

## پایش خشکسالی استان کرمانشاه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۵

### با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS

میلاد باقری<sup>۱</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد GIS & RS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

حبیب محمودی چناری

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی - گرایش برنامه‌ریزی آمایش محیطی، دانشگاه تهران.

مهدی خداداد

کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه گلستان.

#### چکیده

تأثیر خشکسالی می‌تواند به صورت کاهش منابع آب، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در پوشش گیاهی منطقه و تسریع در بیابان‌زایی مناطق باشد. اولین قدم در جهت مدیریت این پدیده، شناخت، پایش خشکسالی و کمی‌سازی اثرات آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی معتبر محسوب می‌شود. شاخص‌های سنجش از دور به دلیل قابلیت‌های مکانی و زمانی مناسب و نیز عدم وجود مشکلات روش‌های نقطه‌ای در حال توسعه و پیشرفت می‌باشد. هدف این مطالعه بررسی ارتباط بین شاخص استاندارد شده بارش (SPI) با تغییرات رخ داده در چهار شاخص ماهواره‌ای استخراج شده از تصاویر ماهواره MODIS از جمله: شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)، دمای سطح زمین (LST)، شار تابشی (Emissivity) و شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  در یک دوره شش ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) در استان کرمانشاه می‌باشد. نتایج حاکی از خشکسالی شدید سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ترسالی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ در استان کرمانشاه با توجه به شاخص خشکسالی SPI می‌باشد. ضریب  $R^2$  هر کدام از شاخص‌های NDVI، LST، Emissivity و  $\frac{LST}{NDVI}$  به ترتیب برابر ۰،۲۳، ۰،۴۹، ۰،۰۳ و ۰،۵۹ به دست آمد. ملاحظه می‌شود بیشترین ضریب همبستگی به شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  تعلق دارد. در حالی که شاخص Emissivity در دوره مطالعه با شاخص استاندارد شده بارش همبستگی نشان نداده است. از این رو در این منطقه شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  نسبت به دیگر شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص مناسب‌تری برای پایش خشکسالی می‌باشد.

کلمات کلیدی: SPI، خشکسالی،  $\frac{LST}{NDVI}$ ، Emissivity، استان کرمانشاه.

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول milad.bagheri@ut.ac.ir

**مقدمه**

میانگین بارش ایران کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه‌ی جهان است و این میزان نیز از توزیع زمانی و مکانی مناسبی برخوردار نیست. خشکسالی یک مخاطره‌ی طبیعی است که همواره بخش‌های مختلف کشور را متأثر کرده است (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۰). کشور ایران به علت واقع شدن در منطقه جنب حاره و دارا بودن نوسان قابل توجه بارش در طول ادوار گذشته، کم و بیش با پدیده خشکسالی درگیر بوده است، خشکسالی، پدیده‌ای طبیعی و نامحسوس است که در پی کاهش بارندگی در طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی روی می‌دهد (هاردلی، ۲۰۰۳). کاهش رطوبت خاک و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی از پیامدهای بعدی کاهش بارندگی است. این پدیده به عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است که تقوی و محمدی (۲۰۰۷) از آن به عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند. اظهار نظر کارشناسان گویای آن است که ایران در ۲۲ سال گذشته ۱۳ خشکسالی را پشت سر گذاشته است. در حالی که اگر خشکسالی‌های نوع کشاورزی مدنظر قرار گیرد، وقوع خشکسالی در کشور هر دو سال یکبار اجتناب ناپذیر است. طبق نظر فائو خسارات ناشی از خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ در ایران به ترتیب برابر با ۲/۵ و ۱/۷ میلیارد دلار بوده است (فائو، ۲۰۱۳). بنابراین پایش و ارزیابی این پدیده خطرناک برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌سازان از نقطه نظر امنیت غذایی، بسیارحائز اهمیت است (AghaKouchak, 2015).

شاخص‌های خشکسالی، سنجش‌های کمی هستند که سطوح خشکسالی را به وسیله‌ی همانندسازی و تلفیق داده‌ها از یک یا چندین متغیر مانند بارندگی و تبخیر و تعرق به یک مقدار عددی واحد توصیف می‌نمایند (Zargar et al., 2011). چنین شاخص‌هایی دارای سهولت بیشتری برای استفاده نسبت به داده‌های اقلیمی خام می‌باشند (Hayes, 2011). برای مطالعه و ارزیابی خشکسالی، شاخص‌های زیادی از جمله شاخص پالمر (PDSI) و آنومالی رطوبت (Z-index) (پالمر<sup>۲</sup>، ۱۹۶۵)، شاخص آنومالی بارندگی (RAI) (وان‌روی<sup>۳</sup>، ۱۹۶۵)، شاخص رطوبت محصول (CMI) (پالمر، ۱۹۶۸)، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) (مک‌کی<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۳) ارائه شده است. که هر کدام از این شاخص‌ها با توجه به روش محاسباتی و نوع داده‌های ورودی آن، دارای معایب و محاسنی می‌باشند. پایش خشکسالی در کشورهایی مانند ایران که از طریق روش‌های مبتنی بر ایستگاه‌های هواشناسی صورت می‌گیرد، به دلیل عدم وجود شبکه‌ی پراکنده و نیز عدم دسترسی به داده‌های به‌هنگام از دقت مطلوبی برخوردار نیست.

---

<sup>2</sup> Palmer

<sup>3</sup> Van Rooy

<sup>4</sup> McKee

شاخص بارش استاندارد شده توسط مک کی و همکاران پیشنهاد شد. این شاخص برای هر منطقه بر اساس بارندگی‌های طولانی مدت ماهیانه آن منطقه محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برآزش داده می‌شود، معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد. شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه مدت و خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مقیاس‌های بلند مدت توسط این شاخص برآورد می‌شود (Mckee et al., 1993). کاربردی‌ترین شاخص خشکسالی هواشناسی، (SPI) است. شاخص بارش استاندارد (SPI) به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های بارندگی و قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص هواشناسی برای پایش خشکسالی شناخته شده است (Cancelliere et al., 2007). شاخص بارش استاندارد شده جهت پایش شرایط حاکم نسبت به شاخص پالمیر از نتایج بهتری برخوردار است و تشخیص‌های ماه‌های خشکسالی توسط این شاخص زودتر از شاخص پالمیر می‌باشد (Wan, 2004). همچنین سایر محققین پس از پایش خشکسالی را در نقاط مختلف دنیا با استفاده از شاخص SPI نظر آن‌ها را تأیید کردند (Lukas et al., 2004; Giddings et al., 2005; Hung et al., 2005; Giddings et al., 2005). پایش خشکسالی‌های استان تهران با استفاده از شاخص‌های DI, PN, SPI, CZI, MCZI و EDI حاکی از مناسبتر بودن شاخص SPI و EDI در بیان خشکسالی منطقه بود (مرید و همکاران، ۱۳۸۴).

فناوری سنجش از دور با همراهی سیستم اطلاعات جغرافیایی با ایجاد قابلیت‌های مناسب مکانی و زمانی، امکان ارزیابی و پایش پدیده‌های متغیر سطحی مانند خشکسالی را فراهم آورده است، به طوری که در دو دهه‌ی اخیر استفاده از روش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای برای پایش خشکسالی‌ها از اولویت‌های اول سازمان‌های تحقیقاتی و تخصصی شده است (Zargar et al., 2011). در زمینه‌ی برخورداری از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI مطالعات مختلفی در سراسر جهان انجام شده است. علاوه بر این، شاخص NDVI در سطح جهانی برای شناسایی خشکسالی زراعی نوع دیم در مناطق مختلف با شرایط زیست محیطی متغیر، پذیرفته شده است (Jain et al., 2005; Murthy et al., 2009). فانک و بود خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص NDVI و سنجنده MODIS درزیمپاوه بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای پایش دقیق خشکسالی، مناسب است (Funk & Budd, 2009). طاهرزاده و همکاران، در تحلیل خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور با شاخص SPI حوزه آبریز میناب به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI با شاخص NDVI همبستگی مثبت دارد و با افزایش مقادیر NDVI مقادیر SPI نیز افزایش نشان می‌دهد. میزان همبستگی بین دو شاخص مذکور در فصول کم باران کمتر و پس از شروع بارش‌ها و دوره شروع رویش گیاهی مقادیر همبستگی فضایی افزایش می‌یابد. همبستگی قابل قبولی بین شاخص SPI و

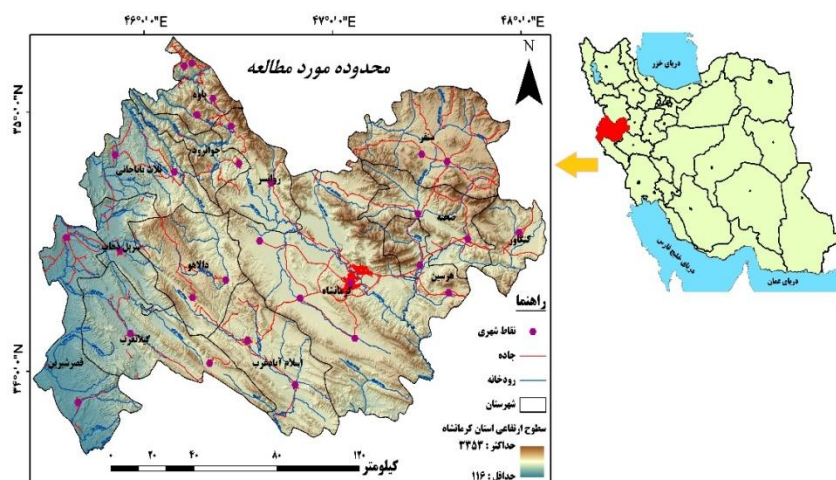
شاخص LST مشخص نشد و در تمامی مواردی که همبستگی محاسبه شد مشخص شد که همبستگی منفی است و حداکثر مقدار همبستگی برابر با ۰,۳۹- بود (طاهرزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

هدف این مطالعه بررسی و تحلیل وضعیت خشکسالی منطقه با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و بررسی میزان همبستگی این شاخص با تغییرات رخ داده در چهار شاخص ماهواره‌ای استخراج شده از تصاویر ماهواره MODIS از جمله: شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، دمای سطح زمین (LST)، شار تابشی (Emissivity) و شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  در یک دوره ۶ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) در استان کرمانشاه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۶۴۰ کیلومتر مربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به شمار می‌رود که یک و نیم درصد مساحت کشور را دربرمی‌گیرد. مختصات جغرافیایی کامل استان کرمانشاه بر روی کره زمین از طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۹۹ ثانیه شرقی تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۸۸ ثانیه شمالی می‌باشد (شکل ۱). استان کرمانشاه با توجه به موقعیت جغرافیایی آن یعنی قرارگیری در ناحیه‌ی کوهستانی زاگرس و واقع شدن در مسیر سیکلون‌های باران‌زا همواره از بارش‌های مناسبی برخوردار بوده است در سال‌های اخیر با افزایش رخداد خشکسالی در این قسمت از زاگرس شاهد صدمات و تأثیرات منفی بر محیط طبیعی این ناحیه‌ی کوهستانی می‌باشیم. خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی مرتبط با هواشناسی است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

## داده‌های مورد نیاز

در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS که در سال ۱۹۹۹ به وسیله سازمان ناسا در مدار زمین، بر روی ماهواره Terra (EOS Am) و در سال ۲۰۰۲ بر روی ماهواره Aqua (EOS PM) قرار گرفت، استفاده شد. این سنجنده هر روز یک پوشش کامل تصویری از زمین در ۳۶ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ متر به طور ردیفی و با دیدی به عرض ۲۳۳۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد (صفری شاد و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهش حاضر از محصولات سنجنده MODIS شامل: LST، NDVI و Emissivity برای ماه می از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ استفاده شد و اصلاحات لازم انجام گرفت. داده هواشناسی مورد نیاز شامل مجموع بارش ماهیانه و سالانه ایستگاه‌های باران سنجی استان کرمانشاه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ است، که از سازمان هواشناسی کرمانشاه جهت محاسبه شاخص استاندارد بارش (SPI) دریافت شد.

## شاخص SPI

شاخص SPI بر پایه احتمال وقوع بارندگی‌های با دوره‌های زمانی مشخص استوار است (لشنی‌زند، ۱۳۸۳). این شاخص برای کمی‌کردن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی چندگانه (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه) طراحی شده است. SPI در مقیاس زمانی سه ماهه نوسان‌های زیادی دارد و در مقیاس زمانی بلند مدت، این نوسان‌ها کاهش می‌یابند و می‌توان چنین تفسیر شود که SPI کوتاه مدت نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است، بنابراین با کوچک‌ترین تغییر در بارندگی ماهانه، SPI به سرعت پاسخ می‌دهد (Peters & Ji, 2003). برای محاسبه این شاخص از معادله (۱) استفاده شده است.

$$SPI_n = \frac{[P_n + \sum(P_{-i}) - u_n]}{\delta} \quad \text{معادله ۱:}$$

که در آن  $n$ : تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آن‌ها حساب شده است،  $P$ : مقدار نرمال شده بارندگی ماه فعلی،  $P_{-i}$ : مقدار نرمال شده بارندگی ماه قبل،  $u_n$ : میانگین بارندگی تجمعی برای ماه  $n$  و  $\delta_n$ : انحراف معیار مقدار بارندگی برای ماه‌ها می‌باشد. 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.

جدول ۱: نمایه SPI برای پایش خشکسالی

SPI	وضعیت آب و هوایی
بیشتر از ۲	کاملاً مرطوب
بین ۱٫۵ تا ۲	خیلی مرطوب
بین ۱ تا ۱٫۵	مرطوب نسبتاً

۱ بین ۰ تا	رطوبت ملایم
بین ۰ تا -۱	خشکسالی ملایم
بین -۱ تا -۱,۵	خشکسالی متوسط
بین -۱,۵ تا -۲	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

محاسبه شاخص SPI برای تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی استان برای هم برای ماه می و هم به صورت سالانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ (دوره ۶ ساله)، که آماده‌سازی اولیه با نرم افزار Excel و سپس با نرم افزار DIP محاسبه و سپس درون یابی نقشه SPI با استفاده از روش IDW در محیط نرم افزار ARCGIS انجام شد.

### شاخص NDVI

شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) کاربرد گسترده‌ای جهت تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش گیاهی دارد (Manandhar et al., 2009). شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده به عنوان معروفترین شاخص برای پایش واقعی خشکسالی مطرح است (Park et al., 2004; Wang et al., 2004). این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح در مناطق وسیع نشان می‌دهد. ارزش عددی شاخص NDVI بین ۱ تا -۱ متغیر است و از طریق معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$NDVI =$

معادله ۲:

$$\frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R}$$

که در آن  $P_R$  باند قرمز و  $P_{NIR}$  باند مادون قرمز نزدیک است.

### Land Surface Temperature (LST)

دمای سطح زمین یا Land Surface Temperature (LST) عامل مهمی در تغییر جهانی آب و هوا، رشد پوشش گیاهی، یخچال‌های طبیعی و پایش خشکسالی است. استفاده از روش‌های دور سنجی و تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌هایی هستند که می‌توانند در تخمین دمای سطح زمین بسیار مفید عمل کنند.

### Emissivity

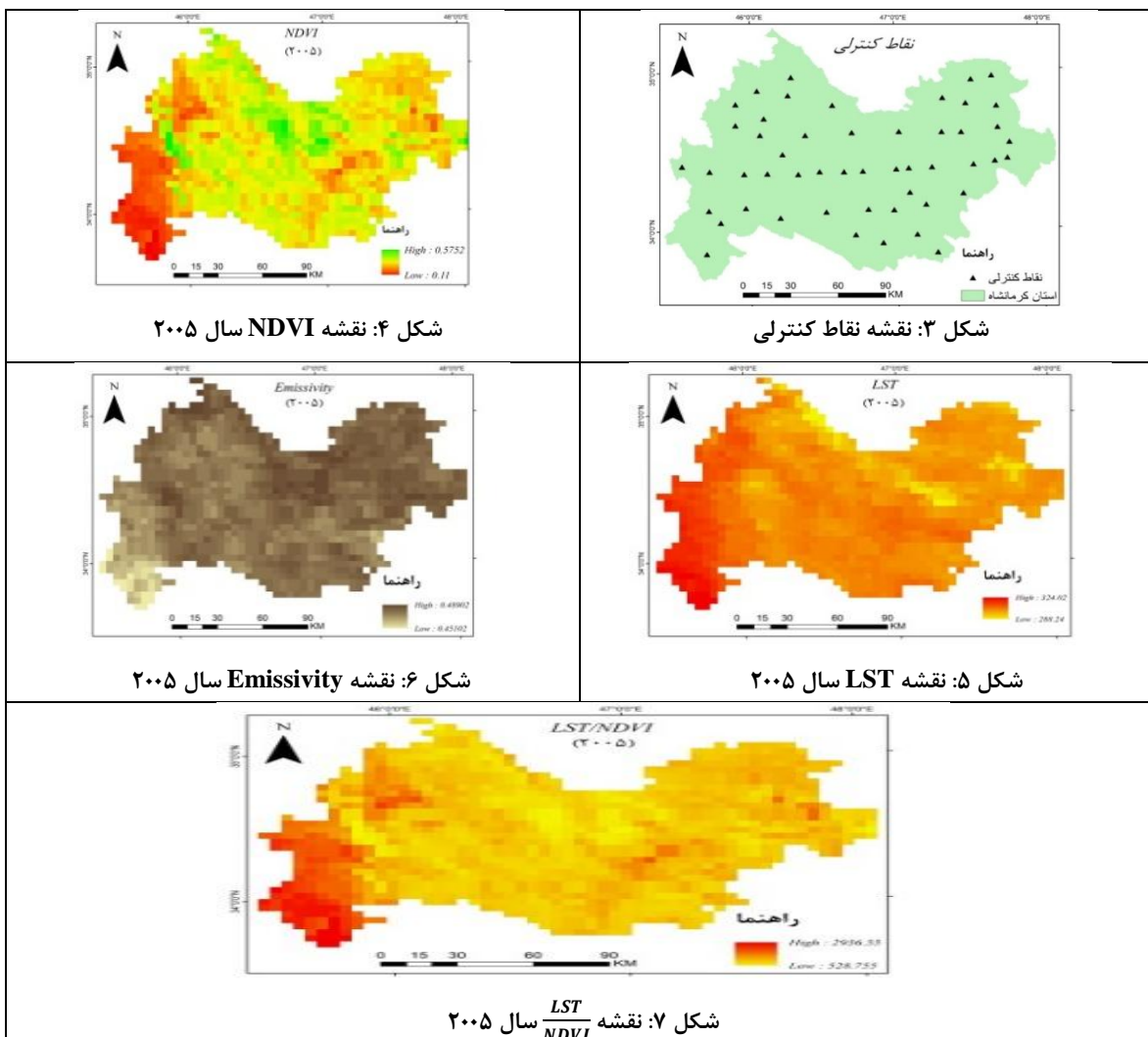
اجسام با درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق، تشعشعات، الکترو مغناطیسی از خود ساطع می‌کنند که به این تشعشعات شار تابشی گفته می‌شود. در یک جسم تیره تمام حرارت جذب شده منتشر شده و قدرت انتشار انرژی یک ماده واقعی

نسبت به یک جسم سیاه را گسیل‌مندی می‌گویند. شار تابشی توسط فاکتورهای همچون مقدار آب، ترکیب شار شیمیایی و ناهمواری‌های سطحی کنترل می‌شود. همچنین شار تابشی برای پوشش گیاهی به نوع گیاه و چگالی منطقه بستگی دارد و مقدار کمیت آن بین صفر تا یک متغیر است و موادی که E بالایی دارند مقدار زیادی انرژی جذب و به همان مقدار انرژی منتشر می‌نمایند.

### LST/NDVI

محققین با بررسی بین NDVI و دمای سطح زمین به همبستگی منفی بین این دو متغیر پی‌بردند. از نتایج تحقیق آن‌ها با استفاده از ماهواره NOAA می‌توان به تأثیر قوی کسر پوشش گیاهی در تغییرات مکانی دمای سطح زمین ( $\frac{LST}{NDVI}$ )، در حساسیت زیاد آن نسبت به شاخص NDVI به شرایط رطوبتی سطح اشاره کرد (Nemani et al., 1992). شاخص ( $\frac{LST}{NDVI}$ ) از تقسیم تصاویر LST و NDVI در محیط ARC GIS برای ماه می از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ به دست آمد.

در نهایت شش تصویر برای هر شاخص مربوط به هر سال و ۵۰ نقطه کنترلی که به صورت پراکنده در سطح استان استخراج شد، تهیه گردید (شکل ۳). برای نمونه نقشه‌های مربوط به شاخص‌های سال ۲۰۰۵ نشان داده شده است (شکل ۴ تا ۷). بعد از تعیین نقاط کنترلی ارزش هر کدام از شاخص‌ها در هر شش سال و همچنین ارزش SPI در محل نقاط نمونه در محیط ARC GIS استخراج شد. سپس همبستگی شاخص استاندارد بارش (SPI) با شاخص‌های سنجش از دور (LST, NDVI, Emissivity) با استفاده از همبستگی رگسیون در نرم افزار spss سنجیده شد. ضریب همبستگی بین -۱ تا +۱ در نوسان است. اگر متغیرها همسو باشد، همبستگی یا مقدار I مثبت بوده به آن همبستگی مستقیم یا مثبت می‌گویند. اما اگر تغییر متغیرها همسو نباشد، همبستگی یا مقدار I منفی بوده و به آن همبستگی غیر مستقیم یا منفی می‌گویند. روند کلی مطالعه در شکل ۷ به تفصیل نشان ترسیم شده است.



شکل ۴: نقشه NDVI سال ۲۰۰۵

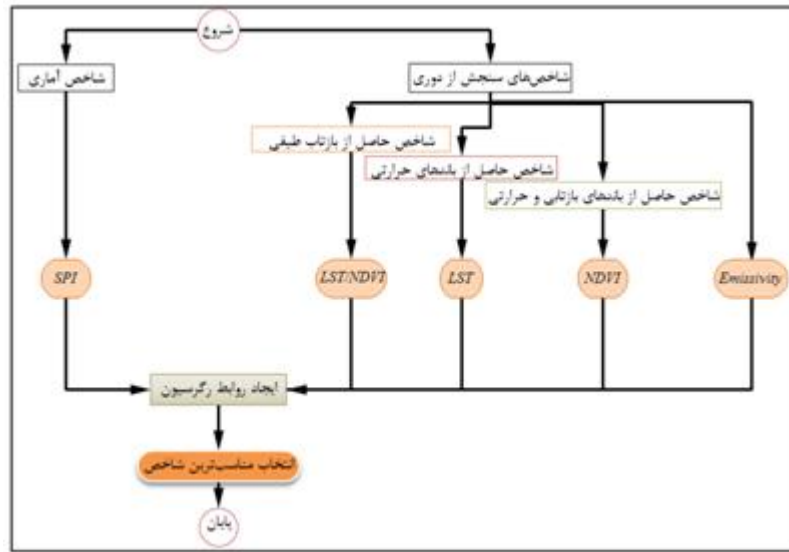
شکل ۳: نقشه نقاط کنترلی

شکل ۶: نقشه Emissivity سال ۲۰۰۵

شکل ۵: نقشه LST سال ۲۰۰۵

شکل ۷: نقشه  $\frac{LST}{NDVI}$  سال ۲۰۰۵

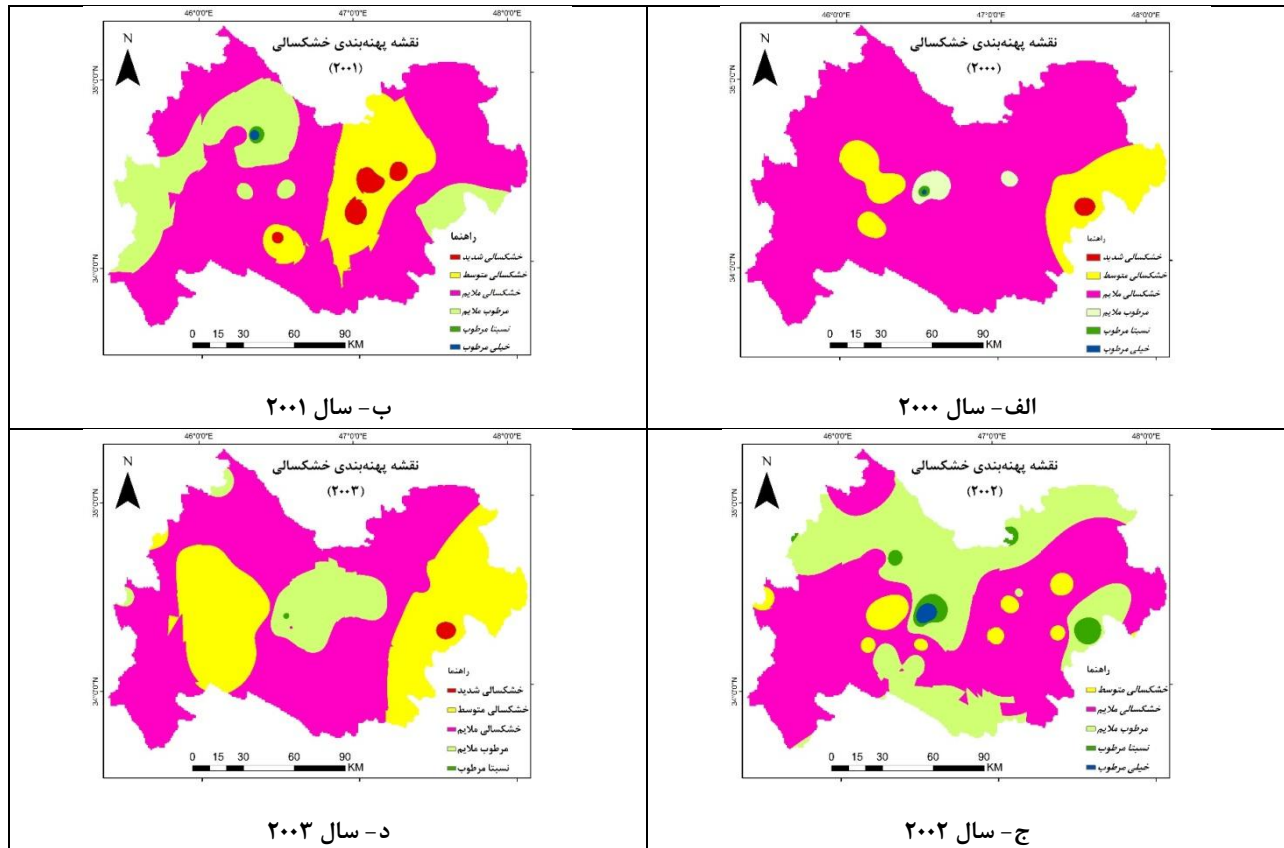


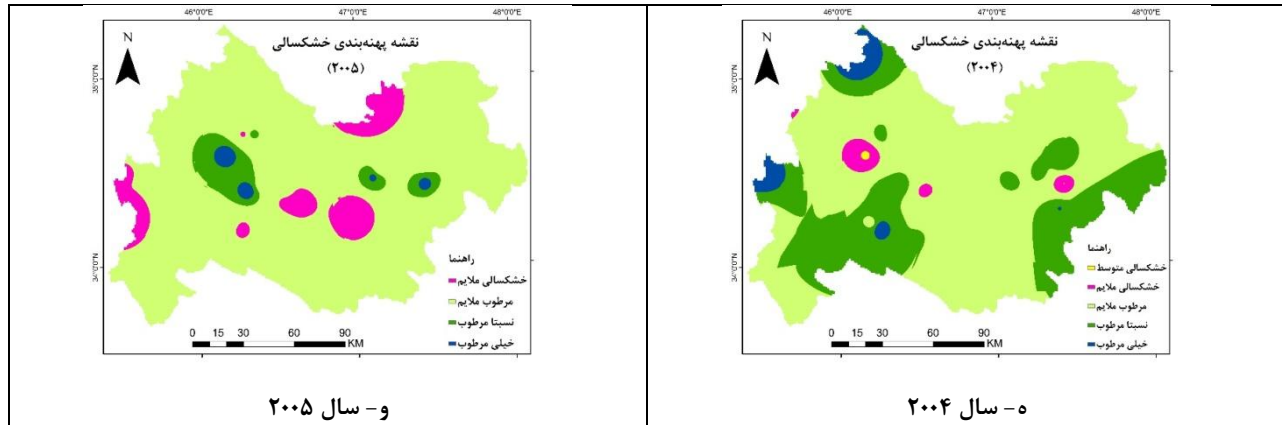


شکل ۷: نمودار روند انجام تحقیق منبع: نگارندگان، ۱۳۹۶

### نتایج

نقشه‌های شاخص آماری SPI سالانه برای سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۵ در شکل‌های زیر نشان داده شده است.





شکل ۸: نقشه طبقه‌بندی خشکسالی کرمانشاه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

بعد از درون‌یابی و تهیه نقشه‌های SPI در محیط ARC GIS با استفاده از جدول شماره ۱ اقدام به پهنه‌بندی آن‌ها می‌کنیم که باتوجه به شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ خشکسالی بر منطقه حاکم بوده و طبقه خشکسالی ملایم بیشتر مساحت استان را به خود اختصاص داده است. استان در سال ۲۰۰۲ سال متعادلی را از لحاظ خشکسالی و ترسالی تجربه کرده است ولی در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ ترسالی بر منطقه حاکم بوده و علاوه بر این که طبقه مرطوب ملایم بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده، طبقه خشکسالی شدید نیز در هیچ‌کدام از این ۲ سال یافت نمی‌شود.

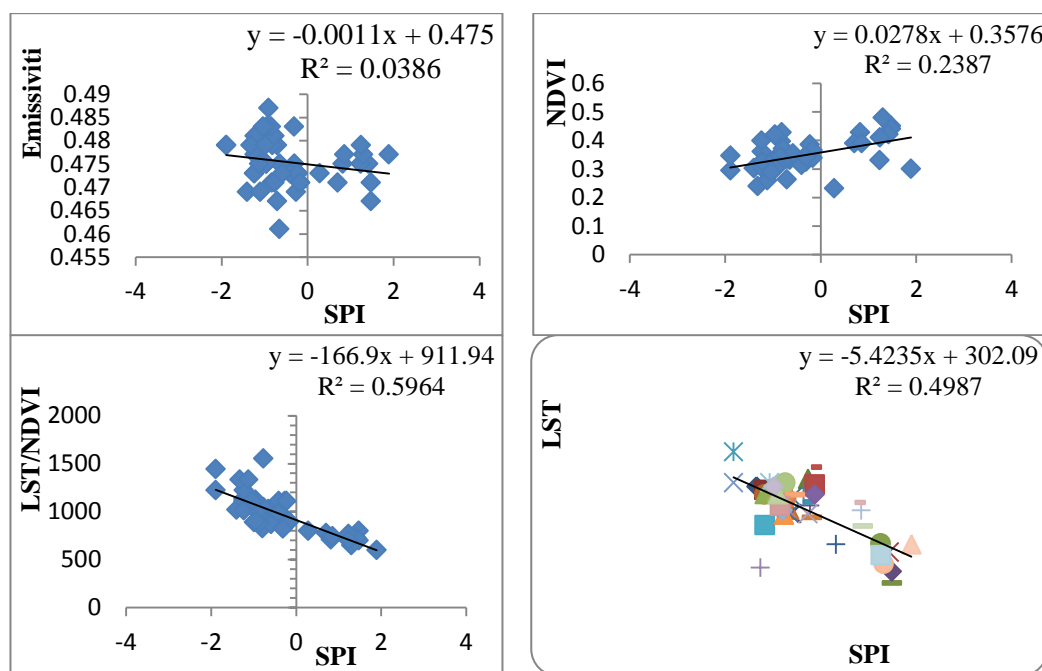
جدول ۲: درصد مساحت طبقات خشکسالی به روش SPI

سال	خشکسالی شدید (%)	خشکسالی متوسط (%)	خشکسالی ملایم (%)	مرطوب ملایم (%)	نسبتاً مرطوب (%)	خیلی مرطوب (%)
۲۰۰۰	۳,۵	۱۰,۶	۷۲	۱۲,۵	۰,۹	۰,۵
۲۰۰۱	۱۶	۱۲,۵	۵۳	۱۶,۲	۱,۵	۰,۸
۲۰۰۳	۲,۹	۳۰	۵۰	۱۶,۵	۰,۶	-
۲۰۰۲	-	۱۸	۳۶	۲۹,۳	۱۳	۳,۷
۲۰۰۴	-	۰,۶	۹	۵۲	۲۳,۴	۱۵
۲۰۰۵	-	-	۱۵	۶۴	۱۶	۵

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۶

طبق جدول بالا می‌توان گفت که خشکترین و ترترین سال به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ می‌باشد. از آنجا که هدف از این مطالعه مقایسه رابطه بین شاخص خشکسالی SPI و شاخص‌های سنجش از دوری و تعیین کارایی

این شاخص‌ها در پایش خشکسالی و انتخاب شاخص جایگزین است همبستگی بین این شاخص‌ها با SPI بررسی و مدل رگرسیونی و ضریب همبستگی هر کدام از این شاخص‌های تعیین شد.



شکل ۹: همبستگی شاخص استاندارد بارش (SPI) با شاخص‌های سنجش از دور (LST, Emissivity, NDVI) و  $\frac{LST}{NDVI}$

کرمانشاه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵

مشاهده می‌شود که NDVI ضریب رگرسیون بالای را از خود نشان نمی‌دهد هرچند این شاخص رابطه مستقیمی را با شاخص SPI داشته یعنی با افزایش مقدار شاخص SPI و کاهش خشکسالی مقدار این شاخص نیز افزایش پیدا می‌کند ولی با توجه به مقدار  $R^2=0,23$  این شاخص نمی‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب برای تعیین خشکسالی در نظر گرفته شود. شاخص LST برعکس NDVI رابطه معکوسی را با SPI نشان می‌دهد یعنی با کاهش مقدار SPI (افزایش شدت خشکسالی)، مقدار LST افزایش پیدا می‌کند اما با توجه به  $R^2=0,49$  نمی‌توان آن را به‌عنوان شاخص مناسب برای جایگزینی شاخص آماری SPI در نظر گرفت. شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  با استفاده از هر دو شاخص NDVI و LST، بیشترین ضریب همبستگی را در بین شاخص‌های دیگر با  $R^2=0,59$  دارا می‌باشد. این شاخص با قرار دادن شاخص NDVI در مخرج کسر علاوه بر تغییر رابطه مستقیم به رابطه معکوس بین NDVI و SPI و قرار دادن LST در صورت کسر به نحوی هر دو شاخص را در یک جهت قرار داده و ضریب همبستگی را نسبت به هر کدام از این شاخص‌ها به صورت

تکی افزایش داده است. همچنین در این مطالعه هیچ رابطه معلومی بین Emissivity و شاخص خشکسالی SPI به دست نیامد.

### بحث و نتیجه‌گیری

بارندگی از جمله داده‌هایی است که بطور گسترده در ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد چراکه معیار مناسبی برای اندازه‌گیری منابع آبی است، همچنین تأثیرات خشکسالی را در دوره‌های زمانی و مکانی مختلف نشان می‌دهد (Steinemman et al., 2006). بارندگی تنها داده مورد نیاز در بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI است. خشکسالی پدیده‌ای طبیعی و اقلیمی است که موجب اختلال در اکوسیستم می‌شود. این پدیده سبب وارد شدن خسارات اقتصادی فراوانی بخصوص در بخش کشاورزی و منابع طبیعی می‌شود. بنابراین پایش و ارزیابی این پدیده خطرناک برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران از نقطه نظر امنیت غذایی، بسیار حائز اهمیت است (Aghakouchak, 2015). شناخت و پایش خشکسالی با شاخص‌های معتبر اولین قدم در جهت مدیریت این پدیده محسوب می‌شود. دلایل انتخاب سنجنده MODIS ماهواره Terra، در این تحقیق شامل توان تفکیک طیفی بالا، تکنیک کالیبراسیون مخصوص، باریک بودن اکثر باندهای طیفی این سنجنده که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که به واسطه‌ی جذب بخار آب ایجاد می‌شود بسیار کم است. بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص NDVI افزایش می‌یابد (هالکا، ۲۰۰۸). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها آماری مانند SPI به دلیل خواستن اطلاعات آماری با مشکلات زیادی از جمله کمبود اطلاعات و حتی دسترسی سخت به آن‌ها مواجه است لذا در این مطالعه هدف، استفاده از فناوری سنجنش از دور برای پایش خشکسالی قرار داده شد. برای این منظور چهار شاخص سنجنش از دوری LST، NDVI، Emissivity و  $\frac{LST}{NDVI}$  با شاخص آماری SPI مقایسه شد تا شاخصی که بیشترین همبستگی را با آن دارد به عنوان شاخصی جایگزین انتخاب شود. از جمله هدف‌های فرعی این مطالعه بررسی وضعیت خشکسالی در دوره زمانی ۶ ساله با استفاده از شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه بود. خشکسالی شدیدی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ در استان کرمانشاه رخ داده است که با توجه به آمار موجود در این ۲ سال بیشتر کشور تحت تاثیر این پدیده طبیعی قرار داشته است. همچنین در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ استان ترسالی را تجربه کرده است. این نتیجه با نتایج سایر محققین که در دوره‌های طولانی‌تر و تعداد ماه‌های بیشتر در این منطقه مطالعه کرده‌اند تطابق دارد (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۵). ضرایب  $R^2$  شاخص‌های LST، NDVI،  $\frac{LST}{NDVI}$  و SPI با شاخص SPI به ترتیب ۰,۲۳، ۰,۴۹ و ۰,۵۹ به دست آمد و هیچ رابطه معنی‌داری بین Emissivity و SPI در این مطالعه به دست نیامد. با توجه به ضرایب به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت شاخص  $\frac{LST}{NDVI}$  در این منطقه مورد مطالعه و در این بازه زمانی نسبت به دیگر شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص مناسب‌تری برای پایش خشکسالی خواهد

بود. یکی از مشکلات اساسی که در چنین مقایسه‌های وجود دارد قدرت تفکیک مکانی پایین محصولات ماهواره MODIS بوده که مطمئناً اگر بتوان از تصاویر با قدرت تفکیک بالاتری استفاده کرد نتایج بهتر و دقیق‌تری حاصل خواهد شد.

### منابع:

۱. باعقیده، محمد؛ علیجانی، بهلول و ضیائیان، پرویز (۱۳۹۰)، بررسی امکان استفاده از شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره ۴، صص، ۱-۱۶.
۲. سعید مرید، مهنوش مقدسی، هوشنگ قائمی و جمال محمدولی سامانی (۱۳۸۴)، طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران، طرح تحقیقات کاربردی شرکت سهامی مدیریت منابع آب وزارت نیرو، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۱. طاهرزاده (۱۳۹۰)، تحلیل خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در حوزه آبریز میناب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. لشنی‌زند، مهران، (۱۳۸۳)، بررسی اقلیمی خشکسالی‌های ایران و راهکارهای مقابله با آن (مطالعه موردی شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب ایران) رساله دکتری، دانشگاه اصفهان.
۳. مفاخری، امید؛ خالدی، شهریار، شمسی‌پور، فلاحی خوشجی، مصطفی و کرمانی، آذر (۱۳۹۵). تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI در دشت قروه و دهگلان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۱)، ۷۷-۹۴.
4. AghaKouchak, A., A. Farahmand, F. S. Melton, J. Teixeira, M. C. Anderson, B. D. Wardlow, Hain, C. R. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities, *Rev. Geophys.*, Volume 53, pp 452-480, doi: 10.1002/2014RG000456.
5. AghaKouchak, A., A. Farahmand, F. S. Melton, J. Teixeira, M. C. Anderson, B. D. Wardlow, Hain, C. R. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities, *Rev. Geophys.*, Volume 53, pp 452-480, doi: 10.1002/2014RG000456.
6. Cancelliere, A, Mauro, B and Rossi, G, (2007). Drought forecasting using the Standardized Precipitation, *Journal of Water Resource Management* . 21: 801-819pp.
7. Edwards D.C., and McKee T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
8. FAO (2013). Drought Facts. FAO land and water. Food and Agriculture Organization of the
9. Funk, C, Budd, M E ,(2009). «Phenologically- Tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe», *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 115-125pp.
10. Giddings, L, Soto, M, Rutherford, B M and Maarouf, A, (2005). Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmosfera*, 26(2), 33-56 PP.
11. Hayes, M., M. Svoboda, N., Wall, and M., Widhalm (2011). The Lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, Volume 92(4), pp 485-488, doi:10.1175/2010BAMS3103.1.

12. Hulka.J (2008). Calibrating ASTER for Snow Cover Analysis. 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2008. University of Girona, Spai
13. Hung, W U, Hayes, M J., Wilhite, D Aand Svoboda, M D,( 2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, International Journal of Climatol, 25, 505-520pp.
14. Ji, L, Peters, A (2003). Assessing Vegetation Response to Drought in the Northern Great Plains Using Vegetation and Drought Indexes. Remote Sensing of Environmental.87. 85-98.
15. Jian ,W and Shuo,L,(2005). Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China, Earth Sciences, 49(8),881-888pp.
16. Lukas, A and Vasililiades, L, (2004). «Probilistic analysis of drought spatio-temporal characteristics in Thessaly region, Greece», National Hazard and Earth System Sciences, 4, 719-731pp.
17. Manandhar, R, Odeh, I O A, Ancev,T, (2009). «Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement». Remote Sensing, 1, 330-344pp.
18. Mckee, T.B., Doesken, N.J.and Kleist.J. (1993). the Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale, Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, M.A: 179-184.
19. Moreira, E.E., Paulo, A.A., Coelho, C.A., Pereira, L.S., and Mexia, J.T. (2008). SPI-based drought category prediction using log-linear models. J. Hydrol. 354: 116-130.
20. Murthy, C S, Sai, M V R S, Chandrasekar, K, Roy, P S, (2009). Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural drought: a study in Haryana state, India using NOAA AVHRR data, International Journal of Remote Sensing, 30(11),2897-2914pp.
21. Nemani. R, Pierce. L, and Running. S (1992). Developing Satellite-derived Estimates Of Surface Moisture Status. Journal of Applied Meteorology. 32. 548-557.
22. Park, S., Feddema, J. J., Egberts, S. L. (2004). MODIS land surface temperature composite data and their relationships with climatic water budget factors in the central Great Plains, Remote Sensing, Volume 26, pp 1127–1144.
23. Steinemann, A.C., Cavalcanti, L.F.N., (2006). Developing multiple indicators and triggers for drought plans. J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE 132 (3), 164–174.
24. United Nations, Retrieved 12.06. (2013). from: <http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf>.
25. Wan. Z, Wang. P, and Li, X. (2004). Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products For Monitoring Drought In The Southern Great Plains, USA. INT. J. REMOTE SENSING. 25(1). 61-72
26. Wang, C., Qi, S., Niu, Z., & Wang, J. (2004). Evaluating soil moisture status in China using the temperature-vegetation dryness index (TVDI). Canadian Journal of Remote Sensing, Volume 30, pp 671–679.

27. Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Fasal, Khan (2011). A review of drought indices. *Environ. Rev.* Volume 19: pp 333–349.