نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸
۱-۱۹
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.15422.1762

برآورد مشخصه‌های کمی تک‌درختان جنگلی با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در بخشی از جنگل شصت‌کلاته گرگان

سیده زهرا سید موسوی[۱]، *جهانگیر محمدی[۲] و شعبان شتایی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۲]استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۳]استاد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: در این پژوهش قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش تک‌درختان جنگلی در بخشی از جنگل‌های پهن‌برگ شصت‌کلاته گرگان مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۱۲۵ پایه درختی از درختان که دارای تاج مستقل بودند و تداخل تاجی با پایه‌های مجاور نداشتند انتخاب شد. اطلاعات نوع گونه، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج هر درخت اندازه‌گیری و سپس ارتفاع درختان با استفاده از دستگاه ورتکس لیزری اندازه‌گیری شد و موقعیت مراکز درختان با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی برداشت گردید. پس از جداسازی مرز تاج پوشش تک‌درختان و تهیه پلی‌گون مرز آن‌ها از تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam-D، داده‌های لیزر اسکنر هوایی برای هر درخت جدا و تمامی شاخص‌های ارتفاعی و تراکمی داده‌های لیزر اسکنر هوایی برای آن‌ها محاسبه گردید. سپس با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک (جنگل تصادفی، نزدیک‌ترین همسایه، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان) و رگرسیون خطی چندمتغیره مشخصه‌های ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش تک‌درختان جنگلی مدل‌سازی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از روابط رگرسیونی و الگوریتم‌های ناپارامتریک بین ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش درختان اندازه‌گیری‌شده با استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی نشان داد که درصد میانگین مجذور مربعات خطا و انحراف معیار از تفاوت‌ها برای مشخصه‌های ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش تک‌درختان با استفاده از بهترین مدل به‌ترتیب ۱۳/۳۹، ۵۶/۷۸، ۳۳/۱۷، ۲۲/۳٤ و ۲۵/۸۸ درصد و ۱/۷۱ متر و ۰/۵۹ مترمکعب، ۰/۰٤۹ مترمربع، ۹/۲ سانتی‌متر و ۳۹/۲٦ مترمربع محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد که داده‌های لیزر اسکنر هوایی قابلیت برآورد مشخصه ارتفاع درختان را با دقت قابل‌قبول و مشخصه‌های قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش تک‌درختان را با دقت تقریباً قابل‌قبول دارد اما این تصاویر قابلیت برآورد

* مسئول مکاتبه: mohamadi.jahangir@gmail.com

مشخصه حجم سرپا و رویه زمینی تک‌درختان را با دقت پایین بود. همچنین نتایج نشان داد که از میان الگوریتم‌های پارامتریک و ناپارامتریک الگوریتم ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشت.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های پارامتریک و ناپارامتریک، داده کاوی، مشخصه‌های کمی تک‌درختان

مقدمه

مطالعه ساختار جنگل‌ها، امکان مدیریت بهینه جنگل را برای رسیدن به ساختار مطلوب فراهم می‌کند (۱۳). به‌منظور تحقق مدیریت پایدار در جنگل، منابع و اراضی جنگلی باید به‌ترتیبی مدیریت شوند که از جنبه اکولوژیک همیشه زنده و پایدار باشند و بتوانند نیازهای اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیک، فرهنگی و روحی نسل‌های فعلی و آینده را پاسخ دهند. نیل به اهداف زمانی محقق خواهد شد که اطلاعات دقیق و مستمر و با کیفیت بالا از جنگل به‌دست آورده شود (۱). برای مدیریت پایدار توده‌های جنگلی اطلاعات بیش‌تری، نه‌فقط برای برنامه‌ریزی آینده مدیریت جنگل، بلکه برای پایش و بررسی تغییرات آن‌ها در طول دوره‌های زمانی مختلف زمانی لازم و ضروری است (۱۵)؛ بنابراین اطلاعات با جزئیات بیش‌تر در سطح تک‌درختان مانند ارتفاع درختان، ارتفاع شروع تاج، مساحت تاج، قطر در ارتفاع برابر سینه و زی‌توده برای پایش آماربرداری، ارزیابی صدمات و آفات و بیماری‌ها، مدیریت بهتر و آنالیزهای کمی توده‌های جنگلی حیاتی و ضروری است (۵) و با استفاده از این اطلاعات به‌آسانی می‌توان به اطلاعات در سطح توده دست پیدا کرد. معمولاً تهیه این اطلاعات مانند مساحت تاج پوشش و ارتفاع حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه تک‌درختان از طریق عملیات میدانی صورت می‌گیرد اما جمع‌آوری اطلاعات به روش زمینی نیازمند زمان و هزینه‌های زیادی است (۱۹). امروزه با پیشرفت علوم در طی دهه‌های گذشته سنجنده‌های فعال بسیاری به امر برداشت عوارض می‌پردازند. یکی از انواع این سنجنده‌ها، لیزر اسکنر هوایی[1] است که از طریق ارسال و دریافت امواج لیزری اقدام به جمع‌آوری اطلاعات می‌کند. این داده سنجش از دوری امروزه تحولی بنیادین در تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین، استخراج مؤلفه‌های ساختاری پدیده‌های سطح زمین و به‌ویژه در جنگلداری استخراج مشخصه‌های کمی تک‌درختان مانند حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه، مساحت تاج پوشش و ارتفاع به‌وجود آورده است (۱۸). استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی به‌دلیل محاسبه بعد سوم، از ابزارهای مهم و کاربردی در دستیابی به اطلاعات دقیق موردنظر می‌باشد.

ساختار جنگل به‌وسیله متغیرهای توصیفی با مشخصه‌های فضایی توده‌های جنگل شامل: ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه و حجم توصیف می‌شود (۱۱). یکی از کاربردهای مهم داده‌های لیزر اسکنر هوایی، مدل‌سازی بین مشخصه‌های کمی توده‌های (مانند حجم سرپا، رویه‌زمینی، قطر برابر سینه، سطح تاج و ارتفاع) و شاخص‌های استخراج‌شده از پالس‌های لیزری می‌باشد (۱۰). استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد مشخصه‌های کمی توده‌های جنگلی عمدتاً در سطح قطعه‌نمونه و تک‌درخت انجام می‌شود. کسب اطلاعات از مشخصه‌های کمی تک‌پایه‌های درختی به‌عنوان عنصر اصلی توده‌های جنگلی در آماربرداری جنگل بسیار مهم است (۳). برای اهداف مدیریتی از جمله بهره‌برداری، بررسی مشخصه‌های کمی تک‌درختان لازم است؛ بنابراین جداسازی تک‌درختان در توده‌های

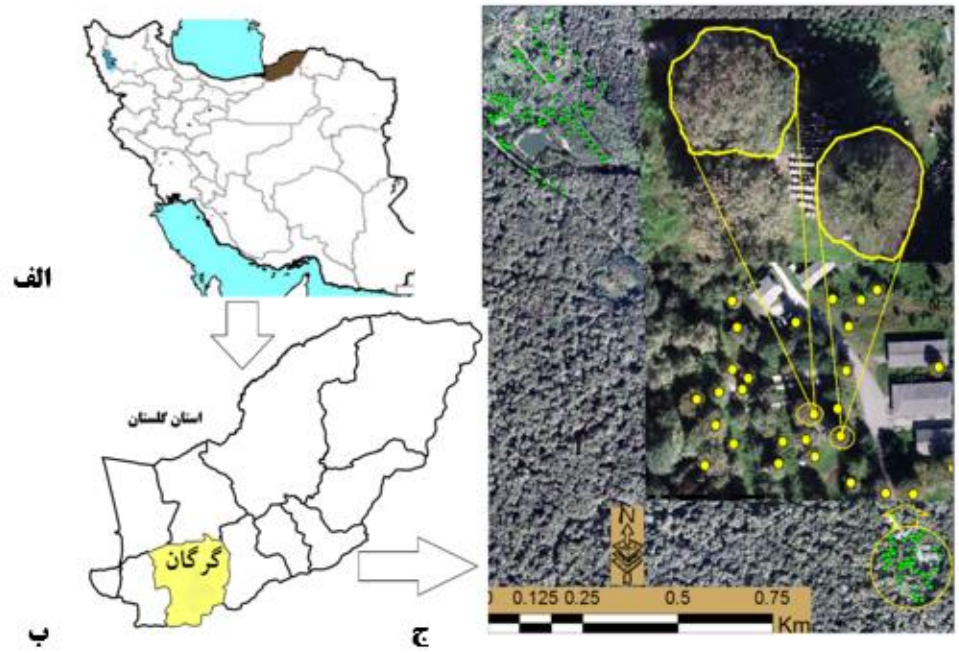
1- Aerial Laser Scanner

جنگلی برای استفاده از تکنولوژی سنجش از دور در جنگل‌های با مقیاس بزرگ بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. این جداسازی‌ها بر اساس تک‌درختان در جنگل‌های سوزنی‌برگ و توده‌های باز پهن‌برگ بهتر انجام می‌گیرد (۸، ۲۲ و ۲۳). خرمی و همکاران (۲۰۱۳)، قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی را در برآورد ارتفاع پایه‌های درختی پلت و ممرز مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار دادند. با توجه به نتایج ضرایب تبیین و میانگین مجذور مربعات خطای ارتفاع برای گونه‌های پلت و ممرز به‌ترتیب ۰/۹٦ و ۱/۵ متر (٦ درصد) و ۰/۹۵ و ۱/۸٤ متر (٦ درصد) محاسبه شد (۱۲). مورسدرف و همکاران (۲۰۰٤)، بازسازی هندسی متغیرهای قطر تاج و ارتفاع تک‌درختان در بخشی از پارک ملی سوییس را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی جهت مدیریت آتش‌سوزی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ضریب تبیین جهت برآورد ارتفاع ۰/۹۲ و انحراف معیار بین داده‌های حاصل از لیزر اسکنر و داده‌های زمینی ۰/۰٦ متر می‌باشد (۲۰). اندرسون و همکاران (۲۰۰٦)، ارزیابی دقیق اندازه‌گیری ارتفاع درخت با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و روش متداول میدانی را در ایالت واشنگتون امریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میانگین اختلاف بین ارتفاع استخراج شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و ارتفاع اندازه‌گیری شده برای کل درختان ۱/۱۲- متر می‌باشد (۲). کاواک و همکاران (۲۰۰۷)، شناسایی درختان و برآورد ارتفاع آن‌ها با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی را در کره جنوبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مقادیر ضرایب تبیین مدل ارتفاعی و میانگین ارتفاع برای گونه‌های *Pinus koraiensis*، *Larix Loptdeis* و *Quercus sp* به‌ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸٦ و ۰/۷۸ و میانگین مجذور مربعات خطای سه گونه برابر با ۱، ۱/۱۲ و ۱ متر است، همچنین درصد میانگین مجذور مربعات خطا برای این درختان به‌ترتیب برابر است با ٦/٤۱، ٦/۸۲ و ۷/۰٤ به‌دست آمد (۱٦). چن و همکاران (۲۰۰۷)، برآورد رویه زمینی و حجم تنه برای تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در جنگل بلوط واقع در کالیفرنیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که ضریب تبیین برای رویه زمینی و حجم تنه به‌ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۹ حاصل شد (٤). کورپلا و همکاران (۲۰۰۷)، برآورد ارتفاع، قطر و تشخیص گونه تک‌درختان را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در منطقه‌ای در جنوب‌شرقی فنلاند به مساحت ٥٦/۸ هکتار مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش دقت برآورد ارتفاع ۰/۷۱ متر و درصد مجذور میانگین مربعات خطا برای ارتفاع و قطر تنه به‌این‌ترتیب برابر ٤/۷ درصد و ۲۰ تا ۲۹ درصد حاصل گردید (۱۳). یائو و همکاران (۲۰۱۲)، طبقه‌بندی گونه‌های درختی و برآورد حجم و قطر برابر سینه تک‌درختان را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در منطقه‌ای واقع در پارک ملی بایرن آلمان مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نتایج شان داد که درصد میانگین مجذور مربعات خطا نیز برای حجم برابر با ۱٦ تا ۳۲ درصد و برای قطر ۹/۲۷ تا ۱٤/٥۸ درصد حاصل شد (۲٥). وو و همکاران (۲۰۱٥)، برآورد دو مشخصه قطر و حجم تک‌درختان در جنگل معتدل را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در پارک ملی بایرن آلمان با درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بود را مورد بررسی قرار دادند. این نتایج نشان داد که میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطا برآورد برای قطر برابر سینه و حجم به‌ترتیب برابر بین ۱٤/٥۲ تا ۱۹/٥۳ درصد و ۲۲/٥۳ تا ٤۲/۸ حاصل گردید (۲٤). سیلوا و همکاران (۲۰۱٦)، برآورد مشخصه‌های ارتفاع،

رویه زمینی و حجم تک‌درختان کاج همیشه سبز (*pinus palustris*) را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در جورجیا امریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطا برای ارتفاع، رویه زمینی و حجم به‌ترتیب ۳/۹۶ درصد، ۵۸/۶۲ درصد و ۳۱/۲۱ درصد حاصل گردید (۲٤). با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، در مورد استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی جهت تعیین حجم، رویه زمینی، ارتفاع، مساحت تاج پوشش و قطر برابر سینه تک‌درختان در خارج از کشور مطالعات زیادی انجام شده ولی در ایران تنها می‌توان به مطالعه خرمی و همکاران (۲۰۱۳) آن‌هم تنها بر روی ارتفاع می‌توان اشاره نمود. همچنین اکثر مطالعات انجام‌شده در خارج از کشور در تعیین حجم، رویه زمینی، ارتفاع، مساحت تاج پوشش و قطر برابر سینه تک‌درختان بیش‌تر در توده‌های سوزنی‌برگ بوده است. هدف از این مطالعه برآورد مشخصه‌های کمی تک‌درختان شامل حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه، مساحت تاج پوشش و ارتفاع تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در بخشی از جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان می‌باشد. موضوع برآورد ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی روشی نوین در کشور می‌باشد که می‌تواند نتایج ارزشمندی را جهت تهیه اطلاعات دقیق و مستمر برای مدیریت پایدار منابع جنگلی و تدوین سیاست‌های صحیح و شناخت آن‌ها ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه واقع در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته گرگان) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب‌شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳٦ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی می‌باشد (شکل ۱). جهت عمومی دامنه شمال‌غربی و محدوده ارتفاعی منطقه مورد آماربرداری ۲۲۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت کل سری یک ۱۷۱٤ هکتار می‌باشد (۷). ولی این پژوهش در بخشی از منطقه سری یک انجام گردیده است. پوشش گیاهی این منطقه شامل پوشش درختی، درختچه‌ای و نباتات یک‌ساله می‌باشد. گونه‌های اندازه‌گیری‌شده شامل درختان انجیلی (*Parrotia persica*)، افرا پلت (*Acer Velutium* Bioss)، توسکا (*Alnus glutinosa* L. Gaerten)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، افرا شیردار (*Acer cappadoicicum* Gled)، زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.)، کریپتومریا (*Criptomeriya*) و نارون (*Ulmus glabra*) بودند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران (الف)، استان گلستان (ب) و جنگل شصت‌کلاته (ج).

Figure 1. Location of the study area in Iran, The Golestan province, Shastkalate forest.

روش تحقیق: هدف اصلی این پژوهش ارزیابی قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد قطر، حجم، رویه زمینی، سطح تاج پوشش و ارتفاع تک‌درختان جنگلی با تاج مستقل بودند. بدین‌منظور تعدادی تک‌درخت که تاج آن‌ها مستقل بوده و تداخل تاجی با پایه‌های مجاور نداشتند انتخاب شد. اندازه‌گیری ارتفاع، قطر برابر سینه، حجم و مساحت تاج در سال ۱۳۹۵ انجام شد. برای این منظور برای انتخاب تک‌درختان ابتدا با شناسایی اولیه و با توجه به منطقه برداشت داده‌های لیزر اسکنر هوایی سعی گردید که تعدادی از درختانی که تاجشان آزاد بودند به تفکیک در هر طبقه قطری و پراکنش متناسب انتخاب شوند. در نهایت ۱۲۵ درخت از گونه‌های مختلف (ممرز، انجیلی، توسکا، پلت، صنوبر زبان‌گنجشک، پالونیا، کریپتومریا، کاج و انواع سرو) در منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات نوع گونه، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج هر درخت اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه از دستگاه خط‌کش دوبازو و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان از دستگاه ورتکس لیزری (Vertex Laser VL 402) با دقت ۰/۱ متر و برای اندازه‌گیری قطر بزرگ و کوچک تاج درختان از متر لیزری استفاده شد. به‌منظور ثبت دقیق موقعیت مکانی هر درخت از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS Trimble R3) استفاده و نقشه پراکنش درختان با دقت کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر در محیط GIS تهیه شد. برای محاسبه و برآورد حجم سرپای تک‌درختان با توجه به نوع گونه درختی از جداول حجم دو عامله و برای گونه‌های دست‌کاشت با در نظر گرفتن ضریب شکل ۰/۵ و قطر و ارتفاع (از رابطه ۱) استفاده شد. برای محاسبه رویه زمینی از رابطه ۲ استفاده گردید. مساحت تاج پوشش درختان نمونه نیز بر اساس قطرهای اندازه‌گیری‌شده از زمین با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$V = g_i \times H_i \times f \quad (۱)$$

$$g_i = \frac{\pi}{4} DBH_i^2 \quad (۲)$$

$$A = \pi\left(\frac{LD * SD}{4}\right) \quad (۳)$$

که در آن، DBH قطر برابر سینه (سانتی‌متر)، g سطح مقطع (مترمربع)، A مساحت تاج پوشش (مترمربع)، LD قطر بزرگ، LS قطر کوچک (متر)، H ارتفاع (متر) و f ضریب شکل.

داده‌های لیزر اسکنر هوایی و پردازش آن‌ها: داده‌های لیزر اسکنر هوایی و تصاویر هوایی رقومی مورد استفاده در این مطالعه در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۷ توسط شرکت رایان نقشه با میانگین ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و میانگین تراکم ٤ پالس در مترمربع و با استفاده از دستگاه Riegl LMS Q560 برداشت شد. پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه شامل آماده‌سازی (نصب و کالیبره کردن) داده‌های لیزر اسکنر هوایی توسط شرکت نقشه انجام گرفت. سپس مراحل مربوط به جدا کردن جنگل از پوشش گیاهی سطح زمین و جداسازی و طبقه‌بندی داده‌های لیزر اسکنر هوایی به سه طبقه پوشش گیاهی، زمین و سایر و همچنین به سه طبقه برگشتی شامل اولین برگشت پالس‌ها، دومین برگشت پالس‌ها و سایر برگشت پالس‌ها انجام گرفت. تمامی نقاط پرت (نقاط با ارتفاع خیلی زیادتر از درختان منطقه) حذف و سپس لایه سطح زمین بر اساس الگوریتم کراس و پفیفر[1] (۱۲) تهیه شد (۱٦ و ۲۱).

در این پژوهش تمامی مشخصه‌های آماری ارتفاع، تراکم و شدت[2] داده‌های پالس اول و آخر داده‌های لیزر اسکنر هوایی به‌طور جداگانه تهیه شدند که در مجموع ۱۱۱ شاخص تهیه و استخراج شد. مشخصه‌های آماری ارتفاعی داده‌های لیزر اسکنر هوایی شامل صدک‌های ارتفاعی و تمامی آماره‌های توصیفی ارتفاعی نقاط داده‌های لیزر اسکنر هوایی شامل، میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار محاسبه شد. مشخصه‌های آماری تراکم بر اساس نسبت نفوذ پالس‌های لیزری در درختان می‌باشد که این مشخصه‌های آماری نیز برای دو مجموعه داده پالس اول و آخر به‌طور جداگانه محاسبه گردید که شامل نسبت پالس‌ها در صدک‌ها به کل پالس ول و آخر، درصد پالس اول بالای حد آستانه ۲ متر و همه پالس‌های بالای حدآستانه به کل پالس‌ها می‌باشد.

همچنین تصاویر هوایی رقومی مورد استفاده در این پژوهش مربوط به عملیات عکس‌برداری که توسط مهندسین مشاور رایان نقشه و با استفاده از دوربین رقومی UltraCam-D در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۰ برداشت شده است. جهت جداسازی مرز دقیق تاج پوشش تک‌درختان و تهیه پلی‌گون مرز آن‌ها از تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam-D منطقه مورد مطالعه با دقت ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. داده‌های لیزر اسکنر هوایی مربوط به هر درخت نمونه با استفاده از مختصات مرکز درختان و پلی‌گون تهیه‌شده از تاج درختان نمونه نیز استخراج شد.

برآورد مشخصه‌های کمی (ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش) تک‌درختان با استفاده از الگوریتم‌های پارامتریک و ناپارامتریک: در این پژوهش برای برآورد مشخصه‌های کمی از مجموع ۱۲۵ تک‌درخت برداشت شده زمینی در منطقه مورد مطالعه، ۹۸ نمونه در فرآیند مدل‌سازی به‌کار گرفته شدند و ۲۷ درخت نمونه به‌منظور ارزیابی و برازش الگوریتم‌های داده کاوی و مدل‌های

1- Kraus and Pfeifer
2- Ampilitude

رگرسیونی و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری مدل‌های برآوردی مورد استفاده قرار گرفتند. مدل‌سازی و برآورد داده‌ها عموماً به دو روش پارامتریک و ناپارامتریک انجام می‌شود. روش پارامتریک و رگرسیون خطی روشی آماری است که در آن رابطه بین دو یا چند متغیر کمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت اجرای رگرسیون خطی چندمتغیره ابتدا ارتباط بین مقادیر مشخصه‌های آماری داده‌های لیزر اسکنر هوایی و مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی، ارتفاع، قطر برابر سینه و مساحت تاج تک‌درختان انجام شد. با توجه به تعداد خیلی زیاد متغیرهای مستقل، برای انتخاب متغیرها از الگوریتم جنگل تصادفی و شاخص اهمیت استفاده گردید. در روش دوم مدل‌سازی داده‌ها، روش‌های ناپارامتریک می‌باشد که انواع مختلفی دارند؛ روش‌های داده‌کاوی[1] یکی از روش‌های ناپارامتریک می‌باشد. هدف اصلی این تحلیل پیش‌بینی عبارت است از یافتن رابطه میان متغیر وابسته و مستقل و پیش‌بینی مقادیر برای نقاط فاقد اطلاعات است. از الگوریتم‌های داده‌کاوی می‌توان جنگل تصادفی (RF)[2]، نزدیک‌ترین همسایه (k-NN)[3] و ماشین بردار پشتیبان (SVM)[4] و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[5] اشاره کرد. در اجرای الگوریتم ناپارامتریک جنگل تصادفی ارتباط بین مشخصه‌های ارتفاع، رویه زمینی، حجم، رویه زمینی و قطر برابر سینه تک‌درختان به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر مشخصه‌های لیزر اسکنر هوایی به‌عنوان متغیر مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ابتدا برای تعیین تعداد درختان بهینه و تهیه نمودار میانگین مربعات خطای داده‌های آزمون و آموزش الگوریتم جنگل تصادفی با ۱۰۰۰ درخت اجرا گردید. سپس با تفسیر نمودار میانگین مربعات خطای داده‌های آموزش و آزمون حاصل شده جایی که با افزایش تعداد درختان تغییری در کاهش میزان میانگین مربعات خطای آموزش و آزمون مشاهده نمی‌شود به‌عنوان تعداد درخت بهینه انتخاب شد. یکی دیگر از پارامترهای مهم در اجرای الگوریتم جنگل تصادفی تعداد برآوردکننده‌ها k در هر گره برای برآورد متغیر وابسته می‌باشد. یکی از ساده‌ترین راه‌های ممکن، استفاده از جذر کل تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل می‌باشد که به‌عنوان برآوردکننده در هر گره مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی دقیق در این مطالعه از ۲± جذر کل تعداد متغیرها مورد استفاده قرار گرفتذتا k یا تعداد برآوردکننده‌های بهینه در هر گره، انتخاب گردد (۱۹). در اجرای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) تعیین مقادیر بهینه γ، ε و c مهم می‌باشد. برای پیدا کردن مقادیر بهینه پارامترهای c و ε از روش جستجو شبکه مشخص شده و اعتبارسنجی ۱۰ قسمتی با ۱۰۰۰ تکرار و γ ثابت استفاده گردید. در روش جستجو شبکه مشخص شده برای c از مقادیر ۱ تا ۲۰ که برابر با دامنه متغیرهای ورودی می‌باشد و برای مقادیر ε از ۰/۱ تا ۱ با فواصل ۰/۱ استفاده گردید. در این مطالعه نیز، ٤ کرنل پایه شعاعی[6]، چندجمله‌ای[7]، حلقوی[8] و خطی[9] به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند (۱۹). در اجرای الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه تعداد k ها، نوع متریک فاصله و وزن‌دهی یا عدم وزن‌دهی به نزدیک‌ترین همسایه‌ها، سه پارامتر مهم در اجرای صحیح این الگوریتم هستند. برای انتخاب بهینه این متغیرها از روش چندبخشی اعتبارسنجی چندبخشی

1- Data Mining
2- Random Forest
3- K Nearest Nieghbor
4- Suport Vector Machines
5- Artificial Neural Network
6- Radial Base Function
7- Poly nominal
8- Sigmoid
9- Linear

(V-fold cross) یعنی کنارگذاری بخشی از نمونه‌ها برای آزمون و به‌کارگیری بقیه نمونه‌ها به‌عنوان آموزش در این مطالعه استفاده شد. در این روش بعد از وارد کردن دامنه k علاوه بر ارائه k بهینه مجذور میانگین مربعات خطا به ازائ هر مقدار از k را نیز ارائه می‌دهد. در این مطالعه دامنه ۱ تا ۵۰ در نظر گرفته شد (۱۸). در این پژوهش از ٤ معیار فاصله اقلیدسی[1] مربع اقلیدسی[2] منهتن[3] و چبیشف[4] وزن داده شده به‌طور جداگانه به‌کار گرفته شد و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید. در اجرای الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی ارتباط بین مشخصه‌های ارتفاع، رویه زمینی، حجم، رویه زمینی و قطر برابر سینه تک‌درختان به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر مشخصه‌های لیزر اسکنر هوایی به‌عنوان متغیر مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به تعداد خیلی زیاد متغیرهای مستقل، برای انتخاب متغیرها از الگوریتم شاخص اهمیت جنگل تصادفی استفاده گردید. با تعیین ۱۰ متغیر بسیار مهم انتخاب و مدل‌سازی بر اساس آن‌ها انجام شد. در این مطالعه در نرم‌افزارهای R و Statistica به‌منظور ارزیابی و برازش الگوریتم‌های داده‌کاوی و مدل‌های رگرسیونی، ۲۵ درصد از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی، ($\hat{y}_i$) و مقادیر حقیقی (y_i) با استفاده از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا و اریب به‌صورت مطلق و نسبی اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند (رابطه‌های ۳، ٤، ۵ و ٦).

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \qquad (۳)$$

$$\mathrm{RMSE}\,\% = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100 \qquad (٤)$$

$$\overline{D} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)}{n} \qquad (۵)$$

$$\overline{D}\,\% = \frac{\overline{D}}{\bar{y}} \times 100 \qquad (٦)$$

که در آن‌ها، n تعداد نمونه‌ها، $\hat{y}_i$ متغیر برآوردشده از داده‌های لیزر توسط مدل و y_i متغیر اندازه‌گیری‌شده زمینی می‌باشد. همچنین برای بررسی تفاوت معنی‌داری میزان تفاوت مقادیر ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری‌شده زمینی و برآورد شده‌اند. از داده‌های لیزر اسکنر هوایی، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس برای مقایسه از آزمون t جفتی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج پوشش نشان داد که میانگین، حداکثر و حداقل ارتفاع درختان به‌ترتیب (۱٦/۳۸، ۳٦/۵ و ۹ متر)، مساحت تاج به‌ترتیب (۹٤/۵٦، ۵۷٦/٤۵ و ۰/۸٦۳ مترمربع)، قطر برابر سینه به‌ترتیب (٤۷/٦٤، ۱۵٦ و ۱۸ سانتی‌متر)، حجم به‌ترتیب (۲/۵۵، ۳/٤۵ و ۰/۱۷۵ مترمکعب) و رویه زمینی به‌ترتیب (۰/۲۱۳، ۱/۹۱ و ۰/۰۲۵ مترمربع) می‌باشد. آماره‌های توصیفی مشخصه‌های ارتفاع، مساحت تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها بالا بوده و سعی شده از طبقات قطری و ارتفاعی مختلف درختان انتخاب شوند (جدول ۱).

1- Euclidean
2- Squared Euclidean
3- Manhattan (City block)
4- Chebychev

جدول ۱- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های ارتفاع، مساحت تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان.

Table 1. Descriptive statistics of height, crown area, DBH, volume and basal area of tree.

مشخصه مورد بررسی Characteristics		تعداد درختان Number of trees	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max
ارتفاع (متر) Height (m)	مدل model	98	16.74	9	36.5
	ارزیابی Valuation	27	13.26	7.23	23.47
	کل Total	125	16.38	7.23	36.5
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	مدل model	98	91.89	0.863	576.45
	ارزیابی Valuation	27	96.84	2.16	131.75
	کل Total	125	94.56	0.863	576.45
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	مدل model	98	48.6	18	156
	ارزیابی Valuation	27	42.79	23	80.5
	کل Total	125	47.4	18	156
حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)	مدل model	98	3.06	0.175	3.45
	ارزیابی Valuation	27	1.114	0.12	26.24
	کل Total	125	2.55	0.12	26.24
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	مدل model	98	0.123	0.025	1.91
	ارزیابی Valuation	27	0.148	0.041	0.384
	کل Total	125	0.213	0.025	1.91

برآورد ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم جنگل تصادفی (RF): همان‌طور که گفته شد در اجرای الگوریتم جنگل تصادفی تعیین پارامترهای تعداد درختان بهینه و تعداد برآوردکننده‌ها k در هر گره، در اجرای بهینه مدل مهم می‌باشد. جدول ۲، نتایج ارزیابی حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد k های مختلف در برآورد ارتفاع ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در جدول ۲ در بهترین مدل برآورد مشخصه‌های ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی به‌ترتیب ۱۳/۵۲، ٤٤/۰۷، ۲۳/٦۸، ۱۳۸/۷۲ و ٦٦ درصد با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی محاسبه شد.

جدول ۲- برآورد ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم جنگل تصادفی.

Table 2. Estimating height, crown area, DBH, volume and basal area using ALS and RF algorithm.

مشخصه Characteristics	درخت بهینه Optimal tree	k تعداد برآوردکننده Number of k	ضریب تبیین R^2	میانگین مجذور مربعات خطا RMSE	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	اریب Bias	درصد اریب Bias%
ارتفاع (متر) Height (m)	500	8	0.85	1.793	13.52	0.67	5.05
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	500	11	0.79	42.68	44.07	-0.5	0.51
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	500	8	0.72	10.13	23.68	6.1	26.14
حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)	500	12	0.52	1.54	138.72	1.37	123.67
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	500	8	0.65	0.098	66	0.07	50.87

برآورد ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM): در اجرای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان رگرسیون (SVM) در برآورد هر یک از مشخصه‌های کمی ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تعیین مقادیر بهینه گاما (γ)، اپسیلون و ظرفیت بسیار مهم و تأثیرگذار می‌باشد. جدول ۳ نتایج ارزیابی حاصل از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با تعداد k های مختلف در برآورد ارتفاع ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در جدول ۳، در بهترین مدل برآورد مشخصه‌های کمی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید تابع چندجمله‌ای دارای بهترین عملکرد نسبت به سایر توابع داشت.

برآورد ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (*k*-NN): در این مطالعه دامنه k از ۱ تا ۲۰ با ٤ معیار اقلیدسی، مربع اقلیدسی، مان‌هاتان و چبیشف به‌صورت وزن داده شده به‌طور جداگانه به‌کار گرفته شد و جدول ٦، نتایج ارزیابی حاصل از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه ماشین بردار پشتیبان با تعداد k های مختلف در برآورد ارتفاع ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در جدول ٤ در بهترین مدل برآورد مشخصه‌های کمی با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه آورده شده است که نشان داده شد که الگوریتم چبیشف وزن‌دار و اقلیدسی وزن‌دار عملکرد بهتری نسبت به مربع اقلیدسی و مان‌هاتان داشتند.

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین، مربعات خطا، اریب و درصد اریب برای مشخصه ارتفاع، مساحت تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و داده‌های لیزر اسکنر هوایی.

Table 3. The calculated values of the R^2 , RMSE, relative RMSE, the bias and relative bias for height, crown area, DBH, volume and basal area using the SVM algorithm and ALS data.

درصد اریب Bias%	اریب Bias	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	میانگین مجذور مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2	Capacity (c)	Epsilon (ε)	Gama (γ)	Kernel	مشخصه Characteristics
7.53	-0.99	14.92	1.97	0.89	18	0.1	0.009	Poly nominal	ارتفاع (متر) Height (m)
0.78	10.76	43.1	44.151	0.89	49	0.1	0.009	Poly nominal	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)
12.54	-5.37	22.81	9.76	0.76	29	0.2	0.009	Poly nominal	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)
8.74	-0.097	78.39	0.87	0.72	16	0.2	0.009	Poly nominal	حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)
31.45	0.04	47.83	0.071	0.61	22	0.1	0.009	Poly nominal	رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)

جدول ٤- مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین، مربعات خطا، اریب و درصد اریب برای مشخصه ارتفاع ارتفاع، مساحت تاج پوشش، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم *k*-NN و داده‌های لیزر اسکنر هوایی.

Table 4. The calculated values of the R^2, RMSE, relative RMSE, the bias and relative bias for height, crown area, DBH, volume and basal area using the *k*-NN algorithm and ALS data.

درصد اریب Bias%	اریب Bias	درصد میانگین مجذور مربعات خطا RMSE%	میانگین مجذور مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2	k بهینه Optimal k	دامنه k Range k	معیار فاصله‌ای Distance function	مشخصه Characteristics
2.52	0.33	16.49	2.2	0.86	20	1-20	Chebyshev Weighted	ارتفاع (متر) Height (m)
7.75	7.45	26.82	25.17	0.84	3	1-20	Euclidean weighted	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)
48.7	-2.3	26.84	11.49	0.5	1	1-20	Chebyshev Weighted	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)
17.1	-0.001	67.45	0.75	0.84	20	1-20	Chebyshev Weighted	حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)
0.92	-0.001	52.59	0.078	0.66	2	1-20	Euclidean weighted	رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)

برآورد ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی: نتایج حاصل از برآورد ارتفاع، رویه زمینی، حجم، قطر برابر سینه و سطح تاج تک‌درختان با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی با استفاده از متغیرهای مستقل ایجاد شده از طریق شاخص اهمیت جنگل تصادفی نشان داد که میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۱۳/۳۹، ٥٦/٧٨، ٦ ۳۲/۱۷، ۲۲/۲٤ و ۳۱/۱۳ با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی حاصل شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین، مربعات خطا، اریب و درصد اریب برای مشخصه‌های ارتفاع، رویه زمینی، حجم، قطر برابر سینه و سطح تاج تک‌درختان با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی ANN و داده‌های لیزر اسکنر هوایی.

Table 5. The calculated values of the R^2, RMSE, relative RMSE, the bias and relative bias for height, crown area, DBH, volume and basal area using the ANN algorithm and ALS data.

مشخصه Characteristics	ضریب تبیین R^2	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	درصد مجذور میانگین مربعات خطا RMSE%	اریب Bias	درصد اریب Bias%
ارتفاع (متر) Height (m)	0.869	1.77	13.39	056	4.29
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	0.875	0.63	56.78	0.23	21.36
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	0.97	0.048	32.17	0.008	5.78
حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)	0.65	9.51	22.24	2.99	6.98
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	0.63	30.15	31.13	-.3.69	3.81

برآورد ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم پارامتریک رگرسیون چندمتغیره خطی: نتایج حاصل از برآورد ارتفاع، رویه زمینی، حجم، قطر برابر سینه و سطح تاج تک‌درختان با استفاده از رگرسیون چندمتغیره خطی به روش گام به گام با استفاده از متغیرهای مستقل ایجاد شده از طریق شاخص اهمیت جنگل تصادفی نشان داد که میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۱۹/۹، ۷۰/۱، ۲٤۲/٦۷، ۳۲/۳۷ و ۷٤/۳۵ با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی حاصل شد (جدول ٦).

جدول ٦- مقادیر محاسبه شده مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین، مربعات خطا، اریب و درصد اریب برای مشخصه‌های ارتفاع، رویه زمینی، حجم، قطر برابر سینه و مساحت تاج تک‌درختان با استفاده از رگرسیون چندمتغیره خطی و داده‌های لیزر اسکنر هوایی.

Table 6. The calculated values of the RMSE, relative RMSE, the bias and relative bias for height, crown area, DBH, volume and basal area using the linear regression and ALS data.

درصد اریب Bias%	اریب Bias	RMSe%	RMSe	ضریب تبیین R^2	مشخصه Characteristics
11.45	1.51	19.19	2.64	0.687	ارتفاع (متر) Height (m)
5.4	0.71	70.1	0.01	0.625	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)
54.78	0.61	32.37	2.7	0.612	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)
12.87	5.51	-	13.85	068	حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)
4257	40.6	53.7	52	0.863	رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)

جدول ۷- نتایج آنالیز واریانس مدل‌های رگرسیونی مشخصه‌های برآورد ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی.

Table 7. The results of analysis of variance of regression models for estimating height, crown area, DBH, volume and basal area using ALS data.

سطح معنی‌داری Significance	آماره F Statistics F	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	مشخصه Characteristics	
0.000	213.538**	3050.469	3050.469	1	رگرسیون Regression	ارتفاع (متر) Height (m)
		14.285	1371.395	96	باقی‌مانده‌ها Residuals	
			4421.864	97	کل Total	
0.000	616.124**	829883.089	829883.089	1	رگرسیون Regression	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)
		1346.941	129306	96	باقی‌مانده‌ها Residuals	
			959189.434	97	کل Total	
0.000	172.459**	2283.313	2283.313	1	رگرسیون Regression	حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)
		13.24	1271.013	96	باقی‌مانده‌ها Residuals	
			3554.326	97	کل Total	

ادامه جدول ۷-

Continue Table 7.

مشخصه Characteristics		درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	آماره F Statistics F	سطح معنی‌داری Significance
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	رگرسیون Regression	1	4.649	4.649	142.989**	0.000
	باقی‌مانده‌ها Residuals	96	3.123	0.033		
	کل Total	97	7.771			
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	رگرسیون Regression	1	28859.392	28856.392	128.051**	0.000
	باقی‌مانده‌ها Residuals	96	21635.976	225.275		
	کل Total	97	54095.368			

مقایسه نتایج برآورد مشخصه‌های ارتفاع، مساحت تاج، قطر برابر سینه، حجم، رویه زمینی با بهترین الگوریتم با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی: نتایج حاصل از الگوریتم‌های ناپارامتریک و رگرسیون چندمتغیره در برآورد مشخصه‌های ارتفاع، مساحت تاج، قطر برابر سینه، حجم، رویه زمینی با استفاده از لیزر اسکنر هوایی نشان داد که الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مشخصه‌های ارتفاع، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی به‌ترتیب با مجذور درصد میانگین مربعات خطا ۱۳/۳۹، ۲۲/۲٤، ٥٦/۷۸ و ۳۲/۱۷ درصد بهتر توانسته این مشخص‌ها را برآورد نماید. همچنین الگوریتم K-NN برای برآورد سطح تاج با درصد میانگین مربعات خطا ۲٥/۸۸ درصد توانسته برآورد نماید (جدول ۸).

جدول ۸- برآورد مشخصه ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با بهترین الگوریتم.

Table 8. Estimation of height, crown surface, DBH, volume and basal area with best algorithm.

مشخصه Characteristics	بهترین الگوریتم Best algorithm	RMSe%	درصد اریب Bias%	انحراف از معیار تفاوت‌ها Deviation from the criterion of differences
ارتفاع (متر) Height (m)	ANN	13.39	4.29	1.714
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	K-NN	25.88	4.48	39.266
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	ANN	22.24	6.98	9.208
حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)	ANN	56.78	21.36	0.597
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	ANN	32.17	5.78	0.049

نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر مشاهده شده با مقادیر برآورد شده مشخصه مشخصه ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک و داده‌های لیزر اسکنر هوایی نشان داد که الگوریتم شبکه عصب مصنوعی و نزدیک‌ترین همسایه دارای کم‌ترین انحراف معیار تفاوت می‌باشند؛ و همه الگوریتم‌ها به‌جز الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه مقادیر مشخصه ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی را بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد نمودند. همچنین تفاوت بین مقادیر برآوردشده الگوریتم‌های ناپارامتریک نزدیک‌ترین همسایه و شبکه عصبی مصنوعی و پارامتریک با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار (جدول ۹).

جدول ۹- تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک.

Table 9. Differences of actual values with estimated values of height, crown area diameter at breast height, volume, and basal area using aerial laser scanner data and nonparametric and parametric algorithm.

مشخصه Characteristics	الگوریتم Algorithm	میانگین واقعی Observed mean	میانگین برآوردشده Estimated Mean	آماره t Statistics t	سطح معنی‌داری Significance	میانگین تفاوت‌ها Mean differences	انحراف از معیار تفاوت‌ها S.D Difference
ارتفاع (متر) Height (m)	ANN	13.26	13.38	-01.727	0.278 ns	0.5698	1.7146
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	*k*-NN	96.84	89.38	1.538	0.139 ns	4.88	25.35
قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm^2)	ANN	42.79	45.78	-1.68	0.103 ns	2.9904	9.2089
حجم سرپا (مترمکعب) Volume (m^3)	ANN	1.11	1.35	-2.07	0.051 ns	0.2379	0.5973
رویه زمینی (مترمربع) Basal aera (m^2)	ANN	0.148	0.157	-0.985	0.334 ns	0.008	0.0467

در برآورد مشخصه ارتفاع، بهترین نتیجه مربوط به به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصب مصنوعی با درصد جذر میانگین مربعات خطا (۱۳/۳۹ درصد) و انحراف معیار تفاوت‌ها (۱/۷۱ متر) بود که نسبت به نتایج پژوهش‌های خرمی و همکاران (۲۰۱۳) میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ۳ تا ٤ درصد، کاواک و همکاران (۲۰۰۷) میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ٦/٥ تا ۷/٥ درصد دارای مقادیر بیش‌تری می‌باشد. بالا بودن خطای حاصل از این مطالعه نسبت به مطالعه خرمی و همکاران (۲۰۱۳) و کاواک و همکاران (۲۰۰۷) احتمالاً به گونه‌های مختلف استفاده شده در این مطالعه و پراکنش ارتفاع آن‌ها در طبقات ارتفاعی برمی‌گردد. همچنین با نتایج جانگ و همکاران، (۲۰۱۱) میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ٤/۷ تا ۱۳/۹ برآورد نمودند در یک راستا است (۱۱، ۱۲ و ١٦). در برآورد مشخصه سطح تاج، بهترین نتیجه مربوط به به‌کارگیری الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با درصد میانگین مجذور مربعات خطا (۲٦/۸۲ درصد) در این پژوهش محاسبه شد که

با نتیجه پژوهش جانگ و همکاران (۲۰۱۱) که ضرایب تبیین و میانگین مجذور مربعات خطا و درصد میانگین مجذور مربعات خطا را به‌ترتیب ۰/٦۹ و ٦/۸٤ مترمربع و ۲۵ درصد همخوانی دارد (۱۱). در برآورد مشخصه قطر برابر سینه، بهترین نتیجه مربوط به به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصب مصنوعی با درصد میانگین مجذور مربعات خطا (۲۲/۲٤ درصد) در این پژوهش محاسبه شد که این مقدار بیش‌تر از مقدار محاسبه شده در مطالعات کورپلا و همکاران (۲۰۰۷)، یائو و همکاران (۲۰۱۱) با میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ۹/۵ تا ۱٤/۵ درصد و وو و همکاران (۲۰۱۵) با میزان میانگین مجذور مربعات خطا بین ۱٤/۵ تا ۲۰/۵ درصد می‌باشد و این تفاوت‌ها احتمالاً به نوع توده (سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ) و تراکم پالس‌های لیزری داده‌های مورد استفاده برمی‌گردد (۱۳، ۲٤ و ۲٦). در برآورد مشخصه حجم، بهترین نتیجه مربوط به به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصبی با درصد میانگین مجذور مربعات خطا (٥٦/۷۸ درصد) در این پژوهش محاسبه شد که نسبت به نتایج وو و همکاران (۲۰۱۵) با میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ۲۲/۵ تا ٤۲/۵، یائو و همکاران (۲۰۱۱) با میزان خطای درصد میانگین مجذور مربعات خطا بین ۱٦ تا ۲٦درصد و سیلوا (۲۰۱٦) با میزان میانگین مجذور مربعات خطا ۵۸/٦ درصد تفاوت قابل‌توجهی دارد (۲۳، ۲٤ و ۲۵) و دارای دقت پایینی بود که می‌توان این تفاوت‌ها را به نوع توده و جداول حجم و نوع توده مرتبط دانست. همچنین در برآورد مشخصه رویه زمینی، بهترین نتیجه مربوط به به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصبی با درصد میانگین مجذور مربعات خطا (۳۲/۱۷ درصد) در این پژوهش محاسبه شد که کم‌تر از نتایج سیلوا و همکاران (۲۰۱٦) با درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۵۸/٦۳ می‌باشد (۲۳).

نتیجه‌گیری

هدف اصلی آماربرداری جنگل و بررسی مشخصه‌های کمی آن، تهیه اطلاعات به‌هنگام برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع جنگلی می‌باشد که نیازمند اطلاعات دقیق از کل منطقه مورد نظر می‌باشد. تهیه اطلاعات دقیق مشخصه‌های کمی تک‌درختان هم‌چون ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم سرپا و رویه زمینی از داده‌های موردنیاز برای تهیه اطلاعات در سطح قطعه نمونه و سپس واحدهای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه جنگل‌ها می‌باشد. در این پژوهش قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد مشخصه‌های کمی تک‌درختان هم‌چون ارتفاع، سطح تاج، قطر برابر سینه، حجم و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایه و الگوریتم‌های پارامتریک رگرسیون خطی چندمتغیره مورد ارزیابی قرار گرفت. برآورد دقیق این مشخصه‌ها در توده‌های پهن‌برگ آمیخته نیازمند اطلاعات دقیق از ساختار عمودی و افقی توده‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه و مقایسه آن با سایر مطالعات، در نهایت چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که داده‌های لیزر اسکنر هوایی توانایی برآورد ارتفاع تک‌درختان را با دقت قابل‌قبولی دارا می‌باشد و برای برآورد مشخصه‌های قطر برابر سینه، سطح تاج و رویه زمینی دقت قابل‌قبول کم می‌باشد همچنین برای برآورد مشخصه‌های حجم سرپا تک‌درختان دارای دقت پایین بود. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با سایر مطالعات انجام‌شده نشان داد که درصد میانگین مجذور مربعات خطا و انحراف معیار تفاوت‌های به‌دست آمده در این پژوهش برای مشخصه‌های ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج به عواملی چون:

۱) نوع توده (پهن‌برگ یا سوزنی‌برگ)، با توجه به این‌که پیدا کردن نوک تاج درختان در توده‌های

پهن‌برگ نسبت به سوزنی‌برگ با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی دارای خطای بیش‌تری می‌باشد. ۲) پایین بودن تراکم پالس‌های لیزری در مترمربع (میانگین ٤ پالس در مترمربع) نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده (میانگین ۱۰ پالس در مترمربع)، هرچه تراکم پالس‌های لیزری بیش‌تر باشد میزان دقت برآوردها بیش‌تر می‌شود برمی‌گردد. امید می‌رود که در پژوهش‌های تکمیلی در مورد برآورد ارتفاع، حجم، رویه زمینی، قطر برابر سینه و مساحت تاج درختان در جنگل‌های زاگرس و جنگل‌کاری‌ها و سایر توده‌های یک آشکوبه با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در فصل رویش و خزان و با تراکم بیش‌تر انجام شود و همچنین پژوهش‌های تکمیلی در سایر مناطق مختلف جنگل‌های ایران که دارای یک آشکوبه هستند دارند و تداخل تاجی با دیگر درختان ندارند می‌توان در سطح وسیع‌تر انجام گیرد.

منابع

1.Amiri, M., Darghahi, D., Azadefar, D., and Habashi, E. 2008 Comparison of the composition and structure of natural and utilized lagoons in the Lough Forest of Gorgan, J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 6. 54-63.

2.Andersen, H.E., Reutebuch, S.E., and McGaughey, R.J. 2006. Rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods. Can. J. Rem. Sens. 32: 5. 355-366.

3.Brandtberg, T., Warner, T.A., Landenberger, R.E., and McGraw, J.B. 2003. Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling densitylidar data from the eastern deciduous forest in North America. Remote Sensing of Environment, 85: 3. 290-303.

4.Chen, Q., et al. 2007. Estimating basal area and stem volume for individual trees from lidar data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 73: 12. 1355-1365.

5.Chen, Q., Baldocchi, D., Gong, P., and Kelly, M. 2006. Isolating individual trees in a savanna woodland using small footprint lidar data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72: 8. 923-932.

6.Dagestani. 2009. Application of remote sensing science in forest management, first geomechanical congress. Pp: 4-8.

7.Doctor Bahramnia Forestry plan Management. 2009. Forest Science Faculty, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Recourses. 478p. (In Persian)

8.Gougeon, F.A. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. Can. J. Rem. Sens. 213: 274-284.

9.Hajeb, M. 2009. Extraction of Road from Lidar Data. Master's Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran. 80p.

10.Heurich, M., and Thoma, F. 2003. Estimation of forestry stand parameters using laser scanning data in temperate, structurally rich natural European beech (*Fagussylvatica*) and Norway spruce (Piceaabies) forests. Forestry. 81: 5. 645-661.

11.Jung, S.E., Kwak, D.A., Park, T., Lee, W.K., and Yoo, S. 2011. Estimating crown variables of individual trees using airborne and terrestrial laser scanners. Remote Sensing, 3: 11. 2346-2363.

12.Khorrami, R.A., Darvishsefat, A.A., Tabari Kochaksaraei, M., and Shataee Jouybari, Sh. 2013. Potential of LIDAR data for estimation of individual tree height of Acer velutinum and Carpinus betulus, Iran. J. For. 6: 2. 127-140. (In Persian)

13.Korpela, I., Dahlin, B., Schäfer, H., and Bruun, E. 2007. Single-tree forest inventory using Lidar and aerial images for 3Drreetop positioning, species recognition, height and crown width estimation. ISPRS. 36: 1-7.

14.Kraus, K., and Pfeifer, N. 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, ISPRS J. Photogrammetry Rem. Sens. 53: 193-203.
15.Koch, B., Heyder, U., and Weinacker, H. 2006. Detection of individual tree crowns in airborne lidar data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72: 4. 357-363.
16.Kwak, D.A., Lee, W.K., Lee, J.H., Biging, G.S., and Gong, P. 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. J. For. Res. 12: 6. 425-434.
17.Makela, H., and Pekkarinen, A. 2004. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. Forest Ecology and Management. 196: 245-255.
18.Mohammadi, J., Shataee, S., Namiranian, M., and Næsset, E. 2017. Modeling biophysical properties of broad-leaved stands in the hyrcanian forests of Iran using fused airborne laser scanner data and ultraCam-D images. Inter. J. Appl. Earth Obser. Geoinfo. 61: 32-45.
19.Mohammadi, J., and Shataee, Sh., Yaghmaee, F., and Mahiny, A.S. 2010. Modeling Forest Stand Volume and Tree Density Using Landsat ETM+ Data. International Journal of Remote Sensing. 31: 11. 2959-2975.
20.Morsdorf, F., et al. 2004. LIDAR-based geometric reconstruction of boreal type forest stands at single tree level for forest and wildland fire management. Remote Sensing of Environment. 92: 3. 353-362.
21.Persson, A., Holmgren, J., and So¨derman, U. 2002. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. Photogramm Eng. Rem. Sens. 68: 925-932.
22.Popescu, S.C., Wynne, R.H., and Nelson, R.H. 2004. Measuring individual tree crown diameter with LIDAR and assessing its influence on estimating forest volume and biomass, Can. J. Rem. Sens. 29: 5. 564-577.
23.Silva, Carlos A., Hudak, A.T, Vierling, L.A. 2016. Imputation of individual longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) tree attributes from field and LiDAR data. Can. J. Rem. Sens. 42: 5. 554-573.
24.Wu, J., Yao, W., Choi, S., and Park, T. 2015. A comparative study of predicting DBH and stem volum of individual trees in a temperate forest using airborne waveform LiDAR. IEEE geoscience and Remote Sensing letters. 5: 1-5.
25.Yao, W., Krzystek, P., and Heurich, M. 2012. Tree Species Classification and Estimation of Stem Volume and DBH based on Single Tree Extraction by Exploiting Airborne LiDAR Data. Remote Sensing of Environment. 123: 368-380.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 26 (1), 2019
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2019.15422.1762

Estimation of the some quantitative characteristics of individual tree using airborne laser scanning data in part of Shast-Kalate forests of Gorgan

S.Z. Seyed Mousavi[1], *J. Mohammadi[2] and Sh. Shataee[3]
[1]M.Sc. Graduate, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, [2]Assistant Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, [3]Professor, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 07.24.2018; Accepted: 02.08.2019

Abstract
Background and Objectives: In this study we evaluated the potential of airborne laser scanner data in estimation of height, volume, basal area and DBH and canopy cover area of individual trees for the part of Shast kalate of Gorgan.

Materials and Methods: In this study 125 trees that located in dominant story and without overlay with adjacent trees, were selected. Tree species, tree diameter at breast height (DBH) and tree crown diameter were measured. The height of trees was measured using a Vertex VL 402. Center coordinates of sample trees were determined using Differential Global Position System. After separating the crown border of a single tree and providing a polygon of the boundaries of them using aerial digital images, all of height and density metrics were created. Then, we explored the possibility of defining relationships between combination of airborne laser scanning data and height, volume, basal area, DBH and canopy cover area of individual trees using machine learning algorithms (Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), k-Nearest Neighbor (*k*-NN) and Artificial Neural Network (ANN)).

Results: The lowest RMSE% on independent validation data for height, volume, canopy cover, diameter at breasts, and basal area were 13.39, 56.88, 33.17, 22.34 and 25.88%. Also, the results demonstrate that the ANN algorithm can be useful for modeling biophysical properties of the individual tree in the north of Iran.

Conclusion: Overall, the results showed the ALS data has the ability to estimate of tree height, diameter at breasts and canopy cover but this data hasn't the ability to estimate the basal area and volume very accurate. Also, the results showed that between all algorithms, the ANN algorithm has a better performance than other algorithms.

Keywords: Parametric and nonparametric algorithms, data mining, biophysical properties of individual tree

*Corresponding author: mohamadi.jahangir@gmail.com