دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

ارزیابی قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد مساحت تاج پوشش و ارتفاع تک درختان جنگلی در بخشی از جنگل آموزشی-پژوهشی شصت کلاته گرگان

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

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان
۲- استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسوول: mohamadi.jahangir@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۸

چکیده

در این تحقیق قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی (ALS)در برآورد مساحت تاج پوشش و ارتفاع درختان جنگلی در بخشی از جنگل‌های طبیعی شصت کلاته گرگان مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه ۱۱۷ پایه‌ی درختی از درختان که دارای تاج پوشش مستقل بودنده‌اند و تداخل تاجی با پایه‌های مجاور نداشتند به روش تصادفی انتخاب گردیدند. در این مطالعه اطلاعات نوع گونه، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج هر درخت اندازه‌گیری شد. ارتفاع درختان با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ارتفاع درخت (Vertex IV) اندازه‌گیری و موقعیت مراکز درختان با استفاده از سیستم DGPS برداشت شد. پس از حذف تمامی نقاط و تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین و مدل رقومی سطح زمین، جهت تعیین ارتفاع و قطر بزرگ و کوچک تاج پوشش درختان از نرم‌افزار Fusion استفاده شد. جهت جداسازی مرز تاج پوشش تک درختان و تهیه پلی‌گون مرز آن‌ها از تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam-D استفاده گردید. نتایج حاصل از روابط رگرسیونی بین ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان اندازه‌گیری شده با استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی نشان داد که ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۷۴ و ۰/۹۹۷ برآورد شدند. مقدار درصد میانگین مجذور مربعات خطا ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان به ترتیب ۶/۱۳ و ۷/۲۴ درصد و میانگین اختلاف بین ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی به ترتیب ۰/۷۲ متر و ۱۲/۳۸ مترمربع به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که داده‌های لیزر اسکنر هوایی قابلیت برآورد ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان دارای تاج مستقل را با دقت بالا دارا هستند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع تک‌درختان، داده‌های لیزر اسکنر هوایی، مساحت تاج پوشش تک‌درختان، جنگل شصت کلاته گرگان

مقدمه

لازمه مدیریت توده‌های جنگلی، آماربرداری جنگل و برداشت اطلاعات توده‌ها است. همچنین برای مدیریت پایدار این توده‌ها اطلاعات بیشتری، نه فقط برای برنامه‌ریزی آینده مدیریت جنگل، بلکه برای پایش و بررسی تغییرات آن‌ها در طول دوره‌های زمانی مختلف زمانی لازم است (۱۱)، 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 (۴) 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 تک‌درختان از طریق عملیات میدانی صورت می‌گیرد اما جمع‌آوری اطلاعات به روش زمینی نیازمند زمان و هزینه‌های زیادی است (۱۶) و جمع‌آوری این اطلاعات در سطح تک‌درختان با استفاده از روش زمینی بیشتر در مساحت‌های کوچک انجام می‌پذیرد و عملاً برای مساحت‌های بزرگ و همین‌طور دور از دسترس فاقد کارایی لازم هست، بنابراین در چند سال گذشته تکنولوژی‌های جدیدی مانند سنجش از راه دور برای تکمیل و کمک به آماربرداری زمینی جنگل جهت کاهش هزینه و زمان، امکان استفاده برای مناطق وسیع‌تر و دور از دسترس استفاده شده‌اند (۱۴).

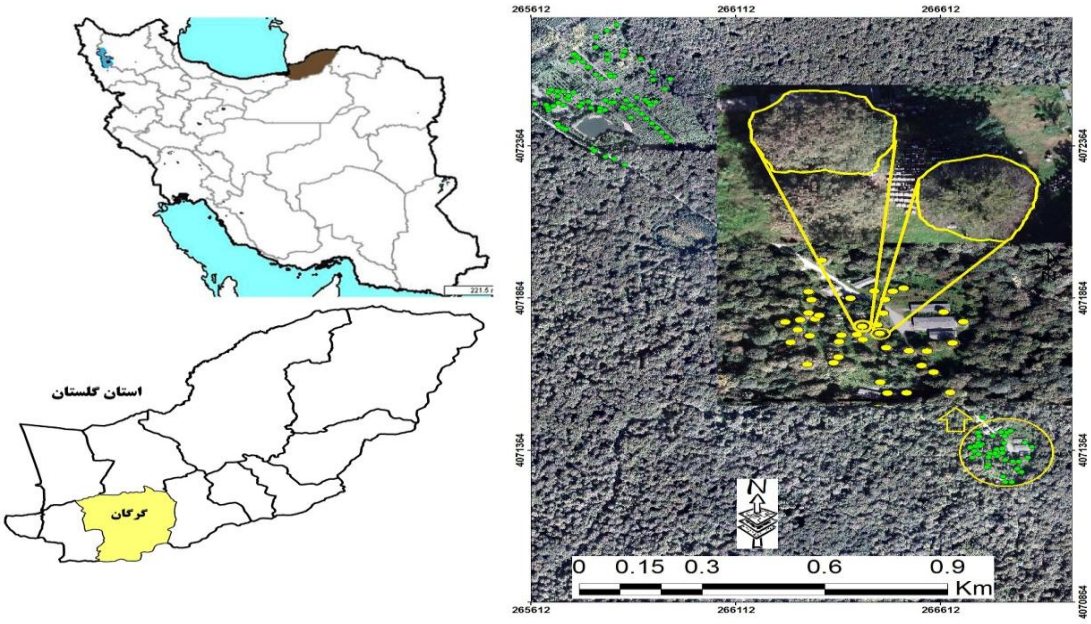
یکی از این داده‌های سنجش از راه دوری، داده‌های لیزر اسکنر هوایی است که امروزه تحولی بنیادین در تهیه اطلاعات ارتفاعی مدل رقومی ارتفاعی زمین و استخراج این مدل، استخراج مؤلفه‌های ساختاری پدیده‌های سطح زمین و به‌ویژه در جنگلداری استخراج مشخصه‌های کمی تک‌درختان مانند مساحت تاج پوشش و ارتفاع درختان شده است (۱۶). داده‌های لیزر اسکنر هوایی اطلاعات سه‌بعدی رقومی مربوط به شکل زمین شامل تعیین ساختار قائم ارتفاع روی زمین (درختان و غیره) و روشنایی سطح عوارض زمین را تولید می‌کند. لیزر اسکنر هوایی قادر به ایجاد ابر نقاط با تراکم بالا و با دقت مکانی خوب (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر در ارتفاع و کمتر از ۳۰ سانتی‌متر در سطح مسطحاتی) از زمین در مدت‌زمان کوتاهی است (۷). از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری می‌توان ارتفاع درختان و مساحت تاج پوشش و غیره را نام برد که برای تعیین حجم، ضریب شکل، تعیین درجه حاصلخیزی رویشگاه، برآورد زی‌توده ذخیره کربن، تنوع گونه‌ای، ارزیابی سلامت اکوسیستم و طبقه‌بندی تیپ‌های توده‌های جنگلی ضروری می‌باشد (۱). با توجه به ناهمگنی، نامنظمی، گستردگی تاج و کوهستانی بودن نواحی رویشی توده‌های پهن‌برگ جنگل‌های خزری و اندازه‌گیری ارتفاع و تاج پوشش تک‌درختان با استفاده از عملیات میدانی مشکل و در مقیاس بزرگ نیازمند صرف زمان و هزینه بسیار بالایی است، بنابراین برآورد ارتفاع و مساحت تاج پوشش تک

درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در جنگل‌های پهن‌برگ شمال کشور می‌تواند نتایج ارزشمندی در تهیه اطلاعات دقیق و مستمر با هزینه کمتر برای مدیریت پایدار جنگل و تدوین سیاست‌های صحیح و شناخت آن‌ها به ما ارائه دهد. خرمی و همکاران (۱۰)، قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی را در برآورد ارتفاع پایه‌های درختی پلت و ممرز مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قراردادند. نتایج روابط رگرسیونی بین ارتفاع درختان اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی برای دو گونه پهن‌برگ پلت و ممرز به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۶ و ۰/۹۵ و میانگین خطای ۳ و ۴ درصد حاصل شد. همچنین مقدار میانگین مجذور مربعات خطای ارتفاع برای گونه‌های پلت و ممرز به ترتیب ۱/۵ متر (۶ درصد) و ۱/۸۴ متر (۶ درصد) و میانگین اختلاف بین ارتفاع استخراج‌شده از دادهای لیزر اسکنر هوایی و ارتفاع اندازه‌گیری شده ۱/۰۴ و ۱/۵۳- متر حاصل شد. سوارز و همکاران (۲۰) برآورد ارتفاع تک‌درختان در توده سوزنی‌برگ را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و عکس‌های هوایی در اسکاتلند مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقادیر ضریب تبیین برای طبقات قطری مختلف بین ۰/۶۹ تا ۰/۸۶ حاصل شد. همچنین اندرسون و همکاران (۲) قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی را در ارزیابی برآورد ارتفاع تک‌درختان در توده سوزنی‌برگ در واشنگتن آمریکا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین اختلاف بین ارتفاع استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و ارتفاع اندازه‌گیری شده برای کل درختان ۱/۱۲- متر می‌باشد. کاواک و همکاران (۱۴) شناسایی و برآورد ارتفاع تک درختان را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در کره جنوبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مقادیر ضرایب تبیین و میانگین مجذور مربعات خطا برای گونه‌های *pinus koraiensis*، *Larix Loptdeis* و *Quercus sppj* به ترتیب ۰/۸۳، ۱ متر؛ ۰/۸۶، ۱/۱۲ متر و ۰/۷۸، ۱ متر حاصل شد. کورپلا و همکاران (۱۲) برآورد ارتفاع، قطر و تشخیص گونه تک درختان را در یک توده آمیخته سوزنی‌برگ و پهن‌برگ با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در منطقه‌ای در جنوب شرقی فنلاند به مساحت ۵۶/۸ هکتار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تفاوت ارتفاع اندازه‌گیری شده با استخراج شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی دقت برآورد ارتفاع ۰/۷۱ متر و درصد مجذور میانگین مربعات خطا برای ارتفاع و قطر تنه به‌ترتیب برابر ۷-۴ درصد محاسبه شد. هوداک و همکاران (۸) برآورد ارتفاع تک درختان با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در جنگل آمیخته (کاج و بلوط) واقع در منطقه کوهستانی یوم یانگ کره جنوبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از رابطه رگرسیونی بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با استخراج شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی نشان داد که ضرایب تبیین برای ارتفاع دو گونه به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۴ محاسبه شد. ادسون و وینگ (۳) بررسی ارتفاع تک درختان را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در یک جنگل سوزنی‌برگ (کاج) در شمال غربی ایالات متحده در اقیانوس آرام مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که تفاوت ارتفاع اندازه‌گیری شده با استخراج شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی ۱/۱۷ متر به دست آمد. سیلوا و همکاران (۲۰) برآورد مشخصه‌ی برآورد ارتفاع را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در جورجیای آمریکا مورد بررس قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطا برای مشخصه‌ی ارتفاع ۳/۹۶ درصد بدست آمد. جانگ و همکاران (۹) برآورد مشخصه‌های تاج پوشش را با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و زمینی در یک توده آمیخته در کره جنوبی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قراردادند. نتایج حاصل این تحقیق نشان داد که مقادیر میانگین مجذور مربعات خطا و ضریب تبیین مشخصه‌های ارتفاع و مساحت تاج پوشش حاصل از داده‌های لیزر اسکنر هوایی و زمینی به ترتیب ۰/۶۱ متر و ۰/۹۴ و ۶/۸۴ مترمربع و ۰/۶۹ بوده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، در مورد استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی جهت تعیین مساحت تاج پوشش تک درختان در خارج از کشور به ندرت مطالعات انجام شده و در ایران نیز مطالعه‌ای انجام نشده است. همچنین اکثر مطالعات انجام شده در خارج از کشور در تعیین ارتفاع درختان بیشتر در توده‌های سوزنی‌برگ بوده است. در بررسی ارتفاع با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی در ایران تنها می‌توان به مطالعه خرمی و همکاران (۱۰) اشاره نمود. هدف از این تحقیق ارزیابی قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد مساحت تاج پوشش و ارتفاع تک درختان در بخشی از جنگل‌های شصت کلاته گرگان می‌باشد و موضوع برآورد مساحت تاج پوشش با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی روشی نوین در کشور می‌باشد که می‌تواند نتایج ارزشمندی را برای تهیه اطلاعات دقیق و مستمر به ما ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته گرگان) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی می‌باشد. (شکل ۱). جهت عمومی دامنه شمال غربی و محدوده ارتفاعی منطقه مورد آماربرداری ۲۲۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا واقع‌شده است. مساحت کل سری یک ۱۷۱۴ هکتار می‌باشد. ولی این تحقیق در بخشی از منطقه سری یک انجام گردیده است. این منطقه بر اساس اطلاعات ایستگاه کلیماتوژی هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه، ازنظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی سالیانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است (۵).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان گلستان و بخشی از سری یک جنگل شصت کلاته
Figure 1. Location of study area in the Golestan province of Iran and part of district 1 Shast-Kalate Forests plan

روش بررسی

با توجه به هدف اصلی این تحقیق که ارزیابی قابلیت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در برآورد سطح تاج پوشش و ارتفاع تک‌درختان جنگلی با تاج مستقل، به تعدادی تک‌درخت که تاج آن‌ها در داخل توده‌های جنگلی مستقل بوده و تداخل تاجی با پایه‌های مجاور ندارند انتخاب شدند. اندازه‌گیری ارتفاع و مساحت تاج در سال ۱۳۹۵ انجام شد. برای این منظور ابتدا با شناسایی اولیه و با توجه به منطقه برداشت داده‌های لیزر اسکنر هوایی سعی گردید که تعدادی از درختانی که تاج آن‌ها در داخل توده‌های جنگلی آزاد بودند به تفکیک در هر طبقه قطری و پراکنش متناسب انتخاب شوند. در نهایت که ۱۱۷ درخت از گونه‌های مختلف (ممرز، انجیلی، توسکا، پلت و غیره) در منطقه موردبررسی قرار گرفتند. اطلاعات نوع گونه، ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج هر درخت اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر برابرسینه از دستگاه خط‌کش دوبازو و برای اندازه‌گیری دقیق ارتفاع تک درختان از دستگاه ورتکس لیزری (Vertex Laser VL 402) و برای اندازه‌گیری قطر بزرگ و کوچک تاج درختان از متر لیزری استفاده شد. دستگاه ورتکس لیزری یکی از جدیدترین دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع درختان است که دارای مزایایی از جمله اندازه‌گیری فاصله با استفاده از لیزر، انجام تصحیحات شیب، انجام محاسبات مربوط به ارتفاع درختان، استفاده از دوربین با قابلیت زوم ۸ برابر برای دیدن نوک درختان و انجام تمامی مراحل اندازه‌گیری ارتفاع در زمان بسیار کوتاه و بادقت لازم نسبت به سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری ارتفاع درختان می‌باشد. به‌منظور ثبت دقیق موقعیت مکانی هر درخت از دستگاه GPS تفاضلی (DGPS Trimble R3) استفاده و نقشه پراکنش درختان با دقت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر تهیه شد.

داده‌های لیزر اسکنر هوایی و پردازش آن‌ها

داده‌های لیزر اسکنر هوایی مورداستفاده در این مطالعه در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۷ توسط شرکت رایان نقشه با استفاده از هواپیما TB-20 با میانگین ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و میانگین تراکم ۴ پالس در مترمربع و با استفاده از دستگاه Riegl LMS Q560 برداشت شد. همچنین تصاویر هوایی رقومی مورد استفاده در این تحقیق 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. پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه شامل آماده‌سازی (نصب و کالیبره کردن) داده‌های لیزر اسکنر هوایی توسط شرکت نقشه انجام گرفت و داده‌های لیزر اسکنر هوایی با فرمت Las ذخیره شدند. 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 لخت زمین بر اساس الگوریتم کراس و پفیفر (۱۲) تهیه و سپس بر اساس الگوریتم TIN، مدل رقومی ارتفاعی زمین (DTM) تهیه شد (۲۲،۱۷). الگوریتم کراس و پفیفر این الگوریتم بر اساس مدل خطی عمل می‌کند که در چرخش اول همه نقاط دارای وزن برابر هستند و یک تابع ویژه برای محاسبه وزن هر نقطه بر اساس باقیمانده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر چرخش نقاط با باقیمانده‌های منفی بالا، بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهند و بنابراین آنها برای محاسبه سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقاط با باقیمانده‌های متوسط وزن کمتر و تاثیر کمتری را در تهیه سطح زمین دارند. با توجه

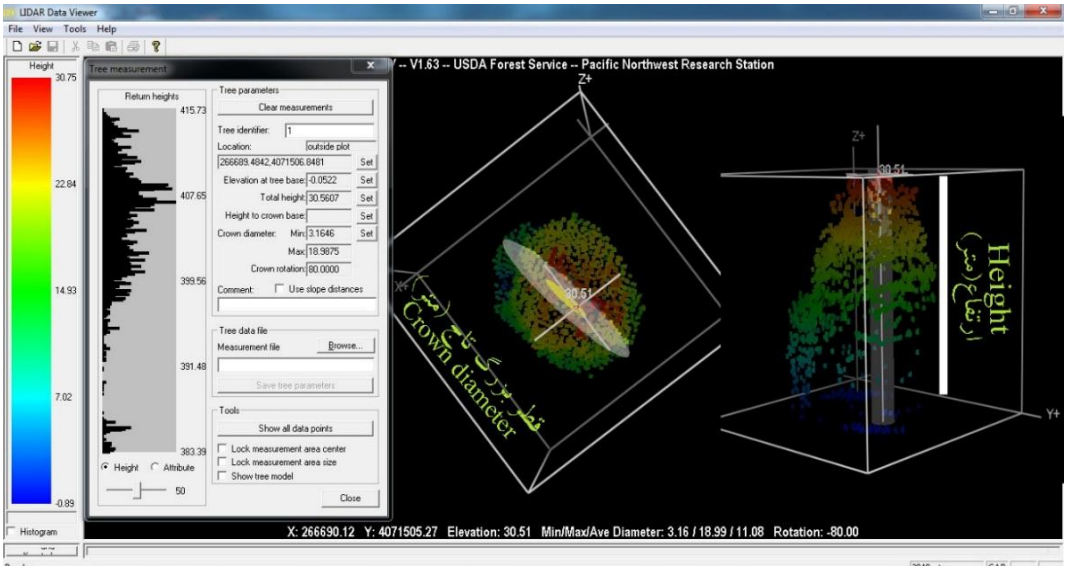
به مطالعات انجام شده مونگوس و زالیک، ۲۰۱۲ نشان دادند که الگوریتم کراوس و پفیفر برای مناطق جنگلی و شیب‌دار مناسب می‌باشد. این الگوریتم در نرم‌افزار Fusion مورد استفاده قرار گرفته است.

تعیین ارتفاع و سطح تاج پوشش درختان نمونه

جهت جداسازی مرز دقیق تاج پوشش تک درختان 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. جهت تعیین ارتفاع، قطر بزرگ و کوچک تاج پوشش درختان نمونه از منوی Tree measurement از نرم‌افزار Fusion استفاده شد. با دادن اطلاعات سه‌بعدی لیزر اسکنر هوایی مربوط به هر درخت نمونه و لایه سطح لخت زمین ارتفاع و قطر بزرگ و کوچک تاج تک‌تک درختان با دقت سانتیمتر استخراج و سپس مساحت تاج پوشش درختان نمونه نیز بر اساس قطرهای استخراج‌شده با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (شکل ۲).

$$A = \pi\left(\frac{LD \times SD}{2}\right)$$ (رابطه ۱)

LD: قطر بزرگ LS: قطر کوچک (مترمربع) A: مساحت تاج پوشش (متر مربع)



شکل ۲- ابر نقاط داده‌های لیزر اسکنر هوایی درخت نمونه اندازه‌گیری شده و تعیین ارتفاع، قطر بزرگ و کوچک درخت نمونه

Figure 2. Cloud points of airborne laser scanner data of sample tree and tree height, small and large crown diameter measurements

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

برای بررسی تفاوت معنی‌داری میزان تفاوت مقادیر ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده زمینی و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی، ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و سپس برای مقایسه از آزمون t جفتی استفاده شد. همچنین جهت برسی رابطه بین ارتفاع و مساحت تاج پوشش مستخرج شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی (متغیر مستقل)، ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده (متغیر وابسته) از تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد. برای تبیین کارایی مدل رگرسیونی از ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد (رابطه ۱، ۲، ۳ و ۴).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)2}{n}}$$ رابطه ۱

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\bar{Y}} \times 100$$ رابطه ۲

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)}{n}$$ رابطه ۳

$$Bias\% = \frac{Bias}{\bar{Y}} \times 100$$ رابطه ۴

به‌طوری‌که n: تعداد نمونه‌ها $\hat{y}_i$: ارتفاع برآورد شده توسط مدل رگرسیون y: ارتفاع اندازه‌گیری شده می‌باشد.

نتایج و بحث

مساحت تاج پوشش نتایج حاصل از بررسی آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی نرمال بودن ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان نمونه با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف نشان داد که در سطح احتمال ۹۵ درصد، داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کند ($p > ۰/۰۵$). نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون t جفتی نشان داد که بین ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان نمونه مقادیر اندازه‌گیری شده زمینی و مقادیر استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی داده‌های ارتفاع و مساحت تاج درختان استخراج‌شده از لیزر اسکنر و داده‌های اندازه‌گیری شده در زمین

Table1. Descriptive statistics for tree height, small and large crown diameter extracted from airborne laser scanner data and field measurements

		ارتفاع درختان (متر)	مساحت تاج درختان (مترمربع)
میانگین	لیزر اسکنر هوایی	۱۵/۰۷	۹۹
	اندازه‌گیری زمینی	۱۴/۶۴	۹۳/۸۴
حداکثر	لیزر اسکنر هوایی	۳۳/۸۸	۳۹۳/۳۸
	اندازه‌گیری زمینی	۳۳/۶۹	۳۹۴/۷۴
حداقل	لیزر اسکنر هوایی	۷/۳۷	۱/۱۷۵
	اندازه‌گیری زمینی	۴/۳۵	۰/۸۶
انحراف معیار	لیزر اسکنر هوایی	۶/۵۸	۱۵۰/۲۴
	اندازه‌گیری زمینی	۶/۶۲	۱۵۰/۳۶
میانگین تفاوت‌ها*		۰/۷۲	۱۲/۳۸

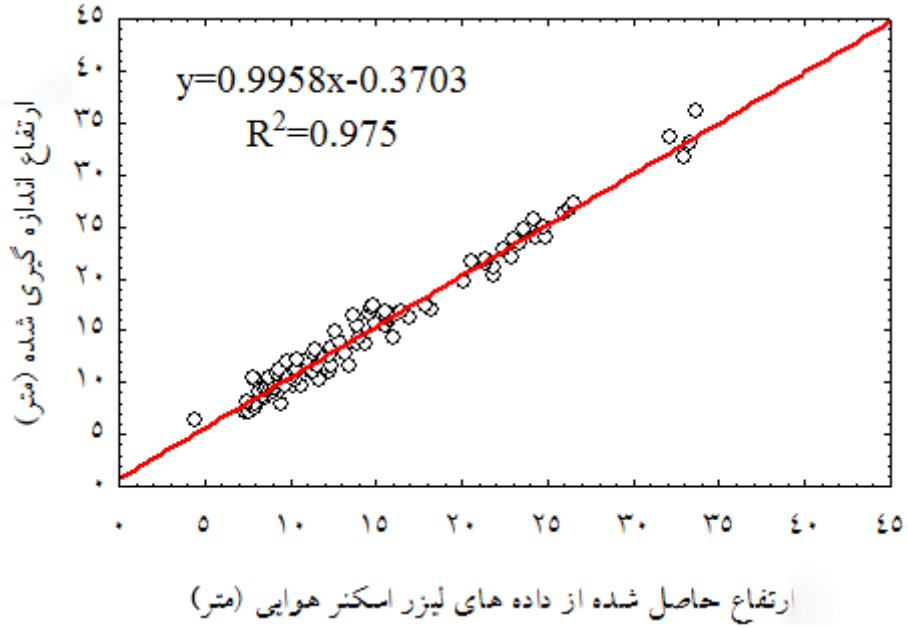
*: تفاوت بین ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی

جدول ۲- نتایج آزمون t جفتی مقادیر ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری‌شده زمینی و مقادیر استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی

Table 2. The results of the paired t test tree height and tree crown area extracted from airborne laser scanner data and field measurements

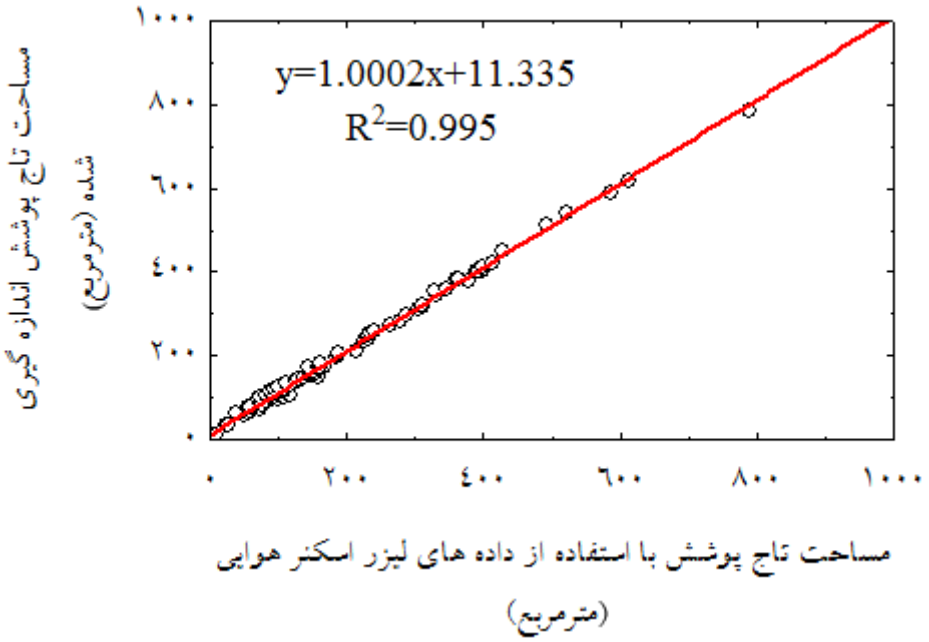
مشخصه مورد بررسی	آماره t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
ارتفاع درختان (متر)	۴/۳۵۸	۱۱۶	۰/۰۰۰
مساحت تاج پوشش درختان (مترمربع)	-۱۰/۹۲۷	۱۱۶	۰/۰۰۰

برای محاسبه میزان RMSE و RMSE%، نمونه‌ها را به دو بخش آموزش (۹۳ نمونه) و ارزیابی (۲۴ نمونه) تقسیم نمودیم و سپس میزان RMSE و RMSE% محاسبه شد. نتایج حاصل از بررسی رابطه رگرسیونی بین ارتفاع اندازه‌گیری شده (متغیر وابسته) و ارتفاع استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی (متغیر مستقل) نشان داد که ضریب تبیین و میزان میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۹۷۵ و ۰/۹۳ متر حاصل شد (شکل ۳ و جدول ۳). همچنین جدول ۴ نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی ارتفاع درختان را نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که داده‌های لیزر اسکنر هوایی قابلیت بالایی در تعیین ارتفاع درختان را دارند.



شکل ۳- مدل رگرسیونی و مقادیر ارتفاع اندازه‌گیری شده در زمین و ارتفاع استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی
Figure 3. The regression model and measured values of tree height measured from field and tree height extracted from airborne laser scanner data

همچنین نتایج حاصل از بررسی رابطه رگرسیونی بین مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده (متغیر وابسته) و مساحت تاج پوشش استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی (متغیر مستقل) نشان داد که ضریب تبیین و میزان میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۹۹۷ و ۱۴/۷۶ مترمربع حاصل شد (شکل ۴ و جدول ۳). جدول ۴ نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی مساحت تاج پوشش درختان را نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که داده‌های لیزر اسکنر هوایی قابلیت بالایی در تعیین مساحت تاج پوشش درختان را دارند.



شکل ۴- مدل رگرسیونی بین مقادیر مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده در زمین و مساحت تاج پوشش استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی
Figure 4. The regression model and measured values of tree crown area measured from field and tree crown area extracted from airborne laser scanner data

جدول ۳- نتایج مدل‌های رگرسیونی ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی
Table 3. The results of the regression model of the tree height and tree crown area extracted from airborne laser scanner data and field measurements

مشخصه مورد بررسی	R^2	RMSE	RMSE%	Bias	Bias%
ارتفاع	۰/۹۷۵	۰/۹۳	۶/۱۳	۰/۴۵	۳/۱
مساحت تاج	۰/۹۹۵	۱۴/۷۶	۷/۲۴	-۹/۹۷	۵/۰۳

جدول ۴- تحلیل واریانس مدل‌های رگرسیونی ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از دادهای لیزر اسکنر هوایی
Table 4. The analysis of variance for tree height and tree crown area regression model extracted from airborne laser scanner data and field measurements

مشخصه موردبررسی		درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
ارتفاع (متر)	رگرسیون	۱	۳۹۶۰/۶	۳۹۶/۰۶	۳۴۴۷/۳	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده‌ها	۹۲	۱۰۵/۷	۱/۱۵		
	کل	۹۳	۴۰۶۶/۳۴			
مساحت تاج پوشش (مترمربع)	رگرسیون	۱	۲۰۸۲۲۴۶/۶	۲۰۸۲۲۴۶/۶	۲۷۳۰۸۵/۸	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده‌ها	۹۲	۷۰۱۴/۸	۷۶/۲۴۸		
	کل	۹۳	۲۰۸۹۲۶۱/۴			

آگاهی از اطلاعات با جزئیات بیشتر در سطح تک‌درختان برای مدیریت بهینه و پایدار، برنامه‌ریزی و پایش زادآوری، لازم و ضروری است. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از آماره‌های توصیفی ارتفاع و مساحت تاج پوشش درختان در منطقه مورد مطالعه مشخص گردید که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها بالا می‌باشد که نشان‌دهنده انتخاب درختان در طبقات قطری و ارتفاعات مختلف می‌باشد (جدول ۱). در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی، ضریب تبیین و درصد میانگین مجذور مربعات خطا برآورد ارتفاع درختان به ترتیب ۰/۹۷۴ و ۶/۱۳ درصد به دست آمد که با نتایج تحقیقات خرمی و همکاران (۱۰)، وین و شرستا (۱۹)، کاواک و همکاران (۱۴)، پاپسکو و همکاران (۱۸)، هیوریچ و واینا‌کر (۶) و سوارز و همکاران (۲۱) که ضرایب تبیین مدل‌ها را بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۸ برآورد کردند، مطابقت دارد. همچنین ضریب تبیین و درصد میانگین مجذور مربعات خطا حاصل‌شده از مدل رگرسیونی مساحت تاج و ارتفاع درختان در تحقیق حاضر به ترتیب ۰/۹۹۷ و ۷/۲۴ درصد حاصل شد که با نتایج جانگ و همکاران (۹) که ضرایب تبیین و میانگین مجذور مربعات خطا را به ترتیب ۰/۶۹ و ۶/۸۴ مترمربع برآورد کردند مطابقت دارد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان داد که میانگین تفاوت‌های ارتفاع و مساحت تاج پوشش اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی به ترتیب ۰/۷۲ متر و ۱۲/۳۸ مترمربع به‌دست‌آمده که کمتر از میانگین تفاوت‌های حاصل‌شده از مطالعات خرمی و همکاران (۱۰) در جنگل پهن‌برگ و چند آشکوبه، ۱/۵۳- و ۱/۰۴ متر، اندرسون و همکاران (۲) در جنگل آمیخته ۱/۱۲- متر می‌باشد. به‌طور کلی حداقل تفاوت‌های نتایج این تحقیق با سایر مطالعات انجام‌شده به عواملی مانند نوع توده (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، شناسایی نوک تاج درختان در سوزنی‌برگان راحت‌تر است)، تراکم پالس‌های لیزری و ارتفاع پرواز برمی‌گردد. در مطالعه اندرسون و همکاران (۲) میزان تراکم ۵ پالس در متر مربع و ارتفاع پرواز ۱۱۰۰ متر بوده است و همچنین در مطالعه جانگ و همکاران (۹) میزان تراکم ۱۰ پالس در متر مربع و ارتفاع پرواز ۱۴۰۰ متر بوده است. به عبارت دیگر هر چقدر تراکم پالس‌های لیزری در واحد مترمربع تا یک حدی (۵ تا ۶ پالس در واحد متر مربع) افزایش یابد دقت برآوردها نیز بیشتر می‌شود و بعد از آن با تغییر در تراکم، دقت برآوردها تغییر زیادی نخواهد داشت در مطالعه لیترر و همکاران (۱۵) و در مقایسه با مطالعه خرمی و همکاران (۱۰) که در توده جنگلی مشابهی انجام‌شده است، میزان اختلاف‌ها کمتر از این مطالعه می‌باشد. یکی دیگر از عوامل عدم اطمینان در این تحقیق اختلاف زمانی بین برداشت داده‌های زمینی و داده‌های لیزر اسکنر هوایی است که به دلیل عدم امکان مجدد برداشت داده‌های لیزر اسکنر هوایی و هزینه بالای برداشت مجبور به قبول آن شدیم. امید می‌رود که در تحقیقات تکمیلی در مورد برآورد ارتفاع و مساحت تاج درختان در جنگل‌های زاگرس و جنگل‌کاری‌ها و سایر توده‌های یک اشکوبه با استفاده از برداشت داده‌های لیزر اسکنر هوایی در فصل خزان و با تراکم بیشتر انجام شود و همچنین تحقیقات تکمیلی در سایر مناطق مختلف جنگل‌های ایران که دارای یک اشکوبه هستند دارند و تداخل تاجی با دیگر درختان ندارند می‌توان در سطح وسیع‌تر انجام گیرد.

منابع

1. Ahmed, R.U. 2012. Accuracy of Biomass and Structure Estimates from Radar and (LiDAR), a dissertation of doctor of philosophy, University of Massachusetts, 231pp.
2. Andersen, H.E., S.E. Reutebuch, and R.J. McGaughey. 2006. A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne (LiDAR) and conventional field methods. Canadian Journal of Remote Sensing, 32(5): 355-366.
3. Edson, C. and M.G. Wing. 2011. Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR) for Individual Tree Stem Location, Height and Biomass Measurements. Remote Sensing, 3(34): 2494-2528.
4. Chen, Q., D. Baldocchi, P. Gong and M. Kelly. 2006. Isolating individual trees in savanna woodland using small footprint (LiDAR) data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(8): 923-932.
5. Anonymous. 2009. Forest Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Recourses Gorgan, 478 pp (In Persian).
6. Heurich, M. and H. Weinacker. 2004. Automated tree detection and measurement in temperate forest of central Europe using laser scanning data. In: Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. Freiburg, Germany 3– 6, 198-203.
7. Heurich, M. and F. Thoma. 2008. 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.
8. Hudak, A., N.L. Crookston, J.S. Evans, D.E. Hall, M.J. Falwski, A.M. Smith and P. Gessier. 2006. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from direct-return LiDAR and multispectral satellite data. Canadian Journal of Remote sensing, 32: 126-138.
9. Jung, S.E., D.A. Kwak, T. Park, W.K. Lee and S. Yoo. 2011. Estimating crown variables of individual trees using airborne and terrestrial laser scanners. Remote Sensing, 3(11): 2346-2363.
10. Khorrami, R.A., A.A. Darvishsefat, M. Tabari Kochaksaraei, and Sh. Shataee Jouybari. 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).
11. Koch, B., U. Heyder and H. Weinacker. 2006. Detection of individual tree crowns in airborne LiDAR data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(4): 357-363.
12. Korpela, I., B. Dahlin, H. Schäfer, E. Bruun, F. Haapaniemi, J. Honkasalo, S. Ilvesniemi, V. Kuutti, M. Linkosalmi, J. Mustonen and M. Salo. 2007. Single-tree forest inventory using LiDAR and aerial images for 3D treetop positioning, species recognition, height and crown width estimation. In Proceedings of ISPRS workshop on laser scanning, pp: 227-233.
13. Kraus, K., and N. Pfeifer, 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing, 53: 193-203.
14. Kwak, D.A., W.K. Lee, J.H. Lee, G.S. Biging and P. Gong. 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. Journal of Forest Research, 12(6): 425-434.
15. Leiterer, R., R. Furrer, M.E. Schaepman and F. Morsdorf. 2015. Forest canopy-structure characterization: A data-driven approach. Forest Ecology and Management, 358: 48-61.
16. Mohammadi, J., S. Shataee, M. Namiranian and E. Næsset. 2017. Modeling biophysical properties of broad-leaved stands in the hyrcanian forests of Iran using fused airborne laser scanner data and UltraCam-D images. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 61: 32-45.
17. Mongus, D. and B. Zalik. 2012. Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 67: 1-12.
18. Næsset, E. 2011. Estimating above-ground biomass in young forests with airborne laser scanning. International Journal of Remote Sensing, 32(2): 473-501.
19. Popescu, S.C., R.H. Wynne and R.H. Nelson. 2003. Measuring individual tree crown diameter with LiDAR and assessing its influence on estimating forest volume and biomass, Canadian Journal of Remote Sensing, 29(5): 564-577.
20. Shrestha, R. and R.H. Wynne, 2012. Estimating biophysical parameters of individual trees in an urban environment using small footprint discrete-return imaging LiDAR. Remote Sensing, 4: 484-508.
21. Silva, C.A., A.T. Hudak, L.A. Vierling, E.L. Loudermilk, J.J. O'Brien, J.K. Hiers, S.B. Jack, C. Gonzalez-Benecke, H. Lee, M.J. Falkowski and A. Khosravipour, 2016. Imputation of individual longleaf pine (Pinus palustris Mill.) tree attributes from field and LiDAR data, Canadian Journal of Remote Sensing, 42(5): 554-573.
22. Suárez, J.C., C. Ontiveros, S. Smith and S. Snape. 2005. Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry. Computers & Geosciences, 31(2): 253-262.
23. Tonolli, S., M. Dalponte, M. Neteler, M. Rodeghiero, L. Vescovo and D. Gianelle. 2011. Fusion of airborne LiDAR and satellite multispectral data for the estimation of timber volume in the Southern Alps. Remote Sensing of Environment, 115: 2486-2498.

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

Seyedeh Zahra Seyed Mousavi[1], Jahangir Mohammadi[2] and Shaban Shataee[3]

1 and 3- M.Sc. Student and Associate Professor, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
2- Assistant Professor, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, (Corresponding author: mohamadi.jahangir@gmail.com)
Received: November 20, 2017 Accepted: April 18, 2018

Abstract

The present study eas aimed to evaluate the potential of ALS data in estimation of individual canopy cover area and tree heights for the part of Shast Kalate of Gorgan. In this study 117 tree that located in dominant forest story and without overlay with adjacent trees, were selected. Center coordinates of sample trees were determined using DGPS system. Individual canopy area and tree heights were extracted using in Fusion software. UltraCam-D images were used to separating the canopy border of a single tree and produce a tree polygon. The result of linear regression between individual canopy area and tree heights in the field measurement and ALS data were yielded coefficients of determinationR^2, (0.974 and 0.997); RMSE% (6.13 and 7.24) respectively. Mean differences between individual canopy area and tree heights of field measurement and ALS data were ~~achieved~~ 0.72 m and 12.8m^2. Therefore the results of this study showed that ALS data are capable of estimating of individual canopy and tree heights with high accuracy.

Keywords: Airborne Laser Scanning data, Height at individual, canopy Individual area, Shast-Kalate forests of Gorgan