



Journal of Environmental
Management and Law

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

<https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml>

Satellite Indicators in Drought Monitoring in Iran

Seyed Mahdi Pazhuan

Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

**Corresponding Author: M.pourbagher@pnu.ac.ir*

Original Paper

Abstract

Received: 2023.05.10

Accepted: 2023.10.21

Keywords:

Infrared Band,
Red Band,
Satellite Drought,
Iran.

Drought is a natural manifestation influenced by climatic conditions and is considered one of Iran's significant morphoclimatic phenomena. The appearance of this phenomenon is linked to variations in climatic elements such as temperature and precipitation. Drought, as a destructive climatic event, can have adverse effects on the ecology of any region if not properly managed, with its economic losses being a crucial feedback. Effective monitoring of drought is essential for its management. In this research, the most practical indicators for satellite monitoring of drought have been defined and implemented using meteorological satellite images. This method proves to be more economical and time-efficient compared to traditional methods, including field monitoring. The analysis of satellite indicators revealed that, firstly, the electromagnetic spectrum ranges of 670 nm (red band) and 765 nm (infrared band) are commonly utilized in all plant indicators. Secondly, the output map generated from these indicators demonstrates their high efficacy in revealing vegetation changes and, consequently, monitoring drought.



Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

شاخص‌های ماهواره‌ای در پایش خشکسالی ایران

سید مهدی پژوهان

استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.pourbagher@pnu.ac.ir

چکیده	نوع مقاله:
<p>خشکسالی یکی از مظاهر طبیعی متأثر از وضعیت اقلیمی و از پدیده‌های مهم مورفوکلیماتیک کشور ایران محسوب می‌شود به شکلی که افزایش یا کاهش یک یا چند عنصر اقلیمی مثل دما، بارش موجب پیدایش این پدیده می‌شود. خشکسالی یکی از پدیده‌های مخرب اقلیمی است که در صورت عدم مدیریت اثرات ناگواری بر اکولوژی هر منطقه وارد می‌کند. مهم‌ترین بازخورد این پدیده زیان‌های اقتصادی آن است. پایش خشکسالی به‌منظور مدیریت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق ابتدا به تعریف کاربردی‌ترین شاخص‌های پایش ماهواره‌ای از پدیده خشکسالی شده است و سپس اقدام به اجرای آن در باندهای تصاویر ماهواره‌های هواشناسی شده است. این روش از نظر اقتصادی و زمانی هم به‌صرفه‌تر از روش‌های قدیمی و هم روش مکمل مبتنی بر پایش میدانی است. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های ماهواره‌ای نشان داده است که اولاً در همه شاخص‌های گیاهی از محدوده متوسط طیف الکترومغناطیس ۶۷۰ نانومتر و محدوده متوسط ۷۶۵ نانومتر که به ترتیب به باندهای سرخ و فروسرخ معروف‌اند، استفاده می‌شود. ثانیاً نتایج حاصل از اجرای نقشه خروجی مؤید توانایی بالای این شاخص‌ها در نمایش تغییرات پوشش گیاهی و در نهایت پایش خشکسالی است. نتایج این تحقیق می‌تواند در پایش به‌روز خشکسالی و موسسات ذریبط مورد استفاده قرار گیرد.</p>	<p>علمی-پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله: ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹</p> <p>کلمات کلیدی: باند فروسرخ، باند سرخ، خشکسالی ماهواره‌ای، ایران.</p>

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های مخرب اقلیمی است که در صورت عدم مدیریت اثرات ناگواری بر اکولوژی هر منطقه وارد می‌کند. مهم‌ترین بازخورد این پدیده زیان‌های اقتصادی آن است. این پدیده تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی کشورمان رخ می‌دهد. خشکسالی تعاریف مختلفی دارد اما به‌طور میانگین می‌توان گفت اگر میزان بارندگی هر منطقه‌ای از یک مقدار متوسط در یک دوره زمانی مشخص (که حداقل یک فصل به‌طور پیوسته) کمتر باشد، خشکسالی اتفاق می‌افتد. خشکسالی، یکی از مظاهر طبیعی متأثر از وضعیت اقلیمی و از پدیده‌های مهم مورفوکلیماتیک کشور ایران محسوب می‌شود به شکلی که افزایش یا کاهش یک یا چند عنصر اقلیمی مثل دما، بارش موجب پیدایش این پدیده می‌شود. مورفوکلیماتیک را اشکال و فرم‌های حاصل از تأثیر اقلیم در هر قلمرو تعریف کرده‌اند، خشکسالی از پدیده‌های مهم شکل‌زایی حاصل از عدم موازنه دما و بارش است.

در رویارویی با پدیده خشکسالی دو شیوه مدیریتی وجود دارد: مدیریت بحران و مدیریت ریسک. در مدیریت بحران، بعد و یا حین وقوع خشکسالی، مبادرت به برنامه‌ریزی در جهت مقابله با بلا می‌شود ولی در مدیریت ریسک قبل از وقوع خشکسالی پیش‌آگاهی‌های لازم جهت آمادگی با این پدیده صادر می‌شود تا تصمیم درستی برای مقابله با پدیده خشکسالی گرفته شود. لذا مدیریت ریسک باید جایگزین مدیریت بحران شود (Alizadeh, 2008).

از یک طرف کاهش بارندگی و از طرف دیگر افزایش مدام دما و در پی آن افزایش تبخیر و تعرق در طی چند ماه، مقدمات تنش آبی و ظهور خشکسالی را فراهم خواهد کرد. البته عوامل مهم اقلیمی دیگر هم در بروز خشکسالی نقش مهمی دارند؛ مثلاً Farajzadeh (۲۰۰۵) فرونشست هوای گرم، حاکمیت سلول‌های پرفشار در منطقه، وزش بادهای غربی و کاربری نادرست انسان را در بروز خشکسالی مهم و مؤثر می‌داند.

روش‌هایی که برای مطالعه و پایش خشکسالی استفاده می‌شود شامل روش‌های آماری، آماری-فیزیکی، سینوپتیکی و سنجش‌ازدور است که در این تحقیق به معرفی تکنیک‌های سنجش‌از دوری در ثبت روند تغییرات پوشش گیاهی پرداخته شد. در اینجا اجمالاً به سوابق تحقیق خشکسالی از طریق سنجش‌از دور پرداخته شده است:

Taherzadeh (۲۰۰۶) به بررسی کامل خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌از دور و GIS پرداخته است با استفاده از روش تحلیل رگرسیون روابط شاخص‌های LST، NDVI، SPI تعیین شدند.

Safari (۲۰۰۳) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود وضعیت خشکسالی منطقه زابل را با استفاده هم‌زمان از اطلاعات هواشناسی و ماهواره هواشناسی NOAA مطالعه و بررسی کرد و به نتایج کارش نشان داد که تصویر هواشناسی ماهواره‌ای NOAA و داده‌های زمینی سینوپتیک هواشناسی در دوران خشکسالی همپوشانی بالایی داشتند.

Tavazehi & Ahmadi Nadoushan (۲۰۱۶) به بررسی خشکسالی حوزه زاینده‌رود با استفاده از شاخص SPI از داده‌های ۸ ایستگاه هیدرومتری طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ پرداختند که نتایج کارشان خشکسالی نزدیک به نرمال را برای منطقه مذکور نشان داد.

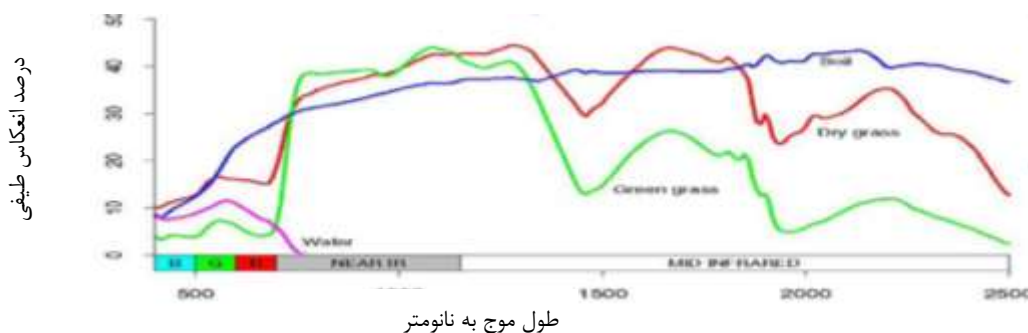
Shabani (۲۰۲۲) به ارزیابی شاخص‌های مبتنی بر سنجش‌از دور در پایش خشکسالی شهرستان نیریز واقع در استان فارس با روش مقایسه شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص‌های مبتنی بر سنجش‌از دور پرداخت که نتیجه کار نشان داد که شاخص وضعیت گیاهی (VCI) که مبتنی بر سنجش‌از دور است، بیشترین همبستگی با شاخص SPI در دوره‌های زمانی مختلف را داشته است.

Afzali Kardamehle & Behzadi (۲۰۲۳) با موفقیت به مقایسه خشکسالی استان‌های گلستان و سمنان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با اندازه‌گیری شاخص وضعیت گیاهی (VCI) پرداختند.

Pourbagher Kurdi (۲۰۱۲) به کاربرد تصاویر ماهواره‌ای SeaWiFs در پایش خشکسالی در پهنه ایران پرداخته است در این تحقیق به توانایی داده‌های این سنجنده در ثبت نمونه‌ای از پدیده خشکسالی ایران مورد آزمایش قرار گرفت و اثرات خشکسالی در سطح پوشش گیاهان مورد تفسیر بصری قرار گرفت.

Fazel Dehkordi و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از شاخص گیاهی بر روی تصاویر مودیس به بررسی خشکسالی مراتع استان ایلام پرداختند که نتایج حاصل از رگرسیون بین شاخص‌ها نشان داد که NDVI معیار مناسبی برای ارزیابی و پایش خشکسالی است. Wang و همکاران (۲۰۰۴) برای پایش خشکسالی کشور چین از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده کردند و با کمک شاخص شرایط دمایی گیاهان به بررسی خشکسالی از طریق شاخص مذکور بر روی تصویر مودیس و هم‌زمان بر روی داده‌های ایستگاه زمینی هواشناسی پرداختند.

شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از تفاضل انعکاس گیاهان در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آیند، گیاهان به علت رنگ‌دانه‌های کلروفیل دارای بیشترین جذب و کمترین انعکاس در محدوده باند قرمز مرئی و بالعکس در محدوده مادون قرمز نزدیک تحت اثر ساختار سلولی خود دارای کمترین جذب و بیشترین انعکاس می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، حداکثر انعکاس گیاهان در طیف الکترومغناطیس، محدوده مادون قرمز نزدیک و حداقل آن در محدوده نور قرمز است. با دانستن حداکثر و حداقل انعکاسات باندی و یا سایر خصوصیات ویژه رفتار طیفی گیاهان و روابط ساده نسبت‌گیری روی باندها شاخص‌های گیاهی مثل شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، شاخص شرایط گیاه، شاخص خشکسالی پوشش گیاهی و... را می‌توان استخراج کرد، شکل مذکور به امضای طیفی گیاهان نیز معروف است، زیرا همه پدیده‌ها از جمله گیاهان، منحنی بازتابش طیفی مخصوص به خود همچون اثر انگشت دارند (Pourbagher Kurdi, 2012).



شکل ۱- منحنی رفتار طیفی گیاهان سبز (منحنی سبز) و خشک (منحنی قرمز) نسبت به آب (منحنی بنفش) و خاک (منحنی آبی)

Fig. 1- Spectral behavior curves of green plants (green curve) and dried plants (red curve) in relation to water (purple curve) and soil (blue curve)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق پهنه جغرافیایی ایران به منظور اجرای شاخص خشکسالی است. روش تحقیق از نوع کاربردی است لذا در اینجا بعد از معرفی مهم‌ترین شاخص‌های ماهواره‌ای در پایش خشکسالی به نحوه اجرای آن پرداخته شده است:

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده^۱

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده به‌طور گسترده برای تحلیل پوشش گیاهی یک منطقه استفاده می‌شود. این شاخص از ابزارهای مهم تولیدشده با تکنیک‌های سنجش از دور است که در جستجوی رابطه بین اطلاعات کسب‌شده توسط سنجنده و پوشش کنونی گیاهان است. این شاخص اطلاعات خوبی راجع به پارامترهای گیاهی از جمله زیست‌توده، سطح برگ، محصولات کشاورزی، فعالیت‌های فتوسنتزی، درصد پوشش سبز و سلامت گیاهان ارائه می‌دهد (Antonio, 2012).

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده از شاخص‌های مبتنی بر نسبت‌های باندی است که اولین بار توسط Tucker در سال ۱۹۷۹ برای سلامت و تراکم گیاهان مطرح شد (Thenkabail et al., 2004) که به‌صورت کلی زیر تعریف می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

که در آن؛ R = باند قرمز انعکاسی و NIR = باند مادون قرمز نزدیک انعکاسی است. این شاخص نشان‌دهنده ارتباط بین پارامترهای پوشش گیاهی از قبیل توده زنده گیاهی و سطح برگ سبز با میزان آب قابل‌دسترس در خاک است (Thenkabail et al., 2004).

از مزایای این شاخص از بین بردن اثرات اتمسفری و توپوگرافی است. مطالعه رفتار زمانی پوشش گیاهی، مدل‌سازی آب و هوایی، طبقه‌بندی پوشش گیاهی در سطح جهانی، پایش محصولات کشاورزی، مطالعات بیابان‌زدایی و خشکسالی، حفاظت محیط‌زیست، بررسی تعادل میزان انرژی و آب در سطح جهانی از جمله سایر کاربردهای شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده می‌باشند.

شاخص گیاهی EVI^۲

شاخص گیاهی یک شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده تغییر یافته است که در آن از B_{NIR} باند فرورسرخ نزدیک، B_{Red} و B_{blue} باند سرخ و آبی هستند. این شاخص به‌صورت معادله زیر است:

$$EVI = \frac{B_{NIR} - B_{Red}}{B_{NIR} + C_1 * B_{Red} - C_2 * B_{Blue} + L} * (1 + L) \quad (2)$$

L فاکتور خاک و C1 و C2 ضرایبی هستند که به ترتیب ۰/۶ و ۵/۷ و ۰/۱ می‌باشند (Jensen, 2005).

این شاخص، حساسیت به نواحی با پوشش گیاهی را افزایش داده و باعث کاهش آثار جوی می‌شود (Huete & Justice, 1999). در این شاخص نیاز به تصحیح قبلی پخش مولکولی و جذب ازون برای باندهای آبی، قرمز و فرورسرخ نزدیک می‌باشد. همچنین این شاخص بیشتر برای بازسازی پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای MODIS بکار می‌رود. نتیجه حاصل از اعمال این شاخص در بخش نتایج تحقیق آمده است.

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

^۲ Enhanced Vegetation Index

شاخص نسبت گیاهی^۳

از تقسیم باند مادون قرمز نزدیک سنجنده‌ها به باند قرمز سنجنده‌ها شاخص نسبت گیاهی تعریف می‌شود.

$$RVI = \frac{NDVI}{R} \quad (۳)$$

شاخص شرایط گیاهی^۴

این شاخص ابتدا توسط kogan در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد (Thenkabail et al., 2004). که شرایط غالب پوشش گیاهی را با مقادیر حداقل NDVI_min و حداکثر NDVI_max به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$VCI = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right] \times 100 \quad (۴)$$

اگر مقادیر VCI بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد باشند، بیانگر شرایط مطلوب، بالاتر از نرمال گیاهان و عدم خشکسالی است، ولی مقادیر نزدیک به صفر بیانگر شرایط وقوع خشکسالی برای گیاهان است (Pourbagher Kurdi, 2012).

شاخص تأمین آب پوشش گیاهی^۵

این شاخص از نسبت‌گیری شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده به دمای درخشندگی استخراج شده از باند مادون قرمز حرارتی مطابق رابطه زیر به دست می‌آید. در زمان خشکسالی این شاخص به شدت کاهش می‌یابد.

$$WSVI = \frac{NDVI}{BT} \quad (۵)$$

که BT دمای درخشندگی استخراج شده از باند مادون قرمز حرارتی است.

در موقع خشکسالی NDVI کاهش یافته و درجه حرارت تاج پوشش افزایش می‌یابد و در نتیجه طبق رابطه فوق شاخص تأمین آب پوشش گیاهی کاهش می‌یابد.

شایان ذکر است برای استخراج دمای درخشندگی ابتدا بایستی مقادیر رقومی باند حرارتی را به رادیانس طیفی تبدیل کرده و سپس با کمک معکوس کردن تابع پلانک، دمای درخشندگی را به دست آورد. در این تحقیق برای استخراج شاخص خشکسالی NDVI و بررسی تغییرات پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده SeaWifs در ماه‌های مشابه و در سال‌های متوالی، انتخاب شدند و از باندهای ۶ و ۷ سنجنده SeaWifs برای استخراج شاخص گیاهی به صورت زیر در فرمول نویسی استفاده شده است:

$$NDVI = \frac{(Float(B7) - Float(B6))}{(Float(B7) + Float(B6))} \quad (۶)$$

^۳ Ratio Vegetation Index

^۴ Vegetation Condition Index

^۵ Water Supplying Vegetation Index

که در آن:

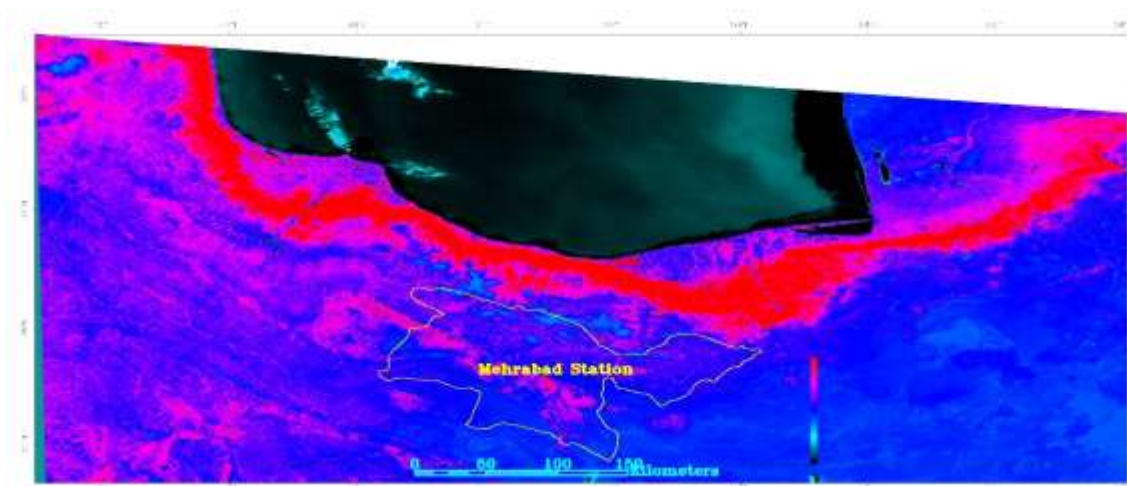
$Float(B7)$ باند مادون قرمز نزدیک انعکاسی سنجنده SeaWifs با فرمت اعشاری و $Float(B6)$ باند قرمز انعکاسی سنجنده SeaWifs با فرمت اعشاری است.

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل اجرای شاخص های خشکسالی NDVI و EVI بر روی تصویر سنجنده MODIS به ترتیب در شکل های ۲ و ۳ آورده شده است. برای اجرای آن از رابطه های شماره ۷ و ۶ جهت فرمول نویسی در نرم افزار ENVI استفاده شده است: برای محاسبه NDVI بایستی نوع متغیر را مشخص کنیم، از آنجائی که فرمت نقشه خروجی در NDVI از نوع اعشاری است لذا فرمت $Float$ (اعشاری) در فرمول نویسی انتخاب شده است، زیرا دامنه تغییرات NDVI از نوع متغیر پیوسته است. لذا در این تحقیق از رابطه زیر برای تصویر MODIS استفاده شده است نتیجه این بخش از محاسبه به صورت نقشه رنگی می باشد که قسمت های قرمز این نقشه بیانگر توده زیست گیاهی است (شکل ۲).

$$NDVI = \frac{Float(B2) - Float(B1)}{Float(B2) + Float(B1)} \quad (7)$$

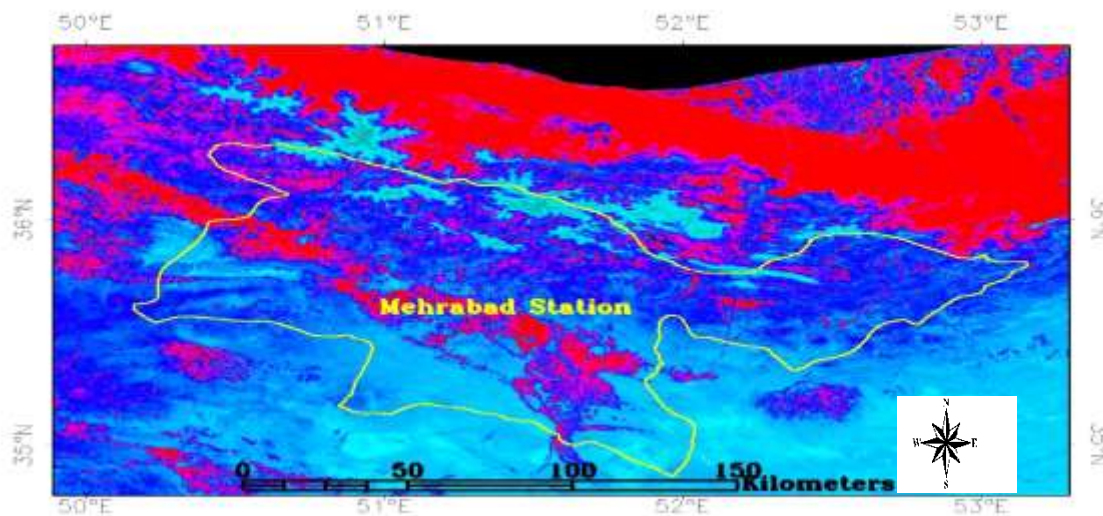
$Float(B2)$ باند ۲ با فرمت اعشاری سنجنده MODIS در محدوده ۸۴۱ تا ۸۷۶ نانومتر (مادون قرمز) است و $Float(B1)$ باند ۱ با فرمت اعشاری سنجنده MODIS در محدوده ۶۲۰ تا ۶۷۰ نانومتر (قرمز) است. مقادیر پردازش شده NDVI در محدوده پیوسته -۱ تا +۱ قرار دارند. معمولاً مقادیر NDVI در خاکها کمتر از ۰/۰۵ و در مناطق گیاهی تنک بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ و مناطق گیاهی معمولی بین ۰/۱ تا ۰/۵ و مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی (جنگل های شمال کشور) بیشتر از ۰/۵ است.



شکل ۲- بارزسازی پوشش گیاهی با شاخص NDVI بر روی تصویر ماهواره ای مودیس (از استان تهران تا بخش های شمالی کشور)

Fig. 2- Highlighting vegetation cover with the NDVI index on the MODIS satellite image (from Tehran Province to the northern regions of the country)

شاخص NDVI برای شناسایی محصولات گیاهی تخریب‌شده و گیاهان تحت فشار آبی مراتع و گیاهان هموزن (با خصوصیات ساختاری شبیه به هم) بسیار مفید است ولی برای شناسایی فشار آبی گیاهان هتروژن (با خصوصیات ساختاری مختلف) کمی پیچیده است. همه مطالعات انجام گرفته در بیابان صحاری، آرژانتین، افریقای جنوبی، مدیترانه و سنگال بیان‌کننده ارتباط معناداری بین NDVI استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای و توده زنده گیاهی است (Chopra, 2006).

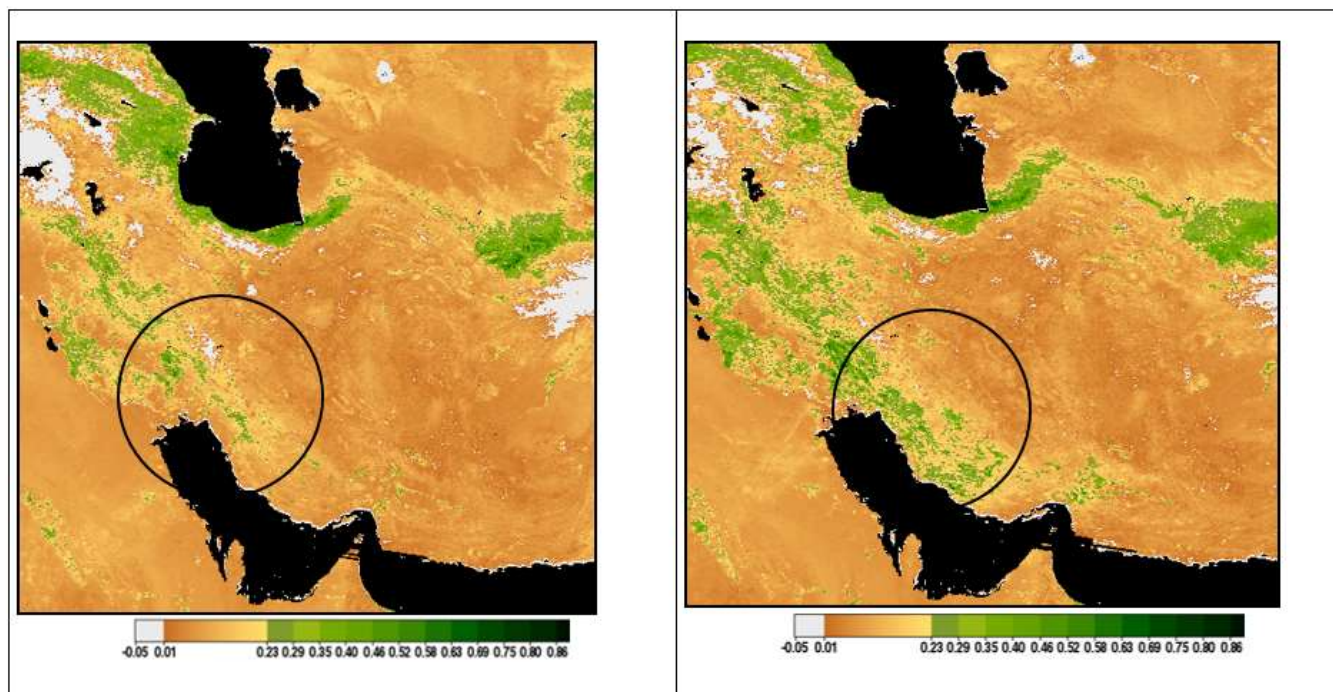


شکل ۳- بارزسازی پوشش گیاهی با شاخص EVI بر روی تصویر ماهواره‌ای مودیس (از استان تهران تا بخش شمالی کشور)

Fig. 3- Highlighting vegetation cover with the EVI index on the MODIS satellite image (from Tehran Province to the northern regions of the country)

همانطوری که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود تصویر فضایی سنجنده MODIS از استان تهران تا بخش شمالی کشور را نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی با رنگ قرمز پررنگ بیانگر پوشش گیاهی متراکم ولی از راستای جنوب شرقی تا شمال غربی ایستگاه مهرآباد تهران از پوشش گیاهی با تراکم نسبتاً متراکم پوشیده شده است. در حالی که در نواحی شمال و شمال شرقی ایستگاه مهرآباد پوشش گیاهی بسیار تنک و پراکنده که نشانه تنش آبی و خشکی است.

همچنین نتایج حاصل از اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی کشور ایران در شکل ۴ آورده شد. شکل مذکور با استفاده از باندهای ۶ و ۷ سنجنده SeaWifs و رابطه ۶ قابل استخراج است.



شکل ۴- اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی کشور: تصویر سمت راست مربوط به ششمین ماه زراعی یعنی فوریه ۲۰۱۰ و تصویر سمت چپ مربوط به فوریه ۲۰۰۹ است

Fig. 4- Effects of drought on the country's vegetation cover: The image on the right corresponds to the sixth agricultural month, i.e., February 2010, and the image on the left corresponds to February 2009

این سنجنده تکمیل کننده اطلاعات رنگدانه‌های اقیانوسی همچون تمرکز کلروفیل در پهنه‌های آبی است، ولی به دلیل دارا بودن دو باند مادون قرمز نزدیک و زمان بازبینی کوتاهش غیر از کاربرد مذکور در تحلیل‌های اراضی مثل وضعیت پوشش گیاهی نیز بکار گرفته شده است (Fred, 2013).

همان‌طور که در شکل فوق دیده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که اثر خشکسالی بر روند تغییرات پوشش گیاهی با کمک شاخص‌های خشکسالی EVI و NDVI بر روی تصاویر باندهای ۶ و ۷ سنجنده SeaWifs بخصوص در دوایر سیاه محرز است. در اینجا دوایر سیاه میزان تغییرات پوشش در زمان‌های مشابه از سال‌های متوالی را مورد مقایسه قرار داده است. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای پایش خشکسالی در مقیاس کلان می‌توان از تصاویر ماهواره‌های هواشناسی با مزایای واقعی بودن این‌گونه داده‌ها و عدم وجود خطاهای انسانی در ثبت داده‌ها با سرعت بالا و هزینه پایین استفاده کرد. در انواع شاخص‌های گیاهی برای پایش خشکی از محدوده متوسط طیف الکترومغناطیس ۶۷۰ نانومتر و محدوده متوسط ۷۶۵ نانومتر که به ترتیب به باندهای قرمز و مادون قرمز معروف‌اند، استفاده می‌شود و علت آن حداکثر اختلاف رفتار طیفی گیاهان در این دو محدوده و در نتیجه بازسازی آن‌هاست.

نتایج حاصل از اجرای نقشه خروجی هم بر روی تصاویر ماهواره‌ای MODIS و هم بر روی تصاویر ماهواره‌ای SeaWifs نشان داده است که تغییرات پوشش گیاهی و در نهایت پایش خشکسالی با کمک شاخص‌های گیاهی با موفقیت همراه بوده است.

References

- Afzali Kardamehle, P., & Behzadi, S. (2023), Comparison of Drought in Golestan And Semnan Provinces By Satellite Data with Vegetation Condition Index (VCI) Measurement, 3rd National Conference on Water Resource Management Strategies and Environmental Challenges, Tarbiat Debir Shahid Rajae University, Tehran, Iran. [In Persian]
- Alizadeh, A., Ansari, H., Ershadi, S., & Ashgar Toosi, S. (2009). Drought Predictability in the Province of Sistan and Balouchestan. *Journal of Geography and Regional Development*, (11) 11, Pages 1-18. [In Persian] (SID. <https://sid.ir/paper/99050/en>)
- Antonio, P., Aquino França, L.M., & Galvncio, J. (2012). Relationship between Vegetation Indices and Altimetry in Triunfo-Pe, Brazil, *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 2(3), 37-43.
- Chopra, P. (2006). Drought Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS: a Case Study of Gujarat, ITC and IIRS, Thesis for the Degree of Master of Science in Geo-Information Science and Earth Observation in Hazard & Risk Analysis.12-14.
- Fazel Dehkordi, L., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M. A., Mahmoudi Kohan, F., & Khalighi Sigaroudi, S. (2016). Drought Monitoring Using Vegetation Index (NDVI) (Case study: Rangelands of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1), 141-154. doi: 10.22059/jrwm.2016.61739) [In Persian]
- Dos Santos Pereira, J. A., De Aquino França, L. M., & Galvncio, J. D. (2012). Relationship Between Vegetation Indices and Altimetry in Triunfo-PE, Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 2(3), 37-43.
- Farajzadeh Assal, M. (2005). Drought from the Concept to the Solution, Publications of the Geographical Organization of The Armed Forces, 120 Pages. [In Persian]
- Fred, P. (2013). Seawifs Status, Ocean Biology Processing Group, Power Point Issuance, 1-8.
- Huete, A., Justice, C., & Van Leeuwen, W. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD13). *Algorithm Theoretical Basis Document*, 3(213), 295-309.
- Jensen, J.R. (2005). Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 526PP.
- Pourbagher Kurdi S.M. (2012). Application of Sea Wifs Satellite Images in Drought Monitoring, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Hazards, Khwarazmi University, Tehran, Iran, November 7-13. [In Persian]
- Safari, H. (2003), Drought Assessment Using ANHRR Images in Zabul Region. Master's Degree Thesis, Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti University, Tehran. [In Persian]
- Shabani, M. (2022), Evaluation of Indicators Based on Remote Sensing in Drought Monitoring of Niriz City, Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources, (13) 4: 131-147. [In Persian]
- Taherzadeh, S.A., Ziaian, P., & Farajzadeh, M. (2006), Drought Analysis Using Remote Sensing and GIS Techniques, A Case Study of Minab City, Tarbiat Modares University Master's Thesis on Remote Sensing, 42-44. [In Persian]

- Tavazehi, A., & Ahmadi Nadoushan, M. (2016), Drought Survey of Zayandeh Rodd Area Using SPI Index, National Conference on Civil Engineering, Environment and Sustainable Land, Mashhad, Iran. [In Persian]
- Thenkabail, P. S., & Gamage, M. S. D. N. (2004). *The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia* (85). Iwmi.
- Wang, P.X., Li, X.W., Gong, J.Y., & Song, C. (2004). Vegetation Temperature Condition Index and Its Application for Drought Monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 578–592.