



A synthesis approach of vegetation indices for monitoring high-risk forest regions using Prisma satellite imaging - A part of the forest areas of northern Iran

Samane Bagheri¹ , Mahmoud Surghali² , Hassan Emami^{*3} 

Date of receive:

2023.08.05

Date of last review:

2023/11/16

Date of accept:

2023.12.29

Date of online publication:

2024/02/18

Extended Abstract

Introduction

Monitoring vegetation changes is crucial for environmental planning and management, and satellite images offer various methods for detecting these changes, each with its own advantages and disadvantages. The use of various plant indices from remote sensing (RS) systems is utilized to evaluate changes and create thematic maps for monitoring diverse plant cover. Today, RS indices are widely used in research projects in specialized fields, such as vegetation health, stress assessment, plant development rate, and plant greenness, to evaluate vegetation health, stress types, and plant illnesses. Hyperspectral imagery, particularly from the red and near-infrared bands in the electromagnetic spectrum (690-740 nm), has been widely used to derive vegetation indices. This project intends to monitor the forest risk regions of a segment of northern Iran's forests in 2020 using a combination of various indices produced by RS data and a geographic information system (GIS). Prisma hyperspectral images were used to assess the health of forests in Northern Iran's Rudsar, Ramsar, and Tonkabon forests, focusing on water stress, insufficient growth, plant pests, diseases, and greenness. Forest areas are divided into five risk-acceptance regions using RS indices, and the data is analyzed using various GIS weighting methods to determine the remaining dangerous forest regions.

Methodology

The study utilized twelve plant indices from three categories (greenness, growth, leaf pigments, and leaf surface moisture) and four other individual vegetation indices using various techniques. Based on this, the study selected sixteen forest risk-taking maps from five classes with varying risk-taking potential, weighted the layers using hierarchical analysis, and generated a final map based on the obtained weights. When the average results of combined and individual indices were compared with the classification map, it was discovered that the combined indices were more accurate than the individual indices. Existing composite indices are categorized into three broad groups: plant greenness, leaf pigment, and productivity of water or light usage in the vegetation canopy. The three primary characteristics each possess multiple indices that can be combined to provide crucial insights into forest health ... ▶ Page 8

Keywords:

Prisma hyperspectral images,
Forest risk areas,
Combination of plant indices,
Hierarchical analysis process

1- Remote Sensing and GIS PhD student, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz, Tabriz-Iran. samanehbagheri99@gmail.com

2- Remote Sensing and GIS PhD student, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz, Tabriz-Iran. m.sorghali@gmail.com

3- (*corresponding author) Associate Professor, Department of Geomatics, University of Tabriz, Tabriz-Iran, h_emami@tabrizu.ac.ir, h_emami@ut.ac.ir

Results and discussion

The study reveals that when combined with appropriate indices, combined indices can provide high accuracy in the risk assessment of forest areas in the north of the country. In contrast, an incorrect combination can result in low-accuracy outcomes. The study found that the combined indices had a 11% error in two high-risk forest areas, while individual indices had a nearly double error of 21%. The use of composite indices significantly reduces the inaccuracy of calculating forest risk regions by 50% and enhances the accuracy of monitoring these areas. Furthermore, when the combined indices were examined independently, the findings revealed that the combination of the VCN and VCNW indices yielded the maximum accuracy. These compounds are highly effective in assessing the health of vegetation, assessing plant stress, and determining plant water content. On the other hand, the combined indexes from RC were less accurate than the previous combination, with the highest accuracy levels being SIPI, NDII, NDWI, and WBI. These synthetic substances are utilized in the fields of plant health and stress assessment. The accuracy of SIPI, NDII, NDWI, WBI, PRI1, and RGRI is significantly reduced when combined with the NC index. The combination's low accuracy may be due to the NDVI index's limitations, as it is primarily used to detect vegetation presence or absence and does not detect plant health or stress. The study presents the first results from research on plant stress in northern Iranian forests using Prisma hyperspectral data. Hyperspectral data is chosen for its superior spatial, spectral, and radiometric resolution, making it ideal for studying dynamic ecosystems in the current research region. Hyperspectral RS allows for non-destructive monitoring of leaf pigments like chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin content, crucial indicators of vegetation health. Therefore, the recommendation is to employ a combination of indices with diverse approaches in hyperspectral images instead of using individual indices for monitoring vegetation usage.

Conclusion

Forest health monitoring is a crucial aspect of forest management programs, and utilizing RS techniques

and data can be highly beneficial in this field. The study compared the accuracy of combined indices and individual indices using the classification map, revealing that combined indices were more precise. In addition, the results showed that in almost two high-risk classes of the forest area, the combined indicators have an error of 11% and the individual indicators have an error of almost twice their error, 21%. Therefore, composite indices significantly reduce forest risk area estimation errors by 50% and improve accuracy. Therefore, it's recommended to use a combination of indices with different approaches in hyperspectral images instead of individual indices for monitoring vegetation usage.



ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی

با استفاده از داده‌های فراطیفی پریسما - بخشی از مناطق جنگلی شمال ایران

سمانه باقری^۱، محمود سورغالی^۲، حسن امامی^۳

چکیده

این تحقیق از داده‌های تصاویر فراطیفی پریسما برای پایش وضعیت سلامتی جنگل و مناطق ریسک‌پذیر جنگلی از لحاظ تنش‌های آبی، عدم رشد کافی، آفت و بیماری‌های گیاهی و میزان سبزینگی بخشی از جنگل‌های رودسر، رامسر و تنکابن در شمال ایران در سال ۲۰۲۰ پرداخته است. برای این منظور، ابتدا با ترکیب شاخص‌های سنجش از دوری با رویکردهای مختلف، مناطق جنگلی از لحاظ ریسک‌پذیری، به پنج منطقه مختلف تقسیم‌بندی و سپس نتایج حاصل در هر مرحله با روش‌های مختلف وزندهی در سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شده و نقشه نهایی مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل شده است. در پژوهش حاضر، از ترکیب دوازده شاخص گیاهی از سه گروه شاخص‌های مختلف شامل: سبزینگی، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های برگ گیاهان و شاخص‌های رطوبت سطح برگ و همچنین چهار شاخص انفرادی دیگر مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس، شانزده نقشه ریسک‌پذیر جنگلی در پنج کلاس با پتانسیل ریسک‌پذیری مختلف استخراج، سپس این لایه‌های اطلاعاتی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزندهی شدند و در ادامه نقشه نهایی براساس وزن‌های اختصاص یافته تولید شد. مقایسه میانگین نتایج شاخص‌های ترکیبی و شاخص‌های منفرد، با نقشه حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که شاخص‌های ترکیبی نسبت به شاخص‌های منفرد، از دقت بالایی برخوردارند. مقادیر کمی نتایج نشان دادند تقریباً در دو کلاس پریسک منطقه جنگلی شاخص‌های ترکیبی دارای خطای ۱۱ درصد و شاخص‌های منفرد دارای خطای تقریباً دو برابری آن‌ها - ۲۱ درصد - هستند. لذا به‌کارگیری شاخص‌های ترکیبی تقریباً ۵۰ درصد خطای تخمین مناطق ریسک‌پذیری جنگلی را کاهش داده و با دقت بهتری پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی را رقم می‌زنند. بنابراین استفاده از ترکیب شاخص‌ها با رویکردهای مختلف در تصاویر فراطیفی نسبت به روش شاخص‌های منفرد برای پایش کاربردهای مختلف پوشش گیاهی توصیه می‌شود.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۱۴

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۲/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۰/۰۸

تاریخ انتشار:

۱۴۰۲/۱۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:

تصاویر فراطیفی پریسما؛

مناطق ریسک‌پذیر جنگل؛

ترکیب شاخص‌های گیاهی؛

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران samanehbagheri99@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران m.ssorghali@gmail.com

۳- دانشیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران (نویسنده مسئول) h_emami@ut.ac.ir, h_emami@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

آن‌ها از داده‌های مربوط به سنجنده هوآبرد AVIRIS-NG برای بررسی تعدادی از شاخص‌های مرتبط با استرس گیاه مانند آنتوسیانین، کاروتنوئید، لیگنین، کلروفیل آ و ب و غیره استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در جنگل حفاظتی شولایار (۴۹۳ کیلومتر مربع)، یک منطقه به مساحت ۱۶۱ کیلومتر مربع سالم بوده در حالی که حدود ۲۱۸ کیلومتر مربع از منطقه در شرایط ناسالم قرار داشت و ۷۷ کیلومتر مربع از منطقه دارای حداقل شرایط سلامتی بودند.

کایات و همکارانش (Kayet et al., 2019) در تحقیقی به ارزیابی وضعیت سلامت جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فراطیفی و چندطیفی پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که داده‌های فراطیفی هایپریون با استفاده از شاخص‌های گیاهی دقت بهتری را برای ارزیابی سلامت جنگل (دقت کلی ۸۱/۵۲٪، آمار کاپا ۰/۷۹) نسبت به روش نگاشت زاویه طیفی (دقت کلی ۷۹/۹۹٪ و آمار کاپا ۰/۷۵) دارند.

هاتی و همکارانش (Hati et al., 2021) پتانسیل و قابلیت استفاده از تصاویر ابرطیفی AVIRIS-NG را در پایش وضعیت سلامت جنگل مانگروی جزیره لوئیان با نوع گیاهی فراوان در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نه شاخص گیاهی که تمام جنبه‌های وضعیت سلامت را پوشش می‌دادند، بررسی نمودند. نتایج تحقیقاتشان نشان داد که روند منفی قابل توجهی در محتوای رنگدانه گیاهی وجود دارد که بیانگر وضعیت نامطلوب سلامت گیاهی و افزایش استرس در کل جنگل مانگروی جزیره لوئیان است. همچنین نتایج کمی پژوهش آن‌ها حاکی از این واقعیت بود که تقریباً ۵۶٪ از مساحت کل جنگل، نشانه‌های افزایش استرس گیاهی در دوره مطالعه داشته‌اند و ۳۵٪ از منطقه مورد مطالعه هیچ تغییری در شرایط استرس نشان نداده‌اند.

هاگ و همکارانش (Haq, Amjad, Waheed, Bussmann, & Proćków, 2022) به منظور تجزیه و تحلیل ویژگی‌های جنگل در رشته‌کوه زیروان، از تکنیک شاخص ارزیابی کیفیت

پایش تغییرات پوشش گیاهی نقش اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست دارد. روش‌های متعددی برای آشکارسازی تغییرات یک منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. از جمله روش‌های بررسی تغییرات و تهیه نقشه‌های موضوعی مرتبط با پایش پوشش مختلف گیاهی، استفاده از شاخص‌های مختلف گیاهی است. امروزه شاخص‌های مختلف سنجنش از دوری در مطالعات مختلف به کار گرفته می‌شوند که هر یک در زمینه‌ای خاص، همچون سلامت گیاه، انواع تنش‌ها شامل تنش‌های آبی و بیماری‌های گیاهی، بررسی میزان رشد و سبزیگی گیاه و نظایر آن، اطلاعات ارزشمندی را به دست می‌دهند. بسیاری از شاخص‌های گیاهی منتج از تصاویر فراطیفی، همچون شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های چندطیفی از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند که در محدوده طیفی ۶۹۰ تا ۷۴۰ نانومتر طیف الکترومغناطیس قرار دارد. در این محدوده طیفی، به واسطه وجود کلروفیل در گیاه، بیشترین جذب و بازتاب امواج الکترومغناطیسی در رفتار طیفی گیاه ایجاد می‌شود. باند مادون قرمز نزدیک در مقایسه با باند قرمز از طول موج و میزان نفوذ بیشتری برخوردار است، در نتیجه اطلاعات بیشتری را در ارتباط با ترکیبات و ساختارهای درونی برگ گیاه در اختیار کاربران قرار می‌دهد. با توجه به اینکه در سنجنش از دور فراطیفی، این شناسایی با دقت بیشتری صورت می‌گیرد، از این رو به صورت دقیق‌تر می‌توان تغییرات ایجاد شده در پوشش‌های گیاهی را مدل‌سازی نمود.

محققین متعددی از شاخص‌های گیاهی منفرد، در پایش کاربردهای مختلف از پوشش گیاهی استفاده کرده‌اند. احمد و همکارانش (Ahmad, Pandey, Kumar, Lele, & Bhattacharya, 2020) در مطالعه‌ای به تحلیل سلامت جنگل، پارامترهای آن و مناسب بودن داده‌های فراطیفی برای مطالعات مرتبط با سلامت گیاهی در جنگل حفاظتی شولایار پرداخته‌اند.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۳)

ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۱۱

برای ارزیابی سلامت جنگل، با استفاده از تصاویر Sentinel 2A توسعه دادند و شاخص‌های منفرد از جمله شاخص بازتاب آنتوسیانین (ARI1)، شاخص رنگدانه غیرحساس به ساختار (SIPI) و شاخص اختلاف نرمال شده گیاهی (NDVI) را برای تجزیه و تحلیل سلامت جنگل به‌کار بردند. آن‌ها همچنین محتوای کلروفیل سایبان را با استفاده از نرم‌افزار SNAP محاسبه کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد، دقت کلی در پایش سلامت جنگل به‌ترتیب در ماه‌های می و اکتبر ۰/۸۲ و ۰/۸۶ بود که از طریق مقایسه با واقعیت زمینی تأیید شد.

همه روش‌های شاخص مبنای مطالعات پوشش گیاهی و جنگل‌ها از شاخص‌های گیاهی به‌صورت انفرادی استفاده کرده‌اند، در صورتی‌که هر شاخص گیاهی خصوصیات منحصربه‌فردی داشته و نمی‌تواند همه خصوصیات گیاهی را مد نظر قرار دهد. بدیهی است هر شاخص بخشی از خصوصیات پوشش گیاهی را بیان می‌کند و از بیان دیگر خصوصیات ناتوان است، لذا ترکیب گروه‌های مختلف پوشش گیاهی با حفظ خصوصیات منحصربه‌فرد هر شاخص، اکثر خصوصیات پوشش گیاهی را مد نظر قرار می‌دهند.

هدف از مطالعه حاضر، بهره‌گیری از ترکیب شاخص‌ها از سه گروه مختلف شامل: شاخص‌های سبزینگی، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های برگ گیاهان و شاخص‌های رطوبت سطح برگ با رویکردهای مختلف با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پایش مناطق ریسک جنگلی است. برای این منظور، از تصویر سنجنده فراطیفی جدید پریسما برای اجرای روش پیشنهادی ترکیب شاخص‌های گیاهی استفاده شد. ابتدا با ترکیب شاخص‌های سنجنش از دوری با رویکردهای مختلف، مناطق جنگلی از لحاظ ریسک‌پذیری به چهار منطقه تقسیم‌بندی شده و سپس نتایج حاصل در هر مرحله با روش فرآیند سلسله مراتبی وزن‌دهی و نقشه نهایی مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل شده است.

در این تحقیق، ترکیب دوازده شاخص مختلف گیاهی از سه گروه شاخص‌های سبزینگی، شاخص‌های رشد و

فلورستیکی (FQAI) برای ارزیابی وضعیت سلامت اکوسیستم پوشش گیاهی استفاده کردند. براساس یافته‌های آن‌ها، منطقه جنگلی مورد مطالعه، مقدار شاخص ارزیابی کیفیت فلورستیکی را عدد ۶۱/۴۱ نشان داد. آن‌ها با استفاده از این شاخص، ۵۴ گونه از گونه‌های گیاهی در حال رشد در منطقه جنگلی را در چهار کلاس مختلف رتبه‌بندی کردند. از یافته‌های این مطالعه می‌توان در توسعه روش‌های مدیریتی برای حفظ اکوسیستم‌ها، به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده استفاده کرد.

لی یو و همکارانش (Lu, Zhou, Sun, Chen, & Guan, 2021) در مطالعه‌ای براساس داده‌های پنج مزرعه جنگلی در پکن، به‌طور کمی سلامت اکوسیستم جنگلی را در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۴ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های آماری- مکانی و مدل‌سازی ریاضی ارزیابی کردند. آن‌ها در تحقیقات خود، الگوی مکانی- زمانی و ویژگی‌های تکامل شرایط سلامت بخش‌های فرعی جنگل را با در نظر گرفتن انواع مختلف درختان جنگل، گروه‌های سنی جنگل و دسته‌های جنگلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که وضعیت سلامتی بخش‌های فرعی جنگلی بین سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافته است و مساحت و تعداد زیربخش‌های جنگلی در سطح "سالم" افزایش آشکاری را نشان می‌دهد و اکثر زیربخش‌های جنگلی که به‌عنوان "ناسالم" و "بیمار" طبقه‌بندی می‌شوند به سطح "سلامت ضعیف" ارتقا یافته‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های تکامل زمانی - مکانی سلامت جنگل در منطقه مورد مطالعه عمدتاً تحت‌تأثیر موقعیت جغرافیایی، منابع جنگلی، توسعه اجتماعی-اقتصادی، محیط طبیعی و سیاست‌های جنگلداری قرار دارد.

گوپتا و همکارانش (Gupta & Pandey, 2021) به‌منظور نظارت بر سلامت جنگل در فصل مناسب برای بررسی پوشش گیاهی (مانند بهار و تابستان) بر جنبه‌های طیفی با استفاده از تصاویر چندطیفی پرداختند. آن‌ها یک رویکرد سیستماتیک

جدول (۱) مشخصات سنجنده پریسما را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات سنجنده فرایطیفی پریسما

پارامتر	محدوده VNIR	محدوده SWIR	باند پانکروماتیک
محدوده طیفی (نانومتر)	۴۰۰-۱۰۱۰	۹۲۰-۲۵۰۵	۴۰۰-۷۰۰
تعداد باند	۶۶	۱۷۱	۱
قدرت تفکیک مکانی (متر)	۳۰	۳۰	۵
عرض جاروب (متر)	۳۰	۳۰.۳	۳۰
قدرت رادیومتریکی (بیت)	۱۲	۱۲	۱۲

رنگدانه‌های برگ گیاهان و شاخص‌های رطوبت سطح برگ با رویکردهای مختلف و همچنین چهار شاخص گیاهی منفرد دیگر مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل در شانزده نقشه ریسک‌پذیر جنگلی شامل پنج کلاس ریسک‌پذیری استخراج شد. سپس این لایه‌های اطلاعاتی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند و نقشه نهایی براساس وزن‌های به‌دست آمده تولید شد. دلیل اصلی استفاده از روش ترکیب شاخص‌ها این است که در این روش سه گروه شاخص با خصوصیات مختلف که هر یک پتانسیل و کارایی خاص خود را دارد، در کنار هم قرار گرفته و یک ترکیب با دقت و کارایی بالا را به منظور پیش مناطق جنگلی شکل می‌دهند.

۲- مواد و روش‌ها

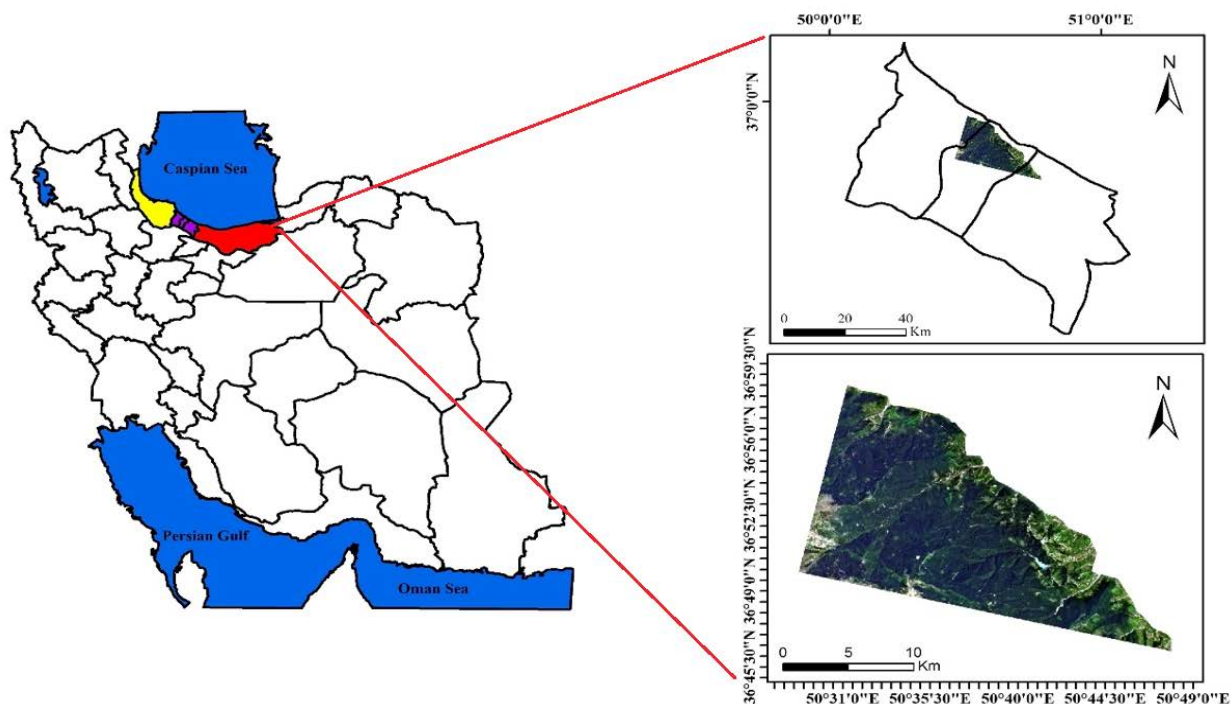
۲-۱- داده‌های تحقیق و پیش‌پردازش آن‌ها

ماهواره پریسما^۱ یک سیستم ماهواره‌ای فرایطیفی است که توسط سازمان فضایی ایتالیا (ASI) در تاریخ ۲۲ مارس ۲۰۱۹ با ارتفاع ۶۱۵ کیلومتری در مدار زمین قرار گرفته است. این سیستم با یک دوره تکرار ۲۹ روزه و قابلیت بازدید مجدد از یک هدف خاص در کمتر از یک هفته با دید جانبی، به‌طور متوسط در هر منطقه تکرار می‌شود. این ماهواره به عنوان یک ماهواره کوچک با عمر عملیاتی تخمینی پنج سال دسته‌بندی می‌شود. سنجنده‌های آن شامل دو حسگر ابرطیفی و یک دوربین پانکروماتیک است. دو حسگر ابرطیفی قادر به گرفتن تصاویر ۲۳۹ باند طیفی از ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر هستند، که ۶۶ باند در ناحیه مرئی تا مادون قرمز نزدیک و ۱۷۳ باند در ناحیه مادون قرمز کوتاه موج را پوشش می‌دهند. این حسگرها دارای قدرت تفکیک طیفی کمتر از ۱۲ نانومتر و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر هستند و سنجنده پانکروماتیک دارای قدرت تفکیک مکانی پنج متر است و در محدوده طیفی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر فعالیت می‌کند (Gasmi, Gomez, Chehbouni, Dhiba, & El Gharous, 2022).

۲-۲- منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های آن

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، مناطق جنگلی سه شهرستان رودسر، رامسر و تنکابن از شهرستان‌های استان‌های گیلان و مازندران را شامل می‌شود. جنگل‌های شمال کشور که به جنگل‌های ناحیه رویشی هیرکانی یا کاسپی، جنگل‌های مرطوب و جنگل‌های صنعتی شمال شهرت یافته‌اند، هم چون نوار سبزی حاشیه جنوبی دریای خزر و نیم‌رخ شمالی رشته کوه البرز از آستارا تا گلیداغی را به طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر، عرض ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر و ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا پوشانده‌اند. با توجه به آب و هوای منطقه درخت‌های جنگل‌های هیرکانی تنوع خوبی دارند. نگاره (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

این منطقه دارای سه اقلیم آب و هوایی است که به آب و هوای مرطوب و گرم در تابستان، آب هوای مرطوب پاییزی و آب و هوای معتدل زمستانی تقسیم‌بندی می‌شوند. اکثر درخت‌های جنگل هیرکانی درختان پهن برگ و صورتی هستند. درخت‌های چون راش، افرا، نارون، توسکا، زبان گنجشک، ممرز، بارانک، سرخدار، نم‌دار، انجیلی، لرگ، لیکی، خردمندی، انجیر و ده‌ها مورد دیگر هستند.



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

با استفاده از روش نسبت سیگنال به نویز^۱ حذف شدند و فقط از ۲۰۳ باندها از ۲۳۹ باندهای طیفی در مراحل بعدی پژوهش استفاده شده است. بعد از آن، ترکیب سه گروه شاخص‌های مختلف انجام گرفت. سه دسته کلی شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی عبارتند از: شاخص‌های مربوط به سبزیگی گیاه، شاخص‌های مربوط به رنگدانه برگ و شاخص‌های مربوط به بهره‌وری استفاده از آب یا نور تاج پوشش گیاهی. هر یک از این سه گروه اصلی دارای شاخص‌های متنوعی هستند که با ترکیب آن‌ها می‌توان به نتایج ارزشمندی در زمینه سلامت جنگل دست پیدا کرد. جدول (۲) شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

شاخص NDVI، شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده است که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه به کار می‌رود. شاخص RENDVI یک شاخص پوشش گیاهی برای تخمین سلامت پوشش گیاهی با استفاده از نوار لبه قرمز است.

درختان راش معروف‌ترین درختان جنگل هیرکانی به حساب می‌آیند. در مناطق مرتفع جنگل هیرکانی درختانی چون سابینا و کامونیس نیز رشد می‌کنند. در ارتفاع کمتر و مناطق جلگه‌ای هم درخت‌های شمشاد، توسکا و بلوط رشد می‌کنند. به دلیل نفوذپذیری آب در خاک جنگل‌های هیرکانی، رطوبت و بارش باران، درخت‌های بسیاری در این جنگل روئیده و رشد کرده‌اند. درخت سرخ‌دار، زربین و سرنوشت از گونه‌های کمیاب در جهان به شمار می‌روند که در جنگل‌های هیرکانی وجود دارند.

۲-۳- روش تحقیق

در این تحقیق، علاوه بر شاخص‌های طیفی منفرد، از شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی که متشکل از سه گروه شاخص‌های سبزیگی، شاخص‌های رشد و رنگدانه‌های برگ گیاهان و شاخص‌های رطوبت سطح برگ، برای پایش سلامت مناطق جنگلی و مناطق ریسک‌پذیر استفاده شده است. سپس، به منظور نتیجه‌گیری بهتر، باندهای دارای نویز

1- Signal to Noise Ratio

جدول ۲: شاخص‌های استفاده شده در روش ترکیبی

مرجع	فرمول و علامت اختصاری	شاخص منفرد	شاخص ترکیبی
(Rouse, Haas, Schell, & Deering, 1974)	$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	شاخص‌های سبزی‌نگی
(A. A. Gitelson, Zur, Chivkunova, & Merzlyak, 2002)	$RENDVI = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (RENDVI)	
(Vogelmann, Rock, & Moss, 1993)	$VREI1 = \frac{\rho_{740}}{\rho_{720}}$	Vogelmann Red Edge index 1 (VREI1)	
(A. Gitelson & Merzlyak, 1994)	$CRI1 = \frac{1}{\rho_{510}} - \frac{1}{\rho_{550}}$	Carotenoid Reflectance index 1 (CRI1)	شاخص رنگدانه‌های برگ گیاهان
(A. A. Gitelson, Merzlyak, & Chivkunova, 2001)	$ARI1 = \frac{1}{\rho_{550}} - \frac{1}{\rho_{700}}$	Anthocyanin Reflectance Index 1 (ARI1)	
(Hardisky, Daiber, Roman, & Klemas, 1984)	$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}}$	Normalized Difference Infrared Index (NDII)	شاخص‌های رشد و رطوبت سطح برگ
(Gao, 1995)	$NDWI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}}$	Normalized Difference Water Index (NDWI)	
(Peñuelas, Filella, Biel, Serrano, & Save, 1993)	$WBI = \frac{\rho_{970}}{\rho_{900}}$	Water Band index (WBI)	
(Gamon, Penuelas, & Field, 1992)	$PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}}$	Photochemical Reflectance index (PRI)	
(Gamon & Surfus, 1999)	$RGRI = \frac{\sum_{i=600}^{699} \rho_i}{\sum_{j=500}^{599} R\rho_j}$	Red Green Ratio index (RGRI)	
(Penuelas, Baret, & Filella, 1995)	$SIP1 = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} - \rho_{680}}$	Structure insensitive Pigment index (SIP1)	

به‌ویژه برای تخمین سلامت محصول در مراحل اواسط تا اواخر رشد، زمانی که غلظت کلروفیل نسبتاً بالاتر است، مفید است. شاخص VREI1، برای تخمین میزان پوشش گیاهی سالم و تحت تنش به‌کار می‌رود. این نسبت نور پراکنده در باندهای مادون‌قرمز حرارتی و لبه قرمز است که اثرات جو و توپوگرافی را کاهش می‌دهد. شاخص CRI1 با توجه به اینکه پوشش گیاهی ضعیف حاوی غلظت بیشتری از کاروتنوئیدها است، یکی از معیارهای پوشش گیاهی تحت تنش است. مقادیر بالاتر CRI1 به معنای غلظت کاروتنوئید بیشتر نسبت به کلروفیل است. مقدار این شاخص از ۰ تا بیش از ۱۵ متغیر است. شاخص NDII یک شاخص اندازه‌گیری بازتاب است که به تغییرات

به‌ویژه برای تخمین سلامت محصول در مراحل اواسط تا اواخر رشد، زمانی که غلظت کلروفیل نسبتاً بالاتر است، مفید است. شاخص VREI1، برای تخمین میزان پوشش گیاهی سالم و تحت تنش به‌کار می‌رود. این نسبت نور پراکنده در باندهای مادون‌قرمز حرارتی و لبه قرمز است که اثرات جو و توپوگرافی را کاهش می‌دهد. شاخص

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۱۵

این شاخص در زمینه کشاورزی، پایش جنگل و تنش‌های گیاهی است. این شاخص با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود (Datt, 1999).

$$MRENDVI = (\rho_{750} - \rho_{705}) / ((\rho_{750} - \rho_{705}) - (2 \times \rho_{445}))$$

رابطه (۲)

ρ_{750} ، ρ_{705} و ρ_{445} طول موج بر حسب نانومتر هستند. مقدار تصویر خروجی این شاخص بین منفی یک تا مثبت یک است و معمولاً بازه بین 0.2 تا 0.7 پوشش گیاهی سالم را تشکیل می‌دهد. شاخص (VREI)^۳: این شاخص از یک حساسیت ترکیبی نسبت به کلروفیل برگ گیاه، سطح برگ‌های تاج پوشش و آب موجود در آن برخوردار است. این شاخص در مطالعات فنولوژی گیاهی و پایش چرخه آن و مدل‌سازی میزان بهره‌وری پوشش گیاهی به کار می‌رود. این شاخص با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود (Vogelmann et al., 1993).

$$VREI1 = (\rho_{740} / \rho_{720})$$

رابطه (۳)

ρ_{740} و ρ_{720} طول موج بر حسب نانومتر هستند. بازه مقادیر این شاخص بین 0 تا 20 متغیر بوده و معمولاً پوشش گیاهی سالم در آن از مقادیر بین 4 تا 8 برخوردار است. شاخص (TVI)^۴: این شاخص براساس مثلث فرضی فضای طیفی که سه رأس آن از (۱) پیک بازتاب باند سبز، (۲) کمترین جذب کلروفیل و (۳) ناحیه مادون قرمز نزدیک تشکیل شده است. زمانی که افزایش کلروفیل باعث افزایش جذب در محدوده قرمز می‌شود بازتاب در مادون قرمز نزدیک افزایش پیدا کرده و در نتیجه به مساحت مثلث نیز افزوده می‌شود. این شاخص با استفاده از معادله (۴) محاسبه می‌شود (Broge & Leblanc, 2001).

$$TVI = 0.5[120(\rho_{750} - \rho_{550}) - 200(\rho_{670} - \rho_{550})]$$

رابطه (۴)

ρ_{750} ، ρ_{550} و ρ_{670} طول موج بر حسب نانومتر هستند. این

محتوای آب سایبان گیاهان حساس است. این شاخص به جای یک نسبت ساده از فرمول تفاوت نرمال‌شده استفاده می‌کند و مقادیر شاخص با افزایش محتوای آب افزایش می‌یابد. شاخص NDWI به شدت با محتوای آب گیاه مرتبط است. بنابراین یک نماینده بسیار خوب برای تنش آبی گیاه است. شاخص WBI، شاخصی است که به تغییرات وضعیت آب تاج پوشش حساس است. با افزایش محتوای آب تاج پوشش گیاهی، قدرت جذب در حدود 970 نانومتر نسبت به 900 نانومتر افزایش می‌یابد. شاخص PRI، یک شاخص نوری برای بررسی میزان استفاده از تابش فتوسنتزی در گونه‌ها، انواع عملکرد و سطوح مواد مغذی آن‌ها است. شاخص RGRI شاخصی است که بیانگر نسبی قرمزی برگ ناشی از آنتوسیانین نسبت به کلروفیل است. شاخص SIPI، شامل کاربردهایی همچون نظارت بر سلامت پوشش گیاهی، تشخیص تنش فیزیولوژیکی گیاه و میزان تولید محصول به کار می‌رود.

همچنین، شاخص‌های منفرد مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از؛ شاخص (MTVI)^۱: این روش، شاخص TVI را برای برآورد شاخص سطح برگ بهینه‌سازی می‌کند که این کار از طریق جایگزین کردن طول موج 750 نانومتر با 800 نانومتر صورت می‌گیرد. محدوده 750 نانومتر به شدت به واسطه تغییرات برگ و ساختار تاج پوشش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این شاخص از طریق معادله (۱) به دست می‌آید (Haboudane, Miller, Pattey, Zarco-Tejada, & Strachan, 2004).

$$MTVI = 1.2 \times [1.2 \times (\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5 \times (\rho_{670} - \rho_{550})]$$

رابطه (۱)

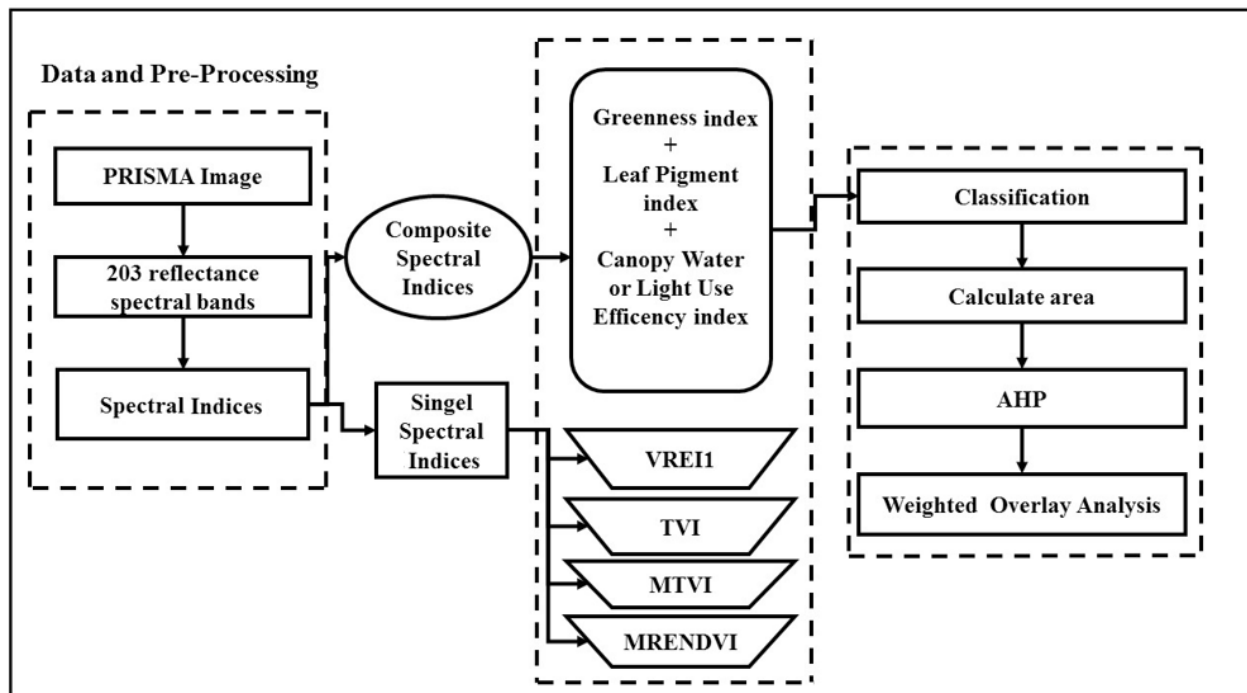
ρ_{800} ، ρ_{550} و ρ_{670} طول موج بر حسب نانومتر هستند. شاخص (MRENDVI)^۲: این شاخص نسخه اصلاح شده شاخص NDVI است که بازتاب سطح برگ را تصحیح نموده است. این شاخص از حساسیت بسیار بالایی نسبت به لبه قرمز و تغییرات آن برخوردار است. مهم‌ترین کاربردهای

3- Vogelmann Red Edge Index 1

4- Triangular Vegetation Index

1- Modified Triangular Vegetation Index

2- Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index



نگاره ۲: مراحل انجام پژوهش

در روش‌های داده-مبنا نمونه‌ای از پاسخ مسئله وجود دارد و مدل، از داده‌ها برای تعیین وزن لایه‌ها استفاده می‌کند. این روش‌ها زمانی کاربرد دارند که حداقل اطلاعاتی از محدوده مورد مطالعه در دسترس باشد. در روش‌های دانش-مبنا از نظرات کارشناسان برای تخصیص وزن به لایه‌ها استفاده می‌شود. در این روش‌ها معیارهای مورد نظر به کارشناسان ارائه شده و از آن‌ها خواسته می‌شود با توجه به دانش، تجربه و مهارتشان به هر کدام از معیارها وزن دهند. روش‌های مختلفی برای کسب نظرات کارشناسان و استخراج وزن از نظرات آن‌ها وجود دارد. روش تحلیل سلسله مراتبی که در این تحقیق نیز استفاده شده است، در مقایسه با دیگر روش‌های دانش مبنا، دقت بیشتر و مبانی نظری محکم‌تری دارد (Babaei, M., Gari, H., & Golanezhad, J., 2010). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش براساس مقایسه زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی معیارهای مختلف کمی و کیفی تصمیم‌گیری را می‌دهد.

شاخص برای برآورد شاخص سطح برگ مناسب است با این حال، نسبت به افزایش کلروفیل با افزایش تراکم پوشش گیاهی حساس است. در ادامه، ترکیب سه گروه شاخص‌های مختلف انجام گرفت و براساس میزان سلامت و تنش گیاهان، کلاس‌هایی به شاخص‌های استخراج شده اختصاص داده شد. مراحل انجام پژوهش در نگاره (۲) نشان داده شده است. در این مطالعه نتایج حاصل از ترکیب شاخص‌ها، بسته به هدف مطالعه مناطق ریسک‌پذیر یا دارای تنش گیاهی و یا مناطق دارای رشد مناسب از سایر کلاس‌ها تفکیک شد. سپس برای وزن‌دهی به لایه‌های ترکیبی حاصل، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. لازم به توضیح است که هنگام تلفیق اطلاعات به منظور نشان دادن میزان اهمیت نسبی این عوامل، از اعدادی به نام وزن استفاده می‌شود و این اعداد تأثیر مستقیم و بسزایی در نتایج هر مدل تلفیق اطلاعات دارند. روش‌های وزن‌دهی به دو دسته عمده دانش-مبنا (مثل تحلیل سلسله مراتبی) و داده-مبنا (مثل شبکه‌های عصبی) تقسیم می‌شوند (Hosseinli F., 2010).

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۱۷

حاصل از آن در پنج کلاس ریسک‌پذیر جنگلی را نشان می‌دهد. به دلیل زیاد بودن شاخص‌های انفرادی و نتایج مشابه حاصل از آن‌ها به چند نمونه اکتفا شد. نتایج حاصل از شاخص‌های منفرد برخی کلاس‌ها را غیرواقعی و اغراق‌آمیز نشان می‌دهند که نگاره (۶) نمونه‌ای از آن است. حال مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی استخراج و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج حاصل از شاخص‌های انفرادی مقایسه می‌شوند.

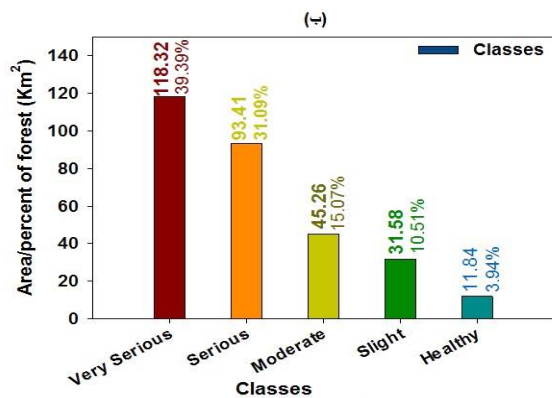
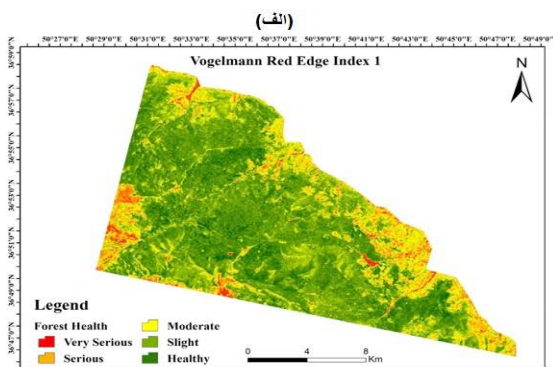
۳-۲- استخراج مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی

روش‌های ترکیب شاخص‌های پیشنهادی، شامل گروه شاخص‌های Greenness index، Leaf Pigment index و Water Band index هستند که هر یک از آن‌ها شامل طیف متنوعی

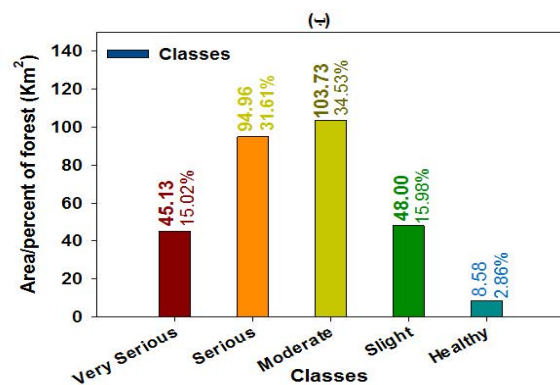
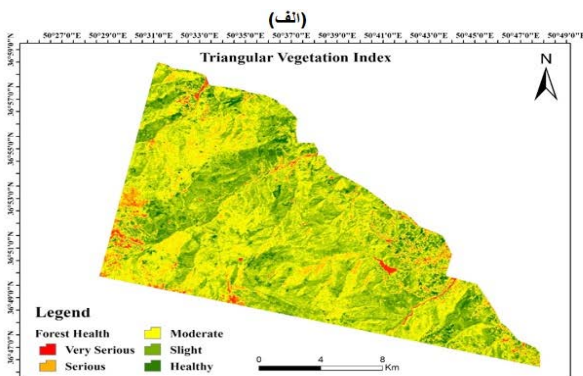
۳- نتایج و بحث

۳-۱- استخراج مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با شاخص‌های گیاهی منفرد

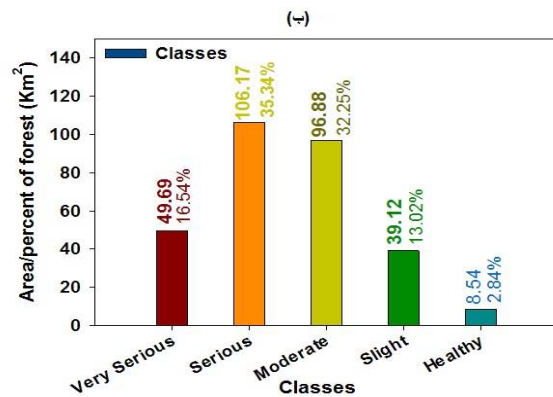
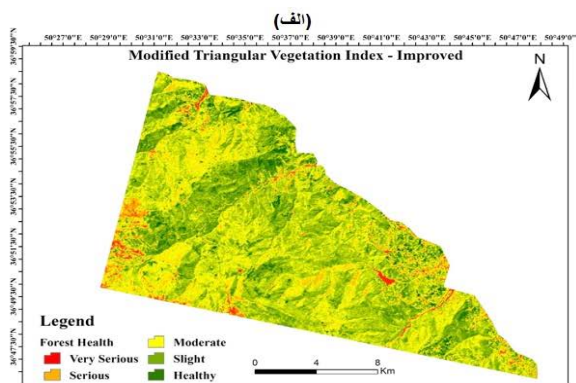
ابتدا نتایج حاصل از چندین شاخص منفرد انتخابی شامل VREII، TVI، MTVI و MRENDVI مناطق ریسک‌پذیر جنگلی استخراج شد. به دلیل زیاد بودن شاخص‌های انفرادی و نتایج مشابه حاصل از آن‌ها به چند نمونه اکتفا می‌شود. نگاره (۳) نتایج حاصل از شاخص VREII و نقشه حاصل از آن در پنج کلاس ریسک‌پذیر جنگلی را نشان می‌دهد. نگاره (۴) نتایج حاصل از شاخص TVI و نقشه حاصل از آن در پنج کلاس ریسک‌پذیر جنگلی را نشان می‌دهد. نگاره (۵) نتایج حاصل از شاخص MTVI و نقشه حاصل از آن در پنج کلاس ریسک‌پذیر جنگلی را نشان می‌دهد. نگاره (۶) نتایج حاصل از شاخص MRENDVI و نقشه



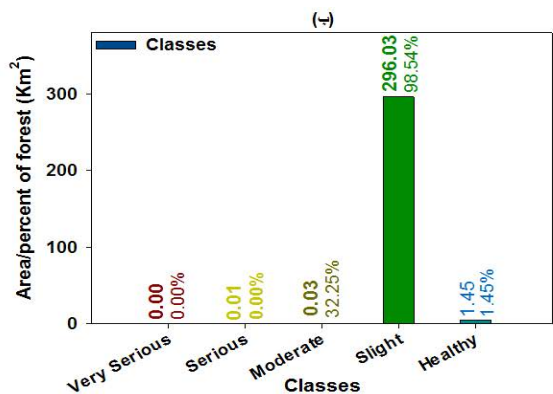
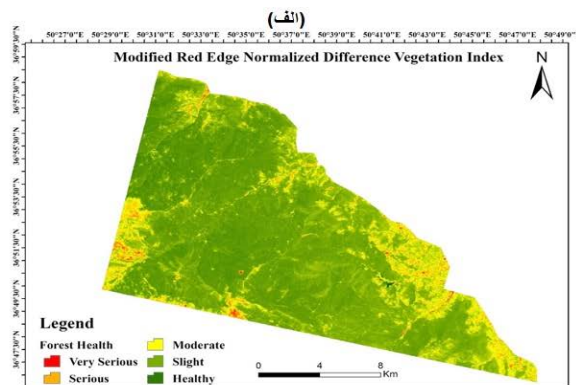
نگاره ۳: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل از استخراج شاخص منفرد VREII



نگاره ۴: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل از استخراج شاخص منفرد TVI



نگاره ۵: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل از استخراج شاخص منفرد MTVI



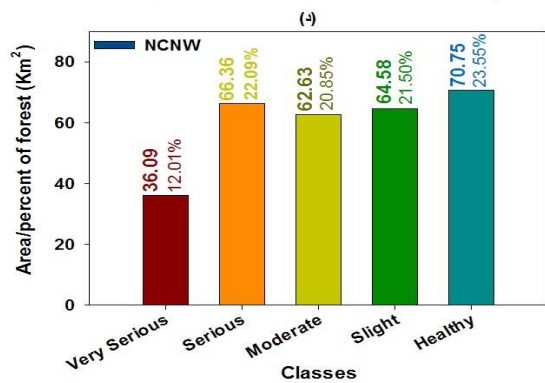
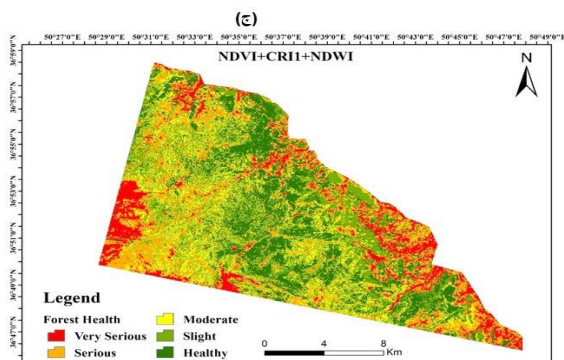
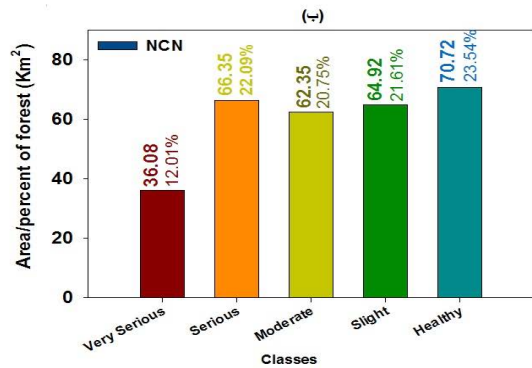
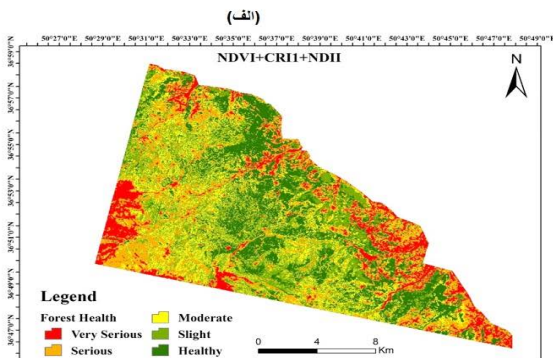
نگاره ۶: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل از استخراج شاخص منفرد MRENDVI

نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و PRI با علامت اختصاری پیشنهادی (NCP) و نگاره‌های (۸ ج و ۸ د) ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و RGR با علامت اختصاری پیشنهادی (NCR) هستند. نگاره‌های (۹ الف و ۹ ب) نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و SIPI با علامت اختصاری پیشنهادی (NCS) و نگاره‌های (۹ ج و ۹ د) ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و WBI با علامت اختصاری پیشنهادی (NCW) هستند. همچنین نگاره‌های (۱۰ الف و ۱۰ ب) نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و NDII با علامت اختصاری پیشنهادی (RCN) و نگاره‌های (۱۰ ج و ۱۰ د) ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و NDWI با علامت اختصاری پیشنهادی (RCNW) هستند.

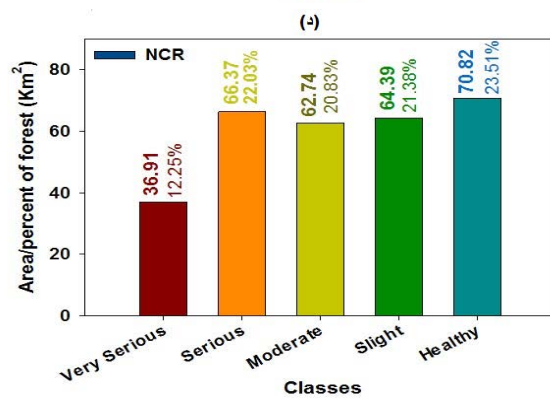
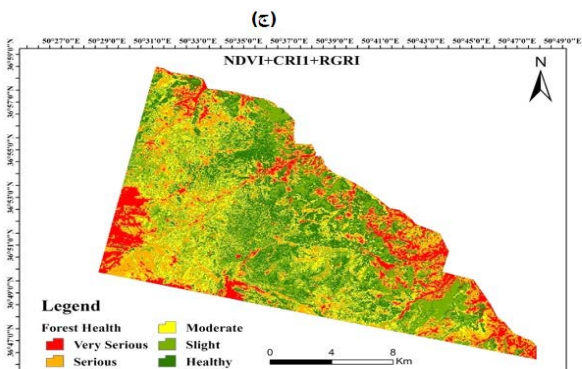
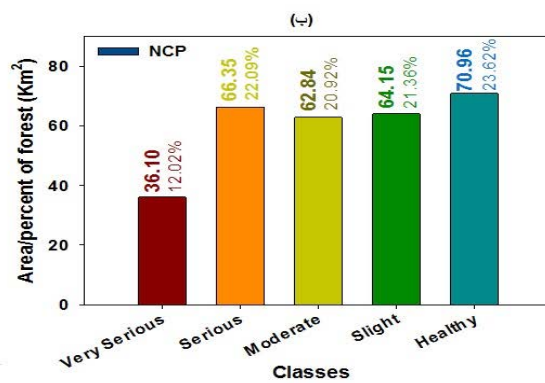
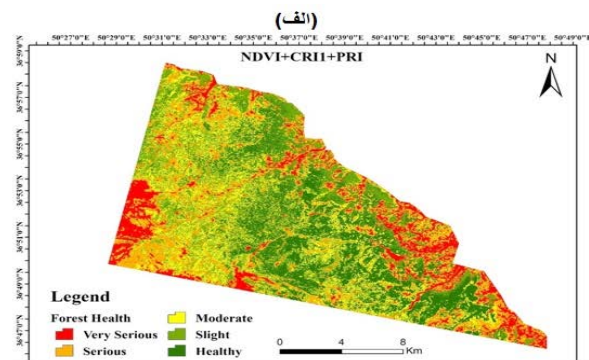
از شاخص‌های گیاهی هستند که به ترتیب سبزیگی گیاه، رنگدانه برگ و بهره‌وری استفاده از آب یا نور تاج پوشش گیاهی در مناطق جنگلی را نمایش می‌دهند. نگاره‌های (۷ الف و ۷ ب) نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و NDII با علامت اختصاری پیشنهادی (NCN) و نگاره‌های (۷ ج و ۷ د) ترکیب سه شاخص NDVI، CRII و NDWI با علامت اختصاری پیشنهادی (NCNW) هستند. به منظور بررسی کیفیت پوشش گیاهی و شناسایی مناطق دارای رشد مناسب و دارای تنش، هر یک از شاخص‌های استخراج شده در پنج طبقه، کلاس‌بندی شدند. کلاس Healthy به پوشش‌های گیاهی اختصاص دارد که فاقد هر نوع تنشی هستند و کلاس Very Serious به پوشش‌های گیاهی که دارای تنش‌هایی همچون کم آبی یا آفت هستند، اختصاص دارد. به همین ترتیب، نگاره‌های (۸ الف و ۸ ب)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

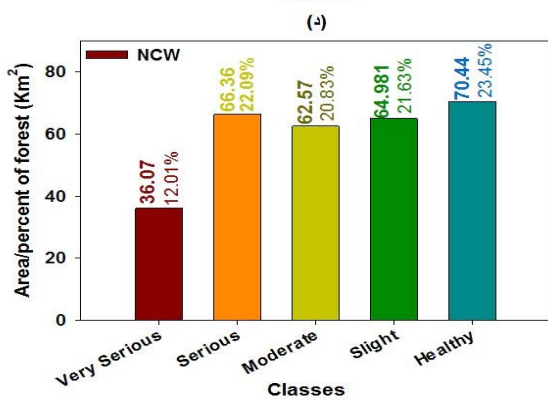
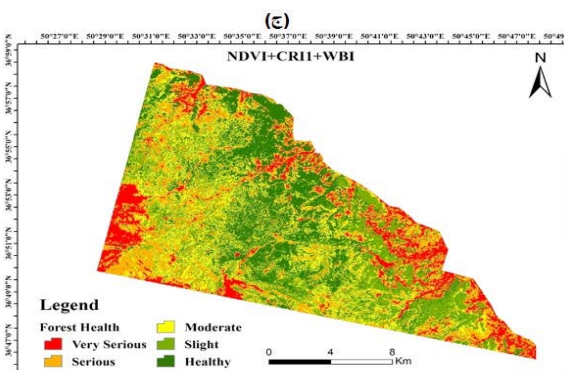
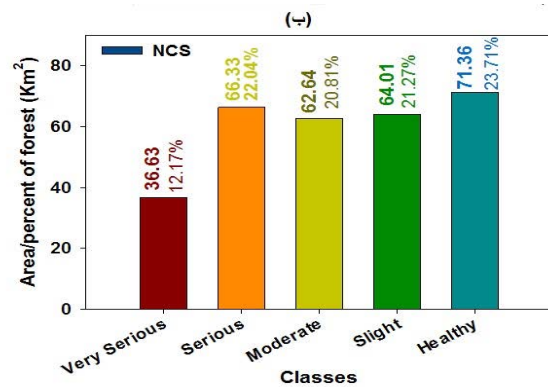
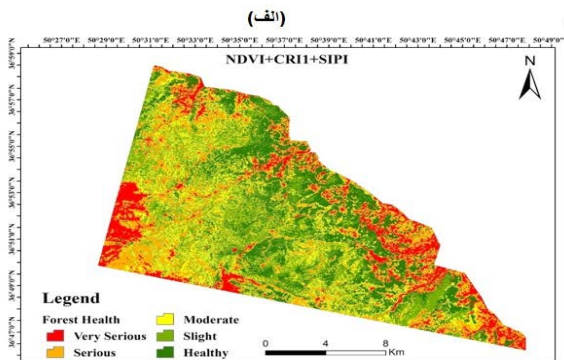
ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۱۹



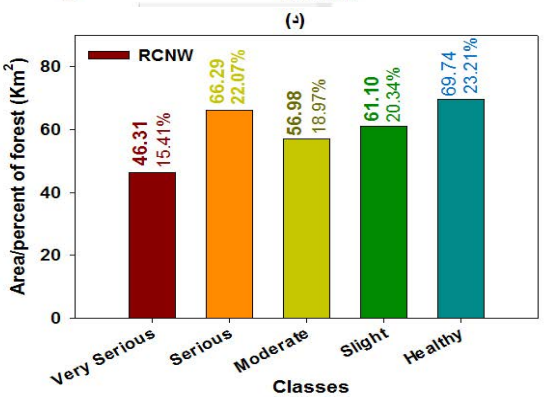
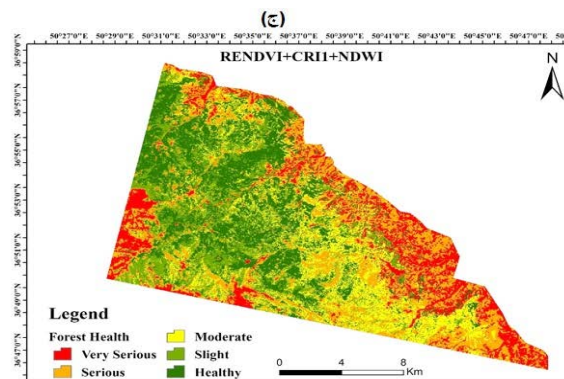
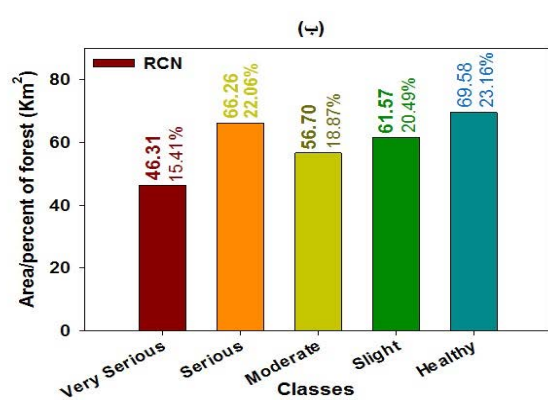
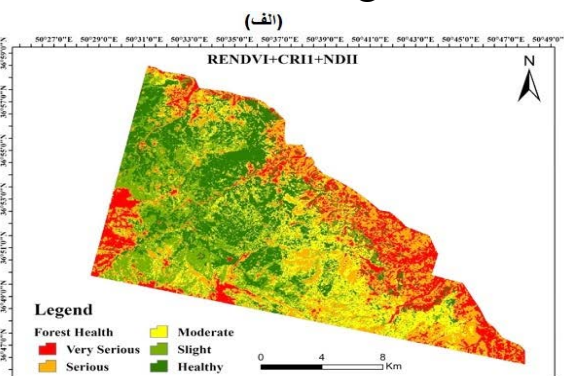
نگاره ۷: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، الف و ب) ترکیب شاخص‌های NCN، ج و د) ترکیب شاخص‌های NCNW



نگاره ۸: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، الف و ب) ترکیب شاخص‌های NCP، ج و د) ترکیب شاخص‌های NCR



نگاره ۹: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، الف و ب) ترکیب شاخص‌های NCS، ج و د) ترکیب شاخص‌های NCW



نگاره ۱۰: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، الف و ب) ترکیب شاخص‌های RCN، ج و د) ترکیب شاخص‌های RCNW

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

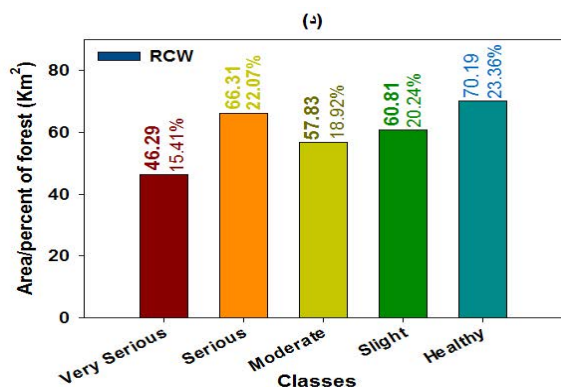
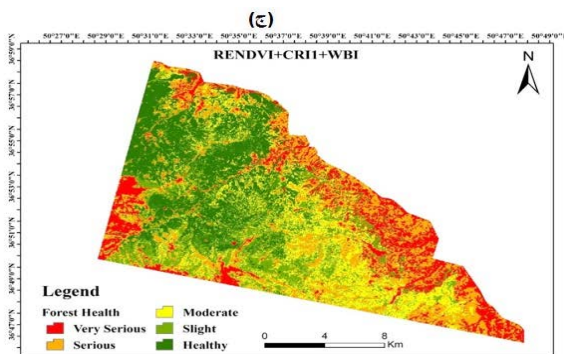
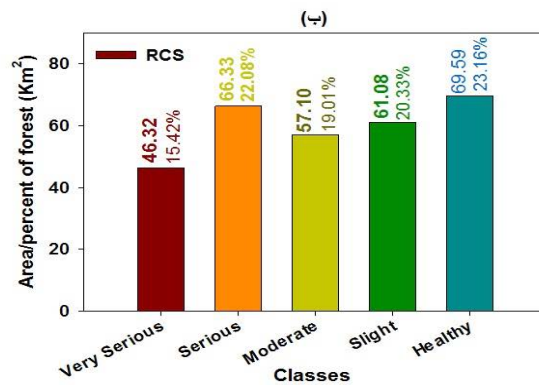
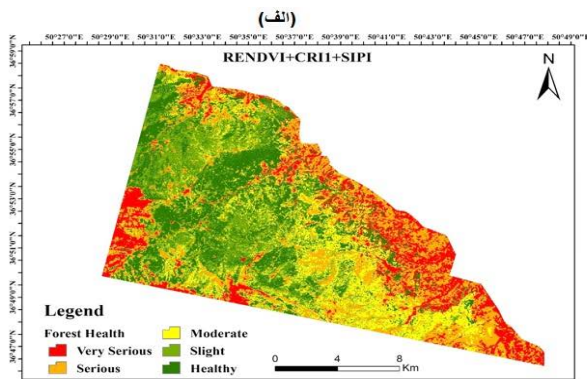
ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۲۱

در این میان، بیشترین دقت تا کمترین دقت به ترتیب در شاخص‌های $RGRI$ تا $PR1$ ، WBI ، $NDWI$ ، $NDII$ ، $SIPI$ حاصل شد. علاوه بر آن، شاخص‌های ترکیبی حاصل از ترکیب RC با شاخص‌های رشد و رطوبت سطح برگ نسبت به ترکیب قبلی از دقت بیشتری برخوردار بودند که در بین شاخص‌های استخراج شده بیشترین دقت تا کمترین دقت به ترتیب در شاخص‌های WBI و $NDWI$ ، $NDII$ ، $SIPI$ به دست آمد. بهترین عملکرد و بیشترین دقت به ترکیب شاخص‌های VC با شاخص‌های رشد و رطوبت سطح برگ اختصاص داشت. به منظور دستیابی به یک نقشه نهایی از مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، هر یک از شاخص‌های ترکیبی حاصل، با تصویر مرجع الگوریتم طبقه‌بندی، تصویر رنگی کاذب و گوگل ارث، رتبه‌بندی شده و با استفاده از روش فرآیند سلسله مراتبی وزن‌دهی مطابق نگاره (۱۳) شدند.

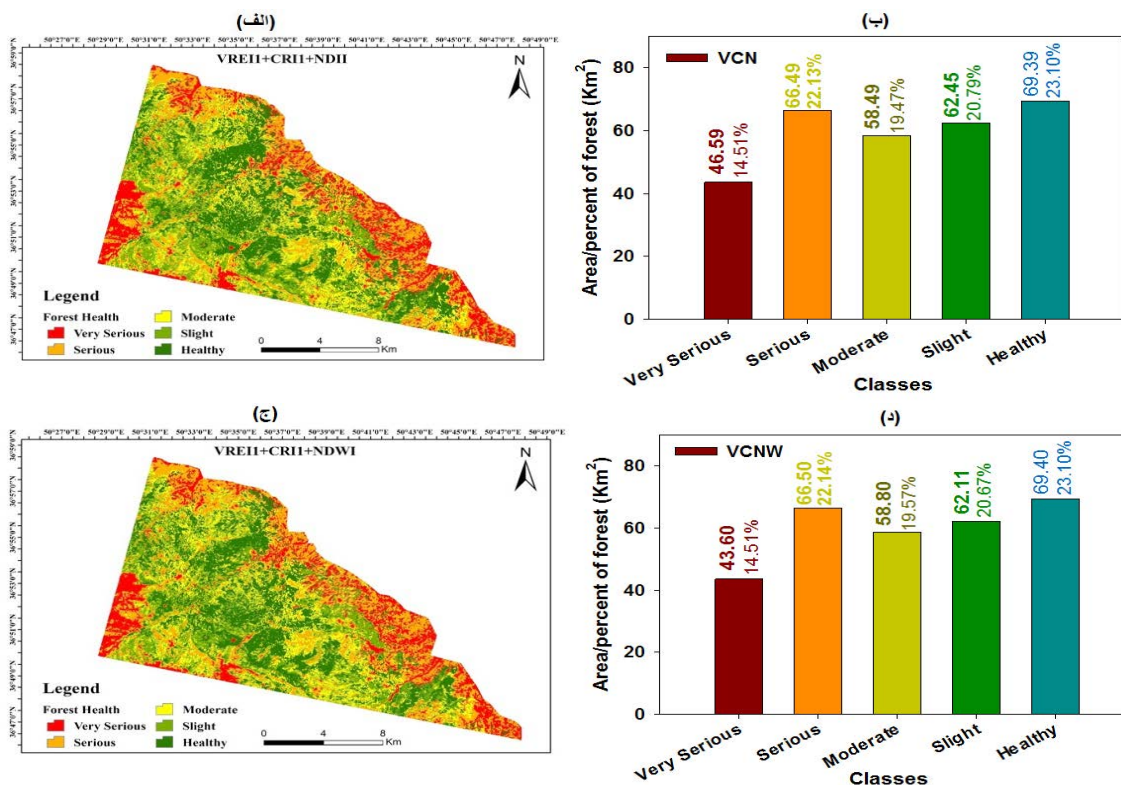
نگاره‌های (۱۱ الف و ۱۱ ب) نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص $RENDVI$ ، $CRI1$ و $SIPI$ با علامت اختصاری پیشنهادی (RCS) و نگاره‌های (۱۱ ج و ۱۱ د) ترکیب سه شاخص $RENDVI$ ، $CRI1$ و WBI با علامت اختصاری پیشنهادی (RCW) هستند.

نگاره‌های (۱۲ الف و ۱۲ ب) نشان‌دهنده نتایج حاصل از ترکیب سه شاخص $NDII$ ، $CRI1$ و $VREI1$ با علامت اختصاری پیشنهادی (VCN) و نگاره‌های (۱۲ ج و ۱۲ د) ترکیب سه شاخص $NDWI$ ، $CRI1$ و $VREI1$ با علامت اختصاری پیشنهادی ($VCNW$) هستند.

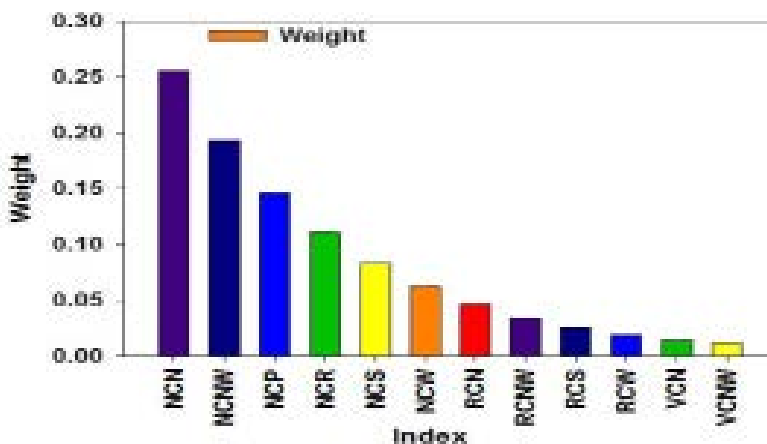
مقایسه خروجی‌های حاصل از شاخص‌های استخراج شده با تصویر مرجع حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حاصل از منطقه مورد مطالعه نشان داد که شاخص‌های ترکیبی حاصل از NC با شاخص‌های رشد و رطوبت سطح برگ، از دقت کمتری برخوردار هستند.



نگاره ۱۱: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، الف و ب) ترکیب شاخص‌های RCS ، ج و د) ترکیب شاخص‌های RCW



نگاره ۱۲: مناطق ریسک‌پذیر جنگلی، ترکیب شاخص‌های VCN (الف و ب) ترکیب شاخص‌های VCNW (ج و د) ترکیب شاخص‌های VCNW



نگاره ۱۳: وزن‌های استخراج شده برای شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی با استفاده از روش فرایند سلسله مراتبی

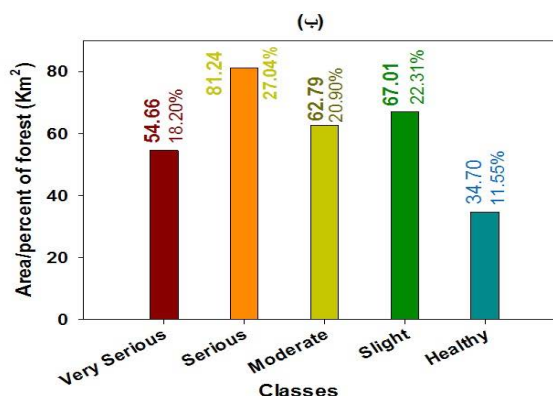
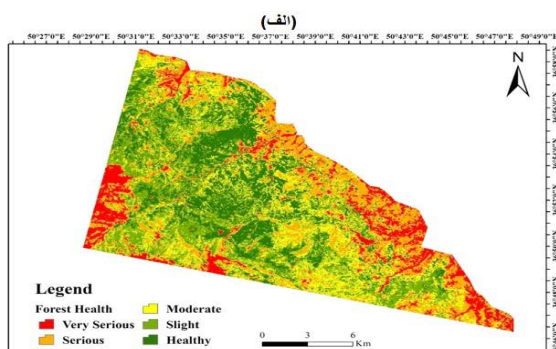
که در آن، RFM مربوط به مقدار هر پیکسل در نقشه نهایی مناطق ریسک‌پذیر جنگلی در منطقه مورد مطالعه است. W_i برابر با وزن نرمالایز شده هر نقشه است و X_i مقدار هر پیکسل در نقشه داده را براساس رتبه‌بندی آن نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن وزن‌های اختصاصی به هر کدام از شاخص‌های ترکیبی، نقشه نهایی به صورت میانگین وزن‌دار با استفاده از معادله (۵) ایجاد شد (نگاره ۱۴).

$$Risky\ forest\ Map\ (RFM) = \sum_{i=1}^n (W_i \times X_i) \quad \text{رابطه (۵)}$$

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۲۳)

ارائه روش ترکیبی از شاخص‌های گیاهی به منظور پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی با استفاده از ... / ۲۳



نگاره ۱۴: نقشه نهایی مناطق ریسک‌پذیر جنگلی حاصل از دوازده شاخص ترکیبی پیشنهادی

غربی نشانه‌هایی از تنش را نشان می‌دهند که این تنش می‌تواند به دلیل تنش آبی یا آفات و بیماری‌های گیاهی باشد که در آن‌ها شکل گرفته‌اند. مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان یک راهکار سودمند و کم‌هزینه به منظور پایش مناطق جنگلی آسیب‌دیده و در معرض تنش در نظر گرفته شود و با فراهم آوردن اطلاعات مفید در راستای برنامه‌ریزی‌های لازم در جهت مدیریت این تنش‌ها مورد استفاده قرار گیرد تا از نابودی منابع جنگلی این منطقه جلوگیری شود و یا میزان تنش را به حداقل برساند.

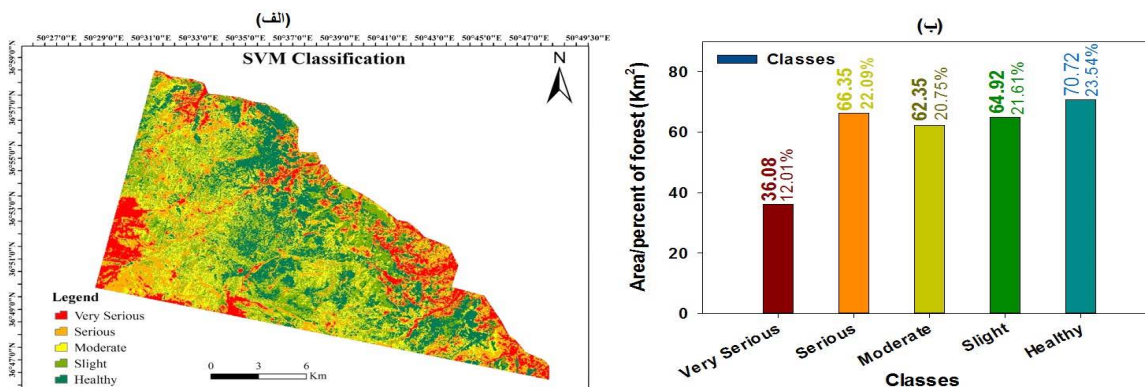
۴- اعتبارسنجی و مقایسه نتایج

برای اعتبارسنجی نتایج، به دلیل عدم وجود نقشه تنش پوشش گیاهی جنگلی، نقشه کاربری جنگل با استفاده از داده تعلیمی حاصل از ترکیب‌های رنگی کاذب مختلف تصویر پریسما و تصاویر گوگل ارث همزمان با تاریخ تصویر پریسما، جمع‌آوری شد. سپس با الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبانی^۱ نقشه مورد نیاز حاصل و در پنج کلاس مختلف طبقه‌بندی شد. نگاره‌های (۱۵ الف و ۱۵ ب) نقشه حاصل از طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان و مساحت و درصد کلاس‌های مختلف را نشان می‌دهند.

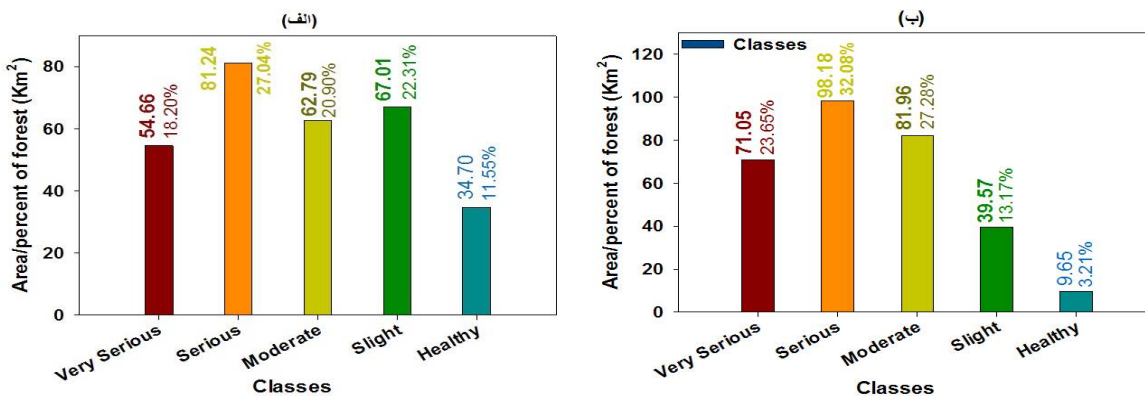
همانطور که در نقشه حاصل از طبقه‌بندی نگاره ۱۵ مشاهده می‌شود، تقریباً ۳۴ درصد (۲۲/۱۲+۰۹/۰۱ درصد)

نقشه ریسک‌پذیر نهایی حاصل از مناطق جنگلی شمال کشور در نگاره (۱۴) نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که شاخص‌های ترکیبی بسته به کارایی و پتانسیل‌هایی که در زمینه شناسایی سلامت و تنش گیاهی دارند، در صورت ترکیب با شاخص‌های مناسب دقت بالایی را ارائه می‌دهند و بالعکس ترکیب نامناسب نتایج با دقت پایین را به همراه خواهند داشت. خروجی‌های به دست آمده نشان‌دهنده این هستند که روش ترکیب شاخص‌ها نتایج بهتری را ارائه کرده و از پتانسیل و کارایی بیشتری نسبت به روش شاخص‌های منفرد در زمینه بررسی ریسک‌پذیری مناطق جنگلی برخوردار هستند. در این بین، شاخص حاصل از ترکیب VCN بالاترین دقت را در میان شاخص‌های ترکیبی به خود اختصاص داد. همچنین شاخص‌های ترکیبی حاصل از RC با شاخص‌های NDWI، NDII، SIPI و WBI نیز بعد از شاخص‌های ترکیبی قبلی نتایج قابل‌قبولی داشته و تا حدودی مناطق سلامت و مناطق دارای تنش گیاهی را بهتر تخمین زده‌اند. علاوه بر این، در بین شاخص‌های ترکیبی، شاخص NCR بدترین نتیجه را به همراه داشت و با توجه با قابلیت هر یک از این شاخص‌ها می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب شاخص‌هایی با این ویژگی‌ها، منجر به نتایج با دقت پایین خواهد شد. در کل نتایج نشان‌دهنده این هستند که مناطق جنگلی بخش‌های مرکزی و غربی محدوده مورد مطالعه از رشد مناسبی برخوردار بوده و تحت تنش‌های گیاهی قرار ندارند. اما بخش‌های شمالی، شرقی و جنوب

1- Support vector machines (SVMs) classification



نگاره ۱۵: نقشه حاصل از طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان، (الف) نقشه طبقه‌بندی و (ب) مشخصات آماری کلاس‌ها



نگاره ۱۶: نتایج نهایی میانگین مساحت کلاس‌های مورد مطالعه، (الف) میانگین شاخص‌های ترکیبی، (ب) میانگین سه شاخص منفرد

خطای تخمین مناطق ریسک‌پذیری جنگلی را کاهش داده و با دقت بهتری پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی را رقم می‌زنند.

۵- نتیجه‌گیری

پایش سلامت جنگل‌ها یکی از جنبه‌های کلیدی برنامه‌های مدیریت جنگل است. اگرچه برآورد سلامت جنگل ماهیت بسیار پیچیده‌ای دارد، اما تکنیک‌ها و داده‌های سنجش از دور می‌توانند در این زمینه بسیار سودمند باشند. در تحقیق حاضر، سعی شده است تا مناطق ریسک‌پذیر جنگلی در شمال ایران با استفاده از داده‌های ابرطیفی، تحلیل‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از

از منطقه مورد مطالعه در سطح ریسک‌پذیری بالایی قرار دارند. در ادامه، نتایج حاصل از شاخص‌های منفرد و شاخص‌های ترکیبی پیشنهادی با این نقشه حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده مقایسه و اعتبارسنجی شدند (نگاره ۱۶).

مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های ترکیبی و شاخص‌های منفرد، با نقشه حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهد که شاخص‌های ترکیبی از دقت بالایی نسبت به شاخص‌های منفرد برخوردارند. نتایج نشان می‌دهد تقریباً در دو کلاس پرریسک (کلاس تنش شدید و خیلی شدید) منطقه جنگلی شاخص‌های ترکیبی دارای خطای ۱۱ درصد و شاخص‌های منفرد دارای خطای تقریباً دو برابری آن‌ها، ۲۱ درصد، هستند. لذا به‌کارگیری شاخص‌های ترکیبی تقریباً ۵۰ درصد

NDVI بستگی داشته باشد. با توجه به اینکه این شاخص غالباً به منظور تشخیص وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در یک منطقه به کار می‌رود، توانایی تشخیص سلامت و تنش گیاهی را ندارد و همچنین شاخص NDVI تنها در پایش پوشش گیاهی متراکم و بدون تنش عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهد. این یافته‌ها اولین نتایج تحقیقی سنجش از دوری تنش گیاهی در جنگل‌های شمال ایران با استفاده از داده‌های فراطیفی پریسما هستند. داده‌های فراطیفی در مقایسه با سایر حسگرها، قدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریکی بهتری برای بررسی اکوسیستم‌های دینامیکی همچون منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر را دارند. همچنین داده‌های فراطیفی امکان پایش غیرمخرب رنگدانه‌های برگ مانند کلروفیل، کاروتنوئیدها و محتوای آنتوسیانین که مهم‌ترین شاخص‌های سلامت پوشش گیاهی هستند را ممکن می‌سازند. لذا استفاده از ترکیب شاخص‌ها با رویکردهای مختلف در تصاویر فراطیفی نسبت به روش شاخص‌های منفرد برای پایش کاربردهای مختلف پوشش گیاهی توصیه می‌شود.

منابع و مأخذ

1. Ahmad, S., Pandey, A. C., Kumar, A., Lele, N. V., & Bhattacharya, B. K. (2020). Forest health estimation in Sholayar Reserve Forest, Kerala using AVIRIS-NG hyperspectral data. *Spatial Information Research*, 28(1), 25-38. <https://doi.org/10.1007/s41324-019-00260-6>.
2. Babaei, M., Gari, H., & Golanezhad, J. (2010). Investigation and Comparison of Exploration Layer Valuation Methods in GIS. *Geological Survey of Iran - 30th Earth Science Conference*, 5-19.
3. Broge, N. H., & Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 156-172. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8).
4. Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: tests using

روش پیشنهادی ترکیب شاخص‌های گیاهی مورد پایش و بررسی قرار گیرند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مناطق جنگلی رودسر، رامسر و تنکابن هستند که به عنوان جنگل‌های صنعتی در شمال ایران شناخته شده و از تنوع گیاهی بسیار بالایی برخوردارند. بنابراین نیاز به بررسی از نظر میزان رشد و یا تنش دارند تا در صورت بروز هر مشکلی، در زمان مناسب برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات لازم صورت پذیرد. تصویر سنجنده پریسما با توجه به عرض برداشت وسیعی که نسبت به سنجنده هایپریون دارد، امکان پایش یک منطقه وسیع‌تر را فراهم می‌کند و از این بابت برتری بالایی نسبت به سنجنده هایپریون دارد. همچنین سنجنده پریسما تعداد باندهای نویزی کمتری نسبت به سنجنده هایپریون دارد و همین ویژگی، منجر به بررسی پدیده‌های مختلف در محدوده طیفی وسیع‌تر می‌شود.

مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های ترکیبی و شاخص‌های منفرد، با نقشه حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که شاخص‌های ترکیبی از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های منفرد برخوردارند. همچنین، نتایج نشان داد تقریباً در دو کلاس پریسک منطقه جنگلی شاخص‌های ترکیبی دارای خطای ۱۱ درصد و شاخص‌های منفرد دارای خطای تقریباً دو برابری آن‌ها، ۲۱ درصد، هستند. لذا به کارگیری شاخص‌های ترکیبی تقریباً ۵۰ درصد خطای تخمین مناطق ریسک‌پذیر جنگلی را کاهش داده و با دقت بهتری پایش مناطق ریسک‌پذیر جنگلی را رقم می‌زنند. با بررسی شاخص‌های ترکیبی به صورت مجزا، نتایج نشان داد که در بین شاخص‌های ترکیبی، به ترتیب بیشترین دقت مربوط به ترکیب شاخص‌ها با علامت‌های اختصاری پیشنهادی VCN و VCNW است. این ترکیبات بیشترین کاربرد را در شناسایی پایش گیاهی سالم و تنش گیاهی و همچنین محتوای آب گیاه دارند. در مقابل، بدترین نتایج مربوط به ترکیب شاخص NC با شاخص‌های Water Band است که به ترتیب از NDII، SIPI، NDWI، PRI1، WBI1 تا RGRI از میزان دقت کاسته می‌شود. دلیل دقت پایین این ترکیب می‌تواند به قابلیت‌های شاخص

org/10.1016/j.ejrs.2021.07.001.

13. Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337-352. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>.

14. Haq, S. M., Amjad, M. S., Waheed, M., Bussmann, R. W., & Proćków, J. (2022). The floristic quality assessment index as ecological health indicator for forest vegetation: A case study from Zabarwan Mountain Range, Himalayas. *Ecological Indicators*, 145, 109670. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109670>.

15. Hardisky, M. A., Daiber, F. C., Roman, C. T., & Klemas, V. (1984). Remote sensing of biomass and annual net aerial primary productivity of a salt marsh. *Remote Sensing of Environment*, 16(2), 91-106. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(84\)90055-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(84)90055-5).

16. Hati, J. P., Goswami, S., Samanta, S., Pramanick, N., Majumdar, S. D., Chaube, N. R., . . . Hazra, S. (2021). Estimation of vegetation stress in the mangrove forest using AVIRIS-NG airborne hyperspectral data. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 1877-1889. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00916-5>.

17. Hosseinali F. , A. A. A., Rajabi M.A. . (2010). Evaluation of Various Methods for Weighting Spatial Information in GIS (Case Study: Mineral Potential Mapping). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS* , 38(2)(1), 1-16. <https://sid.ir/paper/184184/en>.

18. Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., Singh, C., Chowdary, V., Kumar, S., & Sahoo, S. (2019). Forest health assessment for geo-environmental planning and management in hilltop mining areas using Hyperion and Landsat data. *Ecological Indicators*, 106, 105471. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105471>.

19. Lu, S., Zhou, Y., Sun, H., Chen, N., & Guan, X. (2021). Examining the influencing factors of forest health, its implications on rural revitalization: A case study of five forest farms in Beijing. *Land Use Policy*, 102, 105265. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105265>.

20. Penuelas, J., Baret, F., & Filella, I. (1995). Semi-

Eucalyptus leaves. *Journal of plant physiology*, 154(1), 30-36. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(99\)80314-9](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(99)80314-9).

5. Gamon, J., Penuelas, J., & Field, C. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41(1), 35-44. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S).

6. Gamon, J., & Surfus, J. (1999). Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *The New Phytologist*, 143(1), 105-117. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>.

7. Gao, B.-C. (1995). Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Paper presented at the Imaging spectrometry. <https://doi.org/10.1117/12.210877>.

8. Gasmi, A., Gomez, C., Chehbouni, A., Dhiba, D., & El Gharous, M. (2022). Using PRISMA hyperspectral satellite imagery and GIS approaches for soil fertility mapping (FertiMap) in northern Morocco. *Remote Sensing*, 14(16), 4080. <https://doi.org/10.3390/rs14164080>.

9. Gitelson, A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of plant physiology*, 143(3), 286-292. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81633-0](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81633-0).

10. Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., & Chivkunova, O. B. (2001). Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and photobiology*, 74(1), 38-45. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0740038OPANEO2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0740038OPANEO2.0.CO2).

11. Gitelson, A. A., Zur, Y., Chivkunova, O. B., & Merzlyak, M. N. (2002). Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and photobiology*, 75(3), 272-281. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2002\)0750272ACCIPL2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2002)0750272ACCIPL2.0.CO2).

12. Gupta, S. K., & Pandey, A. C. (2021). Spectral aspects for monitoring forest health in extreme season using multispectral imagery. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 579-586. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.07.001>.

empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.

21. Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., & Save, R. (1993). The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International journal of remote sensing*, 14(10), 1887-1905. <https://doi.org/10.1080/01431169308954010>.

22. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1974NASSP.351..309R/abstract>.

23. Vogelmann, J., Rock, B., & Moss, D. (1993). Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *REMOTE SENSING*, 14(8), 1563-1575. <https://doi.org/10.1080/01431169308953986>.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)



