

Species identification of *Pistacia* and *Amygdalus* individuals using combination of UAV-based RGB imagery analysis and digital surface model

Atefeh Esmkhani¹, Seyed Yousef Erfanifard^{*2}, Ali Darvishi Boloorani³,
Najmeh Neysani Samany⁴

1. M.Sc. Student, Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: atefeh.esmkhani68@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: erfanifard@ut.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: ali.darvishi@ut.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nneysani@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 10.16.2022

Revised: 11.06.2022

Accepted: 11.07.2022

Keywords:

CNN,
Deep learning,
Phantom 4Pro,
Receiver operating
characteristic,
Species recognition

ABSTRACT

Background and Objectives: Identifying and mapping tree species at the single-tree level using remote-sensing data is important for the sustainable forest management. On the other hand, UAVs technologies offer the possibility of acquiring remote-sensing data with high spatial and temporal resolution. This facilitates the monitoring of individual trees and provides the necessary information on their quantitative and qualitative characteristics such as species types. Machine learning-based methods can identify species types using UAVs color images; however, these methods are not very accurate. In addition, the similarity of plants in the visible range of electromagnetic waves in UAV color images causes errors in species identification. Therefore, the aim of this study was to evaluate the combination of UAV-based color imagery, digital surface model (DSM) and deep learning algorithms in the identification of species of *Pistacia-Amygdalus* stands.

Material and Methods: An area of 24 ha of the *Pistacia-Amygdalus* stands at the Fars forestry research station was selected for this study. The study area was covered by 649 color images with a spatial resolution of 3.5 cm in acquired by Phantom 4Pro UAV in 16 flight lines. In addition to the orthophoto, the DSM of the study area, prepared using inverse distance weighting (IDW) method, with a similar spatial resolution was used. Then, color images alone and by combining them with DSM were compared to identify *Pistacia* trees and *Amygdalus* shrubs using Convolutional Neural Networks (CNNs). Results were evaluated using validation criteria such as accuracy and area under the curve (AUC) of the receiver operating characteristics.

Results: The results showed that using color images, *Amygdalus* shrubs (accuracy=0.77, AUC=0.82) were identified with almost the same accuracy as *Pistacia* trees (accuracy=0.76, AUC=0.80). Moreover, the combining images and DSM *Pistacia* trees (accuracy=0.85, AUC=0.85) were identified with higher accuracy than *Amygdalus* shrubs (accuracy=0.81, AUC=0.83). The final map of the studied area included 455 *Pistacia* trees

and 1951 *Amygdalus* shrubs. Visual interpretation of the results showed that despite the proximity of the numerical values to the validation criteria, species identification using the combination of color images and DSM was more accurate.

Conclusions: In general, the present study showed that the combination of color and DSM drone images can lead to the improved recognition of species identification of *Pistacia* trees and *Amygdalus* shrubs. Furthermore, this study confirms CNN's ability to prepare a map of plant species.

Cite this article: Esmkhani, Atefeh, Erfanifard, Seyed Yousef, Darvishi Bolorani, Ali, Neysani Samany, Najmeh. 2022. Species identification of *Pistacia* and *Amygdalus* individuals using combination of UAV-based RGB imagery analysis and digital surface model. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (3), 93-111.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2022.20676.1986

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

شناسایی گونه‌های گیاهی بنه و بادام با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و مدل رقومی سطح پهپاد

عاطفه اسمخانی^۱، سیدیوسف عرفانی‌فرد^{۲*}، علی درویشی بلورانی^۳، نجمه نیسانی سامانی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: atefeh.esmkhani68@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: erfanifard@ut.ac.ir
۳. دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ali.darvishi@ut.ac.ir
۴. دانشیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nneysani@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: شناسایی و تهیه نقشه پراکنش گونه‌های گیاهی در مقیاس تک‌درخت با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در مدیریت پایدار جنگل از اهمیت زیادی برخوردار است. از سوی دیگر، امروزه پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور (پهپادها) امکان تهیه داده‌های سنجش‌ازدور با تفکیک‌پذیری مکانی و زمانی بالا را فراهم آورده‌اند. این امر پایش تک‌درختان را تسهیل کرده و اطلاعات لازم در مورد ویژگی‌های کمی و کیفی آن‌ها از جمله نوع گونه را فراهم می‌آورد. روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین بستر لازم برای شناسایی گونه‌های درختی با استفاده از تصاویر رنگی پهپاد را فراهم کرده‌اند. با این حال این روش‌ها از صحت بالایی برخوردار نیستند. علاوه بر این، شباهت گیاهان در محدوده مرئی امواج الکترومغناطیسی در تصاویر رنگی پهپاد باعث بروز خطا در شناسایی گونه می‌شود؛ بنابراین، پژوهش حاضر باهدف ارزیابی تلفیق تصاویر رنگی و مدل رقومی سطح (DSM) پهپاد و الگوریتم یادگیری عمیق در شناسایی گونه در یک منطقه جنگلی بنه - بادام انجام گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴	مواد و روش‌ها: بخشی از توده‌های بنه - بادام جنگل تحقیقاتی استان فارس با مساحت ۲۴ هکتار برای این منظور انتخاب شد. منطقه مذکور با ۶۴۹ تصویر رنگی با تفکیک‌پذیری مکانی ۳/۵ سانتی‌متر ثبت‌شده با یک پهپاد فانتوم ۴ پرو در ۱۶ خط پرواز پوشش داده شد. علاوه بر ارتوفوتو، از داده‌های پهپاد DSM منطقه مطالعاتی با تفکیک‌پذیری مکانی مشابه استفاده شد. DSM با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) تهیه شد. سپس تصاویر رنگی به‌تنهایی و نیز با تلفیق آن‌ها با DSM در شناسایی درختان بنه و درختچه‌های بادام با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی پیچشی (CNN) مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج با استفاده از معیارهای صحت‌سنجی (مانند صحت، سطح زیر منحنی (AUC) مشخصه نسبی عملکرد) ارزیابی شدند.
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶	
واژه‌های کلیدی: شناسایی گونه‌های گیاهی، فانتوم ۴ پرو، مشخصه نسبی عملکرد، یادگیری عمیق، CNN	

یافته‌ها: نتایج نشان دادند با استفاده از تصاویر رنگی، درختچه‌های بادام (صحت ۰/۷۷، AUC ۰/۸۲) با صحت تقریباً مشابه درختان بنه (صحت ۰/۷۶، AUC ۰/۸۰) شناسایی شدند. در صورتی که با رویکرد تلفیق تصاویر رنگی و DSM، درختان بنه (صحت ۰/۸۵، AUC ۰/۸۵) با صحت بیش‌تر نسبت به درختچه‌های بادام (صحت ۰/۸۱، AUC ۰/۸۳) شناسایی شدند. نقشه نهایی منطقه مطالعاتی از ۴۵۵ درخت بنه و ۱۹۵۱ درختچه بادام تشکیل شد. هم‌چنین تفسیر بصری نتایج نشان داد علی‌رغم نزدیکی ارزش عددی معیارهای صحت‌سنجی، شناسایی گونه‌ها با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهناد از صحت بیش‌تری برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، مطالعه حاضر نشان داد تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهناد می‌تواند منجر به بهبود شناسایی دو گونه درختی بنه و درختچه‌ای بادام در منطقه مطالعاتی شود. هم‌چنین مطالعه حاضر بر توانایی الگوریتم CNN در تهیه نقشه گونه‌های گیاهی تأکید دارد.

استناد: اسمخانی، عاطفه، عرفانی‌فرد، سیدیوسف، درویشی بلورانی، علی، نیسانی سامانی، نجمه (۱۴۰۱). شناسایی گونه‌های گیاهی بنه و بادام با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و مدل رقومی سطح پهناد. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۹ (۳)، ۱۱۱-۹۳.

DOI: 10.22069/JWFST.2022.20676.1986



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

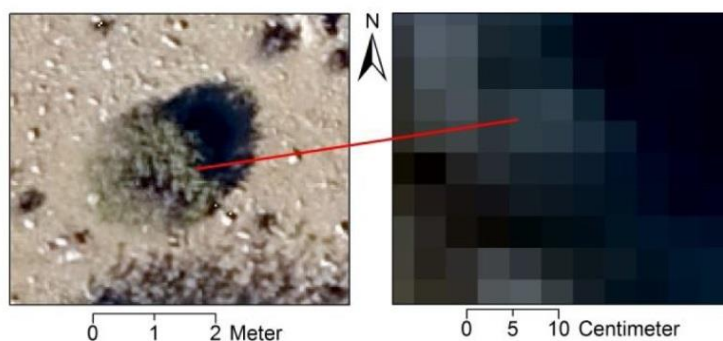
مقدمه

جنگل‌ها با ارائه خدمات بوم‌سازگانی مانند تولید زی‌توده، کاهش آلودگی‌های محیطی و ترسیب کربن در بهبود محیط‌زیست نقش کلیدی ایفا می‌کنند. با توجه به تهدید عوامل محیطی (مانند خشکسالی) و عوامل انسانی (مانند تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین)، جنگل‌ها و خدمات بوم‌سازگانی آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرند و یکی از ملزومات مدیریت پایدار جنگل‌ها و تضمین خدمات ذکرشده، نقشه‌برداری دقیق درختان و ثبت ویژگی‌های کمی و کیفی آنها در مقیاس تک‌درخت است (۱، ۲، ۳). این موضوع، در جنگل‌های تنک و درختزارهای خشک و نیمه‌خشک (مانند جنگل‌های زاگرس) از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا هر درخت نقش منحصر به فردی در جلوگیری از فرسایش و بیابان‌زایی دارد و پایش تغییرات تک‌درختان در مدیریت آنها اجتناب‌ناپذیر است (۴).

یکی از ویژگی‌های مهم تک‌درختان نوع گونه آنها است که نقشه پراکنش مکانی گونه‌ها در مقیاس تک‌درخت در مدیریت پایدار جنگل، حفاظت از گونه‌های بومی در معرض انقراض، پایش گونه‌های مهاجم و روابط بوم‌شناختی درختان در مقیاس گونه ضروری است (۵، ۶). از آنجایی که تهیه چنین نقشه‌ای با آماربرداری میدانی بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، سنجش‌ازدور به ابزاری کارآمد در تهیه چنین نقشه‌هایی تبدیل شده است. در بوم‌سازگان‌هایی چون جنگل‌های تنک و درختزارهای خشک و

نیمه‌خشک، تشخیص تک‌درختان و شناسایی گونه آنها روی داده‌های سنجش‌ازدور با تفکیک‌پذیری مکانی متوسط (مانند تصاویر ماهواره‌های سنتینل و لندست) به دلیل تراکم کم درختان و فاصله زیاد بین آنها بسیار مشکل می‌نماید (۴). به همین جهت، برای رسیدن به چنین هدفی عکس‌ها و تصاویر هوایی با تفکیک‌پذیری مکانی بسیار زیاد^۱ (VHSR) نیز تاکنون برای این منظور به‌کار رفته‌اند. اگرچه با افزایش تفکیک‌پذیری مکانی تصاویر هوایی VHSR، شناسایی گونه‌ها با صحت بیشتری ممکن می‌شود ولی طبقه‌بندی این داده‌ها همچنان با چالش مواجه است. یکی از این چالش‌ها، وجود سایه درختان به‌ویژه در جنگل‌های تنک و درختزارها است که ناشی از فاصله زیاد درختان از همدیگر است. سایه درختان باعث افزایش کنتراست (تباين) تصویر شده و بازتاب پیکسل‌های تحت پوشش سایه را تغییر می‌دهد که منجر به بروز خطا در تشخیص مرز و شکل تاج درختان می‌شود. اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی تاج درختان (مانند مساحت و محیط) به همراه خطا می‌تواند بر برآورد سایر ویژگی‌های کمی و کیفی درختان از جمله شناسایی نوع گونه تأثیر به‌سزایی داشته باشد (۲، ۷). به‌عنوان نمونه، شکل ۱ نشان می‌دهد وجود سایه درختان روی تصاویر هوایی VHSR باعث دشواری در تشخیص مرز تاج و هم‌چنین مشخصاتی چون محیط و مساحت آن می‌شود.

1- Very high spatial resolution, VHSR



شکل ۱- بخشی از تصویر رنگی پهپاد با تفکیک‌پذیری مکانی ۳/۵ سانتی‌متر از یک درخت بنه و سایه آن در مطالعه حاضر.

Figure 1. A part of the UAV RGB image with spatial resolution of 3.5 cm showing a *Pistacia* tree and its shadow in the present study.

ویژگی‌های ساختاری تاج درختان مانند معماری شاخه‌ها و شکل تاج را فراهم می‌آورد که این ویژگی‌ها می‌توانند در شناسایی گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به همین جهت استفاده از خودهمبستگی مکانی پیکسل‌ها با استفاده از الگوریتم‌های شیء‌گرا^۳ در طبقه‌بندی تصاویر هوایی پهپاد برای تهیه نقشه تاج درختان و ویژگی‌های آن متداول است (۹).

شناسایی گونه روی تصاویر رنگی پهپاد در پیشینه پژوهش مورد تأیید قرار گرفته است. مطالعات قبلی نشان دادند که تصاویر رنگی VHSR پهپاد برای شناسایی گونه درختان و تهیه نقشه پراکنش مکانی آنها در جنگل‌های دست‌کاشت (۸)، جنگل‌های معتدله پهن‌برگ (۶) و آمیخته (۱) و هم‌چنین پارک‌های جنگلی (۵) از کارایی لازم برخوردار هستند.

اگرچه کاربرد داده‌های سه‌بعدی پهپاد مانند DSM در شناسایی مکان درختان متداول است (۱۰) ولی به‌تنهایی در شناسایی گونه با محدودیت مواجه است. این در حالی است که می‌توان با تلفیق داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی؛ در کنار محتوای طیفی هر پیکسل در محدوده مرئی، اطلاعات ارتفاعی آن را هم در اختیار داشت. کارایی تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهپاد در تهیه نقشه کاربری اراضی (۱۱) و کشاورزی

در دهه‌های اخیر، پرنده‌های هدایت‌پذیر از دور (پهپاد) به‌طور روزافزون در تهیه تصاویر VHSR از عوارض و پدیده‌های مختلف سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد سادگی کاربرد و هزینه‌های مقرون‌به‌صرفه از جمله دلایلی هستند که باعث شده کاربرد پهپادها به‌سرعت توسعه یابد (۱۶). فتوگرامتری رقومی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ساختار حرکت مینا^۱ (SfM)، امکان تهیه داده‌های دوبعدی (مانند ارتوفتو) و سه‌بعدی (مانند مدل رقومی سطح^۲، DSM) از تصاویر VHSR پهپاد را فراهم می‌آورد. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که داده‌های پهپاد در برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی درختان در مقیاس کوچک کارایی دارند و می‌توان نتایج به‌دست آمده را با کمک داده‌های ماهواره‌ای به مقیاس بزرگ تعمیم داد (۸).

تفکیک‌پذیری مکانی زیاد تصاویر رنگی پهپاد باعث می‌شود ناهمگنی تصاویر به دلیل افزایش دامنه ارزش عددی پیکسل‌ها افزایش داشته و در نتیجه، الگوریتم‌های پیکسل‌مبنا در طبقه‌بندی این داده‌ها از کارایی لازم برخوردار نباشند. این در حالی است که افزایش قدرت تفکیک مکانی، زمینه تشخیص

1- Structure from Motion, SfM
2- Digital surface model, DSM

3- Object-based algorithm

پژوهش حاضر بهره برد. بنابراین مطالعه حاضر باهدف ارزیابی کارایی الگوریتم CNN برای شناسایی گونه با تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهپاد انجام شد. برای این منظور، بخشی از توده‌های بنه و بادام در جنگل‌های زاگرس انتخاب شد که در آن‌ها به دلیل فاصله بین درختان و کتراست زیاد تصاویر هوایی پهپاد به دلیل وجود سایه، شناسایی محدوده و شکل تاج درختان و همچنین نوع گونه آن‌ها با چالش مواجه است (شکل ۱). همچنین توده‌های مذکور پوشیده از گیاهان با فرم‌های رویشی متفاوت هستند و هدف دیگر مطالعه حاضر این است که کارایی روش مورد استفاده را در درختان و درختچه‌ها مورد ارزیابی قرار داد.

مواد و روش‌ها

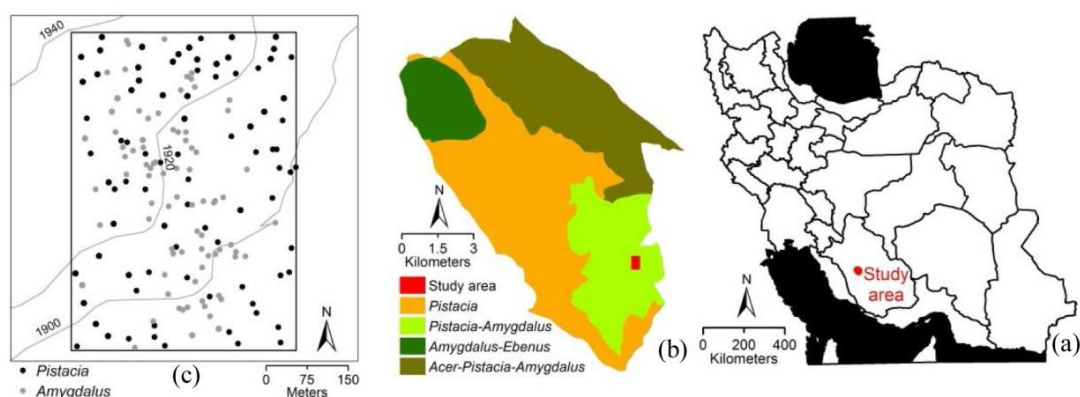
منطقه مورد مطالعه: بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه-بادام مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس در نزدیکی شهرستان فیروزآباد در جنوب غربی استان فارس با مساحت ۲۴ هکتار انتخاب گردید. مختصات شمال غرب منطقه مطالعاتی $29^{\circ} 7' 31''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 37' 49''$ طول شرقی و مختصات جنوب شرق آن $29^{\circ} 7' 12''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 38' 4''$ طول شرقی بوده و تقریباً مسطح با ارتفاع متوسط ۱۹۱۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط ۶ درصد بود. در بخشی از این جنگل تحقیقاتی، تعداد ۱۰۰ درخت بنه (*Pistacia atlantica*) با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر و ۱۰۰ درختچه بادام (*Amygdalus sp.*) با ارتفاع بیش از دو متر به‌طور تصادفی انتخاب شدند (شکل ۲). علت انتخاب گیاهان با بیش از دو متر ارتفاع این بود که در این ارتفاع، هر دو گونه مورد بررسی به‌طور کامل مستقر شدند و به شکل واقعی خود نزدیک هستند. موقعیت مکانی آن‌ها با استفاده از موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی Leica مدل GS15 (دقت مکانی یک سانتی‌متر) ثبت شد.

دقیق (۱۲) مورد تأیید قرار گرفته است. از این رو، این فرضیه به وجود آمد که از تلفیق تصاویر رنگی و DSM و برآورد مجموعه‌ای از ویژگی‌های ساختاری تاج درختان در هر پیکسل، می‌توان گونه‌های مختلف را با دقت بیشتری نسبت تصاویر رنگی شناسایی نمود.

اگرچه کارایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند ماشین بردار پشتیبان^۱ (SVM) در شناسایی گونه‌ها روی تصاویر رنگی پهپاد در مطالعه گارزون-لوپز و لاسو (۲۰۲۰) تأیید شده است (۱۳)، ولی این الگوریتم‌ها امکان افزودن اطلاعات سه‌بعدی از درختان برای طبقه‌بندی گونه‌ها را ندارند. برای این منظور، می‌توان از الگوریتم شبکه عصبی پیچشی^۲ (CNN) بهره برد. این روش یادگیری عمیق^۳ قادر است محتوای طیفی و ارتفاعی پیکسل‌ها را در شناسایی ساختار مکانی تاج درختان به کار ببرد. این روش با ساختار سلسله‌مراتبی که دارد، متناسب با نمونه‌های تعلیمی مشخص‌شده وزن مناسب را برای داده‌های ورودی مشخص کرده و نسبت به شناسایی تاج درختان اقدام می‌کند (۳، ۸، ۱۱). اونیشی و همکاران (۲۰۲۲) اشاره می‌کنند که الگوریتم CNN می‌تواند مرز تاج و معماری شاخه‌ها را روی تصاویر رنگی پهپاد استخراج کند. از الگوریتم CNN در شناسایی گونه‌ها روی تصاویر رنگی پهپاد به‌تنهایی (۱، ۵) و همچنین تصاویر GoogleEarth (۱۴) استفاده شده است.

بنابراین با توجه به قابلیت الگوریتم CNN در طبقه‌بندی تلفیق داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی در زمینه‌های مختلف از یک‌سو و همچنین قابلیت این الگوریتم در شناسایی گونه روی تصاویر رنگی پهپاد از سوی دیگر، می‌توان از آن در آزمون فرضیه

- 1- Support vector machine, SVM
- 2- Convolutional neural network, CNN
- 3- Deep learning



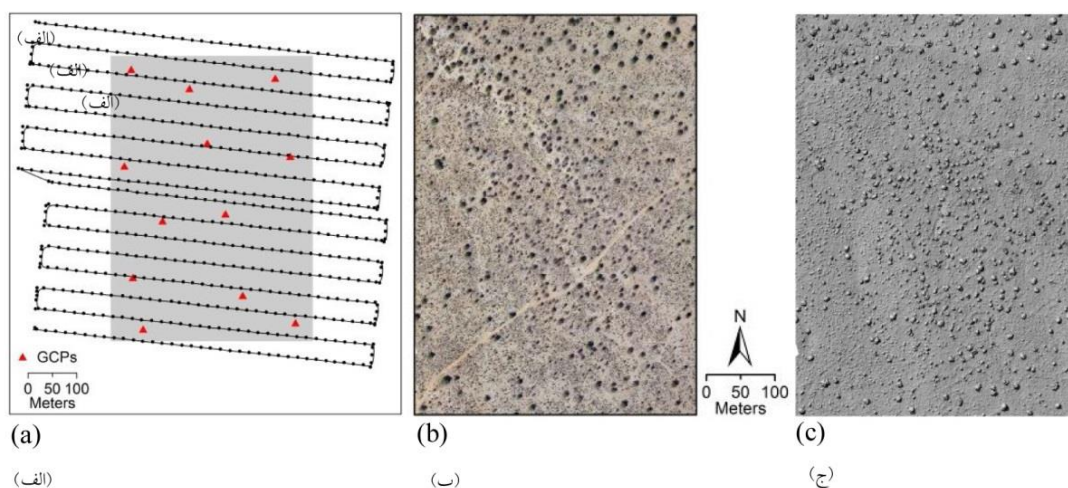
شکل ۲- موقعیت جنگل تحقیقاتی بنه در جنوب غربی استان فارس (a)، منطقه مورد مطالعه در توده‌های بنه- بادام جنگل تحقیقاتی بنه (b) و تعداد ۱۰۰ پایه درخت بنه و ۱۰۰ پایه درختچه بادام به‌عنوان نمونه تصادفی در آن (c).

Figure 2. Wild Pistachio research forest in south west of Fars province (a), the case study in Pistacia-Amygdalus stands within the research forest (b) and 100 Pistacia trees and 100 Amygdalus shrubs registered as random sample points (c).

متوسط $3/5$ سانتی‌متر کل محدوده مورد مطالعه را پوشش داد. تصاویر منطقه مطالعاتی با ۱۲ نقطه کنترل زمینی^۱ (GCP) در نرم‌افزار Pix4Dmapper با میانگین خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) سه سانتی‌متر پردازش شده و ارتوفتوی منطقه مطالعاتی با فرمت GeoTIFF تهیه شد. همچنین ابر نقاط با تراکم متوسط $42/18$ نقطه در مترمربع تولید شد. علاوه بر این، DSM منطقه مطالعاتی با تفکیک‌پذیری مکانی $3/5$ سانتی‌متر ساخته شد و فیلترهای نوفه^۲ و هموارسازی^۳ از نوع Sharp روی آن اعمال شدند. برای تولید DSM از روش وزن دهی معکوس فاصله^۴ (IDW) استفاده شد (۱۵) (شکل ۳).

داده‌های پهپاد: پهپاد فانتوم ۴ پرو مجهز به یک دوربین ۲۰ مگاپیکسلی و سنجنده CMOS یک اینچی است. این دوربین دارای یک لنز غیر کروی با زوایه دید ۸۴ درجه با اندازه روزنه نسبی متغیر بین $f/2.8-f/11$ است. تصاویر در سه محدوده طیفی آبی، سبز و قرمز با تفکیک‌پذیری رادیومتریک ۸ بیت ثبت می‌شوند. در ۱۸ مهرماه ۱۳۹۸ منطقه مورد مطالعه با ۱۶ خط پرواز و همپوشانی طولی ۸۵٪ و عرضی ۷۰٪ در ارتفاع پرواز متوسط ۷۵ متر تصویربرداری شد. با توجه به شباهت ظاهری دو گونه مورد بررسی، تصویربرداری در مهرماه و زمانی که درختان بنه در منطقه سبز بودند و بادام خزان داشت انجام شد. تعداد ۶۴۹ تصویر بدون خطا با توان تفکیک‌پذیری مکانی

- 1- Ground control point, GCP
- 2- Noise
- 3- Smoothing
- 4- Inverse distance weighted, IDW

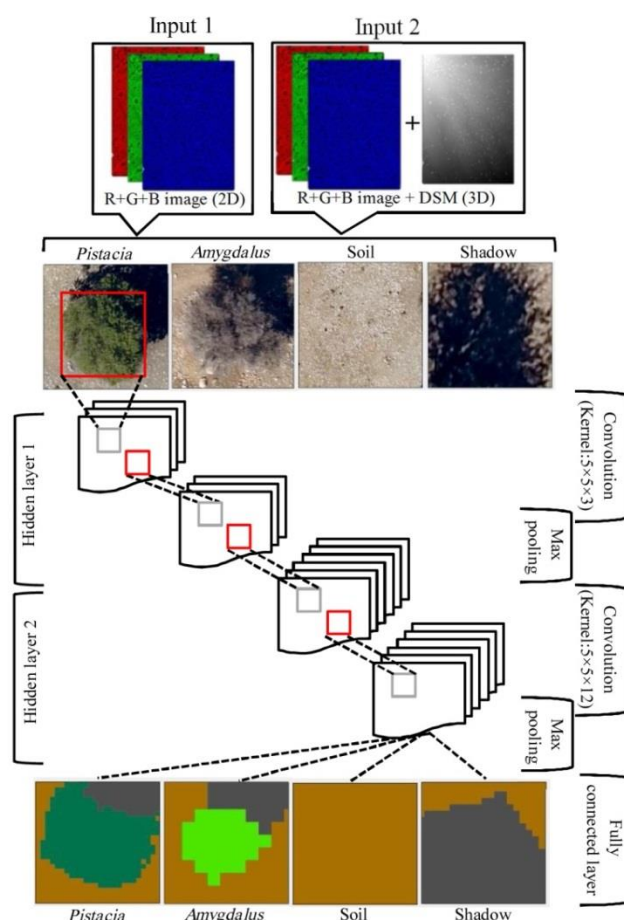


شکل ۳- مسیر پرواز پهپاد و مراکز تصاویر هوایی و ۱۲ نقطه کنترل زمینی (مثلث‌های قرمز) در منطقه مطالعاتی (الف)، ارتوفتو با تفکیک‌پذیری مکانی ۳/۵ سانتی‌متر (ب) و سایه روشن منطقه مورد مطالعه (ج).

Figure 3. The UAV flight line and centers of images and 12 ground control points (GCPs) (the red triangles) within the study area (a), the orthophoto with spatial resolution of 3.5 cm (b) and digital surface model (DSM) of the study area (c).

رنگی به‌تنهایی و یک‌بار با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و DSM) بود. داده‌های میدانی موقعیت مکانی درختان بینه و درختچه‌های بادام به‌صورت نقطه‌ای به‌عنوان نمونه‌های آموزشی روی ارتوفتو در دو طبقه بینه و بادام استفاده شدند. هم‌چنین با تفسیر بصری، تعداد ۱۶۰ نمونه برای طبقه خاک و ۱۷۰ نمونه برای طبقه سایه در نظر گرفته شد و همه نمونه‌های آموزشی برچسب خوردند.

شبکه عصبی پیچشی (CNN): الگوریتم CNN دارای سه مرحله اصلی است که شامل انتخاب نمونه‌های آموزشی مبتنی بر نمونه‌های تصادفی (پلیگون‌های با اندازه متغیر روی تاج ۱۰۰ درخت بینه و ۱۰۰ درختچه بادام داخل منطقه مطالعاتی و به همین تعداد در خارج از محدوده مورد بررسی انتخاب شد)، آموزش الگوریتم CNN و اعمال آن در شرایط کاملاً یکسان روی تمام تصویر (یک‌بار با استفاده از تصاویر



شکل ۴- ساختار و پارامترهای الگوریتم شبکه عصبی پیچشی (CNN) در مطالعه حاضر.

Figure 4. The structure and parameters of convolutional neural networks (CNN) used in the present study.

مختلف، اندازه بهینه کرنل 5×5 تعیین شد که روی تصاویر رنگی به صورت $5 \times 5 \times 3$ (سه لایه آبی، سبز و قرمز) و روی تلفیق تصاویر رنگی و DSM به صورت $5 \times 5 \times 4$ (چهار لایه آبی، سبز، قرمز و DSM) است. چنانچه در شکل ۴ نشان داده شد، ساختار الگوریتم CNN مورد استفاده دارای دو لایه پنهان است که هر کدام یک لایه پیچشی^۱ و یک لایه حداکثر تجمیع^۳ داشته و یک لایه اتصال نهایی بود. لایه تجمیع فیلتر با سایز 4×4 داشت که پیش از ورود لایه‌ها به مرحله تجمیع اشیاء شناسایی شده، از لایه خطی اصلاح شده (ReLU) عبور داده شدند که بعد از عبور از لایه

پارامترهای CNN شامل: اندازه لکه، تعداد لایه‌های پنهان، اندازه کرنل، نرخ آموزش و تعداد نقشه‌های ویژگی‌ها تعیین شدند (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹). با توجه به حداقل اندازه قطر تاج درختان بنه و درختچه‌های بادام در اندازه‌گیری‌های میدانی و همچنین تفکیک‌پذیری مکانی داده‌های پهپاد (۳/۵ سانتی‌متر)، سه اندازه لکه 16×16 ، 32×32 و 64×64 پیکسل انتخاب شدند. با توجه به مطالعات پیشین (۱۶، ۱۷) و پس از چندین تکرار، نرخ آموزش هم 0.0005 تعیین شده و تعداد نقشه‌های عارضه^۱ ۱۲ (سه لایه آبی، سبز و قرمز در چهار طبقه بنه، بادام، خاک و سایه) در نظر گرفته شد. بعد از بررسی حالت‌های

2- Convolution
3- Max pooling

1- Feature map

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{n} \quad (4)$$

در دو رابطه ۱ و ۲، TP گیاهانی که به درستی برچسب گونه مورد نظر گرفتند، TN گیاهانی که به درستی برچسب گونه مورد نظر را نگرفتند، FP گیاهانی که به نادرستی برچسب گونه مورد نظر را گرفتند، FN گیاهانی که به نادرستی برچسب گونه مورد نظر را نگرفتند و n تعداد کل گیاهان است. هرچه میزان انحراف از خط مبنا برای یک گونه خاص در منحنی ROC بیش تر باشد، صحت طبقه‌بندی گونه مذکور بیش تر است. از سطح زیر منحنی (AUC) برای مقایسه نتایج استفاده می‌شود. مقدار AUC معمولاً بین ۰/۵ (خط یک‌به‌یک نمودار یا خط مبنا) تا یک متغیر است و هر قدر که AUC یک گونه به یک نزدیک تر باشد، گونه مورد نظر با صحت بیش تری شناسایی شده است (۱۱، ۱۶، ۲۱).

نتایج

چهار طبقه درختچه بادام، درخت بنه، خاک و سایه برای طبقه‌بندی داده‌های پهپاد در نظر گرفته شد (جدول‌های ۱ و ۲). نتایج ارزیابی صحت شناسایی گونه روی تصاویر رنگی در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین مقدار OA و K به ترتیب ۹۳/۷ درصد و ۰/۹۱ به دست آمد. اگرچه مقایسه PA و UA مشخص نکرد کدام گونه با صحت بیش تری شناسایی شده است، سایر شاخص‌های ارزیابی صحت نشان داد که با استفاده از تصاویر رنگی به‌تنهایی، شناسایی درختچه‌های بادام از صحت بیش تری نسبت به درختان بنه برخوردار بوده است. به‌نحوی که حساسیت، صحت و AUC بیش تر در مورد درختچه‌های بادام مشاهده شد. علاوه بر OA و K، مقدار AUC دو طبقه خاک (۰/۹۶) و سایه (۰/۹۷) نشان داد این دو طبقه با صحت زیادی روی تصاویر رنگی طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۱).

تجمع، تعداد چهار نورون باقی‌مانده نشان‌دهنده طبقات مورد نظر است. تعداد تکرار ۱۰ و تعداد نمونه مورد استفاده در هر بار تکرار برای آموزش CNN ۱۲ نمونه بود. حدود ۷۰ درصد نمونه‌ها در هر طبقه برای آموزش و ۳۰ درصد برای ارزیابی نتایج استفاده شدند. لازم به ذکر است که الگوریتم CNN یک‌بار با ورودی تصویر دوبعدی (ارتوفتو) و یک‌بار هم با تصاویر سه‌بعدی (تلفیق ارتوفتو و DSM) آموزش داده شد تا مشخص شود افزودن DSM می‌تواند در بهبود تفکیک دو گونه مورد بررسی تأثیر داشته باشد.

صحت‌سنجی: به‌منظور ارزیابی صحت تفکیک چهار طبقه مورد نظر و هم‌چنین شناسایی گونه‌های بنه و بادام، از معیارهای صحت کلی^۱ (OA)، صحت تولیدکننده^۲ (PA)، صحت کاربر^۳ (UA) و ضریب کاپا (K) استفاده شد. روابط معیارهای ذکر شده در کنگالتون و گرین (۲۰۱۹) آمده است (۲۰). علاوه بر این‌ها، از منحنی مشخصه نسبی عملکرد^۴ (ROC) برای مقایسه نتایج شناسایی گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این معیار در یک فضای دوبعدی رسم شده که محور طولی آن «ویژگی^۵» (رابطه ۱) و محور عرضی آن «حساسیت^۶» (رابطه ۲) است. هم‌چنین با توجه به‌ضرورت آگاهی از دقت^۷ و صحت^۸ شناسایی هر گونه به‌طور جداگانه، از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شد.

$$1 - \text{Specificity} = 1 - \frac{TN}{TN+FP} \quad (1)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

- 1- Overall accuracy, OA
- 2- Producer's accuracy, PA
- 3- User's accuracy, UA
- 4- Receiver operating characteristic, ROC
- 5- Specificity
- 6- Sensitivity
- 7- Precision
- 8- Accuracy

جدول ۱- ارزیابی صحت نتایج شناسایی گونه روی تصاویر رنگی با استفاده از الگوریتم CNN.

Table 1. Accuracy assessment of species recognition on color (2D) images using CNN algorithm.

سایه Shadow	خاک Soil	درختان بنه Pistachio trees	درختچه‌های بادام Almond shrubs	شاخص‌ها Indices
99.4	100	83.0	85.0	صحت تولیدکننده (%) Producer's accuracy (PA) (%)
97.1	98.2	87.4	86.7	صحت کاربر (%) User's accuracy (UA) (%)
0.50	0.25	0.48	0.50	ویژگی-۱ 1-Specificity
0.99	1.00	0.83	0.85	حساسیت Sensitivity
0.97	0.98	0.86	0.85	دقت Precision
0.96	0.98	0.76	0.77	صحت Accuracy
0.97	0.96	0.80	0.82	سطح زیر منحنی Area under curve (AUC)

بیش‌تری در مقایسه با درختچه‌های بادام بوده است و حساسیت، صحت و AUC بیش‌تر در مورد درختان بنه مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد بهبود OA و K مربوط به شناسایی صحیح‌تر گونه‌ها بوده زیرا مقدار AUC دو طبقه خاک (۰/۹۴) و سایه (۰/۹۶) کم‌تر از طبقه‌بندی تصاویر رنگی به‌تنهایی است (جدول ۲).

مقدار OA و K در طبقه‌بندی تلفیق تصاویر رنگی و DSM به ترتیب ۹۵/۳ درصد و ۰/۹۴ به دست آمد که بیانگر بهبود تفکیک چهار طبقه موردنظر است (جدول ۲). در اینجا نیز مقایسه PA و UA مشخص نکرد کدام گونه با صحت بیش‌تری شناسایی شده است، هر چند سایر شاخص‌های ارزیابی صحت نشان داد با استفاده از تلفیق تصاویر رنگی و DSM، شناسایی درختان بنه با صحت

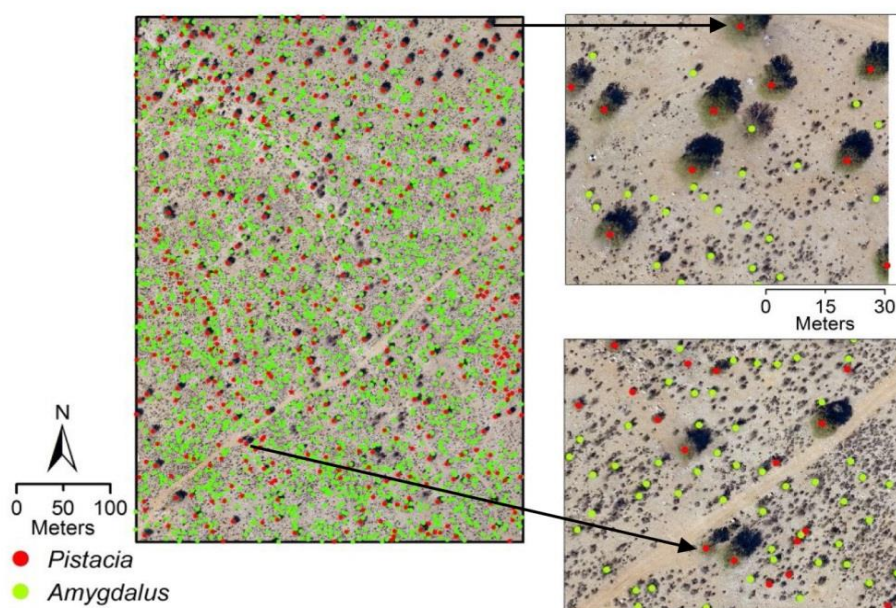
جدول ۲- ارزیابی صحت نتایج شناسایی گونه روی تلفیق تصاویر رنگی و DSM (سه بعدی) با استفاده از الگوریتم CNN.

Table 2. Accuracy assessment of species recognition on the combination of color (3D) images and DSM using CNN algorithm.

سایه Shadow	خاک Soil	درختان بنه Pistachio trees	درختچه‌های بادام Almond shrubs	شاخص‌ها Indices
98.8	100	93.0	84.0	صحت تولیدکننده (%) Producer's accuracy (PA) (%)
98.2	96.9	90.3	92.3	صحت کاربر (%) User's accuracy (UA) (%)
1.00	0.99	0.99	0.64	ویژگی-۱ 1-Specificity
1.00	1.00	1.00	0.99	حساسیت Sensitivity
0.98	0.97	0.90	0.92	دقت Precision
0.97	0.97	0.85	0.81	صحت Accuracy
0.96	0.94	0.85	0.83	سطح زیر منحنی Area under curve (AUC)

دو پنجره بزرگنمایی شده نیز بیانگر صحت نتایج است. با توجه به شاخص صحت در جدول ۲، ۸۱ درصد بادام‌ها و ۸۵ درصد بنه‌ها شناسایی شدند و به درستی برچسب خوردند.

همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، در منطقه مطالعاتی ۴۵۵ درخت بنه و ۱۹۵۱ درختچه بادام شناسایی شدند و نقشه پراکنش مکانی آن‌ها به صورت خودکار با بهره‌گیری از طبقه‌بندی تلفیق تصاویر رنگی و DSM به دست آمد. تفسیر بصری

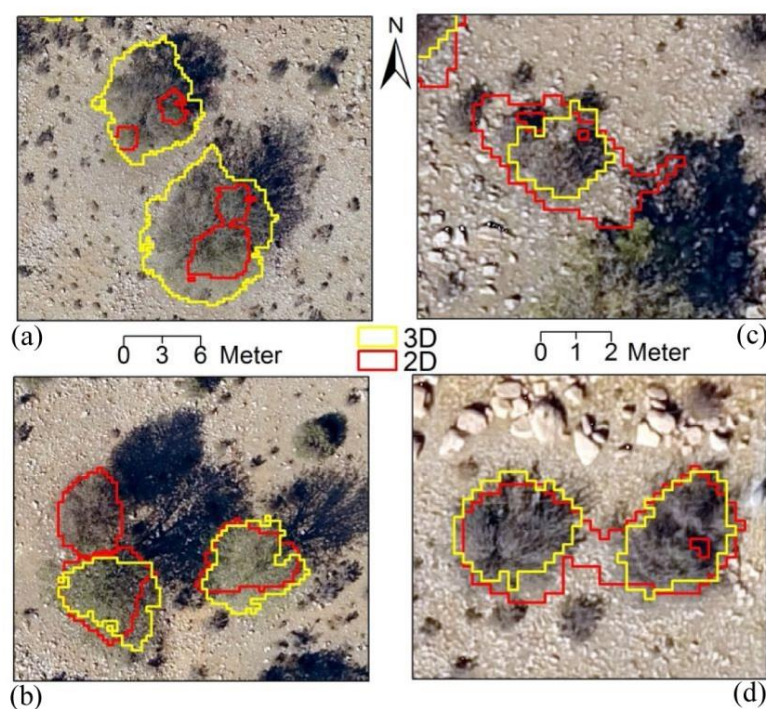


شکل ۵- نقشه نهایی پراکنش مکانی درختان بته و درختچه‌های بادام روی تصویر رنگی منطقه مطالعاتی. دو پنجره از نقشه نهایی برای تفسیر بصری بزرگ‌تر شده‌اند.

Figure 5. The final spatial distribution map of *Pistacia* trees and *Amygdalus* shrubs on the RGB image of the study area. Two windows were presented for visual interpretation.

یک درختچه بادام به‌اشتباه بته شناسایی شده است. روی تصاویر رنگی، بخش‌هایی از خاک و سایه به‌عنوان درختچه بادام طبقه‌بندی شد (شکل ۶(c)) و دو درختچه بادام، یک درختچه ثبت شد (شکل ۶(d)). درحالی‌که نتایج تفسیر بصری نشان داد که شناسایی محدوده تاج و هم‌چنین گونه روی ترکیب DSM با تصاویر رنگی در همان نقاط به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود داشته است.

اگرچه باید بیان نمود نتایج بسیار به هم نزدیک هستند و با توجه به شاخص‌های مورد استفاده، مقدار تأثیر تلفیق تصاویر رنگی و DSM چندان مشخص نشد. در شکل ۶ نتایج طبقه‌بندی تاج گیاهان مورد مطالعه و شناسایی گونه آن‌ها در چهار پنجره که در فرایند آموزش و آزمون الگوریتم استفاده نشده بود، ارائه شد. چنان‌چه ملاحظه می‌شود تشخیص مرز تاج بته در شکل ۶(a) روی تصاویر رنگی اصلاً مناسب نبود. حتی در شکل ۶(b) در سمت چپ تصویر رنگی



شکل ۶- تفسیر بصری نتایج شناسایی گونه‌ها روی تصاویر رنگی (2D) و تلفیق تصاویر رنگی و DSM (3D) پهپاد در منطقه مطالعاتی که روی تصویر رنگی نشان داده شده‌اند. (a) و (b) درختان بنبه و (c) و (d) درختچه‌های بادام هستند.

Figure 6. Visual interpretation of species recognition on the RGB images (2D) and combination of RGB images and DSM (3D) shown on the RGB images. (a) and (b) are *Pistacia* trees and (c) and (d) are *Amygdalus* shrubs.

اگرچه در پژوهش‌های پیشین، شناسایی گونه روی تصاویر رنگی پهپاد با موفقیت همراه بوده است (۱، ۵، ۶، ۸، ۲۳، ۲۴، ۲۵) ولی بهبود صحت این شناسایی گونه همواره مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. به‌عنوان مثال، پوراحمد و همکاران (۲۰۱۸) گونه‌های درختی بخشی از جنگل‌های هیرکانی را با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا روی تصاویر رنگی پهپاد با صحت کلی ۸۷ درصد شناسایی کردند (۲۳). در مطالعه‌ای دیگر که مشابه مطالعه حاضر در بخشی از جنگل‌های زاگرس انجام شد، برازمند و همکاران (۲۰۱۹) دو گونه بلوط ایرانی و بلندمازو را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی روی تصاویر رنگی پهپاد با صحت بین ۸۳/۴ تا ۸۷/۴ درصد شناسایی کردند (۲۴). میرکی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گونه‌های درختی

بحث و نتیجه‌گیری

تهیه و پایش نقشه پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی از اهمیت زیادی در بوم‌شناسی پوشش گیاهی دارد (۲۲). علاوه بر اهمیت بوم‌شناختی جنگل‌های بنبه-بادام، گیاهان در این جنگل‌ها با فاصله از هم مستقر شده‌اند و این موضوع شناسایی دقیق شکل تاج گیاهان را به دلیل تفاوت شرایط نوری تاج و پس‌زمینه را با مشکل مواجه می‌کند (۳، ۸)؛ بنابراین این فرضیه به وجود آمد که تلفیق تصاویر رنگی پهپاد با DSM، صحت و دقت شناسایی ویژگی‌های تاج گیاهان و در نتیجه گونه آن‌ها را در چنین شرایطی بهبود می‌بخشد. این جنگل‌ها دارای دو گونه غالب بنبه با فرم رویشی درختی و بادام با فرم رویشی درختچه‌ای هستند. بدین ترتیب هدف فرعی مطالعه حاضر در این جنگل‌ها قابل‌دستیابی بود.

بخشی از جنگل‌های هیرکانی را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین روی تصاویر رنگی پهپاد با صحت کلی ۸۷ درصد تشخیص دادند (۲۵). تفاوت در نوع گونه و هم‌چنین الگوریتم طبقه‌بندی می‌تواند از جمله دلایل تفاوت در نتایج مطالعات مذکور و این پژوهش باشد. در راستای نتایج پژوهش اخیر در جنگل‌های زاگرس (۲۴)، در مطالعه حاضر نیز درختان بنه با صحت بیشتری نسبت به درختچه‌های بادام شناسایی شدند؛ بنابراین این فرضیه به وجود می‌آید که شناسایی درختان با صحت بیشتری نسبت به درختچه‌ها روی تصاویر پهپاد امکان‌پذیر است، هر چند تأیید این فرضیه نیاز به ارزیابی بیشتر دارد. هم‌چنین یکی از محدودیت‌های این رویکرد ناتوانی در شناسایی گونه‌هایی است که در زیراشکوب قرار دارند و از این رو، در جنگل‌ها و درختزارهای تنک از کارایی بیشتری برخوردارند.

کاتنبورن و همکاران (۲۰۲۰) برای شناسایی دو گونه درخت کاج رادیاتا (*Pinus radiata*) و درختچه اولکس فرنگی (*Ulex europaeus*) از تصاویر رنگی VHRS پهپاد با تفکیک‌پذیری مکانی ۳ سانتی‌متر استفاده کردند که دارای RMSE بین ۴ تا ۱۰ درصد بود. به‌طورکلی، نتایج مطالعه مذکور قابلیت تصاویر رنگی پهپاد را در شناسایی دو گونه درختی و درختچه‌ای مورد بررسی تأیید نمود که با نتایج مطالعه حاضر شباهت دارد. علاوه بر این، نتایج مطالعه ایگلی و هوپکه (۲۰۲۰) در مورد شناسایی چهار گونه بلوط، راش، نوئل و لاریکس روی تصاویر رنگی VHRS پهپاد نشان داد شباهت ظاهری درختان روی تصاویر رنگی باعث بروز خطا در شناسایی گونه‌ها می‌شود به‌نحوی که متوسط صحت نتایج ۸۰ درصد بود. مطالعه حاضر روی بنه و بادام نیز در راستای مطالعات پیشین روی سایر گونه‌ها (۱، ۶) نشان داد شباهت ظاهری بنه و بادام باعث بروز خطا در شناسایی گونه روی

تصاویر رنگی پهپاد شد (مانند خطا در شناسایی بادام به‌عنوان بنه روی تصاویر رنگی، شکل (b) ۶). اگرچه در مطالعه حاضر باهدف به حداقل رساندن اثر خطای مذکور، تصویربرداری در مهرماه و زمانی که درختان بنه در منطقه سبز بودند و بادام مراحل اولیه خزان را داشت انجام شد؛ بنابراین مطالعه حاضر نیز در راستای دو پژوهش اشاره‌شده (۱، ۶) بر تأثیر منفی شباهت ظاهری گیاهان در محدوده طیفی مرئی بر صحت شناسایی گونه تأکید دارد. نتایج پژوهش‌های پیشین و مطالعه حاضر نشان داد برای کاهش اثر خطای مذکور علاوه بر اطلاعات طیفی محدوده مرئی ثبت‌شده در هر پیکسل در تصاویر رنگی پهپاد، سایر اطلاعات مانند ساختار مکانی تاج نیز مورد استفاده قرار گیرند.

مطالعات پیشین (۱، ۵) کارایی الگوریتم CNN در شناسایی گونه روی تصاویر رنگی پهپاد را تأیید کردند. که دستاوردهای پژوهش حاضر نیز در این راستا بود. لازم به ذکر است که مطالعات مذکور روی تصاویر رنگی انجام شده و تفاوت پژوهش حاضر با آن‌ها در تلفیق تصاویر رنگی و DSM در شناسایی گونه بود. بزرگ‌ترین مزیت CNN نسبت به الگوریتم‌های پرکاربرد یادگیری ماشین (مانند SVM و جنگل تصادفی) در شناسایی گونه روی داده‌های سنجنش‌ازدور این است که می‌توان با ورود DSM و تصاویر رنگی به الگوریتم CNN، علاوه بر اطلاعات طیفی از ساختار مکانی شاخ و برگ گیاهان در شناسایی گونه آن‌ها بهره برد.

در راستای نتایج مطالعه حاضر مبنی بر تأیید کارایی تلفیق تصاویر رنگی و DSM در شناسایی گونه، اونیشی و همکاران (۲۰۲۲) نیز اقدام به شناسایی ۵۶ گونه سوزنی و پهن‌برگ در جنگل‌های معتدله ژاپن روی تلفیق تصاویر رنگی و DSM پهپاد با الگوریتم CNN کردند که شناسایی گونه‌ها با کاپای بیش از ۰/۷۰ انجام شد که از کاپای به‌دست‌آمده در

چندانی با هم ندارند، تأثیری نداشته است. به نظر می‌رسد ضرورتی برای افزودن DSM به داده‌های ورودی به الگوریتم CNN در شناسایی دو طبقه مذکور در منطقه مطالعاتی وجود نداشت. این نتایج در راستای دستاوردهای النجار و همکاران (۲۰۱۹) بود زیرا آن‌ها نیز نشان دادند تلفیق DSM و تصاویر رنگی VHSR بر شناسایی خاک و سایه تأثیر چندانی نداشت درحالی‌که منجر به بهبود شناسایی پوشش گیاهی متراکم شد.

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد تلفیق تصاویر رنگی VHSR و DSM به‌پدای باعث بهبود شناسایی دو گونه درختی بنه (افزایش ۹ درصد صحت) و درختچه‌ای بادام (افزایش ۴ درصد صحت) می‌شود. اگرچه برای تأیید نهایی دستاوردهای این پژوهش، ضروری است که این موضوع در شناسایی سایر گونه‌ها (مانند جنس بلوط) در سایر رویشگاه‌ها با ساختارهای متفاوت در آینده مورد ارزیابی قرار گیرد. هم‌چنین نتایج نشان داد شناسایی درختان بنه از صحت بیشتری در مقایسه با درختچه‌های بادام بوده است که دلایل دستیابی به چنین نتایجی می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

مطالعه حاضر کم‌تر بود. یانگ و همکاران (۲۰۲۲) اشاره کردند که با افزایش تنوع گونه‌ها کارایی CNN در شناسایی گونه روی تصاویر هوایی کاهش می‌یابد که این موضوع، صحت کم‌تر نتایج اونیشی و همکاران (۲۰۲۲) در مقایسه با مطالعه حاضر را توجیه می‌نماید. در مطالعه دیگر، النجار و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند ادغام تصاویر رنگی و DSM موجب افزایش ۱/۲ درصدی صحت تهیه نقشه کاربری اراضی در مقایسه با کاربرد تصاویر رنگی به‌تنهایی شد. هرچند هدف مطالعه مذکور و پژوهش حاضر متفاوت است ولی می‌توان نتیجه گرفت به‌طورکلی، تلفیق تصاویر رنگی و DSM به‌پدای می‌تواند به بهبود صحت طبقه‌بندی داده‌ها در تهیه نقشه کاربری اراضی و شناسایی گونه‌ها کمک نماید.

لازم به ذکر است شناسایی دو طبقه خاک و سایه هم روی تصاویر رنگی و هم روی تلفیق داده‌ها با صحت تقریباً مشابه انجام شد. این دستاورد ممکن است به این دلیل باشد که تلفیق تصاویر رنگی و DSM منجر به در نظر گرفتن ساختار سه‌بعدی گیاهان در شناسایی گونه آن‌ها شده و این موضوع در شناسایی خاک و سایه که از نظر ارتفاعی تفاوت

منابع

- Egli, S., and Höpke, M. 2020. CNN-based tree species classification using high resolution RGB image data from automated UAV observations. *Remote Sensing*. 12: 3892. 1-17.
- Guo, X., Liu, Q., Sharma, R.P., Chen, Q., Ye, Q., Tang, S., and Fu, L. 2021. Tree recognition on the plantation using UAV images with ultrahigh spatial resolution in a complex environment. *Remote Sensing*. 13: 4122. 1-23.
- Yang, K., Zhang, H., Wang, F., and Lai, R. 2022. Extraction of broad-leaved tree crown based on UAV visible images and OBIA-RF model: A case study for Chinese olive trees. *Remote Sensing*. 14: 2469. 1-23.
- Marzloff, I., Kirchoff, M., Stephan, R., Seeger, M., Ait Hssaine, A., and Ries, J.B. 2022. Monitoring dryland trees with remote sensing. Part A: Beyond CORONA-Historical HEXAGON satellite imagery as a new data source for mapping open-canopy woodlands on the tree level. *Frontiers in Environmental Sciences*. 10: 896702. 1-21.
- Onishi, M., and Ise, T. 2021. Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific Reports*. 11: 903. 1-15.

6. Onishi, M., Watanabe, S., Nakashima, T., and Ise, T. 2022. Practicality and robustness of tree species identification using UAV RGB image and deep learning in temperate forest in Japan. *Remote Sensing*. 14: 1710. 1-22.
7. Erfanifard, Y., Kraszewski, B., and Stereńczak, K. 2021. Integration of remote sensing in spatial ecology: assessing the interspecific interactions of two plant species in a semi-arid woodland using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetric data. *Oecologia*. 196: 115-130.
8. Kattenborn, T., Eichel, J., Wisser, S., Burrows, L., Fassnacht, F.E., and Schmidlein, S. 2020. Convolutional neural networks accurately predict cover fractions of plant species and communities in Unmanned Aerial Vehicle imagery. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 6: 472-486.
9. Kattenborn, T., Eichel, J., and Fassnacht, F.E. 2019. Convolutional neural networks enable efficient, accurate and fine-grained segmentation of plant species and communities from high-resolution UAV imagery. *Scientific Reports*. 9: 17656. 1-9.
10. Gonroudobou, O.B.H., Silvestre, L.H., Diez, Y., Nguyen, H.T., and Caceres, M.L.L. 2022. Treetop detection in mountainous forests using UAV terrain awareness function. *Computation*. 10: 90. 1-14.
11. Al-Najjar, H., Kalantar, B., Pradhan, B., Saeidi, V., Halin, A., Ueda, N., and Mansor, S. 2019. Land cover classification from fused DSM and UAV images using Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing*. 11: 1461. 1-18.
12. Wu, S., Deng, L., Guo, L., and Wu, Y. 2022. Wheat leaf area index prediction using data fusion based on high-resolution unmanned aerial vehicle imagery. *Plant Methods*. 18: 68. 1-16.
13. Garzon-Lopez, C.X., and Lasso, E. 2020. Species classification in a tropical alpine ecosystem using UAV-borne RGB and hyperspectral imagery. *Drones*. 4: 69. 1-18.
14. Yang, M., Mou, Y., Liu, S., Meng, Y., Liu, Z., Li, P., Xiang, W., Zhou, X., and Peng, C. 2022. Detecting and mapping tree crowns based on convolutional neural network and Google Earth images. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 108: 102764. 1-10.
15. Liu, Y., Zheng, X., Ai, G., Zhang, Y., and Zuo, Y. 2018. Generating a high-precision true digital orthophoto map based on UAV images. *ISPRS International J. of Geo-Information*. 7: 333. 1-15.
16. Aeberli, A., Johansen, K., Robson, A., Lamb, D.W., and Phinn, S. 2021. Detection of banana plants using multi-temporal multispectral UAV imagery. *Remote Sensing*. 13: 2123. 1-24.
17. Hendria, W.F., Phan, Q.T., Adzaka, F., and Jeong, C. 2022. Combining transformer and CNN for object detection in UAV imagery. *ICT Express*. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2021.12.006>.
18. Li, W., Fu, H., Yu, L., and Cracknell, A. 2017. Deep learning based oil palm tree detection and counting for high-resolution remote sensing Images. *Remote Sensing*. 9: 22. 1-13.
19. Osco, L., Junior, J., Ramos, A., Jorge, L., Fatholahi, S., Silva, J., Matsubara, E., Pistori, H., Gonçalves, W., and Li, J. 2021. A review on deep learning in UAV remote sensing. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 102: 102456. 1-38.
20. Congalton, R., and Green, K. 2019. *Assessing the accuracy of remotely sensed data (3rd Ed)*. CRC Press. USA. 348p.
21. Erfanifard, Y. 2014. Application of ROC curve to assess pixel-based classification methods on UltraCam-D aerial imagery to discriminate tree crowns in pure stands of Brant's oak in Zagros forests. *Iranian J. Forest and Poplar Research*. 22: 4. 649-663. (In Persian)
22. Wiegand, T., and Moloney, K.A. 2014. *Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology*. CRC Press. England. 510p.

23. Pourahmad, M., Oladi, J., and Fallah, A. 2018. Detection of tree species in mixed broad-leaved stands of Caspian forests using UAV images (Case study: Darabkola Forest). *Ecology of Iranian Forest*. 6: 11. 61-75. (In Persian)
24. Barazmand, S., Soosani, J., Naghavi, H., and Sadeghian, S. 2019. Discriminating between Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) and gall oak (*Q. infectoria* Oliv.) species using the UAV images. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 27: 3. 245-257. (In Persian)
25. Miraki, M., Sohrabi, H., Fatehi, P., and Kneubuehler, M. 2020. Comparison of machine learning algorithms for broad leaf species classification using UAV-RGB images. *J. of Geomatics Science and Technology*. 10: 2. 1-10. (In Persian)

