

## تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی

مجید رضایی بنفشه<sup>۱\*</sup>، علی رضایی<sup>۲</sup> و مجتبی فریدپور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۰۴

<sup>۱</sup> دانشیار گروه جغرافیا طبیعی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد جغرافیا طبیعی، دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [mrbanafsheh@yahoo.com](mailto:mrbanafsheh@yahoo.com)

### چکیده

خشکسالی یکی از بلاای طبیعی است که به دلیل تاثیر قابل ملاحظه‌ای که بر روی بخش کشاورزی و اقتصاد دارد، زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با استفاده از دانش سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان دارد، مطالعه و به نتایج دقیق‌تر و موثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت. در این پژوهش کارایی شاخص وضعیت پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی کشاورزی از طریق سنجش از دور مورد ارزیابی قرار گرفت. محدوده مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی است. داده‌های به‌کار رفته، تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ و داده‌های بارش از ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیماتولوژی استان می‌باشند. برای بدست آوردن مقدار VCI از مقادیر نرمالیزه شده NDVI استفاده گردید. شاخص NDVI از اطلاعات باندهای ۱۳ و ۱۶ بدست آمد. بر اساس مقادیر شاخص VCI سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب بیش‌ترین و سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ کم‌ترین وسعت خشکسالی را دارا بوده‌اند. جهت ارزیابی موفقیت، شاخص SPI برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳، در ۹ ایستگاه محاسبه و با مقادیر برداشت شده از روی نقشه‌های حاصل از VCI در ایستگاه‌ها مقایسه گردید. بر اساس شاخص SPI نیز، سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ با بیش‌ترین و سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ با کم‌ترین خشکسالی مواجه شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که جهت برآورد خشکسالی کشاورزی از طریق سنجش از دور، شاخص VCI روش بسیار مناسبی بوده و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی بصورت پراکنده بوده (و یا اصلا وجود ندارد) می‌توان از این مدل برای برآورد خشکسالی استفاده کرد. زیرا تعداد نقاط نمونه‌برداری در تصاویر ماهواره‌ای بسیار بیشتر از تعداد ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، خشکسالی کشاورزی، MODIS، NDVI، SPI، VCI

## Analyzing Agricultural Drought in East Azarbaijan Province Emphasizing Remote Sensing Technique and Vegetation Condition Index

M Rezaei Banafsheh<sup>1\*</sup>, A Rezaei<sup>2</sup> and M Faridpour<sup>3</sup>

Received: 6 January 2013 Accepted: 25 June 2014

<sup>1</sup>- Assoc. Prof., Faculty of Geography & Planning, Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>- Master of Sci., RS & GIS, Univ. of Tabriz, Iran

<sup>3</sup>- Master of Sci., Climatology, Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: mrbanafsheh@yahoo.com

### Abstract

Drought is a natural disaster that affects the human life due to its significant effects on agricultural and economic sectors. Using the remote sensing technique, drought can be studied through its effects on plants, and it is possible to gain a more accurate and effective modeling of drought. In this study, the efficiency of vegetation condition index in analyzing the agricultural drought was evaluated using the remote sensing facilities for East Azarbaijan province. The data included the MODIS sensor images from Terra satellite between 2000-2011 and the rainfalls from synoptic and climatic stations of the province. To gain the vegetation condition index (VCI) values, the normalized vegetation index (NDVI) values were used. The NDVI derived from the information of the bands 13 & 16. According to the VCI values the drought covered more areas in the years 2001, 2008, 2000 & 2009 while it covered less areas in the years 2010 & 2003. To assess the efficiency of the study, the Standardized Precipitation Index (SPI) were calculated from the data of the years 2001, 2008, 2010, 2003, in 9 weather stations and compared with the data collected from VCI maps. According to the SPI index, the years of 2008 & 2001 encountered the highest drought and also the years of 2010 & 2003 had the lowest drought. The results indicate that using the VCI index is an excellent method for evaluating the agricultural droughts through the Remote Sensing. Furthermore, in areas with or without sporadic weather stations this index can be used for estimating drought since the number of sampling points on satellite images exceeds the number of the weather stations.

**Keywords:** Agricultural drought, East Azarbaijan, MODIS, NDVI, SPI, VCI

می‌دهد (محمودی‌کهن و همکاران ۱۳۹۰). پدیده خشکسالی، پدیده‌ای پیچیده با اثرات متفاوت است. از این‌رو از شاخص‌هایی برای تعیین شدت و وسعت خشکسالی استفاده می‌شود. بیشتر شاخص‌هایی که در

مقدمه

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که به دلیل تاثیر قابل ملاحظه‌ای که بر روی بخش کشاورزی و اقتصاد دارد، زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار

پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی زمانی بین بارش و شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI بیشتر می‌باشد. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به تحلیل خشکسالی‌ها با شاخص‌های سنجش از دور در منطقه بیابانی و خشک کاشان پرداختند. شاخص‌های VCI، NDVI و شاخص رطوبت سطح خاک (LSM) نتایج متفاوتی را با شاخص‌های TCI، VHI<sup>۶</sup> و LST<sup>۷</sup> نشان دادند. با عقیده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی استفاده از شاخص NDVI به تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان پرداختند. داده‌های بکار رفته، شامل تصاویر ماهواره NOAA<sup>۸</sup> و آمار بارش (جهت محاسبه SPI<sup>۱۰</sup>) بود. نتایج نشان داد که NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی خشکسالی‌ها باشد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از شاخص‌های VCI، TCI و SPI استفاده شده است. با توجه به نتایج، شاخص VCI و سنجنده MODIS می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشند.

تنکابیلو همکاران (۲۰۰۴) در منطقه جنوب غربی آسیا با اجرای شاخص‌های Dev.NDVI<sup>۱۱</sup>، VCI، TCI و VHI به ارزیابی خشکسالی پرداختند. این تحقیق روش‌ها و تکنیک‌هایی را جهت پایش خشکسالی مستمر با استفاده از اتصال داده‌های تاریخی سنجنده AVHRR به داده‌های روزانه سنجنده مدرن MODIS پیشنهاد کرد. کارنیلی و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی وضعیت استفاده از شاخص VHI در شش اکوسیستم مختلف در مغولستان پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که افزایش درجه حرارت مطلوب، فعالیت‌های پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در نتیجه شاخص VHI به‌خصوص در عرض‌های شمالی باید با احتیاط بکار

این زمینه به‌کار گرفته می‌شوند، بر اساس معیارهای هواشناسی استوار بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما و یا به خصوص میزان بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند. با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آن‌ها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این تکنولوژی فراهم شده است. با استفاده از روش‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان و کشاورزی دارد، مطالعه نمود و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و موثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (هیم ۲۰۰۲). در حال حاضر، تصاویر ماهواره‌ای به طور منظم و با دقت تفکیک مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند و می‌توانند شرایط نظم و گستردگی فضایی را فراهم کنند. از مزایای استفاده از سنجش از دور نسبت به روش‌های هواشناسی می‌توان به افزایش نقاط نمونه‌برداری، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کمتر اشاره کرد (ویل‌هایت ۲۰۰۰). دقت بیشتر در پردازش تصاویر جهت استخراج شاخص‌ها می‌تواند کیفیت آن‌ها را ارتقا بخشد و در نهایت باعث کارایی بیشتر در مدل‌های پیش‌بینی خشکسالی شود (ری و همکاران ۲۰۱۰). در ادامه نمونه‌هایی از پژوهش‌های انجام گرفته در ایران و جهان معرفی خواهند شد.

رحیم زاده (۱۳۸۴) قابلیت داده‌های سنجنده AVHRR<sup>۱</sup> جهت ارزیابی خشکسالی در ایران را مورد بررسی قرار داد. وی ابتدا با کمک شاخص اقلیمی SIAP<sup>۲</sup> محدوده منطقه مورد مطالعه را تعیین و سپس دو شاخص NDVI<sup>۳</sup> و VCI<sup>۴</sup> را بر روی تصاویر اجرا کرد. نتایج نشانگر وجود همبستگی بالا بین شاخص VCI و مقادیر بارندگی در ایستگاه سینوپتیک بود. پرویز و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی عملکرد دو شاخص NDVI و VCI<sup>۴</sup> در پایش خشکسالی در حوضه آبریز سفیدرود با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS<sup>۵</sup>

<sup>۶</sup>Temperature Condition Index

<sup>۷</sup>Vegetation Healthy Index

<sup>۸</sup>Land Surface Temperature

<sup>۹</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>۱۰</sup>Standardized Precipitation Index

<sup>۱۱</sup>Deviation of NDVI

<sup>۱</sup>Advanced Very High Resolution Radiometer

<sup>۲</sup>Normalized Difference Vegetation Index

<sup>۳</sup>Vegetation Condition Index

<sup>۴</sup>Vegetation Temperature Condition Index

<sup>۵</sup>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

نتایج نشان داد که این روش‌ها برای آگاهی از خشکسالی اولیه مناسب بوده و می‌توانند برای مدیریت خشکسالی استفاده شوند.

همان‌گونه که اشاره شد، یکی از روش‌های مناسب در ارزیابی و تحلیل خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص VCI می‌باشد. همچنین در کنار این شاخص از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه استفاده می‌شود. زیرا با توجه به ماهیت خود شاخص SPI و همچنین مطالعات انجام گرفته قبلی این شاخص در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با شاخص‌های سنجش از دوری داشته و در اکثر مطالعات این روش جهت ارزیابی موفقیت شاخص‌های سنجش از دوری پیشنهاد می‌گردد (بویان و همکاران ۲۰۰۶). بنابراین در پژوهش حاضر، دو شاخص فوق بکار برده می‌شوند. هدف اصلی این پژوهش استفاده از داده‌های سنجه MODIS و شاخص VCI در ارزیابی و تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی استان آذربایجان شرقی می‌باشند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این استان در مختصات ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. در شکل ۱، موقعیت استان آذربایجان شرقی در نقشه ایران و پراکنندگی ایستگاه‌های هواشناسی نشان داده شده است.

از مهم‌ترین عوارض توپوگرافیک این منطقه می‌توان به وجود کوهستان سهند و رشته‌کوه‌های ارسباران و میشو اشاره کرد. دشت‌های تبریز، سراب و اهر مهم‌ترین مناطق پست ارتفاعی استان را تشکیل می‌دهند.

رود. بویان و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه آروالی هند، خشکسالی را با بکارگیری شاخص‌های VCI، NDVI، TCI و VHI از داده‌های اخذ شده ماهواره NOAA-AVHRR در مقایسه با شاخص‌های آماری SPI و SWI مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه ضریب همبستگی بالایی بین VCI و TCI با میزان بارندگی ماهانه مشاهده نگردید. بویان (۲۰۰۸) به برآورد خشکسالی صحرای تار<sup>۱</sup> در شمال غربی هند و شرق پاکستان بین سالهای ۱۹۸۴ و ۲۰۰۲، با استخراج داده‌های ماهواره NOAA-AVHRR و بکارگیری شاخص‌های VCI، NDVI، TCI و VHI پرداخت. نتایج بیانگر این است که در هر سالی تنش رطوبتی و حرارتی وجود داشته، خشکسالی توسعه پیدا کرده است. زانگ و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحلیل کاملی از خشکسالی در منطقه هوانگهوای<sup>۲</sup> چین، با استفاده از تصاویر AVHRR و مقایسه با داده‌های هواشناسی منطقه طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ انجام دادند. نتایج نشان داد که خشکسالی با شدت کم، پدیده‌ای رایج در منطقه شمال چین می‌باشد. ری و همکاران (۲۰۱۰) به استفاده از شاخص‌های VCI، NDVI، TCI و VHI و شاخص SPI در منطقه خشک آریزونا و نیومکزیکو و نیز در منطقه مرطوب کارولینای شمالی و جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص VHI جهت برآورد خشکسالی، روش مناسبی می‌باشد. روسوینتیرتی و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد خشکسالی در جزیره جاوه در اندونزی پرداختند. آن‌ها بدین منظور از تصاویر MODIS برای EVI<sup>۳</sup> و LST استفاده کردند. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI بدست آمد و در آخر با استفاده از نقشه VHI، سلامت پوشش گیاهی در جزیره جاوه بدست آورده شد. اورنگیو همکاران (۲۰۱۱) به برآورد خشکسالی در استان فارس ایران با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR و مقایسه با تصاویر ماهواره SPOT پرداختند. در این پژوهش از شاخص‌های VCI، TCI و VHI استفاده گردیده است.

<sup>1</sup>Thar

<sup>2</sup>Huanghuai

<sup>3</sup>Enhanced Vegetation Index

شاخص درصد نواحی برگ‌دار و توده‌های گیاهی را انعکاس می‌دهد. این شاخص رایج‌ترین شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. پوشش گیاهی در حالت سلامت، امواج باند مادون قرمز نزدیک را به خوبی منعکس می‌کند. در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ متغیر می‌باشد. مقدار این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی از ۰/۱ (تنک) تا ۰/۸ (متراکم) تغییر می‌کند (تنکابیل و همکاران ۲۰۰۲، رسولی ۱۳۸۷).

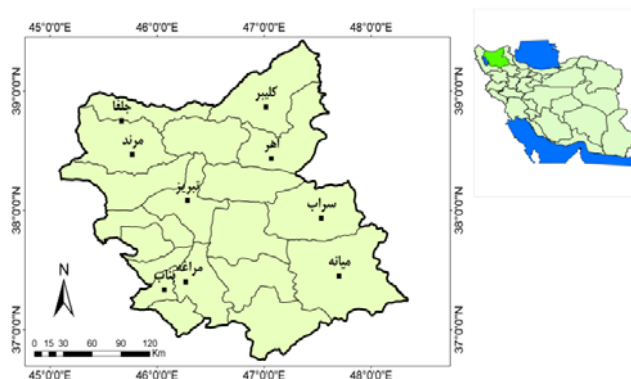
مطالعات قبلی نشان می‌دهند که شاخص NDVI پیش‌بینی تاثیر بارش‌های قبلی را بر روی پوشش گیاهی تا سه ماه به تاخیر می‌اندازد. زمان تاخیر بستگی به آب و هوای ناحیه دارد که از لحاظ بارش به‌طور کامل تغذیه شده و یا به‌طور کامل آبیاری گشته و یا به صورت بخشی از این عمل انجام گردیده است (وانگو همکاران ۲۰۰۲).

## ۲- شاخص VCI

شاخص VCI برای اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شده است. این شاخص نشان می‌دهد که چگونه NDVI ماه جاری به NDVI محاسبه شده از طریق ثبت داده‌های دراز مدت نزدیک می‌شود.

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} * 100 \quad [2]$$

در رابطه فوق NDVI<sub>max</sub> و NDVI<sub>min</sub> از طریق داده‌های ثبت شده دراز مدت (به عنوان مثال ۱۲ ساله) برای ماه مورد مطالعه (ماه مه) محاسبه شده است و I نشان‌دهنده ماه مه در سال جاری می‌باشد. شرایط و وضعیت پوشش گیاهی توسط VCI، به صورت درصد بیان می‌شود. زمانی که مقدار VCI برابر ۱۰۰٪ باشد مقدار NDVI برای ماه جاری برابر NDVI<sub>max</sub> (بیشترین مقدار در دوره ۱۲ ساله) می‌باشد. درجه‌های مختلفی از شدت خشکسالی با VCI زیر ۴۰٪ نشان داده می‌شود. زمانی که VCI به صفر درصد نزدیک می‌شود، نشانگر یک ماه بسیار خشک بوده و وقتی که مقدار NDVI به مقدار ماکزیم آن نزدیک می‌گردد وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی



شکل ۱- نقشه استان آذربایجان شرقی و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه.

## داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ برای اول ژوئن و همچنین داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ (ماه‌های مارس تا مه) می‌باشند. در ضمن با توجه به در دسترس نبودن تصاویر سال ۲۰۰۷، خشکسالی برای این سال محاسبه نگردیده است. در این مطالعه جهت آماده‌سازی تصاویر و انجام تصحیحات بر روی تصاویر از نرم افزار ENVI، برای اجرای معادلات از ERDAS، جهت طبقه‌بندی نتایج و خروجی گرفتن از تصاویر از ArcGIS و جهت اجرای شاخص SPI از نرم افزار DIP استفاده گردید.

## شاخص‌ها

### ۱- شاخص NDVI

شاخص NDVI برای اولین بار توسط تاکر (۱۹۷۹) به عنوان شاخصی برای سلامت پوشش گیاهی مطرح گردید.

$$NDVI = \frac{(PNIR - PR)}{(PNIR + PR)} \quad [1]$$

در رابطه فوق PNIR، باند مادون قرمز نزدیک و PR، باند قرمز می‌باشد. شاخص NDVI پتانسیل گیاهی (تیلت و همکاران ۱۹۹۷)، درصد پوشش سبزیگیاهی،

خشکسالی‌های کشاورزی و سری‌های بلندمدت در شناسایی و بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارند.

شاخص SPI در مقیاس زمانی سه‌ماهه نوسان‌های زیادی دارد و در مقیاس زمانی بلندمدت، این نوسان‌ها کاهش می‌یابد و می‌تواند چنین تفسیر شود که SPI کوتاه‌مدت نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است و بنابراین، با کوچک‌ترین تغییر در بارندگی ماهانه، SPI به‌سرعت پاسخ می‌دهد، اگر این تغییرات مثبت باشد SPI به بالای صفر و در غیر اینصورت SPI به زیر صفر نوسان می‌کند. این قابلیت، SPI را به‌منزله‌ی یک ابزار قوی برای پیش‌شرایط رطوبتی و تغییرات کوتاه‌مدت (خشکسالی کشاورزی) نشان می‌دهد (بداق جمالی و همکاران ۱۳۸۴).

در این مطالعه برای محاسبه شاخص SPI از نرم‌افزار DIP استفاده گردید. در خروجی این نرم‌افزار شاخص محاسبه شده در محدوده ۲+ و بیشتر برای ترسالی حاد و محدوده ۲- و کمتر برای خشکسالی حاد درجه‌بندی می‌شود. این گروه‌بندی بر اساس رتبه‌بندی اولیه طراحان شاخص انجام می‌گیرد (مک کی و همکاران ۱۹۹۳). در جدول ۱ طبقه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های VCI و SPI نشان داده شده است.

متوالی اشاره به طولانی شدن دوره خشکسالی دارد (تنکابیل و همکاران ۲۰۰۴).

### ۳- شاخص SPI

این شاخص برای کمی نمودن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی چندگانه (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی متفاوت، اثرات خشکسالی را بر روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف بیان می‌کند و دقت محاسبات را بالا می‌برد. شاخص SPI در مطالعه تاثیرات کمبود بارش بر روی آبهای زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه‌ها، کارایی مناسبی دارد (قلی‌زاده ۱۳۸۳). برای محاسبه شاخص SPI ابتدا باید بارش ایستگاه‌ها با توزیع‌های مختلف برازش داده شوند تا بهترین توزیع انتخاب شود. بررسی مک کی و همکاران (۱۹۹۳) نشان داده است که توزیع گاما برازش مناسبی برای داده‌های بارش دارد. بر اساس تحقیق مک کی و همکاران (۱۹۹۳) از بین سری‌های مختلف SPI دوره‌های زمانی یک، سه و شش ماهه به عنوان دوره‌های کوتاه مدت و دوره‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به عنوان دوره‌های بلندمدت تعیین شده‌اند. سری‌های کوتاه مدت در بررسی

جدول ۱- طبقات خشکسالی با شاخص VCI و SPI.

شاخص SPI	شاخص VCI	طبقه
< -۲	< ۱۰	خشکسالی بسیار شدید
-۱/۹۹ تا -۱/۵	< ۲۰	خشکسالی شدید
-۱ تا -۱/۴۹	< ۳۰	خشکسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	< ۴۰	خشکسالی خفیف
> ۰	> ۴۰	ترسالی

هر سال شاخص VCI بر روی تصاویر اجرا شد. در ادامه از نرم‌افزار ArcGIS برای طبقه‌بندی نقشه‌ها و خروجی گرفتن از آن‌ها استفاده شد. در آخر برای اجرای شاخص SPI از نرم‌افزار DIP استفاده گردید.

### نتایج و بحث

برای محاسبه شاخص‌های ذکر شده، ابتدا در نرم‌افزار ENVI تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر انجام گرفت. پس از آن با باند‌های ۱۳ (۰/۶۶۲-۰/۶۷۲ میکرومتر) و ۱۶ (۰/۸۶۲-۰/۸۷۷ میکرومتر) شاخص NDVI برای هر سال محاسبه گردید. سپس در ModelMaker نرم‌افزار ERDAS، برای

این ایستگاه‌ها از روی تصاویر استخراج گردید. سپس نتایج این دو شاخص با هم مقایسه گردید. بر اساس SPI، در سال ۲۰۰۱ تمامی ایستگاه‌ها با خشکسالی مواجه و ایستگاه بناب خشک‌ترین ایستگاه در این سال بوده است. در سال ۲۰۰۸ تمامی ایستگاه‌های منطقه با انواع طبقات خشکسالی روبرو بوده و ایستگاه‌های میانه، مرند، مراغه و بناب شدیدترین خشکسالی را دارا بوده‌اند. سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ با ترسالی مواجه و در هیچ ایستگاهی خشکسالی رخ نداده است. بناب و کلیبر به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ مرطوب‌ترین ایستگاه‌ها بوده‌اند. جدول ۳، مقادیر شاخص SPI را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. اگر آمار بارندگی ایستگاه‌های مذکور را در دوره فوق مورد بررسی قرار دهیم، شاید بتوان نتایج شاخص SPI را تایید نمود.

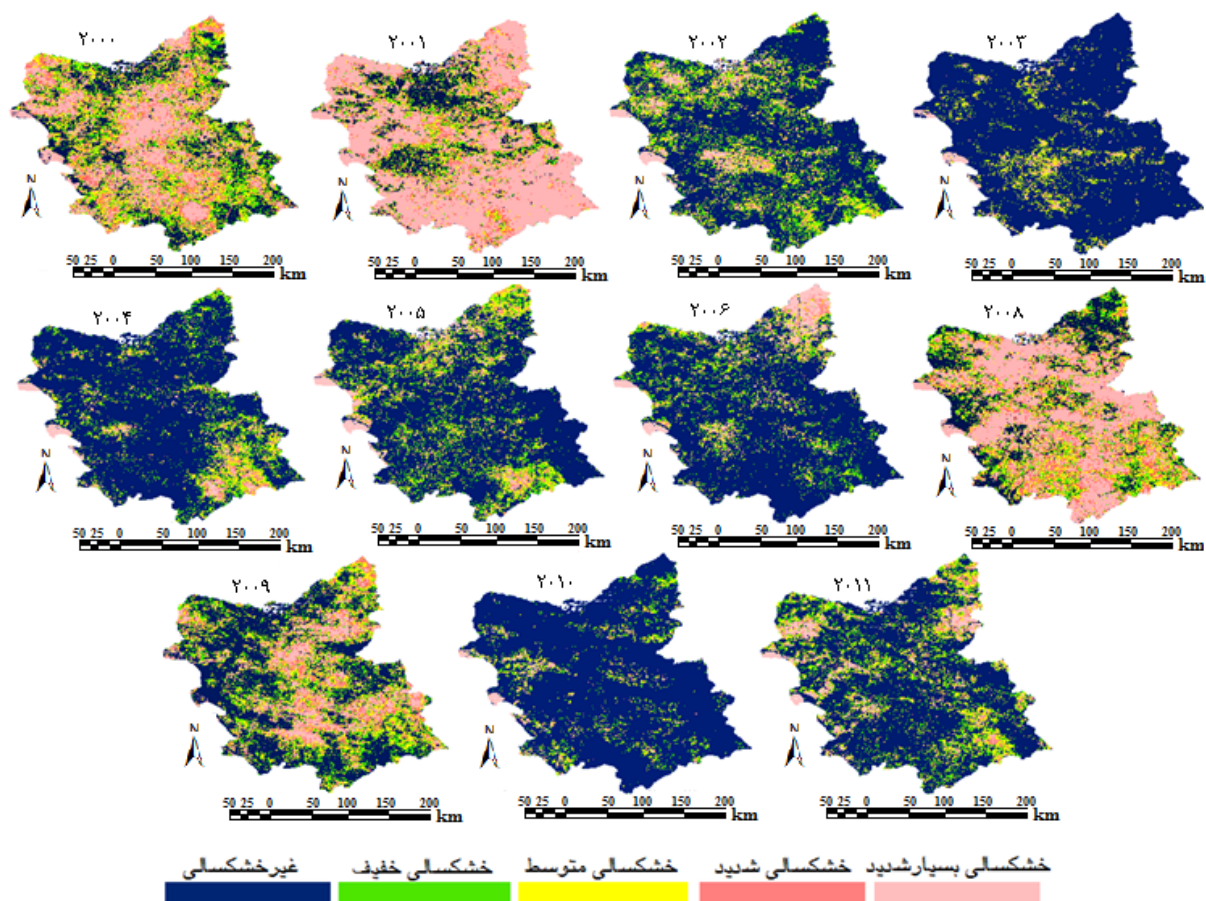
جدول ۲- درصد مساحت طبقات خشکسالی در استان آذربایجان شرقی بر اساس شاخص VCI.

سال	بسیار شدید	شدید	متوسط	خفیف	ترسالی
۲۰۰۰	۲۴/۹	۱۶	۱۸	۱۵/۲	۲۵/۹
۲۰۰۱	۸۵/۵	۱۰/۳	۹	۷/۳	۱۴/۹
۲۰۰۲	۵	۴/۹	۱۰/۲	۱۴/۹	۶۵
۲۰۰۳	۲/۲	۱/۹	۲/۴	۵/۹	۸۷/۶
۲۰۰۴	۳/۱	۳/۷	۶/۵	۹/۴	۷۷/۳
۲۰۰۵	۴/۳	۴/۸	۹	۱۲/۵	۶۹/۴
۲۰۰۶	۶/۲	۳/۷	۵/۸	۹/۳	۷۵
۲۰۰۸	۴۰	۱۴/۷	۱۴/۶	۱۱/۲	۱۹/۵
۲۰۰۹	۱۴/۵	۱۲/۳	۱۵	۱۵	۴۳
۲۰۱۰	۱/۸	۱/۷	۳/۲	۵/۳	۸۸
۲۰۱۱	۶/۶	۵/۸	۹/۶	۱۲/۸	۶۵/۲

پس از اعمال شاخص‌های NDVI و VCI بر روی تصاویر نتایج به صورت نقشه به دست آمد. طبق این نتایج، سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به ترتیب بیشترین وسعت خشکسالی را دارا بوده‌اند. به طوری که به ترتیب ۸۵، ۸۰، ۷۴ و ۵۷ درصد مساحت منطقه با شدت‌های مختلف خشکسالی روبرو شده است. همچنین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ به ترتیب کمترین میزان خشکسالی را دارا بوده‌اند. نقشه‌های خشکسالی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در شکل ۲، نشان داده شده‌اند.

با توجه به جدول ۲، در سال ۲۰۰۱ حدود ۸۵ درصد با خشکسالی بسیار شدید روبرو بوده است. سپس خشکسالی بسیار شدید در سال ۲۰۰۸، ۴۰ درصد محدوده را دربر می‌گیرد. سال ۲۰۱۰، با حدود ۱/۸ درصد و پس از آن سال ۲۰۰۳ (با ۲ درصد) کمترین میزان خشکسالی در طبقه بسیار شدید را دارا بوده‌اند. جدول ۲، مساحت و درصد خشکسالی محاسبه شده بر اساس شاخص VCI برای هر سال را نشان می‌دهد. در پژوهش رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، که خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد مطالعه قرار گرفته، سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۱ با شدیدترین خشکسالی‌ها روبرو شده‌اند. همچنین در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ خشکسالی چشمگیری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه اتفاق نیفتاده است. بنابراین، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های مذکور شمال غرب ایران با خشکسالی‌هایی روبرو شده‌اند.

در ادامه جهت ارزیابی نتایج این پژوهش برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰، شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه محاسبه و همچنین مقادیر VCI در



شکل ۲- نقشه‌های خشکسالی حاصل از شاخص VCI در استان آذربایجان شرقی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱.

جدول ۳- مقادیر شاخص SPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی.

ایستگاه	سال			
	۲۰۱۰	۲۰۰۸	۲۰۰۳	۲۰۰۱
تبریز	۰/۳۴	-۱/۶	۰/۲۲	-۰/۷۳
اهر	۱/۲	-۱/۳	۰/۴	-۰/۸
بناب	۳/۵	-۲	۰/۴	-۰/۹۵
مراغه	۰/۶۶	-۲/۱	۰/۳	-۰/۴۹
مرند	۱/۳	-۲/۱	۰/۷۳	-۰/۹۴
جلفا	۱/۵۲	-۰/۸	۰/۷۶	-۰/۲۷
میانه	۱/۵	-۲/۲۴	۰/۶۳	-۰/۹
سراب	۰/۲۴	-۱/۹	۰/۹	-۰/۹۸
کلیبر	۰/۱۸	-۰/۶	۱/۴	-۰/۶۷



جدول ۴- مقادیر استخراج شده از شاخص VCI در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی.

ایستگاه	سال		
	۲۰۰۱	۲۰۰۳	۲۰۰۸
تبریز	۲۵	۴۹	۲۲
اهر	۲۸	۶۵	۲۹
بناب	۲۵	۴۲	۱۵
مراغه	۳۴	۳۷	۱۹
مرند	۳۱	۷۶	۲۶
جلفا	۴۳	۶۸	۳۱
میانه	۳۷	۴۲	۱۳
سراب	۱۹	۵۳	۲۰
کلیبر	۲۳	۸۰	۳۶

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق کارایی شاخص VCI در تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های ماهواره‌ای و هواشناسی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ استفاده شد. مدل مورد بررسی در این پژوهش شاخص VCI بود که این شاخص خود از شاخص NDVI به دست می‌آید. جهت ارزیابی این شاخص از شاخص SPI استفاده گردید. برای این منظور نتایج دو شاخص مذکور در موقعیت ایستگاه‌های کلیماتولوژی و سینوپتیک استخراج شد. همان‌طور که مشاهده گردید، شاخص SPI تا حدود زیادی نتایج شاخص VCI را تایید می‌کند. بنابراین شاخص VCI روش بسیار مناسبی برای ارزیابی و تحلیل خشکسالی می‌باشد. در پژوهش رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، شاخص VCI به عنوان یک روش مناسب در برآورد خشکسالی تعیین شده است. همچنین در مطالعات شمسی پور و همکاران (۱۳۸۹) و جهانبخش و همکاران (۱۳۸۸)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روش بسیار مناسبی جهت تحلیل خشکسالی در مناطق مختلف کشور ایران می‌باشد. مزیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، کاربرد آن‌ها در مناطقی است که یا در آن‌ها ایستگاه‌های هواشناسی وجود نداشته و یا به صورت پراکنده هستند، بطوری‌که می‌توان در چنین مناطقی از این داده‌ها برای برآورد خشکسالی کشاورزی با دقت و سرعت بالا استفاده کرد.

با توجه به جدول ۴، در سال ۲۰۰۱ مقادیر پایین شاخص VCI در ایستگاه‌ها نشان دهنده این است که انواع طبقات خشکسالی در این سال رخ داده است. در سال ۲۰۰۳ تمامی مقادیر بالاتر از ۴۰ بوده و این بیان می‌کند که در این سال هیچ یک از ایستگاه‌ها با خشکسالی مواجه نشده‌اند. در سال ۲۰۰۸ مقادیر بسیار پایین، وجود یک خشکسالی شدید و سراسری در منطقه را تایید می‌کند و در سال ۲۰۱۰ تمامی ایستگاه‌ها مقادیر بیشتر از ۴۰ را دارا می‌باشند و این نشان دهنده این است که هیچ ایستگاهی با خشکسالی روبرو نشده‌اند. همان‌گونه که مشاهده شد، شاخص SPI در سال‌های مذکور تا حدود زیادی نتایج شاخص VCI را تایید می‌کند. یعنی در هر سالی که با شاخص VCI خشکسالی اتفاق افتاده، با شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه نیز ایستگاه‌ها با خشکسالی روبرو گردیده‌اند. در مطالعه باعقیده و همکاران (۱۳۹۰)، شاخص پوشش گیاهی NDVI با شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین همبستگی را داشته و نتایج بیانگر این بود که شاخص NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد.

## منابع مورد استفاده

- باعقیده م، علیجانی ب و ضیائی پ، ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۰، صفحه‌های ۱ تا ۱۶.
- بداق جمالی ج، آسیایی م، صمدی نقاب س و جوانمرد س، ۱۳۸۴. مدیریت ریسک خشکسالی (شناخت و راهکارها)، انتشارات سخن‌گستر، چاپ اول.
- پرویز ل، خلقی م و ولیزاده کامران خ، ۱۳۸۸. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره Terra-MODIS، صفحه‌های ۱۰۷۳ تا ۱۰۸۱. چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ۱۱ و ۱۲ آذر، کرمان.
- رحیم زاده پ، ۱۳۸۴. بررسی امکان استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR برای پایش خشکسالی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- رسولی ع، ۱۳۸۷. مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، صفحه ۴۶۳.
- رضایی مقدم م ح، ولیزاده کامران خ، رستم‌زاده ه و رضایی ع، ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه). مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳، صفحه‌های ۱ تا ۱۶.
- شمسی پور ع، علوی‌پناه ک و محمدی ح، ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۳، صفحه‌های ۴۴۵ تا ۴۶۵.
- قلی‌زاده م، ۱۳۸۳. پیش‌بینی و پیش‌آگاهی خشکسالی در غرب ایران. پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- محمودی‌کهن ف، اسماعیلی ع و هانی م، ۱۳۹۰. مطالعه نقش بارندگی در وقوع خشکسالی در مناطق خشک با استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور (مطالعه موردی: رفسنجان)، همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، ۲۵ تا ۲۸ اردیبهشت، تهران.
- Bhuiyan C, 2008. Desert vegetarian during droughts: Response and sensitivity. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol XXXVII Part B8, 907-912.
- Bhuiyan C, Singh RP and Kogan FN, 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: 289-302.
- Heim RR, 2002. A review of twentieth-century drought indices used in United States. Bulletin of the American Meteorological Society 84: 1149-1165.
- Karnieli A, Bayasgalan M, Bayarjargal Y, Agam N, Khudulmur S and Tucker CJ, 2006. Comments on the use of the Vegetation Health Index over Mongolia. International Journal of Remote Sensing 27(10): 2017-2024.
- Mckee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pp. 179-184. Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, M.A, January 17-22, Anaheim, California.
- Owringi MA, Adamowski J, Rahnemai N, Mohammadzadeh A and Afshin Sharifan R, 2011. Drought monitoring methodology based on AVHRR image and SPOT vegetation maps. Journal of Water Resources and Protection 3: 325-334.
- Rhee J, 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. Remote Sensing of Environment 114: 2875-2887.
- Roswintarti O, Oarwati S and Anggraini N, 2010. Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island, Pp. 121-135. Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype Year.

- Teillet PM, Staenz K and Willams DJ, 1997. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment* 61: 139–149.
- Thenkabail PS, Gamage MSDN and Samakhtin VU, 2002. Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68: 607–621.
- Thenkabail PS, Enclona EA, Ashton MS, 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.
- Tucker CJ, 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8: 127–150.
- Wang J, Price KP and Rich PM, 2002. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing* 22, 3827–3844.
- Wilhite DA, 2000. Drought As a Natural Hazard. Pp. 1-8. In: Wilhite DA (ed). *Drought: A Global Assessment*, 1. Routledge, London.
- Zhang M, Zhu X, Fan J, Li G and Zhang Y, 2009. Monitoring drought dynamics in Huanghuai region of China using AVHRR-based vegetation health indices in comparison with ground data, *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XI*. Pp. 72-74. Proc of SPIE Edited by Christopher M. U. Neale, Antonino Maltese.