

Monitoring the Drought Effects on Vegetation Changes using Satellite Imagery (Case Study: Ilam Catchment)

Nasrin Avazpour¹ | Marzban Faramarzi²  | Reza Omidipour³  | Hossein Mehdizadeh⁴

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran. E-mail: nivin79bn@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran. E-mail: m.faramarzi@ilam.ac.ir
3. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran. E-mail: rezaomidipour@gmail.com
4. Department of Entrepreneurship and Rural Development, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran. E-mail: h.mahdizadeh@ilam.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 10 Nov 2021 Received in revised form: 15 Dec 2021 Accepted: 16 Dec 2021 Available online: 30 Dec 2021 Keywords: Vegetation Index, Landsat Satellite, Standardized Precipitation Index, Vegetation Cover Changes, Semi-Arid Regions.	Drought is a natural phenomenon that has a significant impact on agriculture and also influences different aspects of people's lives in both arid and semi-arid regions. Vegetation cover is one of the living components of the ecosystem and plays an important role in many ecosystem processes that are strongly affected by climatic events such as drought. In the present study, the status of vegetation changes in relation to drought index has been investigated in the Ilam catchment (Ilam city). In this research, the 30-year precipitation of synoptic stations of Ilam, Mehran, Dehloran, Sarableh, Ivan, Darrehshahr and Abdanan were applied to calculate the standardized precipitation index (SPI). The Landsat satellite images were used to extract the standard vegetation difference index (NDVI) and also to investigate the detection of vegetation changes in the study area. Besides, the relationship between the SPI drought index and NDVI vegetation index was performed by the Pearson correlation method between raster layers of NDVI and SPI. The results of the SPI index showed that the drought in the years 2003 and 2008 occurred with more intensity than other years. Moreover, the vegetation classification map obtained from the NDVI index showed a decreased trend in the level of vegetation from 1988 to 2018 which is occurred mostly in the dense vegetation category (15959 ha in 1988 and 6492 ha in 2018). Based on the results of the present study, it is concluded that the changes in vegetation over time is directly related to the severity of drought, which should be considered by managers and decision-makers in the natural resources for vegetation management.

Cite this article: Avazpour, N., Faramarzi, M., Omidipour, R., Mehdizadeh, H. (2021). Monitoring the Drought Effects on Vegetation Changes using Satellite Imagery (Case Study: Ilam Catchment). *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (4), 125-143. DOI: 10.22126/GES.2022.7130.2472



© The Author(s).

Publisher: Razi University

DOI: 10.22126/GES.2022.7130.2472

پایش تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ایلام)

نسرین عوض‌پور^۱ | مرزبان فرامرزی^۲ | رضا امیدی‌پور^۳ | حسین مهدی‌زاده^۴

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: nivin79bn@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.faramarzi@ilam.ac.ir
۳. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: rezaomidipour@gmail.com
۴. گروه کارآفرینی و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: h.mahdzadeh@ilam.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	خشک‌سالی رخدادی طبیعی است که تأثیر قابل توجهی در کشاورزی، اقتصاد و در نتیجه ابعاد مختلف زندگی مردم در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. پوشش گیاهی یکی از اجزای زنده اکوسیستم است و نقش مهمی در بسیاری از فرایندهای اکوسیستمی دارد که به شدت تحت تأثیر رخدادهای اقلیمی، از جمله خشک‌سالی، است. در پژوهش حاضر، وضعیت تغییرات پوشش گیاهی در رابطه با شاخص خشک‌سالی در محدوده حوضه آبخیز ایلام (شهرستان ایلام) بررسی شد. در این تحقیق، از آمار ۳۰ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۷) بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (شهرستان‌های ایلام، مهران، دهلران، سرابله، ایوان، دره‌شهر و آبدانان) برای محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI) و از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌های OLI، ETM و TM) برای تهیه شاخص تفاضل پوشش گیاهی استاندارد (NDVI) و بررسی تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، استفاده شد. واکاوی ارتباط بین شاخص خشک‌سالی (SPI) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از روش هم‌بستگی پیرسون بین لایه رستری پوشش گیاهی و خشک‌سالی انجام شد. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص SPI محاسبه‌شده، در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ پدیده خشک‌سالی با شدت‌های بیشتری نسبت به سایر دوره‌های مورد بررسی (۱۳۶۷-۱۳۹۷) اتفاق افتاده است. نقشه دسته‌بندی پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI در طول سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ بیانگر کاهش سطح پوشش گیاهی از گذشته تا حال بوده، به‌طوری که این کاهش بیشتر در دسته پوشش گیاهی متراکم (از ۱۵,۹۵۹ هکتار در سال ۱۳۶۷ به ۶۴۹۲ هکتار در سال ۱۳۹۷) رخ داده است. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان با شدت خشک‌سالی ارتباط مستقیمی دارد که مدیران و تصمیم‌گیران عرصه منابع طبیعی، به‌منظور مدیریت پوشش گیاهی، باید به این موضوع مهم توجه کنند.
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵ دسترسی آنلاین: ۱۴۰۰/۱۰/۰۹	
کلیدواژه‌ها: شاخص پوشش گیاهی، ماهواره لندست، شاخص بارش استاندارد، تغییرات پوشش گیاهی، مناطق نیمه‌خشک.	

استناد: عوض‌پور، نسرین؛ فرامرزی، مرزبان؛ امیدی‌پور، رضا؛ مهدی‌زاده، حسین (۱۴۰۰). پایش تأثیر خشک‌سالی بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ایلام). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱ (۴)، ۱۲۵-۱۴۳. DOI: 10.22126/GES.2022.7130.2472



حق مؤلف © نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

مدل‌های آب‌وهوایی پیش‌بینی می‌کنند که در قرن بیست‌ویکم، افزایش دما با تغییر الگوهای بارش و وقایع شدید آب‌وهوایی، مانند امواج گرما و خشک‌سالی، همراه خواهد بود (عابدی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). همین امر باعث تشدید تخریب زمین و بیابان‌زایی می‌شود. تخریب اکولوژیک مربوط به خشک‌سالی به شکل‌هایی چون نابودی جنگل‌ها، بیابان‌زایی و از بین رفتن مراتع، تخریب تالاب‌ها، افزایش غلظت آلاینده‌ها و خشک شدن دریاچه‌ها، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، گزارش شده است (پوربابایی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویلانوا^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های طبیعی در برابر تغییر آب‌وهوا به میزان پایداری آن اکوسیستم و همچنین توانایی آن در مقابله با استرس‌های محیطی بستگی دارد. یکی از اثرات پیش‌بینی‌شده در تغییرات آب‌وهوایی، وقوع خشک‌سالی و تأثیر آن بر از بین رفتن گونه‌هاست. خشک‌سالی تأثیرات عمده‌ای بر ترکیب، ساختار و عملکرد پوشش گیاهی دارد (آلن^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). تمامی این عوامل می‌توانند شرایط طبیعی گیاهان را برای ادامه حیات تغییر دهند و باعث کاهش کل جمعیت گیاهان و بهره‌وری اکوسیستم و حتی تهدید تنوع زیستی منطقه‌ای شوند. خشک‌سالی همیشه پایین آمدن کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش قابل توجه سطح زیر کشت و مواد غذایی می‌شود (ری^۵ و همکاران، ۲۰۱۸؛ چاندرا^۶ و همکاران، ۲۰۲۱).

به‌طور کلی، خشک‌سالی بر فعالیت برخی ارگانیسم‌های خاک تأثیر منفی می‌گذارد و همین، یکی از موضوعاتی است که منجر به فقر مواد غذایی در خاک می‌شود (هولم^۷، ۲۰۰۵). بررسی ارتباط بین تنوع گیاهان علفی و در دسترس بودن مواد مغذی و پارامترهای خاک در بسیاری از مطالعات گذشته دلیلی بر این ادعاست (بای^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). به این ترتیب، خشک‌سالی ممکن است به‌دلیل تغییر رطوبت خاک و میزان تجزیه‌پذیری بسترهای خاک، باروری خاک‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد. از طرفی دیگر، وقوع خشک‌سالی بر میزان تنوع گونه‌ای نیز اثرگذار است، به‌طوری که خشک‌سالی در یک منطقه با تغییر در دسترس بودن آب خاک می‌تواند به‌طور غیرمستقیم بر تنوع و غنای گونه تأثیر بگذارد (پوربابایی^۹ و همکاران، ۲۰۱۴). تنش خشکی دارای اثرات منفی، از قبیل کاهش جذب اشعه فعال فتوسنتزی و کاهش راندمان استفاده از نور خورشید، بر رشد و کل عملکرد گیاهان است. به همین دلیل است که تحمل در برابر خشکی را می‌توان توانایی گیاه در حفظ رشد رویشی و عملکرد محصول در شرایط خشک‌سالی تعریف کرد. همچنین تحمل در برابر خشکی، افزایش پایداری غشای سلولی در شرایط کمبود آب ارزیابی می‌شود (آبوباتا^{۱۰}، ۲۰۱۹).

از آنجا که خشک‌سالی، رخداد طبیعی و مکرر در وضعیت آب‌وهواست و تقریباً در تمام رژیم‌های اقلیمی رخ می‌دهد، عمده‌تأثیرات منفی گسترده‌ای در بیشتر مناطق کره زمین برجا می‌گذارد (پرکینس^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین پیش‌مستمر تغییرات شرایط آب‌وهوایی هر منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است؛ هرچند پیش خشک‌سالی، با توجه

1. Abedi
2. Pourbabaei
3. Vilanova
4. Allen
5. Ray
6. Chandra
7. Hulme
8. Bai
9. Pourbabaei
10. Abobatta
11. Perkins

به ابعاد پیچیده مکانی و شدت آن، چالش‌انگیز است. به‌طور سنتی، نظارت بر خشک‌سالی عمدتاً به شاخص‌های مبتنی بر آب‌وهوا متکی بوده است (جی و پترس^۱، ۲۰۰۳). خشک‌سالی‌های مخرب زمانی رخ می‌دهند که یک منطقه به‌طور مداوم کمتر از میانگین معمول، بارش داشته باشد (استیلی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

یکی از اساسی‌ترین شاخص‌ها برای تعیین و پایش بروز خشک‌سالی، استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)^۳ است (گوتمن^۴، ۱۹۸۸)؛ پراکنش زمانی و مکانی خشک‌سالی را می‌توان با استفاده از این شاخص به‌طور مؤثری واکاوی کرد (لیو^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). از طرف دیگر، یکی از راه‌های کسب اطلاعات از محیط، از جمله پوشش گیاهی در مناطق وسیع، به‌کارگیری فناوری سنجش از دور^۶ و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۷ است. به‌طور کلی تصاویر دریافتی از ماهواره‌ها می‌توانند اطلاعاتی در چند بعد، چند مقیاس و چند طیف تهیه کنند که این ویژگی‌ها به اهمیت و نقش آن‌ها می‌افزاید (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۵).

یکی از بارزترین ابزارهای مورد استفاده در حوزه مطالعات علوم زمین، شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج‌شده از داده‌های ماهواره‌ای است. در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص NDVI^۸ با فراهم کردن اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به‌وفور به‌کار گرفته می‌شود. این شاخص بر پایه این حقیقت استوار است که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون‌قرمز نزدیک را منعکس کند (پتورلی^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار این شاخص و نیز شاخص‌های دیگر پوشش گیاهی تحت‌تأثیر عواملی قرار می‌گیرند که آگاهی از آن‌ها نقش کلیدی و مهمی را در مطالعات پوشش گیاهی دارند که در این پژوهش در راستای انجام تحقیق مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

با توجه به اینکه استان ایلام در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارد، حفظ و مدیریت منابع آبی استان باید یکی از اولویت‌های اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار باشد. برای دستیابی به این مهم، آگاهی از وضعیت اقلیمی، روند تغییرات آن و همچنین اثرات آن بر پوشش گیاهی بسیار حائز اهمیت است. از این رو، هدف اصلی این تحقیق بررسی تغییرات پوشش گیاهی در رابطه با شاخص‌های خشک‌سالی در حوضه آبخیز ایلام (شهرستان ایلام) است. بنابراین اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: ۱. بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای؛ ۲. بررسی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI؛ ۳. بررسی ارتباط بین تغییرات پوشش گیاهی با تغییرات شاخص خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه.

1. Ji & Peters

2. Esetlili

3. Standardized Precipitation Index

4. Guttman

5. Liu

6. Remote Sensing

7. Geographic Information System

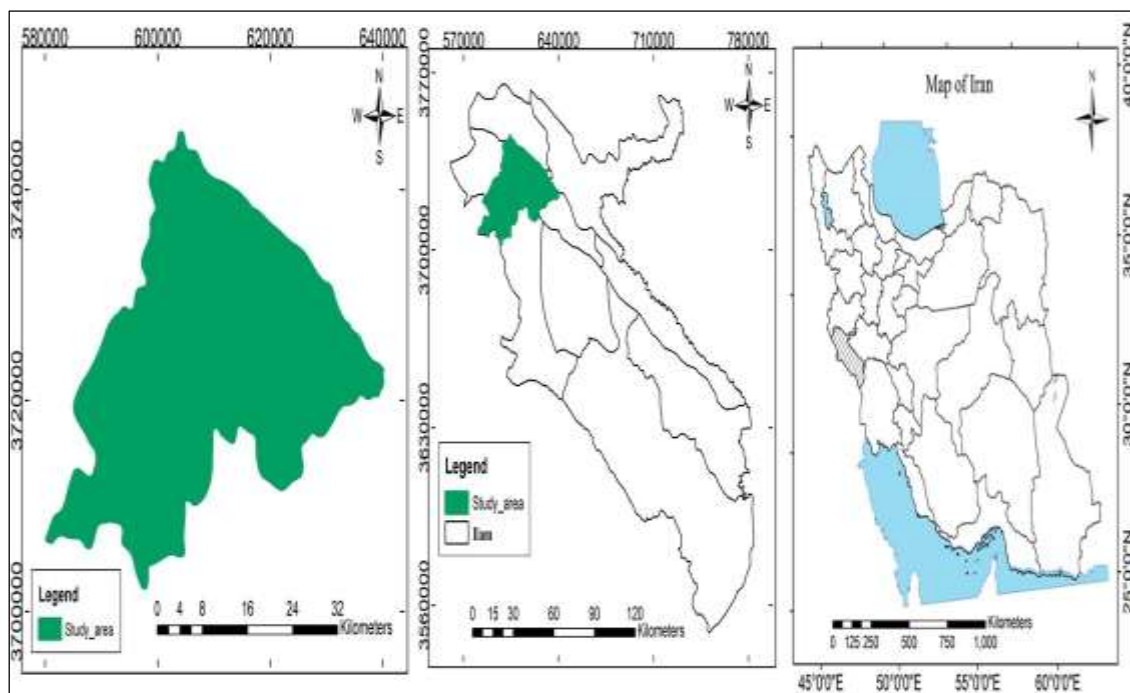
8. Normalized Difference Vegetation Index

9. Pettorelli

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، منطقه مورد مطالعه شامل حوضه آبخیز ایلام (شهرستان ایلام) است که در استان ایلام و در محدوده جغرافیایی $34^{\circ} 00'$ تا $33^{\circ} 08'$ عرض شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 34'$ و $45^{\circ} 47'$ شرقی قرار دارد (شکل ۱). این حوضه یکی از حوضه‌های آبخیز وسیع استان است که مساحتی بالغ بر ۱۱,۸۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد. در محدوده این حوضه، شهرهای ایلام و چوار و همچنین مراکز روستایی واقع شده‌اند که مجموعاً جمعیتی بالغ بر ۲۸۰ هزار نفر را در خود جای داده‌اند.



شکل ۱. نمایی از منطقه مورد مطالعه در استان ایلام و کشور

وضعیت اقلیمی

اقلیم منطقه مورد مطالعه، بر اساس روش اقلیمی آمبرژه، از نوع نیمه‌خشک است و ارتفاع متوسط آن حدود ۱۹۰۰ متر از سطح دریاست. میانگین بارش بر اساس آمار نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه، یعنی ایستگاه شهرستان ایلام، طی ۱۰ سال اخیر ۵۷۱/۵ میلی‌متر گزارش شده است. حداقل بارش منطقه، ۲۳۴ میلی‌متر (در سال ۱۳۸۷) و حداکثر آن ۱۰۵۵/۷ میلی‌متر (در سال ۱۳۹۷) بوده است.

پوشش گیاهی

گونه‌های گیاهی چوبی منطقه مورد مطالعه شامل گونه‌های درختی، مانند *Quercus persica* (بلوط ایرانی)، *Pistacia atlantica* (بنه) و *Amygdalus orientalis* (بادام کوهی)، است. در تیپ علفی منطقه نیز گونه‌هایی *Bromus danthoniae* (جارو علفی هرز)، *Bromus tectorum* (علف بام)، *Festuca ovina* (علف بره) و *Taeniatherum crinitum* (گیسو چمن) دیده می‌شود.

داده‌های بارش

در این تحقیق، ابتدا داده‌های مربوط به بارش ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام و شهرستان‌های اطراف از اداره کل هواشناسی استان و همچنین سازمان هواشناسی کل کشور گردآوری شد. بعد از حذف ایستگاه‌های ناقص، تعداد هفت ایستگاه که در داخل حوضه یا دارای نزدیک‌ترین فاصله تا حوضه بودند، با دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۳۹۷-۱۳۶۷) مشخص شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر (طول دوره آماری ۳۰ ساله)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین باران سالانه (میلی‌متر)
ایلام	۴۶° ۲۴' ۸۲۴" E	۳۳° ۳۷' ۳۸۳" N	۱۳۶۴	۵۷۲/۴
ایوان	۴۶° ۱۸' ۴۳" E	۳۳° ۴۹' ۱۴" N	۱۱۸۴	۶۷۹/۴
سرابله	۴۶° ۳۳' ۸۰۹" E	۳۳° ۴۶' ۱۹۰" N	۱۰۲۸	۵۵۰
دهلران	۴۷° ۱۶' ۸۷۳" E	۳۲° ۴۰' ۸۸۰" N	۲۱۱	۲۸۴/۸
دره‌شهر	۴۷° ۲۳' ۲۸۳" E	۳۳° ۰۹' ۰۲۲" N	۶۴۵	۲۹۰
آبدانان	۴۷° ۲۵' ۳۵۴" E	۳۲° ۵۹' ۸۷۰" N	۹۲۸	۵۰۷
مهران	۴۶° ۱۰' ۵۲۵" E	۳۳° ۰۶' ۱۱۰" N	۱۵۵	۲۹۵

در تحقیق حاضر، برای بررسی وقوع و شدت خشک‌سالی اقلیمی، از شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده شد. شاخص SPI یک مقدار نرمال‌شده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ است. از این رو، این شاخص مقدار انحرافات استاندارد است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال منحرف می‌شود. مقادیر SPI مثبت نمایانگر بارش بیشتر از مقدار بارش متوسط و مقادیر SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار بارش متوسط است. چون SPI نرمال است، اقلیم‌های خشک و مرطوب را می‌توان به یک روش نشان داد و دوره‌های مرطوب را نیز می‌توان با استفاده از شاخص SPI پایش کرد (بیان و ویلهیت^۱، ۱۹۹۹). شاخص SPI از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

1. Byun & Wilhite

$$SPI = P_i - P / SD$$

رابطه ۱:

در این رابطه، SPI شاخص استاندارد بارش، P_i میزان بارش در زمان مورد نظر، P متوسط بارش در دوره زمانی مورد نظر، و SD انحراف استاندارد از بارش است. به منظور سهولت در محاسبات از نرم‌افزار DIP برای محاسبه شاخص SPI استفاده شد. مشخصات و مقادیر شاخص SPI در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات شاخص SPI

SPI	شدت خشک‌سالی
بزرگتر یا مساوی ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال
۰ تا -۰/۹۹	خشک‌سالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشک‌سالی شدید
کوچک‌تر یا مساوی با -۲	خشک‌سالی خیلی شدید

شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

به طور معمول، برای بررسی پوشش گیاهی در مقیاس‌های وسیع جغرافیایی از شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده می‌شود (امیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). در بین شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند، شاخص NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است. این شاخص واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است.

شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

رابطه ۲

در این رابطه، NIR بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و RED انعکاس در باند قرمز است. مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ است که این مقادیر برای پوشش گیاهی متراکم به سویی عدد ۱ میل می‌کند.

در این تحقیق، به منظور بررسی تغییرات پوشش در دوره زمانی مورد مطالعه و همچنین ارتباط آن با شاخص بارش استاندارد، از داده‌های ماهواره‌ای لندست استفاده شد. همچنین پس از استخراج نقشه NDVI، از روش‌های طبقه‌بندی پوشش گیاهی برای تفکیک کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی استفاده شد و روند تغییرات آن‌ها طی دوره مورد مطالعه بررسی گردید. لازم به توضیح است که استخراج شاخص NDVI در نرم‌افزار IDRISI انجام شد. در این تحقیق، نقشه‌های استخراج شده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در تصاویر ماهواره‌ای لندست-۴ برای سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۷۲، لندست-۵ برای سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ و لندست-۸ برای سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی تغییرات پوشش گیاهی در رابطه با شاخص خشک‌سالی

به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، برای به‌دست آوردن ارتباط رگرسیونی دو شاخص SPI و NDVI، از آزمون رگرسیون بر پایه نقش‌رستری^۱ در نرم‌افزار IDRISI ver. TerrSet استفاده شد. این نرم‌افزار قادر است عمل رگرسیون را بین دو لایه رستری مستقل و وابسته انجام دهد. لازم به ذکر است که در سایر روش‌های مرسوم، ابتدا اطلاعات متناظر نقطه‌ای در دو نقشه استخراج و سپس عمل رگرسیون‌گیری انجام می‌شود که موجب افزایش خطای کاربر در محاسبات و ارتباطات موجود می‌گردد.

برای تهیه نقشه بارش استاندارد (SPI)، اطلاعات نقطه‌ای مقدار این شاخص در ایستگاه محاسبه و سپس با استفاده از درون‌یابی، نقشه بارش استاندارد تهیه شد. از بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش معکوس وزنی فاصله (IDW)^۲ به دلیل تعداد کم ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شد و مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی دقت درون‌یابی با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (MSE)^۳ و میانگین خطا (ME)^۴ در نرم‌افزار ArcGIS ver. 10.8 انجام شد. در نهایت پس از تهیه لایه رستری نقشه SPI و NDVI، رگرسیون خطی بین این دو لایه در نرم‌افزار IDRISI انجام شد. ارزیابی میزان ارتباط و سطح معناداری رابطه بین SPI و NDVI با استفاده از متغیرهای ضریب هم‌بستگی (R)، ضریب تبیین (R^2) و همچنین سطح معناداری (P-value) انجام شد.

برای بررسی تغییرات سطوح پوشش گیاهی در طول کل دوره آماری از روش کلاسه‌بندی نقشه‌های NDVI استفاده شد. به این منظور، پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، از قبیل تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک، بر روی داده‌های ماهواره‌ای سنجنده‌های OLI و TM ماهواره لندست، شاخص پوشش گیاهی NDVI محاسبه شد. سپس مقدار شاخص NDVI در هر دوره زمانی در چهار کلاس دسته‌بندی گردید:

۱. کلاس اراضی بدون پوشش گیاهی (مقدار شاخص NDVI کمتر از ۰/۰۵ تا -۱)؛
۲. کلاس پوشش کم‌تراکم (مقدار شاخص NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۵)؛
۳. کلاس پوشش با تراکم متوسط (مقدار شاخص NDVI بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۰)؛
۴. کلاس پوشش متراکم (مقدار شاخص NDVI بین ۰/۳۰ تا +۱).

نتایج

نتایج حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI)

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی ایستگاه‌های مختلف استان برای ورودی شاخص SPI استفاده شد. پس از تهیه و آماده‌سازی داده‌های بارش در طول دوره آماری مورد بررسی و همچنین جداسازی آمار بارش یک‌ساله، با وارد کردن داده‌ها به محیط نرم‌افزار اکسل، میزان شاخص SPI برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه شد. در مرحله بعد، برای مطالعه و بررسی وضعیت تغییرات خشک‌سالی و پوشش گیاهی، دوره زمانی مورد مطالعه به هفت دوره تقسیم و میانگین شاخص SPI برای هر ایستگاه ارائه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در

1. Raster-based Regression Analysis
2. Inverse Distance Weighted
3. Mean Squared Error
4. Mean Error

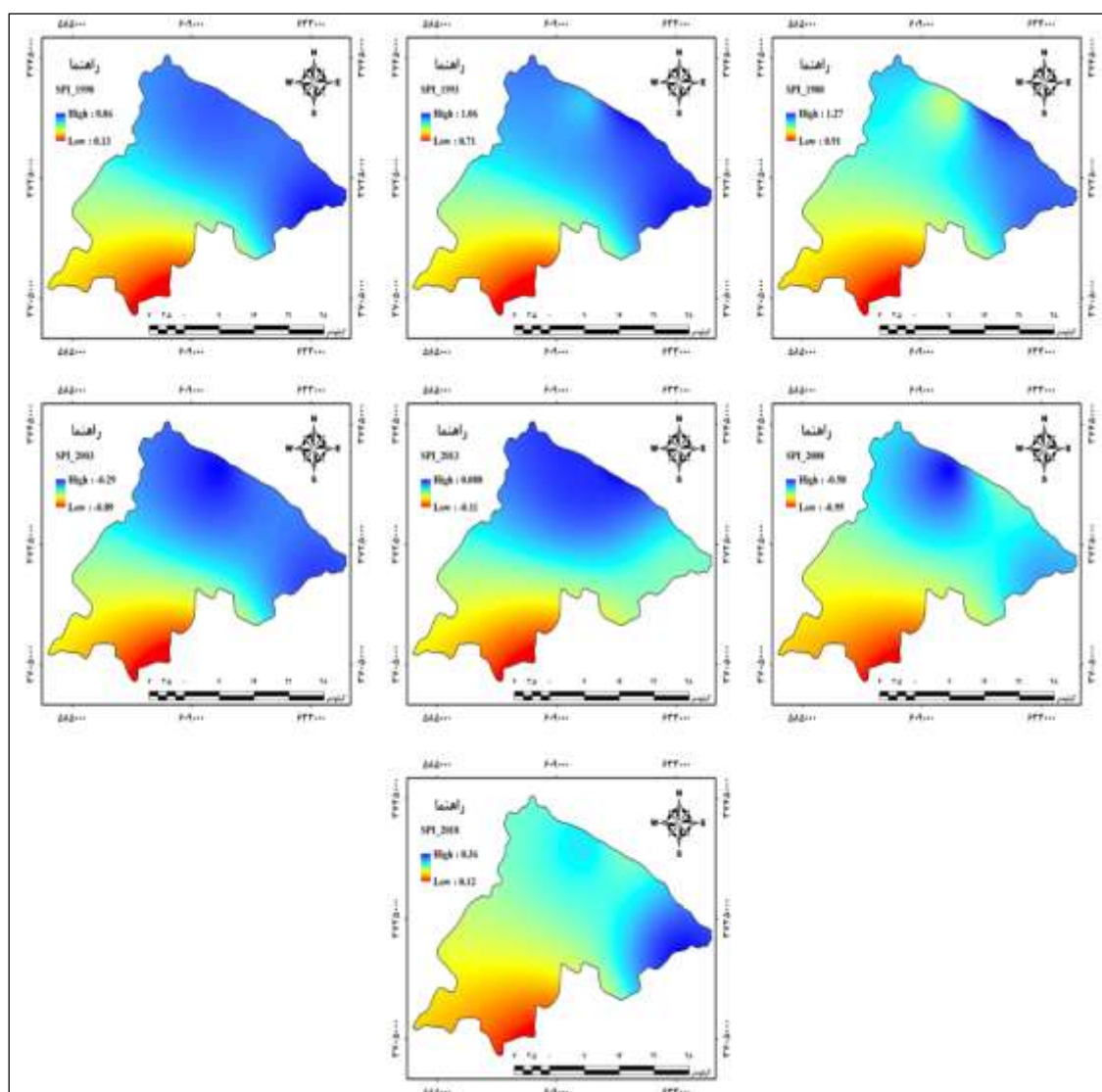
سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ مقدار شاخص SPI برای اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه (به‌جز ایستگاه دره‌شهر در سال ۱۳۹۷) نشان‌دهنده عدد منفی و بیانگر وقوع تنش خشکی در این مناطق است. از سوی دیگر، در سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۷۲، مقدار شاخص SPI در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت بوده که بیانگر بیشتر بودن بارش نسبت به بارش بلندمدت هر ایستگاه است.

ارزیابی شاخص SPI به‌منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی

برای تبدیل نقاط SPI به نقشه، از روش وزنی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد. دلیل انتخاب این روش نداشتن ارتباط معنادار بین نقاط است و از بین سال‌های مورد مطالعه، سال ۲۰۰۳ با $RMSE^1$ برابر ۰/۰۹۹ بیشترین دقت و سال ۱۹۸۸ با $RMSE$ برابر ۰/۴۳۳ کمترین دقت را داشته است (جدول ۳). سپس نقشه SPI برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ تهیه شد (شکل ۲).

جدول ۳. ایستگاه ایلام — ارزیابی دقت درونیابی با استفاده از روش IDW

سال	Mean Error	RMSE
۱۳۶۷	۰/۰۶۲	۰/۲۵۹
۱۳۷۲	۰/۰۶۱۴	۰/۲۳۵
۱۳۷۷	۰/۱۱۳	۰/۴۳۳
۱۳۸۲	۰/۰۹۶	۰/۳۵۲
۱۳۸۷	۰/۰۴۳	۰/۲۴۹
۱۳۹۲	۰/۴۳	۰/۰۹۹
۱۳۹۷	۰/۰۱۹	۰/۱۳۷



شکل ۳. نقشه شاخص بارش استاندارد (SPI) برای دوره‌های زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ در منطقه مورد مطالعه

نتایج کیفی شاخص‌های SPI و NDVI

پس از واکاوی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در سطح کل حوضه مورد مطالعه، به ترتیب مقادیر کمی شاخص‌های NDVI و SPI استخراج شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که بر اساس SPI محاسبه‌شده در طی دوره آماری، در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷، پدیده خشک‌سالی با شدت‌های متوسط و شدید در ایستگاه ایلام اتفاق افتاده است. طبق یافته‌های به‌دست‌آمده می‌توان استنباط کرد که روند خشک‌سالی، بر اساس شاخص‌های SPI و NDVI، از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ ابتدا روند صعودی و سپس از سال ۱۳۹۲ به بعد، روند کاهشی را تجربه کرده است. بر این اساس، بیشترین دوره‌های خشک‌سالی اتفاق افتاده در طول سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ بوده است که در این بازه، کاهش شدید

شاخص‌های SPI و NDVI رخ داده است. از میان ایستگاه‌های سینوپتیک بیشترین میزان خشک‌سالی اتفاق افتاده بر مبنای شاخص SPI مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک دره‌شهر، ایلام، دهلران و سرابله بوده که این مهم در سال ۱۳۸۶ رخ داده است.

جدول ۴. درصد تغییرات شاخص SPI و NDVI در سطح کل حوضه آبخیز شهرستان ایلام (اعداد مربوط به هر سال هستند)

سال	نمایه SPI سالانه	میانگین شاخص SPI سالانه	میانگین شاخص NDVI کل	پوشش گیاهی ضعیف	پوشش گیاهی معمولی	پوشش گیاهی متراکم
۱۳۶۷	ترسالی متوسط	۱/۰۶	۰/۴۶	٪۴۵/۵۸	٪۴۰/۹	٪۱۳/۵۲
۱۳۷۲	تقریباً نرمال	۰/۹۶	۰/۴۰	٪۴۶/۸۷	٪۴۳/۴۱	٪۹/۷۲
۱۳۷۷	تقریباً نرمال	۰/۶۱	۰/۳۲	٪۴۸/۹۲	٪۴۲/۵۴	٪۸/۵۴
۱۳۸۲	خشک‌سالی ملایم	-۰/۵۰	۰/۲۲	٪۴۸/۴۸	٪۴۱/۷۱	٪۹/۸۱
۱۳۸۷	خشک‌سالی متوسط	-۱/۰۷	۰/۲۱	٪۵۷/۹۵	٪۳۹	٪۳/۰۵
۱۳۹۲	تقریباً نرمال	۰/۰۲	۰/۳۰	٪۵۲/۳۸	٪۴۳/۰۵	٪۴/۵۷
۱۳۹۷	تقریباً نرمال	۰/۲۵	۰/۲۸	٪۵۳/۳۲	٪۴۱/۱۸	٪۵/۵

نتایج تغییرات سطوح پوشش گیاهی

پس از محاسبه شاخص NDVI برای دوره‌های زمانی مختلف و همچنین بررسی میزان هم‌بستگی شاخص‌های SPI و NDVI، برای بررسی میزان سطح تغییرات پوشش گیاهی، عملیات طبقه‌بندی بر روی داده‌های ماهواره‌ای انجام شد. نتایج حاصل از تغییرات سطوح پوشش گیاهی در طول کل دوره آماری در جدول ۵ نشان داده شده است. بررسی مقادیر تغییرات سطوح پوشش گیاهی نشان‌دهنده تغییرات سطح پوشش گیاهی در محدوده حوضه آبخیز شهرستان ایلام در سال‌های مختلف است. طبقه‌بندی شاخص NDVI در طول سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ نشانگر کاهش سطح پوشش گیاهی از گذشته تا حال است که این کاهش بیشتر در طبقه فاقد پوشش گیاهی اتفاق افتاده است. یکی از دلایل افزایش سطح مناطق فاقد پوشش گیاهی می‌تواند تغییر در وضعیت دوره رشد گیاهان در طول دوره مورد مطالعه باشد. از آنجا که تمامی تصاویر برای بارزسازی بیشتر پوشش و همچنین نبود ابرناکی در اواخر فصل بهار تهیه شده‌اند، وقوع خشک‌سالی باعث خشک شدن زود هنگام و تخریب کلروفیل پوشش مرتعی شده و این حالت باعث نمایان شدن سطوح بیشتر در طبقه فاقد پوشش گیاهی شده است.

جدول ۵. مقادیر تغییرات سطوح پوشش گیاهی در طول کل دوره آماری

سال	فاقد پوشش گیاهی (هکتار)	پوشش گیاهی ضعیف (هکتار)	پوشش گیاهی متوسط (هکتار)	پوشش گیاهی متراکم (هکتار)	جمع کل (هکتار)
۱۳۶۷	۱۹۲۵۳	۳۴۵۲۳	۴۸۲۶۵	۱۵۹۵۹	۱۱۸۰۰۰
۱۳۷۲	۱۹۸۵۶	۳۵۴۵۲	۵۱۲۲۳	۱۱۴۶۹	۱۱۸۰۰۰
۱۳۷۷	۲۰۸۳۰	۳۶۸۹۵	۵۰۲۰۰	۱۰۰۷۵	۱۱۸۰۰۰
۱۳۸۲	۱۹۹۶۵	۳۷۲۳۵	۴۹۲۲۱	۱۱۵۷۹	۱۱۸۰۰۰
۱۳۸۷	۲۵۴۲۵	۴۲۹۵۶	۴۶۰۱۸	۳۶۰۱	۱۱۸۰۰۰
۱۳۹۲	۲۴۸۰۲	۳۷۰۰۷	۵۰۷۹۸	۵۳۹۳	۱۱۸۰۰۰
۱۳۹۷	۲۱۰۴۷	۴۱۸۷۲	۴۸۵۸۹	۶۴۹۲	۱۱۸۰۰۰
تغییرات	+۱۷۹۴	+۷۳۴۹	+۳۲۴	-۹۴۶۷	

نتایج بررسی شاخص‌های SPI و NDVI در سال‌های مختلف

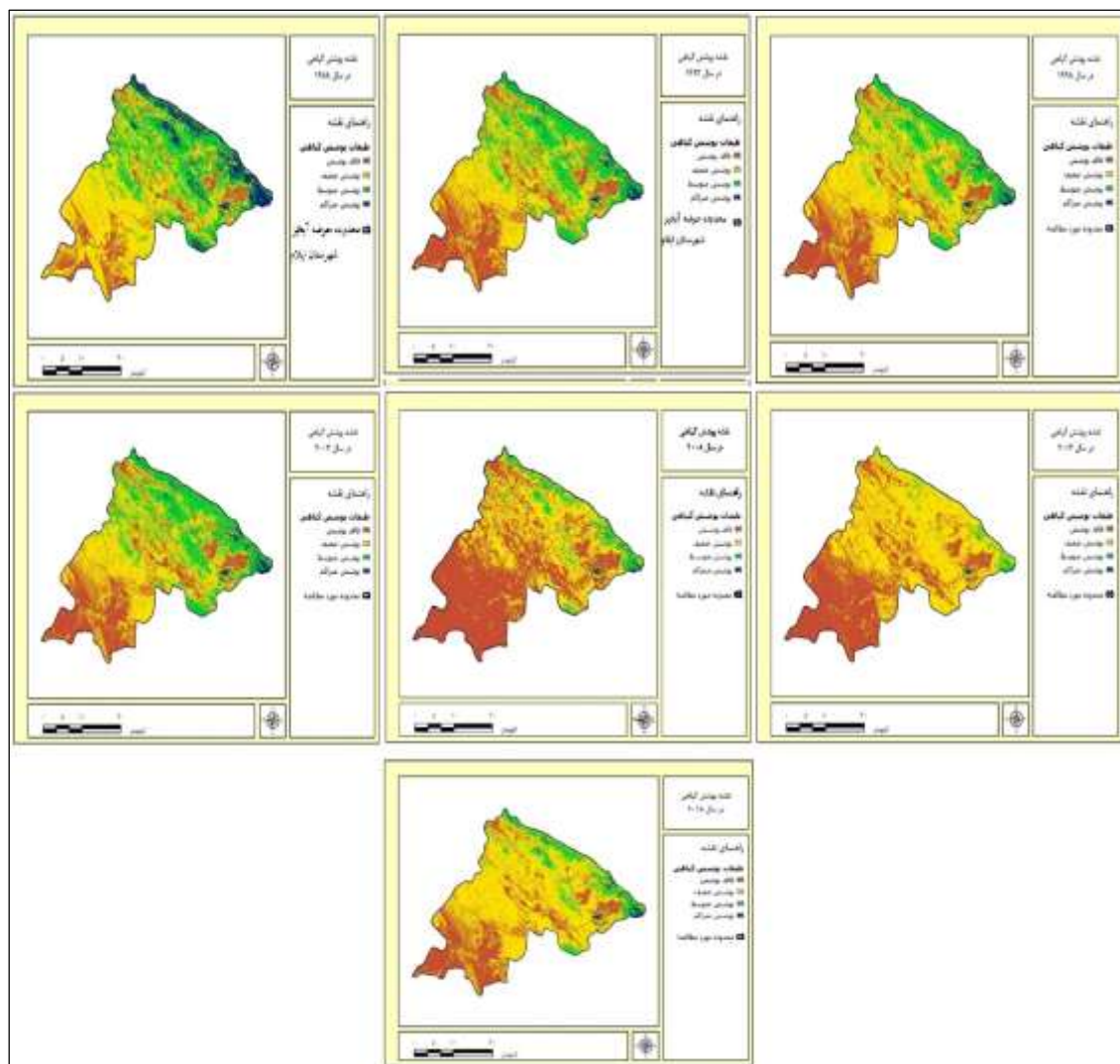
برای شناسایی و استخراج پوشش گیاهی سطح زمین، اعم از جنگل‌ها، بوته‌زارها و چمن‌زارها، مراتع، زمین‌های کشاورزی، باغات و هرگونه پوشش گیاهی با هر نوع تراکمی، می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. به این منظور، با به‌کارگیری الگوریتم NDVI می‌توان به این اطلاعات دست یافت. پس از محاسبه شاخص SPI برای دوره مورد بررسی، به‌منظور پایش تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره آماری، از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. در مرحله بعد، برای بررسی میزان ارتباط بین خشک‌سالی و پوشش گیاهی، از روش هم‌بستگی پیرسون استفاده گردید. مطابق جدول ۶، هم‌بستگی بین هر دو شاخص NDVI و SPI در هر ۵ سال مثبت بوده است. در تمام سال‌های مورد مطالعه، شاخص SPI و شاخص NDVI از ضریب هم‌بستگی تقریباً بالایی برخوردار بودند، به‌طوری که بیشترین هم‌بستگی مربوط به سال ۱۳۸۷ با ضریب هم‌بستگی ۰/۴۸ و کمترین هم‌بستگی مربوط به سال ۱۳۶۷ با ضریب هم‌بستگی ۰/۳۶ است. بنابراین به‌نظر می‌رسد نتایج فوق برای پایش وضعیت خشک‌سالی‌های استان ایلام کافی باشد.

جدول ۶. اطلاعات توصیفی رگرسیون خطی بین متغیر وابسته (NDVI) و متغیر مستقل (SPI) در سال‌های مورد بررسی

سال	ضریب هم‌بستگی (r)	درصد ضریب تبیین (R ²)	خطای استاندارد (SE)	سطح معناداری (P-value)
۱۳۶۷	۰/۳۶۶	۱۳/۳۸	۰/۰۴۸	< ۰/۰۰۱
۱۳۷۲	۰/۴۸۲	۲۳/۲	۰/۰۵۱	< ۰/۰۰۱
۱۳۷۷	۰/۴۰۵	۱۶/۳۷	۰/۰۴۸۱	< ۰/۰۰۱
۱۳۸۲	۰/۴۷۲	۲۲/۲۷	۰/۰۴۵	< ۰/۰۰۱
۱۳۸۷	۰/۴۸۹	۲۳/۸۹	۰/۰۵۸	< ۰/۰۰۱
۱۳۹۲	۰/۴۶۵	۲۱/۶۰	۰/۰۲۳۳	< ۰/۰۰۱
۱۳۹۷	۰/۴۸۶	۲۳/۵۹	۰/۰۲۹۹	< ۰/۰۰۱

نتایج تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI

نتایج تغییرات طبقات مختلف پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ در شکل ۴ آورده شده است. طبقه‌بندی شاخص NDVI در طول این سال‌ها نشانگر کاهش سطح پوشش گیاهی از گذشته تا حال بوده که این کاهش بیشتر در طبقه فاقد پوشش گیاهی اتفاق افتاده است. یکی از دلایل افزایش سطح مناطق فاقد پوشش گیاهی می‌تواند تغییر در وضعیت دوره رشد گیاهان در طول دوره مورد مطالعه باشد. به‌علاوه، با محاسبه شاخص بارش استاندارد برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک، مشخص شد که روند رخداد خشک‌سالی بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ به‌طرز چشمگیری افزایش داشته است که این مهم در سال‌های اخیر مجدداً روند کاهشی را تجربه کرده است. به‌علاوه، تغییرات پوشش گیاهی حاصل از داده‌های NDVI در منطقه مورد مطالعه با روند خشک‌سالی ارتباط معناداری را نشان داد.



شکل ۴. نقشه NDVI طبقه‌بندی‌شده طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۹۸-۲۰۱۸) در حوضه آبخیز ابلیام

بحث

تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی و خشک‌سالی اقلیمی و سپس بررسی ارتباط بین این تغییرات انجام شد. به‌منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی در رابطه با شاخص‌های خشک‌سالی با استفاده از داده‌های بارش، تعداد هفت ایستگاه باران‌سنجی در اطراف محدوده مطالعاتی مشخص گردید و از یک دوره آماری مشترک ۳۰ ساله، از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷، استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده وجود چندین دوره ترسالی و خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه برای تمام ایستگاه‌های محدوده مورد بررسی است. شروع روند تغییرات اقلیمی بر اساس شاخص SPI از دهه ۱۳۷۰ به بعد بوده که به‌صورت دوره‌های خشک در سال ۱۳۷۲ و شروع دوره‌های تر در سال ۱۳۷۴ است. بیشتر شاخص‌های مربوط به خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۶ بیانگر خشک‌سالی شدیدی بوده که تا چند سال بعد، اثرات آن در منطقه مورد مطالعه باقی مانده است. نتایج این تحقیق با تحقیقات خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) همسوست که بر اساس آن، سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۴ مرطوب‌ترین سال است و بعد از آن، سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۵ شرایطی مرطوب داشته است. بررسی دوره‌های زمانی خشک‌سالی با شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده افزایش خشک‌سالی‌ها طی دهه‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ و ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ است. همچنین فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها افزایش داشته است. نتایج این شاخص با نتایج حاصل از روش میانگین بارش هر ایستگاه مشابه است. با توجه به اینکه بخش مهم و مؤثری که متأثر از شاخص‌های خشک‌سالی است، مربوط به پوشش گیاهی است، در این مطالعه، به‌منظور بررسی تأثیر این دو پارامتر متأثر از هم، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه‌های زمانی ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۷، ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ استفاده شد. به این منظور، با به‌کارگیری الگوریتم NDVI در نرم‌افزار ENVI، این شاخص محاسبه شد و بر اساس طبقه‌بندی صورت‌گرفته در ArcMap، پوشش گیاهی به طبقه‌های پوشش ضعیف، متوسط، و متراکم و زیاد تقسیم‌بندی شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. در ادامه، هم‌بستگی بین مقدار عددی شاخص NDVI و شاخص SPI محاسبه شد؛ با توجه به جداول هم‌بستگی در سطح $(\alpha \leq 0/01)$ ، در تمامی سال‌های خشک، شاخص‌ها هم‌بستگی بالایی دارند و بین خشک‌سالی و تأثیر این پدیده بر پوشش گیاهی، رابطه معناداری وجود دارد و خشک‌سالی باعث تغییراتی در میزان پوشش گیاهی شده است. هدف دوم تحقیق حاضر، بررسی رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی با نمایه‌های خشک‌سالی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بین خشک‌سالی و شاخص پوشش گیاهی ارتباط معناداری وجود دارد؛ زیرا مقدار آمار P-value کمتر از ۰/۰۵ بوده که دلیل بر وجود ارتباط و تأثیرپذیری نتایج ارتباطات پوشش گیاهی و خشک‌سالی است. به عبارتی، وقوع خشک‌سالی دارای تأثیرات معناداری بر پوشش گیاهی است، به این صورت که با افزایش خشک‌سالی (کاهش رطوبت در دسترس گیاهان)، رویش و تولیدات گیاهی کاهش خواهد یافت. در این زمینه تحقیقات مشابهی وجود دارد. برای مثال فاتحی مرج و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی خشک‌سالی مرتعی غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص SPI در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت بیشترین هم‌بستگی را با تغییرات پوشش گیاهی دارد و برای بررسی این پدیده بر این شاخص تأکید دارند. باعقیده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در تحلیل خشک‌سالی‌های استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص SPI سه‌ماهه بیشترین هم‌بستگی را با تغییرات پوشش گیاهی دارد؛ بنابراین، این شاخص را مبنای محاسبات خود قرار دادند. فاتحی مرج و باقری‌نیا (۱۳۹۲) برای بررسی خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی با استفاده از GIS در استان خوزستان از شاخص SPI و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده کردند. شمسی‌پور و همکاران

(۱۳۸۹) برای بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشک‌سالی منطقه کاشان از شاخص ZSI و NDVI استفاده کردند. پرویز و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی حوضه آبریز سفیدرود از شاخص NDVI حاصل از تصاویر ماهواره MODIS استفاده کردند. جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۸۹) برای تحلیل فضایی خشک‌سالی و ترسالی، به‌منظور شناخت حساسیت نوسان رطوبتی دشت سراب با استفاده از شاخص MFI و مدل GIS، از شاخص خشک‌سالی (SPI) و شاخص NDVI استفاده کردند. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران از شاخص‌های رایج خشک‌سالی هواشناسی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص SPI و ZSI نتایج مشابهی دارند و برای بررسی خشک‌سالی مناسب‌ترند. پیری و همکاران (۱۳۹۲) برای بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی در مدیریت خطر خشک‌سالی‌های استان سیستان و بلوچستان از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی استفاده کردند که در نهایت، SPI مناسب‌ترین شاخص برای نشان دادن خشک‌سالی معرفی شد. انصافی‌مقدم (۱۳۸۶) برای ارزیابی چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، شاخص SPI را مناسب‌تر از بقیه شاخص‌ها معرفی کردند. دستورانی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده MODIS در خراسان رضوی، شاخص SPI را معرفی می‌کنند و خشک‌سالی بیان‌شده با این شاخص، با NDVI هم‌بستگی مناسبی دارد. فاضل‌دهکردی و همکاران (۱۳۹۴) برای پایش خشک‌سالی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در مناطق خشک، نتایج شاخص SPI کوتاه‌مدت را همسو با تغییرات پوشش گیاهی و خشک‌سالی دانسته‌اند. میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) برای مطالعه اثر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در استان کردستان، از شاخص خشک‌سالی (SPI) استفاده کردند. یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های ایران، از نمایه شاخص استاندارد شده بارش (SPI) استفاده کردند.

نتایج این تحقیق نشان داد که در همه سال‌های مورد مطالعه، هم‌بستگی منفی و معناداری بین پوشش گیاهی (NDVI) و خشک‌سالی (SPI) وجود دارد. در این راستا، بسیاری از تحقیقات عوامل اقلیمی را مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد و پویایی جوامع گیاهی دانسته‌اند (پیاو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ هی^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). گیاهان برای تمامی واکنش‌های شیمیایی و همچنین حذف عناصر غذایی از خاک، به آب نیازمندند (خرسند^۳ و همکاران، ۲۰۲۱) و به همین دلیل کاهش دسترسی به آب می‌تواند تأثیرات منفی بر رشد و پویایی جوامع گیاهی داشته باشد. هرچند در این میان، برخی گیاهان دارای سازگاری‌هایی با این قبیل رخداد‌های اقلیمی هستند، عمده گیاهان در شرایط کمبود رطوبت دچار تنش می‌شوند و نرخ رشد آن‌ها کاهش می‌یابد (حافظ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). در بسیاری از تحقیقات، عوامل محیطی، از جمله عوامل خاکی، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شوند (سودینگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). اما با توجه به اینکه عوامل اقلیمی به‌طور عمده در مقیاس جغرافیایی وسیع بر پوشش گیاهی تأثیر

1. Piao
2. He
3. Khorsand
4. Hafez
5. Suding
6. Zhang

می‌گذارند، این تأثیر فقط با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و همچنین مدل‌سازی خشک‌سالی با استفاده از GIS قابل بررسی و نمایش است که نتایج این تحقیق نیز به‌روشنی دلایل محکمی برای اثبات این ادعا فراهم کرد.

نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی هر منطقه‌ای، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، وابستگی زیادی به شرایط محیطی حاکم بر آن منطقه دارد و دارای واکنش سریع به تغییرات شرایط آب‌وهوایی است، به‌طوری که مقدار اندکی از نزولات جوی باعث رشد سریع و همچنین شادابی مضاعف آن‌ها می‌شود. واکنش‌های پوشش گیاهی در چنین مناطقی به‌صورت تغییر در فراوانی و شادابی گیاهان قابل مشاهده است که نتیجه آن در میزان بازتابش طیفی آن‌ها مشخص می‌شود. بنابراین برای اعمال مدیریت صحیح، علمی و منطقی، پایش این تغییرات ضروری است. در این زمینه، روش‌های سنتی وقت‌گیر، پرهزینه و کم‌دقت‌اند؛ همچنین در بسیاری از موارد، اطلاعاتی دربارهٔ گذشتهٔ سطح زمین وجود ندارد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای قابل دسترسی است. آنچه اهمیت استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و شاخص‌های محاسبه‌شده از آن را چندبرابر می‌کند، پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین نبود نظم و تداوم در اطلاعات مستخرج از آن‌هاست، درحالی که این مشکل در داده‌های ماهواره‌ای کمتر به چشم می‌خورد. البته پایش مستمر و کارآمد خشک‌سالی مستلزم دسترسی منظم و دائمی به اطلاعات منطقه مورد مطالعه است و در حال حاضر این ویژگی‌ها در اطلاعات ماهواره‌ای وجود دارد. این امر سبب شده است در مطالعه حاضر، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی، کارایی این داده‌ها در رابطه با شاخص‌های خشک‌سالی مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بر اساس شاخص محاسبه‌شدهٔ SPI، پدیدهٔ خشک‌سالی در برخی سال‌ها با شدت بیشتری نسبت به سایر دوره‌های مورد بررسی اتفاق افتاده است. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود برای پایش تغییرات خشک‌سالی در مناطق مختلف، از شاخص‌های خشک‌سالی استفاده گردد. از طرفی دیگر، نتایج شاخص پوشش گیاهی (NDVI) نشان‌دهندهٔ کاهش سطح پوشش گیاهی، به‌ویژه در پوشش متراکم، بوده است. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که خشک‌سالی ارتباط معناداری با تغییرات پوشش گیاهی در طول مورد مطالعه داشته که مدیران و تصمیم‌گیران عرصهٔ منابع طبیعی، به‌منظور مدیریت پوشش گیاهی، باید به این موضوع مهم توجه کنند.

منابع

- امیدی‌پور، رضا؛ ابراهیمی، عطاءالله؛ طهماسبی، پژمان؛ فرامرزی، مرزبان (۱۳۹۹). تأثیر چرای دام بر رابطه بین پوشش و زیتوده گیاهی بالای سطح زمین با شاخص‌های گیاهی در منطقه سبزکوه چهارمحال و بختیاری. مرتع و آبخیزداری، ۱۳ (۱)، ۳۳-۴۷.
- انصافی‌مقدم، طاهره (۱۳۸۶). ارزیابی چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. تحقیقات مرتع و بیابان/ ایران، ۱۴ (۲)، ۲۷۱-۲۸۸.
- باغقیده، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز (۱۳۹۰). بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشک‌سالی‌های استان اصفهان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱ (۴)، ۱-۱۶.

پرویز، لاله؛ خیاط‌خلقی، مجید؛ ولی‌زاده، خلیل؛ عراقی‌نژاد، شهاب؛ ایران‌نژاد، پرویز (۱۳۹۰). بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سفیدرود). *جغرافیا و توسعه*، ۹ (پیاپی ۲۲)، ۱۴۷-۱۶۴.

پیری، حلیمه؛ راهداری، وحید؛ ملکی، سعیده (۱۳۹۲). بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی در مدیریت خطر خشک‌سالی‌های استان سیستان و بلوچستان. *مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۳ (۱۱)، ۹۶-۱۱۴. جهانبخش اصل، سعید؛ ساری‌صراف، بهروز؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ رستم‌زاده، هاشم (۱۳۸۹). تحلیل فضایی خشک‌سالی و ترسالی به‌منظور شناخت حساسیت نوسان رطوبتی دشت سراب با استفاده از شاخص MFI و مدل‌های GIS. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۵ (۳۳)، ۱۰۵-۱۳۰.

خلیلی، علی؛ بذرافشان، جواد (۱۳۸۲). ارزیابی چند نمایه خشک‌سالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. *مجله نیوار*، (۴۸-۴۹)، ۷۹-۹۳.

دستورانی، مصطفی؛ ولی، عباسعلی؛ سپهر، عادل؛ کمکی چوقی، بایرام (۱۳۹۴). بررسی اثر خشک‌سالی روی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده MODIS در خراسان رضوی. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۴ (۷)، ۸-۱. شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ علوی‌پناه، سید کاظم؛ محمدی، حسین (۱۳۸۹). بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی NOAA-AVHRR در تحلیل خشک‌سالی منطقه کاشان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۷ (۳)، ۴۴۵-۴۶۵. علوی‌پناه، سید کاظم؛ رفیعی‌امام، عمار؛ حسینی، سید زین‌العابدین؛ جعفریگلو، منصور (۱۳۸۵). بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش از دور. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۸ (۵۸)، ۸۱-۹۷.

فاتحی مرج، احمد؛ باقری‌نیا، مژگان (۱۳۹۰). بررسی خشک‌سالی مرتعی غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۵ (۱۶)، ۱۳-۲۲. فاضل دهکردی، لیلا؛ سهرابی، طیبه‌السادات؛ محمودی کهن، فرهاد (۱۳۹۴). پایش خشک‌سالی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در مناطق خشک (مطالعه موردی: مراتع استان یزد). *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۴ (۹)، ۸۱-۹۴.

کریمی، ولی‌الله، حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ آبکار، علی‌جان (۱۳۹۰). بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران. *مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۲ (۵)، ۱۵-۲۵.

میرموسوی، سید حسین؛ کریمی، حمیده (۱۳۹۲). مطالعه اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مورد: استان کردستان). *جغرافیا و توسعه*، ۱۱ (۳۱)، ۵۷-۷۶.

یزدانی، محمدرضا؛ چاوشی، ستار؛ خداقلی، مرتضی؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۹۰). بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان اصفهان. *آب و آبخیز*، ۴ (۱)، ۴۱-۵۱.

Abedi, M., Omidipour, R., Hosseini, S. V., Bahalkeh, K. & Gross, N. (2022). Fire disturbance effects on plant taxonomic and functional β -diversity mediated by topographic exposure. *Ecology and Evolution*, 12(1), e8552.

Abobatta, W. F. (2019). Drought adaptive mechanisms of plants—a review. *Advances in Agriculture and Environmental Science*, 2(1), 62-65.

- Alavipanah, S. K., Rafiei Emam, A., Hosseini, S. Z. & Jafar Bigloo, M. (2006). Study of spectral variability of different vegetation and water phenomena using remote sensing. *Geographical Research*, 38(58), 81-97 (In Persian).
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J. H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A. & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684.
- Baaghdeh, M., Alijani, B. & Ziaian, P. (2011). Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province. *Journal of Arid Regions Geographics Studies*, 1(4), 1-16 (In Persian).
- Bai, F., Sang, W. & Axmacher, J. C. (2011). Forest vegetation responses to climate and environmental change: a Case study from Changbai Mountain, NE China. *Forest Ecology and Management*, 262(11), 2052-2060.
- Byun, H. R. & Wilhite, D. A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of climate*, 12(9), 2747-2756.
- Chandra, P., Wunnavu, A., Verma, P., Chandra, A. & Sharma, R. K. (2021). Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: A review. *Pedosphere*, 31(3), 496-509.
- Dastorani, M., Vali, A., Sepehr, A. & Komaki, C. B. (2015). The effect of drought on vegetation using MODIS satellite Khorasan Razavi. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(7), 1-8 (In Persian).
- Ensafimoghadam, T. (2007). An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 14(2), 271-288 (In Persian).
- Esetlili, M. T., Balcik, F. B., Sanli, F. B., Kankan, K., Ustuner, M., Goksel, C., ... & Kurucu, Y. (2018). Comparison of object and pixel-based classifications for mapping crops using Rapideye imagery: A Case study of Menemen Plain, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2), 231-243.
- Fatehi Marj, A. & Bagherinia, M. (2011). Rangeland drought monitoring using modis satellite images in west of IRAN for 2007-2009. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 5(16), 13-22 (In Persian).
- Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T. A., Ghanavizbaf, M. H. & Ghazavi, R. (2016). Drought monitoring by using of MODIS satellite images in dry lands (Case study: Isfahan Rangelands). *Geography and Environmental Planning*, 27(3), 177-190 (In Persian).
- Guttman, N. B. (1998). Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 113-121.
- Hafez, E. M., Omara, A. E. D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 587-602.
- He, L., Li, Z. L., Wang, X., Xie, Y. & Ye, J. S. (2021). Lagged precipitation effect on plant productivity is influenced collectively by climate and edaphic factors in drylands. *Science of the Total Environment*, 755, 142506.

- Hulme, P. E. (2005). Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat?. *Journal of Applied ecology*, 42(5), 784-794.
- Jahanbakhsh Asl, S., Sari Saraf, B., Khorshiddoost, A. & Rostamzadeh, H. (2010). Patio-temporal analysis of dry and wet years with the purpose of the recognition of moisture fluctuation susceptibility of Sarab Plain using Mfi Index and Gis Models. *Journal of Geography and Planning*, 15(33), 105-130 (In Persian).
- 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*, 87(1), 85-98.
- Karimi, V., Habibnejadrooshan, M. & Abkar, A. (2011). Investigation of meteorological drought Indexes in Mazandaran synoptic Stations. *Irrigation and Water Engineering*, 2(1), 15-25 (In Persian).
- Khalili, A. & Bazafshan, J. (2003). Evaluation of the efficiency of several meteorological drought indices in different climatic samples of Iran. *Nivar*, (48-49), 79-93 (In Persian).
- Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni-Heris, A., Rahimi, A., Besharat, S. & Sadraddini, A. A. (2021). Linking plant and soil indices for water stress management in black gram. *Scientific Reports*, 11(1), 1-19.
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q. & Wang, J. (2021). Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14.
- Mirmosavei, S. & Kareimeh, H. (2013). Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images (case: Kurdistan Province). *Geography and Development Iranian Journal*, 11(31), 57-76 (In Persian).
- Omidipour, R., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P. & Faramarzi, M. (2020). Grazing effects on the relationship between vegetation canopy cover and above-ground phytomass with vegetation indices in Sabzekouh region, Chaharmahal and Bakhtiari. *Journal of Range and Watershed Managment*, 73(1), 33-47 (In Persian).
- Parviz, L., Kholghi, M., Araghinejad, S., Vallizadeh, K. & Irannejad, P. (2011). View The Efficiency Indices Resulting from remote sensing technology in evaluation of meteorological drought (Case study: Sefidroud Catchment Area). *Geography and Development*, 9(22), 147-164 (In Persian).
- Perkins, D., Uhl, E., Biber, P., Du Toit, B., Carraro, V., Rötzer, T. & Pretzsch, H. (2018). Impact of climate trends and drought events on the growth of oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) within and beyond their natural range. *Forests*, 9(3), 108.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J. & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I.A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X.U., Shen, M., & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology*, 25(6), 1922-1940.
- Piri, H., Rahdari, V. & maleki, S. (2013). Study and compare performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan Province. *Irrigation and Water Engineering*, 3(3), 96-114 (In Persian).
- Pourbabaei, H., Rahimi, V. & Adel, M. N. (2014). Effects of Drought on Plant Species Diversity and Productivity in the Oak Forests of Western Iran. *Ecologia Balkanica*, 6(1).

- Ray, R. L., Fares, A. & Risch, E. (2018). Effects of drought on crop production and cropping areas in Texas. *Agricultural & Environmental Letters*, 3(1), 170037.
- Shamsipur, A., Alavi panah, K. & Mohammadi, H. (2010). Efficiency of vegetation and thermal indices of NOAA-AVHRR satellite in ecological drought analysis of Kashan region. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 17(3), 445-465 (In Persian).
- Suding, K. N., Stanley Harpole, W., Fukami, T., Kulmatiski, A., MacDougall, A. S., Stein, C. & van der Putten, W. H. (2013). Consequences of plant–soil feedbacks in invasion. *Journal of Ecology*, 101(2), 298-308.
- Vilanova, R. S., Delgado, R. C., de Andrade, C. F., dos Santos, G. L., Magistrali, I. C., de Oliveira, C. M. M., Teodoro, P. E., Silva, G. F. C., da Silva Junior & de Ávila Rodrigues, R. (2021). Vegetation degradation in ENSO events: Drought assessment, soil use and vegetation evapotranspiration in the Western Brazilian Amazon. *Remote Sensing Applications. Society and Environment*, 23, 100531.
- Yazdani, M. R., Chavoshi, S., Khodagholi, M. & Saghafian, B. (2005). Investigation of Climatological Droughts in Isfahan Province. *Water and Watershed: Journal of Science and Research in Watershed Management*, 4(1), 41-51 (In Persian).
- Zhang, Z., Bhowmik, P. C. & Suseela, V. (2021). Effect of soil carbon amendments in reversing the legacy effect of plant invasion. *Journal of Applied Ecology*, 58(1), 181-191.