



دانشگاه گورگان، دانشکده منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۱، ۱۳۹۵

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ارزیابی اثر شدت نمونه‌برداری زمینی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و اولتراکم

\*جهانگیر محمدی<sup>۱</sup>، شعبان شتایی<sup>۲</sup>، منوچهر نمیرانیان<sup>۳</sup> و وحیده اسلامی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

<sup>۲</sup>دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

<sup>۳</sup>استاد دانشکده جنگلداری، دانشگاه تهران، تهران، ایران، <sup>۴</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** هدف از این تحقیق کاهش تعداد قطعات نمونه مورد استفاده در مدل‌سازی مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار با استفاده از الگوریتم‌های رندوم فورست، ماشین‌بردار پشتیبان و  $k$ -NN در بخشی از جنگل‌های پهن‌برگ شصت کلاته گرگان است. مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۳۰۸ قطعه نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به روش منظم تصادفی با شبکه آماربرداری به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ متر و با شدت ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد در جنگل مورد مطالعه پیاده شد. علاوه بر این، در دو پارسل ۱۶ و ۲۱ سری یک، ۱۳۴ قطعه نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر به روش منظم تصادفی و با شبکه‌ای به ابعاد ۷۵×۱۰۰ متر با شدت ۱۳/۳ و ۶/۶۶ درصد پیاده گردید. مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار برای تمامی قطعات نمونه محاسبه شد. پس از حذف تمامی نقاط پرت و تهیه مدل‌های DTM و DSM، تمامی شاخص‌های آماری ارتفاعی و تراکمی از داده‌های لیدار تهیه شد. همچنین پس از تهیه تصاویر ارتو رقومی هوایی، با آنالیز بافت شاخص‌های بافت مربوط به همه باندها نیز ایجاد گردید.

\*مسئول مکاتبه: [mohamadi.jahangir@gau.ac.ir](mailto:mohamadi.jahangir@gau.ac.ir)

### نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری از ۳/۳۳ به ۱/۶۶ و سپس به ۰/۸۳ درصد، درصد مجذور مربعات خطا در تمامی مشخصه‌های مورد بررسی افزایش یافت اما مقدار این افزایش خیلی کم بود با توجه به این‌که در مقایسه با شدت نمونه‌برداری ۳/۳۳ درصد، در نمونه‌برداری با شدت نمونه‌برداری ۰/۸۳ درصد، به تعداد قطعات نمونه کمتری نیاز است و بین مجذور مربعات خطا این دو شدت نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد از این‌رو نمونه‌برداری با شدت ۰/۸۳ درصد و با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و اول تراکم برای برآورد حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی توصیه می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** بنابراین، امکان برآورد مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار با شدت نمونه‌برداری کمتر از ۳/۳۳ درصد، با حداقل هزینه و دقت مناسب با استفاده از داده‌های لیدار و تصاویر دوربین رقومی هوایی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** شدت نمونه‌برداری، مشخصه‌های کمی ساختار جنگل، لیدار، تصاویر رقومی هوایی، الگوریتم‌های ناپارامتریک، شصت کلاته گرگان

#### مقدمه

مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی صحیح منابع جنگلی نیازمند اطلاعات دقیق، مستمر و باکیفیت بالا از وضعیت حال و آینده جنگل در سطح توده می‌باشد (۴). به همین دلیل کسب اطلاعاتی دقیق و به‌هنگام از وضعیت کمی و کیفی این منابع می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح آن، از اولویت بالایی برخوردار باشد. معمولاً تهیه اطلاعات مشخصه‌های کمی ساختار جنگل نظیر حجم سرپای جنگل در هکتار، متوسط رویه زمینی در هکتار و تعداد پایه درختان در هکتار از طریق عملیات میدانی و با دقتی بالا صورت می‌گیرد، اما جمع‌آوری اطلاعات به روش زمینی، نیازمند صرف زمان و هزینه‌های زیادی است (۱۳). علاوه بر این، گستردگی سطح جنگل‌ها، کوهستانی بودن عرصه‌ها و همچنین تغییرات شدید با فواصل زمانی کوتاه و نیاز به اطلاعات تغییر یافته، به‌کارگیری این روش‌ها را با مشکلات زیادی روبرو ساخته است. بنابراین، همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دست‌آوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی از روش‌های جایگزین، با هزینه پایین و با سطح دقت قابل قبول، استفاده گردد. اخیراً استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (۲، ۷، ۹، ۱۴، ۲۱، ۲۷، ۲۶، ۲۸، ۲۹) و

داده‌های لیدار (۶، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۲۲، ۲۵) و استفاده همزمان از اطلاعات استخراج شده از داده‌های ارتفاعی لیدار و اطلاعات حاصل از داده‌های طیفی ماهواره‌ای و تلفیق این دو نوع داده (۵، ۱۴، ۱۷، ۱۹، ۳۰) به دلیل برخورداری از مزایایی چون، سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به هنگام شدن مداوم، قابلیت تهیه اطلاعات ارتفاعی توده‌های جنگلی، توأم با داده‌ای میدانی و استفاده از روش‌های جدید و پیشرفته برای افزایش دقت، از گزینه‌های مهم در دستیابی به اطلاعات موردنظر می‌باشد. لیدار سیستمی فعال است و نوع هوایی آن قادر به ایجاد ابر نقاط با تراکم بالا (چند نقطه در مترمربع) و با دقت مکانی نسبتاً خوب (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر در ارتفاع و کمتر از ۳۰ سانتی‌متر در سطح مسطحاتی) از زمین در مدت زمان نسبتاً کوتاهی است (۱۸). در جنگلداری، یکی از اصلی‌ترین کاربردهای داده‌های لیدار، تهیه مدل مشخصه‌های کمی جنگل (مانند، حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار، تعداد درختان در هکتار و غیره) است که بر اساس اصول روابط آماری بین مشخصه‌های توده‌های جنگلی و شاخص‌های آماری ارتفاعی و تراکمی استخراج شده از داده‌های لیدار می‌باشد. برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل در مناطق وسیع با استفاده از داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی، تعدادی قطعات نمونه زمینی با مختصات دقیق مرکز قطعات نمونه، برای یادگیری و آزمون الگوریتم‌های برآورد موردنیاز است. تعداد این قطعات نمونه به کل قطعات نمونه قابل برداشت در سطح مورد مطالعه (شدت نمونه‌برداری) تأثیر زیادی در دقت برآورد مشخصه‌های موردنظر و همچنین هزینه آماربرداری دارد. لذا با توجه به هزینه زیاد جمع‌آوری داده‌های زمینی و زمان‌بر بودن آن، تعداد قطعات نمونه موردنیاز و خطای آماربرداری، از عوامل مؤثر و مهم در برآورد دقیق مشخصه‌های کمی جنگل می‌باشد و همیشه سعی بر آن است که تعداد قطعات نمونه کمتری با حداقل هزینه و دقت قابل قبول، برداشت شود. بر اساس بررسی‌های کتابخانه‌ای، مجلات و منابع علمی موجود داخلی و خارجی تاکنون مطالعه‌ای در مورد بررسی شدت نمونه‌برداری در برآورد مشخصه‌های کمی توده‌های جنگلی با استفاده از داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی در جنگل‌های پهن‌برگ شمال کشور صورت نگرفته است و کمتر به تعیین شدت نمونه‌برداری توجه شده است. همچنین اکثر مطالعات انجام شده در خارج از کشور نیز در توده‌های سوزنی‌برگ بوده است. بنابراین موضوع برآورد مشخصه‌های کمی ساختار جنگل با استفاده از داده‌های لیدار و بررسی شدت نمونه‌برداری موردنیاز در جنگل‌های پهن‌برگ شمال کشور روشی نوین در کشور می‌باشد که می‌تواند نتایج ارزشمندی را برای تهیه اطلاعات دقیق و مستمر با هزینه کمتر برای مدیریت پایدار منابع جنگلی و تدوین سیاست‌های صحیح

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

و شناخت آن‌ها به ما ارائه دهد. لی‌مهی و تیمسجن (۲۰۰۵)، در بررسی واریانتهای مختلف روش نزدیک‌ترین همسایه در برآورد حجم و رویه زمینی در هکتار با استفاده از عکس‌های هوایی نشان دادند که با افزایش قطعات نمونه از ۲۰ درصد کل قطعات به ۵۰ درصد کل قطعات نمونه دقت نیز افزایش می‌یابد. اما با افزایش بیشتر از ۵۰ درصد کل قطعات نمونه به ۸۰ درصد کل قطعات نمونه دقت برآوردها تغییر زیادی نداشت (۱۵). گوباکن و ناست (۲۰۰۸)، با بررسی اثرات تراکم نقاط لیزری، شدت نمونه‌برداری زمینی و اندازه قطعات زمینی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل، با استفاده از داده‌های لیدار نشان دادند که با کاهش تعداد قطعات نمونه به ۷۵ درصد کل قطعات نمونه، میانگین انحراف معیار تفاوت‌ها افزایش پیدا کرد و با کاهش بیشتر به ۵۰ درصد، مقدار میانگین انحراف معیار تفاوت‌ها، بیشتر شد (۶). کالیو و همکاران (۲۰۱۰)، نیز در بررسی اثر شدت نمونه‌برداری بر روی دقت برآورد حجم با استفاده از داده‌های لیدار و روش‌های ناپارامتریک نشان دادند که با کاهش تعداد قطعه نمونه‌ها از ۴۳۱ تا ۲۰۰ قطعه نمونه برای توده نراد مجذور میانگین مربعات خطا نیز کاهش یافت و پس از آن شروع به افزایش نمود اما برای توده کاج با کاهش تعداد قطعه نمونه‌ها، مجذور میانگین مربعات خطا افزایش یافت (۱۰). دالیوته و همکاران (۲۰۱۱)، در بررسی تأثیر خطای موقعیت مکانی قطعات نمونه، توزیع تصادفی قطعات نمونه و نمونه‌برداری به روش نمونه‌بندی قطعات نمونه آموزشی را در برآورد حجم سرپا نشان دادند که دقت برآورد حجم سرپا با توزیع قطعات نمونه به روش الگوریتم ژنتیک با ۵۳ قطعه نمونه آموزشی با دقت حاصل از ۵۳۴ قطعه نمونه مشابه بود. یعنی با کاهش تعداد قطعات نمونه آموزشی از ۵۳۴ به ۵۳ قطعه نمونه به همان دقت دست یافتند (۴). نتایج حاصل از بررسی منابع در مورد تأثیر تعداد قطعات نمونه در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل نشان داد که نتایج با توجه به منطقه مورد مطالعه و توده‌های جنگلی مورد بررسی متفاوت می‌باشد. در بعضی مطالعه‌ها با کاهش تعداد قطعات نمونه مثلاً از ۵۳۴ به ۵۳ قطعه نمونه تغییری قابل توجهی در مجذور میانگین مربعات خطا حاصل نشد و در بعضی موارد با کاهش تعداد قطعات نمونه، میزان مجذور میانگین مربعات خطا نیز افزایش یافت. با توجه به بررسی‌های انجام شده، در این تحقیق سعی می‌شود، اثر شدت نمونه‌برداری (تعداد نمونه‌های مختلف زمینی به تعداد کل نمونه قابل برداشت) در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل (متوسط موجودی حجمی سرپا در هکتار، متوسط رویه زمینی برابر سینه در هکتار و تعداد پایه درختان در هکتار) با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی در جنگل‌های پهن‌برگ خزری ایران که دارای ساختاری

متفاوت با جنگل‌هایی است که در تحقیقات بیان شده، با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد تا تعداد قطعه نمونه مناسب موردنیاز برای برآورد مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار جنگل با دقت قابل قبول، با استفاده از داده‌های لیدار و ماهواره‌ای انتخاب و تعیین شود.

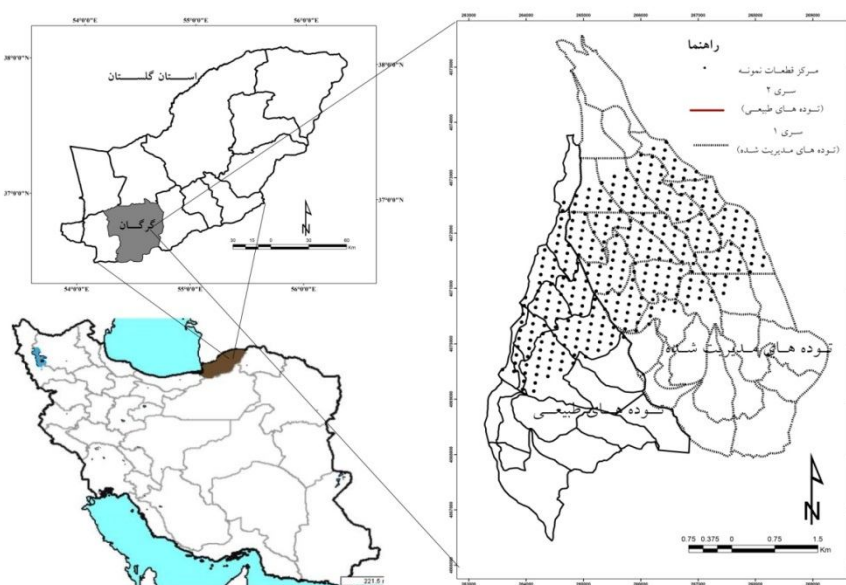
### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه واقع در سری یک و دو طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ۲۴ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی تا ۲۴ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی تا ۴۲ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی می‌باشد (شکل ۱). جهت عمومی دامنه این جنگل‌ها شمال غربی و در محدوده ارتفاعی ۲۲۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت کل سری ۱ (توده مدیریت شده) و سری ۲ (توده طبیعی) به ترتیب ۱۷۱۴ و ۱۹۹۲ هکتار می‌باشد. مساحت منطقه مورد مطالعه در سری ۱ (پارسل شماره ۴ تا ۲۲) ۷۶۲ هکتار و مساحت منطقه مورد مطالعه در سری ۲ (پارسل شماره ۲ تا ۷) ۳۳۸ هکتار می‌باشد. جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا بر اساس اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر بوده که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است.

**روش بررسی:** با توجه به این‌که هدف اصلی این تحقیق کاهش تعداد قطعات نمونه مورد استفاده در مدل‌سازی برخی مشخصه‌های کمی ساختار جنگل (حجم سرپا در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار) و داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی، نیاز به تعدادی قطعات نمونه برای برآورد مشخصه‌های کمی ساختار به‌عنوان مجموعه داده‌های مدل‌سازی و مجموعه داده‌های آزمون می‌باشد. ابتدا با شناسایی اولیه منطقه، نمونه‌برداری به روش منظم تصادفی با شبکه‌ای به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ متر، با شدت ۳/۳ درصد (شدت متداول سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور)، و قطعات نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر در پارسل‌های شماره ۴ تا ۲۲ از سری یک و پارسل‌های شماره ۲ تا ۷ از سری دو با توجه به منطقه برداشت داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ انجام شد (شکل ۲). طوری که ۳۰۸ قطعه نمونه در منطقه مورد مطالعه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

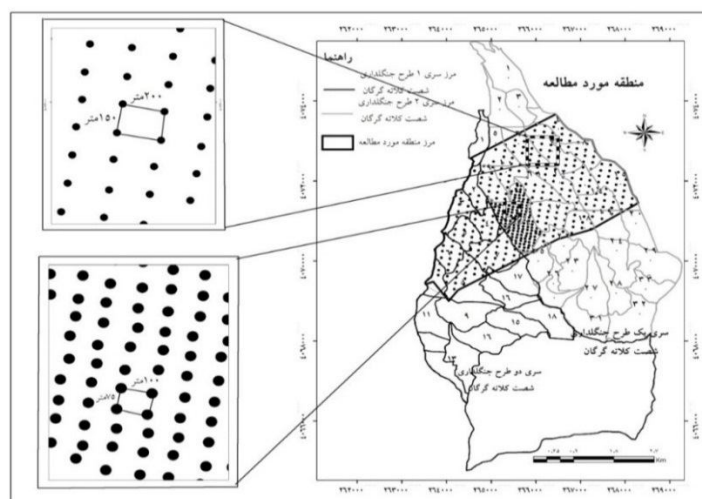
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

علاوه بر این، برای بررسی اثر شدت نمونه‌برداری بیشتر از شدت متداول سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، علاوه بر داده‌های جمع‌آوری شده از شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر، به روش منظم تصادفی یک شبکه آماربرداری ۱۰۰×۷۵ متر با شدت ۱۳/۳ درصد و قطعات نمونه ۱۰ آری و دایره‌ای در دو پارسل ۲۱ و ۱۶ روی زمین پیاده گردید به طوری که ۱۰۱ قطعه نمونه در این دو پارسل نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در تمامی قطعات نمونه، مشخصه‌های نوع گونه، قطربرابرسینه، ارتفاع و درجه کیفی تمام درختان با قطر برابر سینه بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه از دستگاه خط کش دوبازو و متر نواری و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان از دستگاه ورتکس لیزری (Vertex Laser VL 402) استفاده شد. با توجه به این‌که ارتفاع تمامی درختان با دقت بالا و با استفاده از دستگاه ورتکس اندازه‌گیری شده بود، از جداول حجم دو عامله تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور برای محاسبه و برآورد حجم سرپا درختان استفاده شد. به منظور ثبت دقیق موقعیت مکانی مرکز قطعات نمونه از دستگاه GPS تفاضلی (Trimble R3) (DGPS) استفاده و نقشه قطعات نمونه زمینی با دقت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر تهیه گردید (شکل ۲).



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

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



شکل ۲- نقشه موقعیت مرکز قطعات نمونه در منطقه مورد مطالعه.  
Figure 2. Location of field plots network in the study area.

داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی (Ultra Cam-D): داده‌های لیدار مورد استفاده در این تحقیق در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۰ توسط شرکت رایان نقشه با استفاده از هواپیما TB-20 با میانگین ارتفاع پرواز ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و 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 در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۰ است که توسط مهندسین مشاور رایان نقشه و با استفاده از دوربین رقومی UltraCam-D برداشت شده است و تعداد ۲۷۴ تصویر در کل منطقه مورد مطالعه برداشت گردید. در این تحقیق نیز از باندهای پانکروماتیک، آبی، سبز و قرمز با تفکیک رادیومتری ۱۶ بیتی مورد استفاده قرار گرفت.

پیش‌پردازش و پردازش داده‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی: پیش‌پردازش‌های اولیه شامل آماده‌سازی (نصب و کالیبره کردن) داده‌های لیدار توسط شرکت رایان نقشه انجام گرفت و داده‌های لیدار به فرمت Las ذخیره شد. پس از جداسازی و طبقه‌بندی، داده‌های لیدار به پوشش گیاهی، زمین و سایر مشخصه‌ها و همچنین به اولین برگشت پالس‌ها، دومین برگشت پالس‌ها و سایر برگشت پالس‌ها، تمامی نقاط پرت (نقاط با ارتفاع خیلی زیاد و یا خیلی کم) حذف و سپس لایه سطح لخت زمین<sup>۱</sup> بر اساس الگوریتم کراوس و پیفیگر (۱۹۹۸) تهیه و با استفاده از الگوریتم TIN، مدل رقومی سطح زمین DTM تهیه گردید. در

1- Bare Earth Surface

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

مرحله بعد لایه مدل رقومی سطح (DSM)، با استفاده از اولین برگشت پالس‌ها داده‌های لیدار نیز تهیه و از تفاضل DTM از DSM، مدل رقومی ارتفاع تاج پوشش (CHM) استخراج شد. براساس مطالعات تونولی و همکاران (۲۰۱۱) و (ناست، ۲۰۱۱) در این تحقیق نیز حد آستانه ارتفاعی<sup>۱</sup> ۲ متر در نظر گرفته شد (۲۲، ۲۸). با بررسی مطالعات انجام شده، مشخصه‌های آماری تراکم و ارتفاع زیادی تهیه شد که در این تحقیق مشخصه‌های مورد استفاده بر اساس مطالعات ناست، (۲۰۰۲) استخراج و تهیه شد که عبارتند از: مشخصه‌های آماری ارتفاعی داده‌های لیدار (صدک‌های ارتفاعی و تمامی آماره‌های توصیفی ارتفاعی)، مشخصه‌های آماری تراکم (نسبت پالس‌ها در صدک‌های ۹۰، ...، ۱۰، ۰ به کل اولین و آخرین برگشت پالس‌ها، درصد پالس اول بالای حد آستانه ۲ متر، نسبت پالس‌های عبور کرده (زیر حد آستانه) به پالس‌ها، نسبت کل پالس‌های عبور کرده (زیر ۰/۸ ارتفاع) به کل پالس‌ها و همه پالس‌های بالای حد آستانه به کل پالس‌ها و غیره) و سایر مشخصه‌های آماری داده‌های لیدار (شدت، درصد تاج پوشش و تراکم نسبی پوشش گیاهی) (۲۲). پس از پیش‌پردازش‌های اولیه تصاویر رقومی هوایی، با استفاده از DTM حاصل از داده‌های لیدار و نقاط کنترل زمینی برداشت شده به وسیله دستگاه DGPS تفاضلی و نرم‌افزار OrthoMaster، ارتو فتو تصاویر حاصل تهیه شد. در این مطالعه برای تحلیل بافت، ۱۳ معیار آماری شامل میانگین، انحراف معیار، زاویه دوم لحظه‌ای<sup>۲</sup>، کنتراست<sup>۳</sup>، همبستگی، ناهمگنی (عدم تجانس)<sup>۴</sup>، آنتروپی<sup>۵</sup>، همگنی<sup>۶</sup>، تفاضل معکوس<sup>۷</sup>، GLDV زاویه دوم لحظه‌ای<sup>۸</sup>، آنتروپی<sup>۹</sup>، GLDV میانگین<sup>۱۰</sup> و GLDV کنتراست<sup>۱۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر دوربین رقومی هوایی (۱۵ سانتی‌متر)، پنجره‌هایی با اندازه‌های ۵۱×۵۱، ۷۵×۷۵، ۱۵۰×۱۵۰ و ۲۱۰×۲۱۰ پیکسل برای انتخاب بهترین ابعاد پنجره، بر روی تمامی باندهای پانکروماتیک، آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک اعمال گردید. برای انتخاب بهترین ابعاد پنجره از نتایج به‌کارگیری الگوریتم رندوم فورست با استفاده از شاخص‌های آماری هر یک از ابعاد پنجره به‌طور جداگانه برای مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار استفاده شد و با توجه به نتایج هر یک از ابعاد، بهترین ابعاد انتخاب گردید.

- 1- Height break
- 2- Angular second moment
- 3- Contrast
- 4- Dissimilarity
- 5- Entropy
- 6- Homogeneity
- 7- Inverse difference
- 8- GLDV Angular second moment
- 9- GLDV Entropy
- 10- GLDV mean
- 11- GLDV Contrast



برآورد مشخصه‌های کمی ساختار جنگل (موجودی سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی) با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک و انتخاب بهترین الگوریتم: ابتدا مقادیر تمامی مشخصه‌های آماری داده‌های لیدار و ارزش‌های طیفی تصاویر و شاخص‌های بافتی باندهای مختلف دوربین رقومی هوایی، متناظر با قطعات نمونه زمینی دایره‌ای (۱۰۰۰ مترمربع) استخراج گردید. با توجه به شکل دایره‌ای قطعه نمونه و شکل و اندازه پیکسل شاخص‌های لیدار و عکس‌های هوایی رقومی سعی شد که ابعادی در نظر گرفته شود که نزدیک‌ترین مساحت را به مساحت قطعه نمونه داشته باشد ( $31/623 \times 31/623$  متر). استخراج ارزش‌ها از طریق میانگین‌گیری ارزش پیکسل‌های واقع شده در قطعات نمونه زمینی از باندهای اصلی و مصنوعی صورت گرفت. در این تحقیق از ۴۰۹ قطعه نمونه برداشت شده زمینی در کل منطقه مورد مطالعه ۷۵ درصد (۲۳۱ قطعه نمونه (شدت ۳/۳۳ درصد)، ۱۵۶ قطعه نمونه (شدت ۱/۶۶ درصد)، ۷۹ قطعه نمونه (شدت ۰/۸۳ درصد)، و در دو پارسل ۲۱ و ۱۶، ۱۳۴ قطعه نمونه (شدت ۱۳/۳۳ درصد) و ۶۷ قطعه نمونه (شدت ۶/۶۶ درصد) در فرآیند مدل‌سازی به‌کار گرفته شد و ۲۵ درصد (۷۶ قطعه نمونه) بقیه برای ارزیابی مدل‌های برآوردی و شدت‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت و داده‌های ارزیابی در کل شدت‌های مورد بررسی ثابت بود. با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک ارتباط بین مشخصه‌های موجودی سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار در شدت‌های مختلف آماری به‌عنوان متغیرهای وابسته و مقادیر شاخص‌های آماری داده‌های لیدار و ارزش‌های طیفی عکس‌های هوایی رقومی و شاخص‌های بافتی باندهای مختلف به‌صورت تلفیقی، به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در اجرای الگوریتم ناپارامتریک رندوم فورست ابتدا برای تعیین تعداد درختان بهینه و تهیه نمودار میانگین مربعات خطای داده‌های مدل‌سازی و آزمون، الگوریتم با ۵۰۰ درخت اجرا گردید. سپس با تفسیر نمودار میانگین مربعات خطای داده‌های مدل‌سازی و آزمون حاصل‌شده، جایی که با افزایش تعداد درختان تغییری در کاهش میزان میانگین مربعات خطای مدل‌سازی و آزمون مشاهده نمی‌شود به عنوان تعداد درخت بهینه انتخاب شد. یکی دیگر از پارامترهای مهم در اجرای الگوریتم رندوم فورست تعداد برآورد کننده‌ها  $k$  (متغیرهای مستقل) 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 این مقدار به‌عنوان تعداد برآورد کننده‌ها در هر گره مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی دقیق‌تر در این مطالعه از  $(\pm 2)$  جذر کل تعداد متغیرها، مورد استفاده قرار گرفت تا  $k$  یا تعداد برآورد کننده‌های بهینه در هر گره، انتخاب گردد. در اجرای الگوریتم ماشین بردار رگرسیون (SVR) در برآورد هر یک از مشخصه‌های کمی حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار نیاز به تعیین مقادیر بهینه  $\gamma, \epsilon, C$  می‌باشد. برای پیدا کردن

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

مقادیر پارامترهای  $\epsilon, C$  از روش جستجو شبکه مشخص شده و اعتبار سنجی ۱۰ قسمتی با ۱۰۰۰ تکرار و  $\gamma$  ثابت، استفاده گردید (۲۵). پارامتر  $\gamma$  نیز از تقسیم ۱ به تعداد متغیرهای مستقل محاسبه شد. در روش جستجو شبکه مشخص شده برای  $C$  از مقادیر ۱ تا ۲۰ که برابر با دامنه متغیرهای ورودی می‌باشد و برای مقادیر  $\epsilon$  از ۰/۱ تا ۱ با فواصل ۰/۱ استفاده گردید. در این مطالعه نیز،  $\epsilon$  کرنل پایه شعاعی، چند جمله‌ای، سیگموئید و خطی به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. در اجرای الگوریتم  $k$ -NN، 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  $k$  بهینه از روش انتخاب با اعتبارسنجی متقابل (Cross validation) و با اختصاص یک قسمت برای آزمون و به‌کارگیری بقیه قسمت‌ها به عنوان آموزشی  $LOO^1$  استفاده شد. در این روش بعد از وارد کردن دامنه  $K$ ، علاوه بر ارائه  $k$  بهینه، مجذور میانگین مربعات خطا به ازاء هر مقدار از  $k$  را نیز ارائه می‌دهد. در این مطالعه مطابق با مطالعه شتایی و همکاران، (۲۰۱۰)، دامنه ۱ تا ۵۰ در نظر گرفته شد (۲۵). در این تحقیق از  $\epsilon$  معیار فاصله اقلیدسی<sup>۲</sup>، مربع فاصله اقلیدسی<sup>۳</sup>، مان‌هاتان<sup>۴</sup> و چیشف<sup>۵</sup> وزن داده شده به‌طور جداگانه به‌کار گرفته شد و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید و به‌منظور ارزیابی و برآزش الگوریتم‌های داده کاوی و مدل‌های رگرسیونی و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری، ۲۵ درصد از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی از کلیه تجزیه و تحلیل‌ها کنار گذاشته شد. 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 (۱ و ۳) و نسبی (۲ و ۴) اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت (رابطه ۱، ۲، ۳ و ۴).

$$\text{RMSE \%} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲}) \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{Bias \%} = \frac{\text{Bias}}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴}) \quad \text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad (\text{رابطه ۳})$$

به‌طوری که  $n$ : تعداد نمونه‌های ارزیابی،  $\bar{y}_i$ : مقدار تخمین زده شده  $\bar{y}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و  $y_i$ : مقدار مشاهده شده است.

- 
- 1- Leave-One-Out
  - 2- Euclidean
  - 3- Squared Euclidean
  - 4- Manhattan (City block)
  - 5- Chebychev

همچنین علاوه بر معیارهای مذکور، مقادیر برآورد شده با استفاده از داده‌های لیدار، تصاویر رقومی هوایی و ادغام آن‌ها با هم و همچنین تفاوت‌های بین مقادیر واقعی مشخصه‌های کمی حجم سرپا، تعداد درختان و رویه زمینی در هکتار با مقادیر برآورد شده داده‌های آزمون با استفاده از داده‌ها و الگوریتم‌های مذکور نیز مورد مقایسه قرار گرفت. برای بررسی معنی‌دار بودن میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده با استفاده از داده‌های لیدار، تصاویر رقومی هوایی و ادغام آن‌ها با هم و به‌کارگیری الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک از آزمون تی جفتی استفاده شد.

**بررسی اثر تعداد قطعات نمونه و شدت نمونه‌برداری بیشتر از شدت سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور در برآورد مشخصه‌های کمی ساختار جنگل:** به‌منظور بررسی اثر شدت‌های بیشتر از شدت نمونه‌برداری ۳/۳ درصد با شبکه آماربرداری ۱۵۰×۲۰۰ متر در برآورد مشخصه‌های کمی ساختاری، علاوه بر داده‌های جمع‌آوری شده از شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر، به روش منظم تصادفی، تعدادی قطعات نمونه از طریق شبکه آماربرداری ۱۰۰×۷۵ متر با قطعات نمونه ۱۰ آری در دو پارسل ۲۱ و ۱۶ نیز بر روی زمین پیاده گردید به‌طوری که در مجموع ۱۳۴ قطعه نمونه در این دو پارسل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل را در شدت‌های ۱۳/۳ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۱۰۰ متر با ۱۳۴ قطعه نمونه) و ۶/۶۶ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۲۰۰ متر با ۶۷ قطعه نمونه) مورد بررسی و با استفاده از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا و اریب مورد مقایسه قرار گرفت و مناسب‌ترین شدت نمونه‌برداری و تعداد قطعات نمونه، برای برآورد مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از داده‌های لیدار و تصاویر هوایی رقومی و تلفیق آن‌ها تعیین شد.

**بررسی اثر تعداد قطعات نمونه و شدت نمونه‌برداری کمتر از شدت سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور در برآورد مشخصه‌های کمی ساختار جنگل:** به‌منظور بررسی اثر شدت‌های کمتر از شدت نمونه‌برداری ۳/۳ درصد با شبکه آماربرداری ۱۵۰×۲۰۰ متر در برآورد مشخصه‌های کمی ساختاری، از شدت‌های نمونه‌برداری ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد در کل منطقه استفاده گردید. به همین منظور علاوه بر شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰، از شبکه آماربرداری ۱۵۰×۴۰۰ متر (با ۱۵۶ قطعه نمونه) و ۳۰۰×۴۰۰ متر (با ۷۹ قطعه نمونه) در کل منطقه استفاده شد. سپس نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل را در شدت‌های ۱/۶ درصد و ۰/۸۳ درصد مورد بررسی و با استفاده از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا و اریب مورد مقایسه قرار گرفت و مناسب‌ترین شدت نمونه‌برداری و تعداد قطعات نمونه، برای

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

برآورد مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از داده‌های لیدار و تصاویر هوایی رقومی و تلفیق آن‌ها تعیین شد.

### نتایج

نتایج حاصل از بررسی آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که میانگین حاصل از شدت‌های ۱۳/۳، ۶/۶۶، ۳/۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد مشخصه حجم سرپا به ترتیب (۲۷۰/۹۲، ۲۵۷/۴۵، ۲۶۲/۸۲، ۲۶۴/۹۹ و ۲۶۵/۷ مترمکعب در هکتار)، تعداد درختان در هکتار به ترتیب (۱۷۲/۲۴، ۱۶۸/۵۱، ۲۱۳/۴۲، ۲۱۳/۸۵ و ۲۱۵/۸۲) و رویه زمینی به ترتیب (۲۳/۰۷۹، ۲۲/۱۴، ۲۳/۷۴، ۲۳/۶۵ و ۲۳/۶ مترمربع در هکتار) حاصل شد. بررسی آماره‌های توصیفی نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها زیاد بوده و نشان‌دهنده کل دامنه مشخصه‌های کمی ساختار توده جنگلی مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های حجم، تعداد درختان و رویه زمینی در هکتار با شدت‌های مختلف نمونه‌برداری.

Table 1. Descriptive statistics for stand volume, tree density, and basal area in different sampling intensity.

تعداد Number	کجی Kurtosis	شیبگی Skewness	انحراف از معیار S.D	حداکثر Max	حداقل Min	میان Median	میانگین Mean	شدت آماربرداری Sampling intensity	مشخصه مورد بررسی Characteristics
302	0.0032	0.532	108.05	592.45	36.61	249.36	262.93	کل (Total)	حجم (مترمکعب در هکتار) Volume (m <sup>3</sup> /ha)
75	0.032	0.53	109.98	560.98	60.29	249.56	263.26	ارزیابی (Validation)	
79	1.28	0.805	116.5	697.7	31.54	245.9	265.7	0.83	
156	0.83	0.7	110.85	697.7	31.535	254.07	264.99	1.66	
227	0.0377	0.537	108.63	592.45	39.61	248.61	262.88	3.3	
67	0.22	0.113	100.92	553.63	28.59	255.66	257.45	6.66	
134	1.003	0.76	115.5	683	28.59	262.06	270.92	13.33	
308	2.99	1.46	97.55	640	40	200	214.58	کل (Total)	تعداد درختان در هکتار Tree density (n/ha)
77	3.93	1.67	102.6	640	70	200	218.052	ارزیابی (Validation)	
79	3.96	1.73	98.51	610	80	200	215.82	0.83	
156	2.738	1.395	90.99	610	70	200	213.85	1.66	
231	2.66	1.37	95.99	610	40	200	213.42	3.3	
67	8.27	1.91	71.79	520	40	170	168.51	6.66	
134	6.28	1.56	66.6	520	40	170	172.24	13.33	
306	1.087	0.63	8.42	56.08	5.32	23.46	23.75	کل (Total)	رویه زمینی (مترمربع در هکتار) Basal area (m <sup>2</sup> /ha)
76	0.99	0.61	8.21	52.56	6.92	23.48	23.77	ارزیابی (Validation)	
79	1.7	0.863	8.66	56.08	5.399	21.72	23.6	0.83	
156	0.962	0.625	8.103	56.08	5.399	23.4	23.65	1.66	
230	1.15	0.64	8.5	56.08	5.32	23.46	23.74	3.3	
67	-0.181	-0.142	7.416	38.39	3.56	22.32	22.14	6.66	
134	0.414	0.363	7.978	47.088	3.562	23.42	23.079	13.33	

## جهانگیر محمدی و همکاران

نتایج حاصل از بررسی مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا مشخصه‌های حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم رندوم فورست نشان داد که ابعاد پنجره  $150 \times 150$  پیکسل دارای کمترین مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا در بیشتر باندها می‌باشد. به همین دلیل ابعاد پنجره  $150 \times 150$  پیکسل به عنوان بهترین ابعاد انتخاب شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده مجذور میانگین مربعات خطا برای مشخصه‌های حجم سر پا، تعداد درختان و رویه زمینی در هکتار در ابعادهای پنجره مختلف.

Table 2. RMSE values calculated for stand volume, tree density, and basal area in different window dimensions.

ابعاد پنجره (پیکسل)				باند طیفی (Band)	مشخصه مورد بررسی Characteristics
210×210	150×150	75×75	51×51		
104.6	102.28	97.05	105.09	قرمز (Red)	حجم (مترمکعب در هکتار) Volume ( $m^3ha^{-1}$ )
102.9	102.16	105.4	102.6	سبز (Green)	
117.8	101.01	112.65	107.35	آبی (Blue)	
109.53	104.45	105.09	105.04	مادون قرمز نزدیک (NIR)	
104.13	104.2	108.5	103.9	پانکروماتیک (PAN)	
78	72.79	79.78	92.06	قرمز (Red)	تعداد درختان در هکتار Tree density ( $nha^{-1}$ )
78.35	82.5	88.06	86.7	سبز (Green)	
79.4	74.85	78.4	80.6	آبی (Blue)	
88.45	85.82	92.06	95.48	مادون قرمز نزدیک (NIR)	
80.77	83.04	87.74	88.95	پانکروماتیک (PAN)	
7.51	7.11	6.95	7.5	قرمز (Red)	رویه زمینی (مترمربع در هکتار) Basal area ( $m^2ha^{-1}$ )
7.25	7.1	7.32	7.24	سبز (Green)	
8.7	7.14	7.93	7.66	آبی (Blue)	
7.63	7.22	7.48	7.42	مادون قرمز نزدیک (NIR)	
7.5	7.38	7.52	7.35	پانکروماتیک (PAN)	

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

مقایسه نتایج شدت‌های مختلف نمونه‌برداری با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در برآورد مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در کل منطقه مورد مطالعه: نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد حجم سرپا در کل منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که برای شدت‌های آماربرداری ۳/۳۳ درصد، ۱/۶۶ درصد و ۰/۸۳ درصد، درصد مجذور میانگین مربعات خطا و درصد اریب به ترتیب ۳۱/۴۲، ۱/۱۸-؛ ۳۰/۱۲، ۰/۶۵ و ۳۰/۹، ۴/۲۵ درصد حاصل شد که تفاوت زیادی با هم ندارند و حتی با کاهش شدت نمونه‌برداری، درصد مجذور میانگین مربعات خطا نیز حدود یک درصد کاهش یافت اما میزان درصد اریبی ابتدا کاهش سپس افزایش یافت (جدول ۲). همچنین نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد نمونه‌برداری در برآورد تعداد درختان در هکتار با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و رندوم فورست و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری از ۳/۳۳ درصد به ۱/۶۶ درصد و سپس به ۰/۸۳ درصد، مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا از ۳۵/۵۴ به ۳۶/۶ درصد افزایش یافت ولی درصد اریبی از ۷/۲۸- به ۷/۰۲- کاهش یافت و با کاهش بیشتر شدت نمونه‌برداری به ۰/۸۳، مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا به ۳۶/۶۷ درصد افزایش یافت و درصد اریبی از ۷/۲۸- به ۲/۸۷ کاهش یافت (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد نمونه‌برداری در برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از الگوریتم رندوم فورست و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری از ۳/۳۳ درصد به ۱/۶۶ درصد و سپس به ۰/۸۳ درصد، میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا و درصد اریب افزایش یافت اما این میزان افزایش درصد مجذور مربعات خطا خیلی کم است به طوری که با میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا حاصل از شدت ۳/۳۳ درصد تفاوت زیادی ندارد.

## جهانگیر محمدی و همکاران

جدول ۲- نتایج الگوریتم‌های ناپارامتریک و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در برآورد مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در کل منطقه.

Table 2. The results of predicted values of stand volume, tree density, and basal area using nonparametric algorithm and combination of ALS data and UltraCam-D images in different intensity sampling in total area.

درصد اریب Bias%	اریب Bias	درصد مجذور میانگین مربعات خطا RMSE%	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	بهترین الگوریتم Best algorithm	شبکه آماربرداری Network sampling	شدت نمونه‌برداری Sampling intensity	مشخصه مورد بررسی Characteristics
-1.18	-3.12	31.42	82.71	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	150×200	درصد 3.33	
0.65	1.7	30.12	79.3	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	150×400	درصد 1.66	حجم (مترمکعب در هکتار) Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
4.25	11.2	30.9	81.33	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	300×400	درصد 0.83	
-7.28	-15.88	35.54	77.5	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	150×200	درصد 3.33	تعداد درختان در هکتار
-7.02	-15.31	36.6	79.79	رندوم فورست (RF)	150×400	درصد 1.66	Tree density (nha <sup>-1</sup> )
2.87	6.26	36.67	79.96	رندوم فورست (RF)	300×400	درصد 0.83	
0.858	0.204	27.162	6.457	رندوم فورست (RF)	150×200	درصد 3.33	رویه زمینی
0.49	0.117	28.54	6.78	رندوم فورست (RF)	150×400	درصد 1.66	(مترمربع در هکتار) Basal area (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
3.83	0.91	30.46	7.24	رندوم فورست (RF)	300×400	درصد 0.83	

نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه حجم سرپا در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که شدت نمونه‌برداری ۱/۶۶ درصد دارای

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (۷۹/۸۱ مترمکعب در هکتار) می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده شدت‌های ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳). نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه تعداد درختان در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که شدت نمونه‌برداری ۳/۳۳ درصد دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (۷۳/۳۶ پایه در هکتار) می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده شدت‌های ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳). نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه رویه زمینی در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که شدت نمونه‌برداری ۳/۳۳ دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (۶/۵ مترمربع در هکتار) می‌باشد همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده شدت‌های ۳/۳۳، ۱/۶۶ و ۰/۸۳ درصد با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳- تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در کل منطقه مورد مطالعه.

Table 3. Differences between observed and predicted values of stand volume, tree density, and basal area using nonparametric algorithm and combination of ALS data and UltraCam-D images in differents intensity sampling in total area

انحراف از معیار تفاوت‌ها S.D difference	میانگین تفاوت‌ها Mean differences	سطح معنی‌داری Significance	آماره t t Statistics	میانگین برآورد شده Estimated mean	میانگین واقعی Observed mean	شدت نمونه‌برداری Sampling intensity	مشخصه مورد بررسی Characteristics
83.21	-3.12	0.746 NS	3.12	260.14	263.25	3.33 درصد	حجم (مترمکعب در هکتار)
79.81	1.7	0.911 NS	0.112	264.96	263.25	1.66 درصد	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
81.1	11.2	0.458 NS	0.744	274.185	263.25	0.83 درصد	تعداد درختان در هکتار
76.36	-15.88	0.072 NS	1.825	202.16	218.05	3.33 درصد	Tree density (nha <sup>-1</sup> )
78.83	-15.32	0.248 NS	-1.158	202.73	218.05	1.66 درصد	رویه زمینی
80.24	6.26	0.635 NS	0.476	235.72	218.05	0.83 درصد	(مترمربع در هکتار)
6.5	0.2	0.785 NS	-0.274	23.98	23.77	3.33 درصد	Basal area (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
6.83	0.117	0.906 NS	0.118	23.89	23.77	1.66 درصد	
7.23	0.91	0.35 NS	0.937	23.75	23.77	0.83 درصد	

NS عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد.



مقایسه نتایج شدت‌های مختلف نمونه‌برداری با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در برآورد مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در دو پارسل ۱۶ و ۲۱: نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های ۱۳/۳ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۱۰۰ متر) و ۶/۶۶ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۲۰۰ متر) در دو پارسل ۲۱ و ۱۶ در برآورد حجم سرپا، با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که شدت آماربرداری ۶/۶۶ درصد با شبکه آماربرداری ۷۵×۲۰۰ متر دارای درصد مجذور میانگین مربعات خطا کمتری (۲۱/۶۴۶ درصد) بوده است و میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا حدود ۱۰ درصد کاهش یافت و با افزایش بیشتر شدت نمونه‌برداری به ۱۳/۳ درصد میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا نسبت به شدت ۳/۳۳ درصد کاهش یافت اما نسبت به ۶/۶۶ درصد افزایش یافت و مقدار درصد اریب تفاوت زیادی با هم ندارند (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های ۱۳/۳ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۱۰۰ متر با ۱۳۴ قطعه نمونه) و ۶/۶۶ درصد (شبکه آماربرداری ۷۵×۲۰۰ متر با ۶۷ قطعه نمونه) در دو پارسل ۲۱ و ۱۶ در برآورد تعداد درختان در هکتار، با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که با افزایش شدت نمونه‌برداری در دو پارسل ۱۶ و ۲۱ از ۳/۳۳ درصد به ۶/۶۶ درصد و سپس به ۱۳/۳ درصد میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا حدود ۱۲ درصد کاهش یافت و درصد اریب نیز کاهش یافت (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه شدت‌های ۱۳/۳ و ۶/۶۶ درصد نمونه‌برداری در برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی نشان داد که شدت آماربرداری ۱۳/۳ درصد با شبکه آماربرداری ۷۵×۱۰۰ دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا (۲۷/۲۳۵ درصد) بوده است (جدول ۴) و با کاهش شدت نمونه‌برداری، میزان مجذور میانگین مربعات خطا و درصد اریب افزایش می‌یابد.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

جدول ۴- نتایج الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی در برآورد مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در دو پارس‌سل ۱۶ و ۲۱.

Table 4. The results of predicted values of stand volume, tree density, and basal area using nonparametric algorithm and combination of ALS data and UltraCam-D images in different intensity sampling in 16 and 21 compartments.

درصد اریب Bias%	درصد مجذور		میانگین مربعات خطا RMSE	بهترین الگوریتم Best algorithm	شبکه آماربرداری Network sampling	شدت نمونه‌برداری Sampling intensity	مشخصه مورد بررسی Characteristics
	اریب Bias	میانگین مربعات خطا RMSE%					
-7.036	-19.17	29.31	79.868	ماشین بردار پشتیبان	75×100	13.3 درصد	حجم (مترمکعب در هکتار) Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
-7.169	-18.47	21.646	55.75	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	75×200	6.66 درصد	
-5.93	-10.2	23.694	40.78	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	100×75	13.3 درصد	تعداد درختان در هکتار Tree density (nha <sup>-1</sup> )
2.291	3.72	29.6	48.1	رندوم فورست (RF)	200×75	6.66 درصد	
1.52	0.352	27.235	6.31	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	100×75	13.3 درصد	رویه زمینی (مترمربع در هکتار) Basal area (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
10.32	2.29	28.82	6.384	ماشین بردار پشتیبان (SVR)	200×75	6.66 درصد	

همچنین نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه حجم سرپا در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که شدت نمونه‌برداری ۶/۶۶ درصد دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (۵۴/۳۳ مترمکعب در هکتار) می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده آن‌ها با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۵). همچنین نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه تعداد درختان در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار

## جهانگیر محمدی و همکاران

پشتیبان در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که شدت نمونه‌برداری ۱۳/۳ دارای انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (حدود ۹ پایه در هکتار) کمتری نسبت به شدت ۶/۶۶ درصد می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده آن‌ها با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۵). نتایج حاصل از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه رویه زمینی در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شدت‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها دو شدت نمونه‌برداری ۱۳/۳ و ۶/۶۶ درصد تفاوت زیادی با هم ندارند و حدود ۰/۳۵ مترمربع در هکتار در شدت ۶/۶۶ درصد نسبت به شدت ۱۳/۳ درصد کمتر می‌باشد. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده آنها با مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵- تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده مشخصه حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در دو پارسل ۱۶ و ۲۱.

Table 5. Differences between observed and predicted values of stand volume, tree density, and basal area using nonparametric algorithm and combination of ALS data and UltraCam-D images in different intensity sampling in 16 and 21 compartments.

انحراف از معیار تفاوت‌ها S.D difference	میانگین تفاوت‌ها Mean differences	سطح معنی‌داری Significance	آماره t Statistics t	میانگین برآورد شده Estimated mean	میانگین واقعی Observed mean	شدت نمونه‌برداری Sampling intensity	مشخصه مورد بررسی Characteristics
78.7	-19.17	0.171 ns	1.399	253.33	272.5	13.3 درصد	حجم (مترمکعب در هکتار)
54.33	-18.47	0.194 ns	1.359	239.11	257.6	6.66 درصد	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
40.1	-10.21	0.153 ns	1.462	161.9	172.12	13.3 درصد	تعداد درختان در هکتار
49.5	3.72	0.768 ns	-0.301	166.22	166.25	6.66 درصد	Tree density (nha <sup>-1</sup> )
6.5	0.352	0.751 ns	-0.321	23.54	23.18	13.3 درصد	رویه زمینی (مترمربع در هکتار)
6.16	2.29	0.158 ns	-1.458	24.44	22.15	6.66 درصد	Basal area (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )

ns عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد.

### بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد حجم سرپا در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نشان داد که با کاهش تعداد قطعات نمونه، میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطا زیاد تغییر نمی‌کند و در کل شدت ۶/۶۶ درصد با ۲۱/۶۴۶ درصد مجذور میانگین مربعات خطا و انحراف معیار ۵۴/۳۳ مترمکعب در هکتار بهتر توانسته است حجم سرپا را برآورد نماید که با مطالعات لی‌می و تیمسجن (۲۰۰۵)، گویاکن و ناست (۲۰۰۸) و کالیو و همکاران (۲۰۱۰) که بیان نمودند با افزایش تعداد قطعه نمونه دقت برآوردها نیز افزایش می‌یابد مطابقت دارد (۶، ۱۱، ۱۵). نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد تعداد درختان در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری (تعداد قطعات نمونه) در درصد مجذور میانگین مربعات خطا تغییر زیادی حاصل نشد و بین این آماره‌ها در شدت‌های ۰/۸۳ و ۳/۳۳ درصد تفاوت زیادی مشاهده نشد. با افزایش شدت نمونه‌برداری مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا نیز کمتر می‌شود که با مطالعات لی‌می و تیمسجن (۲۰۰۵)، گویاکن و ناست (۲۰۰۸) و کالیو و همکاران (۲۰۱۰) که بیان نمودند با افزایش تعداد قطعه نمونه دقت برآوردها نیز افزایش می‌یابد مطابقت دارد (۶، ۱۱، ۱۵). نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی هوایی و الگوریتم رندوم فورست نشان داد که شدت‌های ۳/۳۳ درصد، ۱/۶۶ درصد، ۰/۸۳۳ درصد، ۶/۶۶ درصد و ۱۳/۳ درصد از نظر درصد مجذور میانگین مربعات تفاوت زیادی با هم ندارند به همین دلیل شدت نمونه‌برداری ۰/۸۳ درصد می‌تواند در برآورد مشخصه رویه زمینی مورد استفاده قرار بگیرد اما شدت ۳/۳۳ درصد دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا بود. نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد حجم سرپا نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا تغییر زیادی نمی‌کند و با افزایش شدت نمونه‌برداری تا ۶/۶۶ درصد، میزان مجذور مربعات خطا نیز کاهش یافت و با افزایش بیشتر شدت نمونه‌برداری به ۱۳/۳ درصد، میزان مجذور مربعات خطا نیز افزایش یافت و در کل شدت ۶/۶۶ درصد دارای کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا (۲۱/۶۴۶ درصد) بود. نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد تعداد درختان در هکتار نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری از ۳/۳۳

درصد به  $0/83$  درصد میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا از  $35/54$  به  $36/67$  درصد افزایش یافت که تفاوت زیادی با هم ندارند و با افزایش شدت نمونه‌برداری میزان مجذور مربعات خطا نیز کاهش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی شدت‌های مختلف نمونه‌برداری در برآورد رویه زمینی نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا نیز افزایش یافت و با افزایش شدت نمونه‌برداری میزان مجذور مربعات خطا نیز کاهش یافت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با کاهش شدت نمونه‌برداری میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطای حاصل از شدت‌های مختلف مورد بررسی تفاوت زیادی با هم ندارند به همین دلیل با توجه به تعداد قطعات نمونه کمتر و تفاوت کم میزان درصد مجذور مربعات خطا نسبت به شدت  $3/33$  درصد شدت نمونه‌برداری  $0/83$  درصد می‌تواند جهت برآورد مشخصه‌های حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار مناسب باشد و امکان کاهش شدت نمونه‌برداری نسبت به شدت  $3/33$  درصد در برآورد مشخصه‌های حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار را با دقت مناسب وجود دارد. امید می‌رود که تحقیقات تکمیلی در مورد ارزیابی اثر شکل و اندازه قطعات نمونه‌برداری و طرح‌های مختلف نمونه‌برداری زمینی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و اولتراکم در جنگل‌های پهن‌برگ خزری ایران انجام شود تا بتوان با تعداد قطعات نمونه کمتر برای مدل‌سازی و با حداقل هزینه از این داده‌ها استفاده نمود و به‌صورت عملیاتی بتوان از این داده‌ها در آماربرداری جنگل مورد استفاده قرار داد و پیشنهاد می‌گردد تحقیقات تکمیلی در مناطق مختلف جنگل‌های پهن‌برگ شمال ایران در سطح وسیع‌تر انجام گردد.

#### منابع

1. Azizi, Z., Najafi, A., Fatehi, P., and Pirbavaghar, M. 2010. Forest stand volume estimation using satellite IRS\_P6 (LISS\_IV) data (Case study: Lirehsar, Tonekabon). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18, 1, 143-151. (In Persian)
2. Breidenbach, J., Naesset, E., Lien, V., Gobakken, T., and Solberg, S. 2010. Prediction of species specific forest inventory attributes using a nonparametric semi-individual tree crown approach of fused airborne laser scanning and multispectral data. Remote Sensing of Environment. 114: 911-924.
3. Dalponte, M., Martinez, C., Rodeghiero, M., and Gianelle, D. 2011. The role of ground reference data collection in the prediction of stem volume with LiDAR

- data in mountain areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 66(6): 787–797.
4. Dalponte, M., Tonolli, S., Vescovo, L., Neteler, M., and Gianelle, D. 2010. Fusion of multispectral and lidar remote sensing data for the estimation of forest attributes in an Alpine region. The 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems. September 14th- 17<sup>th</sup>. 2010. Freiburg, Germany.
  5. Gobakken, T., and Naesset, E. 2008. Assessing effects of laser point density, ground sampling intensity, and field sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data. Canadian journal forest research. 38: 1095-1109.
  6. Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., and Case, B.S. 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. Forest Ecology and Management. 225, 378–390.
  7. Hawbaker, T.J., Gobakken, T., Lesak, A., Trømborg, E., Contrucci, K., and Radeloff, V. 2010. Light Detection and Ranging-Based Measures of Mixed Hardwood Forest Structure. Forest Science. 56(3): 313-326, 14.
  8. Hirata, Y. 2008. Estimation of stand attributes in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands using QuickBird panchromatic data. Journal of Forest Research. 13(3): 147-154.
  9. Hollaus, M., Wanger, W., Maier, B., and Schadauer, K. 2007. Airborne laser scanning of forest stem volume in a mountainous environment. Sensors. 7: 1559-1577.
  10. Kallio, E., Maltamo, M., and Packalen, P. 2010. Effect of sampling intensity on the accuracy of species-specific volume estimates derived with aerial data: A case study on five privately owned forest holdings, The 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems September 14th - 17<sup>th</sup>, 2010, Freiburg, Germany.
  11. Khorrani, 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)
  12. Kraus, K., and Pfeifer, N. 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, ISPRS J. Photogrammetry remote sensing. 53: 193-203.
  13. Latifi, H., Nothdurft, A., and Koch, B. 2010. Non-parametric prediction and mapping of standing timber volume and biomass in a temperate forest: application of multiple optical/lidar- derived predictors. Forestry. 1-15.

14. LeMay, V., and Temesgen, H. 2005. Comparison of Nearest Neighbor Methods for Estimating Basal Area and Stems per Hectare Using Aerial Auxiliary Variables. *Forests science*. 51(2): 109–119.
15. Maltamo, M., Bollandsas, O.M., Næsset, E., Gobakken, T., and Packalén, P. 2010. Different plot selection strategies for field training data in ALS-assisted forest inventory. *Forestry*. 84(1): 23-31.
16. Maltamo, M., Malinen, J., Packalén, P., Suvanto, A., and Kangas, J. 2006. Nonparametric estimation of stem volume using airborne laser scanning, aerial photography, and stand-register data. *Canadian Journal of Forest Research*. 36(2): 426-436.
17. Maltamo, M., Næsset, E., and Vauhkonen, J. (eds.) 2014. *Forestry applications of Airborne Laser Scanning. Concepts and case studies*, Springer, 464p.
18. McInerney, D., Suarez-Minguez, J., Valbuena, R., and Nieuwenhuis, M. 2010. Forest canopy height retrieval using Lidar data, medium- resolution satellite imagery and k-NN estimation in Aberfoyle, Scotland. *Forestry*. 83(2): 195-206.
19. Mohammadi, J., and Shataee, Sh. 2010. Tree Diversity Mapping Using Landsat ETM+ Data in the Hyrcanian Forests of Iran. *Remote Sensing of Environment*. 114: 1504–1512.
20. Mohammadi, J., Shataee, Sh., and Babanezhad, M. 2010. Estimation of forest stand volume, tree density and biodiversity using Landsat ETM+ Data, comparison of linear and regression tree analyses. 1<sup>st</sup> conference spatial statistics, 23-25 March 2011, Enschede, the Netherlands.
21. Næsset, E. 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment*. 80: 88-99.
22. Næsset, E. 2011. Estimating above-ground biomass in young forests with airborne laser scanning. *International Journal of Remote Sensing*. 32: 473–501.
23. Næsset, E., Bollandsås, O.M., and Gobakken, T. 2005. Comparing regression methods in estimation of biophysical properties of forest stands from two different inventories using laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*. 94: 541-553.
24. Rahmati, R.M., Darvishsefat, A.A., Baghdadi, N., Namiranian, M., and Zargham, N.A. 2016. Stand volume Estimation using LiDAR ICESat/GLAS Data in Mountain forests of northern Iran. *Iranian remote sensing and GIS*, 7(4): 85-98. (In Persian)
25. Shataee, Sh., Kalbi, S., Falah, A., and Pelz, D.R. 2010. Forest attribute estimation using Aster data and k-NN algorithm, Forestsat 2010 Operational tools in forestry using remote sensing techniques. Septamber 2010, Spain.
26. Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G., and Ben Wu, X. 2006. Estimation of managed loblolly pine stands age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*. 223: 247–254.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

---

27. Sohrabi, H., Hosseini, S.M., and Zobeiri, M. 2010. Estimation of forest stand volume using textural indices of aerial images. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2): 297-306. (In Persian)
28. Sorin, C.P., Randolph, H.W., and John, A.S. 2010. Fusion of Small-Footprint Lidar and Multispectral Data to Estimate Plot-Level Volume and Biomass in Deciduous and Pine Forests in Virginia, USA. *Forest Science*. 50(4): 551-565(15).
29. Tonolli, S., Dalponte, M., Neteler, M., Rodeghiero, M., Vescovo, L., and Gianelle, D. 2011. Fusion of airborne LiDAR and satellite multispectral data for the estimation of timber volume in the Southern Alps. *Remote Sensing of Environment*. 11: 2486–2498.
30. Wang, X., Li, Z., Liu, X., Deng, G., and Jiang, Z. 2007. Estimating stem volume using QuickBird imagery and allometric relationships for open *Populus xiaohei* plantations. *Journal of integrative Plant Biology*. 449(9): 1304-1312.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 23 (1), 2016  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Assessing Effect of Ground Sampling Intensity on Estimating Forest Quantitative Characteristics Using Fusion of Airborne Laser Scanner Data and Ultra Cam-D Images

\*J. Mohammadi<sup>1</sup>, Sh. Shataei<sup>2</sup>, M. Namiranian<sup>3</sup> and Vahide Eslami<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Professor, Dept., of Forestry, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, <sup>4</sup>M.Sc. Graduated, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08/07/2016; Accepted: 12/04/2016

### Abstract

**Background and objectives:** In this study we evaluated the effect of reduce the number of plots on estimation of stand volume, tree density and basal area using random forest, support vector regression and *k*-NN algorithms for the part of Shast Kalate of Gorgan.

**Materials and methods:** We applied a systematic random sampling method to collect field data with 150×200 meter network (3.33%, 1.66% and 0.83% intensity sampling). Futhermore, 308 circular with 17.84 (0.1 ha) meters radius plot were measured in study area. In addition to the data collected, in the compartment number of 16 and 21 (13.3 and 6.66%), we applied a systematic random sampling method to collect field data with 75×100 meter network. Also, 134 plot circular with 17.84 (0.1 ha) meters radius were measured in 2 compartments. After removal of all outliers and creating DTM and DSM, all height and density related metrics of first and last pulse were produced. Also, after orthorectification digital aerial images, all texture measures were produced.

**Results:** The results of comparison of intensity sampling in stand volume, tree density and basal area estimation using fusion Lidar data and Digital aerial images showed that with increasing intensity sampling, RMSE% is reduced and with reducing intensity sampling, the RMSE% is increased. Although the results of 3.33%, 1.66% and 0.83% intensity sampling were not very different but According to low difference in RMSE% of the resulting all intensity sampling (3.33%, 1.66%

---

\*Corresponding author: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir

and 0.83%), the 0.83% intensity sampling recommended to estimate the stand volume, tree density and basal area.

**Conclusion:** Therefore, there is a possibility of the estimation of stand volume, tree density and basal area using Laser scanner data and Ultra Cam-D images with minimum cost, reasonable accuracy and less plots compared to 3.33% intensity.

**Keywords:** Intensity sampling, Forest structure quantitative characteristics, Lidar, Digital Aerial images, Machine learning and Shast Kalate of Gorgan