

تحلیل و پایش زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از محصولات سنجنده MODIS (مطالعه موردی استان اصفهان)

مبین افتخاری*¹، سعید محمودی زاده²، عباسعلی قزل سوفلو³، علی اسماعیلی⁴، محمد اکبری⁵

¹ - دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه های هیدرولیکی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران،

² - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان،

³ - ریاست پژوهشکده محیط‌های خشک و استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد،

⁴ - استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، (نویسنده مسئول) aliesmaeil@kgut.ac.ir

⁵ - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،

تاریخ دریافت مقاله: 1396 پذیرش: 1398/08/23

چکیده

خشکسالی یک خطر طبیعی است که تأثیر قابل توجهی بر جنبه‌های اقتصادی، کشاورزی، زیست‌محیطی و اجتماعی دارد. از این رو پایش و بررسی این پدیده امری مهم و حیاتی می‌باشد. تحقیقات زیادی نیز در این خصوص و بر اساس شاخص‌های استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفته است. در تحقیق حاضر به پایش خشکسالی بر اساس شاخص VHI استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای انجام گرفته است. این شاخص ترکیبی از دو شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دما (TCI) می‌باشد، که جهت محاسبه این دو شاخص از محصولات MOD11 و MOD13 سنجنده MODIS که به ترتیب مربوط به شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) می‌باشد، در بازه زمانی سال‌های 2010 تا 2018 میلادی استفاده گردید. ارزیابی شاخص دورسنجی (VHI) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) صورت گرفت، به این صورت که ضریب همبستگی مقادیر سالانه شاخص SPI، 14 ایستگاه سینوپتیک منطقه مطالعاتی با مقادیر شاخص VHI در همان ایستگاه‌ها در بازه زمانی سال‌های 2010 تا 2017 میلادی محاسبه شد. نتایج، ضریب همبستگی بین 0/64 تا 0/81 در سال‌های مدنظر نشان داد که بیشترین آن مربوط به ایستگاه نجف آباد و کمترین آن مربوط به ایستگاه مبارکه می‌باشد. به‌طور میانگین ضریب همبستگی 0/71 بین دو شاخص SPI و VHI وجود دارد، که نشان‌دهنده همبستگی بالا و قابل قبول بودن شاخص VHI در پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی در نواحی مختلف استان می‌باشد. در نهایت نقشه‌های درجه شدت خشکسالی (بین سال‌های 2010 تا 2018 میلادی) بر اساس شاخص VHI که در 5 طبقه خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط، خشکسالی خفیف و غیر خشکسالی، تهیه شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که علم سنجش از دور و استفاده از شاخص VHI می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای شاخص‌های هواشناسی باشند، که به‌طور قابل اطمینان جهت پایش خشکسالی در محدوده‌های وسیع مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، خشکسالی، MODIS، VHI

مقدمه

خشکسالی هر ساله میلیون‌ها نفر از ساکنین زمین و مناطق وسیعی از آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی آماری سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ میلادی نشان می‌دهد که ۲۴ درصد خسارت ناشی از بلایای اقلیمی جهان مربوط به خشکسالی‌ها است (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۳). میانگین بارش ایران کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه جهان است. و این میزان نیز از توزیع زمانی و مکانی مناسبی برخوردار نیست. خشکسالی جزئی از ویژگی‌های سیستم آب‌وهوا است که بدون هیچ‌اخطار و بدون توجه به مرزهای جغرافیایی و یا تفاوت‌های اقتصادی و سیاسی هر سال رخ می‌دهد (Kogan., 2001). منظور از پایش خشکسالی ارائه اطلاعات به هنگام از دوام، شدت و توسعه جغرافیایی خشکسالی در یک ناحیه به منظور اتخاذ اقدامات مناسب برای مقابله با آثار زیانبار خشکسالی است. در ده‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (Ceccato et al., 2001). شروع استفاده از فناوری سنجش‌ازدور برای پایش خشکسالی به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین باز می‌گردد. در این زمینه سیلر و همکارانش (۱۹۹۸) از دو شاخص VCI و TCI برای پایش خشکسالی در آرژانتین استفاده کردند و بیان داشتند که این دو شاخص برای ارزیابی مشخصات مکانی، مدت و شدت خشکسالی مفید بوده و با داده‌های بارندگی رابطه مناسبی را نشان می‌دهد

(Seiler et al., 1998). بویان و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی مطالعه شاخص‌های SPI، VCI و شاخص سطح آب زیرزمینی در شمال هند پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی ضعیفی بین VCI و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب‌شناسی وجود دارد، همچنین همبستگی بین VCI و SPI در فصل موسمی افزایش می‌یابد، زیرا شادابی گیاه کاملاً وابسته به بارندگی است (Bhuiyan et al., 2006). محمود اسلام و همکاران در سال ۲۰۱۳ به ارزیابی خشکسالی در شمال غرب بنگلادش با استفاده از تصاویر NDVI و LST سنجنده MODIS پرداختند. آن‌ها پس از محاسبه شاخص VCI از تصاویر NDVI و شاخص TCI از تصاویر LST، شاخص VHI را برای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ محاسبه نمودند و بر اساس آن خشکسالی را در سه طبقه متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی نمودند. نتیجه آنکه شاخص VHI برای تعیین مناطق تحت تأثیر خشکسالی شاخص مناسبی است (Mahmud-ul-islam et al., 2013). رحیم زاده در سال ۱۳۸۴ قابلیت داده‌های سنجنده AVHRR را در برآورده خشکسالی با دو شاخص NDVI و VCI مورد بررسی قرارداد. نتایج نشانگر وجود همبستگی بالا بین شاخص VCI و مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک بود (رحیم زاده، ۱۳۸۴). شمسی‌پور و همکاران در سال ۱۳۸۹ به ردیابی و تحلیل خشکسالی با شاخص‌های NDVI، VCI و VHI در منطقه بیابانی کاشان پرداختند. با توجه به نتایج بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی توصیه می‌گردد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹) فاضل دهکردی در سال ۱۳۹۲ با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS روند تغییرات شاخص‌های ماهواره‌ای در ماه‌های فوریه تا ژانویه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ را در مراتع سه استان اصفهان، ایلام و یزد بررسی نمود. بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه حاکی از وقوع خشکسالی شدید طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و ترسالی

(1)

$$SPI = (X_i - X') / SD$$

در رابطه فوق X' و X_i به ترتیب بیانگر بارش در طول دوره آماری و میانگین درازمدت بارش برای دوره آماری مورد نظر، می باشد و SD بیانگر انحراف معیار می باشد.

جدول 1- طبقات مختلف خشکسالی بر اساس

شاخص SPI (نمایه ها و شاخص های خشکسالی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، 1387)

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI):

شاخص VCI توسط کوگان در سال 1997 میلادی پیشنهاد شده است (Kogan., 1997). این شاخص به منظور حذف اثر تفاوت آب و هوایی و توپوگرافی از روی نتایج شاخص NDVI طراحی شده است. این شاخص با استفاده از رابطه شماره (2) محاسبه می شود.

$$VCI = 100 \times (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

در رابطه فوق $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ مربوط به بیشترین و کمترین مقدار NDVI بوده که از طریق داده های درازمدت محاسبه شده، $NDVI_i$ مربوط به مقدار NDVI سال جاری می باشد. بازه تغییرات این شاخص به صورت درصد بین صفر تا صد می باشد (Kogan., 1997). اعداد نزدیک به صفر نشان دهنده خشکی بسیار شدید و بیشتر مقدار این شاخص نشان دهنده وضعیت مطلوب منطقه می باشد (Thenkabail et al., 2004). در سال 2008 نحوه طبقه بندی خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص VCI توسط بویان ارائه شد که در جدول (2) شرح داده شده است (Bhuiyan., 2008).

جدول 2- طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص VCI (Bhuiyan., 2008)

طبقه خشکسالی	مقدار شاخص VCI
خشکسالی بسیار شدید	<10

متوسط در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ بوده است. نتایج نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی در سطح ۱ درصد بین شاخص های خشکسالی هواشناسی با شاخص های ماهواره ای NDVI, EVI, LST, TCI, NMDI مشاهده شده است (فاضل دهکردی، 1392). حمزه و همکاران در سال 1396 به بررسی الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از داده های ماهواره ای سنجنده MODIS بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ برای استان مرکزی پرداختند. بر اساس این تحقیق شاخص VCI به عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی انتخاب گردید. همچنین نتایج بدست آمده از به کارگیری شاخص گیاهی VCI نشان دهنده وضعیت خشکسالی در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و وضعیت ترسالی در سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه می باشد (حمزه و همکاران، 1396).

مواد و روش ها

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مبتنی بر داده های

ایستگاه های سینوپتیک

شاخص بارش استاندارد شده در سال ۱۹۹۳ میلادی به وسیله مکی کی و همکاران برای پایش خشکسالی در منطقه کلرادو ارائه شده است. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی به عنوان مناسب ترین شاخص شناخته می شود. به منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه در جدول شماره (1) ارائه شده که در آن مقادیر مثبت نشان دهنده بارندگی بیش از بارش متوسط و مقادیر منفی عکس آن است. این شاخص از رابطه شماره (1) به دست می آید. (نمایه ها و شاخص های خشکسالی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، 1387)

10-19.99	خشکسالی شدید
20-29.9	خشکسالی متوسط
30-39.9	خشکسالی خفیف
>40	غیر خشکسالی

شاخص وضعیت دما (TCI):

شاخص TCI توسط کوگان در سال 1995 میلادی پیشنهاد شده است، الگوریتم محاسباتی آن مشابه شاخص VCI می باشد، با این تفاوت که این معادله برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (3) محاسبه می شود (Kogan.,1995).

(3)

$$VCI=100 \times \frac{BTmax - BTi}{BTmax - BTmin}$$

در این رابطه BTmax و BTmin بیشینه و کمینه دما (BT) بوده که از طریق داده های درازمدت محاسبه می شود، و BTi مربوط به مقدار BT سال جاری می باشد. بازه تغییرات این شاخص مانند شاخص VCI به صورت درصد بین صفر تا صد می باشد، همچنین نحوه طبقه بندی خشکسالی بر اساس این شاخص مانند شاخص VCI در جدول شماره (2) می باشد.

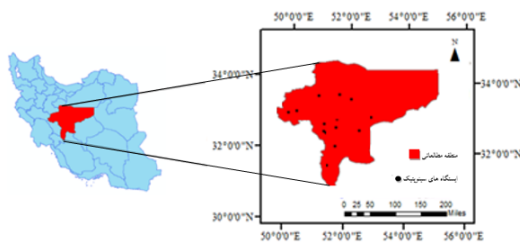
شاخص (VHI):

شاخص VHI در واقع شاخصی ترکیبی VCI و TCI می باشد که اثرات ترکیبی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را در پایش خشکسالی نشان می دهد. این شاخص با استفاده از رابطه (4) محاسبه می شود (Kogan et al.,2003)(Kogan.,2002).

$$VHI=0.5(VCI)+0.5(TCI) \quad (4)$$

منطقه مورد مطالعه:

استان اصفهان ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت ایران است. این استان با مساحتی حدود 105/937 کیلومترمربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی نصف النهار گرینویچ، واقع شده است. سه نوع اقلیم در پهنه استان شامل، الف: اقلیم بسیار خشک تا خشک گرم، شامل قسمت اعظم استان از جمله نواحی پست شرقی و دشت های مرکزی و شمالی استان، ب: اقلیم نیمه مرطوب تا مرطوب سرد، شامل نواحی مرتفع غربی و جنوبی استان، ج: اقلیم نیمه خشک، شامل نواحی مرتفع مرکزی و شمالی استان و محدوده هایی بین گلپایگان، خوانسار، فریدون تا شمال سمیرم، می باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه های سینوپتیک استان که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل 1- موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه های سینوپتیک

داده های ماهواره ای:

داده های دور سنجی مورد استفاده شامل داده های سنجنده MODIS از سری تصاویر ماهواره Aqua است، که به شرح جدول (3) می باشد.

داده های زمینی:

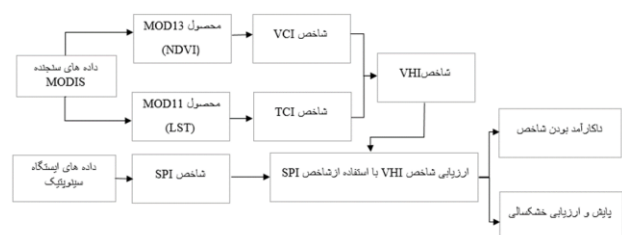
داده های زمینی مورد استفاده در این پژوهش شامل آمار بارندگی سالیانه 14 ایستگاه سینوپتیک واقع در محدوده مطالعاتی می باشد. این داده ها در بازه زمانی سال های 2010 تا 2017 میلادی جمع آوری شده اند. نام و

همانطور که ذکر شد بود در قدم اول جهت بررسی خشکسالی اقدام به برآورد شاخص های VCI و TCI از طریق دو محصول NDVI و LST در بازه سالهای 2010 تا 2018 شد. نتایج حاصل این دو شاخص در شکل های (3) و (4) ارائه شده است. در شکل شماره (3) با توجه خروجی شاخص VCI قسمت اعظم استان در طبقه خشکسالی متوسط واقع شده است، وضعیت مطلوبی در غرب و جنوب غربی استان به دلیل وجود پوشش گیاهی و زمین های کشاورزی می باشد. نتایج بدست آمده از شاخص TCI مقادیر نسبتاً بالای این شاخص با توزیع مکانی مختلف در تمامی سال ها در نواحی مختلف استان را نشان می دهد.

شاخص VHI ترکیبی از شاخص های VCI و TCI می باشد که هدف اصلی آن دخیل کردن شرایط رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین می باشد. نتایج حاصل از این شاخص در شکل شماره (5) نمایش داده شده است. به منظور تعیین طبقات شدت خشکسالی، نتایج حاصل از این شاخص مانند شاخص های قبل به 5 طبقه که شامل خشکسالی خیلی شدید (بازه 0 تا 10 درصد)، خشکسالی شدید (بازه 10 تا 20 درصد)، خشکسالی متوسط (بازه 20 تا 30 درصد)، خشکسالی خفیف (بازه 30 تا 40 درصد) و غیرخشکسالی (بازه 40 تا 100 درصد) تقسیم بندی شد. با توجه به نقشه خشکسالی حاصل از شاخص VHI شکل شماره (5) بدترین وضعیت خشکسالی مربوط به سال 2016 و بهترین آن مربوط به سال 2018 می باشد، در طول این سال ها وضعیت خشکسالی به صورت غیریکنواخت در حال تغییر بوده است. با توجه به هدف اصلی پژوهش که ارزیابی شاخص VHI در پایش خشکسالی سطح زمین است، از شاخص بارش استاندارد ((SPI، که از اطلاعات بارندگی سالیانه 14 ایستگاه سینوپتیک که در بخش داده های زمینی به آن اشاره شد، استفاده گردید. نتایج شاخص SPI در شکل (6) به صورت نمودار نمایش داده شده است. نتایج حاصله از شاخص SPI نشان دهنده خشکسالی خفیف در سال های

موقعیت این ایستگاه ها در جدول شماره (4) و شکل شماره (1) نشان داده شده.

پروژه طی شده در این پژوهش در شکل شماره (2) به صورت فلوجارت نمایش داده شده است. منابع مورد استفاده در این پژوهش همانطور که ذکر شد، شامل داده های سنجنده MODIS و اطلاعات بارندگی تعدادی از ایستگاه های سینوپتیک استان اصفهان می باشد. در قدم اول بعد از تهیه محصولات MOD13 و MOD11 سنجنده MODIS که به ترتیب مربوط NDVI و LST می باشد، توسط نرم افزار ENVI از سیستم مختصات سینوسوئیدال به سیستم مختصات جغرافیایی تغییر داده می شود. در ادامه با استفاده از این محصولات شاخص های خشکسالی VCI و TCI محاسبه و از این دو شاخص برای برآورد شاخص VHI استفاده می شود. جهت ارزیابی کارایی شاخص ماهواره ای (VHI) از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شده است، این شاخص با استفاده از اطلاعات بارندگی سالیانه تعدادی از ایستگاه های سینوپتیک استان اصفهان و توسط نرم افزار Meteorological Drought Monitoring) M.D.M برآورد گردید. ارزیابی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین خروجی SPI هر ایستگاه و مقادیر شاخص VHI در همان ایستگاه در بازه زمانی سال های 2010 تا 2017 میلادی صورت پذیرفت. در نهایت در صورت قابل قبول بودن مقادیر ضریب همبستگی بین دو این شاخص کارایی شاخص ماهواره ای (VHI) تأیید و ارزیابی و بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه امکان پذیر خواهد بود.



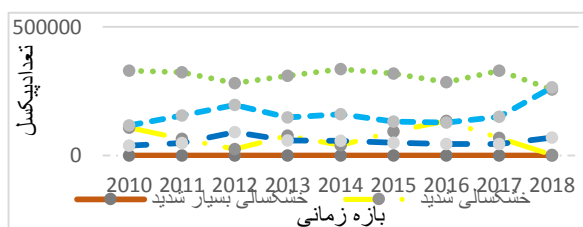
شکل 2- فلوجارت پروژه طی شده

نتایج و بحث

همبستگی بین این دو شاخص می‌توان به ارزیابی و پایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه پرداخت، شکل شماره (8) توزیع طبقات خشکسالی بر اساس تعداد پیکسل را در بازه زمانی مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به نمودارها، هیچ پیکسلی به طبقه خشکسالی بسیار شدید اختصاص نیافته در نتیجه مکانی در استان در معرض خشکسالی بسیار شدید قرار ندارد. در طبقه خشک سالی شدید بیشترین پیکسل‌ها مربوط به سال 2016 می‌باشد که با نتیجه شاخص SPI در سال 2016 که کمترین مقدار (0/99-) در بازه زمانی مورد مطالعه است، همخوانی دارد، از سوی دیگر کمترین پیکسل در این طبقه (بین سال‌های 2010 تا 2017) مربوط به سال 2012 بوده که در این سال شاخص SPI دارای بالاترین مقدار (1/43) می‌باشد. مقادیر نشان‌دهنده وضعیت مطلوب در سال 2018 نسبت به سال‌های گذشته است، هیچ پیکسلی در این سال به طبقه خشکسالی بسیار شدید و شدید اختصاص نیافته است. در طبقه غیر خشکسالی بیشترین مقدار پیکسل مربوط به سال 2012 و کمترین آن‌ها مربوط به سال‌های 2016، 2010 و 2017 می‌باشد، که با نتایج شاخص SPI در این سال‌ها همبستگی مثبت دارد.

همچنین می‌توان به نتایج تحقیقات مشابه در این زمینه اشاره نمود که تایید کننده نتایج این تحقیق می‌باشند. با عقیده و همکاران (1390) با استفاده از ماهواره NOAA و شاخص SPI به پایش خشکسالی استان اصفهان از سال 1997 تا 2003 پرداختند و با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI به تحلیل خشکسالی استان پرداختند، نتایج بیانگر این بود که شاخص سنجش از دوری NDVI می‌تواند جاگزین مناسبی در پایش خشکسالی‌ها باشد که این موضوع نشان دهنده مناسب بودن شاخص VHI در پژوهش حاضر می‌باشد (باعقیده و ضیائی، 1390).

در تحقیقی دیگر، فاضل دهکردی و همکاران (1395) به

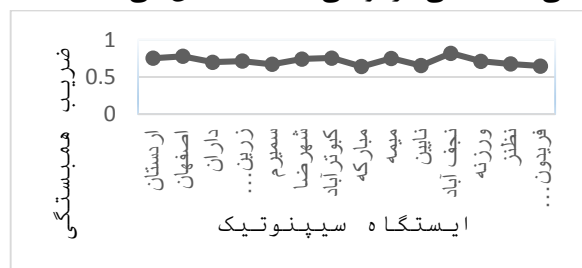


2017، 2016، 2013، 2010 میلادی و ترسالی خفیف در سال‌های 2011، 2014 و 2015 میلادی و ترسالی متوسط در سال 2012 میلادی، می‌باشد.



شکل 6- میانگین مقادیر SPI سالیانه ایستگاه‌های سینوپتیک

همانطور که اشاره شد، از ضریب همبستگی پیرسون بین دو شاخص جهت ارزیابی شاخص VHI استفاده شد. بدین منظور از پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک مقادیر شاخص VHI از سال‌های 2010 تا 2017 میلادی استخراج و اقدام به محاسبه ضریب همبستگی بین مقادیر این شاخص و شاخص SPI گردید. نتایج، همبستگی بین 0/64 تا 0/81 در سال‌های مدنظر را نشان داد (شکل شماره 7) که بیشترین آن مربوط به ایستگاه نجف‌آباد و کمترین آن مربوط به ایستگاه مبارکه می‌باشد، به‌طور میانگین ضریب همبستگی 0/71 بین دو شاخص SPI و VHI وجود دارد، که نشان‌دهنده همبستگی بالا و قابل قبول بودن شاخص VHI در پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی در نواحی مختلف استان می‌باشد.



شکل 7- ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص VHI و SPI در ایستگاه‌های سینوپتیک

شکل 8- مقایسه توزیع طبقات خشکسالی بر اساس تعداد پیکسل در بازه زمانی مورد مطالعه

با توجه به پروسه تعیین شده، بعد از ارزیابی شاخص VHI با استفاده از شاخص SPI و قابل قبول بودن ضریب

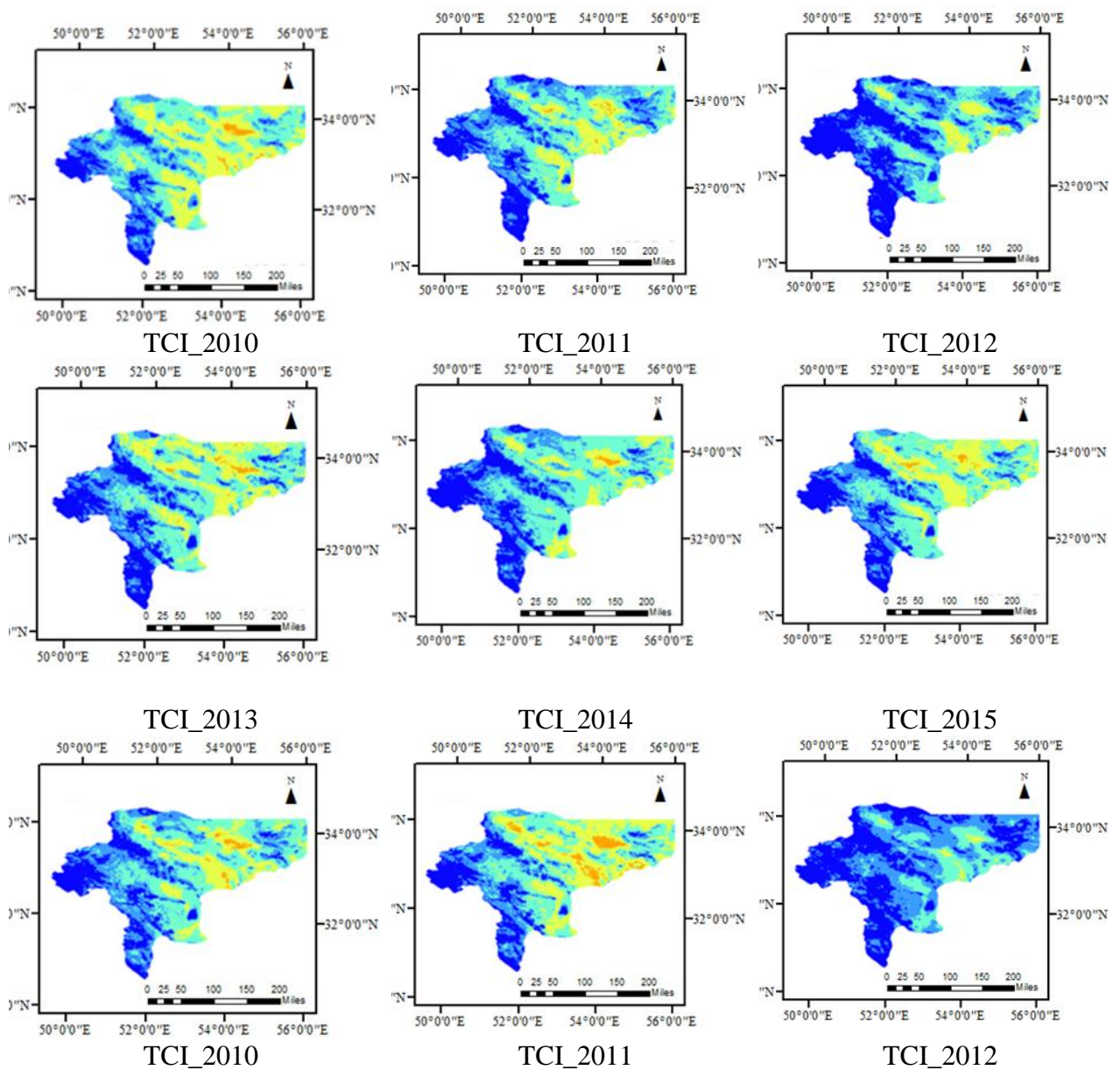
همان ایستگاه در بازه زمانی مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج، همبستگی بین 0/64 تا 0/81 در سال‌های مورد مطالعه را نشان داد، که بیشترین آن مربوط به ایستگاه نجف‌آباد و کمترین آن مربوط به ایستگاه مبارکه می‌باشد، به‌طور میانگین ضریب همبستگی 0/71 بین دو شاخص SPI و VHI وجود دارد، که نشان‌دهنده همبستگی بالا و قابل قبول بودن شاخص VHI در پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی در نواحی مختلف استان می‌باشد. در نتیجه نقشه‌های درجه شدت خشکسالی (بین سال‌های 2010 تا 2018) بر اساس شاخص VHI که در 5 طبقه، خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید، خشکسالی متوسط، خشکسالی خفیف و غیر خشکسالی، تهیه شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از تعداد پیکسل‌های اختصاص یافته به طبقات خشکسالی استفاده گردید. نتایج این بررسی نشان داد که هیچ پیکسلی به طبقه خشکسالی بسیار شدید اختصاص نیافته در نتیجه مکانی در استان در معرض خشکسالی بسیار شدید قرار ندارد. در طبقه خشکسالی شدید بیشترین پیکسل‌ها مربوط به سال 2016 بوده که با نتیجه شاخص SPI در سال 2016 که کمترین مقدار (0/99-) در بازه زمانی مورد مطالعه است، همخوانی دارد، از سوی دیگر کمترین پیکسل در این طبقه (بین سال‌های 2010 تا 2017) مربوط به سال 2012 بوده که در این سال شاخص SPI دارای بالاترین مقدار (1/43) می‌باشد، به عبارتی می‌توان گفت که یک همبستگی منفی بین شاخص SPI و طبقه خشکسالی شدید وجود دارد. در طبقه غیر خشکسالی بیشترین مقدار پیکسل مربوط به سال 2012 و کمترین آن‌ها مربوط به سال‌های 2010، 2016 و 2017 می‌باشد، که با نتایج شاخص SPI در این سال‌ها همبستگی مثبت دارد. و در آخر می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که علم سنجش از دور و استفاده از شاخص VHI می‌تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای شاخص‌های هواشناسی باشند، که به‌طور قابل اطمینان جهت پایش خشکسالی در محدوده‌های وسیع مورد استفاده قرار گیرند.

پایش خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری TCI, LST, EVI, NMDI و NDVI طی سال‌های 2000 الی 2008 پرداختند. نتایج بیانگر این بود که شاخص‌های حرارتی سنجش از دوری همبستگی بالاتری با SPI منطقه دارد که مشابه تحقیق حاضر بیانگر بالاتر بودن شاخص دما می‌باشد و ایید کننده پژوهش حاضر می‌باشد (فاضل دهکردی و همکاران، 1395).

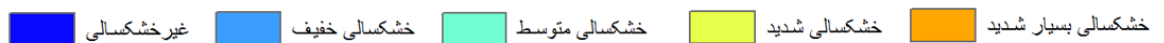
همچنین در پژوهشی قاسمی نژاد و همکاران (1392) به ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان پرداختند، که با استفاده از شاخص SPI طی مدت سال‌های 1975 الی 2007 نقشه ریسک استان را تهیه کردند نتایج بیانگر این بود که مناطقی که از نظر کاربری اراضی فقیر می‌باشند ریسک خشکسالی و تداوم خشکسالی بالاتری نسبت به سایر مناطق دارند که این موضوع توسط تحقیق حاضر نیز حاصل گردید جایکه نتایج این پژوهش نشان داد شاخص پوشش گیاهی ارتباط مستقیمی با خشکسالی استان دارد (قاسمی و همکاران، 1392).

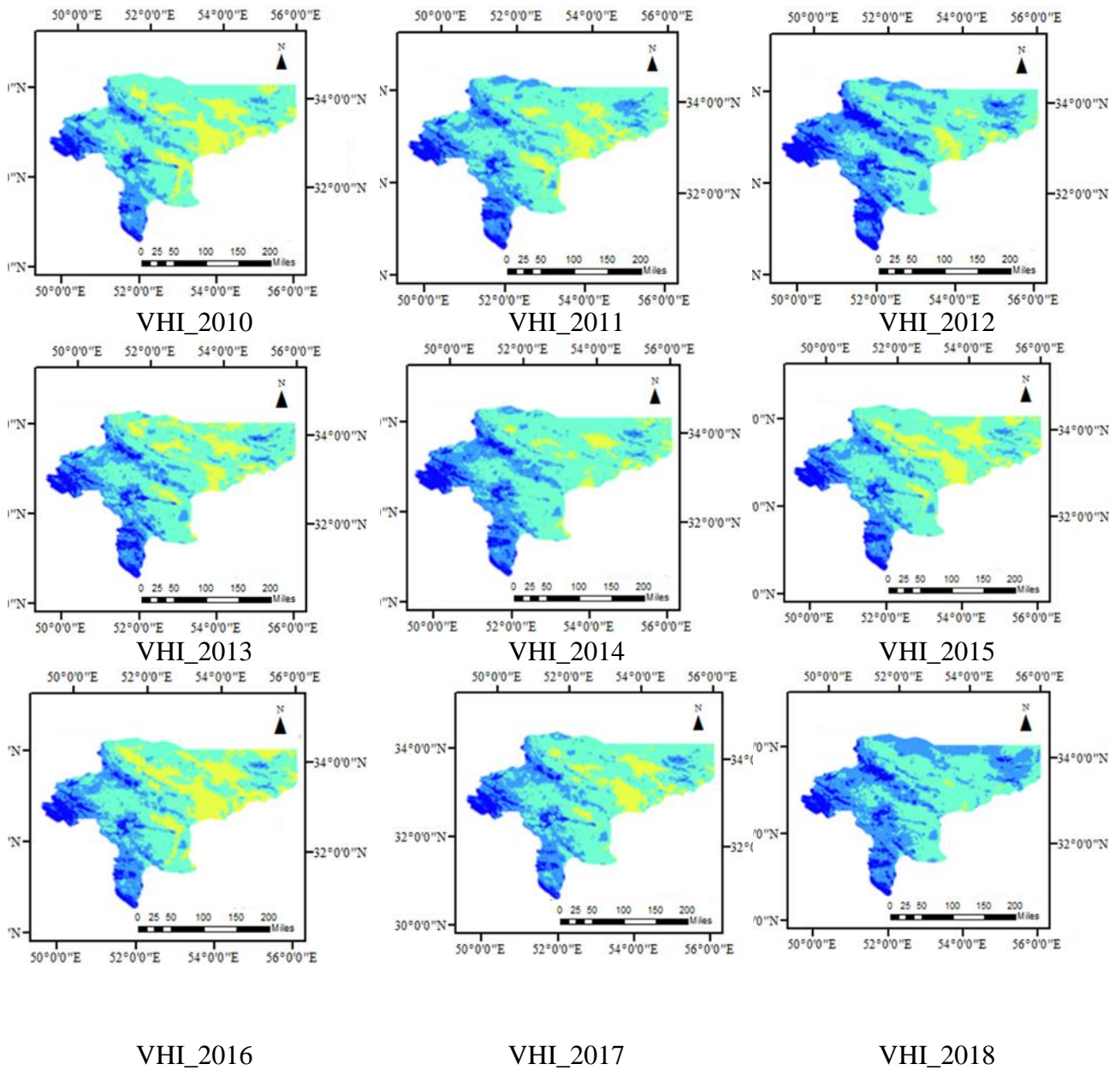
نتیجه‌گیری

شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مستقیماً از روی داده‌های هواشناسی نظیر بارندگی محاسبه می‌شوند و در صورت فقدان داده‌های مذکور، در پایش خشکسالی مفید واقع نخواهند شد. لذا تکنیک سنجش از دوری می‌تواند ابزاری مفید در پایش خشکسالی به شمار رود. در تحقیق حاضر به ارزیابی شاخص VHI که مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای است، جهت پایش خشکسالی استان اصفهان در بازه زمانی سال‌های 2010 تا 2018 میلادی پرداخته شد. این ارزیابی با استفاده از شاخص SPI که مبتنی بر اطلاعات بارندگی است، صورت پذیرفت. بدین منظور از اطلاعات بارندگی 14 ایستگاه سینوپتیک موجود در استان در بازه زمانی سال‌های 2010 تا 2017 میلادی استفاده گردید، و شاخص SPI سالیانه برای هر ایستگاه برآورد شد. در ادامه به محاسبه ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص SPI در هر ایستگاه با مقادیر شاخص VHI در



شکل 4- نقشه خشکسالی حاصل از شاخص TCI





غیرخشکسالی
 خشکسالی خفیف
 خشکسالی متوسط
 خشکسالی شدید
 خشکسالی بسیار شدید

شکل 5- نقشه خشکسالی حاصل از شاخص VHI

مراجع

- [1] مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور. 1393. تحلیل خشکسالی کشور طی 23 سال گذشته.
- [2] Kogan, F. N. 2001. Contribution of remote sensing to drought early warning. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Environmental Satellite Data and Information Services (NESDIS), Washington: DC. U.S.A.
- [3] Ceccato, P. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemoud, S. Gregoire, J. M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77.1:22-33.
- [4] Kogan, F.N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78.4:621-636.
- [5] Seiler, R.A. Kogan, F. Sullivan, J. 1998. AUHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. *Advances in Space Research*.21.11: 481-484.
- [6] Bhuiyan, C. Singh R. P. 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 Geoinformation*. 8.4: 289-302.
- [7] Mahmud-ul-islam, S. Shareful Hassan, M. 2013. Drought Vulnerability Assessment in the High Barind Tract of Bangladesh Using MODIS NDVI and Land Surface Temperature (LST) Imagery. *International Journal of Science and Research*.4.2:55-60.
- [8] رحیم زاده، پ. 1384. بررسی امکان استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR برای پایش خشکسالی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- [9] شمس پور، ع. علوی پناه، ک. محمدی، ح. 1389. بررسی کارایی شاخص های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در
- تحلیل خشکسالی منطقه کاشان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران. 17. 3: 445-465
- [10] فاضل دهکردی، ل. 1392. هشدار خطر خشکسالی به منظور مدیریت بهینه مراتع. پایان نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- [11] حمزه، س.، فراهانی، ز. مهدوی، ش. چترآبگون، ا. غلام نیام، م. 1396. پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده های سنجنش از دور مطالعه موردی استان مرکزی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی 4. 3: 53-70.
- [12] وزارت جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی. 1387. نمایه ها و شاخصهای خشکسالی. 1.
- [13] Thenkabail, P.S. Enclona, E. A. Ashton, M. S. Legg, C. 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.
- [14] Bhuiyan, C. 2008. Desert Vegetation during Droughts: Response and Sensitivity, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B 8: 907-912.
- [15] Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection, *Advances in Space Research*, 15. 11: 91-100.
- [16] Kogan, F. N. 2002. World Droughts in the New Millennium from AVHRR-based Vegetation Health Indices. *Eos, Transactions, Amer. Geophys. Union*, 83.48: 562-563
- [17] Kogan, F. N. Gitelson, A. Edige, Z. Spivak, I. Lebed, L. 2003. AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation.

[20] قاسمی نژاد، س. سلطانی، س. سفیانیان، ع. 1393. ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان. مجله علوم آب و خاک. ۱۸ (۶۸): ۲۱۳-۲۲۶:

Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 69.8: 899-906.

[18] باعقیده، م. ضیائی، پ. 1390. بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۱ (۴): ۱-۱۶.

[19] فاضل دهکردی، ل. سهرابی، ط. قنایزباف، م. قضاوی، ر. 1394. پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در مناطق خشک مطالعه موردی مراتع استان اصفهان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. 3 (63): 177-190.

Analysis and monitoring of drought temporally and spatially using MODIS sensor products (Case study of Isfahan province)

Abstract

Drought is a natural hazard that has a significant impact on the economic, agricultural, environmental and social aspects. Therefore, monitoring and studying this phenomenon is important and vital. Much research has been done in this regard and based on indicators extracted from satellite data. In the present study, drought monitoring was performed based on the VHI index extracted from satellite data. This index is a combination of two indicators of vegetation status (VCI) and temperature index (TCI), which is used to calculate these two indicators of MOD13 and MOD11 products of MODIS sensor, which are related to normalized differential vegetation index (NDVI) and surface temperature, respectively. Land (LST), used in the period from 2010 to 2018. Evaluation of telemetry index (VHI) was done using standardized precipitation index (SPI), so that the correlation coefficient of annual values of SPI index, 14 synoptic stations of the study area with VHI index values in the same stations in the period 2010-2017 شد. The results showed a correlation coefficient between 0.64 and 0.81 in the years under review

Key words: Modis, drought, VHI, Esfahan