

برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus* spp.) روی ابر نقاط تصاویر پهپاد

سید یوسف عرفانی فرد^{۱*} و بارتومی کرافسکی^۲

*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیک: erfani@ut.ac.ir

۲- استادیار، گروه ژئوماتیک، مؤسسه تحقیقات جنگل، ورشو، لهستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۳

چکیده

برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان روی تصاویر پهپاد، یکی از چالش‌های اخیر در سنجش‌ازدور است، بنابراین پژوهش پیش‌رو با هدف معرفی روشی برای برآورد مساحت تاج، ارتفاع و نوع گونه در یک توده آمیخته بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus* spp.) روی ابر نقاط تصاویر پهپاد انجام شد. در یک محدوده ۶۴ هکتاری از جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس، ۱۰۰ درخت بنه و ۱۰۰ درختچه بادام به‌طور تصادفی انتخاب و ابر نقاط آن‌ها از تصاویر پهپاد با تراکم ۵۰ نقطه در متر مربع تهیه شد. مساحت تاج ($R^2=0/91$, $PRMSE=4/7$) و ارتفاع بنه ($R^2=0/83$, $PRMSE=3/2$) و مساحت تاج ($R^2=0/89$, $PRMSE=22/1$) و ارتفاع بادام ($R^2=0/47$, $PRMSE=21/5$) از روی ابر نقاط برآورد شدند. همچنین، نوع گونه با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و ۳۷ مشخصه کمی از ابر نقاط، مدل ارتفاعی تاج و ارتوفتو پیش‌بینی شد. صحت و ضریب کاپا در تعیین نوع گونه به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۸ محاسبه شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که ابر نقاط تصاویر هوایی پهپاد، کارایی مناسبی در برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی بنه و بادام در منطقه مورد مطالعه داشتند، اگرچه دقت و صحت قابل‌قبولی در برآورد ارتفاع بادام به‌دست نیامد.

واژه‌های کلیدی: ساختار حرکت‌مبنا، ضریب جینی، مدل ارتفاعی تاج، مدل رقومی سطح.

مقدمه

جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک که بخش عمده‌ای از پوشش گیاهی ایران را شامل می‌شوند، نقش بسیار مهمی در حفظ منابع آب‌و خاک کشور و نیز در زندگی انسان‌های ساکن این مناطق ایفا می‌کنند (Sagheb Talebi et al., 2014). بدیهی است که تداوم کارکردهای بوم‌شناختی و اقتصادی- اجتماعی این جنگل‌ها به بقای پوشش گیاهی آن‌ها بستگی دارد. باتوجه‌به اینکه پوشش گیاهی به‌طور پیوسته در مقیاس‌های زمانی و مکانی در حال تغییر است، آگاهی از این تغییرات به‌منظور حفظ و تضمین کارکردهای

آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک در سطح وسیعی گسترده شده‌اند. به‌طوری‌که در برخی موارد، دسترسی به آن‌ها بسیار دشوار است، بنابراین استفاده از علم سنجش‌ازدور برای اندازه‌گیری و پایش آن‌ها به‌سرعت توسعه یافته است. در این راستا، پژوهش‌های ارزشمندی با هدف کسب اطلاعات درمورد ویژگی‌های کمی و کیفی پوشش گیاهی و پایش تغییرات این جنگل‌ها در ناحیه رویشی زاگرس و ایرانی- تورانی با استفاده از اطلاعات دوبعدی طیفی در سنجش‌ازدور انجام شده‌اند (Lohrabi et al., 2018; Saed Mocheshei et al., 2019;)

زیادی نشده است. برخی پژوهشگران (Zahawi et al., 2015) گزارش کردند که ابر نقاط تصاویر پهپاد برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان کوچک درختچه‌ای در برخی بوم‌سازگان‌های جنگلی مناسب نیستند، بنابراین ارزیابی کارایی ابر نقاط در تصاویر پهپاد برای برآورد ارتفاع و مساحت تاج به‌عنوان دو ویژگی مهم در برآورد غیرتخریبی زی‌توده پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (Zahawi et al., 2015) و نیز بررسی فرم‌های رویشی متفاوت (مانند درخت و درختچه) ضروری به‌نظر می‌رسد.

باتوجه به پیشینه پژوهش در داخل و خارج از کشور، در کمتر پژوهشی به استفاده مستقیم از ابر نقاط برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی درختان پرداخته شده است. در پژوهش‌های انجام‌شده (Chenari et al., 2017; Giannetti et al., 2018; Barazmand et al., 2019) ابتدا از CHM تهیه‌شده از ابر نقاط برای برآورد ویژگی‌هایی مانند ارتفاع و مساحت تاج درختان استفاده شد. پژوهش پیش‌رو به دنبال بررسی این موضوع است که برآورد دو ویژگی ارتفاع و مساحت تاج به‌شکل مستقیم روی ابر نقاط، چه اختلافی با مقدار واقعی آن‌ها دارد؟ همچنین، موضوع تشخیص گونه، یکی از چالش‌های مهم در سنجش‌ازدور است و پژوهش‌های زیادی بر این موضوع تمرکز داشته‌اند. در جنگل‌های زاگرس نیز برای شناسایی دو گونه بلوط با استفاده از تصاویر رنگی پهپاد، پژوهشی انجام شده است (Barazmand et al., 2019). پژوهش پیش‌رو در ادامه پژوهش‌های پیشین به دنبال شناسایی گونه با کاربرد داده‌های پهپاد است. با این تفاوت که امکان شناسایی بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) و بادام (*Amygdalus spp.*) با استفاده از اندازه‌گیری‌های کمی به‌طور مستقیم روی ابر نقاط ارزیابی می‌شود. پژوهش پیش‌رو بر مبنای این فرضیه انجام شد که امکان برآورد ویژگی‌های کمی گیاهان به‌طور مستقیم روی ابر نقاط تصاویر پهپاد در بخشی از جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. همچنین، امکان شناسایی نوع گونه (ویژگی کیفی) با استفاده از این داده‌ها، فرضیه دوم این پژوهش است، بنابراین برآورد مساحت تاج و ارتفاع بنه و

(Naseri et al., 2020). علاوه بر این اطلاعات، استفاده از داده‌های سه‌بعدی در سنجش‌ازدور نیز می‌تواند در برآورد برخی ویژگی‌های کمی پوشش گیاهی (مانند ارتفاع و زی‌توده روزمینی) کارایی داشته باشد. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که داده‌های لیزر اسکن هوایی سه‌بعدی، قابلیت برآورد ویژگی‌هایی مانند ارتفاع و مساحت تاج درختان در جنگل‌های مترکم (Lu et al., 2018; Giannetti et al., 2020) مانند جنگل‌های هیرکانی (Khorrami et al., 2014; Seyed Mousavi et al., 2017) را دارند.

ابر نقاط به‌دست‌آمده از داده‌های سنجش‌ازدور هوایی فعال (مانند لیدار) می‌تواند در تهیه مدل ارتفاعی تاج (Crown height model, CHM) و برآورد ویژگی‌های پوشش گیاهی در جنگل‌های مترکم استفاده شود (Seyed Mousavi et al., 2017; Erfanfard et al., 2018; Zhang et al., 2020)، اما کارایی این داده‌ها در بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی تک‌درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمتر ارزیابی شده است. علت آن می‌تواند هزینه زیاد تجهیزات مدرنی باشد که برای تهیه داده‌های سنجش‌ازدور هوایی فعال استفاده می‌شوند (Browning et al., 2015)، بنابراین ضروری است که راهکاری ارائه شود تا امکان استفاده از قابلیت‌های ابر نقاط در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک نیز فراهم شود.

در پژوهش Anderson و Gaston (۲۰۱۳) بر این موضوع تأکید شد که کاربرد هواپیماهای بدون سرنشین یا پهپادها (پرنده هدایت‌پذیر از دور، Unmanned aerial vehicles) در پژوهش‌های بوم‌شناختی می‌توانند تحول ایجاد کنند. از پهپاد در بررسی جنگل‌های زاگرس نیز استفاده شده است که بر مبنای تصاویر رنگی یا مدل رقومی سطح (DSM) بودند (Chenari et al., 2017; Barazmand et al., 2019). از سوی دیگر، کاربرد ابر نقاط تهیه‌شده از پهپادها در برآورد‌های کمی از پوشش گیاهی روبه‌توسعه است (Mohan et al., 2017; Kargar & Sohrabi, 2019; Li et al., 2020; Kattenborn et al., 2019). با این وجود، از ابر نقاط پهپاد در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده

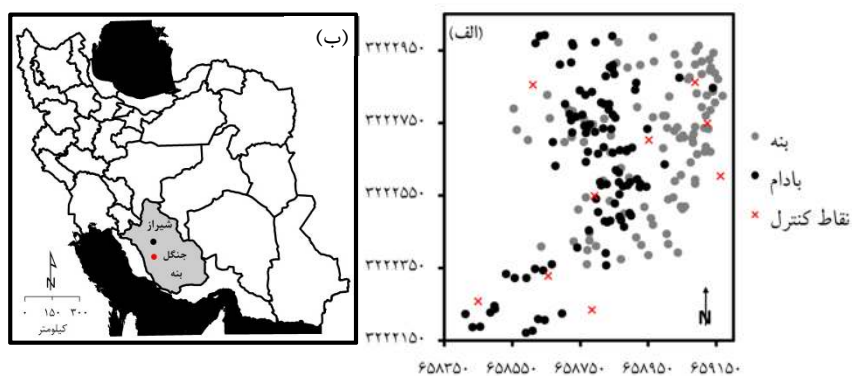
(شکل ۱-ب). منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی 29° تا $29^{\circ} 15'$ شمالی و طول جغرافیایی $52^{\circ} 30'$ تا 40° 52° شرقی با ارتفاع متوسط ۱۹۲۰ متر از سطح دریا قرار داشت. این منطقه، تقریباً مسطح و شیب متوسط آن، شش درصد بود. در بخشی از این جنگل تحقیقاتی به مساحت ۶۴ هکتار، ۱۰۰ درخت بنه با قطر برابر سینه بیشتر از $7/5$ سانتی‌متر و ۱۰۰ درختچه بادام به‌طور تصادفی انتخاب شدند (شکل ۱-الف). همه نمونه‌های تصادفی دارای ارتفاع بیش از دو متر بودند و علت انتخاب پایه‌های با این حداقل ارتفاع، اطمینان از استقرار کامل هر دو گونه در این ارتفاع و به‌دست آوردن شکل واقعی خود بود (Mozaffarian, 2010; Owji & Hamzepour, 2012). موقعیت مکانی درختان انتخاب‌شده با استفاده از موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی Leica مدل GS15 با دقت یک سانتی‌متر ثبت شد. همچنین، ارتفاع گیاهان با شیب‌سنج سونتو و دو قطر عمودبرهم تاج با متر نواری اندازه‌گیری شدند.

بادام به‌عنوان دو گونه غالب در بخشی از جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس با استفاده از ابر نقاط تصاویر پهپاد، هدف اصلی این پژوهش است. همچنین، ارائه یک روش جدید مبتنی بر ویژگی‌های کمی و الگوریتم جنگل تصادفی در ابر نقاط برای تعیین نوع گونه، هدف دیگر پژوهش پیش‌رو است. نتایج این پژوهش در ادامه مسیر پژوهش‌های پیشین، گامی در برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک با استفاده از ابر نقاط تصاویر پهپاد است. این یافته‌ها را می‌توان در مدیریت و پایش تغییرات جنگل‌ها و نیز کاهش بازدیدهای میدانی به‌کار برد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در توده‌های بنه-بادام جنگل تحقیقاتی بنه در نزدیکی شهرستان فیروزآباد در جنوب‌غربی استان فارس و در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز انجام شد



شکل ۱- پراکنش مکانی ۱۰۰ درخت بنه (دایره‌های خاکستری)، ۱۰۰ درختچه بادام (دایره‌های سیاه) و نه نقطه کنترل زمینی (ضربدرهای قرمز) در منطقه مورد مطالعه (الف) واقع در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس (ب)

است و با داشتن سنجنده CMOS یک اینچی انتظار می‌رود که بتواند تصاویری با جزئیات بیشتر و نوفه (Noise) کمتر در مقایسه با فانتوم ۴ تهیه کند. یک لنز غیرکروی با زاویه دید ۸۴ درجه و اندازه روزنه نسبی $f/2.8-f/11$ در دوربین

روش پژوهش

تصویربرداری

باتوجه به اهداف این پژوهش، از پهپاد فانتوم ۴ پرو استفاده شد. این پهپاد به یک دوربین ۲۰ مگاپیکسلی مجهز

آمد. پس از ماسک کردن پیکسل‌های با ارتفاع کمتر از دو متر، از الگوریتم حوزه آبخیز برای تفکیک تاج گیاهان به صورت قطعه‌بندی استفاده شد. با توجه به فاصله گیاهان، الگوریتم حوزه آبخیز، روش قابل اطمینانی برای تفکیک تاج گیاهان خواهد بود (Wan Mohd Jaafar et al., 2018). در نهایت، قطعه‌های روی مدل رقومی ارتفاعی تاج مربوط به تاج هر پایه بنه و بادام شناسایی شد. در این پژوهش از CHM فقط برای شناسایی مکان گیاهان استفاده شد. پس از شناسایی آن‌ها، مرکز سلول CHM به عنوان موقعیت مکانی هر پایه در نظر گرفته شد. این لایه نقطه‌ای به ابر نقاط منتقل شد و با توجه به نتایج قطعه‌بندی، ابر نقاط هر پایه استخراج شد. مرکز ابر نقاط هر پایه به عنوان تاج در نظر گرفته شد و مساحت آن به عنوان مساحت تاج آن پایه محاسبه شد. علاوه بر این، از ابر نقاط تاج برای شناسایی گونه و اندازه‌گیری‌های دیگر (ارتفاع گیاه، محیط تاج، قطر تاج در چهار جهت شمالی- جنوبی، شرقی- غربی، شمال غربی- جنوب شرقی، شمال شرقی- جنوب غربی، میانگین قطر تاج، ارتفاع گیاه در دهک‌های مختلف ارتفاعی ابر نقاط، میانگین، میانه، انحراف معیار و واریانس ارتفاع ابر نقاط داخل گیاه و تعداد نقاط داخل تاج) استفاده شد. همچنین، ارتفاع بالاترین نقطه در ابر نقاط تاج به عنوان ارتفاع پایه مورد نظر در نظر گرفته شد. مزیت این روش نسبت به اندازه‌گیری ارتفاع روی CHM این است که در آن روش، بیشترین ارتفاع یک سلول به عنوان ارتفاع درخت در نظر گرفته می‌شود، اما در ابر نقاط، یک نقطه به عنوان مبنای برآورد ارتفاع قرار می‌گیرد (فرضیه اول پژوهش).

شناسایی گونه با الگوریتم جنگل تصادفی

با توجه به فرضیه دوم پژوهش، برای شناسایی گونه از ۳۷ مشخصه هر گیاه در ابر نقاط، CHM و ارتوفتو استفاده شد. این مشخصه‌ها شامل ارتفاع و واریانس آن روی CHM، مساحت و محیط تاج، قطر تاج در چهار جهت شمالی- جنوبی، شرقی- غربی، شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی، میانگین قطر تاج، ارتفاع گیاه در

فانتوم ۴ پرو وجود دارد. تصاویر تهیه‌شده از این دوربین با فرمت JPEG قابل ذخیره است. در شهریورماه ۱۳۹۷، منطقه مورد مطالعه در ۱۲ خط پرواز و هم‌پوشانی طولی ۷۵ درصد و عرضی ۶۵ درصد در ارتفاع ۷۰ متر بالاتر از ارتفاع متوسط زمین تصویربرداری شد. ۲۷۴ تصویر با توان تفکیک مکانی سه سانتی‌متر تهیه شد تا کل محدوده مورد بررسی (۶۴ هکتار) را پوشش دهد.

تهیه ابر نقاط

برای تهیه ابر نقاط از تصاویر پهپاد در این پژوهش از الگوریتم ساختار حرکت مبنا (Structure-from-Motion, SfM) استفاده شد. از آنجایی که هر پیکسل در منطقه مورد مطالعه در حداقل چهار تصویر قابل مشاهده بود، استفاده از این الگوریتم ممکن شد. الگوریتم مذکور از اصول برجسته‌بینی در فتوگرامتری استفاده می‌کند، به طوری که پوشش مشترک بین تصاویر، امکان دید سه‌بعدی پدیده‌ها را فراهم می‌کند. عملکرد الگوریتم به این شکل است که ابتدا نقاط مشترک را روی تصاویر پیدا می‌کند. سپس، با استفاده از برقراری ارتباط بین نقاط، موقعیت مکانی هر تصویر را با توجه به نقاط کنترل تعیین می‌کند و تصاویر را در فضای سه‌بعدی کنار هم قرار می‌دهد (Nyimbili et al., 2016; Schönberger & Frahm, 2016). این فرایند در نهایت به ساخت ابر نقاط منتج می‌شود. ابر نقاط در نرم‌افزار OpenDroneMap تهیه شد. برای تصحیح هندسی نیز از نه نقطه کنترل استفاده شد که در شکل ۱- الف نشان داده شده‌اند.

مدل ارتفاعی تاج (CHM)

ابر نقاط تهیه‌شده از تصاویر پهپاد با استفاده از فیلتر مورفولوژیک پیش‌رونده به دو طبقه نقاط زمینی و نقاط غیرزمینی طبقه‌بندی شدند. سپس، با کاربرد روش مثلث‌بندی دیلانی (Delaunay triangulation)، از نقاط زمینی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و از نقاط غیرزمینی، DSM تهیه شد. از تفاضل این دو مدل، مدل رقومی ارتفاعی تاج به دست

$$BS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن‌ها: y_i ویژگی کمی واقعی، \hat{y}_i ویژگی کمی برآوردی، n تعداد نمونه و \bar{y} میانگین ویژگی کمی واقعی هستند. هرچه PRMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل کارآمدتر است. مقدار BS بیشتر از یک نشان می‌دهد که ارتفاع، بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است. BS کمتر از یک نیز بیانگر برآورد کمتر ارتفاع است. به منظور ارزیابی صحت شناسایی گونه‌ها (فرضیه دوم پژوهش) از سه شاخص F-score (رابطه ۳)، صحت (رابطه ۶) و کاپا (رابطه ۷) استفاده شد. رابطه‌های ۴ و ۵، اجزای رابطه ۳ و رابطه‌های ۸ و ۹، اجزای رابطه ۷ هستند. شاخص‌های مذکور با استفاده از ۵۰ نمونه بنه و ۵۰ نمونه بادام که در فرایند آموزش الگوریتم جنگل تصادفی استفاده نشده بودند، محاسبه شدند.

$$F\text{-score} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Sensitivity}}{\text{Precision} + \text{Sensitivity}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{P} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$P_o = TP + TN \quad \text{رابطه (۸)}$$

دهک‌های مختلف ارتفاعی ابر نقاط، میانگین، میانه، انحراف معیار و واریانس ارتفاع ابر نقاط داخل گیاه، تعداد نقاط داخل تاج و میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار باندهای قرمز، سبز و آبی بودند. با توجه به کاربرد الگوریتم جنگل تصادفی برای شناسایی گونه‌ها، از شاخص کاهش میانگین در ضریب جینی (Mean decrease in Gini coefficient, MDG) برای انتخاب مناسب‌ترین مشخصه‌ها استفاده شد. این شاخص نشان می‌دهد که هر مشخصه به چه میزان در همگنی گره‌های جنگل تصادفی مشارکت دارد. به عبارت دیگر، براساس این شاخص می‌توان تعیین کرد که کدام مشخصه‌ها در الگوریتم جنگل تصادفی، اهمیت یا کارایی بیشتری در رسیدن به هدف (شناسایی گونه در این پژوهش) دارند؟ هرچه مقدار شاخص مذکور بیشتر باشد، آن مشخصه در همگنی گره‌ها، مشارکت بیشتری دارد و مناسب‌تر است (Mellor et al., 2013; Gómez-Ramírez et al., 2020). در نهایت، از بین ۳۷ مشخصه، مشخصه‌های با MDG بیشتر از یک برای استفاده در الگوریتم جنگل تصادفی انتخاب شدند. برای آموزش الگوریتم از ۵۰ درصد نمونه‌ها (۵۰ گیاه در هر گونه) و برای آزمون از ۵۰ درصد باقی‌مانده استفاده شد. برای این منظور، بسته randomForest در نرم‌افزار R به‌کار برده شد.

ارزیابی صحت و دقت نتایج

به منظور ارزیابی صحت نتایج مربوط به برآورد مشخصه‌های کمی (مساحت تاج و ارتفاع) علاوه بر ضریب تبیین خط رگرسیون، مقدار برآورد شده در ابر نقاط با مقدار واقعی از طریق آزمون t جفتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شد. ارزیابی دقت نیز با کاربرد دو شاخص درصد جذر میانگین مربعات خطا (PRMSE) و امتیاز اریبی (BS) انجام گرفت که با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$\text{PRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

مربع تهیه شد. مقدار جذر میانگین مربعات خطا در فرایند زمین‌مرجع‌سازی با نه نقطه کنترل، هشت سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین، بیشترین تعداد نقاط مشترک (بیشتر از سه میلیون) بین دو تصویر و کمترین تعداد نقاط مشترک (یک نقطه) بین ۴۶ تصویر بود که در فرایند تهیه ابر نقاط استفاده شدند. اندازه تفکیک‌پذیری مکانی CHM نیز ۰/۲۵ متر به‌دست آمد و کوچک‌ترین تاج که مربوط به بادام بود (۰/۵ متر مربع) در هشت پیکسل قرار گرفت (شکل ۲). شکل ۳، برشی از ابر نقاط در بخشی از ارتوفتوی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است، بنه در ابر نقاط با فرم رویشی درختی نسبت به بادام با فرم رویشی درختچه‌ای، به‌طور متفاوتی ظاهر شده است.

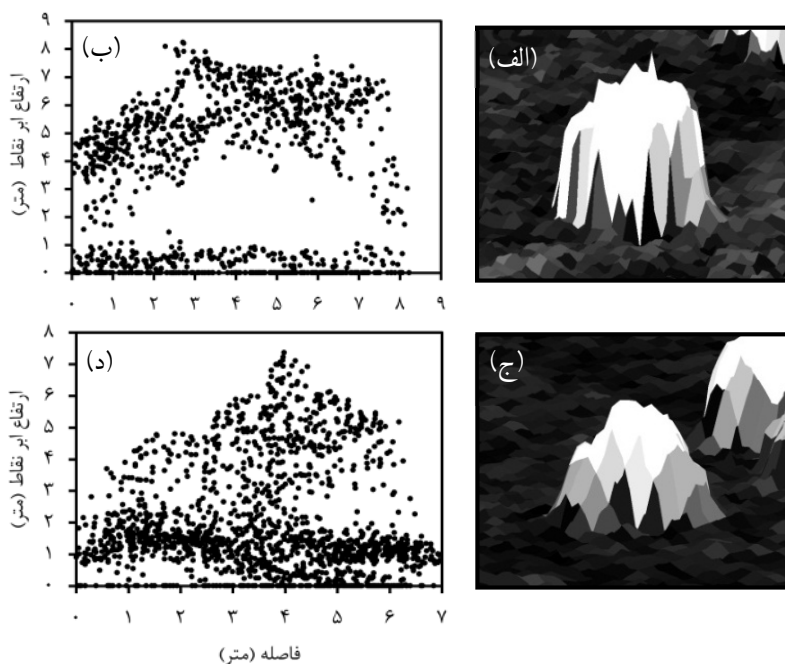
$$P_e = (TP + FN)(TP + FP) + (FP + TN)(TN + FN)$$

رابطه (۹)

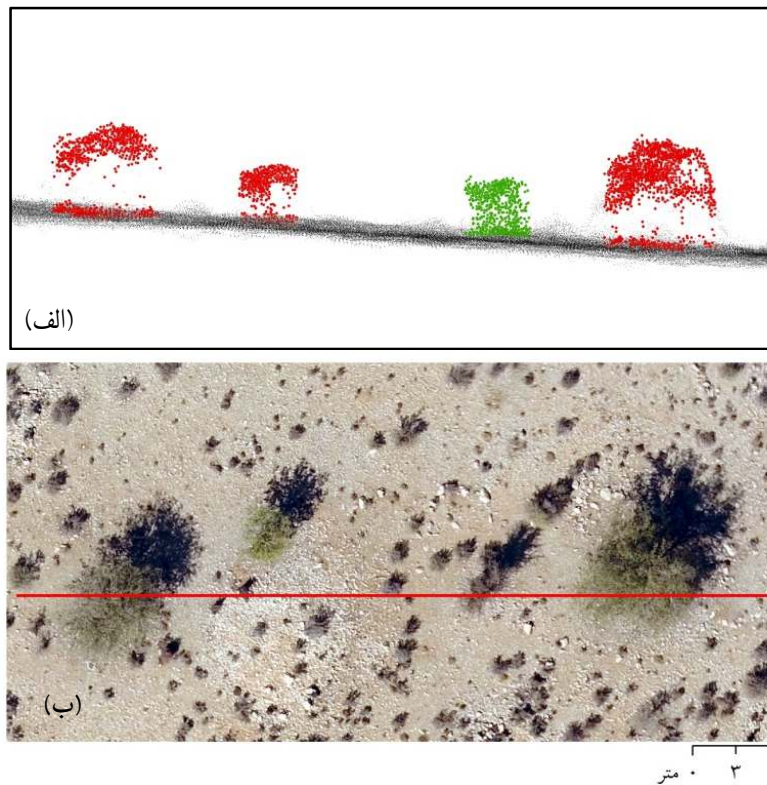
که در آن‌ها: P کل نمونه‌ها، TP گیاهانی که به‌درستی به‌عنوان گونه مورد نظر شناسایی شده‌اند، TN گیاهانی که به‌درستی به‌عنوان گونه مورد نظر شناسایی نشده‌اند، FP گیاهانی که به‌نادرست به‌عنوان گونه مورد نظر شناسایی شده‌اند و FN گیاهانی که به‌نادرست به‌عنوان گونه مورد نظر شناسایی نشده‌اند، هستند (Mohan *et al.*, 2017; Jayathunga *et al.*, 2018).

نتایج

ابر نقاط منطقه مورد مطالعه با تراکم ۵۰ نقطه در متر



شکل ۲- مدل ارتفاعی تاج و ابر نقاط یک نمونه درخت بنه (الف و ب) و یک نمونه درختچه بادام (ج و د)



شکل ۳- برشی از ابر نقاط (الف) در محل خط قرمز روی ارتوفتوی منطقه مورد مطالعه (ب) در قسمت الف، نقطه‌های قرمز و سبز به ترتیب نشان‌دهنده درختان بنه و درختچه‌های بادام هستند.

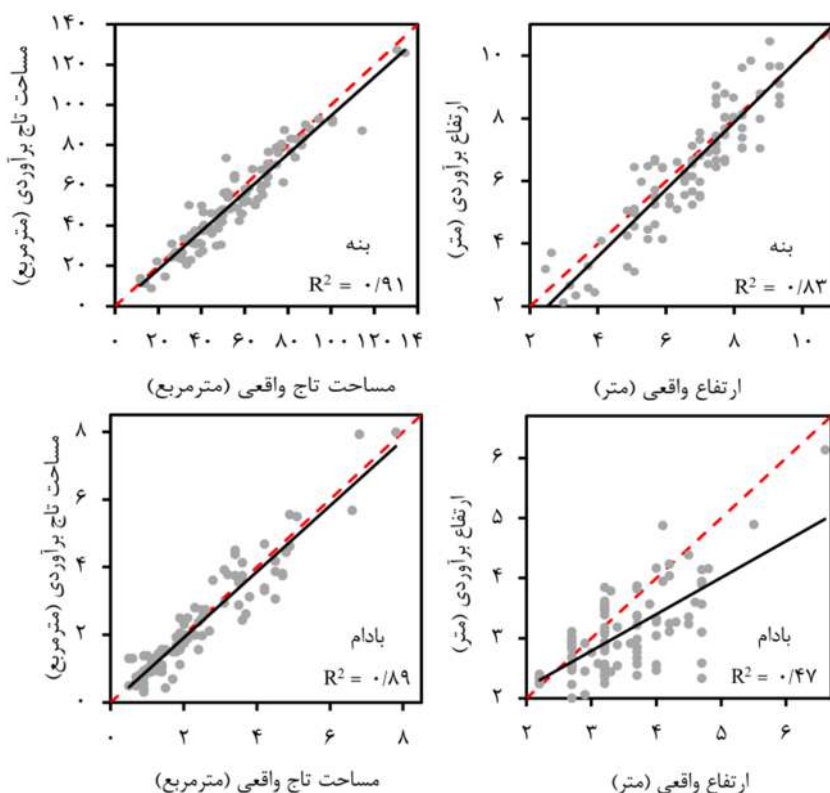
جدول ۱- ویژگی‌های کمی واقعی (در عرصه) و برآوردی (روی مدل ارتفاعی تاج حاصل از ابر نقاط) درختان بنه (۱۰۰ پایه) و درختچه‌های بادام (۱۰۰ پایه) در منطقه مورد مطالعه

گونه	ویژگی کمی	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	ضریب تغییرات (درصد)	p-value
بنه	مساحت تاج (متر مربع)	۵۲/۳	۲۷/۱	۱/۹	۱۳۴/۱	۵۱/۵	۰/۳۷
	برآوردی	۴۸/۸	۲۱/۸	۲/۴	۱۱۰/۲	۴۴	
بادام	ارتفاع (متر)	۶/۸	۱/۷	۲/۵	۱۰/۹	۲۵	۰/۹۸
	برآوردی	۶/۸	۱/۲	۳/۴	۹/۲	۱۸	
بادام	مساحت تاج (متر مربع)	۲/۳	۱/۵	۰/۵	۷/۸	۶۵/۷	۰/۰۹
	برآوردی	۱/۹	۱/۸	۰/۳	۸	۹۴	
بادام	ارتفاع (متر)	۳/۳	۰/۸	۲	۶/۴	۲۳/۹	۰/۰۰
	برآوردی	۲/۹	۰/۷	۱/۸	۵/۹	۲۴	

داشتند (جدول ۱).

بررسی رابطه رگرسیونی بین مقادیر واقعی و برآوردی ویژگی‌های کمی نشان داد که برآورد مساحت تاج و ارتفاع بنه نسبت به بادام به اندازه‌های واقعی نزدیک‌تر بودند. همچنین، رابطه‌های رگرسیونی بین مساحت واقعی و برآوردی تاج برای هر دو گونه، ضریب تبیین بیشتری نسبت به ارتفاع داشتند. مقایسه خط رگرسیون و نسبت ۱:۱ نشان داد که ارتفاع درختچه‌های بزرگ‌تر بادام، کمتر از مقدار واقعی برآورد شدند، درحالی‌که برآورد ارتفاع درختان کوچک بنه فقط اندکی از مقدار واقعی کمتر بود (شکل ۴).

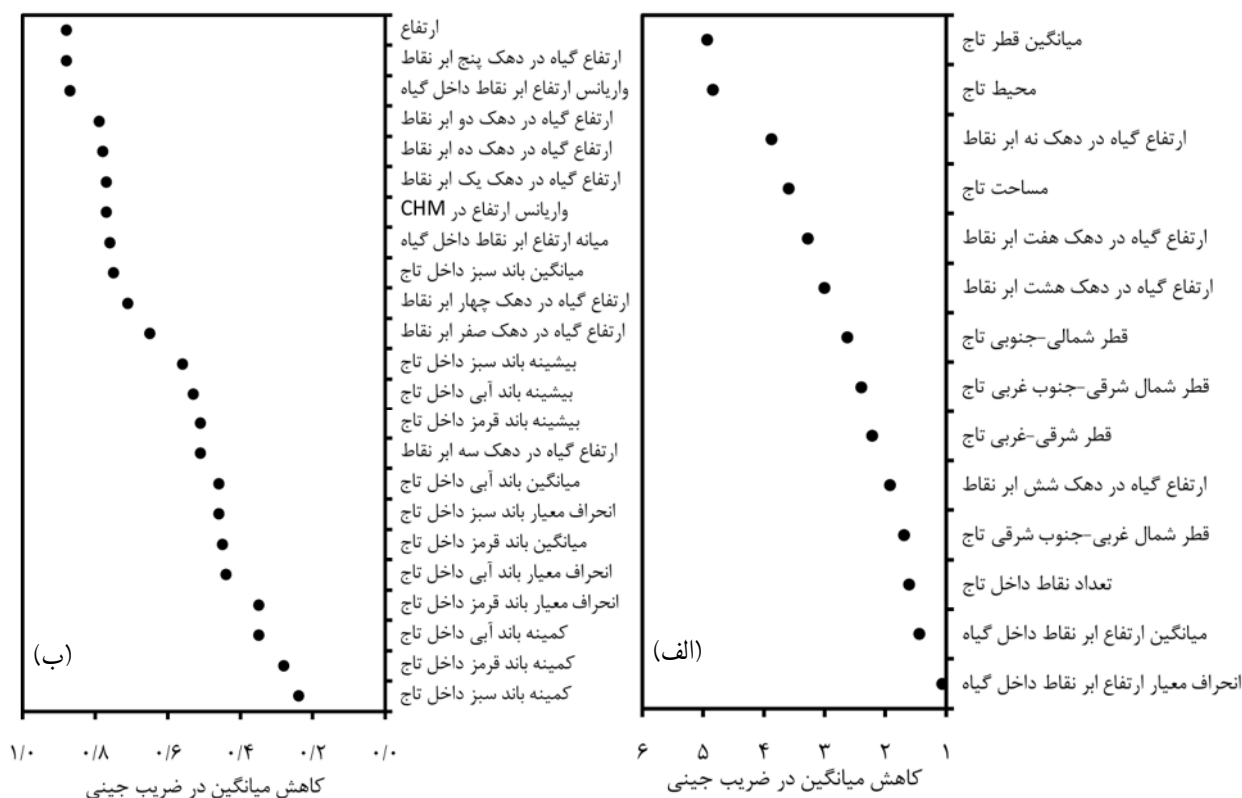
مقایسه ضریب تغییرات ویژگی‌های کمی (مساحت تاج و ارتفاع) در نمونه‌برداری تصادفی از منطقه مورد مطالعه نشان داد که اندازه‌های گیاهان انتخاب‌شده، متفاوت بودند. همچنین، ضریب تغییرات ارتفاع در هر دو گونه، کمتر از مساحت تاج به دست آمد که بیانگر تنوع بیشتر در اندازه تاج گونه‌های مورد مطالعه است. براساس نتایج مربوط به ابر نقاط تصاویر پهباد، بین مساحت واقعی و برآوردشده تاج بنه و بادام و نیز ارتفاع واقعی و برآوردی بنه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اگرچه ارتفاع واقعی و برآوردی بادام باهم اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۴- رابطه بین مقادیر واقعی (در عرصه) و برآوردی (روی مدل ارتفاعی تاج به دست آمده از ابر نقاط) برای تاج و ارتفاع پایه‌های بنه و بادام. خط سیاه‌رنگ بیانگر خط رگرسیون برازش شده به داده‌ها و خط چین قرمز نشان‌دهنده نسبت ۱:۱ هستند.

الف و ۲۳ مشخصه حذف شده در شکل ۵- ب ارائه شده‌اند. مهم‌ترین مشخصه، میانگین قطر تاج با MDG برابر ۴/۹۳ بود. پس از آن، محیط تاج بیشترین تأثیر را داشت (شکل ۵- الف).

در این پژوهش برای شناسایی گونه‌ها از الگوریتم جنگل تصادفی و ۱۴ مشخصه کمی گیاهان استفاده شد که با توجه به مقدار MDG از بین ۳۷ مشخصه انتخاب شدند. تغییرات مقدار MDG در ۱۴ مشخصه منتخب در شکل ۵-



شکل ۵- مقدار کاهش میانگین در ضریب جینی برای ۱۴ مشخصه مورد استفاده در الگوریتم جنگل تصادفی (الف) و ۲۳ مشخصه حذف شده (ب)

استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و ۱۴ مشخصه مورد استفاده تأیید شد، به طوری که مقدار سه شاخص F-score، صحت و کاپا بیشتر از ۰/۹ به دست آمد که نشان دهنده شناسایی صحیح گونه‌ها بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج دیگر این پژوهش، مقدار PRMSE و ویژگی‌های کمی بنه، کمتر از بادام بود. ارزیابی شاخص BS نشان داد که ویژگی‌های کمی بنه به مقدار واقعی شبیه بودند، اما مساحت تاج و ارتفاع بادام، کمتر از مقدار واقعی برآورد شدند (جدول ۲). علاوه بر این، امکان شناسایی بنه و بادام با

جدول ۲- ارزیابی دقت نتایج مربوط به اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی درختان بنه (۱۰۰ پایه) و درختچه‌های بادام (۱۰۰ پایه) روی ابر نقاط تصاویر پهباد

گونه	ویژگی کمی	PRMSE (%)	BS
بنه	مساحت تاج (متر مربع)	۴/۷	۰/۹۹
	ارتفاع (متر)	۳/۲	۱
بادام	مساحت تاج (متر مربع)	۲۲/۱	۰/۹۴
	ارتفاع (متر)	۲۱/۵	۰/۸۷

جدول ۳- ارزیابی صحت نتایج مربوط به شناسایی گونه برای درختان بنه (۵۰ پایه) و درختچه‌های بادام (۵۰ پایه) با استفاده از ویژگی‌های کمی روی ابر نقاط تصاویر پهپاد

گونه	F-score	Accuracy	K
بنه	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۸
بادام	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۸

Accuracy و K به ترتیب بیانگر صحت و ضریب کاپا هستند.

بحث

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی درختان بنه و درختچه‌های بادام نشان داد که تغییرات ارتفاع در هر دو گونه، بسیار کمتر از مساحت تاج بود. یکی از دلایل این موضوع ممکن است تراکم اندک گیاهان در منطقه مورد مطالعه باشد که مانع رقابت بر سر نور می‌شود. این دستاورد با نتایج Heidari Safari Kouchi و همکاران (۲۰۱۵) در مورد بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) مشابه است. یکی از اهداف پژوهش پیش‌رو، برآورد مساحت تاج و ارتفاع بنه و بادام با استفاده از ابر نقاط تصاویر پهپاد بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده، امکان برآورد مساحت تاج ۱۰۰ درخت بنه و ۱۰۰ درختچه بادام و ارتفاع ۱۰۰ درخت بنه بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار واقعی آن‌ها روی داده‌های مذکور ممکن شد، اما ارتفاع برآوردی درختچه‌های بادام با مقدار واقعی متفاوت بود (در سطح اطمینان ۹۵ درصد). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش با یافته‌های Kattenborn و همکاران (۲۰۱۹) و Li و همکاران (۲۰۲۰) مشابه هستند. این پژوهشگران نیز تأیید کردند که امکان برآورد مساحت تاج‌پوشش درختان روی ابر نقاط تصاویر پهپاد بدون اختلاف معنی‌دار با مقادیر واقعی وجود دارد. Kattenborn و همکاران (۲۰۱۹) از این داده‌ها به‌عنوان واقعیت زمینی و جایگزین داده‌برداری میدانی استفاده کردند. یکی از مزایای استفاده از ابر نقاط در برآورد مساحت تاج این است که برخلاف شناسایی تاج روی تصاویر پهپاد، مشکل تفکیک تاج از سایه در ابر نقاط وجود ندارد. در پژوهش Li و همکاران (۲۰۲۰)، ضریب تبیین خط

رگرسیون بین مساحت واقعی و برآوردی تاج روی ابر نقاط پهپاد ۰/۵۲ گزارش شد (در مقایسه با ضریب تبیین حدود ۰/۹ برای بنه و بادام در پژوهش پیش‌رو). دلیل این تفاوت ممکن است با تراکم بیشتر و آمیختگی سوزنی‌برگان و پهن‌برگان در منطقه مورد مطالعه پژوهش مذکور (پارک ملی جنگلی سایه‌انبا در چین) مرتبط باشد. ضریب تبیین خط رگرسیون بین ارتفاع واقعی و برآوردی درختچه‌های بادام در پژوهش پیش‌رو، عدد بسیار کمی (۰/۴۷) به‌دست آمد. Zahawi و همکاران (۲۰۱۵) نیز به این نتیجه رسیدند که ابر نقاط تصاویر پهپاد برای برآورد ارتفاع گیاهان کوتاه مناسب نیست ($R^2 = 0/51$). براساس یافته‌های این پژوهشگران و چنانچه در پژوهش پیش‌رو برای بادام نیز مشاهده شد، هنگامی‌که دامنه تغییرات ارتفاع گیاه کم باشد (ضریب تغییرات مقادیر واقعی = $23/9$ درصد)، این داده‌ها کارایی لازم را ندارند. مشابه پژوهش پیش‌رو، Jayathunga و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد ابر نقاط به‌دست‌آمده از الگوریتم SfM، مقدار PRMSE مربوط به ارتفاع برآوردی درختان را هفت درصد گزارش کردند. در پژوهش پیش‌رو، این شاخص برای ارتفاع پایه‌های بنه $3/2$ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). یکی از دلایل احتمالی این تفاوت می‌تواند تراکم زیاد جنگل در پژوهش مذکور (در مقایسه با توده تنک بنه- بادام در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس) باشد که امکان مشاهده بن درختان را برای تهیه DEM مناسب فراهم نکرد. چنانچه در شکل ۴ نشان داده شد، مساحت تاج در هر دو گونه بنه و بادام، کمی کمتر از مقدار واقعی برآورد شد، هرچندکه این اختلاف معنی‌دار نبود. این تفاوت در مساحت تاج واقعی و

۰/۸۶ گزارش کردند (در مقایسه با مقدار ۰/۹۲ برای بنه و ۰/۹۱ برای بادام در پژوهش پیش‌رو). از دلایل این نتیجه مطلوب (ضریب کاپا و صحت شناسایی برای هر دو گونه بیشتر از ۰/۹۲، جدول ۳) می‌توان به کارایی روش پیشنهادی در پژوهش پیش‌رو و محدود بودن تعداد گونه‌ها اشاره کرد، بنابراین تأیید نهایی کارایی این روش منوط به انجام پژوهش‌های بیشتر در توده‌هایی با ساختار متفاوت و تنوع گونه‌ای بیشتر است. می‌توان نتیجه گرفت که در پژوهش پیش‌رو، شناسایی گونه‌ها با استفاده از روش پیشنهادی، کارایی لازم را داشت و فرضیه دوم پژوهش نیز تأیید شد.

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که ابر نقاط تصاویر پهپاد برای برآورد ویژگی‌های کمی (مساحت تاج و ارتفاع) درختان بنه و درختچه‌های بادام و نیز شناسایی گونه آن‌ها کارایی دارند، اگرچه روش مورد استفاده در برآورد ارتفاع درختچه‌های بادام از کارایی لازم برخوردار نبود. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده، امکان برآورد ارتفاع درختچه‌ها در توده‌هایی با دامنه بیشتر تغییرات ارتفاعی نسبت به پژوهش پیش‌رو (ضریب تغییرات ۲۹/۳ درصد) و تنوع ارتفاعی بیشتر ارزیابی شود. یافته‌های دیگر نیز بیانگر کارایی روش پیشنهادی برای شناسایی دو گونه بنه و بادام با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و مشخصه‌های کمی روی ابر نقاط بودند، بنابراین ضروری است که پژوهش‌های بیشتری در مورد این روش برای شناسایی گونه‌ها در توده‌های با تنوع گونه‌ای بیشتر انجام شود. در مجموع، نتایج پژوهش پیش‌رو تأیید کردند که ابر نقاط تصاویر پهپاد را می‌توان برای برآورد ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های تنک در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد. پژوهش‌های آینده می‌توانند در تعمیم این نتیجه‌گیری مؤثر باشند.

منابع مورد استفاده

- Anderson, K. and Gaston, K.J., 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3): 138-146.
- Barazmand, S., Sossani, J., Naghavi, H. and

برآوردی می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده باشد تا به این موضوع بپردازند که مساحت تاج اندازه‌گیری شده با روش رایج در داده‌برداری میدانی (استفاده از دو قطر عمودبرهم تاج) ممکن است با مقدار واقعی مساحت تاج متفاوت باشد. زیرا علاوه بر این، ضریب تبیین رگرسیون بین مساحت واقعی و برآوردی تاج بنه، بیشتر از ارتفاع آن بود که علت آن به ابر نقاط داده‌های واقعی و برآوردی بازمی‌گردد. تجمع مساحت واقعی و برآوردی تاج بنه در اطراف محور ۱:۱ موجب افزایش ضریب تبیین شد، درحالی‌که ارتفاع‌های واقعی و برآوردی بنه از این محور دور شده‌اند و ضریب تبیین را کاهش دادند، اما میانگین ارتفاع واقعی و برآوردی، مشابه هم بودند (جدول ۱). نتایج دیگر نشان داد که دقت برآورد ویژگی‌های کمی بنه، بیشتر از بادام بود و ارتفاع درختچه‌های بادام کمتر از مقدار واقعی برآورد شدند (BS = ۰/۸۷). ضمن تأیید فرضیه اول پژوهش، امکان برآورد ویژگی‌های کمی بنه و مساحت تاج بادام در این پژوهش امکان‌پذیر شد.

در پژوهش پیش‌رو، روشی برای شناسایی گونه‌ها پیشنهاد شد که با پژوهش‌های پیشین (Lohrabi *et al.*, 2018; Kattenborn *et al.*, 2019) که از اطلاعات طیفی استفاده کردند، متفاوت بود. سی و هفت مشخصه کمی گیاهان برای شناسایی گونه‌ها در نظر گرفته شد و ۱۴ مشخصه براساس MDG انتخاب شدند تا در الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شوند. هرچند تاکنون از این روش در انتخاب مشخصه‌های مهم برای شناسایی گونه روی ابر نقاط تصاویر پهپاد استفاده نشده است، اما Mellor و همکاران (۲۰۱۳) از MDG در انتخاب مشخصه‌های مناسب در الگوریتم جنگل تصادفی برای تعیین گستره جنگل روی تصاویر ماهواره لندست استفاده کردند. همچنین، Gómez-Ramírez و همکاران (۲۰۲۰) تأکید کردند که بهترین روش در انتخاب مشخصه‌های مورد استفاده در الگوریتم جنگل تصادفی، استفاده از MDG است. Mohan و همکاران (۲۰۱۷) برای شناسایی درختان در یک جنگل متراکم با استفاده از CHM ابر نقاط تصاویر پهپاد، مقدار F-score را

- Remote Sensing of Environment, 227: 61-73.
- Khorrami, R.A., Darvishsefat, A.A., Tabari Kochaksaraei, M. and Shataee Jouybari, Sh., 2014. Potential of LIDAR data for estimation of individual tree height of *Acer velutinum* and *Carpinus betulus*. Iranian Journal of Forest, 6(2): 127-140 (In Persian).
 - Li, L., Chen, J., Mu, X., Li, W., Yan, G., Xie, D. and Zhang, W., 2020. Quantifying understory and overstory vegetation cover using UAV-based RGB imagery in forest plantation. Remote Sensing, 12(2): 298.
 - Lohrabi, Y., Abbasi, M., Soltani, A. and Riyahi Bakhtyari, H.R., 2018. Determination of the most suitable method for forest type mapping in central Zagros using landsat-8 satellite Images. Journal of Forest Research and Development, 4(2): 191-205 (In Persian).
 - Lu, J., Wang, H., Qin, S., Cao, L., Pu, R., Li, G. and Sun, J., 2020. Estimation of aboveground biomass of *Robinia pseudoacacia* forest in the Yellow River Delta based on UAV and Backpack LiDAR point clouds. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 86: 102014.
 - Mellor, A., Haywood, A., Stone, C. and Jones, S., 2013. The performance of random forests in an operational setting for large area sclerophyll forest classification. Remote Sensing, 5(6): 2838-2856.
 - Mohan, M., Silva, C.A., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., ... and Dia, M., 2017. Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. Forests, 8(9): 340.
 - Mozaffarian, V., 2010. Trees and Shrubs of Iran. Farhang Moaser, Tehran, Iran, 1054 pp (In Persian).
 - Naseri, M.H., Shataee Jouybari, Sh., Mohammadi, J. and Ahmadi, Sh., 2020. Capability of Rapid Eye satellite imagery to map the distribution of canopy trees in Dashtebarm forest area of Fars province. Ecology of Iranian Forests, 7(14): 58-69 (In Persian).
 - Nyimbili, P., Demirel, H., Şeker, D.Z. and Erden, T., 2016. Structure from motion (SfM): Approaches and applications. Proceedings of International Scientific Conference on Applied Sciences. Antalya, Turkey, 27-30 Sep. 2016: 8p.
 - Owji, M.Gh. and Hamzepour, M., 2012. Vegetation Profile of Wild Pistachio Experimental Forest. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 240p (In Persian).
 - Saed Mocheshei, A., Pir Bavaghar, M., Shabaniyan, N. and Fatehi, P., 2019. Possibility of estimating the woody species diversity using Sentinel optical imagery (Case study: Marivan forests). Forest and Wood Products, 72(2): 101-110 (In Persian).
 - Sadeghyan, S., 2019. Discriminating between Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) and gall oak (*Q. infectoria* Oliv.) species using the UAV images (Case study: Kakasharaf Forest, Khorramabad, Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 27(3): 245-257 (In Persian).
 - Browning, D.M., Rango, A., Karl, J.W., Laney, C.M., Vivoni, E.R. and Tweedie, C.E., 2015. Emerging technological and cultural shifts advancing drylands research and management. Frontiers in Ecology and the Environment, 13(1): 52-60.
 - Chenari, A., Erfanfard, S.Y., Dehghani, M. and Pourghasemi, H.R., 2017. Estimation of crown area of wild pistachio single trees using DSM of UAV aerial images in Baneh Research Forest, Fars province. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 24(4): 117-130 (In Persian).
 - Erfanfard, Y., Stereńczak, K., Kraszewski, B. and Kamińska, A., 2018. Development of a robust canopy height model derived from ALS point clouds for predicting individual crown attributes at the species level. International Journal of Remote Sensing, 39(23): 9206-9227.
 - Giannetti, F., Chirici, G., Gobakken, T., Næsset, E., Travaglini, D. and Puliti, S., 2018. A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data. Remote Sensing of Environment, 213: 195-205.
 - Gómez-Ramírez, J., Ávila-Villanueva, M. and Fernández-Blázquez, M., 2020. Selecting the most important self-assessed features for predicting conversion to mild cognitive impairment with random forest and permutation-based methods. Scientific Reports, 10(1): 20630.
 - Heidari Safari Kouchi, A., Moradian Fard, F., Eskandari, A. and Rostami Shahraji, T., 2015. Investigation of some quantitative and qualitative characteristics of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Bazoft Forests of Chahar Mahal and Bakhtiari Province. Journal of Zagros Forests Researches, 2(1): 75-91 (In Persian).
 - Jayathunga, S., Owari, T. and Tsuyuki, S., 2018. Evaluating the performance of photogrammetric products using fixed-wing UAV imagery over a mixed conifer-broadleaf forest: Comparison with airborne laser scanning. Remote Sensing, 10(2): 187.
 - Kargar, M.R. and Sohrabi, H., 2019. Using canopy height model derived from UAV images for tree height estimation in Sisangan forest. RS and GIS for Natural Resources, 10(3): 106-119 (In Persian).
 - Kattenborn, T., Lopatin, J., Förster, M., Braun, A.C. and Fassnacht, F.W., 2019. UAV data as alternative to field sampling to map woody invasive species based on combined Sentinel-1 and Sentinel-2 data.

- C.A., Omar, H., Abdul Maulud, K.N., Hudak, A.T., ... and Mohan, M., 2018. Improving individual tree crown delineation and attributes estimation of tropical forests using airborne LiDAR data. *Forests*, 9(12): 759.
- Zahawi, R.A., Dandois, J.P., Holl, K.D., Nadwodny, D., Reid, J.L. and Ellis, E.C., 2015. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*, 186: 287-295.
 - Zhang, W., Cai, S., Liang, X., Shao, J., Hu, R., Yu, S. and Yan, G., 2020. Cloth simulation-based construction of pit-free canopy height models from airborne LiDAR data. *Forest Ecosystems*, 7: 1.
 - Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, Dordrecht, 152 pp.
 - Schönberger, J.L. and Frahm, J.M., 2016. Structure-from-Motion revisited. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Las Vegas, USA, 26-30 Jun. 2016: 4104-4113.
 - Seyed Mousavi, S.Z., Mohammadi, J. and Shataee, Sh., 2017. The evaluation of potential airborne laser scanner data in estimating of individual canopy area and tree heights in part of educational and research Shast-Kalate forests - Gorgan. *Ecology of Iranian Forest*, 5(9): 47-55 (In Persian).
 - Wan Mohd Jaafar, W.S., Woodhouse, I.H., Silva,

Estimation of qualitative and quantitative characteristics of *Pistacia atlantica* Desf. and *Amygdalus* spp. in of UAV point clouds

Y. Erfanifard ^{1*} and B. Kraszewski ²

1* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: erfanifard@ut.ac.ir

2- Assistant Prof., Department of Geomatics, Forest Research Institute, Warsaw, Poland

Received: 12.05.2020

Accepted: 03.08.2020

Abstract

Estimation of qualitative and quantitative characteristics of plants on UAV images is considered a challenge in remote sensing. Therefore, this study aimed to present a method to estimate crown area, height, and species in a mixed *Pistacia-Amygdalus* stand in UAV-derived point clouds. To this aim, 100 *Pistacia atlantica* Desf. trees and 100 *Amygdalus* spp. shrubs were randomly selected. Point cloud was obtained by UAV-derived imagery with 50 points per m² in a 64-ha study area in Baneh Research Forest, Fars province. The quantitative characteristics were then estimated on the point cloud. Additionally, species type was classified using random forest and 37 quantitative attributes measured on point cloud, canopy height model, and orthomosaic. Crown area and height of *Pistacia* ($R^2= 0.91$ and 0.83 , PRMSE=4.7% and 3.2%, respectively) and *Amygdalus* ($R^2= 0.89$ and 0.47 , PRMSE=22.1% and 21.5%, respectively) were also estimated. By application of quantitative attributes and random forest, species type was classified with an accuracy of 0.92 and κ of 0.98. All in all, results indicated that UAV point clouds can be efficiently applied to estimate a set of qualitative and quantitative attributes of *Pistacia* and *Amygdalus* within the study area. However, inaccurate and imprecise results were observed for estimated heights of *Amygdalus*.

Keywords: Crown height model, digital surface model, Gini coefficient, structure from motion.