



محیط
علوم

علوم محیطی سال هفتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۸۹
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.7, No.4, Summer 2010

۷۲-۵۹

بررسی خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تکیه بر شاخص‌های گیاهی (مطالعه موردی: شیرکوه یزد)

محسن ابراهیمی خوسفی^{۱*}، روشنک درویش زاده^۲، علی اکبر متکان^۲، داوود عاشورلو^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - a Case Study of "Shirkooch of Yazd" in Central Iran

Mohsen Ebrahimi Khusfi^{1*}, Roshanak Darvishzade², Aliakbar Matkan², Davood Ashourloo²

1- MSc. Student, Department of GIS & RS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Department of GIS & RS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Since soil moisture and vegetation cover are the most important parameters effecting drought, analyses of the vegetation fraction and soil spectral signature, especially in the red and infra red bands, are essential in drought estimation. In this study, the Perpendicular Drought Index (PDI), Modified Perpendicular Drought Index (MPDI) and Vegetation Supply Water Index (VSWI) have been used for drought assessment in arid regions in Central Iran during a time interval of four years (1999-2002). To do this, ETM+ images of LANDSAT 7 for the years 1999 and 2002 and the rainfall statistics for 23 years have been used. Analysis of vegetation cover using vegetation indices demonstrated that in arid regions, changes in vegetation cover were best mapped using a SAVI2 index. The results of MPDI indicated that drought has increased in the rangelands of the study area because of a decrease in seeding of the rangeland and vegetation fraction. PDI showed that the severity of the drought has decreased due to an increase in rainfall in 2002.

Keywords: Vegetation Indices, Drought, PDI, MPDI.

چکیده

رطوبت خاک و پوشش گیاهی از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در خشکسالی می‌باشند. بنابراین بررسی چگونگی رفتار طیفی خاک (بخصوص در باند مادون قرمز نزدیک و قرمز) و درصد پوشش گیاهی در برآورد میزان خشکسالی امری ضروری است. در این تحقیق از شاخص عمودی خشکسالی (PDI)، شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده (MPDI) و شاخص ذخیره ی آب گیاه (VSWI) به منظور بررسی خشکسالی در مناطق خشک ناحیه مرکزی ایران در محدوده زمانی چهار سال (۱۳۸۱-۱۳۷۸) استفاده شده است. به همین منظور از تصاویر سنجنده ETM+ مربوط به سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۱ و آمار بارندگی ۲۳ ساله استفاده گردید. بررسی روند پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی مورد استفاده نشان داد که در مناطق خشک، شاخص SAVI2 روند تغییرات پوشش گیاهی را به خوبی آشکار می‌سازد. نتایج حاصله از شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده نشان داد که در سال ۱۳۸۱ با وجود بارندگی بیشتر نسبت به سال ۱۳۷۸، شدت خشکسالی افزایش یافته است که این بدلیل کاهش درصد پوشش گیاهی ناشی از کاهش بذردهی گیاهان مرتعی در سال‌های قبل می‌باشد. همچنین به علت افزایش بارندگی در سال ۱۳۸۱، شاخص PDI روند کاهش در شدت خشکسالی را نشان داد زیرا این شاخص بر پایه ی رطوبت خاک عمل می‌کند.

کلید واژه‌ها: شاخص‌های پوشش گیاهی، خشکسالی، شاخص عمودی خشکسالی، شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده.

* Corresponding author. E-mail Address: Mohsen_Ebrahimi@hotmail.com

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزنده اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تاثیر می‌گذارد. این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تاثیر قرار می‌دهد، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (Goddard et al., 2003).

در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای می‌باشند و از طرفی پراکنندگی ایستگاه‌ها بخصوص در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی بوجود آورده است. در چهار دهه اخیر، سنجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی (بخصوص NDVI¹)، دمای سطحی زمین، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است که از آن جمله می‌توان به شاخص محتوای آب برگ (LWCI)² (Hunt et al., 1987)، شاخص آنومالی پوشش گیاهی (AVI)³ (Chen et al., 1994)، شاخص فراهم بودن آب (VSWI)⁴ (Clarson et al., 1994)، شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI)⁵ (Kogan, 1995a)، شاخص شرایط دمایی (TCI)⁶ (Kogan, 1995b)، شاخص شرایط دمایی پوشش گیاهی (VTCI)⁷ (Wang et al., 2001)، شاخص دما-خشکسالی-پوشش گیاهی (TDVI)⁸ (Sandholt et al., 2002) و شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI)⁹ (Maki et al., 2004) اشاره نمود.

از آنجایی که موقعیت هر پیکسل در فضای طیفی دو بعدی LST-NDVI¹ تحت تاثیر عوامل متعدد است،

بنابراین ممکن است یک پیکسل با شرایط رطوبتی و اتمسفری یکسان در موقعیت‌های متفاوتی در این فضای طیفی قرار گیرد، از طرفی تفاوت قدرت تفکیک مکانی باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی برخی سنجنده‌ها نظیر MODIS می‌تواند بر موقعیت پیکسل‌ها تاثیر بگذارد (Sandholt et al., 2002).

غلام در سال ۲۰۰۶ نشان داد که استفاده از آلیدو به جای LST در بررسی خشکسالی می‌تواند مفیدتر واقع شود و بر این اساس، شاخص VCADI¹¹ را ارائه نمود (Ghulam, 2006).

بازیابی LST و آلیدو از تصاویر ماهواره‌ای، شامل تصحیحات اتمسفری داده‌های ماهواره‌ای، تجزیه پیکسل‌های آمیخته، مدل‌سازی BRDF¹² و تبدیل باندهای طیفی باریک به باندهای طیفی پهن می‌باشد (Liang, 2003; Pokrovsky et al., 2002; Zhao et al., 2000). بنابراین خطای نهایی استخراج و کمی کردن اطلاعات خشکسالی می‌تواند زیاد باشد. از طرفی دمای سطحی زمین و شاخص NDVI پارامترهایی هستند که خشکسالی پس از وقوع با تاخیر زمانی روی آنها تاثیر می‌گذارد و این مانع پایش لحظه‌ای¹³ خشکسالی می‌شود. از سوی دیگر، شاخص‌های ذکر شده به منظور پایش خشکسالی نیاز به سری تصاویر چند زمانه ماهواره‌ای دارند که این خود باعث افزایش حجم پردازش داده‌ها، هزینه و زمان است.

به منظور رفع این محدودیت‌ها و مشکلات، در سال ۲۰۰۶ شاخص خشکسالی عمودی (PDI)¹⁴ بر پایه بازتاب در ناحیه قرمز و مادون قرمز نزدیک ارائه شد. نتایج حاصل از این شاخص همبستگی بالای ۷۵ درصد با شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های اقلیمی و داده‌های رطوبتی و همچنین سایر شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای نشان داد (Ghulam, 2006).

شاخص PDI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر سنجش از دور، ساده‌تر و کارآتر است و تنها بر اساس رفتار رطوبتی پدیده‌ها در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود.

از آنجایی که رطوبت و پوشش گیاهی از جمله عوامل مهم در بررسی خشکسالی می‌باشند، در سال ۲۰۰۷ شاخص عمودی خشکسالی (PDI) با عنوان شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده (MPDI)^{۱۵} بهبود یافت. این شاخص علاوه بر رفتار طیفی رطوبت در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک، درصد پوشش گیاهی (FV)^{۱۶} را نیز در نظر می‌گیرد. نتایج نشان داد که این شاخص نسبت به شاخص PDI، از درصد همبستگی بیشتری با شاخص خشکسالی محاسبه شده از طریق داده‌های زمینی برخوردار است (Ghulam et al., 2007).

گرم شدن کره زمین، افزایش گازهای گلخانه‌ای و قرار گرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک موجب گردیده که مطالعات عدیده‌ای توسط محققین و پژوهشگران کشور در زمینه خشکسالی خصوصاً در دهه اخیر صورت پذیرد. گسترش و توسعه روز افزون دانش سنجش از دور تحقق طرح‌های بررسی و پایش خشکسالی را تسهیل نموده است. از جمله این مطالعات بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از داده‌های NOAA است که توسط سراجیان و توکلی در سال ۲۰۰۰ برای کل کشور و با استفاده از شاخص NDVI انجام گردید. آنها نتیجه گرفتند که خشکسالی در منطقه سیستان بیشترین شدت را داشته است.

چنانچه در سال ۲۰۰۱ در مطالعه‌ای در استان‌های شمال غرب کشور به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA و شاخص NDVI در طول سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ پرداخت و نتایج حاصله ارزیابی زمینی خسارات خشکسالی را مورد تایید قرار داد.

صفری در سال ۲۰۰۳ نیز به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر AVHRR در منطقه زاہل پرداخت که نتایج حاصله نشان دهنده کاهش سطح آب هامون، دبی رودخانه هیرمند و کاهش شاخص‌های گیاهی در طی شرایط خشکسالی می‌باشد.

باعقیده در سال ۲۰۰۷ و کبیری در سال ۲۰۰۲ به این نتیجه رسیدند که استفاده از شاخص‌های مبتنی بر تصویر نسبت به روش‌های مبتنی بر آمار دارای دقت بیشتری است.

همان‌گونه که در بالا ذکر گردید، مطالعات انجام شده در زمینه خشکسالی عمدتاً بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و بوسیله داده‌های NOAA که دارای دقت مکانی پایین (یک کیلومتر) هستند، بررسی کرده و کمتر از دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی و داده‌های Aster, ETM, IRS و ... که دارای دقت مکانی بالاتری می‌باشند استفاده کرده‌اند.

همچنین، در مناطق خشک به علت تاثیر مضاعف بازتاب خاک زمینه، شاخص NDVI نمی‌تواند به خوبی بیانگر خصوصیات پوشش گیاهی باشد و باعث کاهش دقت برآورد پوشش گیاهی در این مناطق می‌گردد (Ishyama et al., 1997) و شاخص‌های پوشش گیاهی که بازتاب خاک را در نظر می‌گیرند نسبت به NDVI بهتر می‌توانند خصوصیات پوشش گیاهی را نشان دهند (Kallel et al., 2007; Darvishzadeh et al., 2008).

با توجه به موارد فوق‌الذکر و با توجه به اینکه در مناطق مرکزی ایران تنها مطالعات محدودی در این زمینه انجام شده است، ما را بر آن داشت تا با استفاده از داده‌های ETM+ و استفاده از شاخص‌های PDI و MPDI که نسبت به سایر شاخص‌های رایج ساده‌تر می‌باشند و تنها بر پایه‌ی تک تصویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شوند به

بررسی خشکسالی پیردازیم. به منظور مقایسه‌ی شاخص‌های مبتنی بر تک تصویر استفاده شده و شاخص‌های مبتنی بر چند تصویر، شاخص VSWI نیز محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

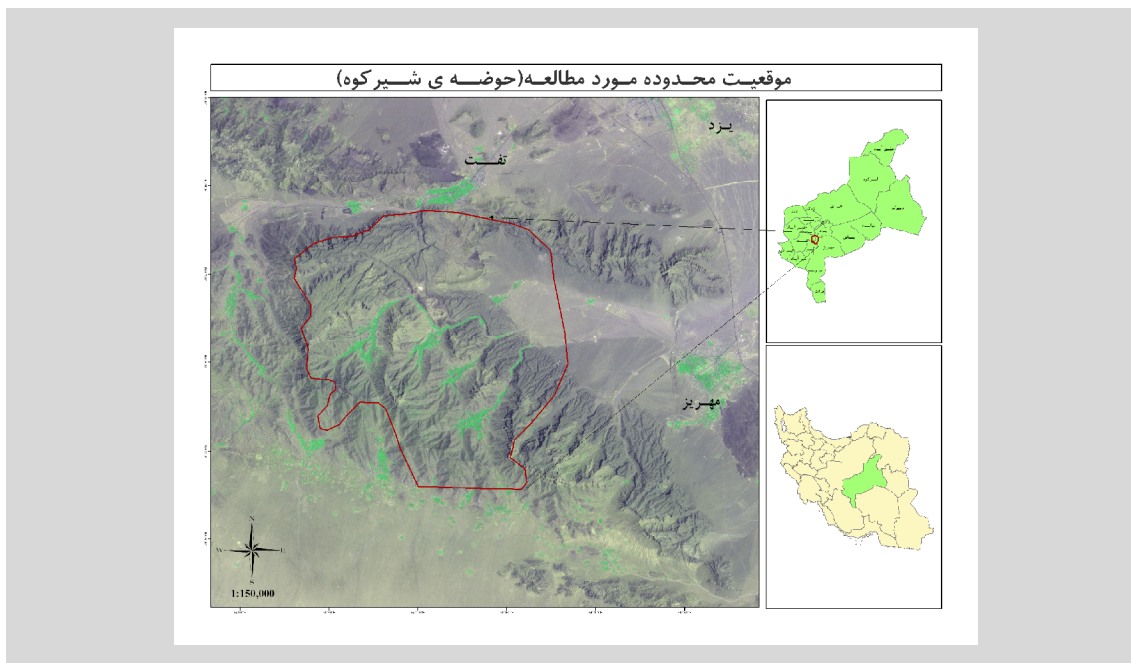
محدوده مورد مطالعه

ارتفاعات شیرکوه در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهر یزد و در شهرستان تفت در محدوده ۵۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این محدوده با مساحت تقریبی ۵۲۵ کیلومتر مربع، با کاربری غالب مرتعی و شامل چهار روستای ییلاقی ده بالا، طزرجان، منشاد و بنادک السادات با حداقل ارتفاع ۱۶۰۰ متر و حداکثر ۴۰۵۵ متر (قله شیرکوه) می‌باشد (شکل ۱). آب لازم برای کشاورزی در منطقه از طریق قنات، چشمه و آب حاصل از ذوب برف در ارتفاعات تامین می‌شود و بنابراین بسیار وابسته به بارندگی می‌باشد.

گونه گیاهی غالب این مراتع کوهستانی درمنه کوهی می‌باشد که همراه با گونه‌های گیاهی دیگری نظیر کما، گون کتیرایی و بادام کوهی، تپ پوشش گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهد. میانگین بارندگی در منطقه ۳۴۴.۳۷ میلی متر، ضریب تغییرات ۴۰ درصد و متوسط دمای ۱۴ درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

منابع اطلاعاتی استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر ETM^+ ماهواره لندست ۷ مربوط به ۱۰ مرداد ماه ۷۸ و ۲۰ تیرماه ۸۱، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و آمار بارندگی ایستگاه‌های موجود در منطقه می‌باشد. به منظور ارزیابی نتایج از آمار بارندگی ایستگاه‌های بارانسنجی ده بالا، طزرجان و منشاد با پایه مشترک آماری ۱۸ ساله استفاده شد. به منظور تطویل آمار از روش نسبت‌ها و تفاضل‌ها (Alizadeh, 1383) با در نظر گرفتن ایستگاه ده بالا به عنوان ایستگاه مبنا، استفاده گردید و سال‌های آماری تا ۲۳ سال تطویل شد.



شکل شماره ۱- موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه

پردازش تصاویر

به علت اختلاف زمانی تصاویر ابتدا تصحیح مربوط به زاویه خورشیدی^{۱۷} روی تصاویر انجام شد. با توجه به اینکه هدف محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و خشکسالی می‌باشد و در محاسبات مربوط به شاخص‌ها نیاز به بازتاب می‌باشد تصاویر به رادیانس تبدیل شدند و سپس به منظور رسیدن به بازتاب زمینی و انجام تصحیح اتمسفری از الگوریتم FLASH در نرم افزار ENVI استفاده گردید.

پس از انجام تصحیح زاویه خورشیدی و اتمسفری، ابتدا تصویر سال ۸۱ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و ۲۳ نقطه کنترل زمینی (RMSE = ۰/۴۷) و سپس تصویر سال ۷۸ نیز با استفاده از ۴۵ نقطه کنترل (RMSE = ۰/۲) و روش تصویر به تصویر، زمین مرجع گردیدند. در انجام تصحیحات هندسی از توابع چند جمله ای درجه دو و روش درون‌یابی نزدیکترین همسایه^{۱۸} به علت عدم تغییر ارزش واقعی پیکسل‌ها به منظور نمونه‌برداری مجدد^{۱۹} استفاده شده است.

محاسبه مقدار - شدت - سختی خشکسالی با استفاده از آزمون دنباله‌ها

تاکنون شاخص‌های متعددی بر پایه آمار هواشناسی از جمله PDSI^{۲۱}، SPI^{۲۲}، CMI^{۲۳}، SWSI^{۲۴}، RDI^{۲۵}، آزمون دنباله‌ها و ... ارائه شده است که بسته به مکان و داده‌های در دسترس هر کدام معایب و مزایای خود را دارند. در تحقیق حاضر از آزمون دنباله‌ها به علت اینکه تنها به داده‌های بارندگی نیاز دارد استفاده شده است (Alizadeh, 2004). در این روش، سال‌هایی که بارندگی کمتر از ۸۰ درصد میزان میانگین بارندگی طولانی مدت منطقه است به عنوان سال خشک در نظر گرفته می‌شوند.

رابطه (۱)

$$X_0 = 0.8P \Rightarrow \begin{cases} X - X_0 < 0 \Rightarrow \text{خشکسالی} \\ X - X_0 > 0 \Rightarrow \text{ترسالی} \end{cases}$$

که P: میانگین بارندگی طولانی مدت منطقه و X: بارندگی سالیانه می‌باشد.

در روش آزمون دنباله‌ها، پارامترهای زیر قابل محاسبه است:

❖ دوره خشکسالی: تعداد سال‌هایی که خشکسالی به صورت متوالی اتفاق می‌افتد.

❖ مقدار خشکسالی: مجموع مقادیر $X - X_0$ برای هر دوره

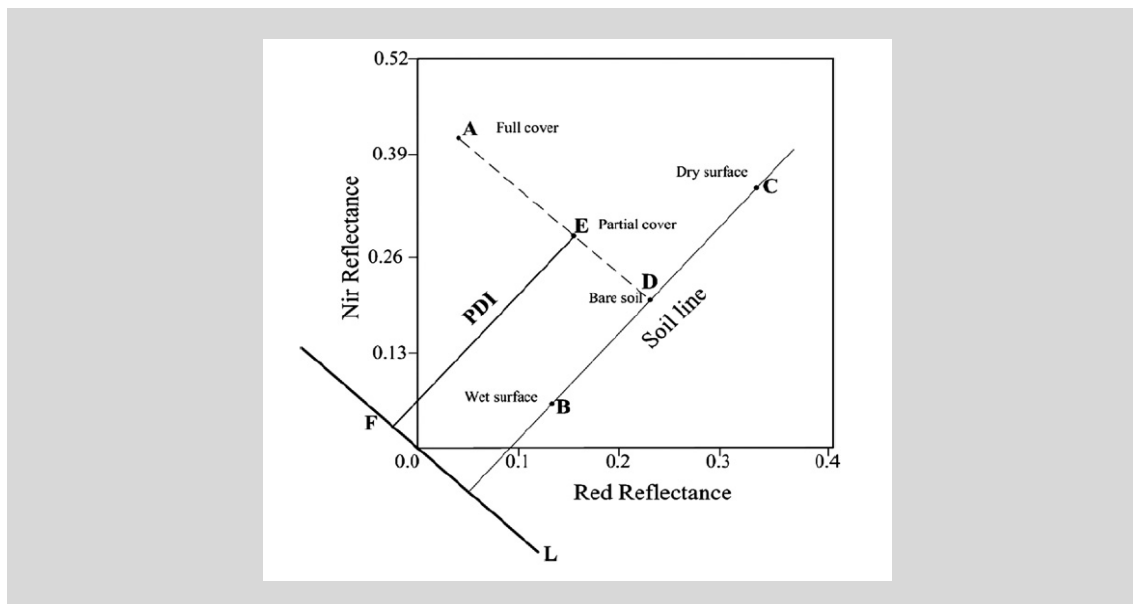
❖ شدت خشکسالی: میانگین مقادیر $X - X_0$ برای هر دوره

❖ سختی خشکسالی: ماکزیمم مقادیر $X - X_0$ برای هر دوره و وضعیت خشکسالی ۲۳ سال آماری برای منطقه مورد

مطالعه محاسبه که نتایج مربوط به سال‌های مورد مطالعه در جدول شماره (۲) در بخش نتایج آورده شده است.

شاخص عمودی خشکسالی (PDI)

پس از تبدیل ارزش رقمی^{۲۶} هر پیکسل به رادیانس و انجام تصحیحات اتمسفری و رسیدن به بازتاب زمینی، باند طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک مقابل هم پلات گردیدند. با بررسی این فضای طیفی دو بعدی نه تنها خصوصیات پوشش گیاهی بلکه شدت خشکی سطح را نیز می‌توان مشخص نمود (شکل ۲). همان‌طوری که در شکل شماره ۲ مشخص است، خط AD تغییر پوشش گیاهی سطح را از متراکم (A) به متوسط (E) و تا خاک لخت (D) نشان می‌دهد در حالی که خط BC رطوبت خاک را از مرطوب (B)، خشک (D) تا خیلی خشک (C) نشان می‌دهد که این بدین علت است که افزایش درصد پوشش گیاهی باعث افزایش بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و افزایش رطوبت باعث کاهش بازتاب در هر دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌شود (Ghulam et al., 2006).



شکل شماره ۲- PDI و رابطه آن با بازتاب در باند های قرمز و مادون قرمز (Ghulam et al., 2006)

تا خط L (شکل ۲- خطی که از مبدا مختصات می گذرد و عمود بر خط خاک است) و از رابطه ۴ محاسبه می شود:

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + 1}} + (R_{Red} + \alpha R_{NIR}) \quad (4)$$

که α : شیب خط خاک، R_{NIR} : بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و R_{Red} : بازتاب در باند قرمز می باشد. در این فضای طیفی جسم سیاه در مبدا قرار می گیرد و پائین ترین بازتاب را در هر دو باند دارد. خاک های مرطوب دارای کم ترین PDI ($PDI \approx 0$) و خاک های خیلی خشک دارای بالاترین PDI ($PDI \approx 1$) می باشند (Ghulam et al., 2006).

شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده (MPDI)

رطوبت یک عامل اساسی و تعیین کننده در خشکسالی است که ارتباط نزدیکی با بازتاب طیفی خاک دارد. شاخص عمودی اصلاح شده خشکسالی بر مبنای رطوبت و درصد پوشش گیاهی ارائه شد که از رابطه ۵ محاسبه می شود:

در شکل شماره ۲ خط BC بیانگر خط خاک است که در آن شدت خشکی از B به C افزایش می یابد. خط خاک^{۲۷} به عنوان خط فرضی رگرسیونی در فضای طیفی بازتاب خاک در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز تعریف می گردد (Richardson and Wiegand, 1977).

به منظور محاسبه معادله خط خاک، ابتدا تعداد ۵۰۰ پیکسل خالص خاک از انواع خاک های مختلف و با توزیع یکنواخت در سطح هر تصویر انتخاب و با پلات کردن آنها در باند مادون قرمز نزدیک و قرمز معادله خط خاک برای تصاویر سال ۷۸ و ۸۱ محاسبه شد که به ترتیب در روابط شماره ۲ و ۳ آمده است.

$$R_{NIR} = 1.19 R_{Red} + 0.001 \quad (2)$$

$$R_{NIR} = 1.19 R_{Red} + 0.003 \quad (3)$$

که R_{NIR} : بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و R_{Red} : بازتاب در باند قرمز می باشد.

شاخص عمودی خشکسالی (PDI) از فاصله عمودی هر نقطه در فضای طیفی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک

رابطه (۵)

$$MPDI = \frac{R_{Red} + \alpha R_{NIR} - F_V (R_{V,Red} + \alpha R_{V,NIR})}{(1 - F_V) \sqrt{\alpha^2 + 1}} = \frac{PDI - F_V PDI_V}{(1 - F_V)}$$

که α : شیب خط خاک، R_{NIR} : بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R_{RED} : بازتاب در باند قرمز، F_V : درصد پوشش گیاهی، $R_{V,NIR}$ و $R_{V,RED}$ بازتاب پوشش گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می‌باشند که به ترتیب ضرایب ثابت ۰/۵ و ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شوند (Ghulam et al., 2007).

شاخص ذخیره آب سطحی (VSWI)

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط Clarson ارائه شد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$VSWI = \frac{NDVI}{LST} \quad \text{رابطه (۶)}$$

محاسبه درصد پوشش گیاهی (Fv)

در مطالعات متعدد به منظور محاسبه نسبت پوشش گیاهی (Fv)

از روش‌های مختلفی از جمله: شبکه عصبی مصنوعی^{۲۸} (Carpenter et al., 1999)، تجزیه خطی^{۲۹} (Elmore et al., 2000) و شاخص‌های پوشش گیاهی (Baret et al., 1995) استفاده شده است.

در این تحقیق به منظور محاسبه نسبت پوشش گیاهی جهت محاسبه شاخص MPDI، از روش شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شده است که از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$F_V = 1 - \left(\frac{VI - VI_{Max}}{VI_{Min} - VI_{Max}} \right)^K \quad \text{رابطه (۷)}$$

K عددی ثابت است که میزان RMSE را کاهش می‌دهد (K= ۰/۶۱۷۵).

در انجام تحقیق حاضر به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، متداولترین شاخص‌های پوشش گیاهی شامل شاخص‌های نسبی و شاخص‌های عمودی از قبیل PVI^{۳۰}، RVI^{۳۱}، SAVI^{۳۲}، SAVI2^{۳۳} و MSAVI^{۳۴} استفاده گردید (جدول شماره ۱) و در نهایت مناسب‌ترین شاخص انتخاب گردید.

جدول شماره ۱ - شاخص‌های پوشش گیاهی

منبع	شاخص پوشش گیاهی	منبع	شاخص پوشش گیاهی
(Huete, 1988)	$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1 + L)}{R_{NIR} + R_{RED} + L}$	(Pearson, 1972)	$RVI = \frac{R_{NIR}}{R_R}$
(Qi et al., 1994)	$MSAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1 + L)}{R_{NIR} + R_{RED} + L}$ $L = 1 - 2 \alpha NDVI * W DVI$	(Rouse et al., 1974)	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$
(Major et al., 1990)	$SAVI2 = \frac{R_{NIR}}{R_R + \frac{\beta}{\alpha}}$	(Richardson and Wiegand, 1977)	$PVI = \frac{R_{NIR} - \alpha R_{RED} - \beta}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$
R_{RED} : بازتاب در ناحیه قرمز، R_{NIR} : بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک، α : شیب خط خاک و β : عرض از مبدا خط خاک			

نتایج

در سال آبی ۸۱-۸۰ علی رغم اینکه نسبت به سال‌های قبل و بخصوص سال آبی ۷۸-۷۷ بارندگی افزایش یافته است اما این افزایش به علت کمبود بذر در مرتع، تاثیری بر درصد پوشش گیاهی موجود در منطقه نمی‌گذارد و تنها باعث افزایش محصول دهی گیاهان می‌شود و می‌تواند امکان افزایش درصد پوشش گیاهی در سال‌های بعد را تقویت سازد.

نتایج حاصل از محاسبه درصد پوشش گیاهی (رابطه ۷)، تنها با استفاده از شاخص SAVI2 این روند کاهشی پوشش گیاهی را در سال ۱۳۸۱ در منطقه مورد مطالعه به جز در ارتفاعات نشان داد. در ارتفاعات درصد پوشش گیاهی تغییر محسوسی نشان نداده است، دلیل این امر اینست که در ارتفاعات بارش بصورت برف می‌باشد که معمولاً تا اواخر اردیبهشت ماه که اوج نیاز آبی گیاهان است این برف در منطقه وجود دارد و رطوبت مورد نیاز

نتایج آزمون دنباله‌ها نشان داد که در سال‌های آبی ۷۹-۷۸ و ۸۰-۷۹، خشکسالی با مقدار ۱۳۴.۳۶- و شدت ۶۷.۱۷- و سختی ۱۲۱.۸- میلی‌متر و طی دوره ۲ سال اتفاق افتاده است (جدول شماره ۲). از طرفی در این دو سال در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که گیاهان موجود در منطقه مورد مطالعه در مرحله اولیه رشد می‌باشند و نیاز شدید به بارندگی دارند میزان بارندگی به شدت کاهش یافته است (جدول شماره ۳).

انتظار می‌رود که خشکسالی و کاهش بارندگی در سال‌های آبی ۷۹-۷۸ و ۸۰-۷۹ باعث کاهش درصد پوشش گیاهی شود. بدنبال این کاهش، بذردهی گیاهان مرتعی نیز کاهش می‌یابد و بانک بذر مرتع خالی می‌شود، که می‌تواند عاملی برای کاهش درصد پوشش گیاهی در سال‌های بعد باشد (Jangjoo, 2000).

جدول شماره ۲- آمار بارندگی و وضعیت خشکسالی حوضه شیرکوه در سال‌های مورد مطالعه

سال آبی	میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه	$X-X_0$	وضعیت خشکسالی
۷۸-۷۷	۴۰۵/۵	۱۵۰/۳۲	ترسالی
۷۹-۷۸	۱۳۴	-۱۲۱/۸	خشکسالی
۸۰-۷۹	۲۴۲	-۱۳/۱۸	خشکسالی
۸۱-۸۰	۴۵۸/۹۷	۲۰۳/۷۹	ترسالی

جدول شماره ۳- آمار بارندگی ماهانه منطقه در سال‌های مورد مطالعه

سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
۷۸-۷۷	۲/۱۰	۰	۰/۹	۶۹/۵	۵۱/۶۷	۲۰۰/۶۷	۷۷/۳۳	۲/۵	۰	۰	۰/۸۳	۰	۴۰۵/۵
۷۹-۷۸	۰/۶۷	۶/۱۷	۱/۵	۲۸	۴۹/۵	۸/۵	۳۹/۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۴
۸۰-۷۹	۱۳	۳۹	۶۸/۳۳	۲۸/۵	۳۴/۸۳	۱۳/۵	۲۲/۶۷	۲/۶	۱۰/۸۳	۰	۴/۱۷	۰	۲۴۲
۸۱-۸۰	۰	۸/۶۷	۹۲/۸۳	۱۳۴	۲۳/۲	۱۱۴/۶۷	۸۱/۲	۴/۱۷	۰	۰	۰/۱۷	۰	۴۵۸/۹۷

را برای رشد گیاهان فراهم می‌سازد و کمتر وابسته به کاهش بارندگی است. آب حاصل از ذوب برف نیز در رودخانه‌های فصلی منطقه جریان می‌یابد و تأثیری روی پوشش گیاهی مراتع ندارد. سایر شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، تغییرات درصد پوشش گیاهی را به صورت پیکسل‌های آمیخته با تغییر و بدون تغییر در کل حوضه نشان دادند که این امر در واقعیت با توجه به شرایط اقلیمی یکسان کل حوضه بخصوص در مناطق با شرایط توپوگرافی یکسان غیر طبیعی می‌باشد و نشان دهنده عدم کارایی این شاخص‌ها در برآورد درصد پوشش گیاهی می‌باشد.

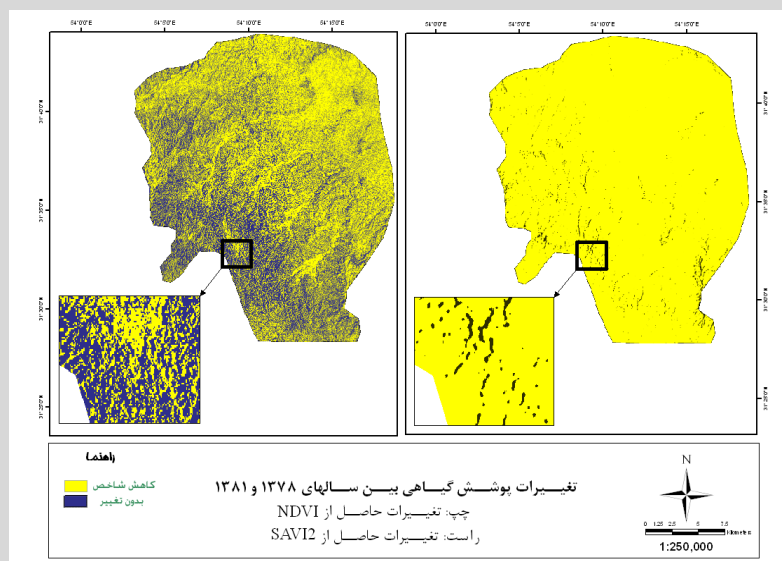
به منظور جلوگیری از تطویل مقاله، تنها روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص SAVI2 به عنوان شاخص مناسب و شاخص NDVI به عنوان شاخص نامناسب که نتایج را به صورت پیکسل‌های آمیخته نشان داد در شکل شماره ۳ آمده است.

در بررسی خشکسالی در این تحقیق از شاخص‌های PDI, VSWI و MPDI استفاده شده است.

در این تحقیق، شاخص VSWI به عنوان یک شاخص مبتنی بر چند تصویر انتخاب گردید تا نتایج آن با شاخص‌های مبتنی بر تک تصویر مقایسه گردد. نتایج حاصله، شدت خشکسالی را در هر دو تصویر به صورت پیکسل‌های آمیخته با تغییر و بدون تغییر نشان داد.

با توجه به اینکه شاخص PDI تنها بر پایه رطوبت خاک و بازتاب خاک در ناحیه قرمز و مادون قرمز عمل می‌کند و از طرفی بارندگی و بدنال آن رطوبت خاک در سال آبی ۸۱ - ۸۰ افزایش یافته است، این شاخص، روند کاهشی در شدت خشکی را نشان داد. بنابراین در صورتی که هدف بررسی خشکسالی هواشناسی و یا تغییرات شرایط رطوبتی خاک باشد این شاخص می‌تواند در بررسی تغییرات مورد استفاده قرار بگیرد. به عبارتی دیگر این شاخص می‌تواند در بررسی خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار بگیرد.

Ghulam در سال ۲۰۰۷ در بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص MPDI، از شاخص NDVI به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی استفاده نمودند، اما از



شکل شماره ۳- تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های NDVI و SAVI2

بحث

از آنجا که بازتاب خاک در این منطقه سهم بسزایی دارد و شاخص‌های نسبتی NDVI و RVI بازتاب خاک را در نظر نمی‌گیرند و صرفاً بر اساس بازتاب پوشش گیاهی در ناحیه مادون قرمز و قرمز می‌باشند، این شاخص‌ها روند تغییرات پوشش گیاهی را به صورت پیکسل‌های مختلط نشان دادند.

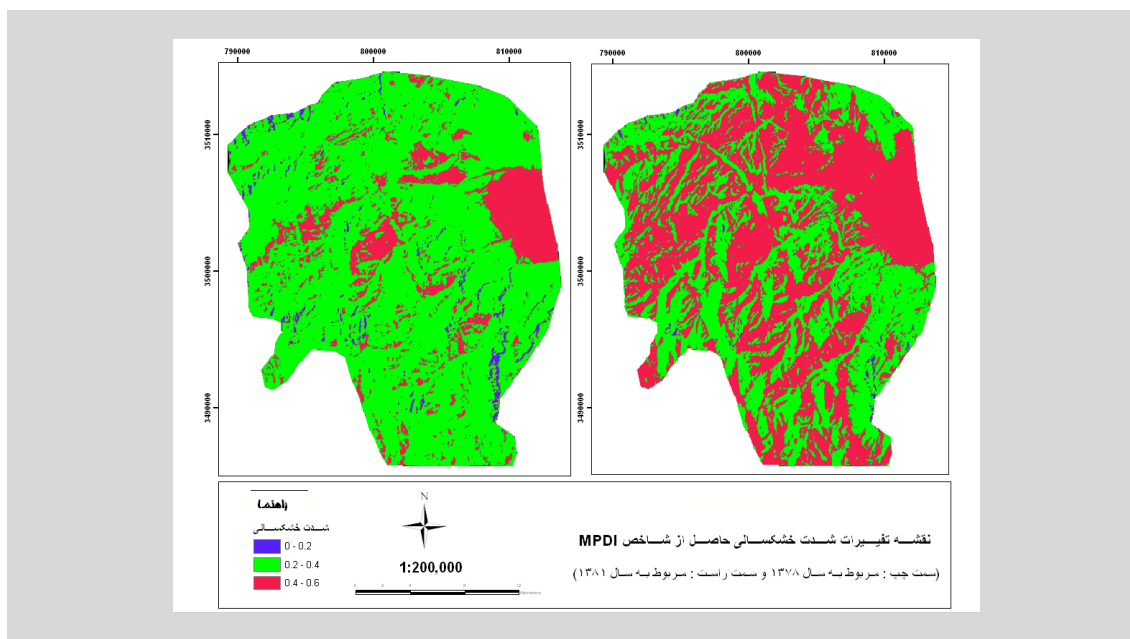
در محاسبه شاخص SAVI، فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک (L) عامل تعیین کننده است و بستگی به تراکم پوشش گیاهی دارد و از آنجا که تعیین دقیق تراکم پوشش گیاهی امکان پذیر نیست و این ضریب با نظر کارشناسی تعیین می‌شود بنابراین ممکن است ضریب بهینه نباشد و همان گونه که نتایج نشان داد، این شاخص نیز نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت برآورد درصد پوشش گیاهی باشد و تغییرات را به صورت پیکسل‌های آمیخته نشان داد.

شاخص MSAVI نیز به منظور بررسی خصوصیات پوشش گیاهی از NDVI استفاده می‌کند و این می‌تواند

آنجایی که این شاخص در تحقیق حاضر تغییرات پوشش گیاهی را به خوبی نشان نداد، بنابراین به منظور محاسبه MPDI از شاخص SAVI2 در برآورد درصد پوشش گیاهی استفاده شد.

در شاخص MPDI، مناطقی که شدت خشکسالی بیشتر از ۰/۴ دارند به عنوان مناطق با خشکسالی شدید در نظر گرفته می‌شوند (Ghulam et al., 2007). نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۸۱ مساحت این مناطق به طور قابل توجهی افزایش یافته است (شکل شماره ۴).

مناطق با شدت خشکسالی ۰/۴ - ۰/۲ (خشکسالی متوسط)، در دامنه‌های جنوبی واقع شده‌اند که مدت زمان بیشتری رطوبت مورد نیاز گیاه را نگه می‌دارند و تا حدی تاثیرات ناشی از کمبود بارندگی را جبران می‌کنند. مناطق با شدت خشکسالی ۰ - ۰/۲ (خشکسالی خفیف)، واقع در ارتفاعات می‌باشند که بارندگی عمدتاً به صورت برف می‌باشد و آب مورد نیاز گیاهان را تا زمان رشد کامل گیاه (معمولاً اواخر اردیبهشت) فراهم می‌کند و کمتر تحت تاثیر بارندگی می‌باشند.



شکل شماره ۴- تغییرات شدت خشکسالی با استفاده از شاخص MPDI

دلیلی بر ایجاد پیکسل‌های آمیخته با تغییر و بدون تغییر در این منطقه باشد.

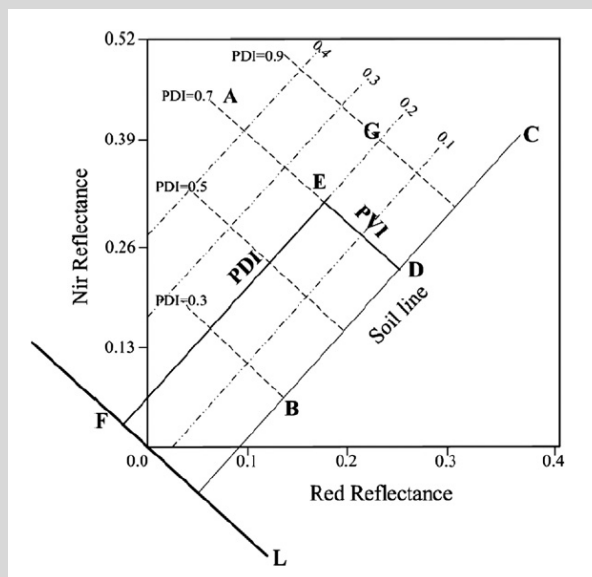
شاخص عمودی پوشش گیاهی (PVI) به منظور ارزیابی اکوسیستم‌ها، پایش رشد محصولات و تخمین محصول ارائه شد، این شاخص به عنوان فاصله عمودی هر نقطه در فضای طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک از خط خاک بیان می‌شود (شکل شماره ۵).

همان‌گونه که در شکل شماره ۵ مشخص است، در امتداد خط AD، مقدار PDI برابر ۰.۷ است، در حالی که PVI از صفر تا ۰.۴ تغییر می‌کند و هم‌چنین در امتداد خط FG، PVI برابر ۰.۲ است، در حالی که مقدار خشکی از صفر تا ۰.۹ تغییر می‌کند. با توجه به اینکه رطوبت عامل اساسی به منظور رشد گیاه می‌باشد و از طرفی با توجه به شکل شماره ۵ شاخص PVI در شرایط رطوبتی مختلف مقدار ثابتی دارد بنابراین این شاخص نیز نمی‌تواند در بررسی خصوصیات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار بگیرد و همان‌گونه که نتایج نشان داد باعث ایجاد پیکسل‌های آمیخته شد.

با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق، استفاده منحصر از داده‌های اقلیمی و شاخص‌های مبتنی بر آمار اقلیمی نظیر آزمون دنباله‌ها، سال ۱۳۸۱ را به عنوان سال تر معرفی می‌کند. زیرا در این سال میزان بارندگی افزایش یافته است در حالی که نتایج شاخص MPDI بیانگر شرایط خشکسالی در مراتع منطقه به علت وقوع خشکسالی‌های پیشین است. بنابراین نتیجه می‌شود که استفاده توأم از داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای، در بررسی خشکسالی از جنبه‌های مختلف عملکرد بسیار مناسب‌تری خواهد داشت.

به طور کلی انجام این تحقیق نتایج زیر را در بر داشت:

- ❖ به منظور بررسی خصوصیات پوشش گیاهی در مناطق خشک جهت پایش خشکسالی، استفاده از شاخص‌هایی از قبیل SAVI2، که بازتاب خاک زمینه را در نظر می‌گیرد، نتایج بهتری به همراه دارد.
- ❖ در مناطق خشک، به علت تاثیر مضاعف بازتاب خاک زمینه، شاخص NDVI نمی‌تواند به خوبی بیانگر



شکل شماره ۵ - فضای طیفی قرمز و مادون قرمز و رابطه PDI و PVI (Ghulam et al., 2006)

26. Digital Number
27. Soil Line
28. Artificial Neural Network
29. Linear Unmixing
30. Perpendicular Vegetation Index
31. Ratio Vegetation Index
32. Soil Adjusted Vegetation Index²
33. Modified Soil Adjusted Vegetation Index

خصوصیات پوشش گیاهی باشد، بنابراین در این مناطق، دقت برآورد پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. ❖ شاخص MPDI، بر پایه SAVI2 و رطوبت خاک، می‌تواند به عنوان شاخص مناسب به منظور پایش خشکسالی در مراتع مناطق خشک استفاده شود. ❖ شاخص PDI به منظور بررسی شرایط رطوبتی خاک می‌تواند مفید باشد.

❖ به منظور پایش خشکسالی استفاده توأم از داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای نتایج بهتری را به همراه دارد.

منابع

Alizadeh, A. (2004). Principles of applied hydrology. Mashhad: Astan Qods Razavi.

Baaqide, M. (2007). Drought monitoring using multi temporal NOAA, NDVI and GIS in Isfahan province. PHD Thesis. Tarbiat Moallem University (Tehran, Iran).

Baret, F., J.G.P.W. Clevers and M.D. Steven (1995). The robustness of canopy gap fraction estimates from red and near-infrared reflectances. Remote Sensing of Environment, 54 (2): 141–151.

Carlson, T.N., R. Gillies and E.M. Perry (1994). A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurement to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. Remote Sensing Environmen, 9 (1): 161-173.

Carpenter, G., S. Gopal, S. Macomber, S. Martens, C. Woodcock and J. Franklin (1999). A neural network method for efficient vegetation mapping. Remote Sensing of Environment, 70 (3): 326–338.

Chen, W., Q. Xiao and Y. Sheng (1994). Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992. Remote Sensing of

پی‌نوشت‌ها

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Leaf water Content Index
3. Anomaly Vegetation Index
4. Vegetation Supply Water Index
5. Vegetation Condition Index
6. Temperature Condition Index
7. Vegetation Temperature Condition index
8. Temperature Drought Vegetation Index
9. Vegetation Drought Index
10. Land Surface Temperature
11. Vegetation Condition Albedo Drought Index
12. Bidirectional reflectance distribution function
13. Real Time
14. Perpendicular Drought Index
15. Modified Perpendicular Drought Index
16. Fraction of Vegetation
17. Sun Angle
18. Nearest Neighbor
19. Resampling
20. Reflectance
21. Palmer Drought Severity Index
22. Standardized Precipitation Index
23. Crop Moisture Index
24. Surface Water Supply Index
25. Reclamation Drought Index

- (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25 (3): 295–309.
- Hunt, E.R., B.N. Rock and P.S. Nobel (1987). Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22 (3): 429–435.
- Ishiyama, T., Y. Nakajima, K. Kajiwaru and K. Tsuchiya (1997). Extraction of vegetation cover in an arid area based on satellite data. *Advances in Space Research*, 19 (9): 1375-1378.
- Jangjoo, M. (2000). *Rangeland management*. Yazd: Yazd University.
- Kabiri, K. and A.A. Abkar (2002). Drought monitoring using 'Kerr et al 1989' model and NDVI. *Geomatic81 conference*, (Tehran, Iran).
- Kallel, A., Le. Sylvie, O. Catherine and H. Laurence (2007). Determination of vegetation cover fraction by inversion of a four-parameter model based on isoline parametrization. *Remote Sensing of Environment*, 111 (4): 553-566.
- Kogan, F. (1995a). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5): 655–668.
- Kogan, F. (1995b). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11): 91-100.
- Liang, S. (2003). A direct algorithm for estimating land surface broadband albedos from MODIS imagery. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 41(1): 136-145.
- Major, D.J ., F. Baret and G. Guyot (1990). A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *Environment*, 9 (2): 106-112.
- Chenar, A. (2001). Drought assesment using NOAA images in eastern Azarbayjan, western Azarbayjan and Ardabil provinces. M.Sc Thesis. Tarbiat Modares University (Tehran, Iran).
- Darvishzadeh, R., A. Skidmore, C. Atzberger and S. Wieren (2008). Estimation of vegetation LAI from hyperspectral reflectance data: Effects of soil type and plant architecture. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10 (3): 358–373.
- Elmore, A.J., J. Mustard, S. Manning and D. Lobell (2000). Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index." *Remote Sensing of Environment*, 73 (1): 87- 102.
- Ghulam, A. (2006). Remote monitoring of farmland drought based n-dimensional spectral feature space. Ph.D. Dissertation, Peking University (Beijing, China).
- Ghulam, A., Q. Qiming, T. Tashpolat and L. Zhao-Liang (2007). Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 62 (2): 150–164.
- Ghulam, A., Q. Qin and Z. Zhan (2006). Designing of the perpendicular drought index. *Environmental Geology*, 52 (6): 1045-1052.
- Goddard, S., S. Harms, S. Reichenbach, T. Tadesse and W.J. Waltman (2003). Geospatial decision support for drought risk management. *Communication of the ACM*, 46 (1): 35–37.
- Huete, H. (1988). A soil-adjusted vegetation index

- Sensing of Environment, 79 (2-3): 213-224.
- Serajian, M. and A. Tavakoli (2000). Study of drought condition using NOAA images in Iran. Application of GIS and remote sensing in arid area conference, 10-13 May 2000 (Tehran, Iran).
- Wan, Z., P. Wang and X. Li (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains. international Journal of Remote Sensing, 25 (1): 61-72.
- Wang, P., X. Li, J. Gong and C. Song (2001). Vegetaion Temperature Condition Index and its application for drought monitoring. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Sydney, Australia).
- Zhao, W., M. Tamura and H. Takahashi (2000). Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code. Remote Sensing of Environment, 76 (2): 202-212.
- International Journal of Remote Sensing, 11(5): 727-740.
- Maki, M., M. Ishihara and M. Tamura (2004). " Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 90 (4): 441-450.
- Pearson, R. and L.D. Miller (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grassland, Colorado. 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIMA, Ann Arbor, MI: 1357-1381.
- Pokrovsky, O. and J.L. Roujean (2002). Land surface albedo retrieval via kernel-based BRDF modeling : An optimal design scheme the angular sampling. Remote Sensing of Environment, 84 (1): 120-142.
- Richardson, A.J. and C.L. Wiegand (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43 : 1541–1552.
- Rouse, J.W., Haas ., Schell, J.A ., Deering, D.W and Harlan, J.C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, final report, Greenbelt, MD.
- Safari, H. (2003). Drought assesment using meteorological data and AVHRR imagery in Zabol district. M.Sc Thesis. Shahid Beheshti University (Tehran, Iran).
- Sandholt, L., K. Rasmussen and J. Andersen (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote

