

Original Article



Evaluating the Effects of Rangeland Restoration on Vegetation Cover Using Remote Sensing Indices (Case Study: Kiasar, Sari)

Received: 2025.06.12
Accepted: 2025.12.04

Mohammad Gholipour Soloshi¹, Ghasem Ali Dianati Tilaki^{1*} ,
Mohammad Tavosi², Sara Khoshdel Vajary¹

¹ Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Proper rangeland management is crucial for maintaining the sustainability of rangeland ecosystems and preserving vegetation cover. Recently, climate change, overgrazing, and poor management practices have caused both quantitative and qualitative declines in vegetation across many of the country's rangelands. However, due to the vast size of these areas and the limited resources for field monitoring, remote sensing (RS) technology has become an attractive alternative as an accurate and cost-effective tool for tracking vegetation health and assessing treatment impacts. This study was conducted to evaluate how different rangeland management treatments influence vegetation indices through satellite imagery.

Material and methods: This study involved three rangeland management treatments in Chahardangeh, Mazandaran Province: (1) exclusion with restoration, (2) exclusion without restoration, and (3) open grazing. Data were collected monthly from Sentinel-2 satellite imagery from 2019 to 2024. The assessed vegetation indices included *NDVI*, *GNDVI*, *SAVI*, *MSAVI*, *EVI*, *LAI*, and *ARVI*, all derived using Google Earth Engine. With three sites over six years (72 months), a total of 216 samples were gathered. One-way ANOVA was employed to analyze differences in vegetation indices across treatments.

Results and discussion: The statistical analysis of vegetation indices revealed significant differences ($p < 0.05$) among various management treatments in most indices. The open grazing treatment showed the lowest vegetation index values compared to the other two treatments. Conversely, the exclusion combined with restoration measures resulted in the highest values across most indices. *SAVI*, specifically designed for assessing vegetation in arid and semi-arid regions, peaked at 0.19 in the exclusion with restoration treatment. Similarly, *NDVI* and *EVI* values were considerably higher in this treatment, indicating denser and healthier vegetation under improved management. Additionally, *LAI* values demonstrated greater leaf area in exclusion treatments compared to open grazing sites, reflecting the benefits of reduced grazing pressure and ecological restoration. Overall, these results underscore the positive impact of protective management and restoration on rangeland vegetation, highlighting their essential role in the recovery and rehabilitation of degraded ecosystems.

Conclusion: In summary, combining exclusion with restoration practices significantly enhances vegetation indices more than simple exclusion or open grazing alone. This approach can be recommended as an effective management strategy for rehabilitating degraded rangelands. Using remote sensing tools enables ongoing, efficient, and cost-effective monitoring of vegetation changes over time. Furthermore, the study's results can assist natural resource managers in making informed decisions to maximize rangeland use and conservation efforts. Future research should focus on long-term monitoring by integrating field data with ecological modeling to improve the accuracy of tracking rangeland recovery processes.

Keywords: Rangeland Management, Vegetation Indicators, Restorative Exclusion, Sentinel-2, Google Earth Engine

How to cite this article:
Gholipour Soloshi, M.,
Dianati Tilaki, G. A., Tavosi,
M., and Khoshdel Vajary, S.
2026. Evaluating the effects
of rangeland restoration on
vegetation cover using
remote sensing indices
(Case study: Kiasar, Sari).
Adv. Environ. Sci. 24 (2):
447-460.

* Corresponding Author Email Address: dianatig@modares.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.240398.1515



ارزیابی تأثیر احیای مراتع بر پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: کیاسر، ساری)



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۳

محمد قلی‌پور سلووشی^۱، قاسمعلی دیانتی تیلکی^{۱*}، محمد طاوسی^۲، سارا خوشدل واجاری^۱

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: مدیریت اصولی مراتع، یکی از عوامل کلیدی در پایداری اکوسیستم‌های مرتعی و حفظ پوشش گیاهی به شمار می‌آید. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری بی‌رویه و مدیریت نادرست سبب کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در بسیاری از مراتع کشور شده است. از سوی دیگر، با توجه به وسعت زیاد مراتع و محدودیت‌های زمانی و مالی پایش میدانی، استفاده از فناوری سنجش‌ازدور (RS) به‌عنوان روشی مؤثر، دقیق و کم‌هزینه در پایش وضعیت پوشش گیاهی و ارزیابی اثرات تیمارهای مدیریتی مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تیمارهای مدیریتی مختلف بر شاخص‌های پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است.

^۱ گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع

طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه

تربیت مدرس، نور، ایران

^۲ گروه آبخیزداری، دانشکده منابع

طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه

تربیت مدرس، نور، ایران

مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه، سه تیمار مدیریتی شامل قرق همراه با عملیات اصلاحی، قرق بدون عملیات اصلاحی و چرای آزاد دام در مراتع منطقه چهاردانگه استان مازندران انتخاب شدند. داده‌های مورد نیاز از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ و به‌صورت ماهانه استخراج شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل $NDVI$ ، $GNDVI$ ، $SAVI$ ، $MSAVI$ ، EVI و LAI بودند که از طریق بستر سامانه Google Earth Engine استخراج گردید. با توجه به سه سایت و دوره زمانی شش‌ساله (۷۲ ماه)، در مجموع ۲۱۶ نمونه داده تهیه شد. جهت تحلیل و مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی در تیمارهای مختلف، از آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده گردید.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از تحلیل آماری شاخص‌های پوشش گیاهی نشان داد که بین تیمارهای مدیریتی مختلف، اختلاف معنی‌داری در اغلب شاخص‌ها وجود دارد ($p < 0.05$). تیمار چرای آزاد دام، به‌طور مشخص، کمترین مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی را در مقایسه با دو تیمار دیگر نشان داد. در مقابل، تیمار قرق همراه با عملیات اصلاحی، بیشترین مقادیر شاخص‌ها را به خود اختصاص داد. شاخص $SAVI$ که برای ارزیابی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک طراحی شده است، در این تیمار به بیشترین مقدار خود یعنی ۰/۱۹ رسید. شاخص‌های $NDVI$ و EVI نیز در تیمار قرق با عملیات اصلاحی نسبت به تیمارهای دیگر مقادیر بالاتری را نشان دادند که بیانگر تراکم و سلامت بیشتر پوشش گیاهی در این شرایط است. نتایج شاخص LAI نیز از افزایش سطح برگ‌ها در تیمارهای قرق نسبت به تیمار چرای آزاد حکایت داشت. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار مدیریت حفاظتی و اقدامات اصلاحی بر بهبود پوشش گیاهی مراتع بوده و نقش کلیدی اعمال این تیمارها را در فرآیند احیا و بازسازی اکوسیستم‌های مرتعی تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری: در جمع‌بندی، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تیمار قرق به همراه عملیات اصلاحی، در مقایسه با قرق صرف یا چرای آزاد، تأثیر قابل توجهی در بهبود شاخص‌های پوشش گیاهی دارد و می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر جهت احیای مراتع تخریب‌شده توصیه شود. بهره‌گیری از ابزارهای سنجش‌ازدور نیز، امکان پایش مستمر و کم‌هزینه این تغییرات را فراهم می‌سازد. افزون بر این، نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران منابع طبیعی در اتخاذ تصمیمات مبتنی بر داده برای بهبود بهره‌برداری و حفاظت از مراتع کمک کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، ارزیابی‌های بلندمدت‌تری با ترکیب داده‌های میدانی و مدل‌سازی اکولوژیکی صورت گیرد تا روند احیا با دقت بیشتری پایش و تحلیل شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مرتع، شاخص‌های پوشش گیاهی، قرق اصلاحی، Sentinel-2، گوگل ارث انجین

استناد به این مقاله: قلی‌پور

سلووشی، م.، دیانتی تیلکی، ق.ع.،

طاوسی، م.، س. خوشدل واجاری.

۱۴۰۵. ارزیابی تأثیر احیای مراتع بر

پوشش گیاهی با استفاده از

شاخص‌های سنجش‌ازدور (مطالعه

موردی: کیاسر، ساری). فصلنامه

علوم محیطی نوین. ۲۴ (۲): ۴۴۷-۴۶۰.

۴۶۰.

* Corresponding Author Email Address: dianatig@modares.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.240398.1515



مقدمه

مختلف، نظارت بر پوشش گیاهی منطقه یک عنصر اساسی می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به گستردگی مراتع، نظارت مستمر بر وضعیت مرتع با استفاده پوشش گیاهی و خاک از داده‌های زمینی به علت پرهزینه و زمان‌بر بودن، امکان‌پذیر نیست (Allred *et al.*, 2021). از این‌رو، سنجش‌ازدور به عنوان ابزاری برای نظارت بر تغییرات محیطی و پاسخ‌های جوامع زیستی به تغییرات طبیعی و انسانی (Harrison *et al.*, 2025) و همچنین، برای اندازه‌گیری ترکیب جامعه گیاهی و پوشش زمین (Duniway *et al.*, 2012؛ Xu *et al.*, 2021) بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای بررسی این تغییرات یکی از موضوعات مهم در تحقیقات محسوب می‌شود (Malekian & Jafari 2012). شاخص‌های ماهواره‌ای زیادی به منظور اندازه‌گیری و تحلیل پوشش گیاهی روی سطح زمین وجود دارد (Nateghi *et al.*, 2017). چندین شاخص اصلی پوشش گیاهی شامل شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)^۱، شاخص تفاوت نرمال شده سبز (GNDVI)^۲، شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی (EVI)^۳ (Huete *et al.*, 2002)، شاخص تعدیل شده جو (ARVI)^۴، شاخص تعدیل شده خاک (SAVI)^۵ (Huete *et al.*, 1988)، شاخص تعدیل شده خاک اصلاح شده (MSAVI)^۶ و شاخص سطح برگ (LAI)^۷ در اندازه‌گیری سلامت و استرس سطح پوشش گیاهی مؤثر است (Huang *et al.*, 2021; Jafari *et al.*, 2017).

شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش‌ازدور، به عنوان شاخص‌های ارزشمند و پرکاربرد، توانایی اندازه‌گیری فعالیت‌های فتوسنتزی را دارند و در پایش پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف مؤثر می‌باشند (Wang *et al.*, 2021). مطالعات مختلفی به بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تغییرات NDVI پرداخته‌اند (Ma *et al.*, 2019، Blanco *et al.*, 2008). این

مراتع شامل علفزارها، بوته‌زارها و ساواناها هستند که زیستگاه حیات وحش و منبع تغذیه دام‌ها می‌باشند (Roomi & Khan, 2022 و Hunt *et al.*, 2003). این پوشش‌های گیاهی گسترده ۴۰ درصد از اکوسیستم زمینی جهان را تشکیل می‌دهند (Retallack *et al.*, 2023) که دوسوم آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند (Kuule *et al.*, 2022). تخریب مراتع در اثر چرای مفرط دام، تغییر کاربری اراضی و پیامدهای فزاینده تغییرات اقلیمی سبب به وجود آمدن چالش‌های متعدد برای پایداری اکوسیستم‌های طبیعی شده است. بنابراین، انتخاب رویکردهای مدیریت پایدار مراتع به کاهش تخریب‌ها کمک بسزایی می‌کند (Wang *et al.*, 2024).

از مهم‌ترین رویکردهای مدیریت پایدار که امروزه در مراتع از آن‌ها استفاده می‌شود، طرح‌های احیای مراتع می‌باشند که شامل احیای اکولوژیکی (Macheroum *et al.*, 2025)، بیولوژیکی (Nave *et al.*, 2025) و مدیریت چرای دام (Li *et al.*, 2022; Yao Ward & Kutt, 2009) می‌باشد. این طرح‌ها سبب بهبود شاخص‌های پوشش گیاهی شده (Wolf & Mitchell, 2021) و به کاهش فرسایش (Khatibi & Farahi, 2024) خاک کمک می‌کنند. در مقابل، چرای بیش‌ازحد باعث کاهش پوشش گیاهی و افزایش آسیب به خاک از طریق لگدکوبی می‌شود که حساسیت اکوسیستم به فرسایش خاک را افزایش می‌دهد (Djamel *et al.*, 2022؛ von Keyserlingk *et al.*, 2021). بنابراین، برآورد پوشش گیاهی در مراتع برای انتخاب تعداد مناسب دام و پایش بیابان‌زایی اراضی به‌خصوص در مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است، زیرا پوشش گیاهی عامل مهمی در رابطه با وضعیت مراتع بوده و از شاخص‌های حساس تخریب و بیابان‌زایی مراتع می‌باشد (Al-Bukhari *et al.*, 2018). لذا، بررسی اثربخشی شیوه‌های مدیریتی

مطالعات از این شاخص برای برآورد تولید علوفه (Yeganeh *et al.*, 2014)، تاب‌آوری پوشش گیاهی به خشکی (von Keyserlingk *et al.*, 2021)، تخمین فنولوژی پوشش (Cai *et al.*, 2017) استفاده کرده‌اند. اخیراً طی پژوهشی تأثیر تغییرات بارش و دما بر شاخص *NDVI* در استان یزد با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و ERA5-Land در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تغییرات پوشش گیاهی بیش از آن که به تغییرات بارش و دما وابسته باشد، تحت تأثیر توپوگرافی قرار داشت (Rousta & Toofani Koopae, 2024). همچنین، در مطالعه دیگری (Yang *et al.*, 2025) با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی (*GNDVI*, *NDVI*) و دمای سطح زمین (*LST*) به بررسی تغییرات مراتع در ناحیه خوشاب پاکستان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و یادگیری ماشین پرداخت. نتایج نشان داد که مساحت مراتع از ۹٪ به ۶٪ کاهش یافته و توسعه زمین‌های زراعی عامل اصلی این کاهش بوده است. شاخص‌های پوشش گیاهی نشان‌دهنده کاهش سلامت گیاهان و افزایش استرس حرارتی بر پوشش گیاهی می‌باشند. در پژوهشی دیگر (Wang *et al.*, 2025) به بررسی رژیم چرا و شدت چرای گاو بر شاخص پوشش گیاهی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش شدت چرای دام باعث کاهش سلامت و تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین، مناطق با چرای چرخشی نسبت به مناطق با چرای مداوم شاخص *NDVI* بالاتری داشتند که نشان‌دهنده بهبود وضعیت پوشش گیاهی در این مناطق است. این نتایج حاکی از آن است که مدیریت صحیح، مانند چرای چرخشی، می‌تواند به بهبود سلامت مراتع و افزایش شاخص‌های پوشش گیاهی کمک کند.

شناخت بهتر تأثیرات شیوه‌های مدیریتی مختلف بر پوشش گیاهی، به تصمیم‌گیری‌های آینده کمک می‌کند تا شیوه مدیریتی مناسب‌تری برای افزایش درصد پوشش

گیاهی اتخاذ شود. تحقیقات گسترده‌ای در مراتع کیاسر استان مازندران (Gholipour Soloshi *et al.*, 2022; Gholami *et al.*, 2020) صرفاً با استفاده از داده‌های زمینی و صرف هزینه‌های اقتصادی بالا و مقیاس زمانی محدود همراه بوده است. این در حالی است که مقایسه تغییرات پوشش گیاهی در تیمارهای مختلف مدیریتی با استفاده از سنجش‌ازدور طی سال‌های مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است؛ در صورتی که یکی از کم‌هزینه‌ترین و سریع‌ترین راهکارها برای شناخت و مقایسه تأثیرات شیوه‌های مدیریتی بر پوشش مراتع استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش‌ازدور می‌باشد (Retallack *et al.*, 2024; Arzani and Abedi, 2015).

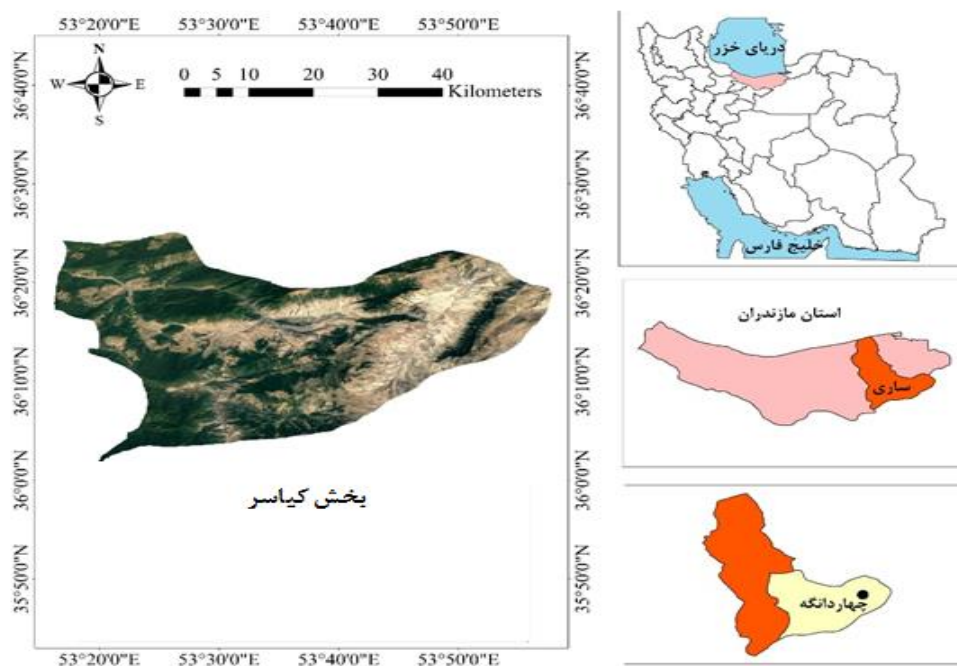
این داده‌ها عمده‌تاً در مقیاس زمانی و مکانی مطلوب به صورت محصول توسط سنجنده‌های مختلف و به صورت رایگان در دسترس می‌باشند. از آنجاکه پایش پوشش گیاهی به‌ویژه در مناطق وسیع و صعب‌العبور با روش‌های میدانی هزینه‌بر، زمان‌بر و در بسیاری موارد غیرممکن است، بهره‌گیری از شاخص‌های پوشش گیاهی که مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای هستند، امکان ارزیابی تغییرات بلندمدت و تحلیل روندهای مدیریتی را با دقت قابل قبول فراهم می‌سازد. علاوه بر این، این شاخص‌ها توانایی تفکیک نواحی تحت مدیریت‌های متفاوت را دارا بوده و می‌توانند به عنوان ابزاری کارآمد در تصمیم‌سازی و برنامه‌ریزی به‌ویژه در طرح‌های بهبود و اصلاح مراتع، مورد استفاده قرار گیرند. از این‌رو، در پژوهش حاضر تغییرات شاخص پوشش گیاهی تحت اثر سه رویکرد مدیریتی مختلف شامل چرای دام، قرق و قرق بذرکاری شده همراه با عملیات پخش سیلاب در مراتع پشتر کیاسر مقایسه می‌شود. این پژوهش به بررسی این سوال می‌پردازد که آیا تیمارهای مدیریتی قرق و قرق توأم با عملیات اصلاحی، در مقایسه با چرای آزاد، می‌توانند به صورت کمی و با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور، منجر به بهبود معنادار پوشش و سلامت گیاهی در مراتع شوند؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شهرستان ساری، شهر کیاسر و در محدوده دهستان چهاردانگه قرار دارد. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 7' 8''$ تا $37^{\circ} 37' 24''$ عرض شمالی و طول جغرافیایی $53^{\circ} 22' 40''$ تا $53^{\circ} 38' 58''$ بوده و در ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک محسوب می‌شود و شرایط آب‌وهوایی آن شامل میانگین بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. مراتع این منطقه با چالش‌های مدیریتی مختلفی روبه‌رو هستند که بر پوشش گیاهی و ظرفیت چرای دام تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش، سه تیمار مدیریتی با اهداف متفاوت بررسی شده‌اند. تیمار نخست شامل منطقه‌ای قرق‌شده به وسعت ۲۰۰ هکتار است که در آن طرح پخش سیلاب اجرا شده و بخش‌هایی از آن با روش بذرپاشی دستی به مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار با گونه *Agropyron elongatum* اصلاح شده است. این تیمار به

عنوان منطقه قرق با عملیات احیایی شناخته می‌شود و بخشی از برنامه بازسازی پوشش گیاهی مراتع به شمار می‌رود. تیمار دوم شامل مراتع قرق‌شده‌ای به وسعت ۷۰ هکتار است که تحت حفاظت قرار گرفته‌اند، اما در آن هیچ‌گونه عملیات اصلاحی یا احیایی انجام نشده است. این منطقه صرفاً تحت قرق حفاظتی بوده و تغییرات پوشش گیاهی آن، بدون مداخله انسانی، بررسی می‌شود. تیمار سوم مربوط به مراتع تحت چرای شدید است که در معرض فشار بالای چرای دام قرار دارد. جمعیت دام در این منطقه ۴۲۰۰ رأس گزارش شده، درحالی‌که ظرفیت مراتع تنها کفاف ۱۰۰۰ رأس دام را می‌دهد. این اختلاف چشمگیر نشان‌دهنده استفاده بیش‌ازحد از منابع طبیعی و تأثیر منفی چرای بی‌رویه بر پوشش گیاهی منطقه است. پوشش گیاهی منطقه قبل از اجرای طرح‌های اصلاحی عمدتاً از گونه *Artemisia sieberi* تشکیل شده بود. هر سه سایت از نظر توپوگرافی و شرایط اقلیمی مشابه هستند و در شیب کمتر از ۵ درصد قرار دارند، اما تفاوت‌های مدیریتی در هر یک باعث تغییر در شرایط اکولوژیکی شده است (Gholipour soloshi et al., 2022).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه مراتع کیاسر چهاردانگه استان مازندران

Fig. 1- The study area of Kiasar rangelands, Chahardangeh, Mazandaran Province

داده‌های سنجش‌ازدور

به‌منظور ارزیابی پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ به‌صورت ماهانه انتخاب و مورد استفاده قرار گرفتند. در این دوره زمانی شش‌ساله در هر سایت ۷۲ تکرار و درمجموع ۲۱۶ نمونه داده تهیه شد. داده‌های شاخص‌های گیاهی $NDVI$ ، $GNDVI$ ، $SAVI$ ، LAI ، EVI ، $MSAVI$ و $ARVI$ از محصولات تصویری سنتینل ۲ (Sentinel-2) با بهره‌گیری از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شدند. با توجه قدرت تفکیک مکانی تصاویر سنتینل ۲ (۱۰×۱۰ متر)، در تیمارهای قرق، قرق با عملیات اصلاحی و چرای دام به ترتیب حدود ۵۰۰، ۴۱۴۰۰ و ۲۱۹۰۰ پیکسل قرار گرفتند. فرمول‌های استفاده شده برای محاسبه شاخص‌ها به شرح زیر است.

$NDVI$: یکی از پرکاربردترین شاخص‌های سنجش‌ازدور برای ارزیابی تراکم و سلامت پوشش گیاهی است. مقدار $NDVI$ بین ۱- تا ۱ متغیر است. مقادیر بالا نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم و متراکم و مقادیر پایین نشان‌دهنده خاک، آب یا پوشش گیاهی ضعیف است. رابطه ۱ بیانگر معادله این شاخص است.

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

که در آن NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود و Red طیف قرمز است که توسط گیاهان جذب می‌شود (Tucker., 1979).

$GNDVI$: حساسیت بیشتری به کلروفیل گیاهان دارد و برای ارزیابی سلامت پوشش گیاهی و میزان فتوسنتز استفاده می‌شود. این شاخص معمولاً در تحلیل‌های کشاورزی و پایش اکوسیستم‌های گیاهی کاربرد دارد (رابطه ۲).

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green} \quad (2)$$

که در آن NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود و $Green$ مقدار بازتاب

طیف سبز از گیاهان (Gitelson et al., 1996).

EVI : نسبت به $NDVI$ ، اثرات جو و خاک را بهتر تعدیل می‌کند و حساسیت بیشتری به تغییرات پوشش گیاهی در مناطق پرتراکم دارد. این شاخص به‌ویژه برای بررسی رشد گیاهان و سلامت اکوسیستم‌های طبیعی مفید است (رابطه ۳).

$$EVI = G \times \frac{NIR - Red}{(NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue) + L} \quad (3)$$

که در آن G ضریب بهره‌گیری از باند NIR (معمولاً ۲.۵)، NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود، Red مقدار بازتاب طیف قرمز که توسط گیاهان جذب می‌شود، $C1$ و $C2$ ضرایب تنظیم جو ($C1 = 1$ و $C2 = 7.5$)، $Blue$ بازتاب طیف آبی، برای تصحیح اثر جو و L فاکتور تنظیم خاک (معمولاً ۱) (Huete et al., 2002). $ARVI$: یک نسخه بهبودیافته از $NDVI$ است که اثرات جو را کاهش می‌دهد و دقت بالاتری در تحلیل پوشش گیاهی دارد، مخصوصاً در مناطق با آلودگی جوی یا رطوبت بالا (رابطه ۴).

$$ARVI = \frac{NIR - (Red - \gamma(Blue - Red))}{(NIR + (Red - \gamma(Blue - Red)))} \quad (4)$$

که در آن NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود، مقدار بازتاب طیف قرمز که توسط گیاهان جذب می‌شود، γ فاکتور تصحیح جو که معمولاً مقدار آن ۱ در نظر گرفته می‌شود و $Blue$ مقدار بازتاب طیف آبی که برای کاهش اثرات جو به‌ویژه پراکندگی جوی استفاده می‌شود (Kaufman and Tanre, 1992). $SAVI$: بهبودیافته $NDVI$ است که برای مناطق خشک و مناطقی با پوشش گیاهی کم طراحی شده تا اثر خاک در تحلیل پوشش گیاهی کاهش یابد (رابطه ۵).

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L) \quad (5)$$

تیمارها، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها، آزمون توکی اجرا شد. تمامی محاسبات مربوط به مدل‌سازی و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۴.۳.۰ انجام شدند.

نتایج و بحث

تغییرات زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی

بر تصاویر سنتینل ۲

بررسی تغییرات زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی در بازه‌ی شش‌ساله (۲۰۱۹-۲۰۲۴) نشان‌دهنده‌ی نوسانات قابل توجهی است که عمدتاً تحت تأثیر شرایط اقلیمی سالانه قرار داشته است (شکل ۲). به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۲۰، هم‌زمان با افزایش محسوس بارندگی در منطقه، مقادیر تمامی شاخص‌ها در هر سه تیمار مدیریتی به بالاترین سطح خود رسید. در مقابل، سال ۲۰۲۴ با خشک‌سالی‌های پی‌درپی همراه بود و کاهش چشم‌گیری در تمامی شاخص‌ها مشاهده شد. این یافته با نتایج Bajocco et al. (2022) که بر اثر منفی خشک‌سالی‌های اخیر بر پوشش گیاهی تأکید دارند، همخوانی کامل دارد.

اگرچه روند کلی تغییرات در هر سه تیمار مشابه است (به دلیل قرارگیری در یک منطقه اقلیمی یکسان)، اما مقادیر مطلق شاخص‌ها به‌وضوح تحت تأثیر نوع مدیریت قرار گرفته است. در تمامی شاخص‌ها، تیمار چرای آزاد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است، به‌گونه‌ای که شاخص‌های *ARVI* و *EVI* در این تیمار اغلب دارای مقادیر منفی بودند که نشان‌دهنده تخریب شدید و فقدان پوشش گیاهی سالم در این منطقه است. در مقابل، دو تیمار قرق (با و بدون عملیات اصلاحی) مقادیر به‌مراتب بالاتری از شاخص‌ها را نشان دادند که بیانگر تأثیر مثبت حذف فشار چرا بر احیای پوشش گیاهی می‌باشد. همچنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس دوطرفه (جدول ۱) به‌وضوح نشان داد که اثر اصلی تیمارهای مدیریتی بر تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بوده است. همچنین، اثر اصلی

که در آن NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود، مقدار بازتاب طیف قرمز که توسط گیاهان جذب می‌شود و L فاکتور تنظیم خاک که تأثیر خاک را در محاسبات کاهش می‌دهد و مقدار آن معمولاً بین ۰ تا ۱ انتخاب می‌شود. در مناطق با پوشش گیاهی کم، مقدار $L = 1$ مناسب‌تر است (Huete, 1988). *MSAVI*: نسخه بهبودیافته *SAVI* است که برای مناطق با پوشش گیاهی بسیار کم طراحی شده تا اثر خاک را بیشتر کاهش دهد و نتایج دقیق‌تری ارائه دهد (رابطه ۶).

$$MSAVI = \frac{2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - Red)}}{2} \quad (6)$$

که در آن NIR طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود، مقدار بازتاب طیف قرمز که توسط گیاهان جذب می‌شود (Qi et al., 1994). *LAI*: یک شاخص مهم در مدیریت کشاورزی، جنگلداری و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی است و برای ارزیابی میزان پوشش گیاهی و تأثیر آن بر تبادل انرژی و آب کاربرد دارد (Vélez et al., 2023). رابطه ۷ بیانگر معادله این شاخص است.

$$LAI = \alpha \times \ln\left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right) \quad (7)$$

که در آن α ضریب مقیاس‌گذاری (بر اساس نوع پوشش گیاهی)، $NDVI_{max}$ حداکثر میزان *NDVI*، $NDVI_{min}$ حداقل میزان *NDVI*

طیف مادون قرمز نزدیک است که توسط گیاهان به شدت منعکس می‌شود، مقدار بازتاب طیف قرمز که توسط گیاهان جذب می‌شود (Qi et al., 1994).

آزمون‌های آماری مورد استفاده

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی تفاوت‌های میان تیمارها، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون ارزیابی شد. سپس، جهت تشخیص اختلاف‌های موجود بین

سال نیز بر کلیه شاخص‌ها معنی‌دار بود که بیانگر تأثیر قابل توجه نوسانات اقلیمی سالانه بر عملکرد پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. با این حال، اثر متقابل تیمار $\times$ سال در هیچ یک از شاخص‌های پوشش گیاهی معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). این یافته از اهمیت بنیادین برخوردار است؛ چراکه نشان می‌دهد اگرچه شرایط اقلیمی سالانه بر وضعیت کلی پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد، اما الگوی برتری تیمارهای مدیریتی در طول سال‌های مختلف ثابت و یکسان بوده است. به عبارت دیگر، رتبه‌بندی تیمارها از نظر عملکرد پوشش گیاهی (قرق با عملیات اصلاحی < قرق ساده < چرای آزاد) در تمامی سال‌های مطالعه، صرف‌نظر از شرایط مطلوب یا نامطلوب اقلیمی، بدون تغییر باقی مانده است. این نتیجه از دو جنبه حائز اهمیت است: نخست آن که اثربخشی راهبردهای مدیریتی اجرا شده، مستقل از نوسانات اقلیمی کوتاه‌مدت عمل کرده و بنابراین، نتایج حاصل از آن در بازه‌های بلندمدت از قابلیت اتکای بالایی برخوردار است. دوم آن که الگوی برتری نسبی تیمارهای مدیریتی در شرایط اقلیمی متفاوت تداوم داشته و این ویژگی، امکان تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به سال‌های آتی و اکوسیستم‌های مشابه فراهم می‌سازد. این نتایج با یافته‌های Harrison *et al.* (2025) که بر پایداری اثرات مدیریت مرتع در بلندمدت تأکید داشتند، همخوانی کامل دارد.

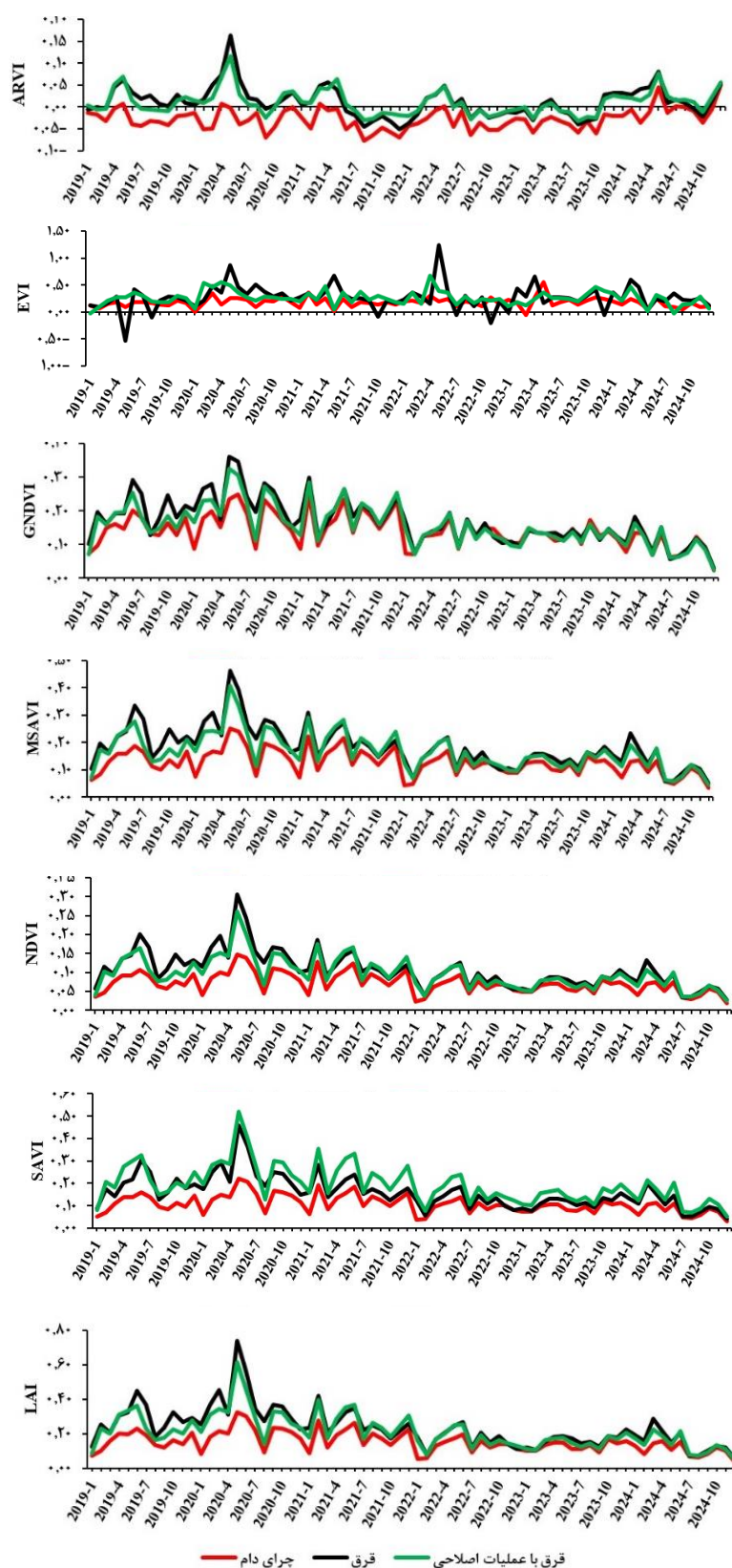
یکی از نکات برجسته در نتایج این پژوهش، عملکرد شاخص SAVI است. برخلاف سایر شاخص‌ها، SAVI

توانست برتری تیمار قرق همراه با عملیات اصلاحی را نسبت به قرق ساده به‌خوبی نشان دهد (شکل ۲). این برتری به ماهیت طراحی SAVI، بازمی‌گردد که با به‌کارگیری ضریب تعدیل خاک، تأثیر پس‌زمینه خاک را در مناطق با پوشش گیاهی کم‌نظیر منطقه نیمه‌خشک کیاسر کاهش می‌دهد و بنابراین برآورد دقیق‌تری از تاج‌پوشش گیاهی ارائه می‌دهد (Huete, 1988). در تیمار قرق همراه با عملیات اصلاحی، عملیات بذرپاشی (با گونه *Agropyron elongatum*) و پخش سیلاب باعث افزایش تراکم تاج‌پوشش شده است و SAVI به عنوان شاخصی که اثر خاک را حذف می‌کند، توانسته این افزایش را با دقت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها منعکس سازد. این یافته با پژوهش Msadek *et al.* (2025) که دقت بالای SAVI را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأیید کردند ($AUC = 0.88-0.92$)، همخوانی دارد. مطالعات میدانی پیشین در منطقه کیاسر (Gholipour Soloshi *et al.*, 2022) نیز نشان داده‌اند که تیمار قرق توأم با عملیات احیایی (پخش سیلاب و بذرپاشی) به‌طور معنی‌داری موجب افزایش درصد تاج‌پوشش، غنای گونه‌ای و تنوع گونه‌ای در مقایسه با تیمارهای قرق و چرای دام شده است. بنابراین، هم‌افزایی ناشی از حذف چرا و عملیات اصلاحی فعال، سبب بهبود ساختار و عملکرد اکوسیستم شده و شاخص SAVI به عنوان حساس‌ترین شاخص، این تغییرات را به‌خوبی کمی‌سازی کرده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه شاخص‌های پوشش گیاهی در تیمار و سال مراتع چهاردانگه استان مازندران

Table 1- Results of two-way analysis of variance of vegetation indices in treatment and year of Chahardangeh rangelands of Mazandaran province

آماره F							درجه آزادی	منابع تغییرات
LAI	SAVI	NDVI	MSAVI	GNDVI	EVI	ARVI		
۲۵/۲۲**	۴۹/۴۵۶**	۲۴/۶۹**	۲۳/۰۷**	۷/۴۷**	۷/۱۲**	۴۷/۶۷**	۲	تیمار
۳۱/۵۴**	۲۹/۵۴**	۳۰/۴۰**	۲۷/۶۵**	۳۵/۹۳**	۲/۸۴*	۹/۷۱**	۵	سال
۱/۹۳*	۱/۹۴*	۱/۷۰	۱/۳۴	۱/۱۶	۰/۵۸	۰/۹۴	۱۰	تیمار $\times$ سال



شکل ۲- تغییرات زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌های در تیمارهای مختلف مدیریتی
Fig. 2 - Temporal changes in vegetation cover indices extracted from satellite images in different management treatments

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های پوشش گیاهی

در تیمارهای مدیریتی

در تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی مورد ارزیابی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مدیریتی مشاهده شد (جدول ۲). به‌طوری‌که به‌جز شاخص *GNDVI* که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است، در سایر شاخص‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ دیده می‌شود.

بر اساس آزمون توکی، در میانگین تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی، بین تیمار قرق و قرق با عملیات اصلاحی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$) و این دو تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. با این حال، استثنای مهم این قاعده، شاخص *SAVI* بود که در آن، تیمار قرق همراه با عملیات اصلاحی به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) از تیمار قرق ساده بالاتر بود که نشان‌دهنده حساسیت بالای این شاخص به تغییرات تراکم تاج‌پوشش در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد. این امر می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در یک بازه زمانی کوتاه‌مدت (۶ ساله)، اثر اصلی ناشی از حذف چرا است، اما عملیات اصلاحی اضافی در حال ایجاد تغییراتی در ساختار و تراکم پوشش است. از این‌رو، می‌توان گفت اعمال اقدامات مدیریتی چه به صورت ترکیبی و چه به صورت واحد تأثیر قابل توجهی در تقویت پوشش گیاهی داشته است و مدیریت تلفیقی (ترکیب قرق با عملیات اصلاحی فعال) می‌تواند پتانسیل دستیابی به سطوح بالاتری از تراکم پوشش گیاهی

را فراهم کند. در این خصوص (۲۰۲۵) Naseri اثربخشی عملیات اصلاحی بر پوشش گیاهی و ظرفیت مراتع را تأیید کرده، بر آن تأکید داشتند. همچنین نتایج حاضر با یافته‌های Davies *et al.* (2019) که در *Artemisia steppe* انجام شده بود، همخوانی دارد که نشان دادند عملیات اصلاحی، استقرار گونه‌های پایا را به‌طور معنی‌داری افزایش داده و ساختار جامعه گیاهی را به سمت ترکیب پایدارتر سوق می‌دهد. به‌علاوه، (2023) Jiang *et al.* نیز نشان دادند قرق و به‌ویژه احیای فعال، نقش مؤثری در بازسازی ساختار پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای ایفا می‌کنند. اگرچه اثر تیمارها بر تأثیر بیشتر تیمار قرق نسبت به قرق با عملیات اصلاحی تأکید دارند، اما به توجه به دقت بالای شاخص *SAVI* نسبت به سایرین در برآورد پوشش گیاهی، می‌توان گفت مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این شاخص، تیمار قرق با عملیات اصلاحی در درجه اول و تیمار قرق توانسته است منجر به تقویت پوشش گیاهی شود. به طور مشابه پژوهش (2022) *et al.* Gholipour Soloshi نتایج مشابهی را در این خصوص ارائه دادند. همچنین (2022) Wang *et al.* نیز قرق بلندمدت را به تنهایی برای بهبود پیچیدگی ساختاری و عملکردی جامعه گیاهی کافی نمی‌دانستند. بنابراین می‌توان استدلال کرد که سرمایه‌گذاری بر روی عملیات اصلاحی در کنار قرق، به‌ویژه در مراتعی که در معرض تخریب شدید قرار دارند، می‌تواند با تسریع روند احیا، توجیه اقتصادی و اکولوژیک داشته باشد.

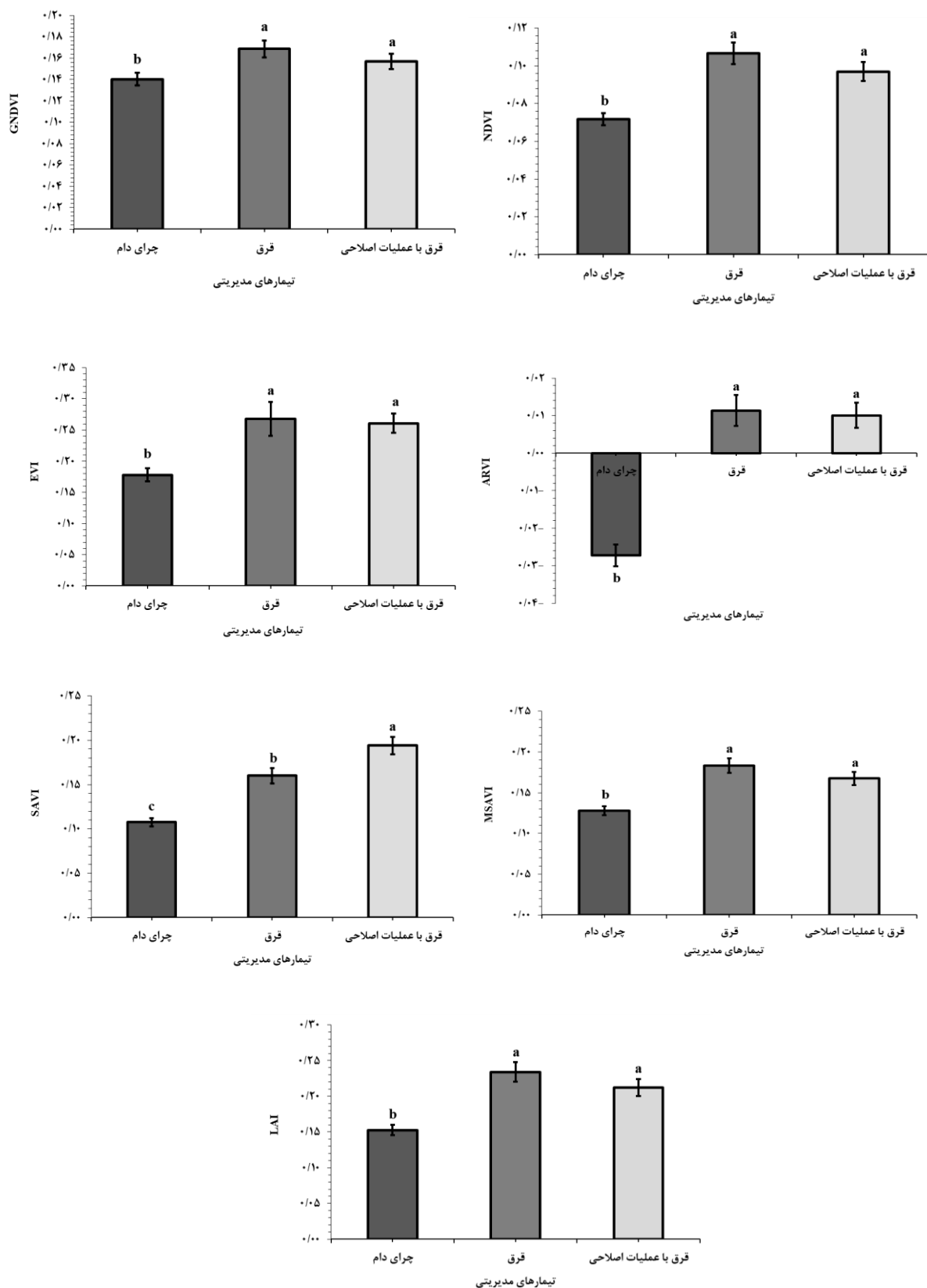
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص‌های پوشش گیاهی در تیمارهای مدیریتی مراتع چهاردانگه استان مازندران

Table 2- Results of one-way analysis of variance of vegetation cover indices in management treatments of Chahardangeh rangelands of Mazandaran province

پارامتر	درجه آزادی	آماره F
<i>NDVI</i>	۲	۱۴/۳۳۲***
<i>GNDVI</i>	۲	۴/۰۹۸**
<i>EVI</i>	۲	۶/۹۵۵***
<i>ARVI</i>	۲	۳۹/۶۷۷***
<i>SAVI</i>	۲	۲۸/۹۱۷***
<i>MSAVI</i>	۲	۱۴/۰۵۲***
<i>LAI</i>	۲	۱۴/۳۲۵***

*** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

*** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی در تیمارهای مدیریتی مراتع چهاردانگه استان مازندران
 Fig. 3- Comparison of mean vegetation indices under different rangeland management treatments in Chahardangeh, Mazandaran Province

نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی اکوسیستم‌های مرتعی، تحت تأثیر ترکیبی از عوامل اقلیمی و مدیریتی قرار دارد. این پژوهش با بهره‌گیری از هفت شاخص سنجش‌ازدوری ($SAVI$, $GNDVI$, $NDVI$, $ARVI$, LAI , EVI , $MSAVI$) و تحلیل تغییرات زمانی آن‌ها در بازه شش‌ساله (۲۰۱۹-۲۰۲۴)، به مقایسه تأثیر سه تیمار مدیریتی شامل قرق همراه با عملیات اصلاحی، قرق ساده و چرای آزاد در مراتع نیمه‌خشک کیاسر پرداخت. نتایج به‌وضوح نشان داد که اگرچه نوسانات سالانه‌ی بارندگی بر وضعیت کلی پوشش گیاهی تأثیرگذار است، اما نوع مدیریت اعمال‌شده نقشی تعیین‌کننده‌تر ایفا می‌کند. تیمارهای قرق (به‌ویژه قرق همراه با عملیات اصلاحی) در مقایسه با چرای آزاد، به‌طور معناداری موجب بهبود تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی شدند. شاخص $SAVI$ به‌عنوان حساس‌ترین شاخص در مناطق نیمه‌خشک، برتری تیمار تلفیقی را نسبت به قرق ساده به‌خوبی نشان داد و افزایش تراکم تاج‌پوشش ناشی از بذریاشی (*Agropyron elongatum*) و پخش سیلاب را با دقت بالایی کمی‌سازی کرد. همچنین، عدم معنی‌داری اثر متقابل تیمار $\times$ سال نشان‌دهنده‌ی افزایش تاب‌آوری اکوسیستم در برابر خشک‌سالی‌های دوره‌ای در تیمارهای مدیریتی است. یافته‌ها بر اهمیت مداخلات مدیریتی تلفیقی تأکید دارد؛ به‌گونه‌ای که تلفیق قرق با عملیات اصلاحی فعال (بذریاشی، کنترل رواناب)، به‌ویژه در مراتع با تخریب متوسط تا شدید، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به

قرق به‌تنهایی ارائه می‌دهد. استفاده از فناوری سنجش‌ازدور نیز با قابلیت پایش مستمر و کم‌هزینه، امکان ارزیابی سریع اثربخشی پروژه‌های احیایی را بدون نیاز به مطالعات میدانی گسترده فراهم می‌سازد. چارچوب مقایسه‌ای این پژوهش، پاسخ علمی روشنی به مدیران منابع طبیعی ارائه می‌دهد که سرمایه‌گذاری بر عملیات اصلاحی در کنار قرق، با تسریع روند احیا، توجیه اقتصادی و اکولوژیک داشته و می‌تواند به‌عنوان الگویی مؤثر در برنامه‌ریزی‌های احیای مراتع تخریب‌شده ایران مدنظر قرار گیرد. در پایان، انجام پژوهش‌های بلندمدت‌تر با تلفیق داده‌های سنجش‌ازدور و اندازه‌گیری‌های میدانی (بیوماس، تنوع گونه‌ای، خصوصیات خاک) و همچنین مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر پوشش گیاهی با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، برای طراحی راهبردهای مدیریتی انعطاف‌پذیر و سازگار با اقلیم پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل استفاده از امکانات آزمایشگاهی‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Normalized Difference Vegetation Index
- ² Green Normalized Difference Vegetation Index
- ³ Enhanced Vegetation Index
- ⁴ Atmospherically Resistant Vegetation Index
- ⁵ Soil Adjusted Vegetation Index
- ⁶ Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- ⁷ Leaf Area Index

References

Al-Bukhari, A., Hallett, S., & Brewer, T. 2018. A review of potential methods for monitoring rangeland degradation in Libya. *Pastoralism*, 8(1), 1–14.

Allred, B.W., Bestelmeyer, B.T., Boyd, C.S., Brown, C., Davies, K.W., Duniway, M.C., ... & Uden, D.R. 2021. Improving Landsat predictions of rangeland fractional cover with multitask learning and uncertainty. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(5), 841–849.

Arzani, H., and Abedi, M. 2015. *Rangeland Assessment: survey and monitoring*. University of Tehran. Press, 217p. (In Persian)

Bajocco, S., Ferrara, C., Savian, F., Ginaldi, F., Puletti, N., Crecco, L., Bregaglio, S., & Chianucci, F. 2022. A review unveiling additional insights into agriculture and forestry through vegetation indices. *Agriculture*, 12(10), 1650. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101650>

- Blanco, L.J., Aguilera, M.O., Paruelo, J.M., & Biurrun, F.N. 2008. Grazing effect on NDVI across an aridity gradient in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 72(5), 764–776.
- Cai, Z., Jönsson, P., Jin, H., & Eklundh, L. 2017. Performance of smoothing methods for reconstructing NDVI time-series and estimating vegetation phenology from MODIS data. *Remote Sensing*, 9(12), 1271.
- Davies, K. W., Bates, J. D., & Boyd, C. S. 2019. Postwildfire seeding to restore native vegetation and limit exotic annuals: An evaluation in juniper-dominated sagebrush steppe. *Restoration Ecology*, 27(1), 120–127.
- Djamel, A., Abdelkrim, B., & Hafidha, B. 2022. The impact of exclosure on the rehabilitation of steppe vegetation at Naâma rangelands in Algeria. *Journal of Rangeland Science*, 12(2).
- Duniway, M.C., Karl, J.W., Schrader, S., Baquera, N., & Herrick, J.E. 2012. Rangeland and pasture monitoring: an approach to interpretation of high-resolution imagery focused on observer calibration for repeatability. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3789–3804.
- Faraji, A. 2005. Evaluation of the effect of sowing date on grain yield and oil yield and yield components of four canola genotypes in Gonbad. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7, 189–201. (In Persian with English abstract)
- Gholami, P., Jalilian, F., Bahmanesh, B., & Mohammadesmaeili, M. 2020. Investigating the effects of flood spreading on vegetation indices in Poshtkooh rangelands of Kiasar-Sari. *Watershed Management Research*, 33(4), 47–60. (In Persian with English abstract)
- Gholami, P., Jalilian, F., Behmanesh, B., & Esmaeili, M. 2020. Effects of floodwater spreading on the vegetation indices in the Poshtkooh rangelands, Keyasar. *Watershed Management Research*, 33(4), 47–60. <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.128231.1274> (In Persian with English abstract)
- Gholipour soloshi, M., Dianati Tilaki, G. A., & Abedi, M. 2022. Comparison of Vegetation Characteristics under Three Management Treatments (Heavy Grazing, Exclosure and Exclosure with Restoration Practices) in Kiasar Chardange Rangeland of Sari. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 11 (3), 61–76.
- Gholipour Soloshi, M., Dianati Tilaki, G., & Abedi, M. 2022. Comparison of carbon sequestration in different rangeland management practices (Case study: Chahardangeh rangelands, Mazandaran Province). *Proceedings of the 3rd International and 6th National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment*. <https://civilica.com/doc/1549168>.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., & Merzlyak, M.N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298.
- Harrison, G.R., Rigge, M., Assal, T.J., Applestein, C., James, D.K., & McCord, S.E. 2025. An accuracy assessment of satellite-derived rangeland fractional cover. *Ecological Indicators*, 172, 113267.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of forestry research*, 32(1), 1-6.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- Jafari, R., Bashari, H., & Tarkesh, M. 2017. Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid land research and management*, 31(1), 94–110.
- Jiang, X., He, L., Qu, Y., Jian, B., Deng, D., Liu, M., ... & Huang, Y. 2023. Effects of grazing exclosure on vegetation community characteristics over 22 years in the Zoige alpine meadows from China. *Acta Oecologica*, 118, 103892.
- Kaufman, Y.J., & Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270.
- Khatibi, R., & Farahi, M. 2024. Investigating the effects of grazing exclosure on soil physicochemical properties in rangelands (Case Study: Northern Golestan, Sufikam rangelands). *Environmental Sciences Quarterly*, 22(3), 483–494. (In Persian with English abstract)
- Kuule, D.A., Ssentongo, B., Magaya, P.J., Mwesiwa, G.Y., Okurut, I.T., Nyombi, K., ... & Tabuti, J.R.S. 2022. Land use and land cover change dynamics and perceived drivers in rangeland areas in Central Uganda. *Land*, 11(9), 1402.
- Li, Y., Gong, J., Zhang, Y., & Gao, B. 2022. NDVI-based greening of alpine steppe and its relationships with climatic change and grazing intensity in the Southwestern Tibetan Plateau. *Land*, 11(7), 975.
- Ma, Q., Chai, L., Hou, F., Chang, S., Ma, Y., Tsunekawa, A., & Cheng, Y. 2019. Quantifying grazing intensity using remote sensing in Alpine Meadows on Qinghai-Tibetan Plateau. *Sustainability*, 11(2), 417.

- Macheroum, A., Sayada, N., & Chenchouni, H. 2025. Restoration of soil quality and improvement of physicochemical properties through grazing exclusion in arid and semi-arid rangelands. *Catena*, 249, 108646.
- Malekian, A., & Jafari, M. 2012. Application of remote sensing technology in biodiversity conservation. *Geographic Information Journal (Sepehr)*, 20(80), 18–22. (In Persian with English abstract)
- Msadek, J., Tlili, A., Chouikhi, F., Ragkos, A., & Tarhouni, M. 2025. Assessing the impacts of climate change scenarios on soil-adjusted vegetation index in North African arid montane rangeland: Case of Toujane region. *Climate*, 13(3), 59. <https://doi.org/10.3390/cli13030059>
- Naseri, H. 2025. Effectiveness of rehabilitation practices on vegetation cover and rangeland capacity in Eastern Alborz (Case study: Tavaz Basin, Iran). *Journal of Natural Environment*. (In Persian with English abstract)
- Nateghi, S., Nohohgar, A., Ehsani, A.H., & Bazrafshan, A.B. 2017. Vegetation cover changes assessment using vegetation indices and remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4), 778–790. (In Persian with English abstract)
- Nave, R.L.G., de Almeida, O.G., Tucker, J., & Xiong, V. 2025. Restoring ecosystems in the southeastern United States by interseeding alfalfa in existing cool-season grass pastures. *Grassland Science*, 71(1), 25–34.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., & Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119–126.
- Retallack, A., Finlayson, G., Ostendorf, B., Clarke, K., & Lewis, M. 2023. Remote sensing for monitoring rangeland condition: current status and development of methods. *Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 100285.
- Retallack, A., Rifai, S., Finlayson, G., Ostendorf, B., & Lewis, M. 2024. Remote sensing for rangeland conservation monitoring: impacts of livestock removal after 15 years. *Journal of Applied Ecology*, 61(9), 2111–2122.
- Roomi, I., & Khan, M.Z. 2022. High altitude rangelands, their significance and management. *Mountain Studies – Understanding and Managing Mountains for People and Nature*, Karakoram International University: Gilgit, Pakistan, 111.
- Rousta, I., & Toofani Koopaee, H. 2024. Evaluation of annual spatial-temporal changes of vegetation cover and land surface temperature in Lake Urmia basin using remote sensing. In *Proceedings of the 12th National Conference on Environment, Energy and Natural Resources*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/2018563> (In Persian with English abstract)
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- Vélez, S., Martínez-Peña, R., & Castrillo, D. 2023. Beyond vegetation: A review unveiling additional insights into agriculture and forestry through the application of vegetation indices. *Environmental Sciences Proceedings*, 6(3), 28. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023006028>
- von Keyserlingk, J., de Hoop, M., Mayor, A.G., Dekker, S.C., Rietkerk, M., & Förster, S. 2021. Resilience of vegetation to drought: Studying the effect of grazing in a Mediterranean rangeland using satellite time series. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112270.
- Wang H, Li X, Pang C, Chen HYH, He Y, Tao T, Gao Y, Zhu W, Liu H, Xu J, Chen Z, Li Y, Sun X. 2025 Contrasting effects of short- and long-term grazing exclusion on plant diversity in humid grasslands. *Agric Ecosyst Environ* 381. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109420>

