



مجله علمی

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 2, Summer 2016

۱۰۱-۱۱۲



## ارزیابی کارایی شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی پهن‌بند در پیش‌بینی شرایط خشکسالی در ایران

حامد حیدری<sup>۱\*</sup>، دکتر محمدجواد ولدان‌زوج<sup>۲</sup>، دکتر یاسر مقصودی<sup>۳</sup>، محمدرضا بهشتی‌فر<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و عضو سازمان فضایی ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۹/۱۶

### چکیده

ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود که به خشکسالی دچار است. کمبود اطلاعات هواشناسی طولانی‌مدت در پهنه وسیعی از کشور یکی از بزرگ‌ترین مشکلات برای مشاهده و پیش‌بینی کوتاه‌مدت خشکسالی در ایران است. در این مقاله، با به‌کار بردن روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) و با استفاده از داده‌های ۴۲ ایستگاه سینوپتیک منتخب در ایران، عملکرد شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی پهن‌بند NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI در پیش‌بینی خشکسالی بررسی شد. بدین منظور، از شاخص خشکسالی (SPI) برای بیان خشکسالی استفاده شد که نشان‌دهنده شدت و دوره خشکسالی، از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ است. شاخص‌های پوشش گیاهی یادشده از تصاویر سنجنده NOAA-AVHRR محاسبه و استخراج شدند. این شاخص‌ها، به‌صورت ورودی، به مدل SVM وارد شدند و مقادیر SPI را به‌دست دادند. با این روش، شاخص‌های TCI و NDVI، به‌ترتیب، دارای بالاترین و پایین‌ترین همبستگی با شرایط خشکسالی شناخته شدند.

**کلید واژه‌ها:** سنجش از دور، پیش‌بینی خشکسالی، SPI، شاخص‌های پوشش گیاهی، SVM.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده ژئولوژی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، کد پستی ۱۹۹۶۷۱۵۴۳۳  
Email: hhamed@mail.kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

کشور ایران با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، با میانگین بارش سالیانه در حدود ۲۵۰ میلی‌متر، همچون بسیاری از کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا، از لحاظ تأمین آب در وضعیت ناپایداری قرار دارد. ایران در دهه‌های گذشته تحت تأثیر خشکسالی‌های بسیاری قرار گرفته است و پیش‌بینی شده که در سال‌های آتی بر شدت آنها افزوده شود. از سویی، خشکسالی شدید اخیر (۲۰۰۸) تأثیرات مخرب بسیاری در اقتصاد داشت. خشکسالی وضعیتی از کمبود بارش و افزایش دماست که در هر شرایط اقلیمی ممکن است رخ دهد. در واقع، می‌توان این پدیده را پیچیده‌ترین بلای طبیعی دانست که شدت آن متأثر از ترکیب عوامل گوناگونی مانند بارش، درجه حرارت، باد، رطوبت سطح و جریان‌های سطحی است. از آنجاکه خشکسالی در مناطق وسیعی اتفاق می‌افتد، به‌صورت پنهان و نرم رشد می‌کند و دینامیک پیچیده‌ای دارد، پایش آن مشکل است. تعدد وقوع این پدیده در ایران، در وهله نخست، به‌دلیل کمبود بارش و در مرحله بعد، به‌دلیل نبود سیستم مدیریت مناسب منابع آب در کشور است. افزایش درجه حرارت و استقرار آن در منطقه در شرایط بارشی نرمال نیز ممکن است باعث پدید آمدن خشکسالی شود. بنابراین، برای کاهش تأثیرات منفی خشکسالی، نخست باید آن را پایش، و سپس منابع آب موجود را به‌خوبی مدیریت کرد (Jalili et al., 2014).

خشکسالی معمولاً به چهار نوع کشاورزی، هواشناسی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم می‌شود (Wilhite & Glantz, 1985). خشکسالی هواشناسی که مدنظر این مقاله است، به حالتی گفته می‌شود که میزان بارش از نرم‌بارش منطقه در بازه زمانی خاصی کمتر باشد. روش‌ها و شاخص‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری و بیان شدت خشکسالی وجود دارد که در این میان، شاخص شدت خشکسالی

پالمر (PDSI)<sup>۱</sup> (Palmer, 1965) و شاخص استاندارد شده بارش (SPI)<sup>۲</sup> (McKee et al., 1993) بیشترین کاربرد را در مطالعات گوناگون دارند. SPI، در واقع، تفاوت میزان بارش با نرم‌بارش منطقه است که در دوره‌ای زمانی و برای بازه برداشت خاصی تعریف می‌شود. از مزایای SPI می‌شود به استفاده از تنها پارامتر بارش، مراحل محاسباتی ساده و بیان مناسب شرایط خشکسالی در منطقه‌ای مانند ایران اشاره کرد. از آنجاکه مقادیر بارش از تابع توزیع نرمالی تبعیت نمی‌کنند، معمولاً از تابعی دیگر، مانند تابع گاما، برای رسیدن به توزیع مناسب داده‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از طول دوره برداشت بارش ۱، ۳، ۶، ۱۲ و حتی ۲۴ ماهه در دوره زمانی طولانی‌مدت (بیش از ۳۰ سال) در محاسبه SPI می‌توان به اعداد شاخص SPI ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه رسید.

داده‌های سنجش از دوری، به‌دلیل پهنه وسیع برداشت و سادگی حصول، در بسیاری از مطالعات مربوط به خشکسالی روزبه‌روز بیشتر به‌کار می‌روند. سنجنده AVHRR مستقر روی ماهواره NOAA رزولوشن رادیومتریک و وسعت برداشت بالا، به‌همراه رزولوشن زمانی مناسب دارد و دارای سری زمانی مناسب (از سال ۱۹۷۸) است، بنابراین همواره یکی از منابع اصلی برای مطالعات خشکسالی به‌شمار رفته است. در مطالعات خشکسالی، معمولاً شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی و رطوبت سطح، مانند NDVI، VCI و TCI، از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه و استخراج می‌شود. از میان این شاخص‌ها، NDVI بیشترین استفاده را در مطالعات گوناگون داشته که در واقع، نشان‌دهنده وابستگی شدید بین سلامت پوشش گیاهی و رطوبت خاک در مناطقی با پوشش قوی است (Rulinda et al., 2012; Bhuiyan et al., 2006; Jain et al., 2010; Hopfner & Scherer, 2011; Li & Tao, 2002; Lotsch et al., 2003; Kinyanjui, 2011).

1. Palmer Drought Severity Index
2. Standardized Precipitation Index

استفاده از همبستگی بین این شاخص‌ها و مقادیر SPI زمینی، با دقت خوبی پیش‌بینی کردند. در آن تحقیق، از شبکه عصبی برای برقراری ارتباط بین داده‌های سنجش از دوری و داده‌های زمینی روی تمامی نواحی ایران استفاده کردند. مقادیر چهار شاخص یادشده ورودی و SPI خروجی شبکه عصبی بودند. مطالعه مورد نظر روی تمام ایستگاه‌های کشور انجام شد. در این تحقیق، ایستگاه‌های کشور با استفاده از شاخص De-Marton، به شش ناحیه اقلیمی متفاوت تقسیم شدند. این تقسیم‌بندی با این فرض انجام شد که ورود داده‌های ایستگاه‌های مشابه به لحاظ اقلیمی به مدل‌های جداگانه می‌تواند موجب بهبود نتایج نهایی شود. بنابراین از شبکه‌های عصبی مجزا برای هر ناحیه استفاده کردند. البته از شبکه عصبی برای طبقه‌بندی استفاده شد، نه رگرسیون. در واقع، خروجی کار پیش‌بینی شرایط خشکسالی بود و نتیجه مطالعه آن بود که استفاده از شاخص TCI بهترین روش برای پیش‌بینی خشکسالی در کشور است.

در مطالعه حاضر، سعی داریم افزون بر تغییر روش مورد استفاده جلیلی (۲۰۱۴)، عملکرد هریک از شاخص‌های NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI را بررسی کنیم. در این مطالعه، سعی شد تقسیم‌بندی ایستگاه‌های ورودی به هر مدل، با روشی غیر از زون‌بندی اقلیمی انجام شود. این تقسیم‌بندی براساس پوشش سطح به‌دست‌آمده از شاخص‌های ماهواره‌ای برای هر ایستگاه انجام شد و ایستگاه‌های دارای پوشش سطحی شبیه به یکدیگر (براساس شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره‌ای)، وارد مدل یکسانی شدند. تقسیم‌بندی مورد اشاره با این فرض انجام شد که پوشش سطح امکان آن را دارد به نسبت تغییرات بارش، در چگونگی پاسخ‌دهی شاخص‌های طیفی تأثیرگذار

در این مطالعه، از مدل طبقه‌بندی‌کننده SVM، به‌وسیله داده‌های ماهواره‌ای، به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی استفاده شده است. این مدل هریک از چهار شاخص NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI مربوط به هر ایستگاه را در هر ماه به‌صورت ورودی دریافت می‌کند و SPI مربوط به ایستگاه مورد نظر در همان ماه را به‌دست می‌دهد. بدان معنا که مدل با دریافت هریک از این شاخص‌های طیفی برای هر ایستگاه، شرایط خشکسالی آن را پیش‌بینی می‌کند. برای این منظور، شاخص زمینی SPI بین سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۵ محاسبه و تصاویر سنجنده AVHRR در همین بازه دانلود شد. درنهایت، بهترین شاخص برای پیش‌بینی خشکسالی، با استفاده از مدل SVM معرفی و ارزیابی می‌شود.

## ۲- مروری بر تحقیقات پیشین

در گذشته، برخی محققان روی پایش و پیش‌بینی خشکسالی، به‌صورت عددی و با استفاده از شاخص زمینی SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش از دوری به‌دست‌آمده از AVHRR کار کرده‌اند. سانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) روشی ارائه دادند که در آن، با استفاده از NDVI حاصل از AVHRR، خشکسالی را کشف کردند. جی و پیترز<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، طی مطالعه‌ای در ایالات متحده، سعی کردند بین سری زمانی NDVI و SPI (در زمان‌های مشابه) ارتباط برقرار کنند و به این نتیجه رسیدند که SPI سه ماهه در میانه فصل رشد بیشترین همبستگی را با شاخص ماهواره‌ای NDVI در بیان خشکسالی دارد. جین و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) با محاسبه دو شاخص NDVI و VCI از تصاویر AVHRR در یک سری زمانی در چند استان غربی هند، به همبستگی مناسب آنها با مقادیر SPI نظیر دست یافتند. افزون بر موارد یادشده، جلیلی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای جامع، با استفاده از چهار شاخص NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI به‌دست‌آمده از سنجنده AVHRR، خشکسالی را برای کل ایران، با

1. Song et al.
2. Ji & Peters
3. Jain et al.
4. Jalili et al.

شاخص استخراج شد. روند کلی روش پیشنهادی در روندنمای شکل ۱ نشان داده شده است. پیش از ورود داده‌ها به مدل، ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس پوشش سطح آنها و با استفاده از همین شاخص‌ها به شش خوشه گوناگون تقسیم‌بندی شدند و برای هر دسته از ایستگاه‌ها، مدلی منحصر به فرد آموزش داده شد.

شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه (که از پرکاربردترین شاخص‌ها در این حوزه‌اند) عبارت‌اند از:

۱. شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۱</sup> NDVI پرکاربردترین شاخص پوشش گیاهی است. این شاخص را، نخستین بار، تاکر<sup>۲</sup> (۱۹۷۹) مطرح کرد. NDVI شاخصی بدون بعد است. مقادیر آن بین ۱ و -۱ نرمال شده‌اند که بیان‌کننده سلامت پوشش گیاهی و تراکم آن است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

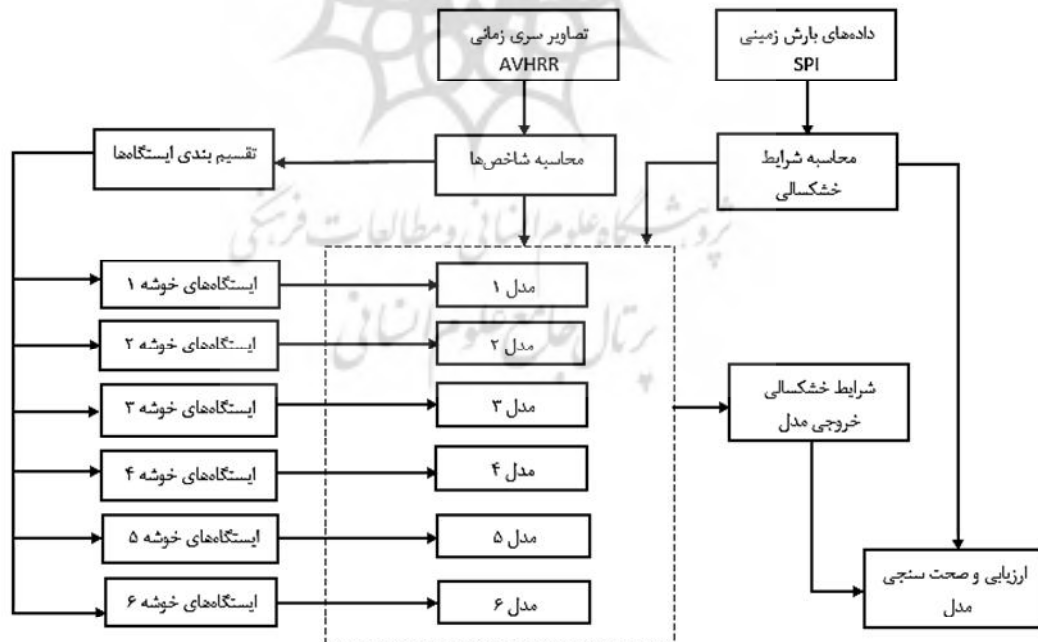
$$NDVI = \frac{(PNIR - PRed)}{(PNIR + PRed)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

PNIR و PRed، به ترتیب، بازتابندگی در باندهای فرورسرخ و قرمزند.

باشد. با این فرض و انجام دادن این تقسیم‌بندی جدید، ایستگاه‌هایی که پاسخ‌دهی شاخص‌های طیفی آن‌ها با تغییرات بارش رفتار مشابه دارند، وارد مدل یکسانی شدند تا بتوانند بهتر این تغییرات (تغییرات بارش) را مدل‌سازی کنند.

### ۳- روش پیشنهادی

در این مطالعه (مانند دیگر مطالعات سنجش از دوری در حوزه مسائل محیطی) توانایی چند شاخص طیفی پوشش گیاهی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای برای برقراری ارتباط آنها با داده‌های زمینی بررسی شد. برای این منظور، پس از محاسبه این شاخص‌ها و همچنین شاخص زمینی خشکسالی SPI، از مدل طبقه‌بندی SVM برای برقراری ارتباط بین آنها استفاده شد. پس از محاسبه SPI برای هر ایستگاه در طول سری زمانی مطالعه، شرایط گوناگون خشکسالی براساس مقادیر این



شکل ۱. روندنمای مراحل روش پیشنهادی جهت پیش‌بینی خشکسالی

1. normalized difference vegetation index
2. Tucker

## ۲. شاخص انحراف از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI\_DEV)

این شاخص به خودی خود نشان‌دهنده وقوع و یا عدم وقوع شرایط خشکسالی نیست. اما شدت خشکسالی ممکن است در میزان تغییرات NDVI از میانگین بلندمدت آن مؤثر باشد. در واقع، این شاخص تغییرات در شرایط آب‌وهوایی را نشان می‌دهد. NDVI\_DEV از تفاضل NDVI برای زمان مورد نظر از میانگین بلندمدت NDVI به دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{NDVI-DEV}_i = \text{NDVI}_i - \overline{\text{NDVI}}$$

در رابطه بالا،  $\overline{\text{NDVI}}$  میانگین بلندمدت اعداد NDVI برای ماه مورد نظر در سال‌های متفاوت است. اعداد منفی برای NDVI-DEV نشان‌دهنده شرایط زیرنرمال برای پوشش گیاهی است که ممکن است هشدار برای خشکسالی به شمار رود. حال آنکه اعداد مثبت این شاخص شرایط بالای نرمال برای پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهند (Anayamba & Eastma, 2001).

## ۳. شاخص وضعیت پوشش گیاهی<sup>۱</sup>

نخستین بار، کوگان (1995) این شاخص را ارائه کرد. VCI نشان می‌دهد NDVI به دست آمده برای آن ماه مورد نظر است، به چه میزان به کمترین حد NDVI در طول دوره زمانی نزدیک است. در واقع، استفاده از VCI به منظور جداسازی جزء آب‌وهوایی NDVI از جزء بوم‌شناختی آن است و از رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{VCI}_i = 100 * \frac{(\text{NDVI}_i - \text{NDVI}_{\min})}{(\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})}$$

در رابطه بالا،  $\text{NDVI}_{\max}$  و  $\text{NDVI}_{\min}$ ، به ترتیب، مینیمم و ماکزیمم مقادیر NDVI ماه مورد نظر، در طول بازه زمانی مطالعه است. VCI به صورت درصد بیان می‌شود و میزان خشکی ماه مورد نظر را نشان می‌دهد. اگر عدد حاصل برای VCI ۱۰۰-۵۰ درصد باشد، شرایط پوشش گیاهی مناسب است و هرچه عدد به دست آمده به صفر نزدیک‌تر باشد، از استرس آبی و خشکسالی خبر می‌دهد.

## ۴. شاخص شرایط دمایی<sup>۲</sup>

این شاخص را نیز کوگان (۲۰۰۱) برای اولین بار ارائه کرد. روش محاسبه TCI بسیار شبیه به VCI است، با این تفاوت که به دمای درخشندگی وابسته است. این شاخص به منظور حذف آثار مخرب بخار آب در داده‌های ماهواره‌ای در پایش خشکسالی به کار می‌رود. TCI میزان انحراف دمای ماه مورد نظر را از مقدار بیشینه، طی زمان مطالعه، بیان می‌کند. بدین صورت که اساس آن دمای درخشندگی است و بیان‌کننده عملکرد پوشش گیاهی نسبت به دماست.

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{TCI} = 100 * \frac{(\text{BT}_{\max} - \text{BT}_i)}{(\text{BT}_{\max} - \text{BT}_{\min})}$$

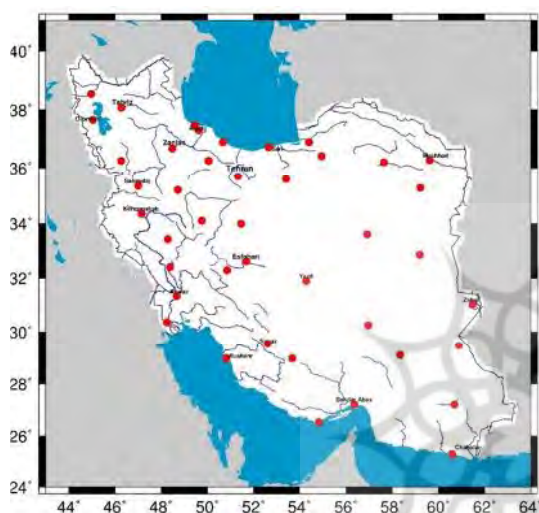
در رابطه بالا،  $\text{BT}_i$  دمای درخشندگی در ماه مورد نظر است.  $\text{BT}_{\max}$  و  $\text{BT}_{\min}$ ، به ترتیب، پایین‌ترین و بالاترین دمای درخشندگی در طول دوره برداشت برای آن ماه محسوب می‌شوند. این شاخص نیز به صورت درصد محاسبه می‌شود و TCI بالا در میانه فصل نشان‌دهنده دمای بالا (نزدیک به ماکزیمم دوره برداشت)، رطوبت خاک کمتر و شرایط نامناسب از نظر خشکسالی، و TCI پایین نشان‌دهنده آب‌وهوای خنک‌تر و شرایط مناسب از لحاظ خشکسالی است.

## ۳-۱- مدل ماشین بردار پشتیبان

مدل‌های ماشین بردار پشتیبان همواره توانایی بالایی در مسائل طبقه‌بندی از خود نشان داده‌اند. SVM براساس ماکزیمم کردن فاصله اعضای هر کلاس از مرز تصمیم‌گیری طراحی شده است. در واقع، در SVM، هدف تعیین بهترین مرز تصمیم‌گیری است تا کلاس‌های گوناگون بهترین تفکیک‌پذیری را از یکدیگر داشته باشند. در مسائلی پیچیده، مانند این مطالعه، معمولاً تعیین این مرز تصمیم‌گیری (که بنا به ابعاد فضای ویژگی، ممکن است خط، صفحه و یا ابرصفحه باشد) در

1. vegetation condition index  
2. temperature condition index

توزیع آن در کشور دارند (Sadeghi et al., 2002). مطالعه حاضر روی ۴۲ ایستگاه سینوپتیک، مورد اعتماد و دارای سری زمانی مناسب در کل ایران انجام گرفت. شکل ۲ چگونگی توزیع این ایستگاه‌ها در سطح کشور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این ایستگاه‌ها افزون‌بر تولید داده‌های مناسب (به‌لحاظ صحت و پیشینه) در سطح کشور توزیع مناسبی دارند.



شکل ۲. جانمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایران، به‌لحاظ اقلیمی، بسیار متنوع است و آب‌وهوای آن از خشک و نیمه‌خشک در قسمت‌های میانی، تا بسیار مرطوب در مناطق شمالی و سواحل دریای خزر گونه‌گونی دارد. در حاشیه دریای خزر (بین رشته‌کوه البرز و دریای خزر در شمال کشور) دمای هوا به‌ندرت به حد انجماد می‌رسد و این منطقه در بیشتر اوقات سال مرطوب است. بارش سالیانه در قسمت‌های شرقی این منطقه حدود ۶۸۰ میلی‌متر است، درحالی‌که این عدد در قسمت‌های غربی به بیش از ۱۷۰۰ میلی‌متر می‌رسد. قسمت‌های غربی، یعنی دامنه‌های غربی زاگرس، دمای کمتر و زمستان‌های سختی دارند (دمای زیر صفر و بارش سنگین برف). در دامنه‌های شرقی زاگرس، به‌دلیل ممانعت این رشته‌کوه از عبور رطوبت مدیترانه‌ای، بارش کاهش می‌یابد. قسمت‌های

فضای ویژگی ناممکن است. بنابراین، از برخی توابع با عنوان کرنل استفاده می‌کنند تا با تبدیل فضای ویژگی به فضای جدید، تفکیک‌پذیری میان کلاس‌ها را افزایش دهند. کرنل‌های گوناگونی برای این کار وجود دارد. در این مطالعه، پس از اعمال کرنل‌های گوناگون و مقایسه عملکرد آنها، از SVM با تابع کرنل شعاعی گاوسی (RBF) با انحراف‌معیار یک، برای طبقه‌بندی استفاده کردیم.

$$K(X_i, X) = e^{-\frac{\|X_i - X\|^2}{2\delta^2}} \quad ; \quad \delta = 1 \quad (5)$$

K تابع کرنل گاوسی با پایه شعاعی،  $X_i$  مقادیر در فضای اولیه و  $X$  مرکز داده‌های کلاس است.

به‌منظور بررسی عملکرد مدل، تعدادی از متریک‌های گوناگون، مانند میانگین خطای مطلق و صحت، استفاده می‌شود. از آنجاکه مسئله حاضر مربوط به طبقه‌بندی است (پیش‌بینی کلاس خشکسالی که در جدول ۱ تعریف شد) نه رگرسیون، از صحت برای بیان میزان کارایی مدل استفاده شد. صحت مسئله طبقه‌بندی به این صورت تعریف می‌شود.

$$\text{Accuracy} = \frac{A_c}{A} \quad (6)$$

$A_c$  تعداد ایستگاه‌هایی است که در ماه مورد نظر به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند و  $A$  تعداد کل ایستگاه‌ها در آن ماه است. درواقع، متریک فوق بیان‌کننده میزان توانایی مدل در پیش‌بینی شرایط خشکسالی در هر ماه است.

### ۳-۲- منطقه مورد مطالعه

ایران در جنوب‌شرق آسیا قرار گرفته است و با کشورهای ترکمنستان، آذربایجان، ارمنستان، ترکیه، عراق، پاکستان و افغانستان هم‌مرز است. مساحت آن حدود ۱/۶۴ میلیون کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد و بین عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی گسترده است. ایران دو رشته‌کوه اصلی به نام‌های البرز در شمال و زاگرس در غرب کشور دارد. این رشته‌کوه‌ها تأثیر بسزایی در میزان بارش و چگونگی

احتمالی SPI محاسبه شاخص مناسب بر سری زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی در هر ایستگاه است. بسیاری از پژوهشگران توزیع گاما را برای این منظور پیشنهاد داده‌اند (Mchee et al., 1993; Edwards, 1997).

#### ۵- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

پس از محاسبه SPI با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار متلب و پیش از انجام دادن دیگر مراحل کار، به دسته‌بندی ایستگاه‌ها اقدام کردیم. این دسته‌بندی براساس پوشش سطح ایستگاه و مناطق اطراف آن، و با استفاده از NDVI به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای برای پیکسل‌های روی هر ایستگاه و نیز، الگوریتم فازی C- میانگین انجام شد. با این کار، ایستگاه‌هایی که از نظر پوشش سطح شبیه‌اند، در یک دسته قرار گرفتند و در ادامه، وارد مدل یکسانی شدند. در فرایند پیش‌بینی، مدل کار طبقه‌بندی را انجام می‌دهد، یعنی خروجی مدل، در واقع کلاس خشکسالی بود نه عدد SPI. برای این منظور، از جدول ۱ برای دسته‌بندی انواع شرایط خشکسالی، با استفاده از SPI سود جستیم. بدین ترتیب، برای هر ایستگاه، در هر ماه از سری زمانی مطالعه، هفت کلاس گوناگون برای شرایط خشکسالی خواهیم داشت (جدول ۱). در این حالت، با وارد کردن هریک از شاخص‌های طیفی ماهواره‌ای هر ایستگاه در هر ماه به مدل، می‌توانیم به کلاس خشکسالی ایستگاه در ماه مورد نظر برسیم.

جدول ۱. مقادیر متفاوت SPI و کلاس شدت خشکسالی نظیر

مقدار SPI	شاخص خشکسالی
$\leq -2$	خشکسالی شدید
-۲/۰ تا -۱/۵	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۰	خشک
-۱/۰ تا ۱/۰	معمولی
۱/۰ تا ۱/۵	تر
۱/۵ تا ۲/۰	ترسالی متوسط
$\geq 2/0$	ترسالی شدید

1. along track
2. across track

مرکزی و شرقی کشور دارای اقلیم خشک (و گاه بیابانی) هستند و بارش در این مناطق کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. سواحل خلیج فارس و دریای عمان، در جنوب ایران، زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و مرطوب را از سر می‌گذرانند. بارش در این مناطق بین ۱۳۵ تا ۳۵۵ میلی‌متر است (Raziei & Saghafian, 2005).

#### ۴- داده‌های مورد استفاده

##### ۴-۱- داده‌های NOAA-AVHRR

برای محاسبه چهار شاخص NDVI-DEV، NDVI، VCI و TCI، از تصاویر به دست آمده از سنجنده NOAA-AVHRR طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۵ استفاده شد. رزولوشن زمانی بالا، حجم تصویر کم و در دسترس بودن AVHRR از دلایل اصلی برای استفاده از آن بود. همچنین، این سنجنده رزولوشن مکانی ۱/۱ کیلومتر در نادر دارد. با افزایش زاویه دید، این عدد در امتداد حرکت<sup>۱</sup> به ۲/۴ کیلومتر و در راستای عمود بر جهت حرکت<sup>۲</sup> به ۶/۹ کیلومتر می‌رسد. ایران دارای ایستگاه زمینی برای دریافت تصاویر نزدیک نادر NOAA-AVHRR است. بنابراین، توانستیم به تصاویر با رزولوشن مکانی ۱/۱ کیلومتر برای کل ایران برسیم.

##### ۴-۲- داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی در این مطالعه عبارت بودند از اعداد بارش ماهیانه ایستگاه‌های کشور که از سازمان هواشناسی دریافت شد. داده‌های زمینی طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۷۸ دریافت شد و به کار رفت. این داده‌ها شامل بارش ماهیانه ۴۲ ایستگاه سینوپتیک کشور بود که برای محاسبه شاخص خشکسالی SPI استفاده شدند. در واقع، هر چند ورودی الگوریتم محاسبه SPI بارش است، اما خروجی این شاخص با خود عدد بارش ارتباط مستقیم ندارد. SPI ارائه‌دهنده میزان تغییرات بارش در دوره مورد نظر، در مقایسه با بارش در همان دوره در بلندمدت است. مستلزم برآزش تابع توزیع

کیلومتر) انجام شد. با این کار، مقادیر نهایی از میانگین‌گیری بین این سه مقدار به‌دست آمد. بدین ترتیب، برای هر ایستگاه در هر ماه، چهار عدد (شاخص‌های طیفی) از تصاویر ماهواره‌ای حاصل شد. افزون‌بر این شاخص‌ها، مقادیر SPI نیز برای هر ایستگاه، در هر ماه از دوره زمانی مطالعه، محاسبه و استخراج شد. ما از مدل SVM برای برآورد رابطه غیرخطی بین SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره‌ای استفاده کردیم. برای این منظور، مقادیر SPI براساس جدول ۱ برچسب‌گذاری شده و برای هر یک، کلاس متناظر خشکسالی در نظر گرفته شد. سپس، این مدل برای حل مسئله طبقه‌بندی به‌کار رفت. در ادامه، از داده‌های محاسبه‌شده در مراحل پیشین، برای سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۵ جهت آموزش مدل بهره بردیم. پس از آموزش مدل، انتظار داریم با وارد کردن مقادیر هر یک از چهار شاخص NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI شرایط خشکسالی (کلاس) مربوط به ایستگاه را دریافت کنیم.

#### ۶- آنالیز نتایج

برای اطمینان از عملکرد مناسب مدل، شرایط خشکسالی در دوازده ماه از سه سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ را پیش‌بینی، و آن را با مقادیر واقعی مقایسه کردیم. در واقع، از ۸۸٪ داده‌ها برای آموزش مدل، و از ۱۲٪ باقی‌مانده برای تست تعمیم‌پذیری و عملکرد آن روی ۳۶ مجموعه داده مستقل استفاده شد.

در نهایت، خروجی مدل برای این داده‌های تست با مقادیر واقعی آنها (کلاس‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از ورود شاخص‌های ماهواره‌ای به مدل طبقه‌بندی با کلاس خشکسالی متناظر به‌دست‌آمده از SPI) مقایسه شد و عددی با عنوان دقت برای هر ماه از این سه سال ارائه می‌شود.

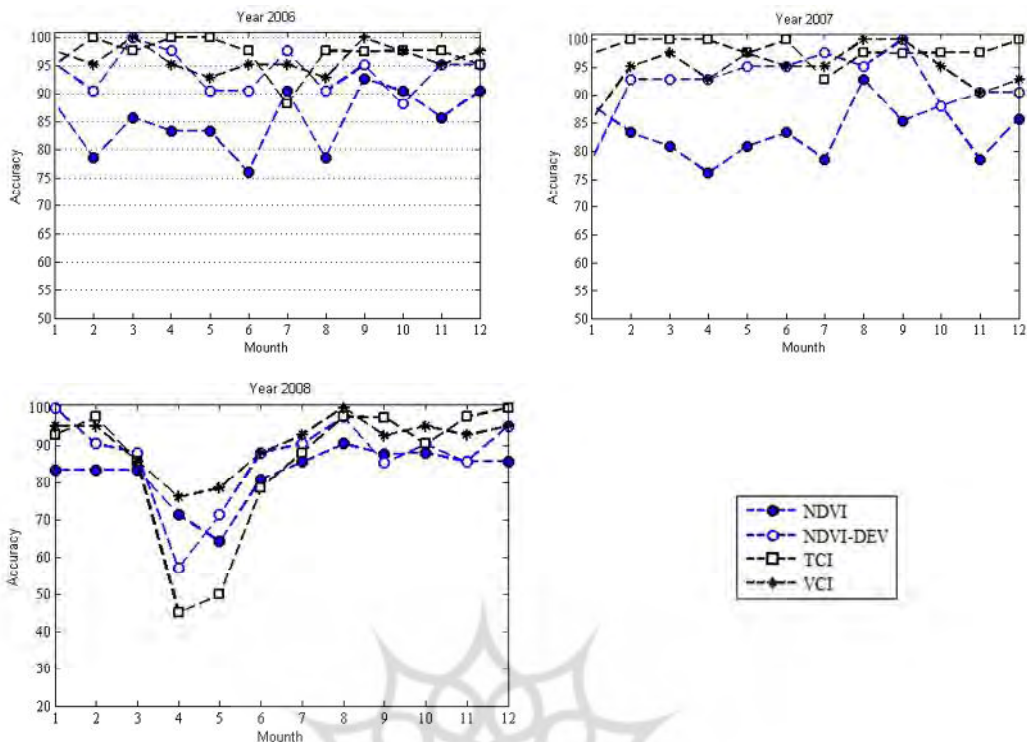
نمودار ۱ نتایج حاصل از مدل SVM، با استفاده از شاخص‌های NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI، را

برای این منظور، باید از روش‌های طبقه‌بندی گوناگونی استفاده شود که برای این کار وجود دارد. در این مطالعه برای پیش‌بینی شرایط خشکسالی، از مدل طبقه‌بندی SVM، با بهره‌جستن از تصاویر NOAA-AVHRR استفاده شد. برنامه‌نویسی این طبقه‌بندی در محیط نرم‌افزار متلب انجام گرفت. پس از به‌کارگیری کرنل‌ها و الگوریتم‌های یادگیری گوناگون در این نرم‌افزار و مقایسه عملکرد آنها، در نهایت، از SVM با تابع کرنل با پایه شعاعی (RBF)<sup>۱</sup> و روش کمترین مربعات (LS)<sup>۲</sup> استفاده شد. بنابراین در این تحقیق، افزون‌بر پیش‌بینی شرایط خشکسالی، عملکرد هر یک از شاخص‌ها بررسی و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. در این راستا، داده‌های ۲۱ سال به‌منزله داده آموزشی وارد مدل شد و عملکرد مدل، در سه سال آخر، سنجیده شد. روند کار این‌گونه بود که شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش از دوری ماهیانه متعلق به سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۵ به‌منزله ورودی، و کلاس SPI متناظر به‌منزله خروجی برای آموزش مدل به‌کار رفتند. پس از آموزش مدل، از سه سال آخر برای آزمون مدل استفاده شد. در این سه سال، شاخص ماهواره‌ای مورد نظر برای ایستگاه‌ها به مدل آموزش‌دیده داده شد و کلاس SPI پیش‌بینی شد.

پس از حذف خطاهای رادیومتریک و اتمسفری، برای هر ماه طی سری زمانی مطالعه، به چهار تصویر ۱/۱ کیلومتری برای کل کشور در هر ماه رسیدیم که اعداد درون پیکسل‌های هر یک از این تصاویر یکی از شاخص‌های سنجش‌از‌دوری NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI بود. برای اینکه بتوانیم مقادیر ماهواره‌ای و زمینی را وارد مدل کنیم، باید این اعداد به‌صورت مکانی هم‌ارز باشند. بدین ترتیب که مقادیر آن پیکسل‌هایی از تصویر مورد نیاز بود که ایستگاه‌ها در آنها قرار دارند. بنابراین، به‌ازای هر ایستگاه یک پنجره ۳×۳ به مرکزیت پیکسل ایستگاه در نظر گرفتیم. این کار به‌دلیل کاهش تأثیر نویز و همچنین، رخ ندادن تغییرات در میزان بارش در این فاصله (حدود ۱/۶۵

1. Radial Basis Function  
2. Least Square





نمودار ۱. صحت عملکرد شاخص‌های گوناگون در پیش‌بینی شرایط خشکسالی

بود که در سال ۲۰۰۸ (همانند ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) نیز بهترین عملکرد را از خود نشان می‌داد. این در حالی است که استفاده از NDVI در پیش‌بینی شرایط خشکسالی کمترین دقت را در بین چهار شاخص مورد مطالعه دربر داشته است. NDVI و NDVI-DEV ضعیف‌ترین عملکرد را در پیش‌بینی خشکسالی در این مطالعه از خود نشان دادند. علت این توانایی بالاتر VCI و TCI در مقایسه با NDVI و NDVI-DEV را می‌توان چنین بیان کرد: بیشتر شاخص‌های پوشش گیاهی تحت تأثیر استرس آبی گیاهان قرار دارند. گستره زیاد منطقه مطالعاتی گوناگونی مناطق را در روند کار موجب خواهد شد. حال آنکه VCI و TCI، هر دو، با استفاده از سری زمانی داده مربوط به منطقه محاسبه می‌شوند. به نظر می‌رسد تنوع فراوان پوشش گیاهی در عملکرد NDVI و NDVI-DEV تأثیر دارد. ممکن است دلیل دیگر آن ماهیت هریک از شاخص‌ها نیز باشد. به‌ویژه TCI که در ماهیت خود با سه شاخص دیگر تفاوت دارد و براساس دمای درخشندگی است. با استفاده از مدل SVM در پیش‌بینی شرایط خشکسالی به دقت ۱۰۰٪ برای چند ماه رسیدیم.

برای پیش‌بینی شرایط خشکسالی نشان می‌دهد. هریک از این شاخص‌ها یک خروجی با عنوان شرایط خشکسالی برای هر ماه دارند. ما این مدل را چهار بار برای هریک از این شاخص‌ها، جداگانه آموزش داده و آزمودیم زیرا برای هر شاخص از مدل‌های جداگانه استفاده شد، مدل ما به صورت جداگانه و با استفاده از داده‌های متفاوت آموزش داده شده و تست شدند. طبق نمودار ۱، هیچ‌یک از شاخص‌ها در تمامی ماه‌ها برتر از بقیه نبودند. باین حال در مجموع، در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، TCI بالاترین دقت را در مقایسه با سه شاخص دیگر ارائه می‌دهد. در سال ۲۰۰۸، وقوع خشکسالی بی‌سابقه‌ای در بسیاری از مناطق کشور موجب شد دقت مدل (در استفاده از همه شاخص‌ها) کاهش یابد. در این سال شاخص VCI، به نسبت سه شاخص دیگر، توانایی بالاتری در پیش‌بینی این شرایط ارائه کرد. این بدان معنا نیست که VCI بیشترین توانایی را در پیش‌بینی شرایط خشکسالی در بین شاخص‌های مورد استفاده دارد. زیرا اگر مدل داده‌های آموزشی مناسب از شرایط مشابه با سال ۲۰۰۸ را در اختیار داشت، باز هم این شاخص TCI

یادگیری تمام شرایط خواهد بود. با مقایسه نتایج حاصل از دسته‌بندی اقلیمی ایستگاه‌ها و دسته‌بندی آنها طبق پوشش سطح ایستگاه، مشاهده می‌شود که در حالت کلی (عملکرد کلی مدل)، استفاده از پوشش سطح ایستگاه‌ها نتایج بهتری در پی خواهد داشت. در این میان، نکته مهم تأخیر یک‌ماهه NDVI در مقابل تغییرات SPI (پاسخ‌دهی به تغییر در شرایط بارش) است. همان‌گونه که در نمودار ۱ دیده می‌شود، برخلاف شاخص‌های NDVI-DEV، VCI و TCI که در ماه چهارم سال ۲۰۰۸ کمترین میزان دقت را ارائه کرده‌اند، NDVI در ماه ششم ضعیف‌ترین عملکرد خود را نشان داده است. این تأخیر یک‌ماهه در مطالعات گذشته نیز اثبات شده و یا دیده شده است. (پرویزی، ۱۳۹۰).

#### ۷- نتیجه‌گیری

خشکسالی شرایط اقلیمی مخربی است که در بسیاری از مناطق ایران، بر محیط و سلامت انسان‌ها تأثیر می‌گذارد. در این بین، مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی، ممکن است دولت و تصمیم‌گیرندگان کلان کشور را در استفاده بهینه از منابع موجود و کاهش تأثیرات مخرب خشکسالی کمک کند. شاخص‌های گوناگونی برای بیان شرایط خشکسالی در یک منطقه وجود دارد. SPI که در این مطالعه بکارگرفته شد، یکی از این شاخص‌هاست که در مطالعات مربوط به خشکسالی، از آن استفاده گسترده‌ای می‌شود. این شاخص براساس رفتار بارشی ایستگاه در دوره برداشت مورد نظر، به نسبت سری زمانی بلندمدت آن محاسبه می‌شود. مشکل اساسی استفاده از SPI و

در ادامه، بار دیگر همه مراحل کار را با استفاده از روش دسته‌بندی ایستگاه‌ها، براساس اقلیم آنها (مورد استفاده در: Jalili, 2014) انجام دادیم. نتایج عددی حاصل از این روش و روش به‌کاررفته در این مقاله در قالب یک جدول آمده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مدل پایین‌ترین دقت را در آوریل و می ۲۰۰۸ (در استفاده از همه شاخص‌ها) ارائه می‌دهد. این دو ماه دقیقاً زمانی است که شاخص VCI برتری خود را در پیش‌بینی شرایط خشکسالی بی‌سابقه، طی سری زمانی مطالعه، درمقایسه با سه شاخص دیگر نشان می‌دهد. شاپان ذکر است کویرینگ و گانش<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای در ایالات متحد، به این نتیجه رسیده بودند که VCI در تشخیص آبی استرس آبی گیاهان طی فصل رشد توانایی بالایی دارد. درباره توضیح کاهش چشمگیر توانایی TCI در ماه‌های آوریل و می ۲۰۰۸، به‌نظر می‌رسد از آنجاکه شرایط بی‌سابقه خشکسالی حاکم بر کشور در این سال (و به‌ویژه این دو ماه) در مدت زمان آموزش مدل (۲۰۰۵-۱۹۸۵) رخ نداده، مدل (به‌خصوص با استفاده از TCI) قادر به پیش‌بینی آن نبوده است. به‌نظر می‌رسد اگر داده‌های آموزشی کافی (شرایط گوناگون خشکسالی) در اختیار مدل قرار گیرد، TCI شاخص مناسب‌تری برای پیش‌بینی شرایط خشکسالی خواهد بود. مدل براساس تجربیات گوناگون طی این دوره زمانی آموزش داده می‌شود، بنابراین، نداشتن تجربه چنین شرایطی در گذشته باعث کاهش دقت آن در شرایط مشابه خواهد شد. اگر مدل اطلاعات کافی از شرایط گوناگون خشکسالی داشته باشد، قادر به

جدول ۲. نتایج عددی

	Land Cover				De-Marton			
	NDVI	NDVI-DEV	TCI	VCI	NDVI	NDVI-DEV	TCI	VCI
۲۰۰۶	۸۵/۳۰۲۹	۹۳/۵۳۹۵	۹۷/۰۱۹۰	۹۶/۲۳۰۲	۸۵/۸۷۸۱	۹۱/۹۶۳۰	۹۳/۲۳۹۵	۹۰/۹۹۱۸
۲۰۰۷	۸۳/۵۰۲۷	۹۲/۴۶۰۳	۹۸/۲۰۹۴	۹۴/۸۴۱۳	۸۶/۲۹۹۰	۹۳/۲۰۱۵	۹۵/۵۸۷۳	۹۰/۹۱۵۰
۲۰۰۸	۸۲/۵۱۵۵	۸۶/۶۷۷۳	۸۵/۱۱۴۲	۹۰/۶۶۰۱	۸۵/۷۱۵۳	۹۳/۸۱۰۵	۸۷/۲۳۲۹	۸۸/۷۵۶۳

1 Quiring & Ganesh

#### ۸- منابع

پرویز، ل.، خیاط خلقی، م.، ولی زاده، خ.، عراقی نژاد، ش.، و ایران نژاد، پ.، ۱۳۹۰، بررسی کارآیی شاخص های منتج از فناوری سنجش از دور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سفیدرود، جغرافیا و توسعه، دور ۹، شماره ۲۲، صص. ۱۶۴-۱۴۷.

Anayamba, A.T. & Eastma Jr., C.J., 2001, **NDVI Anomaly Patterns over Africa during the 1997/98 ENSO Warm Event**, Int'l J. Remote Sensing, Vol. 22, No. 10, PP. 1847-1859.

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**, Int'l J. Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 8, PP. 289-302.

Edwards, D.C., 1997, **Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales**, Master thesis, Colorado State Univ..

Hopfner, C. & Scherer, D., 2011, **Analysis of Vegetation and Land Cover Dynamics in North-Western Morocco during the Last Decade Using Modis NDVI Time Series Data**, Biogeosciences, Vol. 8, Issue 11, PP. 3359-3373.

Jain, S.K., Keshri, R., Goswami, A. & Sarkar, A., 2010, **Application of Meteorological and Vegetation Indices for Evaluation of Drought Impact: A Case Study for Rajasthan, India**, Natural Hazards, Vol. 54, Issue 3, PP. 643-656.

Jalili, M., Gharibshah, J., Ghavami, S.M., Beheshtifar, M. & Farshi, R., 2014, **Nationwide Prediction of Drought Conditions in Iran Based on Remote Sensing Data**, IEEE Transaction on Computers, Vol. 63, No. 1.

(و شاخص های مانند آن) کمبود ایستگاه های هواشناسی در برخی مناطق کشور است. یعنی اگر ایستگاه هواشناسی در منطقه ای وجود نداشته باشد، قادر به بررسی خشکسالی در آن منطقه نخواهیم بود. در این مطالعه، از تصاویر NOAA-AVHRR برای مدل سازی و پیش بینی خشکسالی استفاده کردیم. تصاویر این سنجنده را برای برآورد چند شاخص پوشش گیاهی سنجش از دوری به کار بردیم. در نهایت، شرایط خشکسالی مبتنی بر SPI را، با استفاده از این شاخص های طیفی، پیش بینی کردیم. برای این کار، از مدل طبقه بندی کننده SVM استفاده شد. هر بار یکی از شاخص های NDVI، NDVI-DEV، VCI و TCI به منزله ورودی مدل و شرایط خشکسالی (کلاس خشکسالی به دست آمده از طریق محاسبه SPI) خروجی آن بودند تا بتوانیم مناسب ترین شاخص سنجش از دوری را برای پیش بینی خشکسالی از بین موارد یاد شده شناسایی کنیم. در این پیش بینی، از یک مدل برای کل کشور استفاده نشد. ایستگاه های کشور، براساس پوشش سطح محل (با استفاده از شاخص NDVI)، به چند کلاس گوناگون دسته بندی شدند و برای هر یک از این کلاس ها، مدل جداگانه ای اعمال شد. با انجام دادن تمامی مراحل کار، ثابت شد که بین شاخص های گوناگون سنجش از دوری مورد مطالعه، TCI و NDVI، به ترتیب، بهترین و ضعیف ترین عملکرد را در پیش بینی شرایط خشکسالی از خود نشان می دهند. از آنجاکه بیشتر مساحت کشور را نواحی بدون پوشش گیاهی یا با پوشش ضعیف دربر می گیرد، شاخص های دمایی مانند TCI که به رطوبت سطحی خاک و تنش دمایی حساس ترند، بهتر از دیگر شاخص های طیفی بر پوشش گیاهی (ناحیه مرئی و فروسرخ) مبتنی اند. بنابراین، پیشنهاد می شود شاخص های دمایی در مطالعات خشکسالی مناطقی استفاده شوند که پوشش گیاهی آنها ضعیف است.

- Ji, L. & Peters, A.J., 2003, **Assessing Vegetation Response to Drought in the Northern Great Plains Using Vegetation and Drought Indices**, Remote Sensing of Environment, Vol. 87, Issue 1, PP. 85-98.
- Kinyanjui, M.J., 2011, **NDVI-Based Vegetation Monitoring in Mau Forest Complex, Kenya**, African J. Ecology, Vol. 49, Issue 2, PP. 165-174.
- Kogan, F.N., 1995, **Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection**, Advances Space Research, Vol. 15, Issue 11, PP. 91-100.
- \_\_\_\_\_, 2001, **Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment**, Bull. Am. Meteorological Soc., Vol. 82, PP. 1949-1964.
- Li, B. & Tao, S., 2002, **Relations between AVHRR NDVI and Ecoclimatic Parameters in China**, Int'l J. Remote Sensing, Vol. 23, PP. 989-999.
- Lotsch, A., Friedl, M.A., Anderson, B.T. & Tucker, C.J., 2003, **Coupled Vegetation-Precipitation Variability Observed from Satellite and Climate Records**, Geophysical Research Letters, Vol. 30, Issue 14, PP. 1774-1777.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kliest, J., 1993, **The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales**, preprints Eighth Conference on Applied Climatology, PP. 179-184.
- Palmer, W.C., 1965, **Meteorological Drought**, US Dept. of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington DC.
- Quiring, S.M. & Ganesh, S., 2010, **Evaluating the Utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for Monitoring Meteorological Drought in Texas**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 150, No. 3, PP. 330-339.
- Raziei, A.P. & Saghafian, B., 2005, **Annual Rainfall Trend in Arid & Semi-Arid Regions of Iran**, Proc. 21st European Regional Conf., PP. 20-28.
- Rulinda, C.M., Dilo, A., Bijker, W. & Steina, A., 2012, **Characterising and Quantifying Vegetative Drought in East Africa Using Fuzzy Modelling and NDVI Data**, J. Arid Environments, Vol. 78, PP. 169- 178.
- Sadeghi, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskahah, A.R., Khalili, D. & Zand-Parsa, S., 2002, **Regional Classification for Dryland Agriculture in Southern Iran**, J. Arid Environments, Vol. 50, No. 2, PP. 333-341.
- Song, X., Saito, G., Kodama, M. & Sawada, H., 2004, **Early Detection System of Drought in East Asia Using NDVI from NOAA AVHRR Data**, Int'l J. Remote Sensing, Vol. 25, PP. 3105-3111.
- Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, Issue 2, PP. 127-150.
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H., 1985, **Understanding the Drought Phenomenon**, The role of definitions, Water International, Vol. 10, No. 3, PP. 111-120.