

Zoning of tree crown leaf burn using UAV and Sentinel 2 images in Deland Forest Park, Golestan province

Mohammad Hassan Naseri^{*1}, Shaban Shataee Juibari², Hashem Habashi³

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mohammadhasan_n71@yahoo.com
2. Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shataee@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi.hashem@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 01.02.2023

Revised: 01.22.2023

Accepted: 01.23.2023

Keywords:

Leaf burn of canopy,
Random forest regression
model,
Remote sensing data,
Tree classification

ABSTRACT

Background and Objectives: Forests are subject to a variety of disturbances that adversely affect their health. One of these disturbances is caused by leaf burn, which usually occurs in a very hot summers and typically causes trees to weaken and dry up in the long-time. Therefore, identifying and monitoring the expansion of its level is of great importance. The use of remote sensing data, as one of the important sources of information, can be used to identify leaf burn trees. It is possible to use UAV images at desired times, but they have limitations such as the captured surface and the spectral resolution of the sensors. The combined use of UAV images and high-resolution satellite imagery can be usefull in identifying and mapping of leaf burn tree crown, other damage, and their large-scale severity classes. The purpose of this study is to investigate and identify leaf burn of the tree crowns using UAV images in a part of Deland Forest Park in Golestan province and combining it with Sentinel 2 images to produce a classification map of leaf burn over a large landscepe.

Materials and Methods: RGB UAV images were taken, pre-processed, and properly processed. Also, Sentinel 2 images were prepared and analyzed from the geometrically and radiometrically points of view. Ground truth of leaf burn trees and healthy ones was carried out in September 2021 in a selective manner with a differential global positioning device at an accuracy of <10-cm. In the first step, the UAV images were classified into three categories: trees with burnt leaves, healthy, and clear trees using the support vector machine algorithm. The resulted classification map was also repeated with vegetation indices obtained from UAV spectral bands. Finally, the resulted maps were validated. Next, in order to produce a map of the leaf burn tree canopy, the image of Sentinel 2, based on the classified map of the UAV with the highest accuracy was used to train the regression model based on the random forest algorithm. Finally, a map of leaf burn intensity classes was produced over the entire Deland Forest Park.

Results: The result showed that the UAV visible spectrum bands are able to distinguish trees with healthy and burnt leaves with an overall accuracy of 89.62% and Kappa coefficient of 0.84. By combining the main bands and 9 vegetation indices, the overall accuracy and kappa coefficient were decreased to 87.40% 0.81, respectively, however, by combining the UAV bands and the best vegetation indices (e.g., EGMRI, EGI and NDI),

classification results were slightly improved to 91.11% overall accuracy and 0.86 Kappa coefficient. In the classification of leaf burn percentage of the forest canopy using Sentinel 2 image integration, the random forest regression model showed that the use of UAV data as a training sample is capable of achieving a RMSE of 17.4 % and an R^2 of 0.63% to estimate the percentage of leaf burn of tree canopy at the pixel level.

Conclusion: This study suggests that RGB images of the UAV can detect trees with leaf burn stress. In addition, plant indices, i.e., EGMRI, EGI, and NDI can improve the accuracy of classified maps by differentiating leaf burn. Combining results of UAV images as training samples to prepare leaf burn classes in the Sentinel 2 image has shown promising results and can be used as a new approach where large-scale leaf burn stress is observed.

Cite this article: Naseri, Mohammad Hassan, Shataee Juibari, Shaban, Habashi, Hashem. 2023. Zoning of tree crown leaf burn using UAV and Sentinel 2 images in Deland Forest Park, Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (4), 75-92.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20939.2001

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پهنه‌بندی درصد سوختگی برگ تاج‌پوشی درختی با استفاده از تصاویر پهپاد و ستینل ۲ در پارک جنگلی دلند استان گلستان

محمدحسن ناصری^{۱*}، شعبان شتایی جویباری^۲، هاشم حبشی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: mohammadhasan_n71@yahoo.com
۲. استاد گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: shataee@gau.ac.ir
۳. دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: habashi.hashem@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: جنگل‌ها در معرض آشفته‌گی‌های فراوان قرار دارند که سلامت آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از این آشفته‌گی‌ها، تنش سوختگی برگ درختان است که معمولاً در تابستان‌های بسیار گرم اتفاق می‌افتد و عموماً باعث ضعف و در نهایت خشک شدن درختان در درازمدت شود. بنابراین شناسایی و رصد گسترش سطح آن از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از روش‌های شناسایی آن، استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور به‌عنوان یکی از منابع اطلاعاتی مهم می‌باشد. تصاویر پهپاد به دلیل برداشت‌های سریع و در زمان‌های دلخواه یکی از گزینه‌های مناسب می‌باشد ولی دارای محدودیت‌هایی مانند سطح برداشتی و تفکیک‌پذیری طیفی حس‌گرها می‌باشند. استفاده تلفیقی از تصاویر پهپاد و تصاویر ماهواره‌ای با سطح برداشتی زیاد می‌تواند در شناسایی و تهیه نقشه طبقات شدت آن‌ها در سطح وسیع‌تر کمک زیادی نماید. هدف از این پژوهش بررسی و شناسایی سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با استفاده از تصاویر پهپاد در بخشی از پارک جنگلی دلند استان گلستان و تلفیق آن با تصاویر ستینل ۲ برای تهیه نقشه درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش توده درختی منطقه در سطح وسیع‌تر می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳	
واژه‌های کلیدی: داده‌های سنجنش‌ازدور، سوختگی برگ تاج‌پوشش، طبقه‌بندی درختان، مدل رگرسیون جنگل تصادفی	
مواد و روش‌ها: تصاویر RGB پهپاد در بخشی از پارک جنگلی دلند برداشت و مورد پیش‌پردازش و پردازش‌های مناسب قرار گرفتند. هم‌چنین تصاویر ستینل ۲ تهیه و از نظر هندسی و رادیومتری مورد بررسی قرار گرفتند. برداشت‌های زمینی درختان دارای سوختگی برگ و درختان سالم در شهریور ۱۴۰۰ به‌صورت انتخابی و با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی با دقت بالا (کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر) صورت گرفت. در گام اول تصاویر پهپاد با استفاده	

از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان به سه طبقه درختان دارای سوختگی برگ، درختان سالم و روشن طبقه‌بندی شدند. همچنین طبقه‌بندی تصاویر اصلی پهپاد به همراه شاخص‌های پوشش حاصل از باندهای طیفی پهپاد و با شاخص‌های طیفی منتخب تکرار شد. در نهایت نقشه‌های تهیه‌شده مورد ارزیابی صحت قرار گرفتند. در گام دوم به منظور تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی برگ تاج پوشش توده در سطح وسیع‌تر و در کل پارک با استفاده از تصویر سنتینل ۲، از نقشه طبقه‌بندی‌شده پهپاد که دارای بالاترین صحت بوده است، به‌عنوان نمونه آموزش در مدل رگرسیونی جنگل تصادفی و کالیبره کردن آن استفاده گردید. در نهایت با استفاده از مدل تهیه‌شده، نقشه طبقات شدت سوختگی برگی توده‌های کل محدوده پارک جنگلی دلند تهیه شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر پهپاد نشان داد که باندهای طیف مرئی پهپاد قادر است درختان دارای سوختگی برگ و درختان سالم را با صحت کلی ۸۹/۶۲ درصد و ضرب کاپای ۰/۸۴ تفکیک نماید. با تلفیق باندهای اصلی و ۹ شاخص پوشش، نتایج پژوهش اندکی کاهش یافت (صحت کلی ۸۷/۴۰ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۱)؛ اما با تلفیق باندهای اصلی پهپاد و بهترین شاخص‌های گیاهی (EGMRI، EGI و NDI)، نتایج طبقه‌بندی بهبود یافت (صحت کلی ۹۱/۱۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۶). در طبقه‌بندی درصد سوختگی برگ تاج پوشش توده جنگلی با استفاده از تلفیق تصویر سنتینل ۲، بررسی مدل رگرسیون جنگل تصادفی نشان داد که استفاده از داده‌های پهپاد به‌عنوان نمونه آموزش این مدل، قادر است با مجذور میانگین مربعات خطای ۱۷/۴ درصد و ضریب تبیین ۰/۶۳، میزان درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختان را در سطح پیکسل‌های تصویر سنتینل ۲ برآورد نماید.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تصاویر RGB پهپاد از قابلیت مناسبی برای تشخیص درختان دارای تنش سوختگی برگ تاج پوشش درختان برخوردار می‌باشند. همچنین به‌کارگیری شاخص‌هایی گیاهی مانند EGI، EGMRI و NDI که تأثیر بالایی در متمایز کردن سوختگی برگ درختان دارند، می‌توانند صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده را بهبود دهند. تلفیق نتایج حاصل از تصاویر پهپاد به‌عنوان نمونه‌های آموزش برای تهیه طبقات درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختان در تصویر سنتینل ۲، نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داد و می‌تواند به‌عنوان رویکردی جدید در مناطق وسیعی که تنش سوختگی برگ درختان مشاهده می‌گردد، مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ناصری، محمدحسن، شتایی جویباری، شعبان، حبشی، هاشم (۱۴۰۱). پهنه‌بندی درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختی با استفاده از تصاویر پهپاد و سنتینل ۲ در پارک جنگلی دلند استان گلستان. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۹ (۴)، ۷۵-۹۲.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20939.2001



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌خصوص جنگل‌های کهن مناطق معتدله، در معرض آشفته‌گی‌های متعددی قرار می‌گیرند. این آشفته‌گی‌ها تأثیر به‌سزایی در کنترل و پویایی جنگل از جمله ترکیب، ساختار و تجدید حیات گونه‌های درختی دارند (۱). از طرفی، درختان خدمات متعددی در اختیار بشر قرار می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها تولید اکسیژن است (۲). در واقع گیاهان و درختان با انجام فتوسنتز توسط برگ، دی‌اکسید کربن را از محیط جذب و اکسیژن تولید می‌کنند. بنابراین سلامت برگ درختان از اهمیت بالایی به‌منظور تولید اکسیژن و از طرفی برای سلامت و زنده‌مانی خود درختان برخوردار است. عواملی مانند وجود پاتوژن‌ها، رطوبت، خشک‌سالی، دمای بالا و شدت بالای نور می‌توانند سبب به وجود آمدن آشفته‌گی و سوختگی در برگ درختان شوند. سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان می‌تواند نشان‌دهنده وجود ضعف در درختان باشد (۳). در واقع با افزایش سطح استرس و تنش، نواحی آلوده می‌تواند باعث تجزیه رنگدانه‌ها، جداسازی دستگاه فتوسنتزی و فروپاشی دیواره سلولی شوند و در نهایت باعث سوختگی برگ‌ها شوند (۳)، بنابراین وجود علائم سوختگی در برگ درختان را باید جدی گرفت؛ زیرا در سال‌های اخیر، سوختگی درختان شمشاد^۱ که نتیجه یک بیماری قارچی بوده است، سبب به وجود آمدن خسارت‌های جدی و جبران‌ناپذیری به گونه شمشاد جنگلی^۲ شده است (۴). شناسایی سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان و یا دانستن وجود آشفته‌گی در درختان از اهمیت بالایی به‌منظور انجام گام‌های مدیریتی بعدی برخوردار است. به دست آوردن اطلاعات و شناسایی مکانی سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با استفاده از روش‌ها و ابزارهایی که از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه

باشد و بتوانند با سرعت بالا اطلاعات را با صحت قابل‌قبول در اختیار متصدیان منابع طبیعی و متخصصان قرار دهد، دارای اهمیت می‌باشد (۲). در روش‌های سنتی که با حضور افراد در عرصه‌های جنگلی تحت تنش همراه است، نه‌تنها زمان و هزینه‌های بالایی را دربر دارد بلکه باعث می‌شود تا متخصصان و مدیران نتوانند به‌طور کامل از منطقه موردبررسی اطلاعات کسب نمایند (۵). بنابراین متخصصان و پژوهشگران با رویکرد صرفه‌جویی در هزینه و زمان و از طرفی به دست آوردن اطلاعات موردنیاز و قابل‌قبول، به منابع و تکنیک‌های سنجش‌ازدور روی آورده‌اند. در واقع سنجش‌ازدور می‌تواند به شناسایی توده‌های آسیب‌دیده و نظارت بر توسعه و گسترش بیماری کمک نماید (۶). اخیراً استفاده از پهپادها، به محبوبیت قابل‌توجهی دست یافته است، زیرا پهپادها می‌توانند به‌سرعت و با یک چرخه تکرار کوتاه، تصاویر با وضوح بالا و داده‌های سه‌بعدی را در سطح درختان به دست آورند و اغلب می‌توانند پایین‌تر از ابرها پرواز کنند و با محدود کردن تأثیر ابرها، به کاربران این امکان را می‌دهند که داده‌های موردنیاز را با وضوح مکانی بالا تهیه نمایند (۷). بنابراین با اعمال تکنیک‌ها و روش‌های مناسب سنجش‌ازدور نظیر طبقه‌بندی‌های مناسب، استفاده از شاخص‌های پوشش مناسب و آنالیز بافت بر روی این منابع داده، می‌توان اطلاعات ارزشمندی را در راستای مدیریت جنگل کسب نمود. در این راستا Smigaj و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که استفاده از پهپاد و به‌کارگیری باند حرارتی می‌تواند سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان سوزنی‌برگ موجود در پارک جنگلی واقع در مرکز اسکاتلند را با ضریب تبیین ۰/۱۱ تا ۰/۱۳ شناسایی نماید (۸). هم‌چنین حسین‌پور و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی و شناسایی تنش برگ گیاهان در عرصه‌های جنگل‌کاری شده، واقع در طرح

1- Boxwood blight

2- Buxus hyrcana

اتریش پرداختند که نتایج آن‌ها بیانگر شناسایی درختان آلوده و سالم صنوبر با صحت کلی ۸۶/۶ درصد با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی^۲ بوده است (۱۲). Liao و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر چندطیفی پهپاد به بررسی و طبقه‌بندی استرس درختان در قسمتی از جنگل‌های چین با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی پرداختند و بیان داشتند که استفاده از باندهای پهپاد (سبز، لبه قرمز و مادون قرمز نزدیک) به همراه شاخص پوشش NDI قادر است درختان سالم و تحت استرس را با صحت کلی ۹۰/۱ درصد شناسایی نماید (۱۳).

در استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، به‌کارگیری نمونه‌های تعلیمی باکیفیت دارای اهمیت است. به‌طورمعمول، این نمونه‌ها به‌صورت سنتی و با حضور در عرصه برداشت می‌شود که هزینه عملیاتی بالایی را در بردارد و از طرفی ممکن است برای مناطق وسیع به مقدار کافی نباشد (۱۴). بنابراین استفاده از داده‌های باکیفیت سنجش‌ازدور، مانند اطلاعات حاصل از پردازش تصاویر پهپاد، می‌تواند کمک زیادی در این زمینه نماید. اخیراً پژوهش‌هایی در زمینه به‌کارگیری تلفیقی داده‌های پهپاد به‌منظور تشخیص پارامترها با تصاویر ماهواره‌ای، مانند تصاویر سنتینل ۲، انجام شده است. به‌عنوان مثال، Kattenborn و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از نتایج طبقه‌بندی داده‌های پهپاد، به شناسایی گونه‌های درختی در جنگل‌های سوزنی‌برگ شیلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و با استفاده از مدل رگرسیون جنگل تصادفی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل مورد استفاده در پژوهش آن‌ها قادر است تا گونه‌های درختی را با مجذور میانگین مربعات خطای بین ۰/۱۱ و ۰/۱۲ و ضریب تبیین ۰/۷۸۹ تا ۰/۹۰۶ برآورد نماید (۱۵). هم‌چنین Pilaš و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر رنگی

جنگلداری نکاظالمروء، با استفاده از تصاویر رنگی پهپاد در سه ارتفاع پروازی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ متر پرداختند. آنان از دو شاخص پوشش (NGRDI و EXG) مربوط به محدوده طیفی مرئی استفاده نمودند و بیان داشتند که استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۱ نتایج قابل‌قبولی را با صحت‌های کلی ۸۳ تا ۹۷/۶ درصد برای شناسایی سوختگی و تنش برگی در درختان ارائه می‌نماید (۲). Michez و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر چندطیفی پهپاد و شاخص‌های پوشش به شناسایی سلامت درختان توسکا در کشور بلژیک و با استفاده از روش شیء پایه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از این منابع اطلاعاتی می‌تواند وضعیت سلامت درختان توسکا را با صحت کلی ۹۰/۶ درصد ارزیابی نمود (۹). Bagheri (۲۰۲۰) قابلیت سنجش‌ازدور چند طیفی پهپاد را به‌منظور تشخیص بیماری Fire Blight در سطح تاج‌پوشش و برگ درختان گلابی، واقع در استان تهران را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و با به‌کارگیری شاخص‌های پوشش مناسب به طبقه‌بندی برگ‌های سالم، برگ‌های بیمار بدون علائم بیماری و برگ‌های بیمار دارای علائم پرداخته شد که نتایج آن بیانگر طبقه‌بندی موردنظر با صحت کلی ۹۵ درصد بوده است (۱۰). هم‌چنین Avtar و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که استفاده از تصاویر پهپاد و شاخص پوشش VARI ابزار و روشی مناسب به‌منظور پایش سلامت درختان پالم در کشور مالزی می‌باشد و با استفاده از آن می‌توان تنش‌ها و کمبودهای ناشی از آب و مواد غذایی را بررسی نمود (۱۱). Kampen و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر چند طیفی پهپاد به بررسی نشاط و سلامت درختان صنوبر موجود در جنگل‌های آمیخته کشور

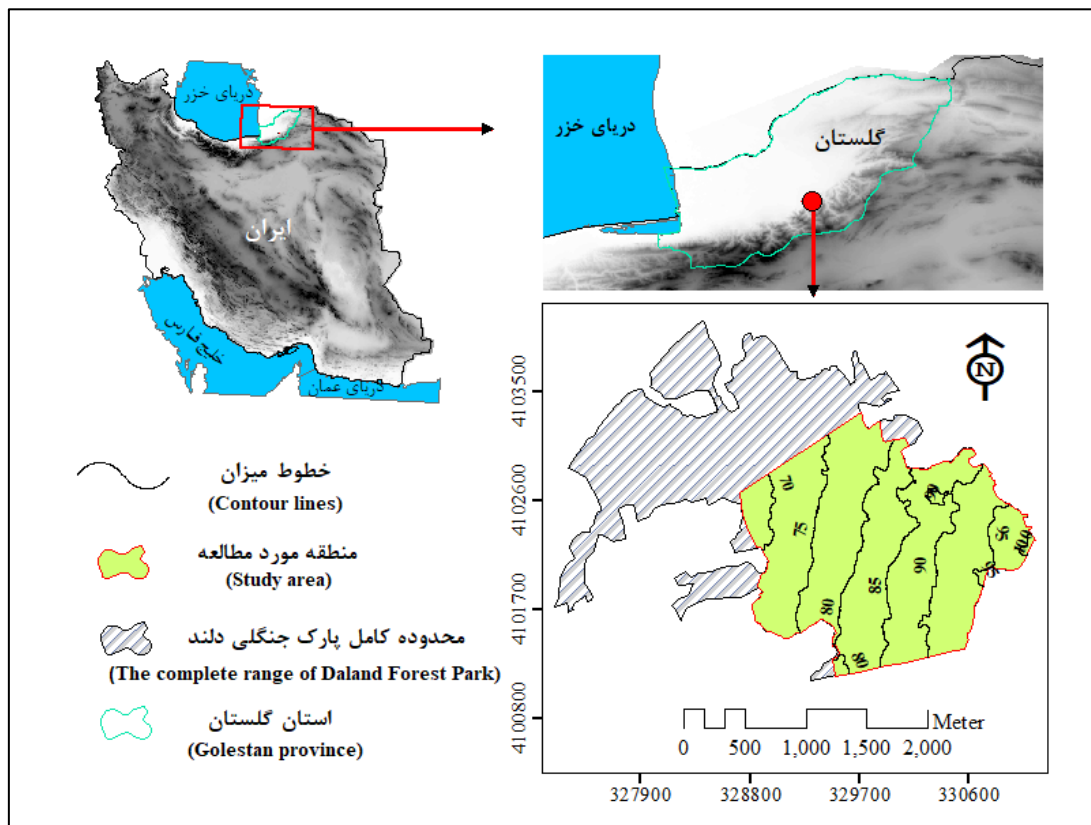
سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان بر روی تصاویر ماهواره‌ای باکیفیت بالا و تعمیم آن به مناطق بزرگ‌تر مشاهده نگردید، در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از نتایج طبقه‌بندی تصویر پهپاد، طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان در پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ شناسایی و نقشه طبقات مربوط به درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختی برای کل محدوده پارک جنگلی دلدن با استفاده از مدل رگرسیونی برآورد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: رويشگاه مورد مطالعه (پارک جنگلی دلدن) در استان گلستان ایران با محدوده جغرافیایی $20^{\circ} 4' 55''$ تا $27^{\circ} 6' 55''$ طول شرقی و $26^{\circ} 2' 37''$ تا $27^{\circ} 4' 15''$ عرض شمالی و در ارتفاع ۶۰ تا ۱۲۰ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است (شکل ۱). مساحت این پارک ۵۷۹ هکتار است که در این پژوهش به دلیل محدودیت‌های مالی، بخشی از آن (۳۳۰ هکتار) با استفاده از تصاویر پهپاد برداشت شد. متوسط بارش سالانه در این منطقه ۶۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در بررسی فلور این پارک، تعداد ۱۱ گونه درخت، ۳ گونه درختچه و ۱۸ گونه رستنی علفی شناسایی شده‌اند. این منطقه دارای ۱۰ تیپ جنگلی می‌باشد که تیپ انجیلی-آزاد-بلوط با ۳۸/۳۲ درصد و تیپ آزاد-انجیلی-ممرز با ۱/۳۱ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سطح پوشش منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (۱۷).

پهپاد و تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ به بررسی روشنه در جنگل‌های جنوب و جنوب شرقی اروپا پرداختند و بیان داشتند که استفاده از نتایج تصاویر پهپاد در شناسایی روشنه‌ها و استفاده از نتایج آن‌ها به‌عنوان نمونه تعلیمی در آموزش مدل XGBoost قادر است روشنه‌ها و مناطق باز منطقه را با میانگین خطای مربعات ۱۵/۱۴ درصد و ضریب تبیین ۰/۶۲۴ شناسایی نماید (۱۶). Zhou و همکاران (۲۰۲۱) باهدف نظارت بر سلامت تاکستان‌ها، در مناطق شمال غربی چین، به تلفیق داده‌های پهپاد و تصاویر سنتینل ۲ پرداختند. آن‌ها نتایج حاصل از تصاویر پهپاد را به تصویر سنتینل ۲ تعمیم دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از مدل رگرسیونی بردار پشتیبان (SVR) با مجذور میانگین مربعات خطای ۱/۸۹ درصد قادر است تا مناطق آلوده‌شده به آفات را در تصویر سنتینل ۲ شناسایی نماید (۱۴). بنابراین به‌کارگیری داده‌های پهپاد و تصاویر ماهواره‌ای باکیفیت بالا، مانند تصویر سنتینل ۲، می‌تواند در مناطق وسیع اطلاعات مرتبط با پدیده مورد نظر را با دقت مناسب در اختیار متصدیان و متخصصان قرار دهد.

بنابراین با توجه به اهمیت جنگل‌ها و نظر به اینکه وجود استرس در درختان نشان‌دهنده وجود عواملی می‌باشد که می‌تواند سلامت درختان را تحت‌تأثیر قرار دهد، در این پژوهش به شناسایی سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با استفاده از تصاویر RGB پهپاد و شناسایی بهترین شاخص‌های پوشش به‌منظور بهبود نتایج طبقه‌بندی پرداخته شد. هم‌چنین با توجه به این‌که تحقیقاتی در زمینه به‌کارگیری نتایج طبقه‌بندی تصاویر پهپاد در زمینه شناسایی و تهیه نقشه طبقات



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان.

Figure 1. Location of the study area in Iran and Golestan province.

مناطق باز منطقه ۱۸ نشانه (پریک) بر روی زمین گذاشته شد و موقعیت دقیق مرکز آن‌ها توسط DGPS به صورت RTK اخذ گردید تا در فرآیند زمین مرجع سازی تصاویر مورد استفاده قرار گیرند. سپس با انجام پردازش با کیفیت بالا در نرم افزار Agisoft Metashape Professional 1.8 و با استفاده از الگوریتم حرکت مبنا (SfM)، نقشه مربوط به ارتوموزاییک منطقه تهیه گردید. مشخصات پردازش تصاویر پهپاد در نرم افزار Agisoft Metashape Professional 1.8 و همچنین مشخصات سیستم پردازش کننده در جدول ۱ قابل مشاهده می باشد.

داده‌های مورد استفاده: تصاویر پهپاد در شرایط جوی مناسب با ارتفاع پروازی ۱۰۰ متر از سطح زمین، همپوشانی روبه جلو و جانبی ۸۰ درصد و زاویه دوربین ۹۰ درجه با شبکه برداشت خطی، توسط پهپاد کوادکوپتر Phantom4 Pro در تاریخ هفتم اکتبر سال ۲۰۲۱ برابر با پانزدهم مهرماه ۱۴۰۱ در بخشی از محدوده پارک جنگلی دلند (شکل ۱) اخذ گردید. این پهپاد مجهز به دوربین FC6310S با عدسی ۸/۸ میلی متری می باشد و قادر است تصاویر را در دامنه‌های طیفی آبی، سبز و قرمز (RGB) برداشت نماید (۱۸). تصاویر برداشت شده طی ۱۸ پروژه پروازی انجام و ۵۱۲۴ قطعه عکس اخذ و ذخیره سازی شد. به منظور انجام زمین مرجع در مراحل پردازش، قبل از انجام پروژه‌های پرواز، در

قرمز (۶۶۵ نانومتر) و مادون‌قرمز نزدیک (۸۴۲ نانومتر) با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده گردید. به‌منظور اطمینان از تصحیح هندسی تصویر موردنظر، عوارض خطی (جاده‌ها) موجود در منطقه در نرم‌افزار ArcGIS بر روی تصویر سنتینل ۲ افزوده و از زمین مرجع بودن آن اطمینان حاصل شد.

تصاویر سنتینل ۲ مربوط به یکم اکتبر سال ۲۰۲۱ برابر با نهم مهرماه ۱۴۰۱ از وب‌سایت Copernicus با سطح تصحیحات هندسی و رادیومتری مناسب (Sentinel-2A) دانلود گردید. تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ دارای ۱۳ باند است که در این تحقیق فقط از باندهای آبی (۴۹۰ نانومتر)، سبز (۵۶۰ نانومتر)،

جدول ۱- مشخصات پردازش تصاویر پهپاد و سیستم مورد استفاده در پردازش آن.

Table 1. UAV image processing specifications and the system used in its processing.

پارامترها Parameters	
تعداد نقاط مترکم The Number of Dense Point	2056903431
خطای کلی (سانتی‌متر) Total Error (cm)	1.23
کیفیت Quality	بالا High
قدرت تفکیک مکانی ارتوموزاییک (سانتی‌متر) Orthomosaic resolution (cm)	5

به این‌که تصاویر پهپاد مورد استفاده در این پژوهش فاقد باند مادون‌قرمز نزدیک می‌باشد، با به‌کارگیری از قابلیت باندهای آبی، سبز و قرمز، ۹ شاخص پوشش ساخته شدند (جدول ۲). به‌منظور انتخاب تأثیرگذارترین شاخص‌های پوشش تهیه‌شده، همبستگی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و با بررسی میانگین آن‌ها، مهم‌ترین شاخص‌ها انتخاب و در فرآیند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

تهیه شاخص‌های پوشش: شاخص‌های پوشش نوع خاصی از شاخص‌های طیفی هستند که برای استخراج اطلاعات از داده‌های تصویری مورد استفاده قرار گرفته و اغلب اطلاعات را از باندهای طیفی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک استخراج می‌کند (۵)؛ اما در صورتی که داده‌های مورد استفاده فاقد باند مادون‌قرمز نزدیک باشد، می‌توان با ترکیب باندهای در دسترس، شاخص‌های پوشش را تهیه نمود. با توجه

جدول ۲- لیست شاخص‌های پوشش مورد استفاده.

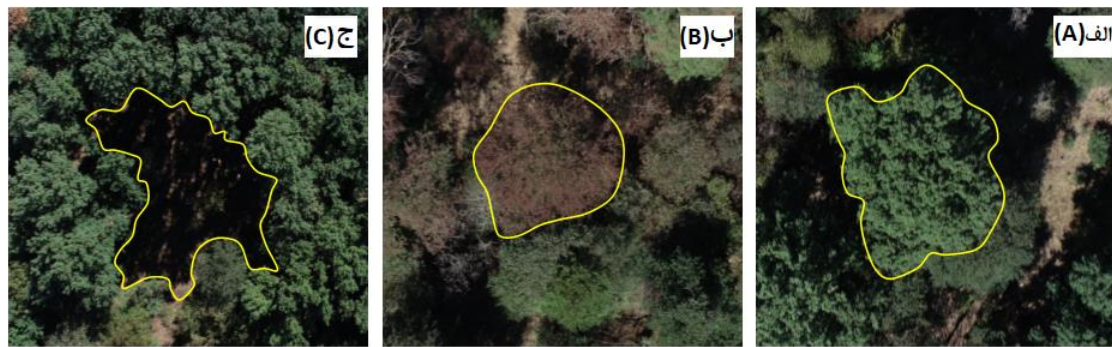
Table 2. List of used vegetation indicators.

منبع Reference	فرمول* Formula *	شاخص Index
(19)	$(g - r)/(g + r)$	شاخص تفاوت نرمال شده Normalized difference index (NDI)
(20)	$2g - r - b$	شاخص سبز تشدید شده Excessive green index (EGI)
(21)	$1.4r - g$	شاخص قرمز تشدید شده Excessive red index (ERI)
(22)	$(g - r)/(g + r - b)$	شاخص مقاومت اتمسفری قابل رؤیت Visible atmospherically resistant index (VARI)
(23)	$3g - 2.4r - b$	شاخص تفاضلی سبز و قرمز تشدید شده Excessive green minus red index (EGMI)
(24)	$r + b + g$	روشنایی تاج Crown brightness index (CBI)
(25)	$g/(r + b + g)$	شاخص درصد سبزی Percent greenness index (PG)
(26)	$(b - g)/(b + g)$	شدت رنگ نرمال شده Normalized color intensities (NCI)
(27)	$(2g - b - r)/(2g + b + r)$	شاخص برگ سبز Green leaf index (GLI)

* باند قرمز (r)، باند سبز (g) و باند آبی (b)

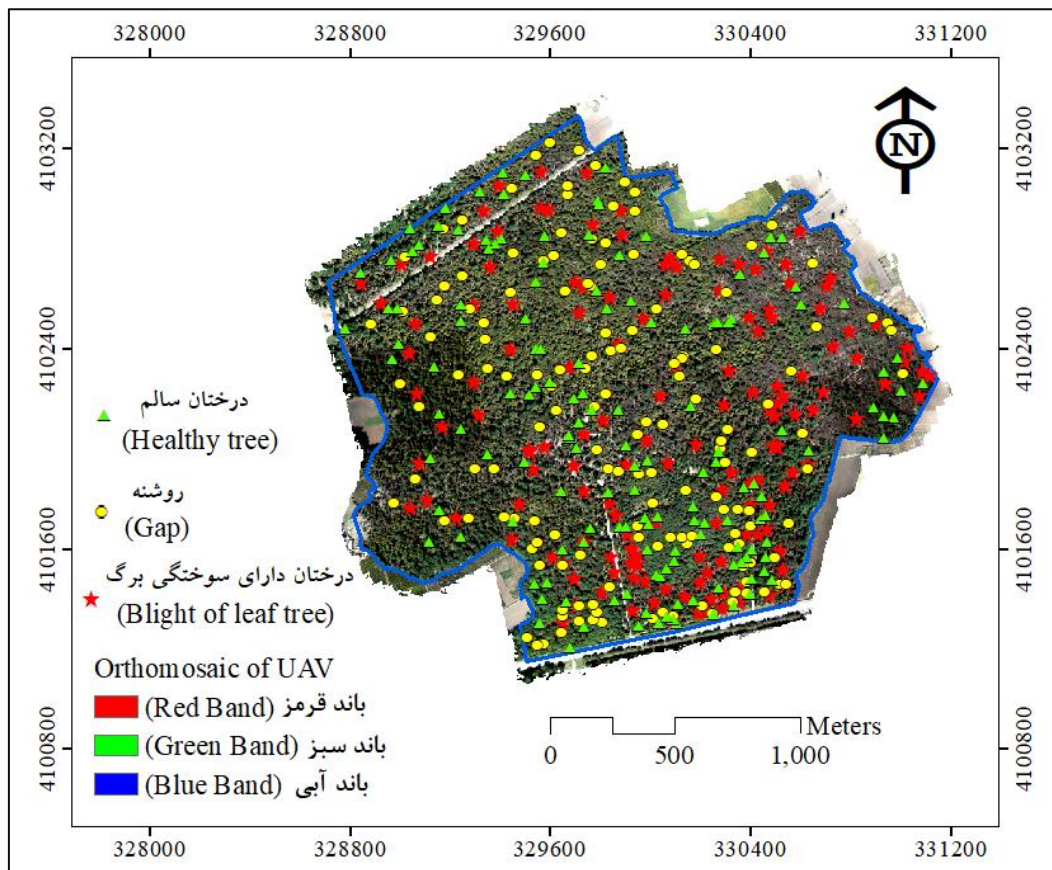
ارتوموزاییک پهباد استفاده شد و تعداد ۱۵۰ نقطه در مکان‌هایی که سطح زمین به‌وضوح قابل مشاهده بود، انتخاب گردید (شکل ۲-ج). در نهایت ۷۰ درصد از نمونه‌های برداشت‌شده برای هر طبقه به‌عنوان نمونه آموزش و ۳۰ درصد باقی‌مانده به‌عنوان نمونه آزمون در نظر گرفته شد. شکل ۳ موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت‌شده را نشان می‌دهد.

تهیه نمونه‌های تعلیمی: پس از جنگل گردشی، نمونه‌های مربوط به درختان سالم (شکل ۲-الف) و درختان دارای برگ‌ها سوخته (شکل ۲-ب) با استفاده از دستگاه DGPS به‌صورت RTK برداشت و ثبت شد. در مجموع ۳۰۰ اصله درخت برداشت گردید (۱۵۰ درخت دارای برگ‌های سالم و ۱۵۰ درخت دارای سوختگی برگ). هم‌چنین با هدف جداسازی روشنه‌ها به‌عنوان طبقه‌ای مجزا، از تصویر



شکل ۲- نمونه‌ای از درختان و روشنیه‌های برداشت شده به عنوان نمونه‌های تعلیمی: الف- درخت سالم، ب- درخت دارای سوختگی برگ، ج- روشنیه.

Figure 2. An example of trees and gaps harvested as ground truths: a- healthy tree, b- tree with leaf burn, c- gap.



شکل ۳- موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت شده.

Figure 3. Sample locations.

نرم‌افزار ENVI5.3.1 انجام شد. طبقه‌بندی در چندین حالت، شامل: استفاده از فقط باندهای اصلی (RGB) تصویر پهپاد، ترکیب باندهای اصلی تصاویر پهپاد و ۹ شاخص پوشش و هم‌چنین ترکیب باندهای RGB با

طبقه‌بندی تصاویر پهپاد: طبقه‌بندی درختان سالم، درختان دارای برگ‌های سوخته و روشنیه‌ها با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و کرنل RBF^1 در

1- Radial basis function

شاخص‌های پوشش منتخب (شاخص‌هایی که دارای کم‌ترین همبستگی بودند)، انجام شد. در نهایت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با استفاده از ۳۰ درصد از نمونه‌های آزمون، با استفاده از صحت کلی (رابطه ۱) و ضریب کاپا (رابطه ۲) ارزیابی و بررسی شدند.

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum \text{Diagonal members of the error matrix}}{\text{Total number of known pixels}} \quad (1)$$

$$\text{Kappa coefficient} = \frac{(\text{Overall accuracy observed}) - (\text{Chance agreement})}{1 - (\text{Chance agreement})} \quad (2)$$

(R²) با استفاده از نمونه‌های آزمون، مدل تهیه‌شده به‌کل محدوده پارک جنگلی دلند تعمیم داده شد و نقشه مربوط به طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان در کل محدوده پارک جنگلی دلند تهیه گردید.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی: نتایج حاصل از طبقه‌بندی پیکسل پایه با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نشان داد که استفاده از باندهای اصلی تصویر پهپاد قادر است طبقات دارای سوختگی برگ درختان، درختان سالم و هم‌چنین روشنه‌ها را با صحت کلی ۸۹/۶۲ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۴ شناسایی کند (جدول ۴). با به‌کارگیری توأمان باندهای تصاویر RGB پهپاد و ۹ شاخص پوشش نتایج حاصل از تلفیق این داده‌ها نشان‌دهنده کاهش تقریباً دو درصدی نتایج بود (جدول ۴). بنابراین به‌منظور به‌کارگیری بهینه از شاخص‌های پوشش، جلوگیری از تکرار باندهایی که تأثیر مشابه دارند و بهبود نتایج، همبستگی شاخص‌های پوشش نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

مدل‌سازی رگرسیون جنگل تصادفی و تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی تاج‌پوشش درختان با تصاویر سنتینل ۲: برای این منظور از طبقه درختان دارای سوختگی برگ تاج‌پوشش مربوط به بهترین نقشه طبقه‌بندی‌شده‌ای که دارای بالاترین صحت کلی و ضریب کاپا بود استفاده شد. مراحل انجام پردازش و بررسی مدل رگرسیون جنگل تصادفی مربوط به طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان برای پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در نرم‌افزار RStudio 4.2.2 و با استفاده از کتابخانه Caret انجام شد. برای این هدف، شبکه‌ای به ابعاد ۱۰ × ۱۰ متر تهیه گردید و مقادیر درصد سوختگی طبقه درختان دارای سوختگی برگ مربوط به بهترین نقشه طبقه‌بندی‌شده حاصل از تصویر پهپاد، در داخل شبکه‌ها محاسبه شد. در نهایت مقادیر استخراج‌شده، به‌عنوان نمونه‌های آموزش (۷۰ درصد) و آزمون (۳۰ درصد) در تهیه مدل رگرسیون جنگل تصادفی استفاده شد. مدل رگرسیونی با چهار متغیر مستقل (شامل باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک مربوط به تصویر سنتینل ۲) ساخته شد. پس از بررسی مجذور میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تبیین

جدول ۳- ماتریس همبستگی شاخص‌های پوشش.

Table 3. Correlation matrix of vegetation indicators.

BIC	EGI	EGMRI	ERI	GLI	NCI	NDI	PGI	VARI	شاخص Index
0.66 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.99 ^{**}	0.65 ^{ns}	0.98 [*]	0.66 ^{ns}	1 ^{**}	VARI
1 ^{**}	0.64 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1 ^{**}	0.64 ^{ns}	1 ^{**}	0.66 ^{ns}	PGI
0.63 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.99 ^{**}	0.63 ^{ns}	1 ^{**}	0.64 ^{ns}	0.98 [*]	NDI
1 ^{**}	0.63 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.65 ^{ns}	1 ^{**}	0.63 ^{ns}	1 ^{**}	0.65 ^{ns}	NCI
0.66 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0 ^{ns}	0.46 ^{ns}	1 ^{**}	0.65 ^{ns}	0.99 ^{**}	0.66 ^{ns}	0.99 ^{**}	GLI
0.66 ^{ns}	0 ^{ns}	0.8 ^{ns}	1 ^{**}	0.46 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.52 ^{ns}	ERI
0.69 ^{ns}	0.12 ^{ns}	1 ^{**}	0.66 ^{ns}	0 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.004 ^{ns}	EGMRI
0.61 ^{ns}	1 ^{**}	0.69 ^{ns}	0 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.4 ^{ns}	EGI
1 ^{**}	0.61 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.8 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1 ^{**}	0.63 ^{ns}	1 ^{**}	0.66 ^{ns}	BIC
0.77 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.62 ^{ns}	میانگین Average

^{ns} بدون معنی‌داری، * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

^{ns} no significance, * significance at 95% confidence level, ** significance at 99% confidence level

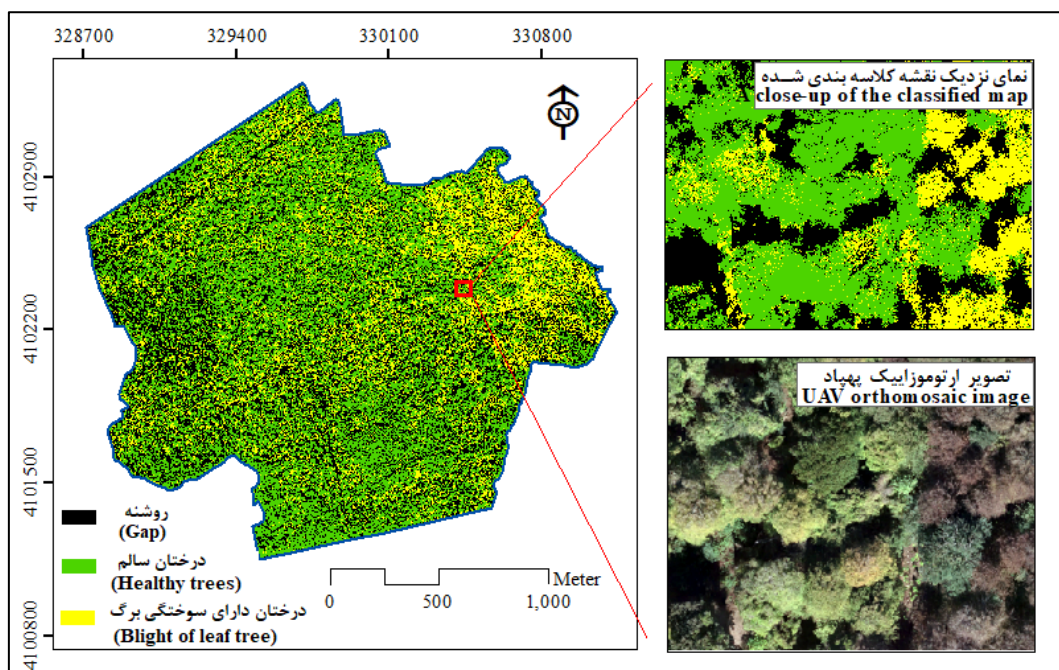
تشخیص برگ‌های سالم درختان برخوردار است (۱۳) و می‌تواند در تمایز بین برگ درختان سالم و تحت تنش بهتر عمل نماید. به‌طورکلی، به‌کارگیری بهینه از شاخص‌های پوشش که بهتر بتوانند پدیده‌های موردنظر را متمایز نمایند از اهمیت بالایی برخوردار است (۵). نتایج این پژوهش با پژوهش‌هایی که از شاخص‌های منتخب پوشش مانند NDI (۱۳)، VARI (۱۱)، NGRDI و EGX (۲) در تلفیق با باندهای اصلی تصاویر پهپاد استفاده نموده‌اند و به صحت کلی بالاتر ۹۰ درصد دست یافتند، مطابقت دارد. همچنین پژوهش‌های Michez و همکاران (۲۰۱۶) (۹)، Kampen و همکاران (۲۰۱۸) (۱۲) و Bagheri (۲۰۲۰) (۱۰) که از شاخص‌های پوشش باهدف بهبود نتایج پژوهش‌های آن‌ها در زمینه سلامت و شناسایی استرس در درختان استفاده و نتایج پژوهش‌های خود را قابل‌قبول گزارش نمودند، تأکیدی بر به‌کارگیری از شاخص‌های پوشش مناسب در طبقه‌بندی درختان تحت تنش می‌باشد.

با توجه به نتایج همبستگی به‌دست‌آمده، سه شاخص (EGMRI، EGI و NDI) که پایین‌ترین همبستگی را نسبت به دیگر شاخص‌ها داشتند انتخاب و در فرآیند طبقه‌بندی به همراه باندهای اصلی مورداستفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی باندهای تصویر اصلی و سه شاخص پوشش انتخاب‌شده که کم‌ترین همبستگی را داشتند نشان داد که استفاده از این ترکیب باندهای قادر است منطقه مورد مطالعه را با صحت کلی ۹۱/۱۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۶ به طبقه‌های موردنظر (درختان دارای سوختگی برگ، درختان سالم و روشن) طبقه‌بندی نماید (جدول ۴ و شکل ۴). با توجه به روابط مربوط به تهیه شاخص‌های پوشش‌های گیاهی منتخب در این پژوهش، باند سبز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همان‌طور که نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه رنگدانه و مزوفیل برگ‌های درختان سالم، آلوده و تحت سوختگی برگ نشان داده است، باند طیفی سبز از حساسیت بالایی در

جدول ۴- خلاصه نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از ترکیبات باندهای اصلی و شاخص‌های گیاهی تصاویر پهپاد.

Table 4. Summary of the results of validation of the maps prepared using the combinations of the main bands and vegetation indices of the UAV images.

ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کلی (%) Overall accuracy (%)	ترکیب باندها Combination of bands
0.84	89.62	باندها اصلی پهپاد (قرمز، سبز و آبی) UAV main bands (Red, Green and Blue)
0.81	87.40	ترکیب باندهای اصلی پهپاد و ۹ شاخص پوشش The composition of the main UAV bands and 9 vegetation indices
0.86	91.11	ترکیب باندهای اصلی و شاخص‌های پوشش منتخب Combination of main bands and selected vegetation indices

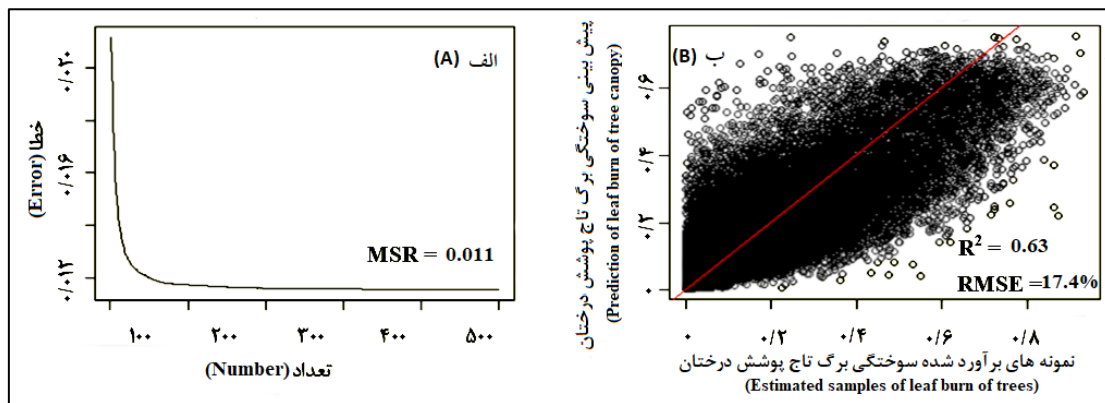


شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی‌شده درختان سالم، دارای سوختگی برگ و روشنیه با استفاده از ترکیب باندهای اصلی و شاخص‌های پوشش منتخب.

Figure 4. Classified map of healthy trees, trees with crown leaf burn and gap by using the combination of main bands and selected vegetation indices.

تصاویر پهپاد (به‌کارگیری طبقه درختان دارای سوختگی برگ) و بهینه‌سازی مدل رگرسیون جنگل تصادفی با استفاده از باندهای تصویر سنتینل ۲، می‌توان نقشه طبقات سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان را با میانگین باقی‌مانده مربعات (ESR) ۰/۰۱۱، مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) ۱۷/۴ درصد و هم‌چنین ضریب تعیین (R^2) ۰/۶۳ تهیه نمود (شکل ۵).

مدل‌سازی رگرسیون جنگل تصادفی و تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی تاج‌پوشش درختان با استفاده از تصاویر سنتینل ۲: نتایج حاصل از به‌کارگیری طبقه درختان دارای سوختگی برگ تاج‌پوشش مربوط به بهترین نقشه طبقه‌بندی‌شده تصویر پهپاد در بررسی و تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ نشان داد که با استفاده از نتایج

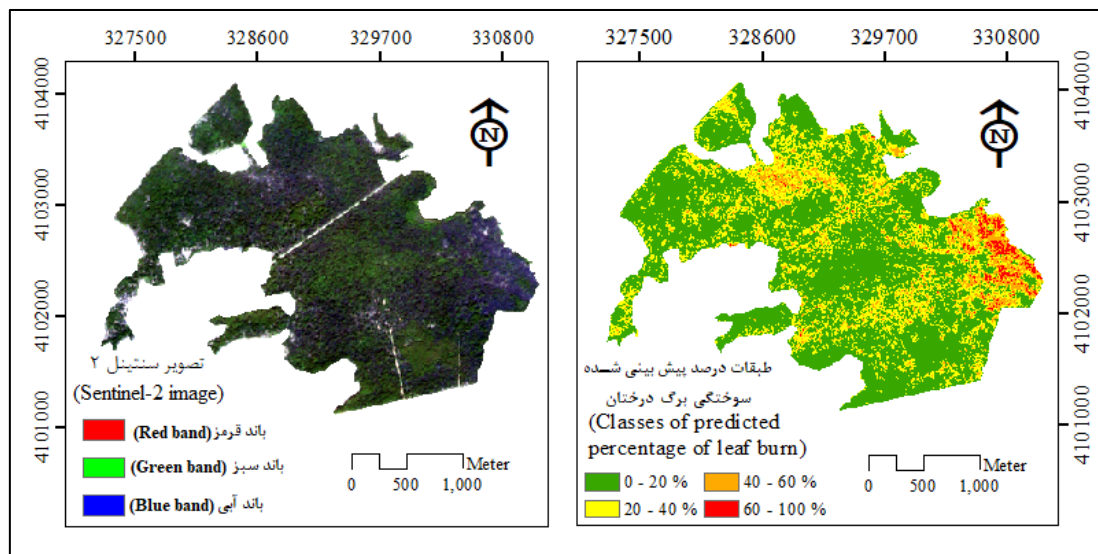


شکل ۵- الف- نمودار مربوط به میانگین باقی مانده مربعات، ب- نمودار پراکنش درختان در مدل جنگل تصادفی.

Figure 5. A- diagram related to Mean of Squares Residual, B- diagram of the distribution of trees in random forest model.

پهپاد به‌عنوان نمونه آموزش با تصاویر سنتینل ۲ صورت نگرفته است. با توجه به نتایج قابل قبولی که از ارزیابی مدل رگرسیون جنگل تصادفی با استفاده از نمونه‌های آزمون در نرم‌افزار RStudio انجام شد، این تکنیک می‌تواند در مناطقی که هدف از آن شناسایی درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختان در مناطق تحت تنش، استفاده گردد و نتایج آن مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۶ نقشه مربوط به طبقات درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختان را در کل محدوده پارک جنگلی دلند نشان می‌دهد. استفاده از این رویکرد در پژوهش‌هایی مانند Kattenborn و همکاران (۲۰۱۹) و Pilaš و همکاران (۲۰۲۰) (۱۶) که با اهداف طبقه‌بندی گونه‌های درختی، تشخیص روشن‌ه و پوشش خاک انجام شده است، مورد تأیید است؛ اما پژوهشی در زمینه بررسی طبقات سوختگی برگ تاج پوشش درختان با رویکرد تلفیق نتایج تصاویر



شکل ۶- نقشه تهیه شده مربوط به طبقات درصد سوختگی برگ تاج پوشش درختان با استفاده از مدل رگرسیونی جنگل تصادفی.

Figure 6. The prepared map related to the percentage classes of leaf burn-tree crown cover using the Random Forest regression model.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به طبقه‌بندی درختان دارای سوختگی برگ، درختان سالم و روشنه با استفاده از تصاویر پهپاد، شناسایی مناسب‌ترین شاخص‌های پوشش و هم‌چنین تلفیق نتایج حاصل از داده‌های پهپاد با تصویر سنتینل ۲ به منظور شناسایی و تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان در پارک جنگلی دلد واقع در استان گلستان پرداخته شد. با توجه به اهداف پژوهش، تصویر پهپاد از قابلیت بالایی به منظور تشخیص درختان دارای سوختگی برگ تاج‌پوشش، درختان سالم و روشنه‌های موجود در جنگل برخوردار است. در این راستا با توجه به بررسی‌های میدانی، می‌توان در زمینه به‌کارگیری و استفاده از لایه‌های کمکی مانند شاخص‌های پوشش مناسب، نتایج طبقه‌بندی مربوط به طبقات مدنظر را بهبود بخشید. همان‌گونه که بیان شد، استفاده از شاخص‌های پوشش که بتواند تمایز بین طبقات را بهتر نشان دهد از اهمیت بالایی برخوردار است که می‌توان با پژوهش در مورد قابلیت شاخص‌های پوشش و بررسی همبستگی میان آن‌ها، به منظور جلوگیری از تکرار شاخص‌هایی که عملکرد یکسان و یا نزدیک به هم دارند، در جهت بهبود نتایج تشخیص سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با سایر طبقه‌ها و یا سایر پدیده‌های موردنظر گام برداشت. همان‌گونه که نتایج همبستگی میان شاخص‌های پوشش تهیه‌شده نشان داد، شاخص‌های پوشش که همبستگی پایینی نسبت به سایر شاخص‌ها داشتند (EGI, EGMRI) و (NDI) در کنار باندهای اصلی تصویر پهپاد توانستند صحت طبقه‌بندی را بهبود بخشند. هم‌چنین در به‌کارگیری از تلفیق نتایج داده‌های پهپاد با تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در راستای تشخیص و تهیه نقشه طبقات درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان، نتایج نشان داد که استفاده از تکنیک مورد استفاده دارای دقت قابل‌قبولی می‌باشد. استفاده از این رویکرد

می‌تواند در مناطق وسیعی که درختان در معرض تنش‌ها و استرس‌های ناشی از عوامل محیطی و غیرمحیطی قرار دارند و این عوامل منجر به سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان شده است، مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این رویکرد مزیت‌هایی فراوانی برای به دست آوردن اطلاعات سریع در حوزه‌های جنگلی دارد؛ زیرا تشخیص سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان با استفاده از روش‌های سنتی زمان و هزینه‌های عملیاتی زیادی را در بر دارد. بنابراین با استفاده از تصاویر پهپاد در چنین عرصه‌هایی و تهیه تصاویر سنتینل ۲ که به صورت رایگان از سایت‌های مربوطه قابل دریافت هستند، می‌توان نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر پهپاد (طبقه درختان دارای سوختگی برگ) را برای کل منطقه تحت تنش سوختگی اعمال نمود. در حال حاضر ماهواره سنتینل ۲ یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های ماهواره‌ای است که مهم‌ترین ویژگی آن پوشش جهانی، وضوح طیفی بالا و زمان بازبینی کوتاه است (۲۸) که با به‌کارگیری از آن‌ها و استفاده از سیستم‌های تصویربرداری پهپاد که در حال حاضر به صورت گسترده در مناطق کوچک در حال استفاده هستند، می‌توان در زمینه حفاظت از جنگل‌ها در راستای توسعه پایدار اقدام نمود. به منظور بهبود نتایج حاصل از تلفیق اطلاعات حاصل از داده‌های پهپاد و تصاویر سنتینل ۲، پیشنهاد می‌گردد تا در پژوهش‌های آینده، باندهای اصلی تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ به همراه شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرند و تأثیر آن‌ها در شناسایی درصد سوختگی برگ تاج‌پوشش درختان در مدل رگرسیونی جنگل تصادفی مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است که در این پژوهش، وجود گونه‌های درختی زیر تاج‌پوشش درختان غالب و عدم تشخیص سوختگی برگ آن‌ها بر روی تصویر پهپاد را باید به‌عنوان محدودیت‌های این پژوهش در نظر گرفت.

منابع

1. Khodaverdi, S., Amiri, M., Kartoolinejad, D., and Mohammadi, J. 2018. Characteristics of canopy gap in a broad-leaved mixed forest (Case study: District No. 2, Shast-Kalateh Forest, Golestan province). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 26: 1. 24-35. (In Persian)
2. Hoseinpour, A. 2019. Recognizing plant tension in plantations by use of UAVs visible light detector (Case study: Nekazalemrood forestry plan). *Ecology of Iranian Forest*. 7: 13. 20-28. (In Persian)
3. Moshou, D., Gravalos, I., Bravo, D.K.C., Oberti, R., West, J.S., and Ramon, H. 2011. Multisensor fusion of remote sensing data for crop disease detection. In *Geospatial Techniques for Managing Environmental Resources*. pp. 201-219.
4. Khazaeli, P., Rezaee, S., Mirabolfathy, M., Zamanizadeh, H., and Kiadaliri, H. 2016. Distribution, specific detection, and the pathogenesis variation of *Calonectria pseudonaviculata* isolates, causal agent of boxwood blight disease, in the Hyrcanian forest of Iran. *Applied Entomology and Phytopathology*, 84: 1. 141-156. (In Persian)
5. Naseri, M.H., Shataee Jouibari, S., Mohammadi, J., and Ahmadi, S. 2019. Capability of rapideye satellite imagery to map the distribution of canopy trees in dashtebarm forest area of Fars province. *Ecology of Iranian Forest*. 7: 14. 58-69. (In Persian)
6. Smigaj, M., Gaulton, R., Suárez, J.C., and Barr, S.L. 2019. Combined use of spectral and structural characteristics for improved red band needle blight detection in pine plantation stands. *Forest Ecology and Management*. 434: 213-223.
7. Hao, Z., Lin, L., Post, C.J., Jiang, Y., Li, M., Wei, N., Yu, K., and Liu, J. 2021. Assessing tree height and density of a young forest using a consumer unmanned aerial vehicle (UAV). *New Forests*. 52: 5. 843-862.
8. Smigaj, M., Gaulton, R., Suárez, J.C., and Barr, S.L. 2019. Canopy temperature from an Unmanned Aerial Vehicle as an indicator of tree stress associated with red band needle blight severity. *Forest Ecology and Management*. 433: 699-708.
9. Michez, A., Piégay, H., Lisein, J., Claessens, H., and Lejeune, P. 2016. Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system. *Environmental monitoring and assessment*. 188: 3. 1-19.
10. Bagheri, N. 2020. Application of aerial remote sensing technology for detection of fire blight-infected pear trees. *Computers and electronics in agriculture*. 168: 105147.
11. Avtar, R., Suab, S.A., Yunus, A.P., Kumar, P., Srivastava, P.K., Ramaiah, M., and Juan, C.A. 2020. Applications of UAVs in plantation health and area management in Malaysia. In *Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment*. pp. 85-100.
12. Kampen, M., Lederbauer, S., Mund, J.P., and Immitzer, M. 2019. UAV-based multispectral data for tree species classification and tree vitality analysis. *Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Wien, sterreich Publikationen der DGPF*. 28: 01.
13. Liao, K., Yang, F., Dang, H., Wu, Y., Luo, K., and Li, G. 2022. Detection of Eucalyptus leaf disease with UAV multispectral imagery. *Forests*. 13: 8. 1322.
14. Zhou, X., Yang, L., Wang, W., and Chen, B. 2021. UAV data as an alternative to field sampling to monitor vineyards using machine learning based on UAV/Sentinel-2 data fusion. *Remote Sensing*. 13: 3. 457.
15. Kattenborn, T., Lopatin, J., Förster, M., Braun, A.C., and Fassnacht, F.E. 2019. UAV data as an alternative to field sampling to map woody invasive species based on combined Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Remote sensing of environment*. 227: 61-73.
16. Pilaš, I., Gašparović, M., Novkinić, A., and Klobučar, D. 2020. Mapping of the canopy openings in mixed Beech-Fir forest at sentinel-2 subpixel level using UAV and machine learning approach. *Remote Sensing*. 12: 23. 3925.

17. Hajizadeh, G., Kavousi, M., Afshari, A., and Shataee, S.J. 2012. Effects of ovipositing height and host tree species on some biological parameters of *Gypsy moth lymantra dispar* (L), IN Golestan forests (Case study: Daland park). J of Wood and Forest Science and Technology. 19: 1. 149-162. (In Persian)
18. DJI Company. 2016. DJI Phantom4 Pro, <https://www.dxomark.com/Cameras/DJI/Phantom4-Pro---Specifications>.
19. Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote sensing of Environment. 8: 2. 127-150.
20. Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., and Mortensen, D.A. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. Transactions of the ASAE. 38: 1. 259-269.
21. Meyer, G.E., and Neto, J.C. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Computers and electronics in agriculture. 63: 2. 282-293.
22. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., and Rundquist, D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote sensing of Environment. 80: 1. 76-87.
23. Neto, J.C. 2004. A combined statistical-soft computing approach for classification and mapping weed species in minimum-tillage systems. The University of Nebraska-Lincoln.
24. Hamdi-Aissa, B., and Girard, M.C. 2004. Apport des données satellitales pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du risque salinisation dans l'écosystème désertique (cuvette de Ouargla, Algérie). X ème journée scientifique du réseau de télédétection de l'AUF, Géorisque et télédétection, Ottawa. pp. 177-180.
25. Gillespie, A.R., Kahle, A.B., and Walker, R.E. 1987. Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques. Remote Sensing of Environment. 22: 3. 343-365.
26. Tiwari, S., Agarwal, S., and Trang, A. 2008, July. Texture feature selection for buried mine detection in airborne multispectral imagery. In IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 1. I-145.
27. Louhaichi, M., Borman, M.M., and Johnson, D.E. 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. Geocarto International. 16: 1. 65-70.
28. Nguyen, L.H., Robinson, S., and Galpern, P. 2022. Medium-resolution multispectral satellite imagery in precision agriculture: mapping precision canola (*Brassica napus* L.) yield using Sentinel-2 time series. Precision Agriculture. 23: 3. 1051-1071.