

بررسی تطبیقی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای در روند بیابان‌زائی طبقات پوشش گیاهی فصل بهار استان سمنان

قاسم کیخسروی^۱، استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی از داده‌های هواشناسی و سنجش از دور استفاده شده است. در ابتدا شاخص بارندگی استاندارد (SPI) برای ایستگاه سمنان طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ محاسبه گردید. در مرحله بعد بر اساس ۳۰ تصویر برگرفته از سکوی Aqua سنجنده مودیس، در ماه‌های فصل بهار، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شد. با در نظر گرفتن این شاخص، پوشش گیاهی منطقه به ۴ گروه طبقه بندی شد. در نهایت دو شاخص NDVI و SPI مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد. رابطه بین NDVI و مقدار SPI و بارش اتفاق افتاده بین طبقات پوشش گیاهی تنگ و نیمه متراکم از یک رابطه مستقیم معکوس برخوردار است. بدین صورت که در تمامی ماه‌های فصل بهار در طبقه پوشش گیاهی تنگ با افزایش مقدار بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ کاسته می‌شود و در عوض بر وسعت پوشش گیاهی طبقه نیمه متراکم افزوده می‌شود و بر عکس با کاهش بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و در عوض بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. بنابراین در زمان‌های وقوع خشکسالی از وسعت طبقه نیمه متراکم کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. از این رو با توجه به وسعت زیاد این دو طبقه پوشش گیاهی که ۹۳ درصد وسعت استان را بخود اختصاص داده‌اند، خشکسالی می‌تواند در منطقه باعث ایجاد صدمات جبران ناپذیری گردد. بنابراین روند خشکی زائی (بیابان‌زائی) در منطقه به گونه‌ای است که از وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی ضعیف افزوده می‌شود و در نهایت تکرار این عمل به گسترش بیابان‌ها در منطقه کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: سمنان، شاخص SPI، شاخص NDVI، خشکسالی، سنجنده مودیس.

مقدمه

یکی از ویژگی‌های طبیعی یک اقلیم، خشکسالی است که به مفهوم کمبود منابع آب نسبت به مقدار نرمال آن است. در تمامی شرایط اقلیمی، احتمال وقوع این پدیده وجود دارد اما مشخصات آن از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر متفاوت است. خشکسالی در مقایسه با خشکی که یک مشخصه دائمی از اقلیم است و به نواحی با بارندگی کم محدود می‌شود، پدیده‌ای موقتی است که خصوصیات کاملاً متفاوتی نسبت به خشکی دارد. در یک تعریف کلی خشکسالی عبارت است از کمبود غیر عادی بارش در دوره‌ای بلند مدت به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک و همچنین کاهش آب‌های جاری می‌شود و در نهایت بر روی فعالیت‌های انسانی و حیات طبیعی گیاهی و جانوری تأثیرگذار است. در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است. پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک ایران، عدم وجود آمار دراز مدت در بسیاری از ایستگاه‌ها، عدم وجود ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره‌ی آماری طولانی و همچنین نقطه‌ای بودن روش‌های مبتنی بر آمار اقلیمی محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی بوجود آورده است. در چند دهه‌ی اخیر، تصاویر ماهواره‌ای یک دید جامع از نظر زمانی و مکانی از سطح زمین فراهم آورده و به محققان در زمینه‌های مختلف مطالعاتی کمک شایانی کرده است. تاکنون، مدل‌های پایش خشکسالی زیادی با استفاده از این تصاویر ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطحی زمین، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز هستند. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در خشکسالی رطوبت خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. بنابراین بررسی چگونگی رفتار طیفی خاک و درصد پوشش گیاهی در برآورد میزان خشکسالی امری ضروری است. تغییر پوشش گیاهی از طریق تأثیر بر تعرق گیاهان، آلودگی سطح، توان تشعشعی و ناهمواری سطحی بر تعادل انرژی تأثیرگذار است. تعیین درصد پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های سنتی برداشت، دید کاملی از پوشش گیاهی کل منطقه ارائه نمی‌دهد و باعث صرف زمان و هزینه زیادی می‌شود. به علاوه ممکن است خطاهای

انسانی در تعیین درصد پوشش گیاهی به روش‌های سنتی به میزان فراوانی وجود داشته باشد، اما تصاویر ماهواره‌ای، تصویری جامع از نظر زمان و مکان از سطح زمین و پوشش‌های مختلف آن فراهم می‌کنند که استفاده از آن موجب کاهش زمان و هزینه و همچنین افزایش دقت می‌شود. از مهم‌ترین منابع داده‌ای که در مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی از آنها بهره گرفته شده است، می‌توان به داده‌های سنجنده‌های AVHRR، ALOS، IRS، OLI، ETM+، Aster، MODIS (میرزائی، 1395). از کاربرد شاخص‌های گیاهی برای اهداف مختلف چند دهه می‌گذرد و هنوز هم در سطح وسیعی استفاده می‌شود. در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی شاخص NDVI از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی هست که برای آماده نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شود (Matsushita et al, 2007). این شاخص بر پایه این حقیقت که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد استوار است. این شاخص با استفاده از فرمول NDVI محاسبه شده و مقدار آن بین اعداد $+1$ تا -1 تغییر می‌کند. مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی است (Adamchuk et al, 2004). اثرات مستقیم وضعیت اقلیمی بر روی زیست توده و الگوهای فنولوژیکی پوشش گیاهی به وسیله NDVI تخمین زده شده و در بسیاری از اکوسیستم‌ها بیان شده است. بر روی این شاخص فاکتورهای زیادی نظیر ساختار گیاهی، اثرات متقابل با تاج پوشش گیاهی، ارتفاع گیاه، ترکیب گونه ای، سلامتی و شادابی گیاه، ویژگی‌های برگ و تنش گیاه، توپوگرافی و ارتفاع اثر دار هستند. از آنجایی که این شاخص همبستگی مستقیم با تولیدات پوشش گیاهی دارد، بنابراین تعداد زیادی از کاربردهای مثبت این شاخص برای اهداف اکولوژیکی نیز بیان شده است (Pettorelli et al, 2005). این شاخص امکان مطالعه اطلاعاتی را درباره گسترش مکانی و زمانی

اجتماعات پوشش گیاهی، زیست توده گیاهی، جریان CO_2 ، کیفیت پوشش گیاهی برای گیاهخواران و میزان توسعه تخریب خاک را در اکوسیستم های متنوع مهیا می‌سازد. این شاخص می‌تواند برای کمی کردن تولید خالص سالانه در مقیاس‌های متفاوت و جهانی و تفکیک پوشش گیاهی در مقیاس‌های قاره‌ای و جهانی به کار گرفته شود. چون آب دارای مقدار معادل NDVI کمتری نسبت به سایر پوشش‌های سطحی است بنابراین نواحی که پوشیده از آب شده‌اند، قبل و بعد از وقوع سیلاب می‌توانند به وسیله تغییرات مقادیر NDVI آنها تشخیص داده شوند. این روش در چین برای ارزیابی خطرات سیلاب در سال ۱۹۹۸ استفاده شد و نتایج همبستگی بالایی را با خطرات سیلاب که توسط روش‌های دیگر تخمین زده شده بود، نشان داد (Wang et al, 2003). مختاری و همکاران رابطه بین پوشش گیاهی و درصد خاک بدون پوشش گیاهی در یک حوضه آبخیز را با شاخص‌های پوشش گیاهی دیگر مانند NDVI, PVI, RVI و سایر آنالیزهای سنجش از دور مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه شاخص NDVI به عنوان بهترین شاخص از لحاظ همبستگی با پوشش گیاهی معرفی شد. خاک بدون پوشش گیاهی منطقه نیز به علت اینکه تحت تأثیر عوامل مختلفی به خصوص جنس سازند و ماهیت مواد مادری و درصد تاج پوشش گیاهی قرار گرفته بود، بازتاب‌های متفاوتی را نشان داد. بنابراین درصد خاک بدون پوشش گیاهی در منطقه همبستگی مناسبی را با اندیس‌های گیاهی مورد آزمون نشان نداد (مختاری و همکاران، ۱۳۷۹). راندکس و همکاران با مقایسه ۶ شاخص گیاهی به این نتیجه رسیدند که شاخص MSAVI بیشترین حساسیت را نسبت به پوشش گیاهی دارد (Rondeaux et al, 1996). ثنایی نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی و برآورد نقش عوامل اقلیمی بر NDVI گندم با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه مشهد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از این روش مقادیر NDVI گندم تا میزان ۰/۷۹ برآورد گردید (ثنایی و همکاران، ۱۳۸۸). ابراهیم زاده و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی امکان سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای از نظر تشخیص اندازه تغییر، همبستگی خوبی با یکدیگر دارند. بیشترین

همبستگی بین شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص زمینی مربوط به شاخص NDVI است (ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۹۲). هوت با بازنگری مطالعات انجام شده در زمینه بررسی رابطه خاک و الگوهای پوشش گیاهی در بخش جنوبی آمریکا با استفاده از شاخص NDVI سنجنده AVHRR اشاره به نتایج مثبت در این زمینه کرده، هر چند که همبستگی قوی بین NDVI و ویژگی‌های خاک مانند درصد اشباع بازی، اسیدیته، ظرفیت نگهداری آب در خاک و چگالی ظاهری بعد از گروه‌بندی خاک‌ها توسط عوامل اقلیمی گزارش نشده بود. هوت به نقل از لوزانو- گارسیا و همکاران رابطه مشخصی را بین خاک مجموعه‌ها و گسترش زیست توده در نواحی مورد مطالعه با استفاده از داده‌های NDVI و سنجنده AVHRR گزارش می‌کند (Huete, 2004). شارما در مطالعه خود، خشکسالی را در استان کارائاتاکای کشور هند را با دو روش ارزیابی نمود. وی در این مطالعه از داده‌های بارش، طی دوره آماری سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۷۰ برای محاسبه شاخص بارش استاندارد و از تصاویر ماهواره NOAA/AVHRR/NDVI جهت محاسبه شاخص شرایط گیاهی در هند استفاده نمود. در نهایت دو روش را با هم مقایسه کرده و به این نتیجه رسید که دقت شاخص NDVI بیشتر است (Sharma, 2006). واینست و سرانو در مطالعه خود با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA/AVHRR/NDVI و شاخص‌های خشکسالی، تولید گندم و جو را در یکی از مناطق خشک اروپا (دره ایرو در اسپانیا) پیش‌بینی کردند. این پیش‌بینی برای ماه فوریه و ماه‌های قبل از برداشت انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این پیش‌بینی‌ها می‌تواند برای مدیریت تولید محصول در سطوح داخلی مفید واقع شود (Vicente and Serrano, 2006). لیو و وا با استفاده از شاخص‌های NDVI برگرفته از سنجنده MODIS خشکسالی کشاورزی را در چین میانی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که این شاخص می‌تواند در محدوده‌های زمانی و طیفی متفاوت از خشکسالی منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گیرد (Liu and Wu, 2008). گوویا و همکاران از شاخص NDVI به دست آمده از ماهواره‌های SPOT4 و SPOT5 برای بررسی وسعت، شدت و تداوم خشکسالی طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ در سراسر

کشور پرتغال استفاده کردند. شدت حائث خشکسالی بر روی پوشش گیاهی تعیین گردید . در دهه‌های گذشته خشکسالی‌های سال ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و مخصوصاً مهم‌ترین آن در سال ۲۰۰۵ شناسایی شد (Gouveia et al, 2009). فانک و بود خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص MODIS/NDVI در زیمبابوه بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای پایش دقیق خشکسالی کشاورزی مناسب است (Funk and Budd, 2009). جلیلی و همکاران در مقایسه عملکرد شاخص ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی استان تهران به این نتیجه رسیدند که بهترین همبستگی بین SPI سه ماه و NDVI مشاهده می‌شود (جلیلی و همکاران، ۱۳۸۷). با عقیده در مطالعه خود، خشکسالی را در استان اصفهان با استفاده از تصاویر NOAA شاخص NDVI و SPI ارزیابی نمود. بررسی رابطه بین شاخص‌ها نشان داد که از بین سری‌های مختلف SPI سه ماه همبستگی بهتری را نشان می‌دهد (باعقیده، ۱۳۸۶). یمانی و مزیدی تغییرات سطح و پوشش گیاهی کویر سیاه‌کوه یزد را با استفاده از تصاویر TM و ETM بررسی نمودند. آنها از ۵ شاخص NDVI، RVI، NRVI، PVI و SAVI استفاده کردند، نتایج نشان داد که شاخص NDVI بهترین شاخص برای تهیه نقشه پوشش گیاهی است (یمانی و مزیدی، ۱۳۸۷). بنابراین با توجه به اینکه خشکسالی تأثیرات زیان باری را به بار می‌آورد، در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای روند خشکسالی و بیابان زایی در منطقه استان سمنان شناسایی و معرفی گردد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر در حوزه جغرافیایی خاورمیانه در کشور ایران بر روی استان سمنان، محدود به عرض جغرافیایی ۳۴/۱۳ تا ۳۷/۲۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۵۱ تا ۵۷/۳ درجه شرقی است. این استان حدود ۹۷۴۹۳ کیلومتر مربع و حدود ۸/۵ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. در پژوهش حاضر با توجه به دوره آماری (۱۰ سال) و آمار در دسترس داده‌های آب و هواشناسی، در مرتبه اول: مطالعات

هواشناسی بر روی ایستگاه سینوپتیک سمنان انجام شده است و در مرتبه دوم برای مطالعه شاخص پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در فاصله زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ فصل بهار استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

۱- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مکی و همکارانش ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی است. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد. شاخص بارش استاندارد شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به کار برده می‌شود. همچنین رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش بینی می‌کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک می‌کند.

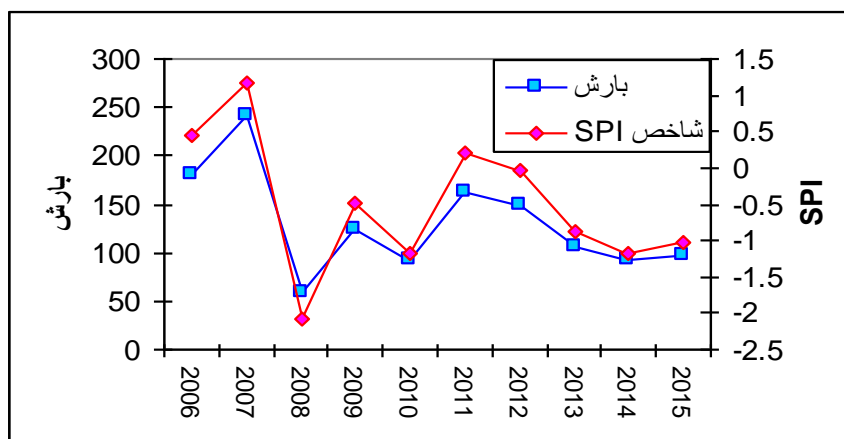
هر وقت که شاخص بارندگی استاندارد به طور مداوم منفی شود و به شدتی برسد که این شاخص ۱- یا کمتر باشد خشکسالی اتفاق می‌افتد. هر وقت شاخص بارندگی استاندارد مثبت شود، خشکسالی پایان می‌پذیرد. بنابراین دوره هر خشکسالی بر حسب آغاز، پایان و شدت در هر ماهی که تداوم داشته باشد، تعریف می‌شود. مقادیر تجمعی خشکسالی نیز می‌تواند شدت خشکسالی را نشان دهد که مقدار آن برابر حاصل جمع مثبت شاخص بارندگی استاندارد برای تمام ماه‌های رویداد خشکسالی است. (حجازی زاده و جوی زاده، ۱۳۹۰: ۲۲۸).

محاسبه شاخص بارش استاندارد در استان سمنان نشان داد که در ایستگاه سمنان در مقیاس سالانه بیشترین میزان خشکسالی در سال ۲۰۰۸ با میانگین SPI، ۲/۰۸- (خشکسالی فوق العاده شدید) اتفاق افتاده است و مرطوب‌ترین سال مربوط به سال ۲۰۰۷ با مقدار SPI، ۱/۱۶ است که از این نظر در طبقه مرطوب متوسط قرار

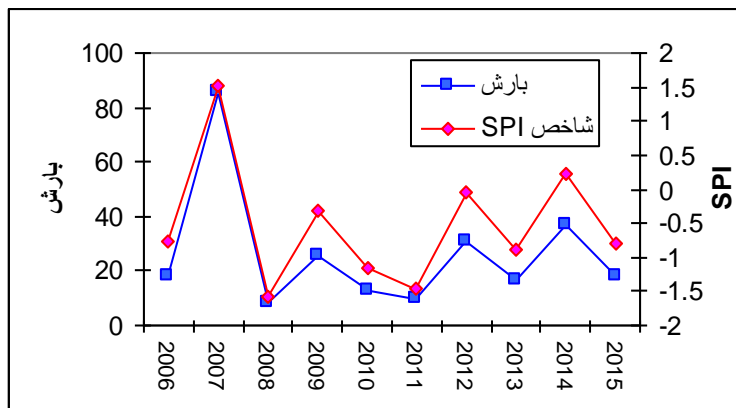
می‌گیرد (نمودار شماره ۱). در مقیاس فصلی (فصل بهار) شدیدترین خشکسالی‌ها به ترتیب متعلق به سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ با مقدار SPI، $-1/58$ (خشکسالی شدید) و $-1/45$ (خشکسالی متوسط) است، به طور کلی در ایستگاه سمنان در طول دوره آماری ۱۰ ساله در فصل بهار شاهد ۱ سال خشکسالی شدید، ۲ سال خشکسالی متوسط، ۶ سال نزدیک نرمال و ۱ سال ترسالی می‌باشیم (نمودار شماره ۲).

جدول ۱. تعیین درجه خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده

مقادیر spi	
+۲	فوق العاده مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشک ملایم
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشک شدید
-۲ و کمتر	فوق العاده خشک



نمودار ۱. درجه خشکسالی و ترسالی ایستگاه سمنان، بر حسب مقیاس سالانه



نمودار ۲. درجه خشکسالی و ترسالی ایستگاه سمنان، بر حسب مقیاس ۳ ماهه (فصل بهار)

۲- ارزیابی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در تصاویر ماهواره ای سنجنده

MODIS

یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌ها در جهان که به طور وسیع در مسائل مختلف به کار می‌رود، شاخص NDVI است. این شاخص به روز و همکاران (۱۹۷۳) نسبت داده شده است، اما مفهوم آن اولین بار به وسیله کرایگر و همکاران در سال ۱۹۶۹ بیان شد. شاخص NDVI نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

در این رابطه NIR انعکاس نور در باند‌های مادون قرمز و RED انعکاس نور در باند قرمز است. از آنجا که شاخص‌های گیاهی بر اساس خواص طیفی گیاهان طراحی شده‌اند، در نتیجه مقادیر به دست آمده از آنها، منعکس کننده انبوهی پوشش گیاهی در محدوده آن پیکسل مورد نظر است. در مورد NDVI مقادیر مربوط به گیاهان بین ۰/۵۰ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنگ، و ۰/۱ تا ۰/۶ برای مناطق گیاهی معمولی و نیمه متراکم و ۰/۷ تا ۰/۹ برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و انبوه هستند و آب، برف و یخ مقادیر NDVI منفی و خاک‌ها نیز مقادیر کمتر از ۰/۰۵ را دارند (فرج زاده، کریمی، ۱۳۹۲: ۷۵). در این

پژوهش با توجه به اینکه بیشترین میزان پوشش گیاهی در فصل بهار مشاهده می‌شود، NDVI سه ماه فصل بهار (فروردین، اردیبهشت، خرداد) به عنوان ماه‌های اصلی جهت ارزیابی شاخص انتخاب شدند. بعد از محاسبه شاخص، نتایج NDVI بر اساس جداول فراوانی هر کدام از طبقات، بر اساس هر تصویر (جمعاً ۳۰ تصویر)، تعداد پیکسل‌های هر طبقه به صورت کیلومتر مربع مشخص گردید (جدول شماره ۲). در نهایت بر اساس این داده‌ها نمودارها و نقشه‌ها تغییرات NDVI بر حسب کیلومتر مربع ترسیم گردید تا تغییرات مربوط به پوشش گیاهی را نشان دهد.

جدول ۲. سطح پوشش گیاهی بر اساس شاخص (NDVI) در سه ماه فصل بهار بر حسب کیلومتر مربع

سال	وضعیت پوشش گیاهی	فروردین	اردیبهشت	خرداد
۲۰۰۶	فاقد پوشش گیاهی	۸۴۶۳/۰۶	۷۶۰۸/۸۸	۶۰۰۷/۸۷
	مناطق گیاهی تنگ	۶۷۱۷۰/۷۸	۷۱۴۸۲/۹۷	۷۴۵۵۷/۱۲
	مناطق گیاهی نیمه متراکم	۲۱۶۱۱/۳۳	۱۸۱۶۹/۷۹	۱۶۷۶۷/۶۵
	مناطق گیاهی بسیار متراکم	۲۴۵/۷۱	۲۲۲/۹۲	۱۵۸/۸۳
۲۰۰۷	فاقد پوشش گیاهی	۱۰۰۳۴/۲۳	۷۳۸۸/۷۷	۴۶۷۴/۷۵
	مناطق گیاهی تنگ	۵۳۱۸۱/۸۹	۶۳۴۸۴/۵۶	۶۹۲۲۵/۲۶
	مناطق گیاهی نیمه متراکم	۳۴۰۸۰/۴۲	۲۶۳۷۷/۶۵	۲۳۳۸۶/۷۷
	مناطق گیاهی بسیار متراکم	۱۹۵/۱۲	۲۴۰/۵۴	۲۰۴/۷۱
۲۰۰۸	فاقد پوشش گیاهی	۶۲۳۵/۵۱	۲۹۶۲/۷۱	۱۷۴۷/۰۷

۸۱۰۴۵/۷۱	۷۸۲۴۶/۰۷	۷۱۶۳۳/۹۸	مناطق گیاهی تنگ	
۱۴۵۵۲/۷۲	۱۶۰۹۰/۴۷	۱۹۳۹۲/۱۱	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۴۵/۹۴	۱۹۲/۱۹	۲۲۹/۸۶	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۵۸۷۰/۰۸	۶۴۸۲/۷۶	۸۶۶۹/۸۴	فاقد پوشش گیاهی	۲۰۰۹
۷۳۳۱۷/۴۳	۶۸۰۹۵/۱۷	۵۶۶۴۲/۲۱	مناطق گیاهی تنگ	
۱۸۱۵۲/۷۷	۲۲۶۶۵/۲۰	۳۱۹۴۱/۰۷	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۵۱/۲۱	۲۴۸/۳۳	۲۳۸/۵۹	مناطق گیاهی بسیار متراکم	۲۰۱۰
۵۸۱۵/۸۸	۷۶۵۰/۲۳	۸۵۸۰/۸۵	فاقد پوشش گیاهی	
۷۴۷۴۵/۹۶	۷۱۱۴۵/۱۷	۶۴۷۹۶/۳۴	مناطق گیاهی تنگ	
۱۶۷۸۴/۳۱	۱۸۴۸۲/۱۴	۲۳۸۸۱/۷۱۱	مناطق گیاهی نیمه متراکم	۲۰۱۱
۱۴۵/۳۷	۲۱۳/۹۸	۲۳۲/۷۴	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۳۰۶۱	۵۳۷۹/۳۰	۶۴۲۸/۴۴	فاقد پوشش گیاهی	
۷۷۹۵۴/۱۱	۷۴۶۵۳/۶۹	۶۹۶۵۸/۳۴	مناطق گیاهی تنگ	۲۰۱۲
۱۶۳۴۱/۳۸	۱۷۲۸۸/۵۵	۲۱۲۳۴/۱۱	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۳۴/۹۷	۱۶۹/۹۰	۱۷۰/۷۳	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۵۴۴۷/۲۵	۶۰۲۰/۰۲۱	۷۲۵۱/۳۴	فاقد پوشش گیاهی	۲۰۱۲
۶۸۶۳۹/۲۳	۶۵۶۳۰/۱۱	۶۱۱۴۱/۴۹	مناطق گیاهی تنگ	
۲۳۱۶۰/۷۰	۲۵۵۴۵/۰۷	۲۸۸۹۳/۵۸	مناطق گیاهی نیمه متراکم	

۲۴۴/۳۰	۲۹۶/۳۲	۲۰۴/۴۸	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۳۲۲۰/۸۵	۵۴۵۳/۷۶	۷۰۲۸/۴۲	فاقد پوشش گیاهی	۲۰۱۳
۷۶۴۵۰/۸۳	۷۲۸۹۹/۹۱	۶۷۴۷۶/۸۱	مناطق گیاهی تنگ	
۱۷۶۴۸/۶۹	۱۸۸۹۸/۶۵	۲۲۷۶۸/۴۶	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۷۱/۱۱	۲۳۹/۲۲	۲۱۷/۷۷	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۲۵۴۴/۳۹	۳۷۶۷/۶۰	۴۴۷۷/۵۱	فاقد پوشش گیاهی	
۸۰۲۲۸/۶۹	۷۷۹۶۶/۷۳	۷۵۰۴۶/۷۸	مناطق گیاهی تنگ	
۱۴۵۴۳/۴۳	۱۵۵۰۴/۹۵	۱۷۷۰۶/۲۵	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۷۴/۹۶	۲۵۲/۱۷	۲۶۱	مناطق گیاهی بسیار متراکم	
۲۱۶۶/۸۹	۴۹۱۱/۶۳	۵۹۶۹/۸۹	فاقد پوشش گیاهی	۲۰۱۵
۷۸۱۴۱/۵۹	۷۳۷۷۰/۱۸	۶۸۲۶۴/۳۵	مناطق گیاهی تنگ	
۱۷۰۲۷/۲۵	۱۸۶۳۹/۳۹	۲۳۰۷۰/۷۱	مناطق گیاهی نیمه متراکم	
۱۵۵/۷۴	۱۷۰/۲۸	۱۸۶/۶۳	مناطق گیاهی بسیار متراکم	

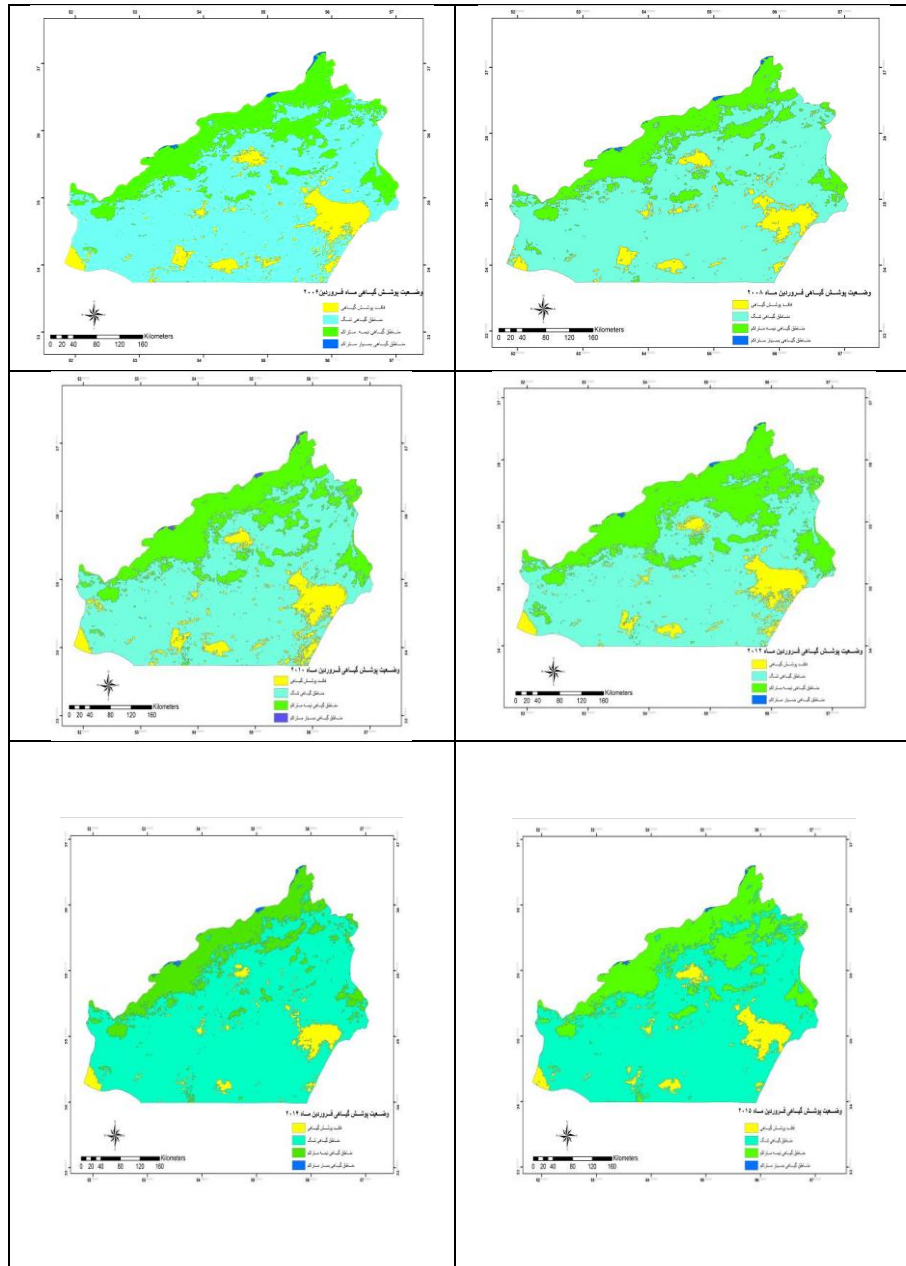
- محاسبه شاخص NDVI در فصل بهار

بررسی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در ماه فروردین نشان می‌دهد که متوسط طبقه پوشش گیاهی بسیار متراکم ۰/۲۲ درصد، طبقه پوشش گیاهی تنگ ۶۷/۱۸ درصد، طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم ۲۵/۰۸ درصد و مناطق فاقد پوشش گیاهی ۷/۵۰ درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد.

شکل شماره (۱) نقشه‌های NDVI ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد (به علت تعداد زیاد تصاویر فقط چند مورد به عنوان نمونه ارائه شده است). بر اساس تصاویر شکل شماره (۱) و جدول شماره (۲) غیر از طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم و تنگ، باقی طبقات پوشش گیاهی در بین سال‌ها تقریباً ثابت بوده و وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم و تنگ بر اساس سال‌های بارشی کم و زیاد می‌شود.

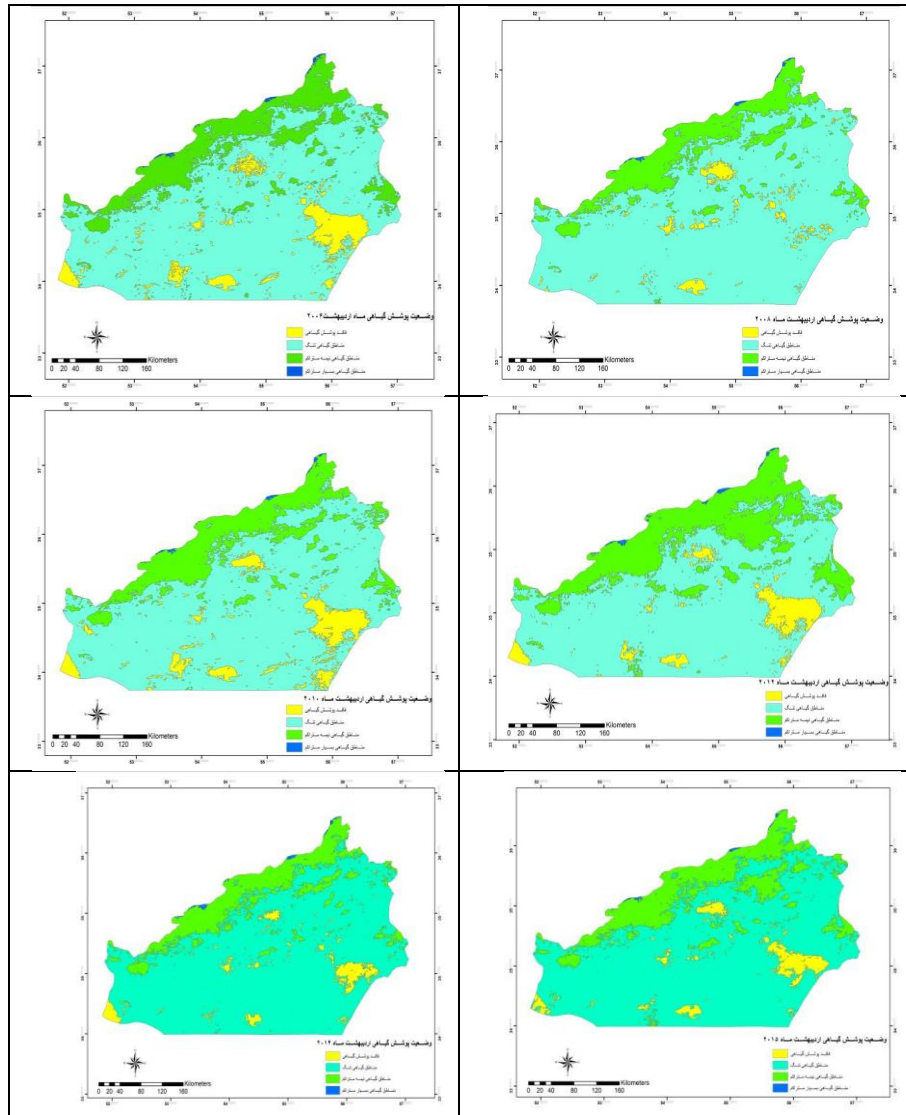
متوسط وسعت مناطق پوشش گیاهی در ماه اردیبهشت نشان دهنده آن است که مناطق فاقد پوشش گیاهی ۵/۹۱ درصد (۵۷۶۲/۵۶ کیلومتر مربع)، مناطق با پوشش گیاهی تنگ ۷۳/۵۸ درصد (۷۱۷۳۷/۴۵ کیلومتر مربع)، مناطق با پوشش گیاهی نیمه متراکم ۲۰/۲۷ درصد (۱۹۷۶۶/۱۸ کیلومتر مربع) و مناطق با پوشش گیاهی بسیار متراکم با ۰/۲۳ درصد (۲۲۴/۵۸ کیلومتر مربع) از مساحت کل استان سمنان را اشغال کرده‌اند (جدول شماره ۱). در این ماه نیز بیشترین حالت نوسانی را طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم و تنگ در بین سال‌ها دارد (شکل شماره ۲).

همچنین متوسط وسعت طبقات شاخص NDVI در ماه خرداد در طبقه با مناطق فاقد پوشش گیاهی برابر با ۴/۱۶ درصد (۴۰۵۵/۶ کیلومتر مربع)، مناطق با پوشش گیاهی تنگ با ۷۷/۳۷ درصد (۷۵۴۳۲/۵۹ کیلومتر مربع)، مناطق با پوشش گیاهی نیمه متراکم با ۱۸/۳ درصد (۱۷۸۳۶/۵۶ کیلومتر مربع) و مناطق با پوشش گیاهی بسیار متراکم با ۰/۱۷ درصد (۱۶۸/۷۱ کیلومتر مربع) است (جدول شماره ۱). بر اساس شکل شماره (۳) سال‌هایی که بارش منطقه کمتر از حد نرمال بوده، طبقه با پوشش گیاهی نیمه متراکم بیشتر حالت کاهش خود را نشان داده است و در عوض بر طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده شده است.

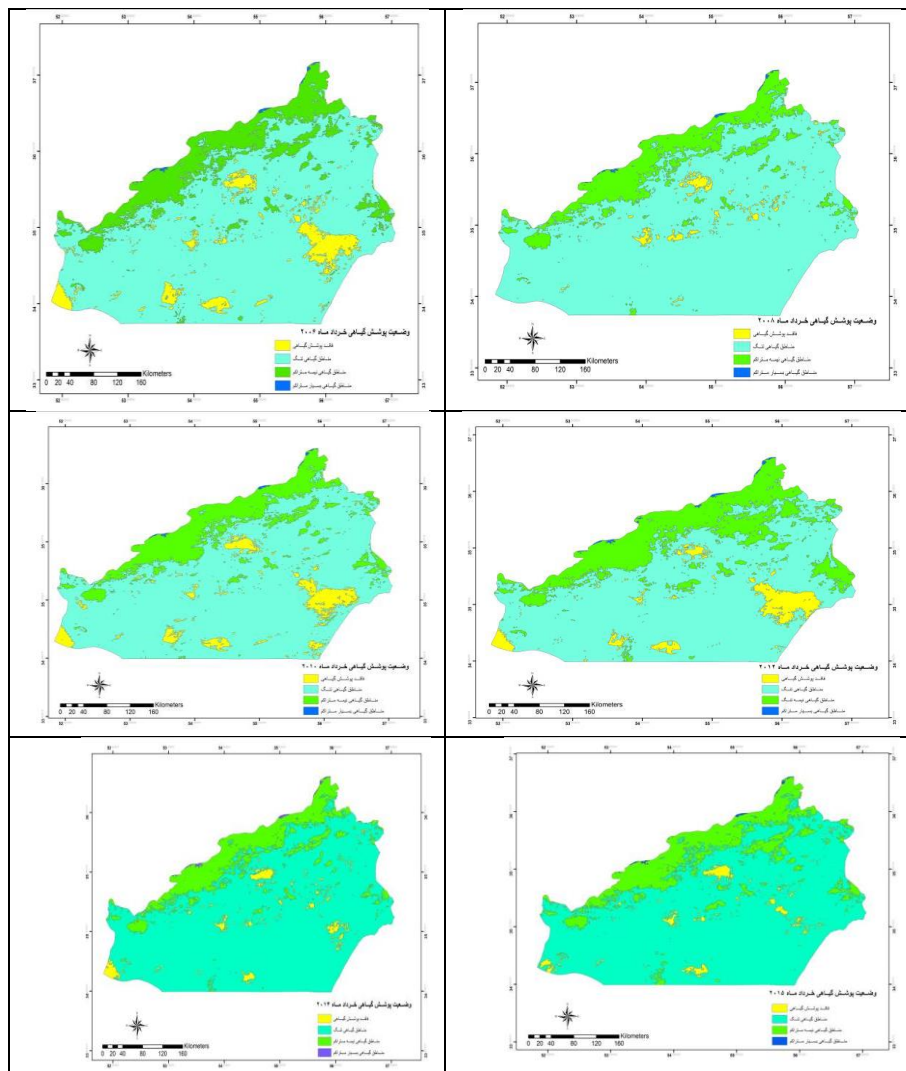


شکل شماره ۱. تصاویر NDVI طبقه بندی شده ماه فروردین در دوره آماری (۲۰۱۵-۲۰۰۰)

(۲۰۰۶)



شکل ۲. تصاویر NDVI طبقه بندی شده ماه اردیبهشت استان سمنان در دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۵)



شکل ۳. تصاویر NDVI طبقه بندی شده ماه خرداد استان سمنان در دوره آماری (۲۰۱۵-)

(۲۰۰۶)

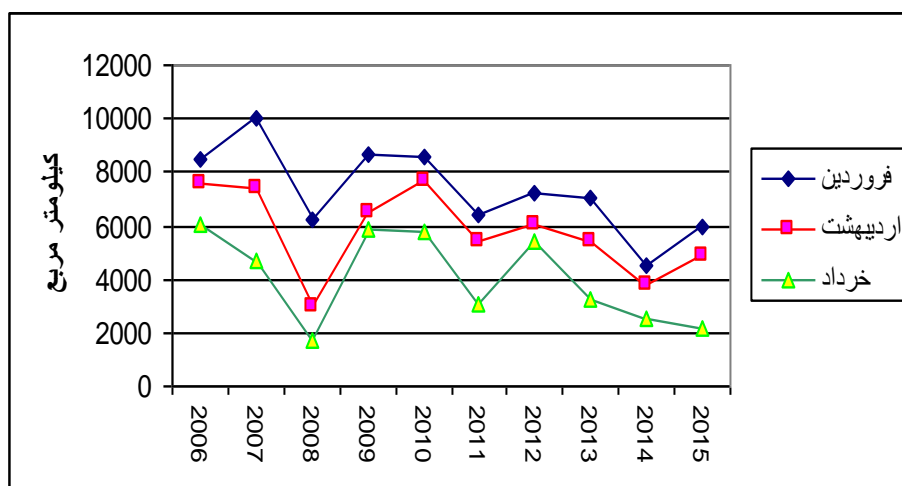
- بررسی شاخص NDVI طبقه فاقد پوشش گیاهی

بررسی شاخص NDVI در ماه فروردین نشان می‌دهد، در طی دوره آماری ۱۰ ساله به طور متوسط ۷۳۱۳/۹ کیلومتر مربع از مساحت استان سمنان را مناطق فاقد پوشش

گیاهی در بر می‌گیرد. کمترین مناطق فاقد پوشش گیاهی مربوط به سال ۲۰۱۴ با ۴۴۷۷/۵۱ کیلومتر مربع و بیشترین مساحت مناطق فاقد پوشش گیاهی با ۱۰۰۳۴/۲۳ کیلومتر مربع مربوط به سال ۲۰۰۷ می‌باشد.

در ماه اردیبهشت متوسط مناطق فاقد پوشش گیاهی ۵۷۶۲/۵۶ کیلومتر مربع است که بالاترین و پائین‌ترین مساحت این مناطق به ترتیب مربوط به سال ۲۰۱۰ با ۷۶۵۰/۲۳ کیلومتر مربع و سال ۲۰۰۸ با ۲۹۶۲/۷۱ کیلومتر مربع است.

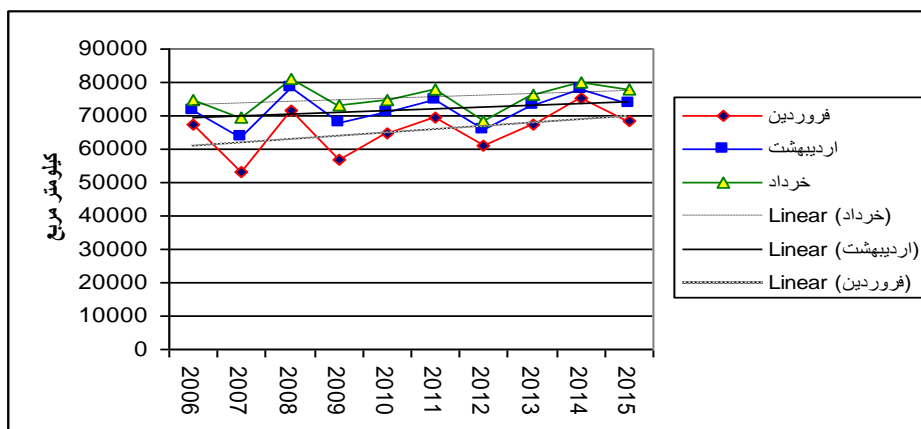
در ماه خرداد نسبت به دو ماه دیگر از متوسط مساحت مناطق فاقد پوشش گیاهی تا حتی کاسته شده است و به ۴۰۵۵/۶ کیلومتر مربع رسیده است. در این ماه سال ۲۰۰۶ با ۶۰۰۷/۸۷ کیلومتر مربع بالاترین و سال ۲۰۰۸ با ۱۷۴۷/۰۷ کیلومتر مربع کمترین مساحت مناطق فاقد پوشش گیاهی را در بر می‌گیرد. بر اساس نمودار شماره (۳) سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ از مساحت مناطق فاقد پوشش گیاهی در سه ماه فصل بهار کاسته شده و در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ بر مساحت این مناطق افزوده شده است.



نمودار ۳. وسعت مناطق فاقد پوشش گیاهی استان سمنان بر اساس شاخص NDVI

- بررسی شاخص NDVI طبقه با مناطق پوشش گیاهی تنگ

با بررسی شاخص NDVI در سه ماه فصل بهار، متوسط مناطق پوشش گیاهی تنگ در طی دوره آماری ۱۰ ساله به ترتیب برابر با $۶۵۵۰۱/۳$ ، $۷۱۷۳۷/۴۶$ ، $۷۵۴۳۰/۵۹$ کیلومتر مربع مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد است. بر اساس نمودار شماره (۴)، به طور کلی کمترین مناطق با پوشش گیاهی تنگ مربوط به ماه فروردین و بیشترین آن متعلق به ماه خرداد است. با توجه روند معنی‌داری بین داده‌ها، در طی سال‌های اخیر در هر ۳ ماه بر مساحت مناطق پوشش گیاهی افزوده شده است.

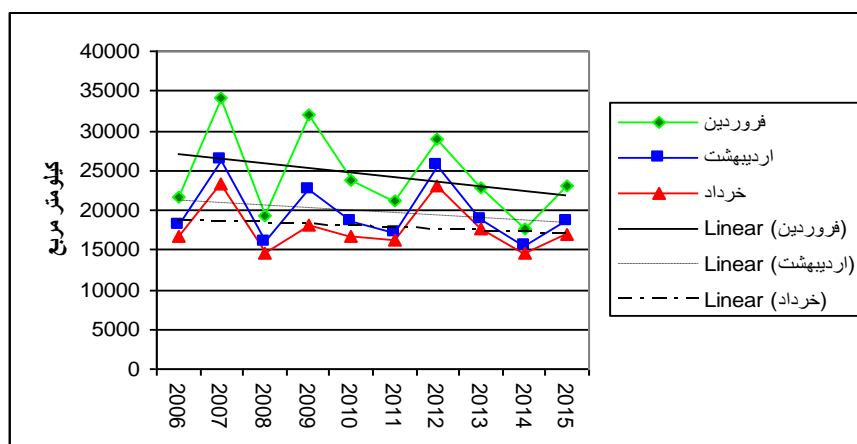


نمودار ۴. وسعت مناطق پوشش گیاهی تنگ استان سمنان بر اساس شاخص NDVI

- بررسی شاخص NDVI طبقه با مناطق پوشش گیاهی نیمه متراکم

بر اساس نتایج NDVI سه ماه فصل بهار، متوسط وسعت مناطق پوشش گیاهی نیمه متراکم در فروردین ماه برابر $۲۴۴۵۷/۹۷$ کیلومتر مربع، در اردیبهشت ماه برابر با $۱۹۷۶۶/۱۹$ کیلومتر مربع و در خرداد برابر با $۱۷۸۳۶/۵۷$ کیلومتر مربع است. بنابراین از فروردین ماه تا خرداد از وسعت این مناطق کاسته می‌شود. همچنین با توجه به نمودار شماره (۵) وسعت مناطق پوشش گیاهی نیمه متراکم در سه ماه فصل بهار، دارای یک روند نزولی در طی ۱۰ سال اخیر است و شدت روند کاهشی این مناطق در ماه فروردین

از دیگر ماه‌ها بیشتر است. بنابراین با توجه به نتایج نمودار مناطق با پوشش گیاهی تنگ (نمودار شماره ۴) و نتایج نمودار مناطق با پوشش گیاهی نیمه متراکم (نمودار شماره ۵) و همچنین تصاویر شکل‌های شماره (۱ تا ۳)، می‌توان این گونه نتیجه گرفت که روند خشکی زائی (بیابان‌زائی) در استان سمنان به گونه‌ای است که از مساحت مناطق با پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و بر مساحت مناطق با پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. به عبارت دیگر اقلیم این مناطق از نیمه خشک به خشک در حال تبدیل شدن است.



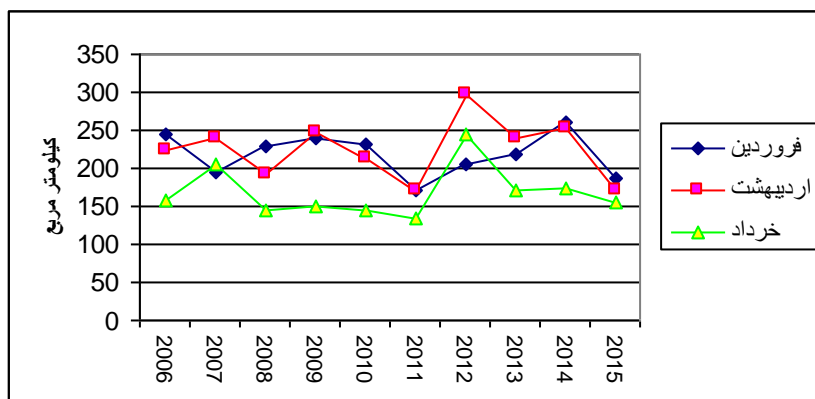
نمودار ۵. وسعت مناطق پوشش گیاهی نیمه متراکم استان سمنان بر اساس

شاخص NDVI

- بررسی شاخص NDVI طبقه با مناطق پوشش گیاهی بسیار متراکم

بر اساس محاسبات شاخص NDVI وسعت این طبقه پوشش گیاهی در مقایسه با مساحت استان سمنان بسیار ناچیز است، به طوری که متوسط وسعت این مناطق در فروردین ماه برابر با ۲۱۸/۲۶ کیلومتر مربع، اردیبهشت ماه برابر با ۲۲۴/۵۸ کیلومتر مربع و خرداد ماه برابر با ۱۶۸/۷۱ کیلومتر مربع است. میزان وسعت این مناطق در فروردین ماه از ۱۷۰/۷ تا ۲۶۱ کیلومتر مربع، در اردیبهشت از ۱۶۹/۹ تا ۲۹۶/۳ کیلومتر مربع و در

نهایت در خرداد ماه از ۱۳۴/۹ تا ۲۴۴/۳ کیلومتر مربع در طی ۱۰ سال اخیر در نوسان بوده است (نمودار شماره ۶).



نمودار ۶. وسعت مناطق پوشش گیاهی بسیار متراکم استان سمنان بر اساس

شاخص NDVI

- مقایسه بین NDVI و مقدار SPI

بر اساس نمودارهای شماره (۵)، (۴)، (۲)، (۱)، رابطه بین NDVI و مقدار SPI و بارش بر افتادۀ بین طبقات پوشش گیاهی تنگ و نیمه متراکم از یک رابطه مستقیم معکوس برخوردار است. بدین صورت که در تمامی ماه‌ها (فروردین، اردیبهشت، خرداد) در طبقه پوشش گیاهی تنگ با افزایش مقدار بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ کاسته می‌شود و در عوض بر وسعت پوشش گیاهی طبقه نیمه متراکم افزوده می‌شود و بر عکس با کاهش بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و در عوض بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود.

بنابراین در زمان‌های وقوع خشکسالی از وسعت طبقه نیمه متراکم کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. از این رو با توجه به وسعت زیاد این دو طبقه پوشش گیاهی (تنگ ۷۰۸۸۹۷/۷۸ کیلومتر مربع) (نیمه متراکم ۲۰۶۸۶/۹۱ کیلومتر مربع)

که ۹۳ درصد وسعت استان را بخود اختصاص داده اند، خشکسالی در منطقه باعث ایجاد صدمات جبران ناپذیری می‌گردد. بنابراین روند خشکی زائی (بیابان زائی) در منطقه به گونه‌ای است که از وسعت طبقه پوشش گیاهی خوب کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی ضعیف افزوده می‌شود و در نهایت تکرار این عمل بر گسترش بیابان‌ها در منطقه کمک می‌کند.

برای اطمینان از وجود رابطه، بین مقدار NDVI طبقه پوشش گیاهی تنگ و نیمه متراکم و میانگین سالانه SPI از همبستگی پیرسون استفاده شد که معادله رگرسیونی هر کدام از ماه‌ها برای دو طبقه پوشش گیاهی تنگ و نیمه متراکم به شرح ذیل است.

جدول ۳. رابطه رگرسیونی بین مقدار SPI و NDVI طبقه پوشش گیاهی تنگ و نیمه

متراکم (در رابطه‌ها Y برابر با سطح پوشش گیاهی و X برابر با مقدار SPI است)

ماه	پوشش گیاهی تنگ (با کاهش SPI سطح پوشش گیاهی افزایش می‌یابد)	پوشش گیاهی نیمه متراکم (با کاهش SPI سطح پوشش گیاهی کاهش می‌یابد)
فروردین	$Y = -5152.7X + 62040$ $R = 0/71$	$Y = 3356.3X + 25329$ $R = 0/67$
اردیبهشت	$Y = -4022.8X + 70068$ $R = 0/76$	$Y = 2561.1X + 20743$ $R = 0/66$
خرداد	$Y = -2841.2X + 74604$ $R = 0/76$	$Y = 1956.3X + 18335$ $R = 0/74$

در سطح منطقه با کاهش مقدار SPI، مقدار NDVI وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم کاهش و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. بنابراین در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد با مقدار کاهش SPI، ۰/۵- مقدار افزایش سطح پوشش گیاهی تنگ به ترتیب ماه‌ها حدود ۲۵۷۶/۳۵، ۲۰۱۱/۴، ۱۴۲۰/۶ کیلومتر مربع است و در عوض مقدار کاهش سطح پوشش گیاهی نیمه متراکم برابر ۱۶۷۸/۲، ۱۲۸۰/۵۵، ۹۷۸/۱۵ کیلومتر مربع در هر یک از ماه‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

خشکسالی، یک عارضه طبیعی غیرقابل پیش‌بینی است که منشاء آن نقصان بارندگی در یک منطقه است. در میان سوانح طبیعی، خشکسالی به عنوان بلای طبیعی با خسارات‌های سنگین و تأثیرگذار بر زندگی مردم شناخته می‌شود. تحلیل خشکسالی و پارامترهای متأثر از آن با استفاده از اطلاعات سنجش از دور توانمندی بالایی برای بهبود دانش علمی در مورد خصوصیات خشکسالی و تأثیرات این پدیده بر روی پوشش گیاهی دارد.

محاسبه شاخص بارش استاندارد در استان سمنان نشان داد که در ایستگاه سمنان در مقیاس سالانه بیشترین میزان خشکسالی در سال ۲۰۰۸ با میانگین SPI، $-2/08$ (خشکسالی فوق‌العاده شدید) اتفاق افتاده است و در مقیاس فصلی (فصل بهار) شدیدترین خشکسالی‌ها به ترتیب متعلق به سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ با مقدار SPI، $-1/58$ (خشکسالی شدید) و $-1/45$ (خشکسالی متوسط) است.

بر اساس نتایج حاصل از شاخص NDVI بر طبقات پوشش گیاهی منطقه در فصل بهار می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر واکنش خشکسالی بر طبقات پوشش گیاهی نیمه متراکم و تنگ می‌باشد و رابطه بین NDVI و مقدار SPI و بارش اتفاق افتاده بین طبقات پوشش گیاهی تنگ و نیمه متراکم دارای رابطه مستقیم معکوس است. بدین صورت که در تمامی ماه‌ها (فروردین، اردیبهشت، خرداد) در طبقه پوشش گیاهی تنگ با افزایش مقدار بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ کاسته می‌شود و در عوض بر وسعت پوشش گیاهی طبقه نیمه متراکم افزوده می‌گردد، بر عکس با کاهش بارش و مقدار SPI از وسعت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و در عوض بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود.

بنابراین در زمان‌های وقوع خشکسالی از وسعت طبقه نیمه متراکم کاسته شده و بر وسعت طبقه پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. از این رو با توجه به وسعت زیاد این دو طبقه پوشش گیاهی (تنگ $708897/78$ کیلومتر مربع) (نیمه متراکم $20686/91$ کیلومتر

مربع) که ۹۳ درصد وسعت استان را به خود اختصاص داده‌اند، خشکسالی می‌تواند در منطقه باعث ایجاد صدمات جبران ناپذیری گردد. بنابراین روند خشکی زائی (بیابان‌زائی) در استان سمنان به گونه‌ای است که از مساحت مناطق با پوشش گیاهی نیمه متراکم کاسته شده و بر مساحت مناطق با پوشش گیاهی تنگ افزوده می‌شود. به عبارت دیگر اقلیم این مناطق از نیمه خشک به خشک در حال تبدیل شدن است و در نهایت با تکرار این عمل بر گسترش بیابان‌ها در منطقه کمک می‌کند.

منابع

- ابراهیم زاده، سجاد. بذرافشان، جواد. قربانی، خلیل، (۲۰۱۳)، امکان سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای خشکسالی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)، مجله هواشناسی کشاورزی، جلد ۱، شماره ۱، کرمان، صص ۳۷-۴۸.
- با عقیده، محمد، (۲۰۰۷)، بررسی و پایش خشکسالی‌های استان اصفهان با استفاده از تصاویر چند زمانه‌ای NOAA، بهلول علیجانی، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت معلم. گروه جغرافیای طبیعی، تهران.
- ثنایی نژاد، سید حسین. خجسته، سارا. هاشمی نیا، سید مجید، (۲۰۰۹)، بررسی و برآورد نقش عوامل اقلیمی بر NDVI گندم با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در منطقه عمومی شهرستان مشهد، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۷، شماره ۱، مشهد، صص ۳۱-۳۹.
- جلیلی، شیدا. مرید، سعید. ضیائیان، پرویز، (۲۰۰۸)، مقایسه شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی‌ها، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۳۹، شماره ۱، تهران، صص ۱۴۹-۱۴۱.
- حجازی‌زاده، زهرا. جوی‌زاده، سعید، (۲۰۱۱)، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، انتشارات سمت. چاپ اول، تهران، ص ۲۲۸.

فرح زاده، منوچهر. کریمی، نعمت‌الله، (۲۰۱۳)، مبانی هواشناسی ماهواره‌ای، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران، صص ۷۵.

کیخسروی، قاسم. میرزائی، سهام، (۲۰۱۶)، کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات پیام مولف، چاپ اول، تهران، صص ۱۲۰-۱۱۸.

مختاری، احمد. فیض‌نیا، سادات. احمدی، حسن. خواجه‌الدین، سیدجمال. رهنما، فیض‌اله، (۲۰۰۰)، کاربرد سنجش از دور در تهیه لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی و پوشش سطح زمین در مدل فرسایش خاک MPSIAC. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۴۶. تهران، صص ۸۷-۸۲.

یمانی، مجتبی. مزیدی، احمد، (۲۰۰۸)، بررسی تغییرات سطح و پوشش گیاهی کویر سیاه‌کوه با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تهران، صص ۱۲-۱.

Adamchuk, V., Perk, R., Schepers, J., 2004, Application of remote sensing in site-specific management, Institute of agriculture and natural resources, University of Nebraska Cooperative Extension Precision Agriculture EC 04-702 .

Funk, C., Budd, M. E., 2009, Phenologically- Tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe, Remote Sensing of Environment, 113.

Gouveia, C., Trigo, R. M., Dacamra, C., 2009, Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data, Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 9.

Huete, A., 2004, Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring: Manual of remote sensing 3 ed, Vol 4, University of Arizona.

Liu, C. L., Wu, J. J., 2008, Crop drought monitoring using MODIS NDVI over Mid-Territory of China, International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

Matsushita, B., Wei, Y., Jin, C., Yuyichi, O., Guoyn, Q., 2007, Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density Cypress forest, Sensors, www.mdpi.org, sensors, 72-88.

Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C., Stenseth, N.C., 2005, Using the satellite-derived NDVI to assess ecological

- responses to environmental change, Trends in ecology and evolution, Vol20, No^{۹-۱۰}.
- Sharma, A., 2006, Spatial data mining for drought monitoring: An approach using temporal NDVI and relationship, Thesis Geo- Information Science and Earth Observation, India.
- Vicente-Serrano. SM., Cuadrat-Prats, JM., Romo. A.,2006, Early prediction of crop production using drought indices at different time-scales and remote sensing data: application in the Ebro valley (North-East Spain), International Journal of Remotr Sensing, 27(3).
- Wang. Q., Watanabe. M., Hayashi, S., Murakami. Sh., 2003, Using NOAA AVHRR data to assess flood damage in China, Environ, Monit, Assess 82,119-148.
- Rondeaux. G., M. Steven., Baret. F., 1996, Optimization of soil-adjusted vegetation indices, Remote Sensing of Environment, 55,98-107.