

## شناسایی مناطق آسیب‌پذیر پوشش گیاهی به خشکسالی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: استان بوشهر)

- ❖ فاطمه بحرینی؛ دانشجوی دکترای دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، ایران
- ❖ فاطمه پناهی\*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران
- ❖ محمد جعفری؛ استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

### چکیده

به منظور درک بهتر تأثیر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در منطقه خشک بردخون واقع در جنوب غرب ایران، آنالیز تصاویر ماهواره‌ای MODIS با فاصله زمانی ۱۶ روزه، طی سال‌های ۲۰۰۰ - ۲۰۱۵ با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، EVI، SAVI، روش SPI، نمونه برداری میدانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در طول فصل رشد انجام گردید. در تحقیق حاضر، نقشه واقعیت زمینی با روش نمونه‌گیری و پیمایش‌های میدانی تهیه و سپس اطلاعات مربوط به پوشش متعلق به ۲۹۰ پلات در قالب ۲۹ واحد نمونه برداری جمع‌آوری گردید. سپس میزان همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و داده‌های میدانی محاسبه و برای هر شاخص، مدل پوشش گیاهی بدست آمد. به منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی، خشکسالی با استفاده از روش SPI از داده‌های بارندگی ۱۴ ایستگاه هواشناسی درون و اطراف منطقه مورد مطالعه، در بازه زمانی مشابه با تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص NDVI بیشترین همبستگی ( $R^2=0.56$ ) را بین شاخص‌ها دارد و جهت تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی انتخاب گردید. بررسی بین مقادیر شاخص NDVI با شاخص خشکسالی در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی با SPI شش ماهه وجود دارد. بر اساس آنالیز شاخص خشکسالی مشخص شد که منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۲ شدیدترین خشکسالی و سال ۲۰۰۴ بهترین وضعیت ترسالی را تجربه کرده است. همین روند تغییرات در پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI مشاهده شد. مقایسه تصاویر طبقه‌بندی شده بین سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۰۴ (با تغییر ۴۲ درصدی پوشش گیاهی ضعیف) نشان‌دهنده اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج نشان داد، همبستگی بین SPI و شاخص پوشش گیاهی می‌تواند برای شناسایی خشکسالی کشاورزی مفید باشد.

کلید واژگان: بردخون، خشکسالی، شاخص پوشش گیاهی، همبستگی، MODIS.

## ۱. مقدمه

خشکسالی شرایطی از کمبود بارندگی و افزایش دما است و برخلاف خشکی که ویژگی بارز یک منطقه است، خشکسالی ممکن است در هر نوع آب و هوا و منطقه جغرافیایی رخ دهد، اما اثرات آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر ظاهر می‌شود [۲۲]. در واقع به عنوان یک پدیده طبیعی خزنده است که با کمبود رطوبت نسبت به شرایط نرمال به‌کندی آغاز شده و به‌آرامی گسترش می‌یابد [۳۶]. روش‌های مورد استفاده برای تعیین اثرات خشکسالی بر روی پوشش گیاهی معمولاً بر اساس بازده تولید محصول [۴] بر اساس تجزیه و تحلیل تعداد حلقه درخت [۲] یا بصورت تجربی [۱۶] هستند. با این حال، هیچ یک از این روش‌ها قادر به در نظر گرفتن اطلاعات پیوسته زمانی و مکانی نیستند. علاوه بر این، اختلاف در تأثیر خشکسالی هواشناسی بین انواع پوشش گیاهی نمی‌تواند به راحتی با این روش‌ها تجزیه و تحلیل شود. نقش داده‌های سنجش از دور و GIS در تشخیص، ارزیابی و مدیریت خشکسالی کشاورزی در حال حاضر بسیار مهم است به طوری که اطلاعات به‌روزتری در طیف‌های مختلف از مقیاس‌های مکانی و زمانی نسبت به روش‌های سنتی از قبیل بررسی میدانی و پرسشنامه‌ای فراهم می‌کنند [۴،۷،۱۷،۳۲].

محققان زیادی شاخص گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای را برای برآورد وضعیت خشکسالی و تعیین وضعیت پوشش گیاهی مورد آنالیز قرار داده‌اند از جمله؛ [۳،۱۲،۱۱،۱۴،۱۵،۲۱،۲۲،۲۵،۲۶]. در میان شاخص‌های مختلف ماهواره‌ای، NDVI به عنوان ابزار اصلی برای پایش تغییرات پوشش گیاهی و تفسیر تأثیر وقایع اقلیمی در بیوسفر توسعه یافته است. تحقیقات زیادی نشان دادند که NDVI نه تنها می‌تواند برای ارزیابی دقیق از فنولوژی پوشش گیاهی و برآورد تولید خالص اولیه استفاده شود بلکه برای پایش مؤثر بارندگی و وضعیت خشکسالی هم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۰،۱۳،۱۹]. دیگر شاخص‌هایی که برای پایش خشکسالی اهمیت دارند، شاخص

EVI، به عنوان یک محصول استاندارد MODIS به منظور بهبود شاخص NDVI با بهینه‌سازی سیگنال پوشش گیاهی در مناطقی که شاخص سطح برگ گسترش یافته است، به کار می‌رود و شاخص SAVI، مشابه شاخص NDVI است، اما اثرات پیکسل‌های خاک را تعدیل می‌کند را می‌توان اشاره کرد.

در ارزیابی فعالیت پوشش گیاهی، ارتباط داده‌های سنجش از دور با شاخص خشکسالی در دشت‌های بزرگ مرکزی ایالات متحده آمریکا، نشان داده شد که یک رابطه نزدیک بین این دو شاخص وجود دارد [۲۰]. نشان داده شده است که مدل‌های همبستگی بین باندهای مرئی و مادون قرمز، NDVI، ARVI، نزدیک و شاخص‌های گیاهی با سطح تاج پوشش گیاهان، از SAVI و MSAVI از توانایی مناسبی در تخمین سطح پوشش گیاهان جنگلی و مرتعی برخوردار است که همگی موید قابلیت‌های این نوع از شاخص‌ها در برآورد مشخصه سطح تاج پوشش گیاهان است [۱۰]. در تحقیقی به برآورد خشکسالی صحرای تار در شمال غربی هند و شرق پاکستان بین سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۳، با استخراج داده‌های ماهواره NOAA-AVHRR و به‌کارگیری شاخص‌های TCI، VCI، NDVI و VHI پرداخته شد. نتایج بیانگر این است که در هر سالی تنش رطوبتی و حرارتی وجود داشته، خشکسالی توسعه پیدا کرده، و از آنجا که بارندگی هر دو تنش مذکور را کاهش می‌دهد، پوشش گیاهی ناجی صحرا است [۸].

وضعیت خشکسالی در منطقه Raichur با استفاده از شاخص‌های NDVI و LST انجام گردید، در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای MODIS برای محاسبه NDVI و شاخص دمای سطح زمین (LST) استفاده شد. نتایج، همبستگی منفی بسیار بالای این دو شاخص را نشان داد بطوریکه همبستگی میان این دو شاخص در سال ۲۰۰۲،  $-0/635$  و در سال ۲۰۱۲،  $-0/586$  بدست آمد [۳۱]. همچنین می‌توان به مطالعات انجام شده در استان اصفهان [۶]، و در حوزه آبریز دریاچه ارومیه [۲۷]، اشاره کرد.

## ۲.۲. داده‌های مورد استفاده

ابتدا اطلاعات مورد نیاز شامل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی جمع‌آوری شد. جهت استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI، EVI، SAVI، ۱۷۶ تصاویر مختلف مربوط به فصل رشد منطقه مورد مطالعه (نوامبر تا آوریل) طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ از تصاویر سنجنده MODIS تهیه‌گردید (۱۱ تصویر در هر سال). یادآوری این نکته ضروری است که تصحیحات اتمسفری بروی تصاویر خام، با استفاده از نرم‌افزار Modis conversion tools انجام‌گردید. داده‌های بارندگی در بازه زمانی مشابه با تصاویر ماهواره‌ای (۲۰۰۰-۲۰۱۵) استفاده شد. سپس جهت شناسایی دقیق‌تر شاخص مناسب پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، یک تصویر از فصل رشد به عنوان معرف، که مربوط به اوج رشد پوشش گیاهی در منطقه بود انتخاب‌گردید. در اینصورت تعداد تصاویر مورد بررسی به ۱۶ تصویر کاهش یافت. به منظور تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای موجود، نمونه برداری‌های میدانی از درصد تاج پوشش گیاهی منطقه هم‌زمان با برداشت تصویر انجام، و سپس به شناسایی اثر خشکسالی بر وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی اقدام شد. لازم به یادآوری می‌باشد نقشه‌های مورد استفاده در این مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد.

با توجه به دامنه درصد تاج پوشش گیاهی که در نمونه برداری میدانی از منطقه به دست آمده و مقادیر صفر تا ۱۰۰ در مزارع کشاورزی را شامل می‌شد و فراوانی مقادیر به دست آمده از نمونه‌برداری میدانی، مقادیر درصد تاج پوشش گیاهی به ۴ طبقه (۱۰-۲۰٪، ۲۰-۴۰٪، ۴۰-۶۰٪) تقسیم شد. با استفاده از مدل تهیه شده از شاخص NDVI، آستانه بالای هر طبقه در شاخص گیاهی محاسبه شد. نقشه پوشش گیاهی با استفاده از آستانه‌های بدست آمده و اعمال مجدد بر روی شاخص NDVI تهیه شد [۲۸]. در این مطالعه مزارع موجود در منطقه در طبقه چهار تاج پوشش گیاهی طبقه بندی شد.

بررسی‌ها نشان داد که بیشتر تحقیقات، تمرکز به تغییرات سالانه پوشش گیاهی ناشی از تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی دارند و توجه کمتری به تاثیر تغییرات اقلیمی بر روی وضعیت پوشش گیاهی بصورت فصلی (فصل رویش) شده است. در این پژوهش، ارتباط مکانی و زمانی شاخص‌های ماهواره‌ای MODIS و شاخص خشکسالی برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ مورد آنالیز قرار گرفت. کار ارزیابی بیشتر، متمرکز بر فصل رشد پوشش گیاهی، که شرایط اقلیمی بیشترین تاثیر را بر رشد گیاهان داشته است، انجام‌گردید. هدف از این تحقیق، (۱) بررسی پاسخ پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی از طریق آنالیز شاخص‌های NDVI، EVI و SAVI و معرفی بهترین شاخص (۲) بررسی ارتباط بین داده‌های MODIS و SPI در طول مدت خشکسالی و ترسالی در مقیاس زمانی مختلف؛ و (۳) ارزیابی صحت نقشه خشکسالی تولید شده بر اساس تصاویر MODIS می‌باشد.

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۹۳۱/۱۱ کیلومتر مربع در استان بوشهر قرار گرفته است که در محدوده جغرافیایی  $51^{\circ} 32' 59''$  تا  $51^{\circ} 28' 47''$  طول شرقی و  $28^{\circ} 12' 21''$  تا  $27^{\circ} 59' 55''$  عرض شمالی واقع شده است. بر اساس آمار و اطلاعات موجود هواشناسی، منطقه دارای تابستان‌های بسیار گرم و طولانی و زمستان‌های ملایم است. در طول دوره آماری ۱۶ ساله متوسط بارندگی حوضه ۲۴۲/۳۷ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد، و بر اساس تقسیم‌بندی اقلیم نمای دومارتن داری اقلیم خشک است. بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه را گونه‌های مرتعی تشکیل می‌دهد که گونه‌های گیاهی *Artemisia Sieberi*, *Polygonum Spp*, *Astragalus fasticolipholius*, *Zygophyllum eurphytherum*, *Amygdalus lycioides* پوشش گیاهی غالب منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

### ۳.۲. روش نمونه برداری زمینی

جهت بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی و شاخص‌های گیاهی، میزان تاج پوشش گونه‌های گیاهی با استفاده از روش تصادفی - سیستماتیک اندازه‌گیری شد. نمونه‌گیری در بهمن ماه، در فصل رویش گیاهان به دلیل حذف اثر زمان بر نمونه‌گیری انجام شد [۲۴]. ابتدا تعداد ۴ نقطه تصادفی در هر تیپ گیاهی در نظر گرفته شد [۲۳]. در مرحله بعد هر یک از این نقاط بعنوان مرکز یک مربع فرضی (۲۵۰×۲۵۰ متر) منظور گردید. در داخل هر یک از این مربعات نمونه‌برداری با استفاده از پلات و به روش اندازه‌گیری دو قطر اصلی (۵ پلات ۵\*۵ به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر در هر قطر) انجام گردید. اطلاعات هر پلات شامل: درصد تاج پوشش گیاهی، درصد سنگ و سنگ‌ریزه و خاک لخت برای ۲۹۰ پلات اندازه‌گیری و یادداشت گردید. میانگین درصد پوشش گیاهی اندازه‌گرفته شده در ۴ نقطه به عنوان میانگین درصد پوشش هر تیپ تعیین گردید. برای ایجاد همبستگی بین قدرت تفکیک مکانی سنجنده و برداشتهای میدانی، نمونه‌برداری در مناطقی انجام گردید که روند تغییرات درصد تاج پوشش گیاهی شیب کمی داشته باشد و منطقه نسبتاً وسیع و همگنی از لحاظ تاج پوشش گیاهی را در برگیرد.

### ۴.۲. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

در این مطالعه، داده‌های بارندگی ۱۴ ایستگاه هواشناسی در محدوده و اطراف منطقه مورد مطالعه، با داده‌های ۱۶ سال (در بازه‌زمانی مشابه با تصاویر ماهواره‌ای) برای محاسبه SPI، با استفاده از پکیج SPI در نرم افزار R، در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت (یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه و نه ماهه) استفاده شد.

با توجه به میانگین کم مقدار بارندگی در ماه‌های خشک و جواب‌های نادرست شاخص بارش استاندارد شده، لازم بود ماه‌های آبی (ماه‌های تر) مشخص گردد. بدین منظور از روش نمودار جعبه‌ای (باکس پلات)

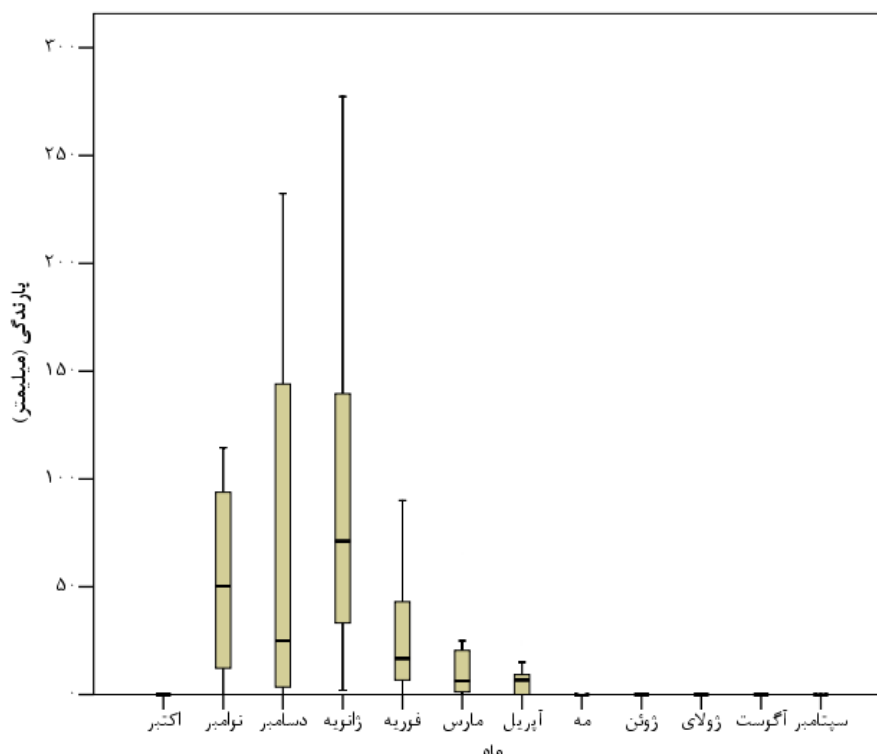
استفاده گردید [۵]. لذا، ماه‌های نوامبر (آبان) تا آوریل (فروردین) برای چهارده ایستگاه باران سنجی مجاور منطقه مورد مطالعه، دوره تر محسوب شده که در محاسبات خشکسالی لحاظ گردیدند. بنابراین یک دوره شش ماهه به عنوان دوره ترسالی در نظر گرفته شده و محاسبات خشکسالی بر اساس این دوره صورت گرفت. با توجه به طول دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۵) و عدم وجود داده گمشده، آنالیز داده‌ها نسبت به وجود داده پرت (تعیین ماه‌های خشک) با استفاده از روش باکس پلات کنترل گردید (شکل ۱).

### ۵.۲. تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی

در این مطالعه برای تهیه نقشه پوشش گیاهی، سه شاخص پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده MODIS استفاده گردید (جدول ۱). پس از اجرای معادله‌های مربوط به سه شاخص مورد بررسی در نرم افزار ENVI5.1، میانگین ارزش پیکسل این شاخص‌ها در تمامی نقاط نمونه‌برداری در نرم افزار ARCGIS10.3 استخراج گردید. سپس به منظور تعیین قدرت کارایی شاخص پوشش گیاهی، همبستگی بهترین شاخص پوشش گیاهی با شاخص خشکسالی برای دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه محاسبه شد.

### ۲.۶. آنالیز داده‌ها

به منظور بررسی میزان همبستگی درصد تاج پوشش هر پلات با شاخص‌های گیاهی، تحلیل رگرسیون خطی بین درصد تاج پوشش پلات‌ها به عنوان متغیر وابسته و مقادیر متناظر هر پلات در شاخص‌های گیاهی به عنوان متغیر مستقل انجام شد که یک مدل برای هر کدام از شاخص‌ها به طور جداگانه محاسبه شد. برای مقایسه و تعیین شاخص مناسب برای برآورد تاج پوشش، از عامل ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ضریب همبستگی ( $R$ ) استفاده شد [۱].



شکل ۱. تعیین ماه‌های خشک با استفاده از باکس پلات در منطقه مورد مطالعه

### ۳. نتایج

#### ۳.۱. بررسی وضعیت خشکسالی منطقه بر اساس

##### روش SPI

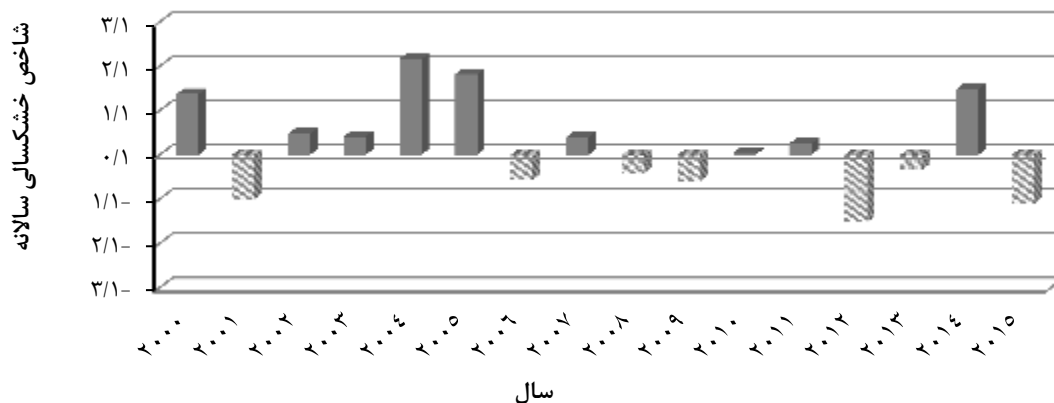
محاسبه شاخص بارش استاندارد نشان داد که بیشترین میزان خشکسالی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ به ترتیب با میانگین SPI  $-1/52$  و  $-1/1$  رخ داده است. بیشترین وقوع ترسالی در سال ۲۰۰۴ رخ داده است (شکل ۲).

#### ۲.۳. بهترین شاخص پوشش گیاهی

انتخاب بهترین مدل‌های همبستگی نیز از طریق آمارهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، و ضریب همبستگی ( $R$ ) صورت گرفت (جدول ۳).

#### ۷.۲. ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده

برای بررسی دقت نقشه درصد تاج پوشش گیاهی تولید شده، نیاز به یک نقشه واقعیت زمینی می‌باشد. نقاط نقشه واقعیت زمینی به صورت ۴ نقطه تصادفی در هر تیپ گیاهی تعیین، سپس میانگین‌گیری و درصد پوشش آن تیپ تعیین گردید. با توجه به ساختار رستری تصاویر ماهواره‌ای، ساختار نقشه واقعیت زمینی از حالت برداری به رستری تبدیل شد. با استفاده از تصاویر MODIS، میانگین ارزش پیکسل نقاط مذکور در نرم افزار ARCGIS نیز محاسبه، سپس میزان همبستگی مقادیر شاخص‌های SAVI، EVI، NDVI و درصد پوشش گیاهی در هر یک از سطوح نمونه‌برداری بررسی و آزمون معنی‌داری در نرم‌افزار SPSS انجام شد.



شکل ۲. نمودار میانگین SPI سالانه در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳. معیارهای ارزیابی روابط همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی و سطح تاج پوشش

(R)	(R <sup>2</sup> )	مدل پوشش گیاهی	معادله ریاضی شاخص پوشش گیاهی	شاخص گیاهی
۰/۷۴۶	** ۰/۵۵۶	$Y=295/24 X+4/6809$	$(NIR-RED)/(NIR+RED+L) \times (1+L)$	SAVI
۰/۷۵	* ۰/۵۶۲	$Y=166/24 X+11/335$	$(NIR-RED) / (NIR+RED)$	NDVI
۰/۷۴	* ۰/۵۴۷	$Y=203/45 X+13/805$	$EVI=2.5 \times ((NIR-Red)/(NIR+6 \times Red-7.5 \times Blue+1))$	EVI

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

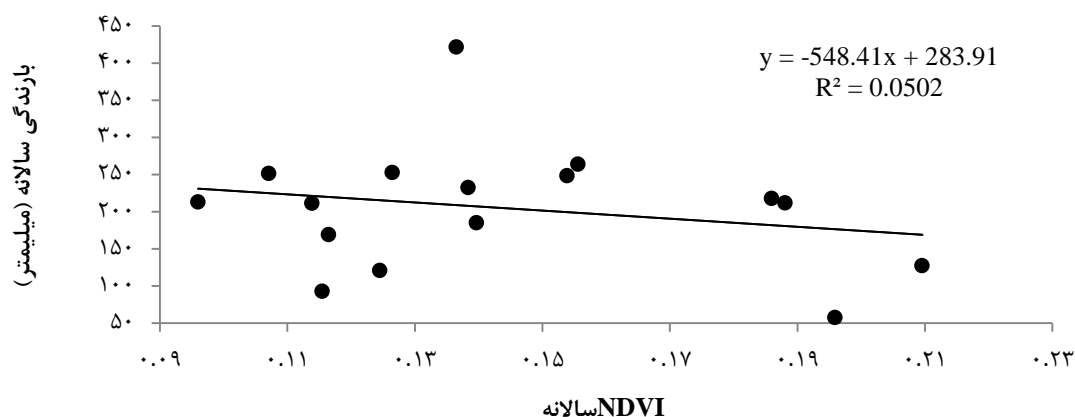
\* معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

بالاترین همبستگی را با سطح تاج پوشش نشان داد. با توجه به ضریب بالای این شاخص، برای تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از این شاخص استفاده شد (جدول ۳). برای آنالیز اثر بارندگی بر روی تغییرات سالانه پوشش گیاهی، ضریب تعیین میان بارندگی و شاخص NDVI محاسبه شد (شکل ۳). شکل ۴ نشان داد که این شاخص ارتباط ضعیفی با بارندگی سالانه دارد.

نتایج بررسی همبستگی بین شاخص‌های متداول پوشش گیاهی با مشخصه تاج پوشش (جدول ۴) نشان می‌دهد بین شاخص‌های پوشش گیاهی و تاج پوشش روابط معنی‌داری وجود دارد. از میان شاخص‌های مورد بررسی NDVI و EVI در سطح ۹۵ درصد و شاخص SAVI در سطح ۹۹ درصد رابطه معنی دار با سطح تاج پوشش گیاهی برخوردار بودند (جدول ۳). از بین شاخص‌ها، شاخص NDVI با ضریب همبستگی ۰/۷۵

جدول ۴. درصد تاج پوشش فرم‌های رویشی علفی و بوته‌ای در نقاط نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه

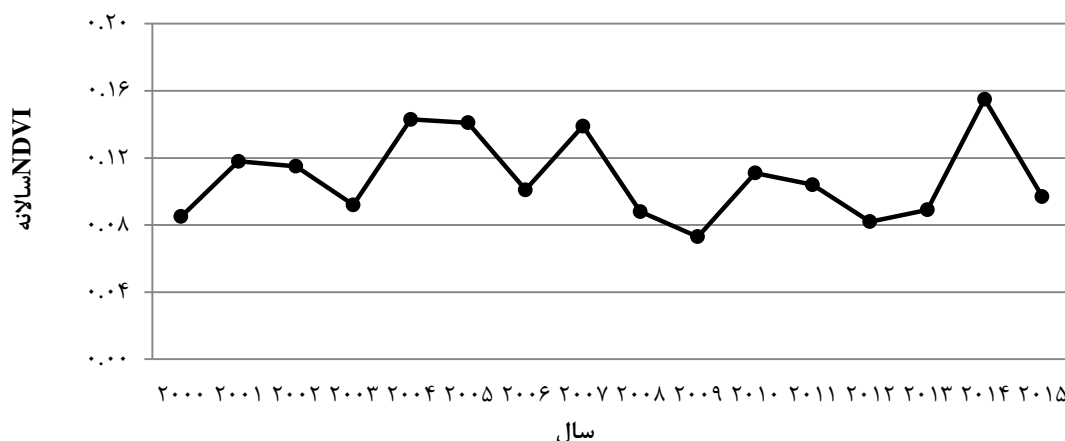
نقاط نمونه‌برداری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
گیاهان علفی (درصد)	۷۵	۸۵	۷۰	۶۵	۶۰	۱۵	۱۵	۴۰	۲۰	۲۵	۱۵	۴۰	۱۰	۵۰	۲۰
گیاهان بوته‌ای (درصد)	۲۵	۱۵	۳۰	۳۵	۴۰	۸۵	۸۵	۳۰	۸۰	۷۵	۸۵	۶۰	۹۰	۵۰	۸۰
ادامه نقاط	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	
گیاهان علفی (درصد)	۲۰	۲۰	۳۰	۲۵	۴۰	۴۵	۲۰	۵۰	۴۰	۱۰	۱۰	۳۰	۲۰	۱۰	
گیاهان بوته‌ای (درصد)	۸۰	۸۰	۷۰	۷۵	۶۰	۵۵	۸۰	۵۰	۶۰	۹۰	۹۰	۷۰	۸۰	۹۰	



شکل ۳. پاسخ NDVI سالانه به بارندگی در منطقه مورد مطالعه

که طبق محاسبه SPI در بیشترین میزان خشکسالی طبقه بندی شده کاهش زیادی نشان داده و در سال ۲۰۰۴ بیشترین مقدار عددی NDVI مشاهده می‌شود.

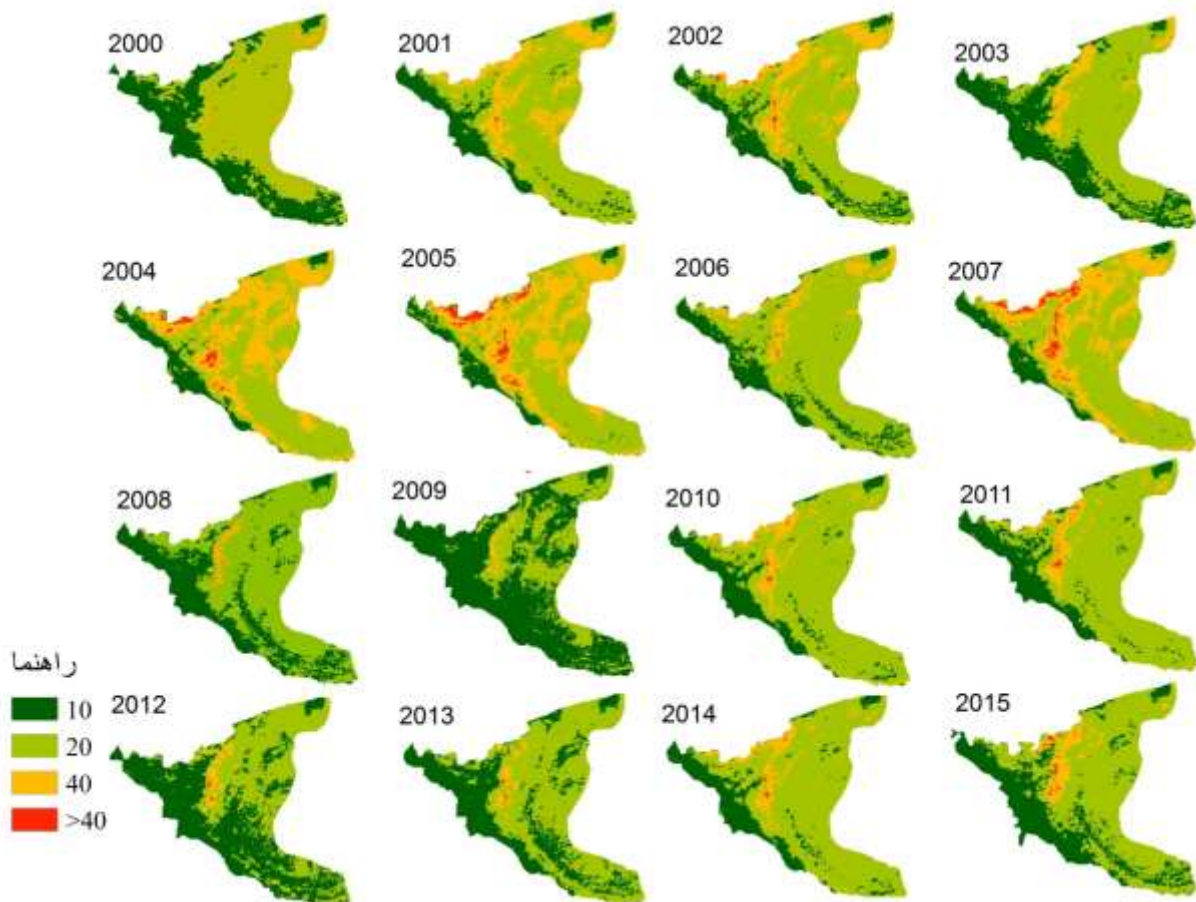
در ادامه شکل ۴ روند تغییرات سالانه شاخص NDVI در بازه زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار NDVI در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵



شکل ۴. تغییرات سالانه NDVI در منطقه مورد مطالعه

تبع افزایش خشکسالی از ۳۴ درصد به ۵۲ درصد افزایش یافته است در حالی که در سال ۲۰۰۴ به عنوان ترسالی شدید، میزان پوشش گیاهی ضعیف بر مبنای شاخص NDVI، ۱۰ درصد محاسبه شده است. شکل شماره ۵، نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI (به عنوان مناسبترین شاخص) در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.

بر اساس شاخص SPI منطقه مورد مطالعه تا سال ۲۰۰۷ وضعیت مناسبی از لحاظ وضعیت ترسالی طی کرده است و از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ خشکسالی روند افزایشی داشته است و در سال ۲۰۱۲ شدیدترین خشکسالی را تجربه است. همین روند تغییرات در پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص NDVI (شکل ۴) مشاهده شده است و پوشش گیاهی ضعیف به



شکل ۵. توزیع مکانی NDVI سالانه در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در منطقه مورد مطالعه

مقادیر شاخص آماری محاسبه شده کمتر باشد، عملکرد مدل بهتر است.

### ۳.۳. توزیع مکانی رابطه پوشش گیاهی با

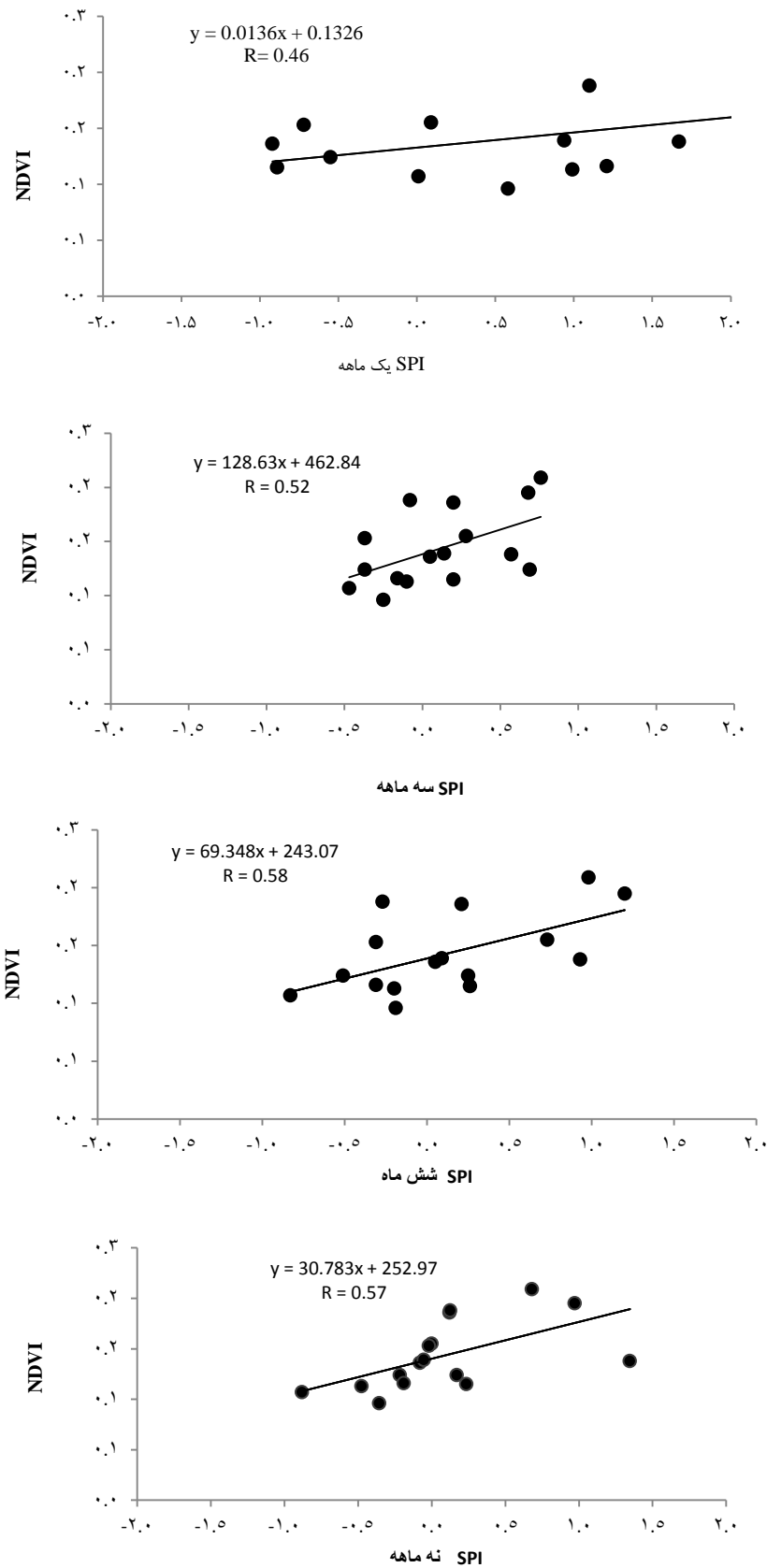
#### خشکسالی

محاسبه سالانه شاخص SPI در منطقه نشان داد که بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ خشکسالی بیشتر بوده است و بیشترین وقوع خشکسالی در سال ۲۰۱۲ مشاهده گردید. بررسی بین مقادیر شاخص NDVI با شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی در سطح پنج درصد بین شاخص پوشش گیاهی با SPI شش ماهه می‌باشد (شکل ۶).

بررسی بین مقادیر شاخص NDVI با شاخص بارش استاندارد شده SPI در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص‌های گیاهی با SPI شش ماهه دارد. شکل ۶ رابطه همبستگی بین SPI و NDVI را در بازه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

بررسی صحت نقشه تولیدی از مقایسه ۲۹ نقطه کنترل زمینی با نقشه واقعیت زمینی بر اساس خطای جذر مربعات میانگین (RMSE) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار RMSE برای شاخص‌های NDVI، EVI و SAVI به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۱۷ و ۰/۱۲ بدست آمد. مقایسه مقادیر برآورده شده توسط مدل و مقادیر واقعی نشان داد که مدل پیش بینی حاصل از شاخص NDVI نسبت به سایر شاخص‌های از صحت بالاتری برخوردار است، زیرا هر چه

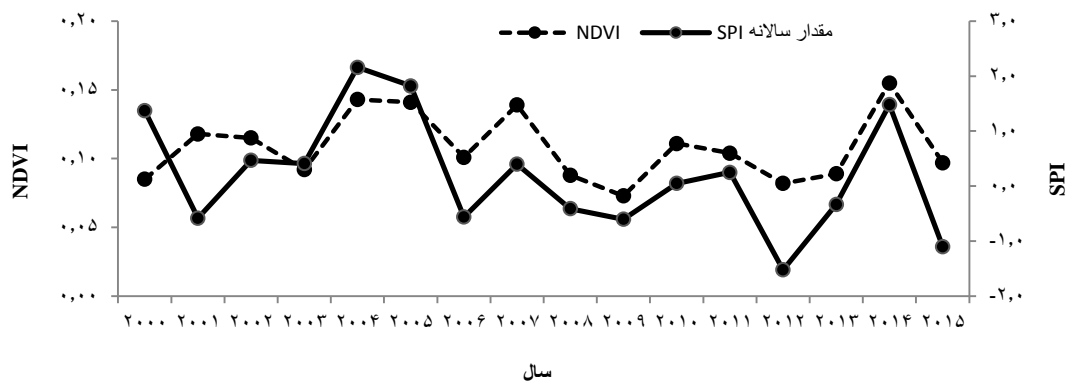




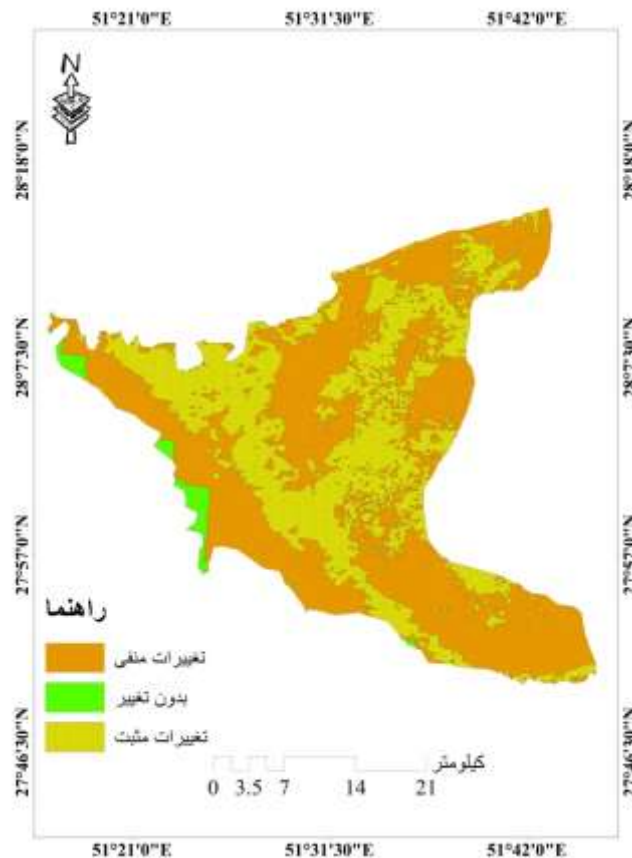
شکل ۶. روابط رگرسیونی بین SPI و NDVI در منطقه مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف

همانگونه که در شکل ۷ مشخص است، همخوانی به نسبت مناسبی بین شاخص NDVI و SPI در منطقه مورد مطالعه وجود دارد بطوریکه هر گاه مقدار شاخص SPI زیاد شده یعنی دوره ترسالی بوده و مقدار پوشش هم به دنبال آن افزایش یافته است، و هرگاه SPI به سمت خشکسالی رفته، مقدار پوشش گیاهی کاسته شده است.

با تهیه نقشه پوشش گیاهی مربوط به هر سال با استفاده از شاخص NDVI، تغییر طبقات پوشش گیاهی بین سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۲ طبقه‌بندی شد (شکل ۸)، نتایج نشان داد که ۵۷/۵۰ درصد تغییرات منفی و در جهت تخریب پوشش گیاهی، ۴۰/۶۰ درصد تغییرات مثبت و ۱/۸۹ درصد از منطقه مورد مطالعه بدون تغییر بوده است.



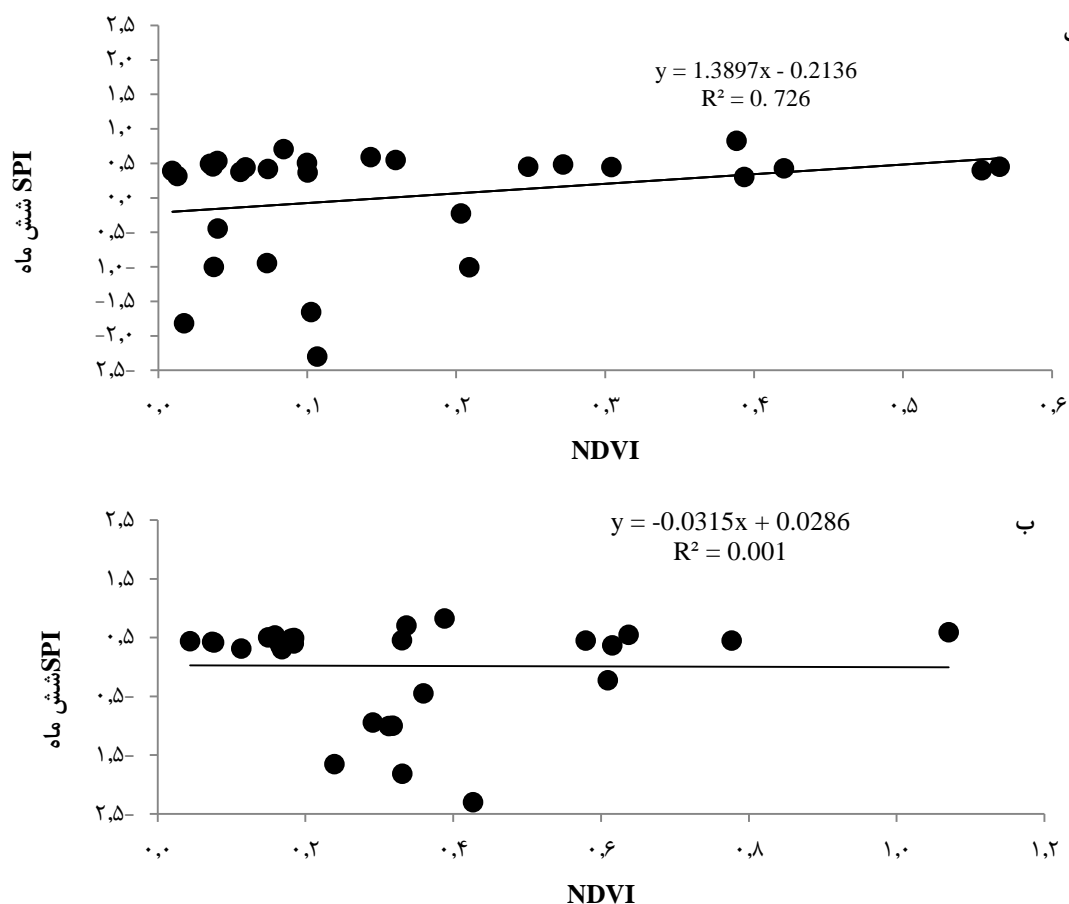
شکل ۷. نمودار تغییرات متوسط شاخص NDVI و SPI شش ماهه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در منطقه مطالعاتی



شکل ۸. نقشه تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۲

علفی ارتباط معنی‌داری وجود دارد ( $R = 0.26$ ). در مقابل ارتباط بین NDVI و SPI برای فرم بوته‌ای (شکل ۹ (ب)) ارتباط معنی‌داری وجود ندارد ( $R = -0.009$ ).

شکل زیر ارتباط بین NDVI و SPI شش ماهه را در دو شکل فرم رویشی پوشش گیاهی (بوته‌ای و علفی) در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ۹ (الف) نشان می‌دهد که ارتباط بین NDVI و SPI برای فرم رویشی



شکل ۹. ارتباط بین NDVI و SPI شش ماهه، (الف) فرم رویشی علفی و (ب) فرم رویشی بوته‌ای

گیاهی، سلامت نرمال مراتع را برای مدت طولانی نگه می‌دارد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند، همیشه روند کاهش در وضعیت پوشش گیاهی و یا تولید اولیه در مناطق خشک بخوبی نشان داده نمی‌شود. که مشکل اصلی در شناسایی روند در وضعیت پوشش گیاهی مرتبط با تغییرات شدید سالانه در شرایط بارشی اکوسیستم می‌باشد [۹]. بنابراین نیاز به توسعه تکنیک‌های معتبر جهت برآورد

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی از راه‌های مختلفی از جمله کاهش رشد گیاهان، مرگ و میر گیاهان یا بروز آتش‌سوزی، سبب می‌شود که تولید اکوسیستم‌های مرتعی به طور معنی‌داری کاهش یابد. لذا اندازه‌گیری‌های میدانی به همراه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، کار ارزیابی اکولوژیکی و تغییرات وضعیت مراتع ناشی از وقوع خشکسالی را ارتقاء می‌بخشد. پوشش

همبستگی ( $R$ ) برای پوشش گیاهی علفی بالاتر بود. این می‌تواند مرتبط با مقدار آب موجود در خاک در فصل رویش باشد. در برخی مطالعات تجربی گزارش شده است که دسترسی به آب در طول فصل رویش می‌تواند دلیلی بر معنی داری رابطه بین NDVI و SPI برای پوشش گیاهی باشد [۲۹].

نتیجه این مطالعه با نتایج سایر تحقیقات از جمله [۱۸،۲۶،۳۵،۳۴،۳۳] مطابقت دارد، که نشان دادند تأثیرپذیری پوشش گیاهی در اثر تنوع اقلیمی از جمله خشکسالی می‌تواند از لحاظ مکانی متفاوت باشد. در بسیاری از مطالعات وابستگی پوشش گیاهی در مناطق خشک به دسترسی منابع آب گزارش شده است، که تغییرپذیری مکانی در پاسخ به خشکسالی، حاصل عملکرد متوسط شرایط اقلیمی است، و پوشش گیاهی مناطق خشک حساس‌ترین مناطق به وقوع خشکسالی هستند. در برخی مناطق این رفتار نمی‌تواند مرتبط با آسیب‌پذیری بالای اکوسیستم به خشکسالی باشد. به عنوان مثال، منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، در جایی قرار گرفته شده که به صورت دائم، تحت تأثیر شرایط خشکسالی هست، و به نوعی با استراتژی مقابله با تغییرپذیری اقلیم و خشکسالی سازگار شده است. بنابراین کاهش در فعالیت پوشش گیاهی ناشی از خشکسالی، یک رفتار نرمال این اکوسیستم می‌باشد. هر چند این شرایط هیدرواکولوژی می‌تواند در برخی از اکوسیستم‌ها هم یکسان باشد. هر چند پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه ممکن است، منطبق با تغییرپذیری خشکسالی شده باشند، اما می‌تواند اشاره به آسیب‌پذیری بزرگتر در وضعیت اقتصادی-اجتماعی منطقه کند، از جمله کاهش رشد پوشش گیاهی و به دنبال آن کاهش چراگاه و کمبود منابع آب قابل دسترسی برای کشاورزی که در وضعیت اقتصادی-اجتماعی منطقه بسیار مهم است. در واقع تهیه نقشه ماهانه همبستگی میان شاخص پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی، آنالیز تجربی از آسیب‌پذیری اکولوژیکی و یا اقتصادی است (به عنوان مثال همبستگی

بیوماس یا متغیرهای بیوفیزیکی از طریق اندازه‌گیری شاخص پوشش گیاهی حاصل از سنجش از دور می‌باشد. پاسخ به خشکسالی برای انواع پوشش گیاهی، بستگی به میزان بارندگی در فصل رشد دارد. که در این منطقه، به استثنای بخش جنوب غربی حوزه، که بیشتر شامل درختان دشت کاشت (۱۲٪ از مساحت منطقه) و اراضی کشاورزی (۷٪ از مساحت منطقه) می‌باشد، که برای ادامه سیکل فعالیت پوشش گیاهی نیاز به آبیاری دارد، اثر خشکسالی را می‌توان بصورت کاهش ارزش عددی NDVI و کاهش درصد پوشش تاجی در سایر بخش‌های منطقه دید.

مقایسه تصاویر طبقه‌بندی شده بین سال‌های خشکسالی و ترسالی (تغییر ۴۲ درصدی پوشش گیاهی ضعیف) نشان‌دهنده اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است و این نشان می‌دهد که با تغییر روند اقلیمی به سمت خشکسالی و یا ترسالی مقادیر شاخص پوشش گیاهی هم تغییر نشان داده است و رفتار مشابهی داشته‌اند. این رفتار می‌تواند ناشی از تغییرات فصلی شرایط اقلیمی باشد. در سال‌های خشک، شرایط خشکسالی و کمبود بارش فعالیت پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد. بطوری‌که ماکزیمم فعالیت پوشش گیاهی در سال‌های خشک، عمدتاً در نواحی اراضی کشاورزی (۱۲٪ از مساحت منطقه) واقع در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، دیده می‌شود. در واقع NDVI در نواحی تحت آبیاری بالاترین مقدار ارزش عددی را در فصل رشد نسبت به سایر بخش‌های منطقه، به علت ادامه فعالیت رشد پوشش گیاهی حتی در سال‌های خشک، دارد. اما در سایر بخش‌های منطقه که عمدتاً با پوشش گیاهی طبیعی اعم از گیاهان علفی و بوته‌ای می‌باشد (بیش از ۷۰٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد). مقدار ارزش عددی NDVI به نسبت کمتر می‌باشد.

بطور کلی ارتباط معنی داری بین NDVI و SPI (با  $R=0/134$ ) در کل منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. اما پاسخ یکسانی میان فرم‌های پوشش گیاهی موجود در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد بطوری‌که مقدار

خوشخوراک ناشی از خشکسالی در مراتع، می‌توان خشکسالی را فاکتور کنترل‌کننده کمیت تولید مراتع دانست و لذا توسعه تکنیک‌های سنجش از دور در پایش مراتع بسیار مهم می‌باشد.

مثبت بالا اشاره به آسیب‌پذیری اقتصادی یا اکولوژیکی بالاتر به خشکسالی دارد) که تهیه این نقشه‌ها، نقش مهمی در تعدیل اثرات خشکسالی در فصل رویش دارد و می‌تواند کمک به بهبود مدیریت خشکسالی کند. همچنین به علت کاهش غنای گونه‌ای و درصد گونه‌های

## References

- [1] Arzani, H., Baseiri, M., Dehdari, S. and Zarie chahoki, M.A. (2009). Relationships between canopy cover, foliage cover and basal cover with production. *Iranian journal of natural resources*, 61(3), 773-763.
- [2] Abrams, M. D., Ruffner, M. C. and Morgan, T. A. (1998). Tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central Pennsylvania, *Forest Science*, 44, 550-558.
- [3] Abrams, M. D., Schultz, J. C. and Kleiner, K.W. (1990). Ecophysiological responses in mesic versus xeric hardwood species to an early-season drought in central Pennsylvania. *Forest Science*, 36, 970-981.
- [4] Arshad S, Morid S., Reza Mobasheri, M, and Agha Alikhani, M. (2008). Development of agricultural drought risk assessment model for Kermanshah province (Iran), using satellite data and intelligence methods. *Option Mediterrianeennes, Series A*, 80.
- [5] Asghari Tabrizi, A., Khalili, D., Kamgar-Haghigh, A. A. and Zand-Parsa, Sh. (2010). Utilization of time based meteorological droughts to investigate occurrence of stream flow droughts. *Water Resources Management*, 24, 4287-4306.
- [6] Baaghdeh, M., Alijani, B. and Ziaian, P. (2012). Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province. *Arid regions Geographic Studies*, 1 (4), 1-6.
- [7] Brian D.W., Martha, C. A. and James, P.V. (2012). Remote sensing of drought. *Taylor & Francis Group*, 6, 9552-9575.
- [8] Bhuiyan, C. (2008). Desert vegetation during droughts: Response and sensitivity. *The International archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVII Part B8, 907-912.
- [9] Bhuiyan, C., Singh, R.P. and 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 Geo information*, 8, 289-302.
- [10] Carreiras, J. M. B., Pereira, J. M. C. and Pereira, J. S. (2006). Estimation of tree canopy cover in evergreen Oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 223, 45-53.
- [11] Chakraborty, A., Sehgal, V.K. (2010). Assessment of agricultural drought using MODIS derived normalized difference water index. *Journal of Agricultural Physics*, 10, 28-36.
- [12] Dabrowska-Zielinska K., Kogan F., Ciolkosz A., Gruszczynska M. & Kowalik W. (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6), 1109-1123.
- [13] Franklin, J. and Hiernaux, P.H.Y. (1991). Estimating foliage and woody biomass in Sahelian and Sudanian woodlands using a remote sensing model. *International Journal Remote Sensing* 12, 1387-1404.
- [14] Gouveia, C.M., Trigo, R.M., Beguería, S. and Vicente-Serrano, S.M. (2017). Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: An assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. *Global and Planetary Change*, 15, 15-27.
- [15] Hielkema, J. U., Prince, S. D. and Astle, W. L. (1986). Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna zone of Democratic Republic Sudan using NOAA advanced very high resolution radiometer. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1499-1514.

- [16] Hanson, P. J. and Weltzin, J. F. (2000). Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *Science Total Environment*, 262, 205–220.
- [17] Hasan, M. 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 & Flood Management ICWFM-2011, pp.1-8.
- [18] Jafari, M., Zehtabian, G.H., Ehsani, A.H. and Menbari, S. (2013). The study of land cover condition using landsat satellite (ETM+) data. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 20(2), 285-297.
- [19] Justice, C., Townshend, J.R.D. and Chaudhary B.J. (1989). Comparision of AVHRR and SMMR data for monitoring vegetation phenology on the continental scale. *International journal Remote Sensing*, 14,603–608.
- [20] Ji, L. and Peters, A.J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing Environment*, 87, 85–98.
- [21] Khosravi, H., Haydari, E., Shekoohizadegan, S. and Zareie, S. (2017). Assessment the effect of drought on vegetation in desert area using Landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, S3–S12.
- [22] Kozlowski, T. T., Kramer, P. J. and Pallardy, S. G. (1991). *The Physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego.
- [23] McCoy RM. (2005). *Field methods in remote sensing*, Guilford,159.
- [24] Mohammadi Golrang, B., Gazanchian, A. Gh., Ramzani Moghadam, R. and Falahati, H. (2009). Estimation of forage yields of some range plant species by plant height and diameter measurements. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 15 (2), 178-158.
- [25] Narasimhan, B. and Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of soil moisture deficit index and evapotranspiration deficit index for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133, 69-88.
- [26] Pang, G., Wang, X. and Yang, M. (2016). Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. *Quaternary International*, xxx, 1-10.
- [27] Rezaeimoghadam, M.H., Valizadeh Kamran, Kh., Rostamzadeh, H. and Rezaee A.(2012). Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 25 (5), 37-52.
- [28] Rahdari, V. and Maleki Najaf abadi, S. (2011). Compression of Vegetation Indices for Vegetation Cover Mapping in Arid and Semi-arid Environment Using Satellite Data (case study: Mouteh Wild Life Sanctuary). *Remote sensing and Geographic information system*, 1(1).79-87.
- [29] Sergio, M. V. (2007). Evaluating the Impact of drought using remote sensing in a Mediterranean semi-arid region. *Natural Hazards*, 40,173–208.
- [30] Srivastava, S.K., Jayaraman, V., Nageswar Rao, P.P., Manikiam, B. and Chandraeskhari, M.G. (1994). Agro climatic zonal characterization using NOAA AVHRR and meteorological data, IAF-94-B.5.107. *Proceeding of the 45th Congress of International Astronotical Federation 9–14 October, Jerusalem, Isarel*.
- [31] Srut.,S. and Aslam, M.A.M.(2015).Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. *Aquatic Procedia*, 4, 1258 – 1264.
- [32] Thenkabil P.S., Enclona E.A., Ashton M.S., Legg, C. and Jean De Dieu, M. (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in south west Asia. *International Water Management Institute*, PO Box 2075,Colombo, Sri Lanka.
- [33] Vianas, O. and Baulies, X. (2004). 1:250000 Land use map Landsat TM data. *International Journal of Remote sensing*. 16(1), 129-146.
- [34] Wilhelmi, O. V. and Wilhite, D. A. (2002), Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards*, 25, 37–58.
- [35] Wu, H. and Wilhite, D. A. (2004), an operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska, USA, *Natural Hazards*, 33, 1–21.