطالعه کاملاً متفاوت باشد. نوسان‌های مقادیر شاخص NDVI در تیپ مرتعی آبخوان و مهران در مقایسه با سایر تیپ‌ها از شدت بیشتری برخوردار است. نظر به اینکه فرم رویشی در این دو تیپ پهن‌برگان - گندمیان است و بر اساس لیست فلورستیک آنها پهن‌برگان یکساله بیشترین حضور را در تیپ دارند، کاهش میزان بارندگی بشدت بر رشد گیاهان مؤثر بوده و کاهش رشد پوشش گیاهی سبب تغییر میزان بازتاب نور می‌گردد. همین امر بر مقادیر شاخص پوشش گیاهی تأثیرگذار است. در تیپ‌های سراب ایوان، پاتخت و پشت مله نظر به بالاتر بودن متوسط بارندگی در مقایسه با دو تیپ دیگر گیاهان شرایط اقلیمی بهتری را تجربه

نظر به همبستگی بین شاخص خشکسالی اقلیمی و پوشش گیاهی در بازه زمانی سه ماهه به بررسی تغییرات این دو شاخص در بازه سه ماهه پرداخته شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص‌ها مربوط به سه ماهه فصل رویش (اردیبهشت - تیر) است و پس از آن از ارزش عددی شاخص کاسته شده است. به‌منظور نشان دادن واضح‌تر روند تغییرات در هر سال از مقادیر SPI سالانه (دوازده ماهه) استفاده شد. بدین منظور متوسط بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های مرتبط به تیپ‌های مورد مطالعه محاسبه و بر اساس متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه‌ها شاخص SPI محاسبه گردید. نتایج نشان داد، با توجه به افزایش مقدار SPI در دوره زمانی دوازده ماهه به سمت مثبت، مقادیر NDVI نیز افزایش یافته است و این بدین مفهوم است که با تغییر میزان بارندگی و تغییر روند اقلیمی به سمت نرمال یا ترسالی در مقایسه با سال قبل از آن مقادیر شاخص پوشش گیاهی نیز افزایش نشان داده است. شکل ۴ نمودار متوسط مقادیر شاخص‌ها در هر سال در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه است. بررسی

تغییرات میزان بارش و وقوع خشکسالی تأثیر کمتری در مقادیر شاخص NDVI نشان دهد.

می‌کنند. با اینهمه آستانه حساسیت آنها به وقوع خشکسالی در مقایسه با اقلیم نیمه‌خشک پایین‌تر است. در تیپ پشت مله حضور بوته‌ای‌ها سبب شده است تا



شکل ۴. نمودار تغییرات متوسط شاخص NDVI و SPI در تیپ‌های مرتعی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷

۵ مشخص است ضریب تشخیص (R^2) در تیپ‌ها از حداقل ۱۰/۳ تا حداکثر ۷۲/۶ تغییر می‌کند. مقایسه مدل‌های رگرسیونی در بازه زمانی مختلف در تیپ‌ها بیانگر این مطلب است که در تیپ مرتعی مهران و پاتخت مدل در بازه زمانی سه ماهه، در تیپ آبخوان، سراب ایوان و پشت مله در بازه زمانی ۲۴ ماهه مقدار R^2 در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی بالاتر است.

از آنجا که این مطالعه در جستجوی راهکاری برای جایگزینی شاخص NDVI به منظور تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی است. به منظور دستیابی به این هدف بین تغییرات مقادیر شاخص‌ها در هر تیپ با توجه به همبستگی بین شاخص‌ها رابطه رگرسیونی برای بازه زمانی سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب تشخیص در بازه زمانی ۲۴ ماهه و در تیپ آبخوان مشاهده شده است. همانطور که در جدول

جدول ۵. روابط رگرسیونی بین شاخص‌های SPI و NDVI در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه

مدل رگرسیون	R^2	زمان	تیپ	مدل رگرسیون	R^2	زمان	تیپ
$SPI = 0.025 + 0.85 NDVI$	۶۹	سه ماهه	مهران	$SPI = -1.6 + 44.6 NDVI$	۳۱/۴	سه ماهه	آبخوان
$SPI = -4.65 + 191 NDVI$	۲۶/۴	شش ماهه		$SPI = -4.84 + 119 NDVI$	۳۴/۵	شش ماهه	
$SPI = -4.61 + 212 NDVI$	۲۱/۵	۱۲ ماهه		$SPI = -8.06 + 197 NDVI$	۴۴	۱۲ ماهه	
$SPI = -12.4 + 578 NDVI$	۵۳/۴	۲۴ ماهه		$SPI = -10.6 + 313 NDVI$	۷۲/۶	۲۴ ماهه	
$SPI = 0.35 - 2.8 NDVI$	۳۰	سه ماهه	پاتخت	$SPI = 0.013 + 0.89 NDVI$	۷۵/۱	سه ماهه	پاتخت
$SPI = -0.82 + 16.9 NDVI$	۲۰/۴	شش ماهه		$SPI = -5.19 + 303 NDVI$	۳۳/۴	شش ماهه	
$SPI = -3.96 - 226 NDVI$	۱۳/۷	۱۲ ماهه		$SPI = -9.51 + 552 NDVI$	۵۱/۹	۱۲ ماهه	
$SPI = -12 - 679 NDVI$	۳۵/۵	۲۴ ماهه		$SPI = -15 + 865 NDVI$	۱۸/۶	۲۴ ماهه	
$SPI = 0.96 - 64 NDVI$	۱۰/۳	۱۲ ماهه	پشت مله	$SPI = 0.058 + 0.8 NDVI$	۶۲/۲	سه ماهه	پشت مله
$SPI = 23.2 - 1696 NDVI$	۶۴/۶	۲۴ ماهه		$SPI = -2.03 + 144 NDVI$	۲۰/۱	شش ماهه	

که مدل در بازه زمانی سه و شش ماهه در مقایسه با سایر بازه‌ها از صحت بالاتری برخوردار است، زیرا هرچه مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده کمتر باشد، بیانگر عملکرد بهتر مدل است. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و برآورد شده در جدول ۶ درج شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در صورت فقدان داده‌های بارندگی می‌توان از مقادیر NDVI برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی به لحاظ وقوع خشکسالی استفاده کرد.

به منظور بررسی صحت مدل‌های بدست‌آمده از داده‌های هواشناسی در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۱ استفاده شد، با توجه به میزان بارش شاخص SPI محاسبه و با داشتن مقادیر شاخص NDVI در همین بازه زمانی شاخص خشکسالی نیز از طریق مدل‌ها محاسبه گردید. مقایسه مقادیر برآورد شده توسط مدل و مقادیر واقعی، از طریق شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) نشان داد

جدول ۶. مقادیر حاصل از داده های واقعی و برآورد شده

تپ	پارامتر	۳ ماهه	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۲۴ ماهه
آبخوان	RMSE	۱/۰۳	۱/۴۶	۲/۰۹	۱/۳
	MAE	۰/۸۴	۱/۲۶	۱/۸۷	۱/۲
مهران	RMSE	۱/۰۳	۱/۲۵	۱/۳۴	۳/۱
	MAE	۰/۹	۱/۰۷	۱/۱	۳
پاتخت	RMSE	۱/۰۳	۱/۱	۱/۴۴	۰/۹۵
	MAE	۰/۹	۰/۹۲	۱/۲۲	۰/۹۴
سراب ایوان	RMSE	۱/۰۴	۰/۹۶	۸/۲	۹/۳
	MAE	۰/۸۸	۰/۸۴	۸/۱	۹
پشت مله	RMSE	۱/۰۳	۰/۹۳	۳/۲	۲
	MAE	۰/۸۴	۰/۷۹	۳/۱	۱/۸

۴. بحث و نتیجه گیری

به منظور ارزیابی دقیق از رخداد، گسترش و شدت خشکسالی باید تصور صحیحی از توزیع مکانی و زمانی پارامترهای هواشناسی، هیدرولوژیکی و متغیرهای سطحی داشت. مشاهدات فضایی دارای توانمندی لازم در این زمینه هستند. بدین صورت که از طریق دریافت اطلاعات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی در سطح وسیعی از زمین و به صورت نزدیک به زمان واقعی، امکان پایش روند خشکسالی ها با استفاده از تکنولوژی سنجنش از دور را فراهم می کنند [۱۳]. به این دلیل و به منظور ارائه یک شاخص معتبر از شاخص NDVI استفاده شد تا بدین وسیله بتوان در صورت لزوم این شاخص را جایگزین شاخص های اقلیمی کرد. نتایج نشان داد که خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سایر سال ها رخ داده و همین امر سبب کاهش قابل توجه شاخص NDVI شده است. این در حالی است که با افزایش میزان بارش و بهبود شرایط در سال ۲۰۰۶، شاخص پوشش گیاهی طی سال ۲۰۰۶ و به ویژه ۲۰۰۷ در بهترین وضعیت خود بوده است. بررسی شاخص پوشش گیاهی بیانگر این مطلب است که در سال های مورد مطالعه مقادیر شاخص در فصل رشد (از انتهای ماه مارس تا اواسط ماه جون) بالا بوده و پس از آن کاهش می یابد که نشان دهنده نزدیک

شدن گیاه به مرحله رشد کامل و وقوع شرایط خشکی و کاهش پوشش گیاهی است. در ادامه مقایسه بین دو شاخص و بررسی همبستگی بین آنها نشان داد که بیشترین همبستگی بین مقادیر شاخص پوشش گیاهی و SPI در دوره زمانی سه ماهه و پس از آن شش ماهه وجود دارد. نتایج حاصل از تحقیق محققینی در استان اصفهان مشابه نتایج این مطالعه است [۶]. در مطالعه ای [۸] به منظور پایش خشکسالی از اطلاعات بارندگی ماهانه ایستگاه های سینوپتیک استان کرمانشاه طی دوره آماری ۱۹۸۹ لغایت ۲۰۰۷ استفاده شد و نتایج بررسی ها نشان داد که فراوانی رخداد دوره های خشک کوتاه مدت (SPI سه ماهه) در کلیه ایستگاه ها بیشتر از ۱۳ مورد است. در حالی که فراوانی رخداد دوره های خشک بلندمدت در مقیاس زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه خیلی کمتر است. محققینی به منظور ارزیابی اثر خشکسالی روی تولید علوفه گیاهان مرتعی از شاخص های معیار بارش سالانه، بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر استفاده کردند [۵]. نتایج نشان داد که مناسب ترین شاخص خشکسالی در مراتع استان قم به ترتیب اولویت عبارتند از: SPI-3، PDSI، SPI-24 و SPI-6؛ بهترین پایه زمانی نیز فصل رشد و به ویژه ابتدای فصل رشد است. به منظور بررسی خشکسالی در نپال بر اساس میزان بارش با استفاده از میانگین بارندگی در یک دوره زمانی ۳۳ ساله،

قادر به ارائه شاخص خشکسالی بدون نیاز به اطلاعات هواشناسی است و می‌توان به سهولت از شاخص NDVI در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه برای تعیین شاخص خشکسالی استفاده کرد.

به‌منظور تشخیص خشکسالی در منطقه شمال‌غرب بنگلادش از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده‌است (۱۸). خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI تعیین گردید. از داده‌های سنجنده MODIS نیز شاخص NDVI برای دوره زمانی هشت ساله (۲۰۰۸-۲۰۰۰) محاسبه شد. آنان بیان کردند که با ترکیب نقشه‌های حاصل از این دو شاخص می‌توان مناطق با خطر خشکسالی شدید را مشخص کرد. در مطالعه [۱۲] با استفاده از تصاویر MODIS در سالهای ۱۳۸۹-۱۳۸۶ به بررسی خشکسالی مرتعی غرب کشور پرداخته شده‌است و بیان شد که همبستگی بارش تجمعی در بازه زمانی مختلف با شاخص NDVI بهترین همبستگی را در بازه زمانی شش ماهه دارد. همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روزانه برای ارزیابی خشکسالی مرتعی و دیم برآورد جامعتری از وضعیت خشکسالی به‌ویژه در مناطق فاقد آمار بارندگی ارائه می‌کند.

از شاخص SPI در دوره‌های زمانی سه ماهه و ۱۲ ماهه استفاده شد [۲۳]. بر اساس تجزیه مؤلفه‌های اصلی نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده با دوره زمانی سه ماهه خشکسالی را برای کلیه مناطق مورد مطالعه یکسان نشان می‌دهد. پس از مشخص کردن همبستگی بین شاخص‌ها در تیپ‌های مرتعی مورد مطالعه، بررسی‌ها نشان داد که بین شاخص پوشش گیاهی با فرم رویشی بیشترین همبستگی با گندمیان و پهن‌برگان یکساله مشاهده می‌شود که این مسئله با توجه به پراکنش گونه‌های یکساله در تیپ‌ها کاملاً منطقی و قابل پذیرش است. در تیپ پشت مله همبستگی شاخص NDVI با بوته‌ای‌ها در سطح یک درصد است. تعدادی از محققین در طی تحقیقی با عنوان استفاده از شاخص‌های گیاهی و آب سنجنده MODIS برای ارزیابی خشکسالی در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک ایران در طول سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۰ بیان داشتند که شاخص‌های مذکور با پوشش و بارندگی رابطه معنی‌دار داشته و شاخص NDVI بهترین شاخص برای استفاده به‌منظور تعیین خشکسالی است [۲۱]. بررسی رگرسیون بین دو شاخص گیاهی و شاخص خشکسالی SPI منتج به ارائه مدل در بازه‌های زمانی مختلف زمانی نشان داد که مدل در بازه زمانی سه ماهه و بعد شش ماهه در مقایسه با سایر بازه‌ها

References

- [1] Agnew, C.T. (2000). Using the SPI to Identify Drought, *Drought Network News*, 12 (1), 5-12.
- [2] Allison, E.W., Brown, R. J., Press, H.E. and Gairns, J. G. (1989). Monitoring drought affected vegetation with AVHRR. *Digest International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4:1965-1967.
- [3] Alizadeh, A. (2001). Drought and the need to increase water productivity. *Drought and Agricultural drought*. Ministry of Agriculture. 2, 8-3.
- [4] Anyamba, A. and Tucker, C.J. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamic using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003, *Arid Environments* 63, 596-614.
- [5] Azarakhshi, M., Farokhzad, B., Mahdavi, M., Arzani, H. and Ahmadi, H. (2012). Assessment of the Standard Index of Annual Precipitation, Standardized Precipitation Index and Palmer Drought Severity Index in the Rangelands of Qom Province, *Range and Watershed management*, 65:2, 159-174.
- [6] Baaghdeh, M., Alijani, B. and Zeiaei, P. (2011). Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province, *Arid Regions Geographics Studies*, 4, 1-16.
- [7] Byun, H.R., and Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and Durations, *Climate*, 12, 2747-2756.
- [8] Eskani, Gh. H. (2012). Drought monitoring using the standardized precipitation index (A Case Study Kermanshah province), *1st National Desert Conference*, Tehran, Iran.
- [9] Farajzadeh, M. (1997). Probability forecasting of drought in Iran, *Modares*, 4, 55-67.
- [10] Groten, S.M.E. (1993). NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso, *Remote Sensing*, 14, 1495-1515.
- [11] Hughes, B. and Saunders Mark A. (2002). A drought climatology for Europe, *Climatology*, 22, 1571-1592.
- [12] Jalili, N., Fatehi, M., A., Norozi, A., Kheirkhah, M. and Mirghasemu, A. (1999). Change detection of natural vegetation cover in the territory of Iran caused by pollution resulting from the Kuwait oil well fire during the 1991 Persian Gulf War. Soil conservation and watershed management research center of I.R.
- [13] Javadinai, E. and Mobasheri, M.R. (2007), Assessment of agricultural drought using remote sensing techniques, *6th Agricultural Economics Conference*, Mashhad.
- [14] Ji, L. and Peters, A. J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plain using vegetation and drought indices. Center for Advanced Land Management Information Technologies, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, 68588-0517.
- [15] Kass, A. (1990). Drought risk monitoring for Sudan using NDVI, Master Degree, University College London, 47 pp.
- [16] Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002). The quantification of drought: A evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 38(8), 1167-1180.
- [17] Lim, C. and M. Kafatos. (2002). Frequency analysis of natural vegetation distribution using NDVI/AVHRR data from 1981 to 2000 for North America: Correlations with SOI, *Remote Sensing*, 23, 3347-3383.
- [18] Murad, H. and Saiful Islam, A.K.M. (2011). Drought assessment using remote sensing and GIS in north-west region of Bangladesh, *3rd International Conference on Water and Flood Management*, 2, 797-804.
- [19] Olsson, L., Eklundh, L. and Ardo, J. (2005). A recent greening of the Sahel trends, patterns and potential causes. Centre for Environmental Studies, Lund University, Sweden Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University, Solvegatan 12.
- [20] Rahimzadeh Baggiran, P., Darvishsefat, A. A., Khalili, A. and Makhdoum, M. F. (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Arid Environment* 72, 1086-1096.
- [21] Rahimzadeh Bajgiran, P., Shimizu, f., Hosoi, F., Omasa, K. and Kenji, O. (2009). MODIS vegetation and water indices for drought assessment in semi-arid ecosystems of Iran, *Agriculture Meteorol.* 65 (4), 349-355.

-
- [22] Rouse, J.W., Haas R.H., Schell J.A. and Deering D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- [23] Sigdel, M. and Ikeda, M. (2010). Spatial and temporal Analysis of Drought in Nepal using Standardized precipitation Index and its relationship with Climate Indices, *Hydrology and Meteorology*, 7(1), 59-74.
- [24] Thenkabail, P. S., Gamage, M.S.D.N. and Smakhtin, V. U. (2004). The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia, International Water Management Institute PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka.
- [25] Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sens. Environ.*, 8, 127– 150.