

بررسی اثر خشکسالی روی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده MODIS در خراسان رضوی

مصطفی دستورانی^۱، عباسعلی ولی^{۲*}، عادل سپهر^۳، چوقی بایرام کمکی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۱۴

چکیده

یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی، کاهش منابع آب، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در پوشش گیاهی و تسریع در بیابان‌زایی مناطق است. در ارزیابی بیابان‌زایی اثرات خشکسالی روی پوشش گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این رابطه، استفاده از روش‌های سنجنش از دور و داده‌های زمینی برای ارزیابی اثرات خشکسالی از کارآمدترین روش‌های شناخته‌شده است. در این پژوهش، به منظور بررسی اثر خشکسالی روی پوشش گیاهی در استان خراسان رضوی، از داده‌های هواشناسی و سنجنش از دور، برای برآورد شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، از آمار بارش ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان طی سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳ استفاده شد. همچنین براساس تصاویر گرفته‌شده از سنجنده TERRA/MODIS هشت‌روزه در ماه‌های (می، جون، جولای) شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی محاسبه شده که از میانگین سه ماه به‌عنوان NDVI سالانه استفاده شده و بر این اساس، پوشش گیاهی استان به چهار گروه طبقه‌بندی و مساحت هرکدام از طبقات محاسبه شد. در نهایت دو شاخص SPI و NDVI با آزمون پیرسون مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص SPI در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۰/۸۸۲ وضعیت مرطوب و بیشترین مساحت پوشش گیاهی متراکم را دارد، در حالی که سال ۲۰۰۵ دارای SPI ۰/۰۸۱- است و نیز پوشش گیاهی در طبقه معمولی حدود ۷/۱ درصد نسبت به سال ۲۰۰۹ افزایش یافته است. مقدار ضریب همبستگی دو متغیر در سطح خطای کمتر از یک درصد برابر با ۰/۹۰ که نشان‌دهنده هم‌تغییری زیاد دو متغیر است و مقدار ضریب تبیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده نیز به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۷۸ می‌باشد که در معادله رگرسیونی حاکی از این است که متغیر مستقل شاخص SPI توانسته ۰/۷۸ از تغییرات میزان متغیر وابسته NDVI را برآورد سازد. بر این اساس، با توجه به معادله حاصل از رگرسیون خطی به‌ازای یک واحد تغییر در شاخص بارش استاندارد شده، NDVI به میزان ۰/۰۲۴ تغییر می‌پذیرد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، SPI، NDVI، سنجنش از دور، خراسان رضوی.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه کاشان

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول / Email: Vali@kashanu.ac.ir

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

۴. استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خشکسالی را بموقع هشداردهی کرد (میرموسوی و کریمی، ۲۰۱۱). محمودزاده و همکاران در سال ۱۳۸۷ از دو شاخص NDVI و SPI طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۳ برای بررسی خشکسالی در منطقه فریدون‌شهر استفاده کرده و در نهایت، این دو شاخص را باهم مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که بین تصاویر NDVI ماه‌های آوریل و می و SPI ماه‌های دسامبر و ژانویه همبستگی معناداری وجود دارد. در این راستا می‌توان به تحقیقات (جوادنیا و مباحثی، ۲۰۰۸) در شمال شهر اهواز و (میرموسوی، ۲۰۱۱) در استان کردستان اشاره کرد.

شاخص‌های پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارها برای نقشه‌برداری زمین‌های کشاورزی، بررسی بارش تخمین اثرات آب‌وهوایی محاسبه میزان زیتوده، بازدهی محصول و فناوری چراگاه شرایط خشکسالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (دابروسکا^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از این شاخص‌ها شاخص NDVI^۲ است (جن سن^۳، ۱۹۹۶) که نخستین بار توسط تکر به‌عنوان شاخص سلامت تراکم پوشش گیاهی مطرح شد (تکر^۴، ۱۹۷۹). در سال‌های اخیر قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی به‌خصوص NDVI بیشتر مورد توجه محققان و سازمان‌ها بوده است که چند نمونه از این تحقیق‌ها در ذیل آورده شده است. رحیمزاده و همکاران در سال ۲۰۰۸ از شاخص‌های VCI^۵ و NDVI برای بررسی خشکسالی در شمال غرب ایران بهره گرفت. در این تحقیق، از داده‌های هفت‌روزه سنجنده AVHRR^۶ استفاده شد. برای مقایسه صحت نتایج شاخص‌های ماهواره‌ای، نتایج با بارندگی تجمعی سه‌ماهه که بیشترین همبستگی را با نتایج نشان می‌دهد، استفاده شد علی‌رغم اینکه انتظار می‌رود شاخص VCI خشکسالی را بهتر نشان دهد، از همبستگی پایین‌تری با میزان بارش برخوردار بوده و NDVI به‌عنوان نمایانگر بهتر در این تحقیق معرفی شده است.

خشکسالی یک وضعیت اقلیمی پراهمیت است که قسمت‌های زیادی از جهان را تحت تأثیر قرار داده است و درواقع پیچیده‌ترین مخاطره جوی است (سلیمی، ۲۰۱۴). در مواقعی که مدت زمان وقوع آن طولانی است، خسارت‌های ناشی از آن زیاد و در بخش‌های مختلفی نظیر کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و... دیده می‌شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به حساسیت این مناطق و بارش‌های کم و غیریکنواخت اثرات خشکسالی بیش از پیش تشدید شده و به‌خصوص روی منابع آبی و کشاورزی و پوشش گیاهی نمود بیشتری می‌یابد. بررسی‌ها در دهه‌های اخیر در کشور نیز حاکی از کم شدن بارش و خشکسالی‌های شدید از جمله در استان خراسان رضوی است (شیروی، ۲۰۱۶) که بررسی سری‌های زمانی بارش نیز پدیده خشکسالی را در این استان تأیید می‌کند. بنابراین با توجه به رشد جمعیت، نیاز به منابع آبی در این منطقه از کشور بیشتر احساس می‌شود و با توجه به اینکه در بخش‌های زیادی از این استان کشاورزی نیز وجود دارد و آبیاری‌ها بیشتر سنتی است، منابع آب زیرزمینی به شدت افت کرده و خسارات جبران‌ناپذیری بر پیکره تولیدات کشاورزی و محیط‌زیست وارد کند. بنابراین اطلاع از شدت، طول مدت و مکان تحت پوشش پدیده خشکسالی باعث شدت کمتر آسیب‌های ناشی از آن می‌شود (میرموسوی و کریمی، ۲۰۱۱). همچنین با توجه به اینکه از جمله روش‌های مرسوم بررسی پدیده خشکسالی، استفاده از شاخص‌های هواشناسی است که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه می‌شوند و با توجه به اینکه این ایستگاه‌ها در کشور ایران پراکندگی مناسبی نداشته یا اینکه با کمبود داده مواجه‌اند، در مقابل این روش‌ها فناوری سنجنش از دور قادر به جمع‌آوری از نواحی وسیع به‌وسیله سنجنده‌های مختلف است (سلیمی، ۲۰۱۴). آثار پدیده خشکسالی روی پوشش گیاهی، به‌صورت تدریجی ظاهر می‌شود. بنابراین اگر با الگوریتمی بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش شود، می‌توان با کاهش تدریجی پوشش گیاهی مناطق، پدیده مخرب

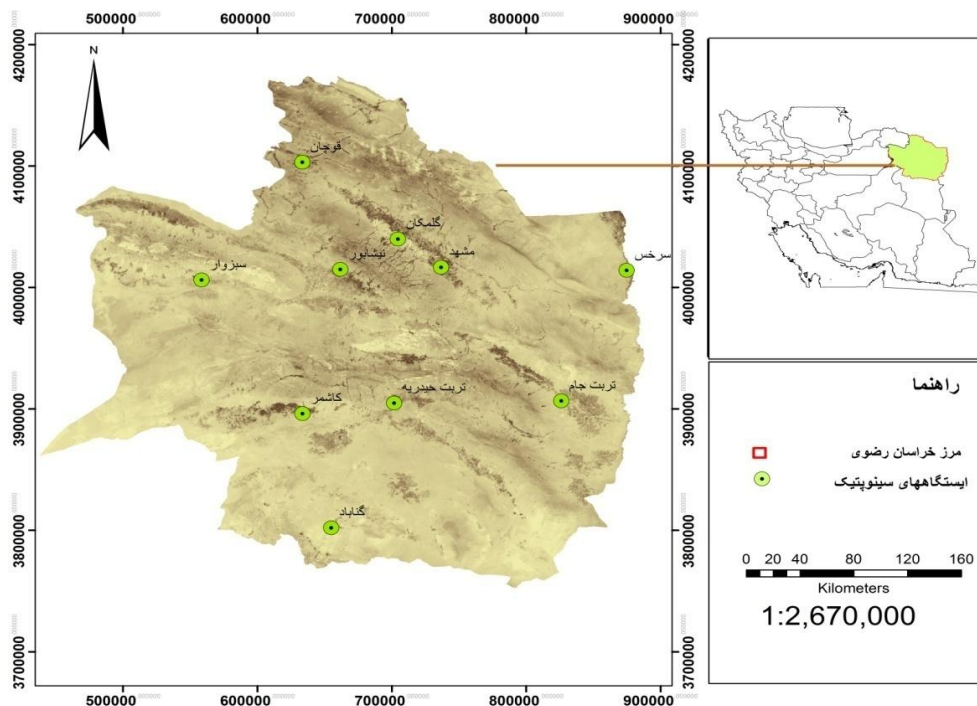
1. Dabrowska-Zielinska et al
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Jensen
4. Tucker
5. Vegetation Condition Index
6. Advanced very High Resolution Radiometer

مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با وسعتی حدود ۱۱۶۵۰۲ کیلومترمربع حدوداً معادل ۷ درصد از مساحت کل کشور در شمال شرقی ایران بین مدارات ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه و تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی جغرافیایی قرار گرفته است که در (شکل ۱) نمایش داده شده است. به طور معمول اقلیم استان خشک و نیمه‌خشک است. بخش‌های شمالی استان بیشتر کوهستانی هستند و بین آن‌ها دشت‌های حاصلخیزی قرار گرفته است که به دلیل دارا بودن میزان بارندگی قابل توجه و همچنین وجود منابع آب زیرزمینی از شرایط مناسب کشاورزی برخوردارند. اما بخش‌های جنوبی استان به سبب مجاورت با کویر و پست بودن ناحیه، میزان بارندگی کم و پوشش گیاهی فقیر و کشاورزی محدودی دارند.

فانک و بود^۱ (۲۰۰۹)، خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص NDVI از سنجنده MODIS در زمبابوئه بررسی کرده‌اند و نتایج نشان داده که شاخص مذکور برای پایش خشکسالی کشاورزی مناسب‌تر است. در این رابطه، تحقیقات متعددی انجام گرفته که از آن جمله، مطالعات جوویا^۲ و همکاران (۲۰۰۹) در غرب هند، مورثی^۳ و همکاران (۲۰۰۹) در ایالت هایانا در هند، یوهاس و سودری^۴ (۲۰۰۹) در شمال غرب آمریکا، وی مین^۵ و همکاران (۲۰۰۸) در چین و همچنین ایکسای^۶ و همکاران (۲۰۰۷) در چین اشاره کرد. بدین سبب در این پژوهش سعی شده است که قابلیت‌ها و کارایی شاخص پوشش گیاهی NDVI را با بهره‌گیری از سنجنده مودیس در مطالعه تغییرات خشکسالی استان خراسان رضوی بررسی شود. در این تحقیق فرض بر این است این شاخص راهی مطمئن و مؤثر برای شناخت و پایش خشکسالی‌هاست.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی در ایران

1. Funk and Budd
2. Gouveia
3. Murthy
4. Yuhase and Scudery
5. Wei Min
6. Xi

۲. روش کار

مربوط سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ که در ماه‌های می، جون و جولای به فاصله ۸ روز و ۲۵۰ متر برای تحلیل ماهواره‌ای استفاده شد.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به بارش ماهانه برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی که با مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است. همچنین برای برآورد شاخص NDVI از تصاویر ماهواره‌ای MODIS

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان رضوی

ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دامنه مقادیر (میلی‌متر در سال)
مشهد	۵۹° ۳۸'	۳۶° ۱۶'	۹۹۹	۱۲۱.۴ - ۳۹۰.۲
قوچان	۵۸° ۳۰'	۳۷° ۰۴'	۱۲۸۷	۱۲۱.۵ - ۴۳۶.۹
گلمکان	۵۹° ۱۷'	۳۶° ۲۹'	۱۱۷۶	۱۰۸.۳ - ۳۱۹.۱
گناباد	۵۸° ۴۱'	۳۴° ۲۱'	۱۰۵۶	۶۸.۸ - ۲۲۸.۳
نیشابور	۵۸° ۴۸'	۳۶° ۱۶'	۱۲۱۳	۱۳۰ - ۳۵۶.۸
سبزوار	۵۷° ۳۹'	۳۶° ۱۲'	۹۷۲	۵۸ - ۲۹۵.۴
تربت حیدریه	۵۹° ۱۳'	۳۵° ۱۶'	۱۴۵۰	۸۲.۱ - ۳۹۰.۶
تربت	۶۰° ۳۵'	۳۵° ۱۵'	۹۵۰	۵۶.۳ - ۲۶۳.۲
کاشمر	۵۸° ۲۸'	۳۵° ۱۲'	۱۱۰۹	۶۴.۷ - ۲۹۹.۱
سرخس	۶۱° ۱۰'	۳۶° ۱۲'	۲۳۵	۷۶.۴ - ۲۶۱

این شاخص از تابع چگالی توزیع گاما و گاهی از تابع پیرسون برای برازش داده‌های بلندمدت استفاده می‌کند. در این مطالعه از تابع چگالی گاما استفاده شد که پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوط، شاخص SPI به صورت مقادیر مثبت و منفی بیان می‌شود؛ البته با توجه به اینکه آمار بارش از ایستگاه‌ها گرفته می‌شود و توزیع ایستگاه‌ها وضعیت مناسبی ندارد، برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر و بهتر از شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی نیز استفاده شد.

شاخص NDVI که یکی از شاخص‌های اصلی پوشش گیاهی ماهواره‌ای است، براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{RED - NIR} \quad (2)$$

در این رابطه، NIR انعکاس نور در باند مادون قرمز و RED انعکاس نور در باند قرمز است. دامنه شاخص فوق رنجی بین -۱ تا +۱ متغیر است که اعداد منفی برای

روش‌های مختلفی برای تحلیل روند خشکسالی وجود دارد. در این پژوهش از دو روش استفاده شده است: در روش اول، تعیین وضعیت خشکسالی با شاخص بارش استاندارد است که براساس رابطه (۱) انجام شده است (لشنی زند، ۱۳۸۳).

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{ETP} \quad (1)$$

در رابطه (۱) شاخص استاندارد بارش، Pi مقدار بارش در زمان مورد نظر، \bar{P} متوسط بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه و SD انحراف استاندارد بارش است.

شاخص SPI به وسیله مکی و همکاران (۱۹۹۳) در کلرادو ارائه شد. با توجه به اینکه این شاخص علاوه بر شدت خشکسالی در بازه‌های متفاوتی طراحی شده، توان بالایی برای دسترسی به منابع آبی مختلف دارد، در انجام محاسبات از دقت بالایی برخوردار است؛ البته زمانی که بقیه پارامترها نیز کاملاً به شکل صحیح وجود داشته باشد.

آماري که در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین تغییرات کل شاخص NDVI در استان خراسان رضوی در دوره آماری برحسب کیلومتر مربع در جدول (۳) آورده شده است. این شاخص در ۴ کلاس طبقه‌بندی گردید و در شکل (۲) نمایش داده شده است. همچنین درصد تغییرات کل شاخص NDVI نیز براساس میانگین NDVI و میانگین SPI همچنین نمایه خشکسالی در طی دوره آماری در جدول (۴) و خلاصه مدل رگرسیونی همراه با ضریب متغیرهای رگرسیونی به ترتیب در جدول (۵) و (۶) و به صورت نمودار در شکل (۳) ارائه شده است. همچنین با توجه به معادله حاصل از رگرسیون خطی که در رابطه (۳) بیان شده، نتایج رگرسیونی نشان می‌دهد که مقدار ثابت مدل برابر با ۰/۱۴۷ و مقدار ضریب تبیین استاندارد نشده، ۰/۰۲۴ و مقدار T، ۰/۰۲۴ و سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۰۰ است. می‌توان گفت که به‌ازای یک واحد تغییر در شاخص بارش استاندارد، NDVI به میزان ۰/۰۲۴ تغییر می‌پذیرد.

$$NDVI = 0.147 * SPI + 0.024 \quad (3)$$

پوشش‌های آبی مانند دریاها و دریاچه‌ها، اعداد مثبت برای پوشش گیاهی و عدد صفر بیانگر مناطق فاقد پوشش گیاهی است.

درباره شاخص NDVI براساس جدول فراوانی تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه به صورت درصد مشخص شد. براساس این داده‌ها نمودارهای تغییرات NDVI برحسب کیلومتر مربع و درصد، ترسیم شده است.

در نهایت دو شاخص مذکور که شاخص SPI آماری و شاخص NDVI سنجش از دور و پهنه‌ای است، مقایسه شده است. این مقایسه براساس میانگین NDVI و میانگین SPI سالانه با استفاده از همبستگی پیرسون انجام شد. مقدار این همبستگی بین -۱ تا +۱ متغیر است. مقادیر مثبت به مفهوم همبستگی مستقیم و منفی به معنای همبستگی معکوس و صفر نیز فقدان همبستگی است.

نتایج

پس از تهیه پارامترها و نقشه‌ها که از جمله آن‌ها مقدار دو شاخص SPI و NDVI در سال‌های مختلف در کل دوره

جدول (۲): مقدار دو شاخص SPI و NDVI در سال‌های مختلف در کل دوره آماری

سال میلادی	۲۰۰۱		۲۰۰۵		۲۰۰۹		۲۰۱۳	
	NDVI	SPI	NDVI	SPI	NDVI	SPI	NDVI	SPI
ایستگاه‌های سینوپتیک								
کاشمر	۰/۱۱	-۱/۴۵	۰/۱۴	۰/۳۹	۰/۲۴	۱/۱۷	۰/۱۳۱	-۰/۷۳
ترت جام	۰/۰۹۶	-۱/۹۳	۰/۱	۰/۴	۰/۲۶	۱/۷۵	۰/۱۳۲	-۰/۵۴
مشهد	۰/۱۰۱	-۱/۷	۰/۱۰۴	-۰/۰۷	۰/۱۴۳	۰/۷۶	۰/۱۳	-۰/۷۴
نیشابور	۰/۱۲	-۱/۰۷	۰/۱۳۱	۰/۱	۰/۲۵۲	۱/۴۳	۰/۱۱۴	۰/۰۹
سبزوار	۰/۱۰۸	-۱/۲۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۱۳	۰/۰۶	۰/۱۰۹	-۱/۶۷
سرخس	۰/۱۰۹	-۱/۲۹	۰/۱۱۳	-۰/۰۵	۰/۱۷۹	۰/۹۶	۰/۱۰۸	-۱/۱۸
ترت حیدریه	۰/۹۸	-۱/۹۵	۰/۱۰۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۱	-۰/۸۴
قوچان	۰/۱۳	-۱	۰/۱۴۱	۰/۶۹	۰/۱۷۱	۰/۸۶	۰/۱۲۱	-۰/۴۳
گلمکان	۰/۱۱	-۱/۰۸	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۶۶	۰/۱۱۹	-۰/۴۶
گناباد	۰/۸۹	-۲/۱۳	۰/۱۰۸	-۱/۳۱	۰/۱۳۹	۰/۳۲	۰/۱۱۸	-۰/۲۴

جدول (۳): تغییرات کل شاخص NDVI در استان خراسان رضوی در دوره آماری برحسب کیلومتر مربع

سال میلادی	فاقد پوشش گیاهی	پوشش گیاهی ضعیف	پوشش گیاهی معمولی	پوشش گیاهی متراکم
۲۰۰۱	۶۹۴.۳۷	۴۶۲۴۱.۱۳	۶۹۵۱۰.۷۷	۵۵.۶۰
۲۰۰۵	۱۶۸.۶۷	۱۹۶۰۴.۶۲	۹۶۱۴۱.۴۳	۵۱۷.۲۵
۲۰۰۹	۲۳۷.۷۹	۲۶۷۲۴.۰۴	۸۹۰۵۰.۸۸	۴۸۹.۱۵
۲۰۱۳	۲۱۸.۲۵	۲۸۲۸۸.۳۱	۸۱۷۰۱.۵۹	۲۹۳.۸۷

جدول (۴): درصد تغییرات کل شاخص NDVI در استان خراسان رضوی

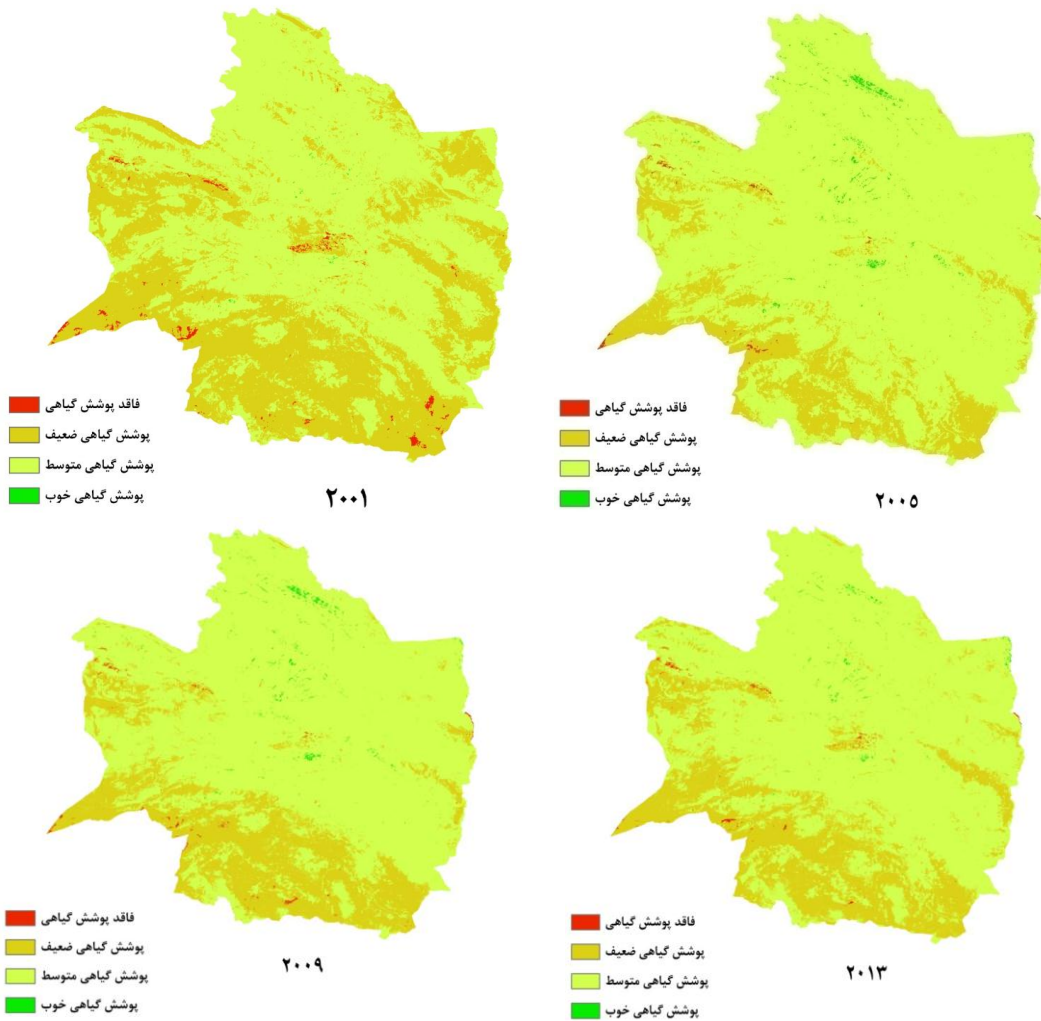
سال میلادی	نمایه SPI سالانه	میانگین SPI سالانه	میانگین NDVI	پوشش گیاهی ضعیف (%)	پوشش گیاهی متوسط (%)	پوشش گیاهی خوب (%)
۲۰۰۱	خشکسالی زیاد	-۱.۴۸۱	۰.۳۱۱۶	۳۹.۶۹	۵۹.۶۶	۰.۰۴۷
۲۰۰۵	خشکسالی متوسط	-۰.۰۸۱	۰.۳۲۳۴	۱۶.۸۲	۸۲.۵۲	۰.۰۵
۲۰۰۹	نسبتاً مرطوب	۰.۸۸۲	۰.۳۲۲۸	۲۲.۹۳	۷۶.۴۳	۰.۰۴۱
۲۰۱۳	خشکسالی متوسط	-۰.۶۷۴	۰.۳۳۱۶	۲۴.۲۸	۷۵.۲۷	۰.۰۲۵

جدول (۵): خلاصه مدل رگرسیونی

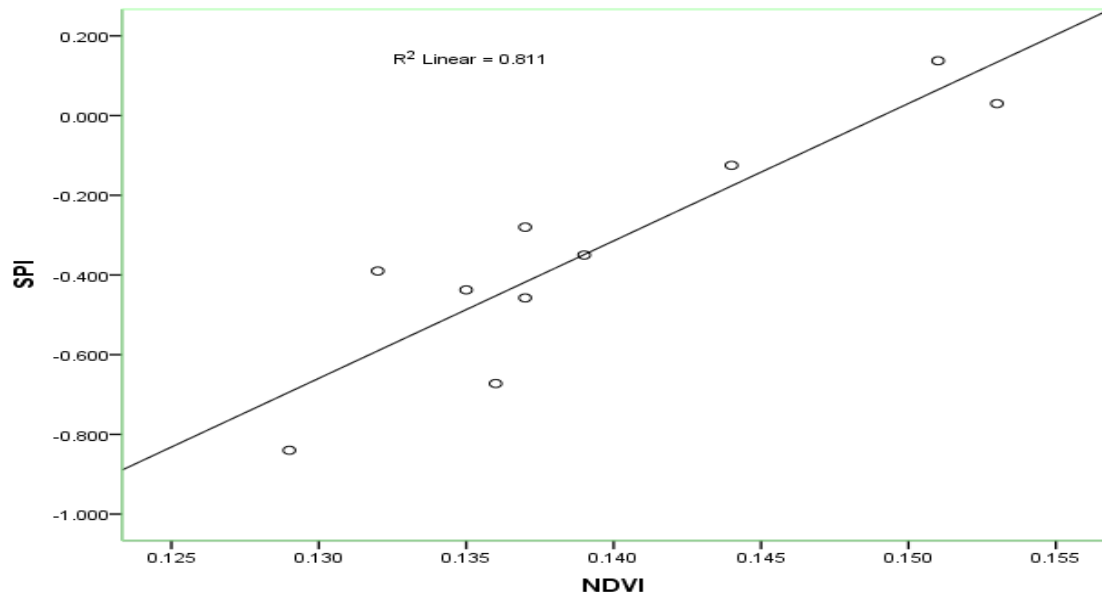
متغیرها	ضریب همبستگی پیرسون	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	سطح معنی داری
SPI*NDVI	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۰۰۰

جدول (۶): ضریب متغیرهای رگرسیونی

متغیرها	مقدار ثابت	ضریب تعیین استاندارد نشده	T مقدار	سطح معنی داری
SPI*NDVI	۰/۱۴۷	۰/۰۲۴	۸۳/۰۸۹	۰/۰۰۰



شکل (۲): تصاویر NDVI طبقه‌بندی شده در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳ در آستان خراسان رضوی



شکل (۳): نمودار همبستگی بین میانگین شاخص NDVI و میانگین سالانه SPI در آستان خراسان رضوی

بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد SPI محاسبه شده در طی دوره آماری در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ در ایستگاه گناباد خشکسالی به ترتیب بسیار شدید و شدید و ایستگاه قوچان در هر دو سال، شرایط مرطوب نرمال داشته، درحالی که ایستگاه‌های دیگر در این دو سال در شرایط خشکسالی متوسط هستند. در سال ۲۰۰۹، تربت جام با شرایط مرطوب و سبزووار با خشکسالی شدید و در سال ۲۰۱۳، نیشابور با شرایط نرمال و سبزووار با خشکسالی شدید قرار دارند. همچنین این شاخص نشان داد که در مجموع، سال ۲۰۰۹ سالی مرطوب و سال ۲۰۰۱ خشکسالی شدید بوده، درحالی که ۲۰۰۵ و ۲۰۱۳ سال‌هایی با خشکسالی متوسط‌اند. محاسبه NDVI نشان می‌دهد که پوشش گیاهی ضعیف در سال ۲۰۰۱، پوشش گیاهی متوسط در سال ۲۰۰۵ و پوشش گیاهی خوب در سال ۲۰۰۹ بیشترین مساحت دارد. این وضعیت تقریباً با مقدار SPI در سال‌های ذکر شده همپوشانی دارد، اما با توجه به اینکه مقدار SPI در سال ۲۰۰۹، ۰/۸۸۲ و در سال ۲۰۰۵ مقدار SPI ۰/۸۱- است ولی مقدار پوشش متوسط حدود ۷/۱ درصد کاهش یافته، و این تفاوت شاید به دلیل نوع مقایسه‌ای باشد که SPI به شکل نقطه‌ای و NDVI به صورت پهنه‌ای می‌باشند و قطعاً به دلیل اینکه شاخص NDVI در کل پهنه استان است ولی

شاخص SPI در ده نقطه از استان است، قدرت تفکیک بالاتری دارد.

مدل رگرسیونی در رابطه (۳) نشان می‌دهد که بین دو متغیر فوق، همبستگی معنی‌دار و مستقیمی وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی دو متغیر در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰ برابر با ۰/۹۰ است که نشان‌دهنده هم‌تغییری زیاد دو متغیر می‌باشد. با احتمال ۹۵ درصد اطمینان چنین می‌توان گفت که با افزایش مقدار شاخص بارش استاندارد شده، میزان پوشش گیاهی نیز افزایش می‌یابد و برعکس، به این معنی که با کاهش مقدار شاخص بارش استاندارد شده، به همان میزان پوشش گیاهی نیز کاهش می‌یابد. طبق یافته‌های فوق مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۸۱ و ضریب تعیین تعدیل شده نیز برابر با ۰/۷۸ است. این مقدار در معادله رگرسیونی حاکی از این است که متغیر مستقل شاخص بارش استاندارد شده توانسته ۰/۷۸ از تغییرات میزان متغیر وابسته پوشش گیاهی را برآورد سازد و ۲۲ درصد از آن متغیرها را تبیین کند که در مدل پیش‌بینی نشده و خارج از مدل است. همین مقدار در شکل (۳) نیز نمایش داده شده است که یافته‌های پژوهشی را تأیید می‌کند. نتایج رگرسیونی نشان می‌دهد که به ازای یک واحد تغییر در شاخص بارش استاندارد، NDVI به میزان ۰/۰۲۴ تغییر می‌پذیرد. با توجه به فرضیه تحقیق با توجه به اینکه شاخص NDVI وضعیت

پوشش گیاهی را در کل پهنه استان (در ابعاد هر پیکسل برابر ۲۳۰ متر مربع) نشان می دهد، باعث افزایش دقت در تفکیک پدیده خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی می شود.

منابع

1. Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkkoz, A., Grusznska, M., Kowalik, W. 2002. Modeling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing* 23.
2. Funk, C., Budd, M. E (2009). Phenologically Tuned MODIS NDVI-based production normally estimates for Zimbabwe, *Remote Sensing of Environment*, 113.
3. Gouveia, C, Trigo, R. M., Dacamra, C. C. 2009. Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data. *Journal of Nat. Hazards Earth Syst*, 9.
4. Javadneia, E., Mobasheri, M.R., 2008. "Improvements in NDVI to predict drought using Aster images and Modis", Geomatics, national mapping agency.
5. Jensen, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: Remote sensing prospective*, Upper Saddle River, New Jersey Prentice Hall.
6. Mahmoodzadeh, A., Saghafeian, B., Mokhtari, A. 2008 "Correlation between SPI drought index and NDVI Fereydūnshahr region" Third International Conference on Water Resources Management, University of Tabriz. Department of Civil Engineering.
7. McKee T.B. Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Am. Meteorol. Soc. Boston. 179-184
8. Mirmusavi, S.H., Karimi, H., 2011. Effects of drought on vegetation using the MODIS images. *Journal of Geography and Development* 31, 57- 76.
9. Murthy, C.S., Sai, M.V.R.S., Chandrasekar, K., Roy, P.S. 2009. Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural drought. *International Journal of remote sensing* 30, 11-12 pp.
10. Rahimzadeh, P., Darvishsefat, A. Khalili, A, Makhdom, M. 2008. Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments* 72, 1086-1096.
11. Salimi, M., 2014. Drought analysis with synthesized index (SDI) and TRMM data in Khorasan Razavi Province, University of Ferdowsi 1 pp.
12. Shiravi, M, 2016. Fuzzy Modeling of Desertification Susceptibility of Khorasan Razavi Ecoregions Based on Life Cycle Assessment (LCA). Ph D thesis, Ferdowsi University. 84 pp.
13. Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation, *Journal of Remote Sensing of Environment* 8, 133-149.
14. Wei Min, K, YuXiang, L, XiaoBo, Z, Juan, Ch., 2008. The characteristic of temperature vegetation drought index (TVDI) and its application in remote sensing drought monitoring in Guizhou, *Journal of Guizhou Agricultural Science* 4.
15. Xi, Y., Jianjun, W., Peijun, Sh., Hong, X. 2007. Validation of MODIS land surface temperature product as a drought indicator in China, *IEEE International Geoscience and remote sensing Symposium, IGARSS Barcelona, Spain*.
16. Yuhas, A. N., Schuderer, L. A (2009). MODIS derived NDVI characterization of drought induced evergreen die off in western north America, *Journal of Geographical Research* 47, 1.