



مجله علمی پژوهشی در زمینه علوم آب و هوا

نشریه مرتعداری

سال دوم، شماره اول، ۱۳۹۴

<http://jrm.gau.ac.ir>

مطالعه اثر خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در اراضی مرتعی و کشاورزی بر مبنای داده‌های میدانی و ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنوب استان همدان)

احمد اسدی می‌آبادی^۱، * داود اختری^۲، حمید نوری^۲ و محمد بشیر گنبد^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتعداری، دانشگاه ملایر، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ملایر،

^۲ مربی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۹

چکیده

تأثیر خشکسالی می‌تواند به صورت کاهش منابع آب، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در پوشش گیاهی اراضی مرتعی منطقه و تسریع در بیابان‌زایی باشد. برای مطالعه و پایش خشکسالی نیاز به کمی‌سازی اثرات آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص‌ها بر اساس نوع داده‌های قابل دسترسی به دو دسته زمینی و ماهواره‌ای تقسیم می‌شوند. هدف این مطالعه، مقایسه توان تشخیص و گروه‌بندی تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی بر اثر خشکسالی بین یک شاخص خشکسالی زمینی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و چهار شاخص ماهواره‌ای استخراج شده از تصاویر لندست TM: شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (WSVI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI) و شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI) در جنوب استان همدان است. به این منظور شاخص‌های ذکر شده از روی تصاویر استخراج شد و همبستگی پیرسون بین آن‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که بهترین پاسخ به خشکسالی در سال‌های مورد بررسی با شاخص VDI به دست می‌آید. کم‌ترین تطابق در سال‌های مورد مطالعه با شاخص TCI است. با توجه به این که تصاویر ماهواره‌ای نسبت به روش‌های هواشناسی دارای مزایایی همچون سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کم‌تر هستند، استفاده از دانش سنجنش‌زدور پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص‌های ماهواره‌ای، شاخص بارش استاندارد شده، جنوب استان همدان

* مسئول مکاتبه: d_akhzari@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی یک فاجعه زیست‌محیطی است که شامل یک دوره پیوسته و پایدار (از چند ماه تا چندین سال) است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود (ویاس و همکاران، ۲۰۱۵). خشکسالی را به‌عنوان یک پدیده، می‌توان بخشی از اقلیم هر منطقه از سطح کره زمین محسوب کرد. این پدیده به‌کندی شروع شده و دارای ماهیتی پنهانی است. آثار پدیده خشکسالی بر 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، پدیده‌ی مخرب خشکسالی را به‌موقع هشداردهی نمود (میرموسوی و کریمی، ۲۰۱۳). برای ارزیابی خشکسالی می‌توان از شاخص‌های هواشناسی مختلف مبتنی بر آمار مشاهده‌ای باران، تبخیر و تعرق پتانسیل و رطوبت خاک استفاده کرد. در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی، بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است که این روش‌ها به‌علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت نقطه‌ای و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به‌خصوص در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود آورده‌اند (متکان و همکاران، ۲۰۱۱). در چهار دهه اخیر، سنجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به‌صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطحی زمین (LST)، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است که از آن جمله می‌توان به شاخص تأمین آب پوشش گیاهی^۱ (WSVI) (کلارسون و همکاران، ۱۹۹۴)، شاخص شرایط پوشش گیاهی^۲ (VCI) (کوگان، ۱۹۹۵) و شاخص خشکسالی پوشش گیاهی^۳ (VDI) اشاره نمود (متکان و همکاران، ۲۰۱۱).

بویان و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه اروالی هند، خشکسالی را با به‌کارگیری شاخص‌های NDVI، TCI و VHI حاصل از ماهواره NOAA-AVHRR در مقایسه با شاخص‌های آماری SPI و SWI حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد مطالعه قراردادند. در این مطالعه ضریب همبستگی بالایی بین VCI و TCI با میزان بارندگی ماهانه مشاهده نشد. سرجیو و ویسته (۲۰۰۷) از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۴، شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و VCI استخراج شده از

1- Water Supplying Vegetation Index

2- Vegetation Condition Index

3- Vegetation Dryness Index

4- Standardized Precipitation Index

تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷، برای بررسی اثر خشکسالی روی فعالیت‌های پوشش گیاهی در یک منطقه نیمه‌خشک، واقع در شمال شرقی شبه‌جزیره ایبری^۱ استفاده کرد. او نشان داد که اثر خشکسالی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، متفاوت بوده و به نوع پوشش اراضی و مکان رویش آن‌ها بستگی دارد. در ایران نیز مطالعات زیادی در زمینه خشکسالی انجام شده است که بیش‌تر آن‌ها از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، مانند SPI و بر اساس داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنج زمینی بوده است. استفاده از سنجش از دور (داده‌های ماهواره‌ای) در پایش خشکسالی، در شمار اندکی از پژوهش‌های اخیر دیده می‌شود. رحیم‌زاده (۲۰۰۵) قابلیت داده‌های سنجنده AVHRR را در برآورد خشکسالی با دو شاخص NDVI و VCI مورد بررسی قرار داد. نتایج نشانگر همبستگی بالا بین شاخص VCI و مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک بود. مطالعات نشان می‌دهد که شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیر همگون‌اند، نشان می‌دهد (تنکابایل و همکاران، ۲۰۰۴). جهانبخش و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی دشت سراب و تحلیل دو دوره خشکسالی و ترسالی پرداختند. در این مطالعه از تصاویر سنجنده ETM+ و ماهواره‌ی SPOT و شاخص‌های NDVI، SPI و شاخص VHI استفاده شده است. نتایج نشانگر بالا بودن تغییرات وضعیت سلامت پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق تحت کشت دیم بوده است. شمسی‌پور و همکاران (۲۰۱۰) به ردیابی و تحلیل خشکسالی با شاخص‌های NDVI، VCI و VHI در منطقه بیابانی و خشک کاشان پرداختند. با توجه به نتایج، بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور در مطالعه محیطی مناطق خشک و بیابانی توصیه می‌شود.

رضایی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۲) کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از شاخص‌های SPI، TCI و VCI استفاده شده است. با توجه به نتایج، شاخص VCI و سنجنده MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشند. ابراهیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و زمینی در استان کرمانشاه به مقایسه شاخص SPI و چهار شاخص استخراج شده از تصاویر AVHRR-NOAA (شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص شرایط دمایی (TCI)، شاخص نمایه نسبت پوشش گیاهی

1- Iberian Peninsula

(RVI)، شاخص استاندارد شده گیاهی (SVI) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل بردار تغییر (CVA) پرداختند. نتایج نشان داد بهترین پاسخ به خشکسالی در سال‌های مورد بررسی با شاخص SVI به دست می‌آید و کم‌ترین تطابق SPI در سال‌های نرمال و تر با شاخص TCI است. عرفانیان و همکاران (۲۰۱۴) برای نخستین بار نقشه‌ی ریسک خشکسالی از طریق ترکیب نقشه‌های شاخص هواشناسی SPI (مبتنی بر داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM) و نقشه آنومالی NDVI (مبتنی بر داده‌های ماهانه سنجنده MODIS ماهواره Terra)، برای فصل رشد گیاهان (اردیبهشت- خرداد) استان فارس را در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰، تهیه نمودند. نتایج پژوهش بیانگر انطباق قابل قبول نقشه‌های SPI داده‌های زمینی و SPI مبتنی بر داده‌های TRMM بوده است.

مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص‌ها از نظر صحت داده‌ها با شرایط گیاه و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. علاوه بر این، اغلب این مطالعات در مناطق با بارش حدود نرمال صورت گرفته است. با توجه به شرایط خاص آب و هوایی ایران و شرایط اقلیمی مناطق خشک، نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از روال‌ها و شاخص‌های معمول استفاده نموده و نتایج مشابهی را انتظار داشت. از این رو باید رابطه شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در این مناطق مورد مطالعه قرار گیرد. از طرفی نیاز به اندیشیدن راه‌حل علمی برای مقابله با خشکسالی و یافتن راه‌حلی برای کاهش اثرات آن ضروری است، چرا که مسأله خشکسالی و صدمات ناشی از آن به محیط زیست، محدود به منطقه‌ای که در آن اتفاق افتاده است نشده، بلکه در درازمدت و حتی میان‌مدت می‌تواند کل محیط زیست را با خطر روبرو سازد. هدف اصلی از انجام این پژوهش، مقایسه توان تشخیص و گروه‌بندی تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی بر اثر خشکسالی، بین یک شاخص خشکسالی زمینی (شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)) و چهار شاخص ماهواره‌ای استخراج شده از تصاویر لندست TM شامل: شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (WSVI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI)، شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI) و شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI) در جنوب استان همدان است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش جنوب استان همدان با وسعتی حدود ۱۲۹۴۹ کیلومتر مربع است که از سمت شمال به شهرستان‌های کبوترآهنگ و رزن، از سمت جنوب به

استان لرستان، از سمت شرق به استان مرکزی و از سمت غرب به استان‌های کردستان و کرمانشاه محدود شده است. این منطقه در بین مدارهای ۳۴ درجه تا ۳۵ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه طول خاوری قرار گرفته و شامل ۷ شهرستان (ملایر، نهاوند، تویسرکان، بهار، اسدآباد، همدان و فامنین) است.

حداکثر مطلق درجه حرارت هوا در منطقه مورد مطالعه ۸/۳۶ و حداقل مطلق آن ۶/۲۹- و متوسط حرارت آن ۶/۹ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه‌های سال با حداکثر دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، تیر و مرداد است و سردترین ماه‌های سال، با میانگین ۴/۲۵- درجه سانتی‌گراد، دی و بهمن است. میزان سالانه بارندگی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر است که در ماه‌های مختلف سال متغیر است. به طوری که در فروردین حداکثر ۹۵ میلی‌متر، در اردیبهشت ۸۲ میلی‌متر، در خرداد ۸۱ میلی‌متر و در بقیه ماه‌ها نیز به تناسب فصل متغیر است. تیپ غالب پوشش گیاهی در مراتع منطقه مورد مطالعه درمنه-گون است.

داده‌های مورد نیاز: در این پژوهش بعد از آماده‌سازی داده‌ها شاخص بارش استاندارد (SPI)، در پایه زمانی ۸ ماهه (مهر تا اردیبهشت) و در مقیاس ۱۹ ساله با استفاده از نرم‌افزار Drought Index Calculator 1.0 محاسبه گردید. سپس در نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از روش IDW^۱ ناحیه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI انجام شد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت گردد (لید و ساندرس، ۲۰۰۲؛ وو و همکاران، ۲۰۰۷؛ رضیئی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مساعدی و همکاران، ۲۰۰۸؛ میسرا و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویک و هوت، ۲۰۰۹). در حال حاضر شاخص SPI به طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان جهت پایش خشکسالی استفاده می‌شود. این شاخص به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته شده است (ویلهاйт، ۱۹۹۷؛ گوتمن، ۱۹۹۹؛ لید و ساندرس، ۲۰۰۲؛ وو و همکاران، ۲۰۰۵؛ اختری و همکاران، ۲۰۰۶؛ رضیئی و همکاران، ۲۰۰۷؛ تساکیرس و همکاران، ۲۰۰۷؛ میسرا و سینگ، ۲۰۱۰).

گرچه شاخص SPI به طور گسترده به عنوان یک ابزار عمومی رایج برای ارزیابی خشکسالی پذیرفته شده است، ولی دارای محدودیت‌هایی است. از مهم‌ترین محدودیت‌های داده‌های زمینی

1- Inverse Distance Weighted

(شاخص SPI) این است که به صورت نقطه‌ای عمل می‌کنند و پراکندگی ایستگاه‌ها به‌خصوص در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود می‌آورند (متکان و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین در زمینه مطالعه خشکسالی نمی‌توان از نقش داده‌های با ارزشی همچون، تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های گیاهی به دست آمده از آن‌ها به راحتی چشم‌پوشی کرد. این تصاویر به دلیل ارزان بودن، قابل تکرار بودن، به روز بودن و نشان دادن سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی در یک تصویر واحد، قابلیت‌های فراوانی در زمینه پایش خشکسالی دارند. در این مطالعه برای پایش ماهواره‌ای خشکسالی از تصاویر سنجنده TM-5 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد که از درگاه اینترنتی^۱ USGS دانلود گردید. هر سه تصویر دانلود شده مربوط به ماه می^۲ هستند. به همین جهت امکان مقایسه و پایش تغییرات وجود دارد. مشخصات تصاویر و شاخص‌های ماهواره‌ای استخراج شده و فرمول محاسبه آن‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

NDVI، شاخص تفاضل شده پوشش گیاهی است؛ Tb دمای درخشندگی استخراج شده از باند حرارتی است؛ NDVI max و NDVImin در طول یک ماه محاسبه می‌شود و J نمایه ماه موردنظر است؛ BTmax و BTmin، مقادیر کمینه و بیشینه دمای درخشایی است.

تهیه نقشه شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI. جهت طبقه‌بندی خشکسالی، مکی و همکاران (۱۹۹۳) با توجه به شاخص SPI خشکسالی را به ۷ کلاس زیر طبقه‌بندی کردند.

استخراج شاخص سلامت پوشش گیاهی (VCI): این شاخص اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد (تنکابایل و همکاران، ۲۰۰۴). VCI شاخصی است که وضعیت پوشش گیاهی را بر حسب NDVImin و NDVI max برای یک منطقه خاص در درازمدت بیان می‌کند. شرایط پوشش گیاهی زمین توسط شاخص VCI برحسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار این شاخص بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد باشد نشان‌دهنده شرایط مطلوب یا شرایط بالای نرمال است در حالی که اگر VCI به صفر نزدیک شود نشان‌دهنده یک خشکسالی شدید در آن ماه است (تنکابایل و همکاران، ۲۰۰۴).

استخراج شاخص (TCI): شاخص TCI را نیز کوگان در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد کرد و الگوریتم محاسباتی آن شبیه VCI است؛ ولی معادله آن برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است که هرچه حرارت بیش‌تر باشد، میزان شدت خشکسالی نیز بیش‌تر است. شاخص TCI بر مبنای دمای درخشایی است و انحراف مقادیر سال جاری را از مقادیر بیشینه ثبت شده نشان می‌دهد:

1- <http://earthexplorer.usgs.gov>

2- MAY

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT_i}{BT_{max} - BT_{min}} \times 100$$

که در آن، BT_{max} و BT_{min} ، مقادیر کمینه و بیشینه دمای درخشایی و i نشان‌دهنده سال جاری است.

استخراج شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (WSVI): در این روش فرض اساسی این است که رشد گیاه به آب قابل‌دسترس گیاه بستگی دارد و همچنین تبخیر نیز بر این آب تأثیر مستقیم دارد. در دماهای بالا این روش نتایج مناسبی را ارائه می‌کند. در زمان‌های خشکسالی پوشش گیاهی یا تاج پوشش کم شده و در نتیجه دمای سطح زمین بالا رفته و طبق فرمول زیر شاخص تأمین آب پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (طاهرزاده، ۲۰۰۶).

$$WSVI = \frac{NDVI}{Tb}$$

استخراج شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI): این شاخص بر اساس تغییرات درازمدت شاخص تأمین آب پوشش گیاهی به‌دست می‌آید. معمولاً از این روش جهت پیش‌بینی خشکسالی استفاده می‌شود. همانند شاخص تأمین آب پوشش گیاهی، این شاخص نیز بر کم بودن آب گیاهان تأکید می‌کند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

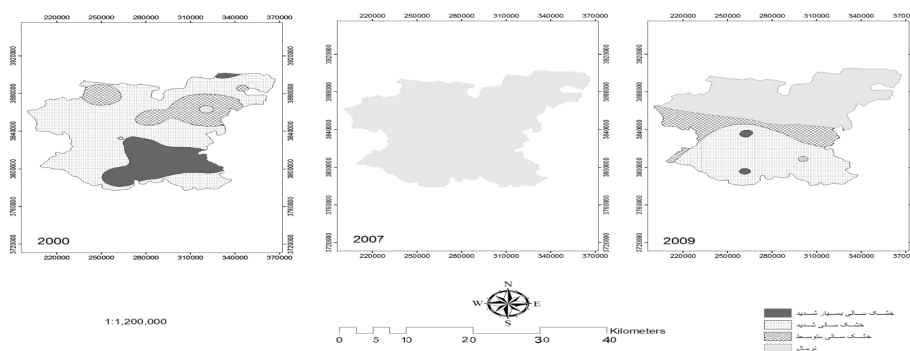
$$VDI = \frac{100(WSVI - WSVI_{min})}{WSVI_{max} - WSVI_{min}} \times 100$$

شاخص تأمین آب پوشش گیاهی: شاخص تأمین آب پوشش گیاهی، مقدار شاخص تأمین آب پوشش گیاهی در هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای است. $WSVI_{min}$ ، حداقل مقدار شاخص تأمین آب پوشش گیاهی در تصویر و $WSVI_{max}$ ، حداکثر مقدار شاخص تأمین آب پوشش گیاهی در تصویر مورد بررسی است (طاهرزاده، ۲۰۰۶).

برای ارزیابی کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای $WSVI$ ، TCI ، VDI و VCI در نرم‌افزار ARCGIS مقادیر این شاخص‌ها در ۱۳ ایستگاه نام‌برده در سال‌های موردبررسی از روی نقشه‌ها استخراج شد. سپس بین این مقادیر و مقادیر شاخص SPI در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ در نرم‌افزار SPSS همبستگی پیرسون برقرار شد و نتایج به‌دست آمد.

نتایج

با توجه به تأکید این پژوهش بر فن سنجش از دور، ابتدا شاخص SPI برای منطقه مورد مطالعه در سه بازه زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ محاسبه شد و سپس نقشه‌های آن تهیه گردید. شکل ۱، نقشه‌های شدت خشکسالی سال‌های مختلف بر اساس شاخص SPI داده‌های زمینی را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۰۷ شرایط نرمال بوده اما سال ۲۰۰۰ به سه ناحیه خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید و خشکسالی متوسط تقسیم می‌شود و سال ۲۰۰۹ شامل ۴ ناحیه خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط و نرمال است.



شکل ۱- نقشه‌های شدت خشکسالی سال‌های مختلف بر اساس شاخص SPI داده‌های زمینی.

در ادامه شاخص‌های خشکسالی VCI، TCI، WSVI و VDI از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و نقشه‌های آن طی سال‌های مورد بررسی تهیه شد. در شاخص‌های خشکسالی پوشش گیاهی (VDI) و شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI) هر چه ارزش پیکسل‌ها به صفر نزدیک شود انعکاس‌دهنده خشکسالی شدیدتر است و هرچه این ارزش به ۱۰۰ نزدیک شود نشانه شرایط نرمال بودن است. با توجه به تصاویر ملاحظه می‌شود که در سال ۲۰۰۷ شرایط بهینه است و ارزش پیکسل‌ها به ۱۰۰ نزدیک می‌شود و در بین سه تصویر برای هر دو شاخص شرایط خشکسالی و خشکی وجود ندارد، اما با توجه به تصاویر سال ۲۰۰۹ شرایط بهینه کم‌تر از سال ۲۰۰۰ بوده و شرایط حادث‌تر است. همچنین در بررسی‌های شاخص TCI نشان می‌دهد که در هر سه سال ارزش تصاویر بیش‌تر از ۴۰ است، در نتیجه این شاخص برای منطقه مورد مطالعه عدم خشکسالی را بیان می‌کند.

با توجه به این که در شاخص تأمین آب پوشش گیاهی (WSVI) هرچه پوشش گیاهی کم‌تر باشد، مقدار دمای سطحی زمین بالا رفته و در نتیجه مقدار شاخص تأمین آب پوشش گیاهی کاهش می‌یابد و نیز با توجه به آستانه مشخص شده در هر تصویر، نتایج نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۰ با توجه به این که بالاترین ارزش آن کم‌تر از بالاترین ارزش دو تصویر ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ است، می‌توان نتیجه گرفت که سال ۲۰۰۰ دارای دمای بیش‌تر و پوشش گیاهی کم‌تر است و از آنجایی که سال ۲۰۰۷ دارای ارزش بیش‌تری است، در نتیجه سال ۲۰۰۷ دارای دمای کم‌تر و پوشش گیاهی بهتر است.

سپس همبستگی این شاخص‌ها با شاخص SPI محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده از شاخص SPI و همچنین مقادیر استخراج شده از شاخص‌های WSVI، TCI، VDI و VCI در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ در ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد. با توجه به مقادیر به دست آمده ضریب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص WSVI در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب برابر ۰/۵۷، ۰/۵۸ و ۰/۰۶، بین شاخص SPI و TCI در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب برابر ۰/۰۵، ۰/۳۸، ۰/۰۶، بین شاخص SPI و VDI در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب برابر ۰/۹۲، ۰/۷ و ۰/۹۳ و ضریب همبستگی بین شاخص SPI و VCI در سال‌های مذکور به ترتیب برابر ۰/۸۲، ۰/۶۵ و ۰/۷۶ به دست آمد، سطح معناداری نیز برای شاخص‌های VDI و VCI برابر ۰/۰۱ و برای شاخص WSVI برابر ۰/۰۵ بوده ولی برای شاخص TCI قابل قبول نیست. بنابراین از بین شاخص‌های مذکور شاخص VDI همبستگی بیش‌تری را با شاخص SPI داشته و نتایج آن قابل اعتمادتر از سایر شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش است.

بحث و نتیجه‌گیری

خصوصیات داده‌های سنجش از دور مانند قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، پوشش وسیع مناطق مورد مطالعه و امکان بررسی مستقیم وضعیت گیاه به وسیله شاخص‌های ماهواره‌ای باعث شده، تلاش‌های زیادی برای مدل‌سازی خشکسالی با این تکنولوژی صورت گیرد. به دلیل مقادیر اندک بارش و پراکندگی گسترده مکانی و زمانی بارش در مناطق خشک، استفاده از بارش نمی‌تواند برای بررسی دقیق خشکسالی به کار گرفته شود. در این پژوهش کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای در تحلیل خشکسالی جنوب استان همدان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش می‌تواند برای مدیریت خطر خشکسالی در طرح‌های وزارت جهاد کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک مفید باشد. جهت پایش

خشکسالی ماهواره‌ای از شاخص‌های VCI، VDI، TCI و WSVI بهره گرفته شد. نتایج شاخص‌های VDI و VCI نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۷ دارای شرایط بهینه است و شرایط خشکسالی و خشکی در بین سال‌های مورد بررسی وجود ندارد. اما با توجه به تصاویر سال ۲۰۰۹، شرایط بهینه کم‌تر از سال ۲۰۰۰ بوده و شرایط حادث‌تر است. نتایج شاخص WSVI نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۰ دارای دمای بیش‌تر و پوشش گیاهی کم‌تر است و از آن‌جا که سال ۲۰۰۷ دارای ارزش بیش‌تری است، پس در نتیجه سال ۲۰۰۷ دارای دمای کم‌تر و پوشش گیاهی بهتر است. این شاخص نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۰ دارای شرایط حادث‌تری است. همچنین نتایج شاخص TCI برای منطقه مورد مطالعه عدم خشکسالی را بیان می‌کند. همان‌گونه که دیده می‌شود، نتایج شاخص‌ها متفاوت است. بنابراین باید از یک معیار برای ارزیابی کارایی این شاخص‌ها استفاده می‌شود. شاخص SPI در مقیاس زمانی ۸ ماهه به‌عنوان معیار برگزیده شد. با توجه به نتایج حاصل از همبستگی‌ها، مشخص شد که شاخص VDI همبستگی بیش‌تری را با شاخص SPI داشته و نتایج آن قابل اعتمادتر از سایر شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش است. از طرفی با توجه به همبستگی بالای به‌دست آمده بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از توانایی بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردارند و همبستگی بالایی بین آن‌ها در پایه‌های زمانی متفاوت و شرایط مکانی و زمانی متفاوت می‌تواند وجود داشته باشد. نتایج پژوهش‌های پژوهشگرانی چون شمسی‌پور (۲۰۱۰)، میرموسوی و کریمی (۲۰۱۳)، ابراهیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) و عرفانیان و همکاران (۲۰۱۴) این مطلب را تأیید می‌نمایند. همچنین نتایج برآمده از این بررسی نشان می‌دهد که شاخص VCI همبستگی بالایی با شاخص SPI دارد که با نتایج رحیم‌زاده (۲۰۰۵) و رضایی‌مقدم (۲۰۱۲) همسو است. در این مطالعه ضریب همبستگی بالایی بین TCI با شاخص SPI مشاهده نشد که با نتایج رضایی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۲)، بویان و همکاران (۲۰۰۶) و ابراهیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. با توجه به مطالعات انجام‌شده در زمینه پایش خشکسالی می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، منطقه‌ای و وابسته به زمان و مکان مورد مطالعه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شاخص TCI توانست روند خشکسالی را در منطقه مورد مطالعه به‌خوبی تشخیص دهد اما دلیل بر عدم کارایی این شاخص نیست. همان‌طور که ذکر شد این شاخص‌ها منطقه‌ای عمل می‌کنند و در مناطق مختلف نتایج متفاوتی دارند. پیشنهاد می‌شود جهت مطالعه جامع‌تر ضمن بررسی در دوره‌های زمانی بیش‌تر از تصاویر با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالاتری برای مطالعات آینده استفاده گردد.

منابع

1. Akhtari, R., Mehdian, M.H., and Morid, S. 2006. Spatial analysis of EDI and SPI indices in Tehran Province, Iran. *Water Resources Research*. 2: 3. 38-27. (In Persian)
2. 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. *Inter. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 8: 289-30.
3. Carlson, T.N., Gillies, R., and Perry, E.M. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurement to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing Environmen.* 9: 161-173.
4. Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J., and Ghorbani, K.H. 2013. Comparative study of drought index based on satellite data and ground-based techniques using vector analysis (case study: Kermanshah Proninve). *J. Soil Water (Agricultural Science and Technology)*. 27: 5. 1045-1034. (In Persian)
5. Erfanian, M., Vafaie, N., and Rezaeian, Z. 2014. Offering a new approach to drought risk assessment of Fars Province by use of monthly rainfall data of TRMM satellite data and vegetation index of Terra / MODIS. *Physical Geography Research Quarterly*. 46: 1. 108-193. (In Persian)
6. Guttman, N.B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 35: 311-322.
7. Jahanbakhsh, A., Sarraf, S.S., Khorshiddoust, B., and Rostamzadeh, A.M. 2009. Assessment and analysis of vegetation change in Sarab Plain in drought and wet years. *J. Geograph.* 23: 132-117. (In Persian)
8. Kogan, F.N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 76: 655-668.
9. Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *Inter. J. Climatol.* 22: 1571-1592.
10. Matkan, A.A., Darvishzadeh, R., Hosseiniasl, A., Ebrahimi, M., and Ebrahimi, Z. 2011. Drought risk zoning in arid regions using basic knowledge method with GIS software (Case study: Shitor Watershed, Yazd Province). *J. Climatol.* 2: 5-6. 103-116. (In Persian)
11. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, Pp: 179-184.
12. Mir-Mousavi, H., and Karimi, H. 2013. Effects of drought on vegetation cover using Landsat MODIS images. *J. Geograph. Dev.* 31: 76-57. (In Persian)
13. Mishra A.K., and Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* 391: 202-216.
14. Mishra, A.K., Singh, V.P., and Desai, V.R. 2009. Drought characterization: a probabilistic approach. *Stochastic Environ Research Risk Assess.* 23: 41-55.

15. Mosaedi, A., Khalilzadeh, M., and Ostad, M. 2008. Monitoring drought in Golestan province, *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 2. 176-182. (In Persian)
16. Rahimzadeh, P. 2005. The possibility of using NOAA-AVHRR images to monitor drought. M.Sc. thesis, Tehran University. Faculty of Environment. (In Persian)
17. Razyie, T., Danesh Kararasteh, P., and Akhtari, R. 2007. Monitoring climate drought in Sistan and Baluchestan using the SPI and the floor snake chain. *J. Res. Water Resour. Iran.* 3: 1. 35-25. (In Persian)
18. Rezaei-Moghaddam, M., Valizadeh, K., Rostamzadeh, K.H., and Rezaei, A. 2012. Evaluate the performance of MODIS data for estimating drought (Case study: the catchment basin of the lake). *J. Geograph. Environ. Sust.* 5: 52-37. (In Persian)
19. Sergio, M., and Vicente, S. 2007. Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi arid Region. *Natural Hazards.* 40: 1. 173-208.
20. Shamsipour, A.A., Alavi-Panah, K., and Mohammadi, M. 2010. Study the efficiency of thermal and vegetation indices NOAA-AVHRR Satellite for drought assessment of Kashan province. *Iran. J. Range Des. Res.* 17: 3. 465-445. (In Persian)
21. Taherzadeh, A., and Ziaei, P. 2006. Drought analysis using remote sensing and GIS techniques. Minab city case studies. M.Sc. thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Persian)
22. Thenkabail, 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 southwest asia. International Water Management Institute, PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka.
23. Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage:* 21: 821-833.
24. Vicek, O., and Huth, R. 2009. Is daily precipitation Gamma-distributed? Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov-Smirnov test. *Atmospheric Research.* 93: 759-766.
25. Vyas, S.S., Bhattacharya, B.K., Nigam, R., Guhathakurta, P., Ghosh, K., Chattopadhyay, N., and Gairola, R.M. 2015. A combined deficit index for regional agricultural drought assessment over semi-arid tract of India using geostationary meteorological satellite data. *Inter. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 39: 28-39.
26. Wilhite D.A. 1997. Responding to Drought: Common threads from the past, vision for the future. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 33: 5. 951-959.
27. Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., and Svoboda, M.D. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *Inter. J. Climatol.* 25: 505-520.
28. Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., and Wen, F. 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *Inter. J. Climatol.* 1: 27. 65-79.