

Monitoring Agricultural Drought in Regions with Insufficient Meteorological Data Utilizing the SAVI Index (A Case Study of the Sorkhab Dam Downstream Land in Ardabil, Iran)

Majid Raoof^{1*}, Amin Akbari Majd²

¹Professor of The Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: majidraoof2000@gmail.com

²PhD Student, Department of Water Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: amin.a.m.ce@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-2-27
Accepted: 2025-4-28

Keywords:
Landcover
Agricultural Drought
Limited observational data
SAVI
SPI

ABSTRACT

Drought is among the most expensive natural occurrences in Iran. Agricultural drought is a climatic phenomenon that results in severe repercussions for food and economic resources. The key characteristic of this drought is the decline in soil moisture resulting from decreased rainfall or elevated temperatures, leading to lower farm output. The absence of climatic data hinders drought monitoring. The Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) was employed in this study to track agricultural drought in the agricultural areas below the Sorkhab Dam, Ardabil Province. Statistics revealed a correlation of 0.61 between the SAVI index derived from agricultural lands and the SPI12 index. As a result of this correlation, it is anticipated that with rising rainfall levels, areas of land that receive adequate water will expand, specifically those with a SAVI index ranging from 0.5 to 0.7, whereas areas of land that receive inadequate water will contract, corresponding to a SAVI index of 0.2 to 0.5. Data from 1986 to 2024 (39 years), was compared to data from 2010 to 2024 (15 years). The long-term trend revealed that the area of low-water lands with low SAVI indexes remained relatively stable, at a rate of -0.08 hectares per time. Conversely, the short-term trend indicated a significant increase in these areas, with a rate of +13.1 hectares per unit of time. In both periods, the observed rainfall patterns exhibited an upward trend. The selected statistical periods revealed that the positive effects of rising observed rainfall, resulting from adjusted temperature increases and alterations in soil moisture, were largely offset by corresponding changes in vegetation cover, as reflected in the SAVI index values. The application of remote sensing data in agricultural drought research and tracking can be highly effective and easily implemented in various locations, particularly in regions with inadequate statistics or limited observational data.

Cite this article: Raoof, M., Akbari Majd, A. (2025). Monitoring Agricultural Drought in Regions with Insufficient Meteorological Data Utilizing the SAVI Index (A Case Study of the Sorkhab Dam Downstream Land in Ardabil, Iran). Journal of the Climate Change research, 6 (22), 63-80.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

DOI: [10.30488/CCR.2025.509195.1271](https://doi.org/10.30488/CCR.2025.509195.1271)



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال ششم / شماره مسلسل بیست و دوم / تابستان ۱۴۰۴ / صفحات: ۸۰-۶۳

پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص SAVI در مناطقی با داده‌های محدود هواشناسی (مطالعه موردی: اراضی پایاب سد سرخاب اردبیل)

مجید رئوف^{۱*}، امین اکبری مجد^۲

^۱ استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

رایانامه: majidraoof2000@gmail.com

^۲ دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: amin.a.m.ce@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۹ واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، خشکسالی کشاورزی، داده‌های محدود مشاهداتی SAVI، SPI	در ایران خشکسالی یکی از پرهزینه‌ترین رویدادهای طبیعی است. خشکسالی کشاورزی یک رویداد اقلیمی است که پیامدهای مخربی برای منابع غذایی و اقتصادی دارد. بارزترین ویژگی این خشکسالی، کاهش رطوبت خاک به دلیل کاهش بارندگی یا افزایش دما است که باعث کاهش عملکرد مزرعه می‌شود. اما عدم وجود داده‌های اقلیمی پایش خشکسالی‌ها دچار مشکل می‌کند. در این مطالعه جهت پایش خشکسالی کشاورزی از شاخص گیاهی تعدیل‌شده تاثیر خاک (SAVI) در اراضی کشاورزی پایاب سد سرخاب، واقع در استان اردبیل استفاده شد. نتایج نشان‌داد که مابین شاخص SAVI حاصل از اراضی کشاورزی و شاخص SPI12 همبستگی معادل ۰/۶۱ وجود دارد که به سبب این همبستگی، انتظار می‌رود با افزایش بارش، میزان مساحت اراضی پرآب (با شاخص SAVI از ۰/۵ تا ۰/۷) افزایش و در مقابل میزان اراضی کم‌آب (با شاخص SAVI از ۰/۲ تا ۰/۵) کاهش پیدا کند. با تقسیم داده‌های در دسترس به دو دوره بلندمدت (۱۹۸۶-۲۰۲۴) شامل ۳۹ سال و کوتاه‌مدت (۲۰۱۰-۲۰۲۴) شامل ۱۵ سال، مشخص گردید که تغییرات مساحت اراضی کم‌آب با شاخص SAVI پایین، در دوره بلند مدت با شیب ۰/۰۸- هکتار تقریباً ثابت و در دوره کوتاه مدت با شیب ۱۳/۱+ افزایشی بودند و این در حالی بود که روند بارش مشاهداتی در هر دو دوره افزایشی بود. این مقایسه نشان داد در دوره‌های آماری منتخب، تاثیر مثبت روند افزایشی بارش‌های مشاهداتی، به دلیل افزایش دما تعدیل‌شده و میزان تغییرات رطوبت خاک و در نتیجه پوشش گیاهی براساس تغییرات شاخص SAVI، تقریباً ثابت یا کاهشی بوده است. در نتیجه استفاده از داده‌های سنجنش از دور، در بررسی و پایش خشکسالی کشاورزی، می‌تواند در بسیاری از مناطق، به‌ویژه در مناطق مشخص و فاقد آمار و یا مناطقی با داده‌های محدود مشاهداتی، بسیار موثر و کاربردی باشد.

استناد: رئوف، مجید؛ اکبری مجد، امین. (۱۴۰۴). پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص SAVI در مناطقی با داده‌های محدود هواشناسی (مطالعه موردی: اراضی پایاب سد سرخاب اردبیل). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۶ (۲۲)، ۸۰-۶۳.

DOI: 10.30488/CCR.2025.509195.1271

ناشر: دانشگاه گلستان
© نویسندگان.



مقدمه

در پی تشدید تغییرات اقلیمی جهانی و افزایش فعالیت‌های انسانی، خشکسالی در سال‌های اخیر به یکی از شدیدترین بلایای طبیعی در جهان تبدیل شده است. در جاهایی که خشکسالی وجود دارد مشکلاتی مانند کم‌آبی، امنیت غذایی، مهاجرت، مرگ و میر، تخریب زمین‌های کشاورزی و کاهش بهره‌وری اجتناب‌ناپذیر است (کاشکی و همکاران، ۲۰۲۴؛ کیافر و همکاران، ۲۰۲۳؛ Aşik, 2020). در ایران خشکسالی یکی از وقایع سال‌های اخیر بوده (اکبری ازیرانی، ۲۰۲۲؛ درویشی و همکاران، ۲۰۲۰؛ کاشکی و همکاران، ۲۰۲۴) و از پرهزینه‌ترین رویدادهای طبیعی است که پیامدهای مخربی برای منابع غذایی و اقتصادی بر خانوارها دارد (لیاقی و همکاران، ۲۰۲۴؛ متین‌فر و همکاران، ۲۰۲۴). به همین دلیل پایش خشکسالی برای بیان بهتر تاثیر مراحل خشکسالی در برنامه‌ریزی کاهش خطرات و آسیب‌ها مهم است (Asgarzadeh et al., 2021). اگرچه خشکسالی انواعی مختلفی مانند خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، اجتماعی-اقتصادی و کشاورزی دارد، اما انواع خشکسالی به یکدیگر مرتبط هستند. خشکسالی کشاورزی یک رویداد اقلیمی است که خسارات شدیدی را در مناطق کشاورزی به بار می‌آورد و اثر طولانی مدت دارد. بارزترین ویژگی خشکسالی کشاورزی، کاهش رطوبت خاک به دلیل بارندگی کم است که بر رشد گیاه تاثیر منفی می‌گذارد و باعث کاهش عملکرد می‌شود (شمس‌نیا، ۲۰۲۳؛ Perez et al., 2016).

در گذشته، رویکرد مرسوم در پایش خشکسالی مبتنی بر داده‌های اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است. پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک ایران، نبود آمار بلندمدت در بسیاری از ایستگاه‌ها، نبود ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری طولانی و همچنین روش‌های نقطه‌ای مبتنی بر آمارهای اقلیمی باعث ایجاد محدودیت در مطالعه خشکسالی شده است (آوند و همکاران، ۲۰۲۴؛ keikhosravi et al., 2021). اما در سال‌های اخیر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یک نمای مکانی و

زمانی جامع از سطح زمین ارائه می‌کنند که به محققان در زمینه‌های مختلف مطالعاتی کمک قابل‌توجهی کرده‌اند. تاکنون مدل‌های پایش خشکسالی زیادی با استفاده از این تصاویر ارائه شده است، این شاخص‌ها بیشتر شامل رطوبت خاک و انعکاس در مناطق مرئی و مادون‌قرمز است که عموماً براساس میزان پوشش گیاهی و دمای سطح زمین است (Wu et al., 2024). بررسی اهمیت رفتار طیفی خاک و درصد پوشش گیاهی در برآورد خشکسالی ضروری است (keikhosravi et al., 2021).

برای پایش خشکسالی کشاورزی از شاخص‌های مختلفی مانند شاخص گیاهی تفاوت نرمال‌شده^۱ (Javed et al., 2020)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده تاثیر خاک^۲ (Lee et al., 2021) و شاخص بارش استاندارد شده^۳ (بزرگزاده و همکاران، ۲۰۲۴؛ محمدی و همکاران، ۲۰۲۴؛ Quille-Mamani et al., 2024) برای ارزیابی مدت و شدت خشکسالی استفاده شده است (McKee et al., 1993). همچنین در برخی مطالعات شاخص‌های مرتبط با رطوبت خاک به عنوان ابزاری غالب برای پایش خشکسالی‌های کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است و در همین راستا تعداد زیادی از محققان به تحقیق در مورد خشکسالی براساس دینامیک رطوبت خاک پرداخته‌اند (Duan et al., 2020; Javed et al., 2014). مطالعات متعددی در چین از NDVI برای تجزیه و تحلیل خشکسالی کشاورزی استفاده کرده‌اند و تطبیق‌پذیری آن را در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی آشکار کرده‌اند (Zhou et al., 2010; Li et al., 2024).

در مطالعاتی که توسط (Meseret Alemu, 2019) در حوضه رودخانه نیل‌آبی اتیوپی انجام شد، یک رابطه بین توزیع‌های مکانی و زمانی مقادیر NDVI و LST بین سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۶ به‌دست آمد. آن‌ها گزارش کردند که در طول سال‌های مورد بحث، مشکل کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین وجود

^۱ NDVI^۲ SAVI^۳ SPI

داشت. (Mariod et al., 2015) در تحقیقی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در سودان برای تمایز بین مناطق مختلف مرتع، از شاخص‌های NDVI و SAVI استفاده کردند. آنها سه منطقه مرتعی را با توجه به نوع خاک و تنوع پوشش گیاهی انتخاب کردند و بیان کردند که می‌توان از شاخص‌های NDVI و SAVI برای تمایز بین مناطق مرتعی با ویژگی‌های متفاوت و وابسته به نوع خاک استفاده کرد. (Rhyma et al., 2020) در مطالعه خود، به بررسی ادغام شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) و شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک (SAVI) به عنوان ابزاری برای تمایز پوشش گیاهی برای منطقه‌ای در مالزی پرداختند. آن‌ها تصاویر سنجش از دوری را با وضوح بالا از طریق ماهواره (SPOT-6 و SPOT-7) و با دقت ۱٫۵ متر برای منطقه حفاظت شده ماتانگ (MMFR) به دست آوردند. آن‌ها در مطالعه خود و در مراحل اول برای طبقه‌بندی پوشش زمین، یک صحت‌سنجی کامل انجام دادند. از آنجایی که SAVI به یک فاکتور مناسب برای تشخیص مناطق پوشش گیاهی نیاز دارد، چهار فاکتور مختلف با مقادیر ۰٫۱، ۰٫۲۵، ۰٫۵ و ۰٫۷۵ مورد آزمایش قرار گرفت (Binte Mostafiz et al., 2021; Gündoğdu et al., 2018; Rousta et al., 2024; Rousta et al., 2022a; Rousta et al., 2022b; Rousta et al., 2020) در تحقیقات خود نشان دادند که روش‌های سنجش از دور ماهواره‌ای در پلت‌فرم‌های مربوطه روشی مؤثر و مناسب برای برنامه‌ریزان کاربری اراضی کشاورزی و سیاست‌گذاران زمین برای پیش اراضی کشاورزی و تغییرات پوشش گیاهی دارند. (Mullapudi et al., 2023) در مطالعه‌ای یک مرور کلی از تحقیقات اخیر در مورد تأثیر خشکسالی کشاورزی و ارزیابی آن با استفاده از مجموعه داده‌های سنجش از دور و روش‌های مختلف شاخص طیفی ارائه دادند. در تحقیقات انجام شده منابع داده‌های ماهواره‌ای موجود با حسگرها و اطلاعات طیفی، مکانی و زمانی ارائه شده است. همچنین آن‌ها یک طرح کلی از ارزیابی خشکسالی کشاورزی، شاخص‌های اساسی و روش‌های شدت خشکسالی را با اهمیت و

محدودیت‌های آن‌ها ارائه کرده‌اند. در همین مقاله اشاره شده است که شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی، شاخص رطوبت خاک^۱، صدک رطوبت خاک^۲، رطوبت نرمال شده خاک^۳، شاخص بارش استاندارد شده^۴، شاخص سلامت گیاهی^۵ و شاخص کمبود رطوبت خاک^۶ پرمصرف‌ترین شاخص‌های مورد استفاده محققان برای تشخیص خشکسالی و ارزیابی آن است. آن‌ها در این تحقیق نتیجه‌گیری کردند که برای محاسبه سطوح شدت خشکسالی و شناسایی مناطق مستعد خشکسالی، یک دوره تاریخی طولانی مدت از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی مورد نیاز است. این بررسی می‌تواند خطرات پنهان خشکسالی کشاورزی را شناسایی کند و ریسک پایه‌های نظری برای تصمیم‌گیران و مدیران را کاهش دهد.

همان‌گونه که اشاره شد پایش خشکسالی در روش‌های مرسوم، مبتنی بر داده‌های هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی است و نبود آمار بلندمدت در بسیاری از ایستگاه‌ها به همراه عدم توزیع و یکنواختی در پراکندگی ایستگاه‌ها، پایش خشکسالی به صورت نقطه‌ای و یا محلی را، در مطالعه یک محدوده مشخص و خاص، دچار مشکل کرده و بسیار محدود می‌سازد. از این‌رو برای غلبه بر این محدودیت‌ها استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. باتوجه به این موضوع هدف اصلی مطالعه حاضر باتوجه به تغییرات اقلیمی بوجود آمده در دهه‌های اخیر، ارائه روشی برای پایش خشکسالی کشاورزی با کمک داده‌های سنجش از دور و با استفاده از شاخص گیاهی تعدیل شده تأثیر خاک (SAVI) در اراضی کشاورزی پایاب سد سرخاب، واقع در استان اردبیل و شهرستان نیر بود، تا بتوان کارایی یکی از شاخص‌های سنجش از دور را، برای یک محدوده مشخص و خاص با داده‌های هواشناسی

^۱ SSMI^۲ SMP^۳ NSM^۴ SPI^۵ VHI^۶ SMDI

با مقایسه بین شاخص‌های اقلیمی خشکسالی و سنجش از دور، کارایی شاخص SAVI در پایش خشکسالی کشاورزی بررسی شد.

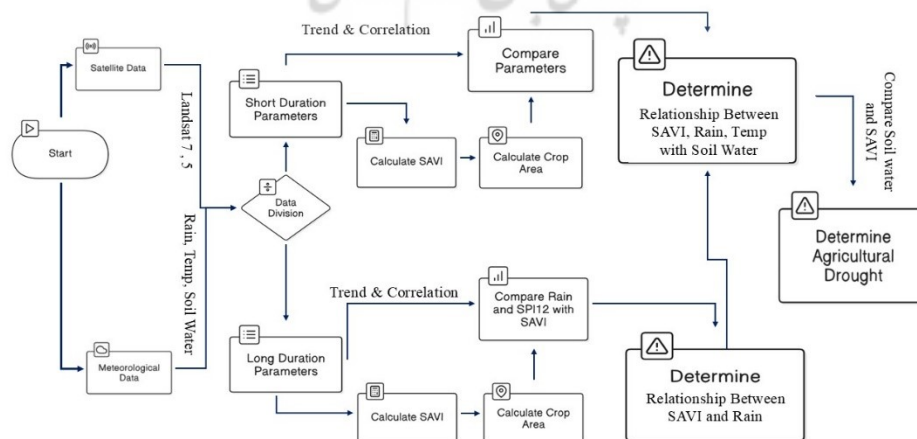
با توجه به اینکه داده‌های دریافتی و ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی شامل دو بازه زمانی بود، طول دوره داده‌ها به دو بازه با نام‌های دوره کوتاه‌مدت و دوره بلندمدت تقسیم‌بندی گردید. دوره بلندمدت در حدفاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۴ واقع شده که در این دوره تنها داده‌های بارش ثبت شده و در دسترس بود (داده‌های دما تنها بعد از سال ۲۰۱۰ ثبت‌شده بودند) و دوره کوتاه‌مدت در حدفاصل سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ بود که در این دوره علاوه بر بارش، داده‌های مربوط به پارامترهای دما و رطوبت خاک نیز وجود داشت که در نتیجه آن و در دوره بلند مدت، امکان پایش خشکسالی کشاورزی وجود نداشت.

پس از بررسی ارتباط مابین پارامترهای هواشناسی و شاخص SAVI در دوره کوتاه‌مدت (دوره در دسترس بودن کلیه پارامترها)، همبستگی مابین تغییرات رطوبت خاک و شاخص SAVI مشخص گردید. با مشخص بودن همبستگی این دو پارامتر، امکان بررسی تغییرات رطوبت خاک برای دوره بلندمدت در حدفاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۴ و با استفاده از شاخص SAVI امکان‌پذیر گردید تا با توجه به این تغییرات، خشکسالی کشاورزی زمانی که داده‌های اقلیمی در دسترس نباشد، قابل پایش باشد. در شکل ۱ فلوچارت مراحل انجام کار نشان داده شده است.

محدود و اندازه‌گیری نشده را بررسی کرد؛ برای این منظور و در این تحقیق داده‌های سنجش از دور برای یک دوره ۳۸ ساله استخراج شد و با بررسی تغییرات شاخص SAVI در سطح اراضی منطقه مورد مطالعه و ارتباط آن با بارش‌های مشاهداتی در حدفاصل مهر تا شهریور سال آبی متناظر، که از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک دریافت‌شده بود، خشکسالی کشاورزی بدون در دسترس بودن داده‌های اقلیمی مثل دما در محدوده مطالعه مورد پایش و تحلیل قرار گرفت.

موارد و روش‌ها

این مطالعه به صورت کلی از نظر تقسیم‌بندی داده‌ها از دو بخش تشکیل شده است. در یک بخش داده‌های اقلیمی از داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی (لای) و سینوپتیک (نیر) که در مجاورت محدوده مطالعاتی واقع شده بودند، دریافت شده و با توجه به هدف مطالعه جهت پایش خشکسالی کشاورزی، از داده‌های مشاهداتی، پارامترهای منتخب شامل بارش، دما و رطوبت خاک، در حدفاصل مهر تا شهریورماه سال آبی، استخراج گردید؛ سپس در بخش بعدی شاخص SAVI برای کل دوره آماری به صورت متوسط سالانه و متناظر با حدفاصل مهر تا شهریور (سال آبی) که برای پارامترهای هواشناسی نیز استفاده شده بود، با کمک سامانه GEE محاسبه گردید و براساس آن، تغییرات مساحت اراضی با در نظر گرفتن بازه‌های متفاوت SAVI به‌دست آمد. در نهایت

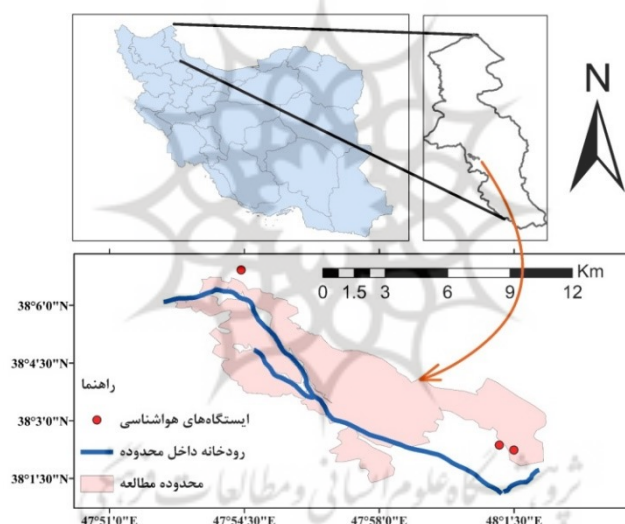


شکل ۱: فلوچارت مراحل انجام مطالعه

مورد مطالعه که با فاصله‌ای در حدود ۶ کیلومتری این اراضی واقع شده است، متوسط بارش سالانه در این منطقه حدود ۳۳۷ میلی‌متر و متوسط دمای آن در ۱۵ سال اخیر در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. همچنین مطابق شکل ۲ از داخل مرز محدوده مطالعاتی رودخانه‌ای دایمی به نام آغلاغان عبور می‌کند که در کنار سد سرخاب منابع اصلی تامین آب کشاورزی این اراضی هستند. محدوده مشخص شده در مطالعه حاضر مربوط به محدوده‌ای است که کاداستر کلیه اراضی پایاب را پوشش می‌دهد و اطلاعات آن‌ها از سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل دریافت شده است.

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه به پایش خشکسالی در اراضی کشاورزی پایاب سد سرخاب، واقع در مجاورت شهر نیر و در ۵۰ کیلومتری مرکز استان اردبیل که در محدوده جغرافیایی ۴۷/۸۹ تا ۴۸/۰۲ درجه طول شرقی و ۳۸/۰۳ تا ۳۸/۱۱ درجه عرض شمالی واقع گردیده، پرداخته شده است (شکل ۲). اراضی مذکور شامل ۳۵۳۰ هکتار زمین‌های کشاورزی با الگوی کشت گندم، جو، یونجه، اسپرس، گاودانه، سیب زمینی و کلزا بوده که از طریق انبار سنتی و به صورت سطحی آبیاری می‌گردد (جدول ۱). با استفاده از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه‌ی



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه مربوط به اراضی کشاورزی پایاب سد سرخاب

جدول ۱: الگوی کشت منطقه مورد مطالعه (سازمان جهاد کشاورزی اردبیل)

ردیف	نوع کشت	اراضی تحت پوشش (درصد)
۱	گندم	۳۰
۲	جو	۲۵
۳	یونجه	۲۰
۴	اسپرس	۱۰
۵	گاودانه	۵
۶	سیب زمینی	۵
۷	کلزا	۵
	جمع	۱۰۰

داده‌های مورد استفاده

داده‌های هواشناسی: در مجاورت منطقه مورد مطالعه سه ایستگاه شامل ایستگاه سینوپتیک نیر و ایستگاه‌های باران‌سنجی نیر و لای وجود دارد (شکل ۲). آمار ثبت‌شده برای ایستگاه‌های باران‌سنجی در حدفاصل فاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۴ (دوره بلندمدت)، به مدت ۳۹ سال بوده و برای ایستگاه سینوپتیک به مدت ۱۵ سال و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ (دوره کوتاه‌مدت) است که این موضوع نشان‌دهنده عدم وجود داده‌های هواشناسی کافی و بلندمدت، در منطقه مورد مطالعه است. در این مطالعه از داده‌های مشاهداتی بارش، دما و رطوبت خاک برای هر سال استفاده گردید که شامل داده‌های مربوط به بارش در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۴ و برای دما و رطوبت خاک شامل داده‌های سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ است.

شاخص SAVI: داده‌های سنجش از دور، بخش بعدی پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه بودند. منبع استخراج این داده‌ها از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT-5 و 7 بود. وضوح طیفی این ماهواره ۰/۴۵ تا ۲/۳۵ μm وضوح مکانی آن ۳۰ متر، وضوح زمانی آن ۱۶ روزانه است. دلیل انتخاب سنجنده Landsat نسبت به سایر سنجنده‌ها از جمله MODIS این بود که Landsat وضوح فضایی بالاتری را ارائه می‌دهد (۳۰ متر برای اکثر باندها) و این بدان معناست که می‌تواند ویژگی‌ها و عوارض کوچک‌تری را روی زمین تشخیص دهد و به همین سبب برای نقشه‌برداری دقیق از مزارع، شناسایی ردیف‌های محصول در برخی موارد، ارزیابی تنش موضعی و نظارت بر مناطق کشاورزی کوچک‌تر و یا به عبارتی دیگر برای کشاورزی دقیق، نظارت بر یک مزرعه مشخص، شناسایی تغییرات در مزارع و نقشه‌برداری دقیق انواع محصولات عملکرد بهتری دارد (Roy et al., 2014; Wulder et al., 2012).

تأثیرات خاک با انعکاس نور در کاربرد شاخص‌های پوشش گیاهی تداخل داشته است و برای کاهش تأثیر خاک بر روی شاخص‌های گیاهی، یک شاخص پوشش

گیاهی تعدیل‌شده تأثیر خاک، توسط (Huete, 1988) تعریف شد. SAVI بر این ایده استوار است که بسته به پوشش گیاهی، NDVI برای شرایط مختلف پوشش گیاهی به طور همزمان همگرا نمی‌شود. بنابراین از یک ضریب و یا فاکتور به نام L برای تنظیم NDVI استفاده می‌شود تا تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی، خط خاک را در یک مکان قطع کنند (Huete, 1988). شاخص گیاهی تعدیل‌شده تأثیر خاک (SAVI) به صورت رابطه ۱ است:

$$SAVI = \left(\frac{NIR-RED}{NIR+RED-L} \right) (1 + L) \quad (1)$$

که در آن NIR مخفف طیف مادون قرمز نزدیک است، RED مخفف مادون قرمز است و L یک پارامتر قابل تنظیم است و معمولاً مقدار آن برابر ۰/۵ است (Aşık, 2020). تصویر SAVI به دست آمده، دارای محدوده‌ای از -۱ تا +۱ است (Jensen, 1996). برای مقادیر SAVI نزدیک به صفر نشان دهنده خاک لخت و مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده پوشش گیاهی کامل است و مقادیر آن را می‌توان به شرح جدول ۲ بیان داشت (Al Asri et al., 2024; Huete, 1988; Nanasaheb et al., 2020).

شاخص استاندارد بارش^۱: شاخص بارش استاندارد شده یک شاخص پرکاربرد برای توصیف خشکسالی هواشناسی در طیف وسیعی از مقیاس‌های زمانی است. در مقیاس‌های زمانی کوتاه، SPI ارتباط نزدیکی با رطوبت خاک دارد، در حالی که در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر، SPI می‌تواند به آب‌های زیرزمینی و ذخیره‌سازی مخزن مربوط باشد. SPI را می‌توان در مناطقی با آب و هوای متفاوت مقایسه کرد. این مقدار، بارش مشاهده‌شده را به عنوان یک انحراف استاندارد از یک تابع توزیع احتمال انتخاب شده که داده‌های بارش خام را مدل می‌کند، کمی می‌کند. مقادیر SPI را می‌توان به عنوان تعداد انحرافات استاندارد تفسیر کرد که توسط آن ناهنجاری مشاهده‌شده از میانگین بلندمدت بیان می‌شود و مقادیر تغییر آن مطابق جدول ۳ طبقه‌بندی می‌گردد. نگرانی‌هایی در مورد

^۱ SPI

را دارد زیرا به‌طور گسترده در صنایع مختلف برای درک و پیش‌بینی الگوهای داده‌ای استفاده می‌شود. بنابراین هنگام تهیه این سری‌زمانی برای مدل‌سازی، بررسی اجزا یا الگوهای سری‌زمانی مهم است. یکی از این مولفه‌ها روند است. روند الگویی در داده است که حرکت یک سری‌زمانی را به مقادیر نسبتاً بالاتر یا پایین‌تر در یک دوره زمانی طولانی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، یک روند زمانی مشاهده می‌شود که شیب افزایشی یا کاهشی در سری‌زمانی وجود داشته باشد (Li et al., 2015; Monforte et al., 2022; Mudelsee, 2010; Mudelsee, 2019). در این مطالعه برای هر پارامتر استخراجی روند خطی تغییرات توسط نرم‌افزار MiniTab محاسبه گردید.

کاربرد SPI به عنوان معیاری برای تغییرات خشکسالی مرتبط با تغییرات آب و هوایی مطرح شده است، زیرا با تغییرات تبخیر و تعرق سروکار ندارد (Cumbie- Ward et al., 2016; Guttman, 1999; Mo et al., 2015; Pieper et al., 2020; Schneider et al., 2013; Wu et al., 2005; Wu et al., 2007). در این مطالعه جهت بررسی ارتباط مابین خشکسالی کشاورزی و یا به عبارت دیگر تغییرات رطوبت خاک با SAVI و SPI از شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه برای هر سال و در حد فاصل مهر تا شهریور (سال آبی) و در طول دوره مطالعه استفاده شد.

تحلیل روند در داده‌های هواشناسی: داده‌های سری‌زمانی مجموعه‌ای از نقاط داده‌ای هستند که برخی از متغیرها را در بازه زمانی منظم اندازه‌گیری می‌کنند. این دسته از پایگاه‌های داده سریع‌ترین رشد

جدول ۲: تقسیم‌بندی مقادیر شاخص SAVI متناسب با میزان پوشش گیاهی

میزان پوشش گیاهی				
پوشش زیاد گیاهی ^۱	پوشش متوسط گیاهی ^۲	پوشش کم گیاهی ^۳	خاک لخت ^۴	عنوان
اراضی باغی	اراضی کشاورزی پرآب	اراضی کشاورزی کم‌آب	پوشش گیاهی بسیار ضعیف	نوع اراضی
۰/۷۰ - ۱/۰۰	۰/۵۰ - ۰/۷۰	۰/۲۰ - ۰/۵۰	-۱ - ۰/۱۹۹	SAVI

جدول ۳: تقسیم‌بندی مقادیر شاخص SPI و کلاس خشکسالی متناظر

شاخص SPI	کلاس خشکسالی	احتمال %
$SPI \geq 2$	مرطوب بسیار شدید	۲/۳
$2 > SPI \geq 1.5$	مرطوب شدید	۴/۴
$1 > SPI \geq 1$	مرطوب متوسط	۹/۲
$1 > SPI \geq -1$	نرمال	۶۸/۲
$-1 > SPI \geq -1.5$	خشک متوسط	۹/۲
$-1.5 > SPI \geq -2$	خشک شدید	۴/۴
$SPI \leq -2$	خشک بسیار شدید	۲/۳

^۱ Bare Soil

^۲ Low Vegetables

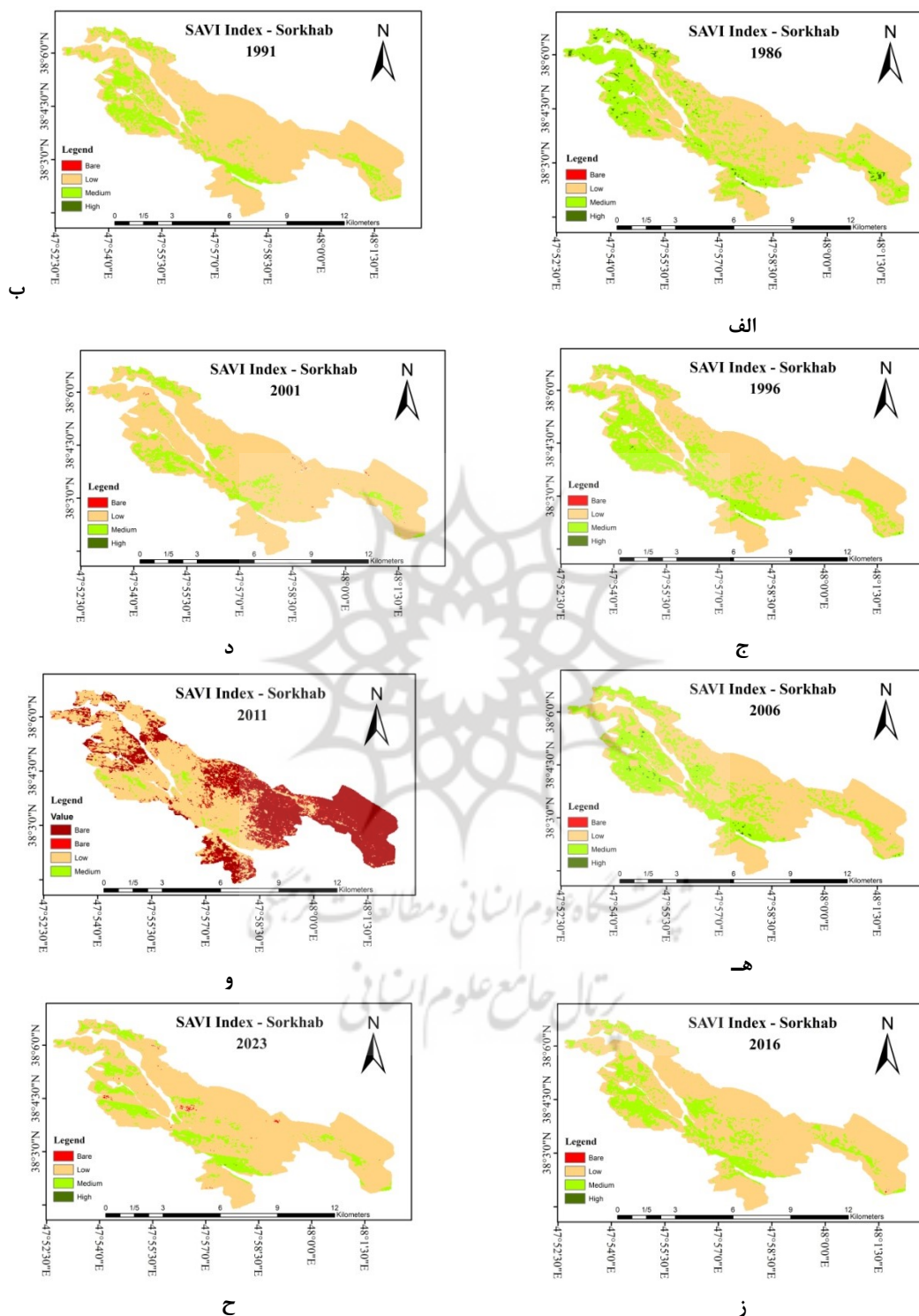
^۳ Medium Vegetables

^۴ High Vegetables

نتایج و بحث

میزان متوسط شاخص SAVI با استفاده از داده‌های

سنجش از دور برای دوره بلندمدت استخراج و نقشه سال‌های منتخب در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳: نقشه شاخص SAVI اراضی سرخاب در سال‌های متفاوت بین ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۳

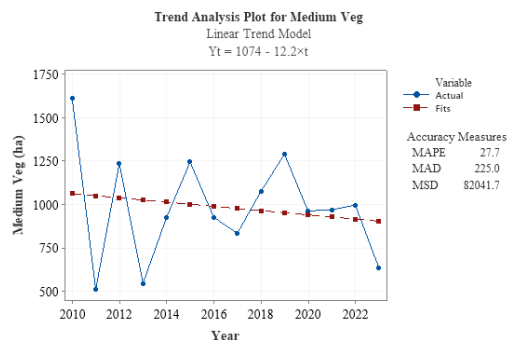
در شکل ۳ به منظور اختصار، از ۳۸ سال در طول دوره آماری، ۸ سال با بازه زمانی تقریباً ۵ ساله نشان داده شده است. شکل‌های نشان داده شده مطابق جدول ۲ در چهار باند طبقه‌بندی^۱ شدند. باند سبز پررنگ نشان‌دهنده پوشش گیاهی بالا (High)، باند سبز کم‌رنگ نشان‌دهنده پوشش گیاهی متوسط (Medium)، باند نارنجی نشان‌دهنده پوشش گیاهی کم (Low) و باند قرمز نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار ضعیف یا خاک لخت (Bare) است. براساس همین تصاویر اراضی مجاور رودخانه آغلاغان (شکل ۱) که دسترسی بیشتر و راحت‌تری به آب دارند و معمولاً دارای پوشش گیاهی متوسط (Medium) هستند که تقریباً در طول کل سال کمترین تغییرات پوشش گیاهی را داشتند. همچنین با بررسی شکل‌های ۳.الف، ۳.ب و ۳.و که به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ است، می‌توان متوجه شد که تغییرات پوشش گیاهی در ۴ باند و از پوشش گیاهی زیاد تا بسیار کم در طول سال‌های مختلف مشاهده شده است. (Rhyma et al., 2020) در مطالعه خود با تجزیه و تحلیل همبستگی انجام‌شده بین نتایج SAVI، NDVI و طبقه‌بندی نظارت‌شده نشان‌دادند که رابطه معنی‌داری بین NDVI و SAVI (۰/۹۹۱) در سطح اطمینان ۹۹/۹۹ درصد وجود دارد. این موضوع نشان داد که NDVI و SAVI آنالیزهای مفیدی هستند که می‌توانند برای بهبود دقت در طبقه‌بندی و پایش پوشش سطح زمین به کار گرفته شوند.

در ادامه کار براساس مقادیر به‌دست آمده برای SAVI و به‌ازای هر سال از بازه زمانی مورد تحقیق، مساحت تحت پوشش سالانه، برای هر یک از بازه‌های تعریف شده در جدول ۲ محاسبه و به عنوان تغییرات پوشش گیاهی براساس SAVI مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور تغییرات مساحت‌های به‌دست

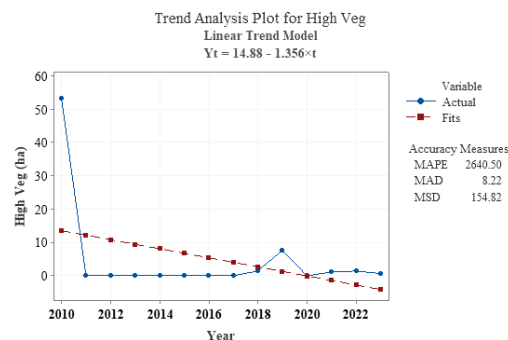
آمده برای شاخص SAVI به دو بخش پیش‌گفته یعنی سری‌زمانی دوره‌ی کوتاه‌مدت و سری‌زمانی دوره‌ی بلندمدت تقسیم شد. نمودار سری‌زمانی تغییرات مساحت اراضی در دوره کوتاه‌مدت و متناسب با بازه پوشش اراضی به شرح جدول ۲، برای ۱. مساحت اراضی با پوشش زیاد گیاهی (High Veg)، ۲. پوشش متوسط گیاهی (Medium Veg) و ۳. پوشش کم گیاهی (Low Veg) مطابق شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ترسیم شد. سپس به کمک نرم‌افزار Minitab خط روند برای هر کدام از سری‌های زمانی محاسبه و برروی آن‌ها ترسیم گردید. مطابق شکل ۴ میزان مساحت اراضی با پوشش گیاهی زیاد که معمولاً مربوط به اراضی با پوشش گیاهی دایم مانند باغ‌ها و یا پوشش‌های جنگلی هستند (Haboudane et al., 2002; Heumann, 2011; Huete, 1988) تنها در سال اول در حدود ۵۰ هکتار بوده و در سال‌های بعد به سمت حداقل میل کرده و نشان‌دهنده کاهش بسیار زیاد آن است که دلایل آن به صورت مجزا قابل بررسی می‌باشد. شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرات در مساحت اراضی با پوشش گیاهی متوسط یا مطابق توضیحات جدول ۲ اراضی کشاورزی پرآب است و همانگونه که از خط روند مشخص است در طول دوره آماری کوتاه مدت، میزان این اراضی با روندی افزایشی از ۳۴۰۰ به ۳۶۰۰ هکتار رسیده که مشابه شکل ۵، نشان از کاهش عملکرد در کل اراضی دارد.

شکل ۶ نشان‌دهنده تغییرات در مساحت اراضی با پوشش گیاهی کم یا مطابق توضیحات جدول ۲ اراضی کشاورزی کم‌آب است و همانگونه که از خط روند مشخص است در طول دوره آماری کوتاه مدت، میزان این اراضی با روندی افزایشی از ۳۴۰۰ به ۳۶۰۰ هکتار رسیده که مشابه شکل ۵، نشان از کاهش عملکرد در کل اراضی دارد.

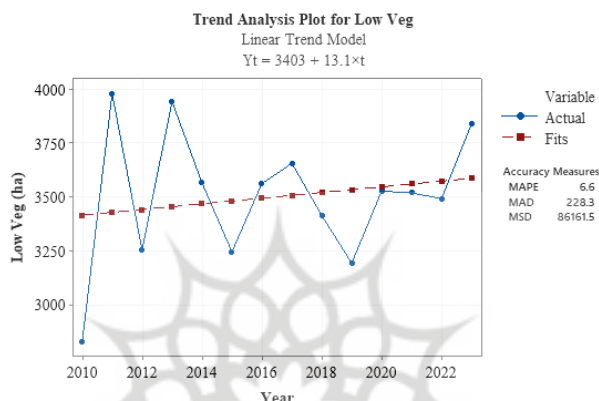
^۱ Classification



شکل ۵: تغییرات مساحت اراضی (هکتار) براساس پوشش گیاهی متوسط براساس شاخص SAVI



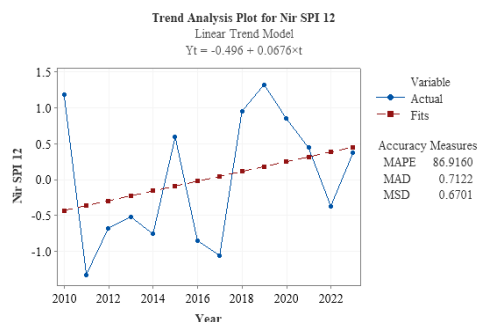
شکل ۴: تغییرات مساحت اراضی (هکتار) براساس پوشش گیاهی زیاد براساس شاخص SAVI



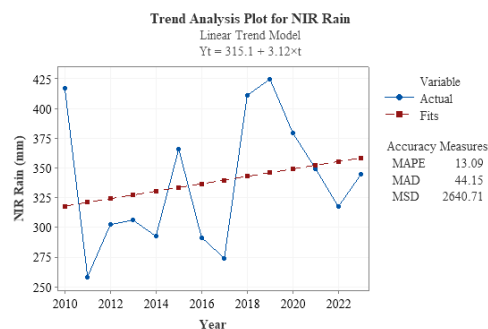
شکل ۶: تغییرات مساحت اراضی (هکتار) براساس پوشش گیاهی کم براساس شاخص SAVI

پوشش گیاهی تقریباً ثابت و بالایی هستند و جز اراضی کشاورزی این مطالعه محسوب نمی‌گردد. مطابق شکل ۷ مشاهده شد که در دوره کوتاه‌مدت و ۱۵ سال اخیر میزان بارش مشاهداتی، با شیبی در حدود ۳/۱ میلی‌متر، شیب افزایشی داشته است و با توجه به همین موضوع شاخص خشکسالی، علیرغم وجود برخی سال‌های خشک در این دوره، دارای روندی مثبتی بود. این موضوع نیز نشان می‌دهد منطقه از نظر هیدرولوژی در کوتاه‌مدت با خشکسالی مواجه نبوده است. همچنین با مقایسه شکل ۷.ب در سال ۲۰۱۱ با شکل ۳ و می‌توان به همبستگی مابین شاخص خشکسالی و شاخص SAVI اشاره کرد. چرا که شاخص SPI12 در آن سال دارای مقداری معادل ۱/۲۱- (معادل خشکسالی متوسط) بوده و در آن سال شاخص SAVI در بیشتر منطقه مطالعاتی در بازه زیر ۰/۲ قرار گرفته که نشان‌دهنده بیشترین کاهش در اراضی با پوشش کم و متوسط گیاهی است.

اشاره به این نکته هم ضروری است که از کل مساحت محدوده مطالعاتی که از آن در حدود ۳۵۳۰ هکتار اراضی کشاورزی بود، این محدوده شامل جاده‌ها، مناطق مسکونی و ساختمانی، باغ‌ها، اراضی متعلق به منابع طبیعی و سایر کاربری‌ها است. براساس تغییرات شاخص SAVI، اراضی کشاورزی که شاخص پوشش گیاهی آن‌ها در طول دوره متغیر است، مربوط به بازه ۰/۲ تا ۰/۷۰ بوده که عمدتاً شامل دو دسته‌بندی با نام‌های اراضی با پوشش کم گیاهی و اراضی با پوشش متوسط گیاهی بود. اراضی پوشش کم گیاهی شامل زمین‌های کم‌آب یا اراضی با آب قابل دسترس کم بوده و پوشش متوسط گیاهی شامل زمین‌های پرآب یا اراضی با آب قابل دسترس زیاد بودند. همانگونه که بیان شد شکل ۴ مربوط به تغییرات مساحت پوشش گیاهی بالا است که مربوط به اراضی باغی یا زمین‌هایی در مجاورت رودخانه با SAVI بالای ۰/۷ بود، که در طول کل سال دارای



ب

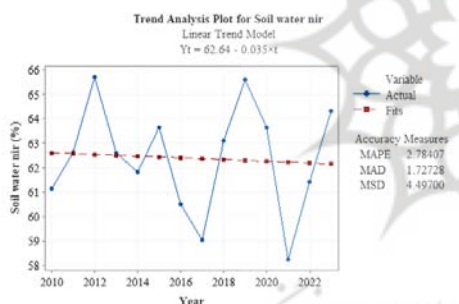


الف

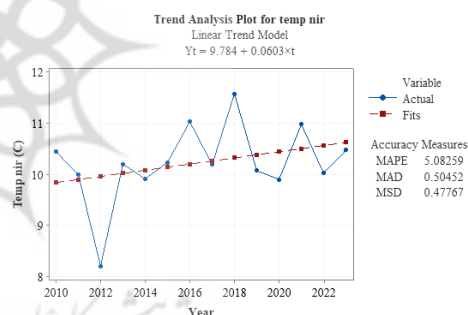
شکل ۷: تغییرات بارندگی در محل ایستگاه نیر (الف) و شاخص خشکسالی SPI (ب) در دوره کوتاه‌مدت

کاهشی بر روی رطوبت خاک شده است. که کاهش رطوبت از نظر کشاورزی منجر به کاهش عملکرد مزرعه و عامل ایجاد خشکسالی کشاورزی است. که این روند کاهشی رطوبت خاک، روند افزایشی سطح اراضی باپوشش گیاهی کم را (شکل ۶) را نیز توجیه می‌کند.

از طرفی با مقایسه شکل ۷.الف در مقابل روند افزایشی بارش در منطقه با شکل ۸.الف، روند دما در این دوره دارای روندی صعودی با شیبی در حدود ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. با در نظر گرفتن شکل ۸.ب که نشان‌دهنده تغییرات رطوبت خاک است، مشخص می‌شود که علیرغم افزایش بارش در کوتاه‌مدت، افزایش دما، منجر به ایجاد یک روند



ب



الف

شکل ۸: تغییرات دمای متوسط ایستگاه نیر (الف) و رطوبت خاک ایستگاه نیر (ب) در دوره کوتاه‌مدت

طول سال‌های مورد بحث، مشکل کاهش پوشش گیاهی در مقابل افزایش دمای سطح زمین وجود دارد. (Gündoğdu et al., 2018) توزیعی مبتنی بر اساس تغییرات مقادیر NDVI را با استفاده از ۲۹ تصویر ماهواره‌ای Landsat که زمین‌های زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه اولوداغ ترکیه در بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۷ پوشش می‌داد، تعیین کردند و نقشه‌های NDVI را برای منطقه مورد مطالعه ایجاد کردند. همچنین آن‌ها رابطه بین عملکرد محصولات

در مطالعات مشابه انجام شده توسط سایر محققین (Meseret Alemu, 2019) مطالعه‌ای را جهت بررسی رابطه بین توزیع‌های مکانی و زمانی مقادیر NDVI و LST بین سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۶ انجام دادند. در این مطالعه، مقادیر LST در طول سال‌ها افزایش یافته است و این افزایش ۰,۰۸۱ درجه سانتی‌گراد در سال است و در این بازه پوشش گیاهی به طور مداوم در حال تغییر بوده است. رابطه بین مقادیر LST و NDVI منفی بود. در نتیجه آن‌ها گزارش کردند که در

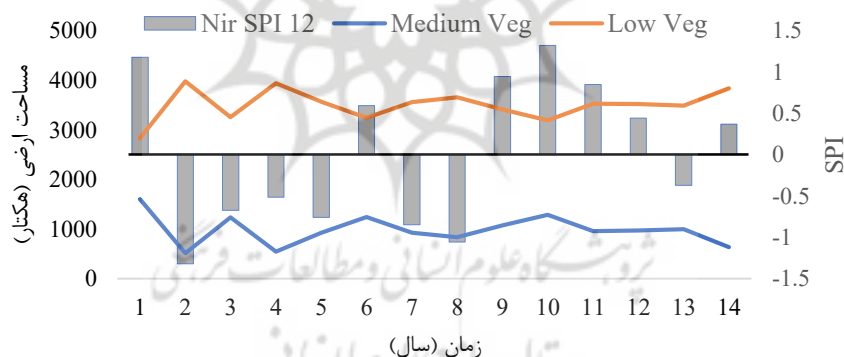
گیاهی کم، همبستگی منفی دارد که نشان می‌دهد با افزایش بارش میزان اراضی پرآب نیز افزایش و در مقابل، مقدار اراضی کم‌آب، کاهش پیدا می‌کند. اما در منطقه مورد مطالعه و در دوره کوتاه‌مدت علی‌رغم وجود روند افزایشی در بارش، میزان سطح اراضی با پوشش گیاهی کم (شکل ۶) افزایش یافته است که نشان از وجود کاهش رطوبت مورد نیاز گیاه است که این موضوع با توجه به روند افزایشی دما و همبستگی منفی آن با رطوبت خاک نیز قابل توجیه است (جدول ۴).

گندم، ذرت، آفتابگردان و شبدر و مقادیر NDVI را در کرت‌ها نشان دادند. آنها بالاترین رابطه (R^2) را به میزان ۰,۹۴۵ بین تصاویر به‌دست آمده در طول دوره گل‌دهی و عملکرد یافتند.

همان‌گونه که بیان شد همبستگی بین SAVI و شاخص SPI12 در نمودارها قابل مشاهده بود. این همبستگی در جدول شماره ۴ و شکل شماره ۹ قابل مشاهده است. مطابق ضریب همبستگی محاسبه شده، تغییرات شاخص خشکسالی SPI و بارش با پوشش گیاهی متوسط، دارای همبستگی مثبت و با پوشش

جدول ۴: همبستگی بین پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک نیر و شاخص‌های SAVI

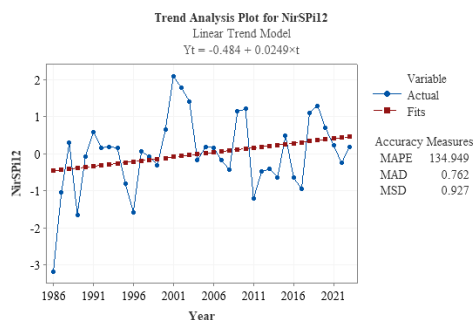
دمای هوا	رطوبت خاک	SPI 12	باران	پوشش گیاهی کم	پوشش گیاهی متوسط
۱	۱	۱	۱	۱	پوشش گیاهی متوسط
				۱	پوشش گیاهی کم
			۱	-۰/۶۷۲۱	-۰/۹۹۹۳
		۱	۰/۹۸۶۶	-۰/۶۱۷۷	۰/۶۶۶۵
			۰/۳۰۸۶	-۰/۱۳۳۲	۰/۶۱۱۸
	۱	۰/۲۸۸۶			۰/۱۳۹۲
		۰/۳۱۷۷	۰/۳۱۸۷	۰/۰۹۰۳	-۰/۰۹۸۴
	-۰/۴۸۴۵				



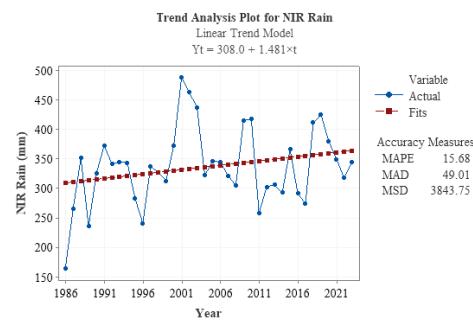
شکل ۹: مقایسه شاخص خشکسالی SPI با شاخص‌های SAVI

شکل شماره ۱۰ مشاهده می‌شود که روند بارش و SPI در بلندمدت مثبت و افزایشی هستند. با توجه به جدول شماره ۴ و شکل ۹ انتظار می‌رود که میزان پوشش گیاهی در اراضی منطقه مورد مطالعه، بویژه سطوحی با پوشش گیاهی کم، متناسب با روند بارش و شاخص SPI12 روندی کاهشی داشته باشد. چون با افزایش بارش انتظار می‌رود رطوبت خاک و در نتیجه آن عملکرد اراضی هم افزایش پیدا کند.

با نتایج به‌دست آمده از مقایسه سری‌های زمانی برای پارامترهای مورد استفاده و باتوجه به عدم وجود داده‌های هواشناسی دما و رطوبت خاک در محل ایستگاه هواشناسی نیر، در دوره بلندمدت، می‌توان از ارتباط تعریف شده در بخش‌های قبلی که مابین شاخص‌های SAVI، بارندگی و شاخص SPI بود استفاده کرد تا خشکسالی کشاورزی بلند مدت را در منطقه مورد مطالعه بررسی کرد. به همین منظور در



ب

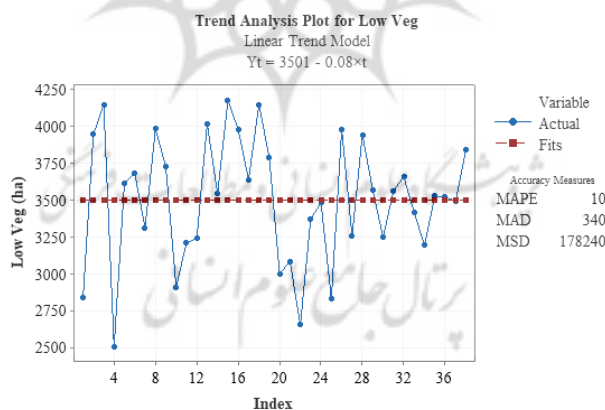


الف

شکل ۱۰: تغییرات بارندگی در ایستگاه نیر (الف) و شاخص خشکسالی SPI (ب) در دوره بلندمدت

تقریباً ثابت مانده است. پس با در نظر گرفتن نتایج و همبستگی پارامترها در دوره کوتاه مدت، می توان نتیجه گرفت که روند تغییرات دما در طولانی مدت نیز افزایشی بوده که این امر باعث تعدیل تاثیر بارش در دوره بلندمدت گردیده و میزان تغییرات رطوبت خاک و در نتیجه پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی مورد مطالعه را تقریباً ثابت نگه داشته است و این عدم تغییرات برخلاف دوره کوتاه مدت نشان از عدم وجود خشکسالی کشاورزی دارد (Binte Mostafiz et al., 2021).

اما مطابق شکل ۱۱ مشاهده شد که برخلاف دوره کوتاه مدت که روند پوشش گیاهی کم دارای یک روند افزایشی مشخص بود (شکل ۶)، در دوره بلند مدت این روند دارای شیب منفی ۰/۰۸ هکتار و تقریباً ثابت بوده است که این میزان تغییرات، متناسب با روند افزایشی بارش های مشاهداتی که دارای روندی افزایشی و دارای شیب مثبت ۱/۴۸ میلی متر بود، متناسب نبوده و براساس روند افزایشی بارش، تغییر سطوح گیاهی با شاخص SAVI پایین تر، می بایست دارای یک روند کاهشی مشخص بود؛ ولی روند آن



شکل ۱۱: تغییرات مساحت اراضی براساس پوشش گیاهی کم در دوره بلندمدت

بخشی از نتایج، ارزیابی عملکرد زمین توسط داده های عملکرد واقعی مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این، یک روش تخمین عملکرد با استفاده از شاخص هایی که عوامل تأثیرگذار را نشان می داد، توسعه داده شد. تجزیه و تحلیل آن ها نشان داد که روش های سنجش از دور ماهواره ای در پلت فرم های GIS روشی مؤثر و

در تحقیقی از یک تحلیل چند متغیره با ادغام ترکیب های خطی وزن دار و تحلیل های چند معیاره فازی در محیط پلت فرم GIS برای ارزیابی عملکرد محصول با استفاده از هشت معیار شامل ارتفاع، شیب، و شاخص های پوشش گیاهی (ARVI، SAVI)، در OSVI، MSAVI، SARVI و LST انجام دادند. در

SPI و بارش با تغییرات مساحت اراضی که پوشش متوسط گیاهی داشتند، دارای مقداری مثبت و با تغییرات مساحت اراضی که پوشش گیاهی کم داشتند همبستگی منفی دارد، که نشان می‌دهد با افزایش بارش میزان اراضی پرآب نیز افزایش و در مقابل مقدار اراضی کم‌آب کاهش پیدا می‌کند. با این وجود در منطقه مورد مطالعه و در دوره کوتاه‌مدت علی‌رغم وجود روند افزایشی در بارش، میزان سطح اراضی با پوشش گیاهی کم افزایش یافته بود که نشان از کاهش رطوبت مورد نیاز گیاه و خشکسالی در دوره کوتاه مدت مورد مطالعه داشت. در نهایت مشاهده شد، برخلاف دوره کوتاه‌مدت که روند تغییرات مساحت اراضی با پوشش گیاهی کم دارای یک روند افزایشی بود، در دوره بلند مدت، این پوشش دارای روندی تقریباً ثابت بوده است، که این مقایسه نشان‌داد میزان تغییرات رطوبت خاک و در نتیجه پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی مورد مطالعه در حدود ۳۸ سال اخیر تقریباً ثابت مانده است، که دلیل آن هم تعدیل تاثیر روند افزایشی بارش با روند افزایشی دما بوده است. نتایج گزارش شده در این تحقیق نشان‌داد که استفاده از داده‌های سنجش از دور در بررسی و پایش خشکسالی کشاورزی می‌تواند در بسیاری از مناطق به‌ویژه در مناطق فاقد آمار یا مناطقی با داده‌های محدود مشاهداتی، بسیار موثر و کاربردی باشد. از همین روی پیشنهاد شد با استخراج داده‌ها برای دوره‌های کوتاه‌تر اعم از یک، سه یا شش ماهه بتوان ضمن افزایش دقت ارزیابی، امکان ایجاد مدل‌سازی با استفاده از یادگیری ماشین را برای بررسی عملکرد محصول، سیستم‌های آبیاری و تخمین مقادیر پارامترهای هواشناسی ایجاد کرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از مدیریت محترم سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل و مهندسین مشاور آذر بندساز اردبیل جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات اراضی منطقه مورد مطالعه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مناسب برای برنامه‌ریزان کاربری اراضی کشاورزی و سیاست‌گذاران این حوزه برای انتخاب مناطق قابل کشت مناسب با پتانسیل افزایش تولید کشاورزی است. که با در نظر گرفتن نتایج گزارش شده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از داده‌های سنجش از دور در بررسی و پایش اراضی کشاورزی، شامل تحلیل خشکسالی کشاورزی، بررسی عملکرد محصول و میزان یا نوع پوشش گیاهی، می‌تواند در بسیاری از مناطق به‌ویژه در مناطق فاقد آمار یا مناطقی با داده‌های محدود مشاهداتی، بسیار موثر و کاربردی باشد.

در همین راستا پیشنهاد می‌شود در جهت افزایش دقت در استفاده از داده‌های سنجش از دور و پایش خشکسالی در کنار شاخص SAVI از شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی، شاخص رطوبت خاک، صدک رطوبت خاک، رطوبت نرمال شده خاک، شاخص سلامت گیاهی و شاخص کمبود رطوبت خاک استفاده کرد. همچنین استخراج داده‌ها برای دوره‌های کوتاه‌تر اعم از یک، سه یا شش ماهه می‌تواند ضمن افزایش دقت ارزیابی، امکان ایجاد مدل‌سازی با استفاده از یادگیری ماشین را برای بررسی عملکرد محصول، سیستم‌های آبیاری و تخمین مقادیر پارامترهای هواشناسی ایجاد کند.

جمع بندی

در این مطالعه سعی شد جهت پایش خشکسالی کشاورزی از داده‌های سنجش از دور و از بین آن‌ها از شاخص SAVI استفاده گردد. به همین منظور داده‌های سنجش از دور مربوط به SAVI از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT-7 و LANDSAT-5 استخراج و براساس آن تغییرات مساحت اراضی متناسب با بازه‌های تعریف شده برای SAVI محاسبه و تغییرات آن با تغییرات داده‌های هواشناسی موجود و در دسترس مقایسه شد. نتایج نشان‌دادند که بین SAVI و شاخص SPI12 همبستگی وجود دارد. براساس این همبستگی، تغییرات شاخص خشکسالی

منابع

۱. اکبری ازیرانی، ط. (۲۰۲۲) آشکارسازی و تحلیل روند خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان در ارتباط با شاخص‌های جوی- اقیانوسی. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۳(۱۱)، ۱-۱۶.
۲. درویشی، ی.، فدائیان، م و سارلی، ر. (۲۰۲۰) واپایش تغییرات اقلیمی با تمرکز بر مخاطره خشکسالی با استفاده از فن‌آوری فضایی جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حریم پوششی رودخانه کارون). پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۱(۱)، ۱۵-۳۲.
۳. حزب‌لوی، ز. (۲۰۲۴) ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی زمان حال و پیش‌نگری آن در آینده در حوزه آبخیز تجن. مدل سازی و مدیریت آب و خاک ۴(۴)، ۷۸-۵۷.
۴. بزرگ‌زاده، م. جهان‌تیغ، ح. ریگی، م و محمدی، م. (۲۰۲۴) ارزیابی جامع شدت خشکسالی با رویکرد چند شاخصی در شهرستان سراوان استان سیستان و بلوچستان. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۵(۲۰)، ۱۹-۳۲.
۵. شمس‌نیا، س.ا. (۲۰۲۳) ارزیابی و مقایسه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SMDI، SPI و RDI در منطقه زرقان، استان فارس. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۴(۱۵)، ۷۳-۹۰.
۶. کاشکی، ع و قربانی، ح. (۲۰۲۴) ارزیابی تغییرات بلند مدت مشخصه‌های مخاطرات خشکسالی و سیل در حوضه‌های آبریز جنوب‌شرق ایران. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۵(۱۹)، ۷۴-۵۵.
۷. کیافر، ح. بابازاده، ح. صدقی، ح و صارمی، ع. (۲۰۲۳) تجزیه و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از روش مفصل و ترکیب الگوریتم‌های محاسبات نرم (موردی مطالعاتی: ایستگاه قزوین). مدل سازی و مدیریت آب و خاک ۴(۴)، ۱۸۳-۲۰۲.
۸. لیاقی، م. قربانی، خ. قربانی نصرآباد، ق. سالاری جزی، م و نیرومند فرد، ف. (۲۰۲۴) ارزیابی تأثیرات شاخص‌های خشکسالی بر شاخص فقر آبی (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). مدل سازی و مدیریت آب و خاک ۴(۳)، ۳۰۵-۳۲۰.
۹. متین‌فر، ح.ر. شمسی‌پور، ع.ا. و صادقی، ح. (۲۰۲۴) بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر محتوی کربن آلی خاک‌های مناطق جنگلی زاگرس میانی (استان لرستان). پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی.
۱۰. محمدی، ن و حجازی‌زاده، ز. (۲۰۲۴) اثرات تغییر اقلیم بر افزایش ریسک مخاطره خشکسالی در تهران با بهره‌گیری از سناریوهای CMIP6. مدل سازی و مدیریت آب و خاک ۴(۲)، ۱۴۸-۱۳۳.
11. Aşık, Ş. (2020) Agricultural Drought Monitoring Using Surface Temperature and Vegetation Indices from Satellite Images. Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 151-160.
12. Al Asri, A., Muhammad, H., Khairul, M. and Nela, W. (2024) Analysis of Vegetation Index (NDVI, SAVI, LAI) on Coffee Productivity in Bener Meriah District, Aceh Province, pp. 39-45, Atlantis Press.
13. Asgarzadeh, P., Hamed, F. and Rojas, O. (2021) Assessment of agricultural drought using MODIS derived FAO's agriculture stress index system (ASIS) over the Iran croplands. Desert 26(1), 29-41
14. Binte Mostafiz, R., Noguchi, R. and Ahamed, T. (2021) Agricultural Land Suitability Assessment Using Satellite Remote Sensing-Derived Soil-Vegetation Indices. Land 10(2), 223.
15. Cumbie-Ward, R.V. and Boyles, R.P. (2016) Evaluation of a High-Resolution SPI for Monitoring Local Drought Severity. Journal of Applied Meteorology and Climatology 55(10), 2247-2262.
16. Duan, K. and Mei, Y. (2014) Comparison of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Responses to Climate Change and Uncertainty Assessment. Water Resources Management 28, 5039-5054.
17. Gündoğdu, K.S. and Bantchina, B.B. (2018) Landsat uydu görüntülerinden NDVI değeri dağılımının parsel bazlı değerlendirilmesi, Uludağ üniversitesi ziraat fakültesi çiftlik arazisi örneği. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 32(2), 45-53.
18. Haboudane, D., Miller, J., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. and Dextraze, L. (2002) Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Remote Sensing of Environment 81, 416-426.

19. Heumann, B. (2011) Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography* 35, 87-108.
20. Huete, A.R. (1988) A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25(3), 295-309.
21. Javed, T., Li, Y., Rashid, S., Li, F., Hu, Q., Feng, H., Chen, X., Ahmad, S., Liu, F. and Pulatov, B. (2020) Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data. *Science of The Total Environment*.
22. Jensen, J.R. (1996) *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River.
23. Keikhosravi, G. and Rastgar Alaleh Gurabi, S. (2021) Monitoring agricultural drought in Iran using time series of vegetation health index. *Sustainable Earth Trends* 1(4), 52-61.
24. Lee, S.-J., Kim, N. and Lee, Y. (2021) Development of Integrated Crop Drought Index by Combining Rainfall, Land Surface Temperature, Evapotranspiration, Soil Moisture, and Vegetation Index for Agricultural Drought Monitoring. *Remote Sensing* 13(9), 1778.
25. Li, J., Zhang, X., Rousta, I., Olafsson, H. and Krzyszcak, J. (2024) Evaluating vegetation dynamics in the Yangtze river basin in relation to climatological parameters using remote sensing data from 2001 to 2022. *International Agrophysics* 38, 407-422.
26. Li, L., Su, X., Zhang, Y., Lin, Y. and Li, Z. (2015) Trend Modeling for Traffic Time Series Analysis: An Integrated Study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16(6), 3430-3439.
27. Mariod, A., Abdalla, N., Gaiballa, A., Kätsch, C. and Suliman, M. (2015) Using MODIS-Derived NDVI and SAVI to Distinguish Between Different Rangeland Sites According to Soil Types in Semi-Arid Areas of Sudan (North Kordofan State). *International Journal of Life Science and Engineering* 1, 150-164.
28. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales, pp. 179-183, Boston.
29. Meseret Alemu, M. (2019) Analysis of Spatio-temporal Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Changes in the Andassa Watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Resources and Ecology* 10(1), 77-85.
30. Mo, K. and Lyon, B. (2015) Global Meteorological Drought Prediction Using the North American Multi-Model Ensemble. *Journal of Hydrometeorology* 16, 150310071054006.
31. Monforte, P. and Ragusa, M.A. (2022) Temperature Trend Analysis and Investigation on a Case of Variability Climate. *Mathematics* 10(13), 2202.
32. Mudelsee, M. (2010) *Climate Time Series Analysis: Classical Statistical and Bootstrap Methods*, Springer Netherlands.
33. Mudelsee, M. (2019) Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews* 190, 310-322.
34. Mullapudi, A., Vibhute, A.D., Mali, S. and Patil, C.H. (2023) A review of agricultural drought assessment with remote sensing data: methods, issues, challenges and opportunities. *Applied Geomatics* 15(1), 1-13.
35. Nanasaheb, A.A., V., P.R. and Paswan, P.K. (2020) Soil adjusted vegetation index (SAVI), in the Uben river basin of Gujarat. *International Journal of Chemical Studies* 8, 693-698.
36. Perez, G., Macapagal, M., Olivares, R., Macapagal, E. and Comiso, J. (2016) FORECASTING AND MONITORING AGRICULTURAL DROUGHT IN THE PHILIPPINES. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLI-B8, 1263-1269.
37. Pieper, P., Düsterhus, A. and Baehr, J. (2020) A universal Standardized Precipitation Index candidate distribution function for observations and simulations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 24(9), 4541-4565.
38. Quille-Mamani, J.A., Huayna, G., Pino-Vargas, E., Chucuya-Mamani, S., Vera-Barrios, B., Ramos-Fernandez, L., Espinoza-Molina, J. and Cabrera-Olivera, F. (2024) Spatio-Temporal Evolution of Olive Tree Water Status Using Land Surface Temperature and Vegetation

- Indices Derived from Landsat 5 and 8 Satellite Imagery in Southern Peru. *Agriculture* 14(5), 662.
39. Rhyma, P.P., Norizah, K., Hamdan, O., Faridah-Hanum, I. and Zulfa, A.W. (2020) Integration of normalised different vegetation index and Soil-Adjusted Vegetation Index for mangrove vegetation delineation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 17, 100-280.
 40. Roustia, I., Izadian, S., Olafsson, H., Siedliska, A. and Krzyszcak, J. (2024) Investigation of vegetation dynamics with a focus on agricultural land cover and its relation with meteorological parameters based on the remote sensing techniques: a case study of the Gavkhoni watershed. *International Agrophysics* 38, 213-229.
 41. Roustia, I., Mansourmoghaddam, M., Olafsson, H., Krzyszcak, J., Baranowski, P., Zhang, H. and Tkaczyk, P. (2022a) Analysis of the recent trends in vegetation dynamics and its relationship with climatological factors using remote sensing data for Caspian Sea watersheds in Iran. *International Agrophysics* 3, 139-153.
 42. Roustia, I., Moniruzzaman, M., Olafsson, H., Zhang, H., Baranowski, P., Tkaczyk, P., Lipińska, H., Kępkowicz, A. and Krzyszcak, J. (2022b) Investigation of the Vegetation Coverage Dynamics and its Relation to Atmospheric Patterns in Kabul River Basin in Afghanistan. *Pure and Applied Geophysics* 179.
 43. Roustia, I., Olafsson, H., Zhang, H., Moniruzzaman, M., Krzyszcak, J. and Baranowski, P. (2020) Anthropogenic Factors Affecting the Vegetation Dynamics in the Arid Middle East.
 44. Roy, D., Wulder, M., Loveland, T., Woodcock, C., Allen, R., Anderson, M., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D., Kennedy, R., Scambos, T., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E., Belward, A., Bindaschadler, R., Wohen, W.B., Gao, F. and Zhu, Z. (2014) Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing of Environment* 2014, 154-172.
 45. Schneider, D.P., Deser, C., Fasullo, J. and Trenberth, K.E. (2013) Climate Data Guide Spurs Discovery and Understanding. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94(13), 121-122.
 46. Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Svoboda, M.D. (2005) The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology* 25(4), 505-520.
 47. Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Wen, F. (2007) Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology* 27(1), 65-79.
 48. Wu, X., Xu, H., He, H., Wu, Z., Lu, G. and Liao, T. (2024) Agricultural Drought Monitoring Using an Enhanced Soil Water Deficit Index Derived from Remote Sensing and Model Data Merging. *Remote Sensing* 16(12), 2156.
 49. Wulder, M., Masek, J., Cohen, W., Loveland, T. and Woodcock, C. (2012) Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment* 122, 2-10.
 50. Zhou, L., Wu, J., Zhang, J., Zhao, F., Liu, M. and Zhao, L. (2010) Assessing the drought monitoring characteristic of timeseries NDVI indices in crop growing season.