



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 7, No. 25, Spring 2026



Climatic Analysis of Vegetation in Mountainous Areas of Northwestern Iran (Case: East Azerbaijan Province)

Farhnaz Khoramabadi¹, Seyyed Mohammad Hosseini^{2*}

¹ Ph.D of Climatology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

² Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran, Email: h.climate@sjau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history :

Received: 2025-9-6
Accepted: 2025-11-14

Keywords:

Climate Change
Modis Satellite
Normalized Difference
Vegetation Index (NDVI)
Principal Component
Analysis (PCA)
Kolmogorov-Smirnov Test
(KST)

ABSTRACT

Vegetation changes are one of the most important reasons for changing environmental ecosystems in mountainous areas and for this reason, the vegetation monitoring of East Azarbaijan province is very important due to its location in the mountainous region of the northwest of the country. Therefore, in this research, to achieve this goal, were used statistical models including normalized difference vegetation index (NDVI), geographic weighted regression (GWR), principal component analysis (PCA) and kolmogorov–smirnov test (KST). In addition, using the MODIS sensor satellite products, the vegetation cover index calculated for the 24-year period from 2000 to 2024 for this province. The results indicate that the highest density of forest trees and mountain pastures is located in the northern parts of the province in the region of Arsbaran, Aras, Varzghan, Kazandaghi and Kandratbashi mountains, and the lowest density is in the western and central parts of the province. In addition, the geographic weighted regression model with a determination coefficient of 76 percent confirms the adequacy and high accuracy of the model in predicting the vegetation cover of the province. The results of the principal component analysis showed that the estimated models recognized 3 types of cover with 93.49 percent, which include the months of June, July, August and September as the type with high density of vegetation; The months of January, February, March and May are with medium density and the months of October, November and December are with little and weak vegetation. Meanwhile, the month of June has the highest density of vegetation due to the peak of vegetation in the gardens and farms of the province and the increase in spring cultivation. In addition, the results of the Kolmogorov-Smirnov test indicate that in the months of June, July and August, the vegetation of East Azerbaijan Province has a normal distribution, and in the month of September, the vegetation has an abnormal distribution.

Cite this article: Khoramabadi, F., Hosseini, S.M. (2026). Climatic Analysis of Vegetation in Mountainous Areas of Northwestern Iran (Case: East Azerbaijan Province). Journal of the Climate Change research, 7 (25), 27-45.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

DOI: [10.30488/ccr.2025.558026.1313](https://doi.org/10.30488/ccr.2025.558026.1313)



تحلیل اقلیمی پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی شمال غرب ایران (مورد: استان آذربایجان شرقی)

فرحناز خرم‌آبادی^۱، سیدمحمد حسینی^{۲*}

^۱ دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

^۲ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران، رایانامه: h.climate@sjau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۴</p> <p>واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم سنجنده مودیس شاخص پوشش گیاهی مولفه اصلی کولموگروف-اسمیرنوف</p>	<p>پوشش گیاهی به‌عنوان شاخص حساس از سلامت اکوسیستم‌های کوهستانی، مستلزم پایش دقیق با رویکردهای چندبعدی است و به همین دلیل، بررسی پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی به دلیل قرارگیری در گره‌گاه کوهستانی شمال غرب کشور از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا در پژوهش حاضر، روند زمانی- مکانی پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی در بازه زمانی ۲۴ ساله از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ میلادی با استفاده از یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای MODIS و چهار روش آماری-فضایی تحلیل شد که عبارتند از: (۱) شاخص NDVI به‌عنوان معیار کمی پوشش گیاهی، (۲) رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) برای مدل‌سازی رابطه غیریکنواخت ارتفاع و پوشش گیاهی، (۳) تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای شناسایی الگوهای زمانی ماهانه و (۴) آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) برای ارزیابی نرمال بودن توزیع NDVI. یافته‌ها نشان داد که بیشترین تراکم پوشش گیاهی در مناطق شمالی استان در منطقه ارسباران، ارس، ورزقان، کوه‌های قازان‌داغی و قندرات‌باشی واقع شده است و کمترین تراکم آن نیز در بخش‌های غربی و مرکزی استان متمرکز شده است. همچنین مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با ضریب تعیین ۷۶ درصد، کفایت و دقت بالای مدل در پیش‌بینی پوشش گیاهی استان را تایید و ناهمگونی رابطه ارتفاع-پوشش گیاهی را در سطح استان آشکار ساخت. نتایج تحلیل مولفه اصلی نشان داد که مدل‌های برآوردی با ۹۳/۴۹ درصد از واریانس کل، ۳ گروه اکولوژیک از پوشش گیاهی در طی سال بازشناسایی کردند که عبارتند از: ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر (تراکم بالای پوشش گیاهی)؛ ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و می (تراکم متوسط) و ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر (تراکم اندک و ضعیف). در این میان، ماه ژوئن بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی را به دلیل اوج گستره پوشش گیاهی در باغات و مزارع استان و افزایش کشت بهاره به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف حاکی از این است که در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی دارای توزیع نرمال و در ماه سپتامبر، پوشش گیاهی دارای توزیع غیرنرمال می‌باشد.</p>

استناد: خرم‌آبادی، فرحناز؛ حسینی، سیدمحمد (۱۴۰۵). تحلیل اقلیمی پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی شمال غرب ایران (مورد: استان آذربایجان شرقی). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۷ (۲۵)، ۴۵-۲۷.



مقدمه

آب و هوا یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر پراکنش مکانی پوشش گیاهی یک منطقه می‌باشد (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ پنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۲). تغییر در سلامت و تراکم پوشش گیاهی ناشی از تغییرات اقلیمی یا کاربری/پوشش اراضی می‌تواند تاثیرات چشمگیری بر اکوسیستم‌های جهان به ویژه اکوسیستم‌های شکننده خشک و نیمه خشک داشته باشد (میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۸). برآوردهای پژوهشگران نشان می‌دهد که در هر نوع آب و هوایی از خشک و نیمه خشک گرفته تا مرطوب و نیمه مرطوب کوهستانی، به دلیل تغییر فراسنج‌های اقلیمی، سطح پوشش گیاهی و مراتع تغییر می‌کند (مقدم، ۱۳۸۸). لذا بررسی تغییرات پوشش گیاهی کمک شایانی به بهبود اکوسیستم گیاهی و جانوری می‌کند. امروزه معمول‌ترین روش‌ها برای تحلیل پوشش گیاهی، روش کمی دسته‌بندی و طبقه‌بندی می‌باشد (وانگ^۲، ۱۹۹۷). در بین این روش‌ها، شاخص ماهواره-ای NDVI همواره یکی از بهترین روش‌های بررسی پوشش گیاهی در یک منطقه است؛ چرا که این شاخص به طور گسترده به عنوان معیاری برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (تمرتاش و همکاران، ۱۳۹۲؛ پتورلی و همکاران^۳، ۲۰۰۵). این شاخص می‌تواند تغییرات سطح پوشش گیاهی را به دلیل همبستگی قوی بین پوشش گیاهی و شاخص مذکور اندازه‌گیری کند (ژانگ و همکاران^۴، ۲۰۱۷). در دهه‌های اخیر، استفاده از فناوری دورسنجی به منظور پایش تغییرات پوشش گیاهی به سبب در دسترس بودن داده‌های دقیق و روزآمد و چند زمانه بودن داده‌ها مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (ناطق و همکاران، ۱۳۹۶؛ جین و همکاران^۵، ۲۰۱۷؛ هاریس و همکاران^۶، ۲۰۱۴). همچنین سنجش از دور به دلیل دارا بودن

قابلیت تکرار و فرمت رقومی مناسب برای پردازش به مهم‌ترین منابع داده جهت کاربردهای مختلف پایش تغییرات طی دهه‌های گذشته تبدیل شده‌اند (لو و همکاران^۷، ۲۰۰۴). در این میان، تصاویر سنجنده مودیس و ماهواره‌های ترا و آکوا با دارا بودن اطلاعات طیفی ارزشمند، قدرت تفکیک مکانی متفاوت (۱ کیلومتری، ۵۰۰ متری و ۲۵۰ متری) و قدرت تفکیک زمانی (۱۶ روزه و ماهانه) برای پاسخگویی به نیازهای جوامع پژوهشی و کاربردی در دسترس هستند.

مطالعات متعددی در زمینه بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و شاخص پوشش گیاهی صورت گرفته که شاخص‌سازی گیاهی، ادغام داده‌های ماهواره‌ای، نسبت‌گیری طیفی و تجزیه مولفه‌های اصلی از مهم‌ترین آن‌ها است (امیری و یگانه، ۱۳۹۱). از جمله آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود. جعفری و همکاران^۸ (۲۰۰۷)، بر این باورند که در مناطق خشک و نیمه خشک، استفاده‌ی آن دسته از شاخص‌های گیاهی که در محاسبه آن‌ها باند مادون قرمز در نظر گرفته می‌شود، برای ارزیابی پوشش گیاهی مناسب‌تر است. فنگ و همکاران^۹ (۲۰۲۱)، با تحلیل شاخص NDVI در حوضه هوانگشو به این نتیجه رسیدند که نرخ رشد متوسط سالانه شاخص گیاهی NDVI، ۰/۲۸ درصد است و این شاخص در بهار، تابستان و پاییز نیز یک روند افزایشی دارد و نه تنها تحت تأثیر ارتفاع و جهت می‌باشد، بلکه تحت شرایط سطح و عوامل انسانی نیز قرار می‌گیرد. خوفی و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۱)، با بررسی شاخص NDVI در حوضه رودخانه هاپهه نشان دادند که همبستگی بین NDVI و بارش در مقیاس سالانه، ضعیف است. در مقیاس ماهانه، تغییرات گیاهی دوره ای بوده و افزایش قابل توجهی در پوشش گیاهی از ژوئن تا سپتامبر و کمترین مقدار نیز از نوامبر تا فوریه بعدی مشاهده می‌شود. تغییرات بارش نیز الگوی مشابهی داشته و همبستگی مثبت قوی‌ای میان بارش و NDVI وجود

1. Peng et al
2. Wang
3. Petorli et al
4. Zhang et al
5. Jin et al
6. Harris et al

7. Lu et al
8. Jafari et al
9. Feng et al
10. Xuefei et al

نشان دادند که درصد پوشش تاجی و تراکم گونه های گیاهی این منطقه، متفاوت و متأثر از خصوصیات فیزیوگرافی و عامل های خاک است. به طوریکه از بین عوامل فیزیوگرافی، جهت دامنه و شیب با پوشش تاجی و تراکم پوشش گیاهی رابطه قوی دارد. صالح پور و همکاران (۱۳۹۲)، با بررسی تغییرات تنوع زیستی گیاهی، تاج پوشش گیاهی و جامعه های گیاهی در طبقات ارتفاعی رشته کوه دنا نشان دادند که مهمترین عامل در میزان پوشش گیاهی منطقه، عامل ارتفاع است و عامل درصد شیب نیز در درجه دوم اهمیت قرار دارد. حسینی و فاطمی نیا (۱۴۰۰)، با پایش اقلیمی - ماهواره ای شاخص سطح برگ در استان همدان معتقدند که سال ۱۳۸۹ دارای بالاترین و سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷ دارای پایین ترین میزان سری زمانی در شاخص سطح برگ هستند. شریفی (۱۴۰۱)، بر این باور است که شاخص NDVI و میزان بارش با همدیگر ارتباط مستقیم و معناداری در استان همدان دارند. به طوری که؛ در سال های همراه با خشکسالی، دامنه این شاخص کاهش و در سال های ترسالی، افزایش داشته است. رحیمی و همکاران (۱۴۰۱)، با بررسی شاخص پوشش گیاهی در نجف آباد نشان دادند که بیشترین روند کاهش پوشش گیاهی در مناطق جنوب و جنوب شرقی به عنوان مناطق شهری رخ داده است، این روند می تواند نشان دهنده رشد بالای شهری و تغییر کاربری اراضی از پوشش گیاهی به ساخت و ساز در این شهرستان باشد.

حلییان و همکاران (۱۴۰۲)، نشان دادند که بیشینه تراکم پوشش گیاهی در زاگرس میانی در ماه های فروردین تا خرداد و کمینه آن در دی مشاهده می گردد. ارتفاعات زاگرس میانی در فصل بهار بالاترین نرخ شاخص پوشش گیاهی و در فصل زمستان، کمترین نرخ را نشان می دهند. بیشینه مقدار شاخص پوشش گیاهی در ارتفاع ۱۵۰۰ متر بروز می کند. شجاعی زاده و همکاران (۱۴۰۲)، با بررسی شاخص پوشش گیاهی و آتش سوزی در ایران معتقدند که تراکم پوشش گیاهی در شدت و گسترش آتش سوزی تأثیرگذار بوده و شرایط را برای گسترش آتش سوزی ها

دارد. بای (۲۰۲۱)، با استفاده از محصولات سری زمانی MODIS NDVI و EVI با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، نوسانات مکانی و زمانی گیاهان را در منطقه کوهستانی قینلینگ دابا ارزیابی نمودند و بر این باورند که افزایش های قابل توجهی هم در NDVI و EVI سالانه و فصلی مشاهده می شود و نرخ افزایش NDVI برای تمام مقیاس های زمانی به جز تابستان، بیشتر از EVI بوده است. لیو و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی به بررسی شاخص پوشش گیاهی و پاسخ آن به تنش های آبی پرداخته و معتقدند که مناطقی که رطوبت و پوشش گیاهی بالاتری دارند، پاسخ متناقضی نیز به تنش آبی نشان می دهند و با افزایش طوبت و پوشش گیاهی حساسیت آن ها به تنش آبی کاهش می یابد. لیو (۲۰۲۴)، به تحلیل شاخص پوشش گیاهی و خشکسالی در رودخانه زرد پرداخت و به این نتیجه رسید که ارتفاع زیاد و شیب تند، مقاومت پوشش گیاهی به خشکی را افزایش می دهد در حالی که پوشش گیاهی در مناطق دشتی، ظرفیت بازیابی قوی تری را پس از خشکسالی نشان می دهد. سان و همکاران (۲۰۲۴)، با بررسی آستانه های خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی معتقدند که شاخص پوشش گیاهی می تواند ارزیابی دقیقی از اثرات خشکسالی نشان دهد. همچنین می تواند به عنوان یک مرجع علمی در مدیریت موثر اقتصادی اکوسیستم های زمینی در نظر گرفته شود. زهانگ و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی تحت عنوان بررسی تغییرات پوشش گیاهی در حوزه فرغانه به این نتیجه رسیدند که دو عامل دما و بارش، مهم ترین عوامل اثرگذار بر شاخص پوشش گیاهی منطقه هستند.

در ایران نیز؛ شکراللهی و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی ارتباط پوشش تاجی و تراکم گیاهی با عوامل فیزیوگرافی در بخشی از مراتع ییلاقی پلور پرداختند و

1. Bai
2. Liu et al
3. Liu
4. Sun et al
5. Zhang et al

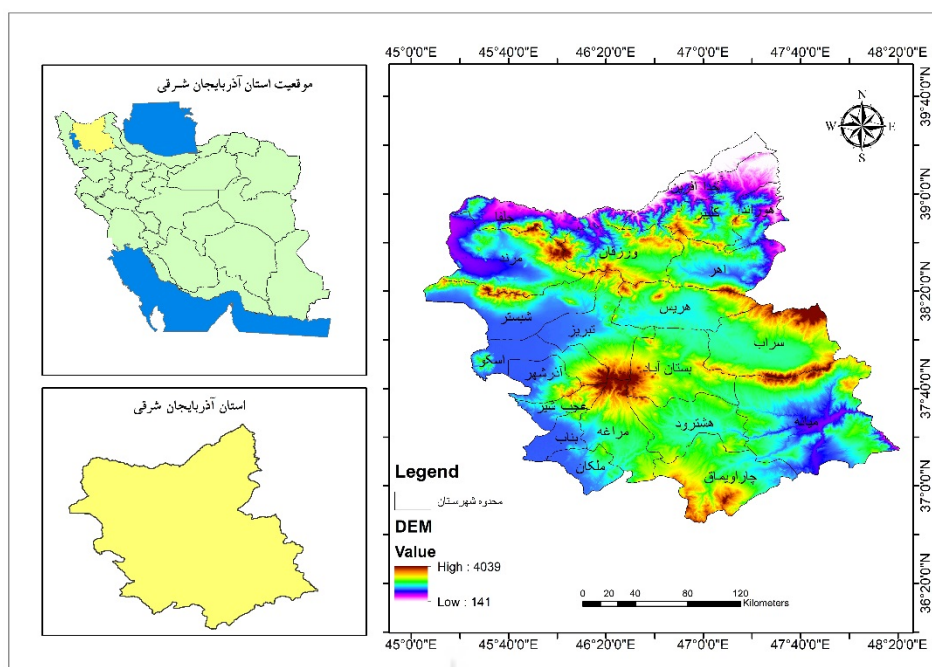
تحلیل مولفه‌های اصلی و همچنین توزیع نرمال (آزمون کولموگروف-اسمیرنف) استفاده شده است. این پژوهش نه تنها پاسخ به یک خلأ دانشی در مورد پوشش گیاهی منطقه آذربایجان شرقی است، بلکه با رویکرد ترکیبی و چندزمانه خود، الگویی برای پایش اکوسیستم‌های کوهستانی در شرایط تغییر اقلیم ارائه می‌دهد. نتایج آن هم در سطح علمی (توسعه روش‌شناسی) و هم در سطح عملی (مدیریت محیط زیست) قابلیت بهره‌برداری دارد. نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده از ترکیب چندین روش پیشرفته آماری و سنجش از دوری، تمرکز بر یک منطقه کوهستانی خاص، استفاده از بازه زمانی طولانی و ارائه تحلیل‌های زمانی-مکانی دقیق و کاربردی است. این پژوهش نه تنها به درک بهتر پویایی پوشش گیاهی در شمال غرب ایران کمک می‌کند، بلکه الگویی مناسب برای مطالعات مشابه در دیگر مناطق کوهستانی کشور نیز ارائه می‌دهد.

داده‌ها و روش‌شناسی

- **پهنه مورد بررسی:** استان آذربایجان شرقی در شمال غرب کشور واقع شده است. از نظر جغرافیایی در محدود ۴۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی، ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (پناهی و خرم-آبادی، ۱۳۹۸). آب‌وهوای این استان به‌طور کلی سرد و خشک است ولی به علت شرایط توپوگرافیکی خاصی که دارد، اقلیم گوناگونی تجربه می‌کند. از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز، حوضه‌های ارس، سفیدرود، قزل‌اوزن و دریاچه ارومیه پهنه استان را پوشش می‌دهند و بیشترین مساحت استان در محدوده حوضه دریاچه ارومیه قرار گرفته است (شکل ۱).

فراهم می‌سازد به گونه‌ای که مناطق بایر با پوشش گیاهی کم در مرکز، شرق و جنوب شرق ایران تقریباً بدون رخداد آتش‌سوزی و بیشینه رخداد آتش‌سوزی‌های فعال در شمال، غرب و شمال غرب ایران مشاهده شده است. سبحانی و ملانوری (۱۴۰۳)، نشان دادند که در ۳۱ سال اخیر، حدود ۱۲ کیلومتر از پوشش گیاهی شهرستان کوثر کاسته شده است. همچنین بین نقشه‌های دمای سطح زمین و پوشش گیاهی، همبستگی معنی داری وجود دارد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۴)، با بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی همدان بر این باورند که خشکسالی پوشش گیاهی استان همدان بر اساس داده‌های دورسنجی افزایش چشمگیری داشته است. ضرایب من‌کندال بیانگر وجود روندهای کاهشی پوشش گیاهی در سطح اطمینان معناداری ۹۵ ام است. همچنین واکاوی رفتار مکانی شاخص خشکسالی پوشش گیاهی نشان می‌دهد که ماه‌های فوریه، مارس و نیز آوریل در گستره استان همدان خشکسالی‌های شدیدتری تجربه شده است. اجتماعی (۱۴۰۴)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل شاخص پوشش گیاهی در شیراز بر این باورند که طی سال‌های اخیر، کاهش چشمگیری در میزان پوشش گیاهی و افزایش شدت خشکسالی در شیراز کاملاً مشهود است. این تغییرات منجر به کاهش منابع آبی، تخریب پوشش گیاهی و از بین رفتن تعادل اکوسیستم‌های محلی در روستاها و در نهایت افزایش مهاجرت به مناطق شهری شده است.

در پژوهش حاضر، جهت تحلیل مکانی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در استان آذربایجان شرقی از تصاویر سنجنده مودیس استفاده شد. برای نیل به این هدف از چهار روش شاخص تفاضل پوشش گیاهی، رگرسیون وزنی (تاثیر ارتفاع بر توزیع پوشش گیاهی)،



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی پهنه مورد بررسی

طیفی وسیع، تعدد باندهای موجود، پوشش زمانی و تفکیک مکانی مناسب استفاده شده است (عفیفی^۲، ۲۰۱۶).

لازم به ذکر است که برای استخراج الگوهای پوشش گیاهی، از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) استفاده شد. این شاخص به دلیل سادگی محاسبه، قابلیت مقایسه در بازه‌های زمانی طولانی و حساسیت مناسب به تغییرات فصلی پوشش سبز، به‌عنوان شاخص اصلی پوشش گیاهی معرفی می‌شود. همچنین با توجه به نایستایی فضایی (spatial non-stationarity) - یعنی تغییر ساختار روابط بین متغیرهای محیطی و پوشش گیاهی در نقاط مختلف منطقه - از مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) به‌جای روش‌های جهانی (مانند رگرسیون حداقل مربعات معمولی) استفاده شد. با تخمین ضرایب رگرسیونی به‌صورت محلی، امکان شناسایی تفاوت‌های اکولوژیکی و فیزیوگرافیک بین مناطق کوهستانی شمالی و دشت‌های خشک مرکزی و غربی استان را فراهم می‌شود. همچنین جهت استخراج الگوهای فصلی غالب پوشش گیاهی، از

داده‌ها: پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد که برای نیل به این هدف از نرم افزارهای ArcGis، Matlab، Minitab، استفاده شده است. در این پژوهش، ارزیابی تغییرات و طبقه بندی تراکم پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از فرآورده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس، شاخص پوشش گیاهی ۲۴ ساله از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۴ میلادی محاسبه شد. سنجنده مودیس یا اسپکترورادئومتر تصویربردار با قدرت تفکیک مکانی متوسط (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)، ابزاری است که بر روی ماهواره تِرا (Terra) در دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا در ماه می سال ۲۰۰۲ راه اندازی و نصب شده است. این سنجنده، داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور از خط استوا در حدود ساعت ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهوار ترا و ساعت ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند (لازرین و همکاران^۱، ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر نیز، از سنجنده مودیس به علت داشتن ویژگی‌هایی از قبیل میدان دید وسیع، محدوده

شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه خاک باشد نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است (آلیسون^۳، ۱۹۸۹). در این پژوهش، شاخص پوشش گیاهی برای تصاویر سنجنده‌های ماهواره‌ای پس از پیش‌پردازش شامل تصحیح هندسی و جوی محاسبه شد و برای ماه‌های دارای چندین تصویر، میانگین ماهانه شاخص در نظر گرفته شد.

- **تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA):** تحلیل مولفه‌های اصلی در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به طوری که بزرگترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و الی آخر. تحلیل مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار بگیرد و به صورت زیر تعریف می‌شود (تی پینگ و بیشاب^۴، ۱۹۹۹):

$$YT = XTW = V\Sigma$$

در معادله فوق؛ $V\Sigma WT$ تجزیه مقدرهای منفرد ماتریس XT می‌باشد. براساس تعریف ارائه شده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، هدف از این تحلیل انتقال مجموعه داده X با ابعاد به داده Y با ابعاد L است. بنابراین فرض بر این است که ماتریس X از بردارهای $X_1 \dots X_N$ تشکیل شده است که هر کدام به صورت ستونی در ماتریس قرار داده شده است. بنابراین باتوجه به ابعاد بردارها (M) ماتریس داده‌ها به صورت $M*N$ است. نتیجه میانگین تجربی، برداری است که به صورت زیر به دست می‌آید (ویدال و ساستری^۵، ۲۰۰۵):

$$u[m] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X[m, i]$$

سپس ماتریس فاصله تا میانگین به صورت زیر به دست می‌آید:

$$B = X - uh$$

که در آن؛ h برداری با اندازه $1*N$ با مقدار ۱ در هر کدام از درایه‌ها است. در مرحله بعد ماتریس کواریانس

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) بهره گرفته شد. این روش با کاهش ابعاد داده‌های ماهانه شاخص پوشش گیاهی و حفظ حداکثر واریانس آن، بهترین روش طبق‌بندی محسوب می‌شود. در نهایت، برای بررسی فرض نرمال بودن توزیع داده‌های پوشش گیاهی در هر ماه، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. این آزمون به دلیل کارایی بالا در نمونه‌های حجیم (مانند داده‌های پیکسلی مودیس با تعداد مشاهدات بالا)، گزینه مناسبی برای ارزیابی توزیع آماری در مقیاس منطقه‌ای محسوب می‌شود. نتایج این آزمون تعیین‌کننده بود که آیا استفاده از روش‌های آماری پارامتریک یا ناپارامتریک در مراحل بعدی تحلیل مناسب است یا خیر.

- روش شناسی

- **شاخص تفاضل پوشش گیاهی (NDVI):** این شاخص از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاهی است (کاسا^۱، ۱۹۹۰). فرآیند محاسباتی ساده‌ای دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها، دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد. این شاخص بیش‌ترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کم‌تری دارد. این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (کوگان^۲، ۱۹۹۳):

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

که در آن؛ NIR ، بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و RED ، انعکاس در باند سرخ است. اگرچه از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ می‌باشد ولی در عمل کم‌تر از ۱ و بیش‌تر از ۱- است. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد ۱ میل می‌کند ولی ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. سنگ‌ها و خاک‌های بایر که واکنش طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص؛ خاک معمولی، معادل یک منظور می‌شود. هر قدر فاصله

3. Allison

4. Tipping and Bishop

5. Vidal and Sastry

1. Kassa

2. Kogan

می‌شود. فرض صفر (نرمال بودن داده‌ها) وقتی رد می‌شود که مقدار D از یک مقدار بحرانی انتخاب شده معین، تجاوز کند (دم بالایی). این مقادیر بحرانی در جداول معینی ارائه شده است:

$$D^* = D(\sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n})$$

مقادیر بحرانی برای سطوح معنی‌داری ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به ترتیب ۰/۸۱۹، ۰/۸۹۵ و ۱/۰۳۵ هستند. کاربرد آزمون کلموگروف-اسمیرنوف تنها برای مواردی است که توزیع فرض آزمون کاملاً مشخص باشد، یعنی هیچ پارامتر مجهولی که نیاز به برآورد از روی نمونه داشته باشد، وجود نداشته باشد. در بقیه موارد این آزمون محافظه کار است.

یافته‌های پژوهش

شکل ۲، مراحل انجام پژوهش حاضر را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. بر این اساس، وضعیت پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی به شرح زیر ارائه شده است.

- بررسی وضعیت روند پوشش گیاهی در استان

آذربایجان شرقی با شاخص پوشش گیاهی

NDVI: شاخص پوشش گیاهی NDVI، یکی از کاربردی‌ترین شاخص پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات پژوهشگران گزارش شده است. ارزش عددی این شاخص بین +۱ و -۱ در نوسان است و ثابت شده که هر چه مقدار عددی این شاخص به سمت عدد +۱ نزدیک شود بر میزان و کیفیت پوشش گیاهی افزوده می‌شود. با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای وضعیت پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی در چند سال اخیر مشخص شد که مقدار این شاخص بین ۰/۰۷۶- تا ۰/۶۲ متناوب بوده است. بیشترین تراکم پوشش گیاهی در بخش‌های شمالی استان در منطقه ارسباران، دره ارس و شهر ورزقان، کوه‌های قازان‌داغی و قندرات‌باشی واقع شده است که پوشیده از درختان جنگلی و مراتع درجه یک کوهستانی است. بخش‌های اندکی نیز از سراب، مراغه، شبستر و مرند نیز در رتبه‌های بعدی قرار

C با ابعاد $M \times M$ به دست می‌آید. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس کواریانس، C نیز براساس رابطه زیر دست می‌آید (ویدمن^۱، ۱۹۹۹؛ کارگوپتا و همکاران^۲، ۲۰۰۱؛ جلیفی^۳، ۲۰۰۲):

$$V-ICV=D$$

V ماتریس بردارهای مقادیر ویژه و D ماتریس قطری است که درایه‌های قطر آن مقادیر ویژه هستند. آن چنان که مشخص است هر مقدار ویژه متناظر با یک بردار ویژه است. به این معنا که ماتریس V ماتریسی $M \times M$ است که ستون‌های آن بردارهای ویژه بوده و بردار ویژه Vq در ستون q قرار دارد و مقدار ویژه q یعنی درایه q و $q = Dq = \lambda q$ متناظر با آن است.

- **آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S):** آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یکی دیگر از آزمون‌هایی است که جهت سنجش تبعیت توزیع یک نمونه از توزیع خاص استفاده می‌شود. آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فرکانس‌های مورد انتظار و واقعی (به صورت قدرمطلق) اندازه‌گیری شده در دسته‌های مختلف می‌باشد:

$$D = \text{MAX}|F(X) - F^{\wedge}(X)|$$

که در آن؛ F فرکانس نسبی تجمعی واقعی و F^{\wedge} فرکانس نسبی تجمعی مورد انتظار است. این آزمون بر اساس حداکثر فاصله و اختلاف عمودی بین EDF و منحنی تابع توزیع تجمعی نرمال (وقتی فرض صفر این است که تابع توزیع تجمعی مربوط به توزیع نرمال است) طراحی شده است. ابتدا مقادیر نمونه را مرتب و سپس تعریف کرده است:

$$D^+ = \text{MAX}_{i=1, \dots, n} \left[\frac{i}{n} - P_{(i)} \right]$$

$$D^- = \text{max}_{i=1, \dots, N} \left[P_{(i)} - \frac{(i-1)}{n} \right]$$

$$D = \text{max}(D^+, D^-)$$

$$= \varphi \left(\frac{x_{(i)} - \bar{x}}{\sigma} \right)$$

D^+ و D^- به ترتیب، بزرگ‌ترین فاصله عمودی بالا و پایین منحنی تابع توزیع تجمعی نرمال هستند. آماره کلموگروف-اسمیرنوف را با نماد D نمایش داده

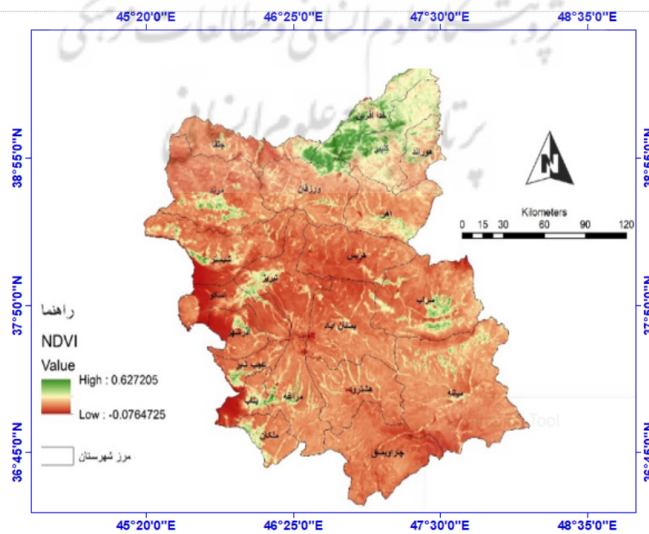
1. Widaman
2. Kargupta et al
3. Jolliffe

دارند. بخش‌های مرکزی این استان در مناطق کم‌ارتفاع و پست، پوشش گیاهی قابل توجهی ندارند (شکل ۳).

**تحلیل اقلیمی پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی شمال غرب ایران
(مورد: استان آذربایجان شرقی)**



شکل ۲: کارنمای کلی مراحل انجام پژوهش



شکل ۳: میانگین شاخص پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی در دوره مورد بررسی

- بررسی وضعیت روند پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی با رگرسیون وزن دار جغرافیایی: در این پژوهش جهت تحلیل بهتر رابطه ارتفاع و شاخص NDVI از روابط رگرسیونی ماهانه استفاده

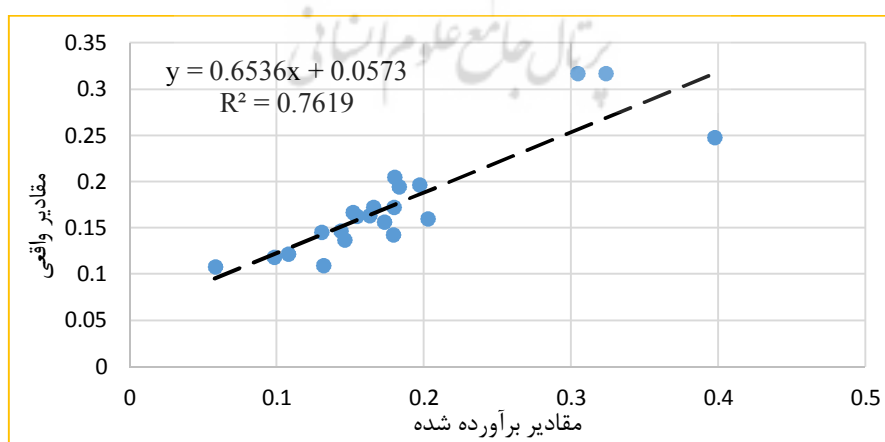
شد. نتایج حاکی از این است که این همبستگی در ابتدا و انتهای فصل رشد، کمترین میزان و در اواسط فصل رشد، بالاترین همبستگی را از آن خود کرده است (جدول ۱).

جدول ۱: روابط رگرسیونی ماهانه بین ارتفاع و شاخص NDVI در استان آذربایجان شرقی

ماه میلادی	ضریب تعیین	همبستگی	مدل رگرسیونی
ژنویه	۰/۱۳	۰/۲۳	$0.0628 \text{ NDVI} - 0.000019 \times (\text{High})$
فوریه	۰/۳۳	۰/۱۱	$0.1067 \text{ NDVI} - 0.000048 \times (\text{High})$
مارس	۰/۶۳	۰/۵۵	$0.1519 \text{ NDVI} - 0.000044 \times (\text{High})$
آوریل	۰/۵۱	۰/۴۷	$0.1242 \text{ NDVI} + 0.000019 \times (\text{High})$
می	۰/۶۳	۰/۵۸	$0.2372 \text{ NDVI} + 0.000011 \times (\text{High})$
ژوئن	۰/۷۰	۰/۵۰	$0.48747 \text{ NDVI} - 0.000010 \times (\text{High})$
جولای	۰/۶۵	۰/۷۸	$0.6155 \text{ NDVI} + 0.000002 \times (\text{High})$
اگوست	۰/۷۰	۰/۶۸	$0.51187 \text{ NDVI} + 0.000002 \times (\text{High})$
سپتامبر	۰/۳۳	۰/۴۸	$0.24996 \text{ NDVI} + 0.000001 \times (\text{High})$
اکتبر	۰/۱۱	۰/۲۴	$0.09850 \text{ NDVI} + 0.000004 \times (\text{High})$
نوامبر	۰/۲۸	۰/۳۳	$0.1057 \text{ NDVI} - 0.000011 \times (\text{High})$
دسامبر	۰/۱۳	۰/۱۸	$0.0697 \text{ NDVI} - 0.000011 \times (\text{High})$

شکل ۴، نمودار برازش بین مقادیر مشاهده شده بارش و مقادیر تخمین زده پوشش گیاهی با استفاده از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی را نشان می‌دهد. ضریب تعیین در این رابطه، ۷۶ درصد برآورد شده است. یعنی اینکه مدل مزبور توانسته ۷۶ درصد از ارتباطات موجود را تبیین کند و نسبت بالای این ضریب از

کفایت و مناسب بودن مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در پیش بینی پوشش گیاهی سالانه خبر می‌دهد. به عبارتی دیگر، این میزان رابطه و نزدیک بودن میزان مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی نشان از وجود خودهمبستگی فضایی در مقادیر باقی مانده مدل رگرسیون وزن دار دارد.

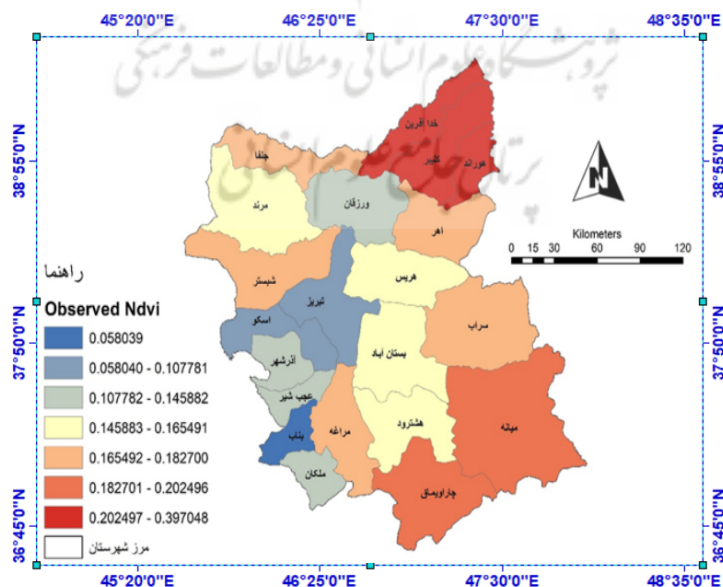


شکل ۴: پراکنش نگار مقادیر واقعی و برآورد شده پوشش گیاهی سالانه در رگرسیون موزون جغرافیایی

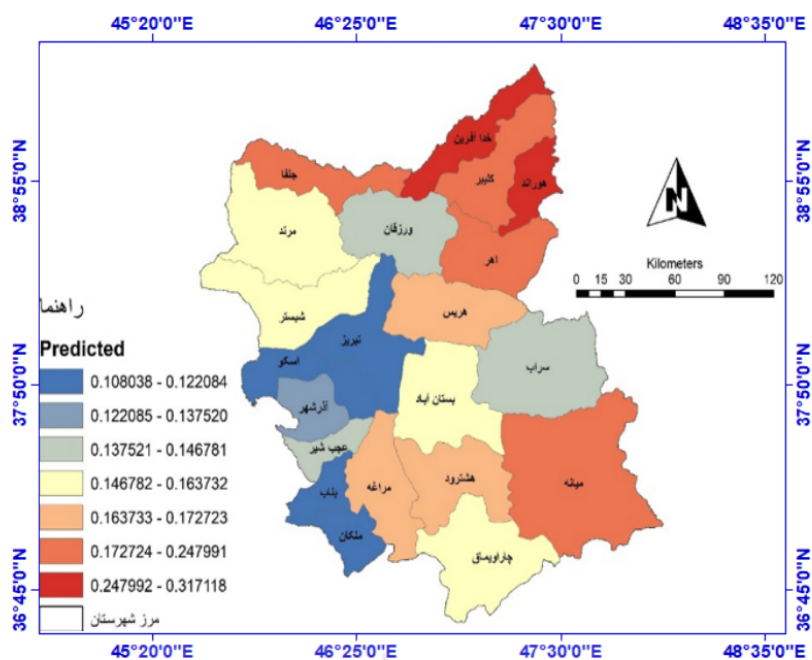
آبی، توسعه شهری گسترده، و استفاده از اراضی برای کشاورزی صنعتی و صنعت است. همچنین، منطقه جنوب غربی به ویژه در اطراف شهرستان های مراغه و ملکان نیز با میزان پوشش گیاهی پایین تری همراه است که نشان دهنده شرایط اقلیمی خشک تر و کم بارش تر این مناطق است.

به طور کلی نتایج حاصل از مدل رگرسیون موزون جغرافیایی نشان می دهد که عوامل مکانی و توپوگرافی از جمله ارتفاع، شیب، جهت شیب، و فاصله از منابع آب، نقش تعیین کننده ای در تغییرات فضایی پوشش گیاهی دارند. این مدل با در نظر گرفتن همبستگی موضعی بین متغیرهای مستقل و وابسته، توانسته است اثرات این عوامل را مدل سازی کند. به عبارت دیگر، نقش عوامل محیطی و زمین شناسی در مناطق پرتراکم و با تنوع اکولوژیکی بالا (مانند شمال شرق) قوی تر و برجسته تر است، در حالی که در مناطق دشتی و شهری (مانند غرب استان)، اثرات انسانی و توسعه شهری بر پوشش گیاهی غالب تر است. بنابراین، این مدل نه تنها قادر به باز تولید الگوهای فضایی پوشش گیاهی است، بلکه می تواند علل فضایی محیطی این الگوها را نیز شناسایی و تفسیر کند که این ویژگی، آن را به ابزاری قدرتمند برای برنامه ریزی محیطی و مدیریت منابع طبیعی در سطح استان تبدیل می کند.

شکل های ۴ و ۵ به ترتیب، نقشه های پوشش گیاهی واقعی و پوشش گیاهی پیش بینی شده با استفاده از مدل رگرسیون موزون جغرافیایی را در سطح استان آذربایجان شرقی نمایش می دهند. مقایسه این دو نقشه نشان می دهد که مدل رگرسیون موزون جغرافیایی توانسته است الگوهای فضایی پوشش گیاهی را با دقت قابل قبولی باز تولید کند، به طوری که همبستگی بالایی بین الگوهای واقعی و پیش بینی شده به ویژه در مناطقی با تغییرات شدید توپوگرافی و اقلیمی برقرار است. همانطور که مشاهده می شود بخش هایی از شمال شرق استان در شهرستان های خداآفرین، هوراند و کلیبر دارای بالاترین میزان پوشش گیاهی در این استان هستند. این وضعیت می تواند ناشی از ارتفاعات بالا، بارش های فصلی بیشتر و وجود پوشش گیاهی کوهستانی باشد که در این مناطق غالب است. بخش هایی از جنوب و جنوب شرق در مناطقی از میانه و چارویماق در رتبه دوم قرار می گیرند. این مناطق، با وجود شرایط خشک تر نسبت به شمال شرق، به دلیل وجود منابع آبی محلی و اراضی کشاورزی، پوشش گیاهی متوسطی را نشان می دهند. در مقابل نیمه غربی استان در شهرهای تبریز، اسکو و بناب کمترین میزان پوشش گیاهی را ثبت کرده اند. این امر به دلیل محدودیت های



شکل ۴: پوشش گیاهی مشاهده شده (واقعی) به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی



شکل ۵: پوشش گیاهی بر آورد شده به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی

شود. ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر در گونه اول با تراکم شدید پوشش گیاهی، گونه دوم با توزیع تراکم متوسط شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و می می‌باشد و همچنین گونه سوم با پوشش گیاهی ضعیف نیز در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر قرار می‌گیرد. با شروع فصل پاییز (اکتبر، نوامبر و دسامبر) پوشش گیاهی منطقه خزان می‌کند و علاوه بر اینکه سطح خاک خالی از گیاه شده، باعث ایجاد فرسایش بادی و آبی نیز خواهد شد.

بنابراین با توجه به اینکه بیشترین تراکم پوشش گیاهی در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر تشخیص داده شد لذا نقشه‌های تغییرات شاخص NDVI در این ماه‌ها ترسیم شد (شکل ۷ تا ۱۰). نتایج بررسی نشان داد که میزان پراکنش پوشش گیاهی در ماه ژوئن (۰/۱۰۲ - تا ۰/۸۸)، جولای (۰/۱۱۷ تا ۰/۸۷) و ماه آگوست (۰/۱۲۲ - تا ۰/۸۴) است و کمترین آن نیز در ماه سپتامبر (۰/۱۰ - تا ۰/۷۸) ثبت شده است. از بین ماه‌های فوق، ماه ژوئن بیشترین تراکم پوشش گیاهی را در این استان در طول دوره بررسی داشته است. از ماه آگوست به تدریج مقادیر شاخص NDVI کاهش می‌یابد.

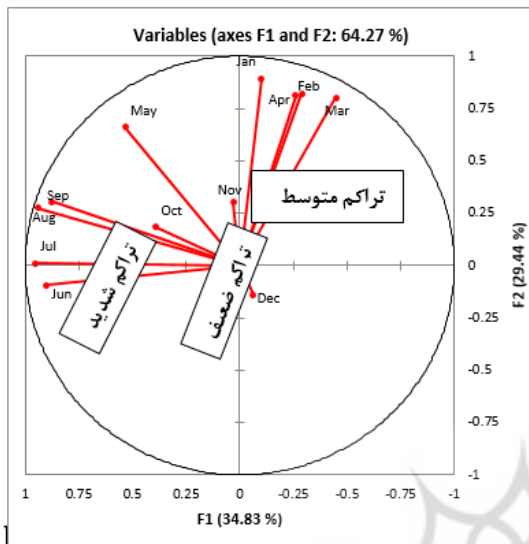
- پراکنش شاخص پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی با تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA): شاخص پوشش گیاهی به کمک روش تحلیل مولفه‌های اصلی به ۴ مولفه کاهش و با استفاده از چرخش واریماکس چرخش داده شد. جدول (۲)، درصد تغییرات تبیین شده مولفه‌ها را نشان می‌دهد. توزیع و تراکم پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی متأثر از چهار مولفه است که عامل اول و دوم به تنهایی ۶۷/۲۷ درصد رفتار پوشش گیاهی را در پهنه مورد بررسی تبیین می‌کنند. بیشترین تراکم پوشش گیاهی در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر است که بیشترین بار عاملی را فراهم کرده و بیشترین مقدار واریانس ویژه را به خود اختصاص داده است (جدول ۳). نمودار سنگی حاصل از تحلیل مولفه اصلی (شکل ۶)، پراکنش پوشش گیاهی ماهانه پهنه مورد بررسی در موقعیت مکانی را نشان می‌دهد و بر این اساس تفسیر می‌شود؛ الف) ماه‌های که در کنار هم قرار دارند از پراکنش پوشش گیاهی بسیار به هم شبیه هستند. بر عکس ماه‌هایی که از هم فاصله دارند همبستگی منفی داشته و باهم اختلاف زیادی دارند. در این نمودار، سه منطقه مجزا از توزیع و تراکم پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی تفکیک می‌-

جدول ۲: درصد تغییرات تبیین شده مولفه‌ها

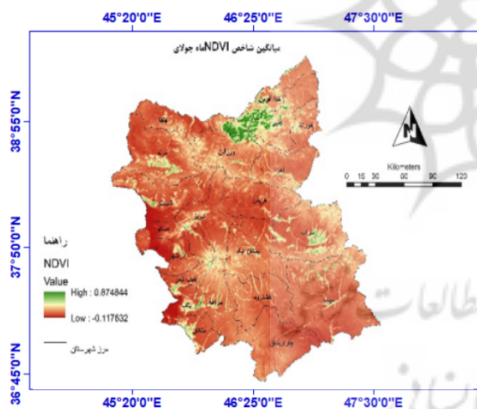
F4	F3	F2	F1	آماره
0.78	2.07	3.53	4.18	Eigenvalue
6.52	17.26	29.44	34.83	Variability (%)
88.05	81.53	64.27	34.83	Cumulative%

جدول ۳: توزیع میزان همبستگی در مولفه‌های مورد نظر

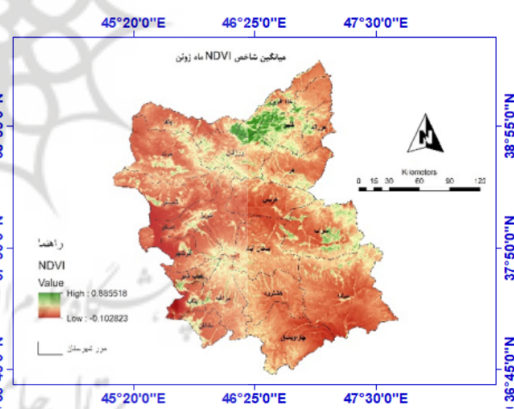
F4	F3	F2	F1	ماه
0.01	0.02	0.80	0.01	Jan
0.09	0.09	0.66	0.07	Feb
0.00	0.00	0.64	0.20	Mar
0.18	0.02	0.67	0.08	Apr
0.13	0.02	0.44	0.29	May
0.02	0.12	0.01	0.81	Jun
0.00	0.05	0.00	0.91	Jul
0.00	0.00	0.07	0.89	Aug
0.01	0.10	0.09	0.76	Sep
0.17	0.56	0.03	0.15	Oct
0.00	0.55	0.09	0.00	Nov
0.17	0.55	0.02	0.00	Dec



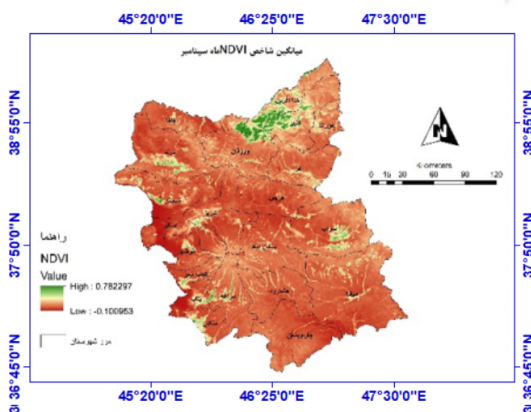
شکل ۶: نمودار سنگی پراکنش ماهانه پوشش گیاهی به روش تحلیل عاملی



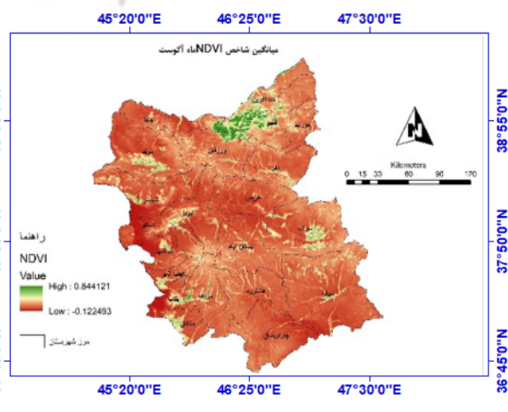
شکل ۸: میانگین شاخص پوشش گیاهی در ماه جولای



شکل ۷: میانگین شاخص پوشش گیاهی در ماه ژوئن



شکل ۱۰: میانگین شاخص پوشش گیاهی در ماه سپتامبر



شکل ۹: میانگین شاخص پوشش گیاهی در ماه آگوست

سطح استان دارای یکنواختی نسبی و پراکندگی متقارن است. به‌طور خاص، در ماه ژوئن که مصادف با اوج فصل رویشی است؛ مقدار P-Value برابر با 0.844 و آماره K برابر با 0.12 نشان‌دهنده همخوانی بالای توزیع پوشش گیاهی با توزیع نرمال است. این وضعیت نشان‌دهنده گسترش وسیع و همگن پوشش گیاهی در سطح استان است که احتمالاً ناشی از رویش همزمان و گسترده محصولات کشاورزی بهاره (مانند گندم و جو) در دشت‌های مرکزی و غربی استان است. در این ماه، تنوع اقلیمی و توپوگرافیک منطقه به‌دلیل گسترش یکسان کشت‌ها، کمتر تأثیرگذار بوده و الگوی فضایی پوشش گیاهی به‌صورت نسبتاً یکنواخت ظاهر می‌شود. در ماه جولای، با وجود کاهش نسبی رطوبت و افزایش دما، توزیع پوشش گیاهی همچنان نرمال باقی می‌ماند. این ثبات نسبی، نشانه‌ای از ادامه فعالیت گیاهی در مناطق آبیاری شده و همچنین حفظ پوشش طبیعی در مناطق کوهستانی شمالی است که تحت تأثیر کمتری از خشکسالی فصلی قرار دارند. در ماه آگوست، با ادامه گرمای فصل تابستان، توزیع پوشش گیاهی همچنان نرمال باقی می‌ماند اما با افزایش آماره K، نشانه‌ای از آغاز تغییرات آرام در الگوی پوشش گیاهی وجود دارد که می‌تواند نشانه‌ای از شروع خشکی نسبی در مناطق دشتی و همزمان حفاظت از پوشش در ارتفاعات باشد. در مقابل، در ماه سپتامبر، مقدار P-Value برابر با 0.028 (کمتر از ۰,۰۵) و آماره K برابر با 0.287، منجر به رد فرض صفر (H_0) و پذیرش فرض جایگزین (H_1) می‌شود. این یافته نشان‌دهنده ناهمگونی شدید و غیرنرمال بودن توزیع پوشش گیاهی در این ماه است. این ناهمگونی، نشانه‌ای از شروع فاز انتقالی فصلی است که شامل زردشدن و خشک شدن گیاهان کشاورزی، کاهش پوشش گیاهی در مناطق خشک و تفاوت‌های برجسته‌تر بین مناطق کوهستانی و دشتی می‌شود. این وضعیت، بازتابی از تنوع اکولوژیکی منطقه و تأثیر عوامل فصلی و اقلیمی بر پوشش گیاهی است.

- تحلیل شاخص پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S): نتایج محاسبه آماره پوشش گیاهی (جدول ۴) نشان می‌دهد که بین ماه‌های مختلف سال، روابط قوی و معنی‌داری از لحاظ تغییرات پوشش گیاهی وجود دارد. این همبستگی‌ها نشان‌دهنده پیوستگی فنولوژیکی و اقلیمی در روند رشد و خشک شدن پوشش گیاهی در طول فصل رویشی است. همبستگی بین ژوئن و جولای $r = 0.905$ و جولای و آگوست $r = 0.896$ بسیار بالا است که نشان‌دهنده پیوستگی قوی در روند رشد گیاهی در اوج فصل رویشی است. این موضوع حاکی از آن است که افزایش پوشش گیاهی در ژوئن، به‌صورت مستقیم و قابل پیش‌بینی، در ماه‌های بعدی (جولای و آگوست) ادامه می‌یابد که ناشی از رویش همزمان محصولات کشاورزی و حفظ رطوبت در مناطق آبیاری شده است. همبستگی بین آگوست و سپتامبر ($r = 0.495$) به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است که نشان از شکستن الگوی فنولوژیکی و آغاز تغییرات فصلی است. این کاهش همبستگی، بازتابی از شروع خشکسالی، زردشدن گیاهان کشاورزی و کاهش پوشش گیاهی در مناطق خشک است. کمترین همبستگی ($r = 0.214$) بین جولای و سپتامبر مشاهده شده است که نشان‌دهنده تفاوت شدید در وضعیت پوشش گیاهی بین اوج فصل رویشی (جولای) و آغاز فصل خشکی (سپتامبر) است. این مقدار پایین همبستگی، نشانه‌ای از ناپایداری فصلی و تنوع اکولوژیکی منطقه است.

همچنین تحلیل توزیع آماره شاخص پوشش گیاهی با استفاده از آزمون غیرپارامتریک کولموگروف-اسمیرنوف (جدول ۵) نشان داد که در سه ماه ژوئن، جولای و آگوست، فرض صفر (H_0) که بیانگر همخوانی توزیع مقادیر پوشش گیاهی با توزیع نرمال است که در سطح معناداری $\alpha = 0.05$ پذیرفته شده است و حاکی از این است که در این ماه‌ها، توزیع پوشش گیاهی در

جدول ۴: ماتریس مقدار ضریب همبستگی تراکم شدید پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی

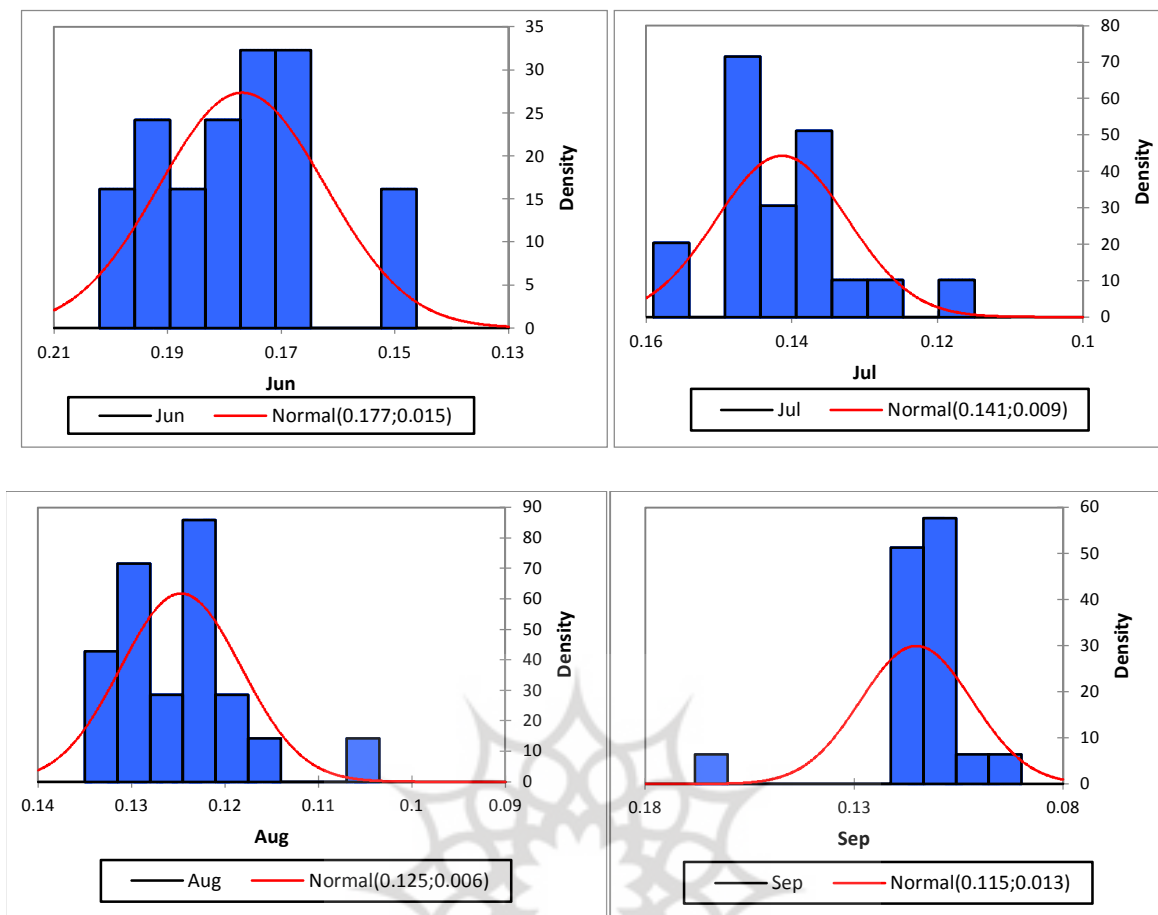
ماه	Jun	Jul	Aug	Sep
Jun	1	0.905	0.824	0.463
Jul	0.905	1	0.896	0.214
Aug	0.824	0.896	1	0.495
Sep	0.463	0.214	0.495	1

جدول ۵: مقادیر آماره آزمون کولموگروف-اسمیرنف تراکم شدید پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی

ماه	P-Value	K	میانگین	شیب تغییرات	فرض پذیرفته شده
Jun	۰/۸۴۴	۰/۱۳۰	۰/۱۷۷	۰/۰۱۵	H1
Jul	۰/۵۹۳	۰/۱۶۵	۰/۱۴۱	۰/۰۰	H1
Aug	۰/۶۵۲	۰/۱۵۷	۰/۱۲۵	۰/۰۰	H1
Sep	۰/۰۳۶	۰/۳۰۷	۰/۱۱۵	۰/۰۱	H0

همان‌طور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود، خط قرمز نمودارها نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی مقادیر پوشش گیاهی و خطوط آبی نیز نشان‌دهنده تابع توزیع تجمعی مقادیر پوشش گیاهی در زمان بالاترین تراکم می‌باشد. به عبارتی دیگر در صورتی که تابع توزیع تجمعی تجربی برازش یافته بر مقادیر پوشش گیاهی باهم نزدیک باشد، ماهواره مقادیر پوشش گیاهی را درست پیش‌بینی کرده است. هدف اصلی این مقایسه، بررسی میزان انطباق توزیع واقعی مقادیر شاخص پوشش گیاهی با توزیع نرمال است که از طریق آزمون غیرپارامتریک کولموگروف-اسمیرنف مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نمودارهای تابع توزیع تجمعی نیز ماه‌های ژوئن (۰/۸۴۴)، جولای (۰/۵۹۳) و آگوست (۰/۶۵۲) که فرض صفر در آن رد شده است، اختلاف ناچیز می‌باشد که نشان‌دهنده انطباق بالای توزیع داده‌های ماهواره‌ای با توزیع نرمال است. این یافته حاکی از آن است که در این دوره از سال که مصادف با اوج فصل رویشی است، پوشش گیاهی در سطح استان به صورت یکنواخت، متقارن و بدون ناهمگونی شدید توزیع شده است. این الگو، احتمالاً ناشی از گسترش گسترده و همزمان

کشت‌های کشاورزی بهاره (مانند گندم و جو) در دشت‌های مرکزی و غربی استان، همراه با فعالیت پوشش طبیعی در مناطق کوهستانی شمالی است که تحت تأثیر کمتری از خشکسالی قرار دارند. برعکس در ماه سپتامبر که فرض صفر پذیرفته شده، اختلاف زیاد است. این اختلاف، نشانه‌ای از ناهمگونی شدید و غیریکنواختی در پوشش گیاهی است — که احتمالاً ناشی از شروع فاز خشکسالی، زردشدن و خشک شدن گیاهان کشاورزی، و افزایش تنوع اکولوژیکی بین مناطق کوهستانی (با پوشش باقی‌مانده) و دشتی (با پوشش کاهش‌یافته) است. این وضعیت، بازتابی از انتقال از فصل رویشی به فصل خشکی و تأثیر عوامل اقلیمی و انسانی بر پوشش گیاهی در منطقه است. بنابراین پوشش گیاهی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست، دارای توزیع نرمال و در ماه سپتامبر پوشش گیاهی دارای توزیع غیرنرمال می‌باشد. به طور کلی؛ نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های دیگر پژوهشگران مانند فنگ و همکاران (۲۰۲۱)؛ خوفی و همکاران (۲۰۲۱)؛ بای (۲۰۲۱)؛ شریفی (۱۴۰۱) و حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۴) انطباق دارد.



شکل ۱۱: تابع توزیع تجربی آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برازش یافته بر تراکم شدید پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر جهت ارزیابی پراکنش زمانی- مکانی شاخص پوشش گیاهی در استان آذربایجان شرقی از روش پایش تفاضل NDVI، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (تاثیر ارتفاع بر توزیع پوشش گیاهی)، تحلیل مولفه اصلی (PCA) و همچنین توزیع نرمال (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) استفاده شد. نتایج حاکی از این است که مقدار شاخص NDVI در استان آذربایجان شرقی بین ۰/۰۷۶- تا ۰/۶۲ متناوب است. بیشترین تراکم پوشش گیاهی در بخش‌های شمالی استان در منطقه ارسباران، دره ارس و شهر ورزقان، کوه‌های قازان‌داغی و قندراتباشی واقع شده است که پوشیده از درختان جنگلی و مراتع کوهستانی است. بخش‌های غربی و مرکزی استان نیز دارای پوشش گیاهی اندک هستند. همچنین ضریب تعیین

در رابطه رگرسیونی جغرافیایی، ۷۶ درصد برآوردشده است و مدل مزبور توانسته ۷۶ درصد از ارتباطات موجود را تبیین کند و نسبت بالای این ضریب از کفایت و مناسب بودن مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در پیش‌بینی پوشش گیاهی استان خبر می‌دهد. نتایج تحلیل مولفه اصلی نیز حاکی از این است که مدل‌های برآوردی، ۹۳/۴۹ درصد از واریانس پراکنش پوشش گیاهی استان را با دقت بالا تبیین می‌کند. به طوری که؛ ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر به عنوان گونه با تراکم بالای پوشش گیاهی؛ ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و می با گونه تراکم متوسط و ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در گونه پوشش گیاهی اندک و ضعیف قرار می‌گیرند. در این میان، ماه ژوئن بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی را در این استان به خود اختصاص داده است که به دلیل اوج گستره

عنوان یک عامل مهم اقلیمی در سناریوهای تغییر اقلیم، از طریق رویکرد ترکیبی مانند بررسی همزمان نقشه‌های ماهواره‌ای و روش‌های پیشرفته زمین-آماری استفاده کنند تا نتایج قابل اعتمادتر و موثق‌تری مخصوصاً در مناطق کوهستانی که ایستگاه‌های هواشناسی کم و دور از دسترس هستند حاصل شود. ثانیاً، بازه زمانی جهت تحلیل پوشش گیاهی، بلندمدت انتخاب شود تا قابلیت مقایسه میزان نرخ کاهشی یا افزایشی پوشش گیاهی در دوره‌های مختلف فراهم باشد.

پوشش گیاهی در باغات و مزارع استان در این ماه و افزایش کشت بهاره است. همچنین نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف حاکی از این است که ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست پوشش گیاهی استان آذربایجان شرقی دارای توزیع نرمال و در ماه سپتامبر، پوشش گیاهی دارای توزیع غیرنرمال می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود که اولاً، پژوهشگران حوضه آب و هواشناختی جهت پایش و رصد پوشش گیاهی به

منابع

- اجتماعی، بابک. ۱۴۰۴. پایش خشکسالی بر اساس شاخص NDVI و تأثیرات آن بر روستاهای شهرستان شیراز، مجله مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۴۵، ۱۱۲-۹۵.
- امیری، فاضل؛ یگانه، حسن. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های گیاهی برای تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی در اراضی نیمه خشک بخش مرکزی ایران (حوزه آبخیز قره‌آقاج). نشریه مرتع و آبخیزداری، شماره ۲، ۱۷۵-۱۸۹.
- پناهی، علی؛ خرم‌آبادی، فرحناز. ۱۳۹۸. ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی، نشریه دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، شماره ۲، ۱۴۰-۱۶۲.
- تمرناش، رضا؛ جعفری، محمد؛ حیدری شریف‌آباد، حسین؛ زاهدی‌امیری، قوام‌الدین. ۱۳۹۲. تعیین رابطه عناصر تغذیه‌ای در برخی گونه‌های مرتعی و خاک اکوسیستم‌های مرتعی منطقه طالقان، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، شماره ۳، ۱۵-۳۰.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ حسینی، سید محمد؛ کربلایی درئی، علیرضا؛ لایقی، شکوفه. ۱۴۰۴. پهنه‌بندی اثر خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی همدان در سه دهه اخیر با استفاده از مدل TCI، مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۷۷، ۵۹-۴۴.
- حسینی، سید محمد؛ فاطمی‌نیا، فخری‌سادات. ۱۴۰۰. پایش اقلیمی- ماهواره‌ای شاخص سطح برگ در استان همدان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۶۱، ۲۷۷-۲۵۹.
- حلبیان، امیرحسین؛ شامی، علی اکبر؛ نوربخش، سیدعطاالله. ۱۴۰۲. واکاوی ارتباط وردش‌های فضایی- زمانی پوشش گیاهی با سنجه‌های توپوگرافیک در زاگرس میانی، مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، شماره ۱۳، ۱۹۱-۲۰۵.
- رحیمی، حمزه؛ نوری زمان آبادی، سید هدایت الله، مسعودیان، سید ابوالفضل. ۱۴۰۱. پایش روند تغییرات پوشش گیاهی در شهرستان نجف آباد، فصلنامه ضای جغرافیایی، شماره ۸۰، ۸۵-۶۷.
- سبحانی، بهروز؛ ملانوری، الهام. ۱۴۰۳. بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و ارتباط آن با دمای سطح زمین (مطالعه موردی: شهرستان کوثر)، مطالعات علوم محیط زیست، شماره ۳، ۸۸۵۱-۸۸۴۱.
- شجاعی زاده، کبری؛ احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی. ۱۴۰۲. ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی با رخداد آتش سوزی در نواحی رویشی ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴۸، ۱۱۶-۹۹.
- شریفی، ویدا. ۱۴۰۱. تحلیل اثر خشکسالی بر پارامترهای فنولوژی شاخص‌های گیاهی از سری زمانی تصاویر سنجنده MODIS (مورد مطالعاتی: استان همدان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته نقشه برداری، گرایش سنجش از دور، دانشکده مهندسی گروه عمران، دانشگاه کردستان.
- شکراللهی، شکوفه؛ مرادی، حمیدرضا؛ دیانتی تیلکی، قاسمعلی. ۱۳۹۱. بررسی اثر ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: بخشی از مراتع بیلاقی پلور)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱۹، ۶۵۵-۶۶۸.
- صالح پور، زینب؛ جعفری کوخدان، عزیزاله؛ علیرضائزاد، علی. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با عوامل فیزیوگرافی رشته کوه دنا. فیزیولوژی محیطی گیاهی، شماره ۸، ۲۸-۳۷.
- مقدم، محمدرضا. ۱۳۸۸. مرتع و مرتعداری، چاپ ۶، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۱۵. میراحسنی، مرضیه سادات؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ سفاینان، علیرضا؛ محمدی، جهانگیر؛ مدرس، رضا؛ جعفری، رضا؛ پورمنافی، سعید. ۱۳۹۸. ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سری زمانی و آزمون من-کندال در حوضه آبخیز گاوخونی، محیط‌شناسی، شماره ۱، ۹۹-۱۱۴.
۱۶. ناطقی، سعیده؛ نوحه‌گر، احمد؛ احسانی، امیر هوشنگ؛ بذرافشان، ام‌البنین. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی براساس شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجش از دور، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲۴، ۷۷۸-۷۹۰.
17. Afifi, M. I., 2016. Monitoring particulate matter using multi-spectral images of Modis satellite in the southwest of Iran, *Geography Quarterly*. 55:184-194.
18. Allison, E. W. 1989. Monitoring drought affected vegetation with AVHRR Digest International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4:1965-1967
19. Feng, J., Dong, B., Qin, T., Liu, S., Zhang, J., Gong, X., 2021. Temporal and Spatial Variation Characteristics of NDVI and Its Relationship with Environmental Factors in Huangshui River Basin from 2000 to 2018. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(4): 3043-3063.
20. Harris, A., Carr, A.S., Dash, J., 2014. Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 28: 131-139
21. Hassani H., Silva E. S., 2015. A Kolmogorov-Smirnov based test for comparing the predictive accuracy of two sets of forecasts. *Econometrics*, 3: 590-609.
22. Jafari, R. M., M. Lewis., Ostendorf, B., 2007. Evaluation of vegetation indices for assessing vegetation cover in southern arid lands in South Australia. *The Journal of Rangeland*, 29: 39-49
23. Jin, S., Yang, L., Zhu, Z., Homer, C., 2017. A land cover change detection and classification protocol for updating Alaska NLCD 2001 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 195: 44-55.
24. Jolliffe, I. T., 2002. *Principal Component Analysis*, second Edition, Springer.
25. Kargupta. H, Huang. W. Y, Sivakumar. K., E. Johnson., 2001. Distributed Clustering Using Collective Principal Component Analysis, *Knowl. Inf. Syst*, 3 (4): 422-448.
26. Kogan, F. N., 1993. United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1:197-199.
27. Kolmogorov, A., 1933. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, 4: 83-91
28. Lazzarini, M., Marpu, P. R., Ghedira, H., 2013. Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, 130: 136-152.
29. Liu, Q.Yao, F.Garcia-Garcia, A.Zhang, J. Li, J.Ma, S. Peng, J. (2023). The response and sensitivity of global vegetation to water stress: A comparison of different satellite-based NDVI products. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 120, 103341.
30. Liu, W (2024). The Response of NDVI to Drought at Different Temporal Scales in the Yellow River Basin from 2003 to 2020. *Water*, 16(17), 2416.
31. Lu, D, Mausel, P, Brondi'zio, E., Moran, E., 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 2365-2407
32. Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Wu, J., Han, Y., 2012. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. *Ecological Indicators*, 14(1): 28-39.
33. Pettorelli, N., Vik, 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. *Journal Trends in ecology and evolution*, 9(20): 503-510.
34. Sun, M. Li, X.Xu, H. Wang, K. Anniwaer, N. Hong, S. (2024). Drought thresholds that impact vegetation reveal the divergent responses of vegetation growth to drought across China. *Global Change Biology*, 30(1), e16998.

35. Tipping. M. E., C. M. Bishop., 2008, Probabilistic principal component analysis, Technical Report NCRG /97/010, Microsoft Research.
36. Vidal. R, Y. Ma., Sastry. S. Vidal, Y. Ma, and S. Sastry., 2003. Generalized principal component analysis (GPCA), In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, I: 621-628.
37. Wang, X., 1997. Multivariate analysis of desert in Anxi. Acta Botanica Sinica, 39 (5): 461-466.
38. Widaman, K. F., 1990. Bias in Pattern Loadings Represented by Common Factor - Analysis and Component Analysis, Multivariate Behavioral Research, 25 (1): 89 -95.
39. Xuefei, LiuJie, Dong, G., Han, X., 2021. Spatial-temporal variation of NDVI and its responses to precipitation in the upper of Heihe from 2000 to 2019. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 783(1): 012148.
40. Zhang, H. Li, L. Zhao, X. Chen, F. Wei, J. Feng, Z. Hu, M. (2024). Changes in Vegetation NDVI and Its Response to Climate Change and Human Activities in the Ferghana Basin from 1982 to 2015. Remote Sensing, 16(7), 1296.
41. Zhang, Q., Kong, D., Singh, V. P., Shi, P., 2017. Response of vegetation to different timescales drought across China: spatiotemporal patterns, causes and implications, Glob. Planet. Chang, 152: 1-11.

