دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

امکان‌سنجی و بررسی کارایی دوربین دیجیتال در برآورد قطر درختان در بوم‌سازگان جنگل (مطالعه موردی: برآورد قطر در ارتفاع‌های مختلف درختان)

هادی بیاتی[۱]، اکبر نجفی[۲]، جواد وحیدی[۳] و سید غلامعلی جلالی[۴]

۱- علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشیار مهندسی جنگل، گروه جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسوول: a.najafi@modares.ac.ir)
۳- استادیار گروه ریاضی محض، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۴- دانشیار جنگلداری، گروه جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳
صفحه: ۶۳ تا ۷۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برآورد سریع، کم‌هزینه و صحیح مشخصه‌های کمی درختان در بوم‌سازگان جنگل، از چالش‌های پیش روی مدیران و داده‌برداران جنگل است. بنابراین برای مناطق جنگلی، خصوصاً جنگل‌های ناهمسال و پهن‌برگ مانند جنگل‌های شمال ایران که با گونه‌ها و ابعاد مختلف درختی پوشیده شده‌اند، این روش‌ها بایستی ارتقا یافته و برای شرایط خاص حاکم بر جنگل سازگار شوند. این روش‌ها بایستی، کاربرپسند، قابلیت تکرار پذیری، کم‌هزینه و مهم‌تر از همه، دارای دقت و صحت قابل قبول برای داده‌برداری جنگل باشند.

مواد و روش‌ها: با توجه به پیشرفت فناوری در صنعت عکاسی، یکی از روش‌های جذاب و پیشنهادی می‌تواند بهره‌گیری از دوربین‌های دیجیتال باشد که در این پژوهش امکان سنجی و کارایی آن در برآورد قطر در ارتفاع‌های مختلف درختان مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از یک دوربین دیجیتال که روی یک شاخص افقی از پیش طراحی شده نصب شده بود و برداشت تصاویر از فواصل مختلف عکس‌برداری، مشخصه‌های قطر در ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و قطر بالای تنه برای ۱۰۸ درخت در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس و در دامنه ارتفاعی ۷۵۰ تا ۱۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و در فصل پاییز برآورد گردید. فاصله هر ایستگاه عکس‌برداری تا هر درخت، با استفاده از قسمت فاصله سنج صوتی و لیزری دستگاه Vertex و همچنین متر لیزری برداشت گردید.

یافته‌ها: نتایج کلی نشان داد که در سطح آماری ۹۵ درصد، تنها در برآورد قطر در ارتفاع کنده اختلاف معنی‌داری ($p<0.05$) با داده‌های واقعی وجود دارد. همچنین این روش در برآورد قطر برابرسینه و در ارتفاع کنده حالت کم‌برآوردی و در برآورد قطر بالای تنه، حالت بیش‌برآوردی را از خود نشان می‌دهد. کمترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا نیز در برآورد قطر برابرسینه (۴٪/۹۹) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: روش مورد ارزیابی نشان داد که در کلاسه‌های میانی مشخصه‌های داده‌های برداشت شده، دارای دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به کلاسه‌های بالا و پایینی است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش فاصله نقطه عکس‌برداری تا درختان، بر میزان خطای برآوردی افزوده می‌شود. علاوه‌براین، نتایج مطالعه زمان‌سنجی نشان داد که متوسط زمان مورد نیاز برای برداشت داده‌ها، در روش دوربین دیجیتال و روش سنتی، به ترتیب ۳/۸۸ و ۳/۴۲ دقیقه به ازای هر درخت است.

واژه‌های کلیدی: تصویربرداری برد کوتاه، داده‌برداری جنگل، دورسنجی، قطر برابر سینه، مشخصه‌های کمی درختان

مقدمه

داده‌برداری در بوم‌سازگان جنگل پایه و اساس موارد متعددی از اهداف بوم‌شناختی و مدیریت جنگل مانند: پایش رویش، برآورد زی‌توده، برآورد حجم مقطوعات و تحلیل ساختار و پویایی جنگل بوده که باید به‌صورت دقیق و صحیح اطلاعات مورد نیاز آن برداشت شود (۶،۱). این فعالیت جهت استخراج مشخصه‌های کمی درخت (قطر، ارتفاع، موجودی سرپا و غیره)، امری زمان‌بر و پرهزینه بوده که مدیران جنگل را با چالش انتخاب روش و وسایل بهینه روبه‌رو می‌کند. به‌ویژه اینکه قطر در ارتفاع برابرسینه، قطر در ارتفاع بالای تنه و ارتفاع درخت، همبستگی زیادی با متغیرهایی مانند حجم درخت و زی‌توده دارند، اما به‌سختی و در اغلب موارد با خطای زیاد قابل اندازه‌گیری یا برآورد هستند (۷،۳). همچنین برخی از این مشخصه‌ها مانند قطر تنه در ارتفاع بالای درخت، به راحتی قابلیت دسترسی برای آماربردار نداشته و در نتیجه اندازه‌گیری یا برآورد آن برای گروه داده‌برداری، سخت و زمان بر خواهد بود (۹،۸).

سادگی و استاندارد بودن روش‌ها و وسایل سنتی و رایج داده‌برداری جنگل (از قبیل کالیپر، قطب‌نما و رلاسکوپ)، خود دلیلی بر اهمیت آنها بوده، به‌طوری که به شکل گسترده در تحقیقات، پایش و مدیریت جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما در مقابل، این روش‌ها به شکل ذاتی دارای خطا بوده به‌طوری‌که میزان و تعداد این خطاها تنها برای افراد با تجربه کم است و در مقابل آنها را برای محققانی که نیاز به برداشت‌های منظم زمانی دارند، نامناسب، غیر اقتصادی و زمان‌بر می‌نماید (۱۱،۱۰،۳). بنابراین برای مناطق جنگلی، خصوصاً جنگل‌های ناهمسال و پهن‌برگ مانند جنگل‌های شمال ایران که با گونه‌ها و ابعاد مختلف درختی پوشیده شده‌اند، این روش‌ها بایستی ارتقا یافته و برای شرایط خاص حاکم بر جنگل سازگار شوند. این روش‌ها بایستی، کاربرپسند،

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

قابلیت تکرار پذیری، کم‌هزینه و مهم‌تر از همه، دارای دقت و صحت قابل قبول برای داده‌برداری جنگل باشند. به‌منظور دستیابی به چنین ویژگی‌هایی، اندازه‌گیری‌های نوری (ترکیبی از تجهیزات داده‌برداری و فناوری سنجش از دور) توسعه یافته که اندازه‌گیری مشخصه‌های کمی درخت از فاصله دور را ممکن می‌سازد. مطالعه‌ی مارش (۱۲) جزء اولین مطالعات در استفاده از دوربین عکس‌برداری برای اندازه‌گیری قطر درختان بود که توانست قطر را برای تصاویر افقی با مقداری خطای (۳/۲۰ ± میلی‌متر) برآورد نماید. در یک روش ساده‌تر، برادشاو (۱۳) با استفاده از یک دوربین با لنز ۱۳۵ میلی‌متری متصل شده به یک شیب‌سنج و متر، توانست قطر درختان با ابعاد (۳۰–۷۶ سانتی‌متر) را با خطای (±۹/۹ میلی‌متر) برآورد نماید. مشکلاتی که در استفاده از دوربین‌های سنتی به‌عنوان وسیله داده‌برداری جنگل وجود داشت، شامل: هزینه نوار فیلم عکس‌برداری، تاخیر در ظهور فیلم‌ها، پیچیدگی محاسبات، نور نامناسب در عکس‌برداری و مشکلات جهت عکس‌ها بود. امروزه و با پیشرفت فناوری عکس‌برداری و همچنین وسایل آن مانند دوربین‌های دیجیتال و با توجه به اینکه این وسایل دارای وزن کم، قیمت مناسب و عدم نیاز به دانش خاص و پیچیده در استفاده هستند، لذا این امکان و پتانسیل وجود دارد که از تصویر برداری زمینی دیجیتال (DTP)[1] در داده‌برداری جنگل استفاده گردد. از جمله مطالعاتی که با روش DTP اقدام به برآورد برخی مشخصه‌های کمی درختان کرده‌اند، می‌توان به مطالعه جوهاوی (۱۴) اشاره نمود که با استفاده از دوربین دیجیتال، شاخص و متر لیزری توانست نتایج قابل قبولی برای برآورد قطر تنه درختان کاج (*Pinus sylvestris*) به دست آورد. همچنین کلارک و همکاران (۱۵) در جنگل‌های بلوط قرمز با استفاده از دوربین دیجیتال و در فواصل ۳ تا ۱۵ متری از تنه در ختان، توانست قطر درختان را با دقت ۴± سانتی‌متر برآورد نماید. میکیتا و همکاران (۱۶) در جنگل‌های جمهوری چک و با ترکیب تصویربرداری هوایی و زمینی، قطر برابرسینه را با خطای یک سانتی‌متر برآورد نمودند. فرسمن و همکاران (۱۷) و با ترکیب ۵ دوربین دیجیتال، توانست قطر درختان را در جنگل‌های سوزنی‌برگ سوئد، با خطای (۹/۵ –۲/۸ سانتی‌متر) برآورد نمایند. همچنین عزیزی و همکاران (۱۸) با استفاده از روش عکس‌برداری زمینی اقدام به برآورد زی‌توده درختان تک پایه بلوط ایرانی در چهار محال و بختیاری نمودند که نتایج این مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان زی‌توده برآوردی از روش عکس‌برداری و شیوه قطع وجود ندارد.

بر اساس اطلاعات موجود، مطالعه مشابهی در کشور و در ارتباط با جنگل‌های شمال کشور صورت نپذیرفته بود. بنابراین هدف پژوهش حاضر، امکان‌سنجی و بررسی کارایی روش عکس‌برداری با دوربین دیجیتال، در برآورد مشخصه‌های کمی قطر در ارتفاع کنده، قطر برابرسینه، و قطر بالای تنه درختان در جنگل‌های پهن برگ شمال ایران است. همچنین جهت بررسی دقت، خطا و زمان مورد نیاز جهت جمع‌آوری داده، تحلیل و برآورد مقادیر روش مد نظر توسط دوربین دیجیتال، نتایج آن با نتایج حاصل از روش و وسایل رایج داده‌برداری جنگل، در بوته آزمایش قرار گرفت.

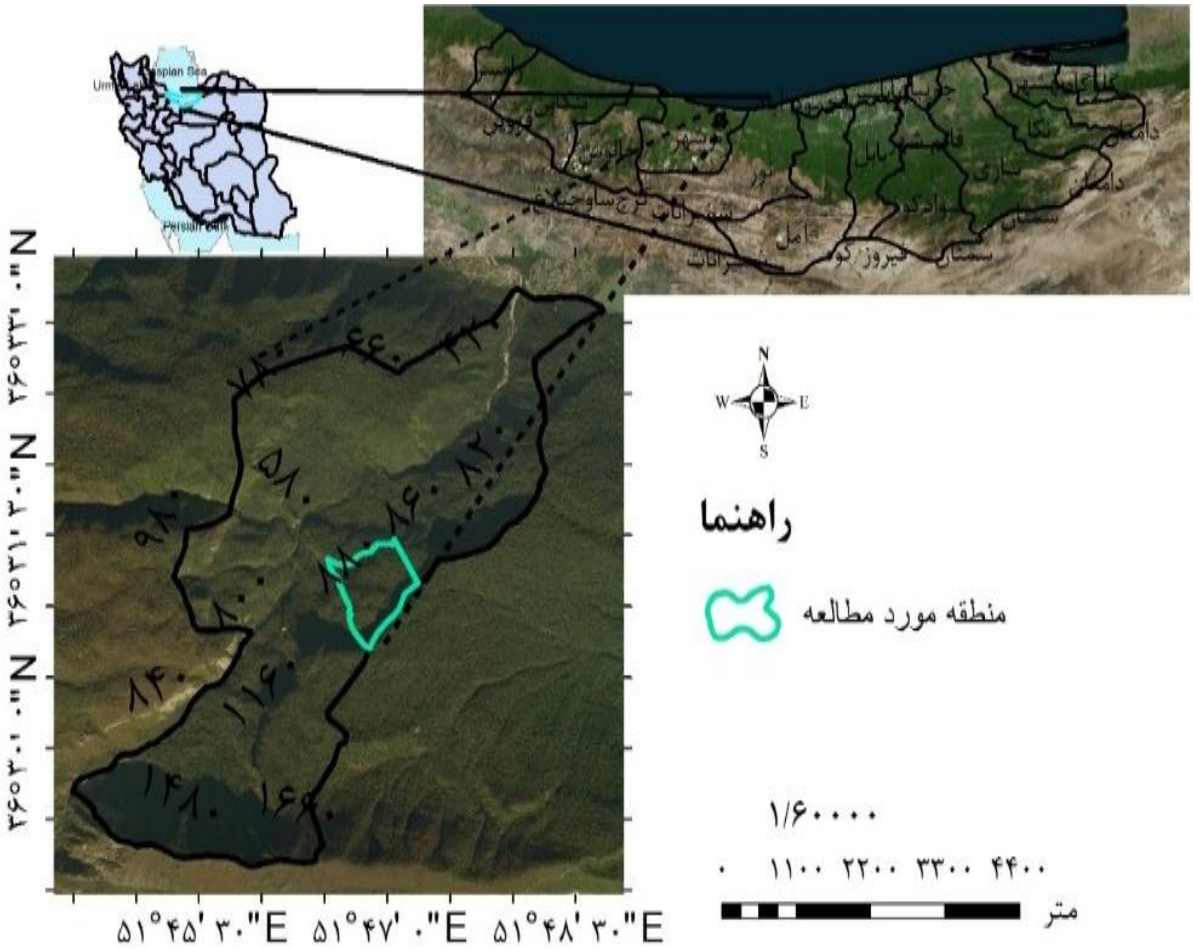
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

عملیات تصویربرداری زمینی، در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس در محدوده عرض جغرافیایی ۲۹َ°۳۶ تا ۳۲َ°۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ۴۳َ°۵۱ تا ۴۷َ°۵۱ شرقی و در دامنه ارتفاعی ۷۵۰ تا ۱۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و در فصل پاییز انجام پذیرفت (شکل ۱).

1- Digital Terrestrial Photogrammetry

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of study area

روش پژوهش

به‌منظور برداشت تصاویر مورد نیاز، با استفاده از یک دوربین دیجیتال متوسط Sony DCS-W55 با دقت حسگر ۷/۲ مگاپیکسل که روی یک شاخص افقی از پیش طراحی شده نصب شده بود، و به‌منظور برآورد قطر در ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و قطر بالای تنه (از بالای کنده تا محل ظهور اولین شاخه‌ها) (۱۹) اقدام به عکس‌برداری از قسمت پایین و بالایی تنه ۱۰۸ درخت در محیط جنگل گردید (شکل ۲). لازم به ذکر است که حالت بزرگ‌نمایی دوربین، در تمامی تصاویر برداشت شده، به صورت غیر فعال تنظیم شده بود. فاصله هر ایستگاه عکس‌برداری تا هر درخت، با استفاده از قسمت فاصله سنج صوتی و لیزری دستگاه Vertex و همچنین متر لیزری برداشت گردید. مزیت استفاده از دستگاه Vertex در قیاس با مترهای نواری و همچنین مترهای لیزری رایج، امکان محاسبه فاصله در سطح شیب‌دار و تصحیح مقدار آن است.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

شکل ۲- الگویی از نحوه قرارگیری دوربین و شاخص به همراه دو نمونه از تصاویر تهیه شده از درختان
Figure 2. Schematic position of the camera and indicator, along with two examples of images taken from trees

روش تحلیل

با توجه به اینکه ابعاد تصاویر تهیه شده در فضای غیر واقعی بوده، لذا با استفاده از اندازه شاخص عمودی (۲ سانتی‌متر) تعبیه شده روی شاخص افقی (شکل ۲)، ابعاد تمامی تصاویر و درختان در محیط نرم‌افزار Image J و در مقیاس واقعی کالیبره شد. در ادامه و با استفاده از رابطه ۱، مقادیر مشخصه‌های کمی درختان در ابعاد واقعی محاسبه گردید.

$$v = \left(\frac{x_i * D}{50}\right) * 100$$ رابطه (۱)

که در این رابطه (رابطه مذکور از تناسب هندسی میان شاخص، فاصله عکس‌برداری و ابعاد به دست آمده در محیط نرم افزار، توسط نویسندگان مقاله منتج شده است)، v اندازه مشخصه کمی درخت به سانتی‌متر، x_i طول اندازه گیری شده برای مشخصه مورد نظر در محیط نرم‌افزار و D فاصله تصحیح شده ایستگاه عکس‌برداری تا درخت به متر است.

به منظور ارزیابی دقت و کارایی روش دوربین دیجیتال در قیاس با روش داده‌برداری سنتی (کالیپر)، نتایج هر دو روش و برای تمام ۱۰۸ درخت و معیارهای اریبی[1]، درصد اریبی[2]، ریشه میانگین مربعات خطا[3]، درصد ضریب تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا[4]، ریشه میانگین مربعات خطای تعدیل شده[5] و درصد اشتباه نمونه برداری[6] و به دو صورت کلی و همچنین به تفکیک در کلاسه‌های ۵ گانه قطری، برای مشخصه‌های مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین اثر فاصله عکس‌برداری بر دقت روش دوربین دیجیتال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از برداشت کالیپر، به عنوان مقادیر واقعی، و نتایج حاصل از روش دوربین دیجیتال، به عنوان برآورد در نظر گرفته شد.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_{ci} - y_{ri})^2/(n)}$$ رابطه (۲)

$$\%\mathrm{CV.RMSE} = \mathrm{RMSE}/\overline{y_r} \times 100$$ رابطه (۳)

$$\mathrm{NRMSE} = (\mathrm{RMSE}/(y_{r.max} - y_{r.min})) \times 100$$ رابطه (۴)

$$\mathrm{Bias} = 1/n \sum_{i=1}^{n}(y_{ci} - y_{ri})$$ رابطه (۵)

$$\%\mathrm{Bias} = (\mathrm{Bias}/\sum_{i=1}^{n}(y_{ri})) \times 100$$ رابطه (۶)

$$\%\mathrm{E} = (\mathrm{E}/\mathrm{Avg}) \times 100$$ رابطه (۷)

که در آنها، y_{ci} مقادیر برآورد شده توسط دوربین دیجیتال، y_{ri} مقادیر برداشت زمینی، n تعداد مشاهدات، $\overline{y_r}$ میانگین مقادیر برداشت زمینی، $y_{r.max}$ مقدار حداکثر برداشت زمینی، $y_{r.min}$ مقدار حداقل برداشت زمینی، E اشتباه نمونه برداری و Avg میانگین مقادیر برداشت شده می باشد.

نتایج و بحث

نتایج کلی حاصل از برآورد قطر درختان در ارتفاع مختلف، با استفاده از دوربین دیجیتال، در قیاس با داده‌های حاصل از داده‌برداری زمینی در جنگل، در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- مقایسه نتایج دوربین دیجیتال با داده‌برداری زمینی در برآورد قطر درختان
Table 1. Comparison of digital camera results with the ground survey in estimating trees diameter

متغیر*	منبع داده	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	E%
قطر در ارتفاع کنده	داده‌برداری زمینی	۳۵/۰۰	۱۴۰/۰۰	۸۱/۳۰	۲۱/۳۶	۵/۰۱
	برآورد دوربین	۳۸/۹۲	۱۳۵/۴۲	۸۰/۲۶	۲۰/۷۰	۴/۹۲
قطر برابرسینه	داده‌برداری زمینی	۳۰/۰۰	۱۱۵/۰۰	۶۸/۹۲	۱۹/۶۷	۵/۴۴
	برآورد دوربین	۳۱/۷۴	۱۱۷/۰۰	۶۸/۵۶	۲۰/۰۹	۵/۵۹
قطر بالای تنه	داده‌برداری زمینی	۱۵/۰۰	۷۰/۰۰	۳۶/۸۵	۱۳/۶۰	۷/۰۴
	برآورد دوربین	۱۴/۸۵	۷۷/۷۴	۳۶/۸۸	۱۴/۳۲	۷/۴۰

*: تمامی واحدها به سانتی‌متر است.

1- Bias 2- % Bias 3- RMSE 4- %CV.RMSE 5- NRMSE 6- E%

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

مقایسه آماری در آزمون T جفتی نشان داد که به شکل کلی و در همه کلاسه‌های قطری میان دو روش دوربین دیجیتال و داده‌برداری زمینی، تنها در برآورد قطر در ارتفاع کنده، اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪ ($p<0.05$) وجود دارد، در حالیکه برای سایر متغیرها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲)، که این امر با نتایج (۱۲،۱۳،۱۶،۱۸) همسو است.

جدول ۲- مقایسه آماری دو روش در برآورد قطر درختان

Table 2. Statistical comparison of two methods in estimating the diameter of trees

متغیر	t	معنی داری
قطر در ارتفاع کنده	۲/۱۶۷	۰/۰۳۲*
قطر برابرسینه	۱/۰۷۷	۰/۲۸۴
قطر بالای تنه	-۰/۰۹۴	۰/۹۲۶

*: اختلاف معنی دای در سطح ۹۵ ٪

نتایج معیارهای ارزیابی نشان داد که روش دوربین دیجیتال در برآورد قطر در ارتفاع کنده و قطر برابر سینه، حالت کم‌برآوردی[1] و در برآورد قطر بالای تنه درختان، تقریبا به شکل بیش‌برآوردی[2] عمل می‌کند. کمترین و بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا (% CV.RMSE) نیز به‌ترتیب در برآورد قطر برابر سینه (۴/۹۹ ٪) و قطر بالای تنه درختان (۹/۴۴ ٪) محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی برای کل درختان

Table 3. Results of evaluation criteria for whole trees

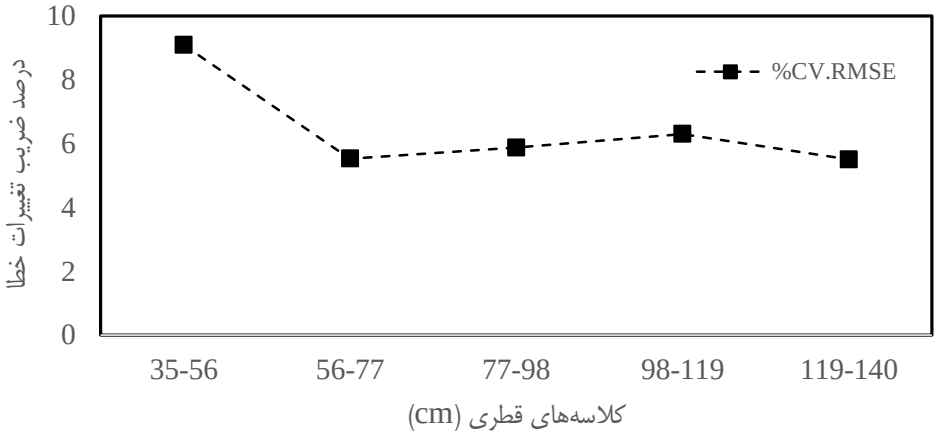
متغیر	RMSE*	% CV.RMSE	NRMSE*	Bias*	% Bias
قطر در ارتفاع کنده	۵/۰۶	۶/۲۳	۰/۰۵	-۱/۰۳۸	-۰/۰۱۲
قطر برابر سینه	۳/۴۴	۴/۹۹	۰/۰۴	-۰/۳۵۶	-۰/۰۰۵
قطر بالای تنه	۳/۴۸	۹/۴۴	۰/۰۶	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱

*: واحدها به سانتی‌متر است

که علت آن را می‌توان به فاصله بیشتر قسمت بالای تنه درختان با دوربین، اختلاف میزان نور دریافتی در تصاویر، و همچنین باریک‌تر شدن ابعاد تنه درختان در قسمت‌های بالایی، ارتباط داد (۱۳،۱۹). علاوه بر این، برآورد قطر در ارتفاع کنده نیز نسبت به قطر برابر سینه، درصد خطای بیشتری داشت که علت آن را می‌توان به عدم امکان تشخیص صحیح‌تر تنه درختان در قسمت‌های پایینی درختان و به‌علت وجود زیراشکوب یا پوشش کف متراکم اطراف درخت، نسبت داد. لذا این احتمال وجود دارد که کاربرد و عملیاتی شدن دوربین دیجیتال در جنگل‌های کوهستانی شمال کشور، تحت تاثیر پوشش کف یا زادآوری گسترده و متراکم اطراف درخت قرار گیرد. به‌منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر داده‌های متغیرهای برداشت شده به‌صورت فاصله طبقات تقریبا برابر، به طبقات ۵ گانه‌ای تقسیم شده و مقایسات در آن طبقات انجام پذیرفت، که به تفکیک در ادامه ذکر گردید.

نتایج برآورد قطر در ارتفاع کنده

نتایج معیارهای ارزیابی نشان داد که روش دوربین دیجیتال کمترین و بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا (%CV.RMSE) در برآورد را به‌ترتیب (از راست به چپ) برای کلاسه‌های ۷۷-۵۶ و ۵۶-۳۵ سانتی‌متر داشت (شکل ۳).



شکل ۳ – مقدار درصد ضریب تغییرات خطا در کلاسه‌های قطری مختلف قطر در ارتفاع کنده

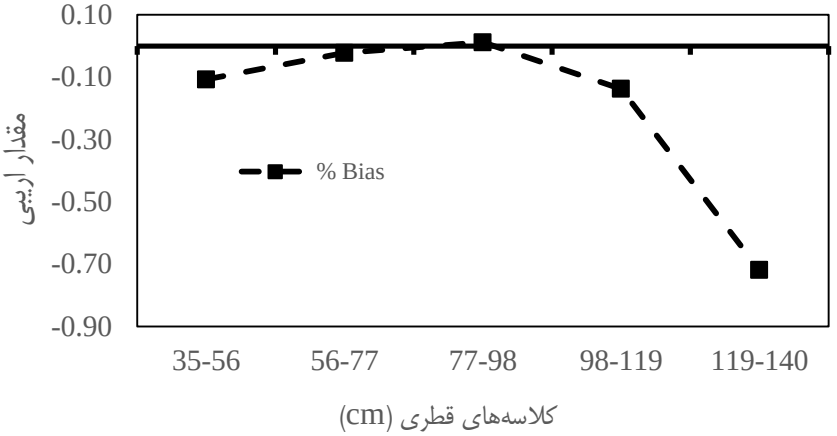
Figure 3. Value of % CV.RMSE in different diameter classes of diameter at stump height

همچنین مقادیر درصد اریبی نشان داد که مقادیر برآوردی قطر در ارتفاع کنده، تنها برای کلاسه‌ی ۹۸-۷۷ سانتی‌متری حالت بیش‌برآوردی بوده و برای باقی کلاسه‌ها، به‌صورت کم‌برآوردی است (شکل ۴).

1- Under Estimated

2- Over Estimated

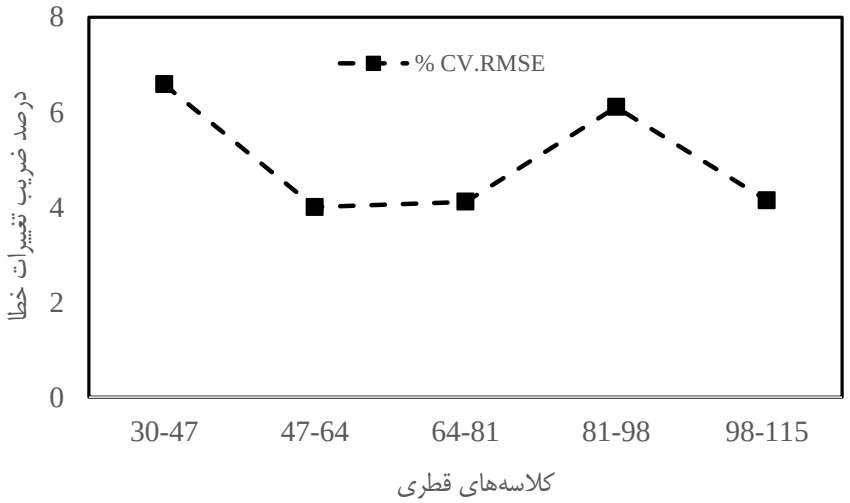
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]



شکل ۴- مقدار درصد اریبی در کلاسه‌های قطری مختلف قطر در ارتفاع کنده
Figure 4. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at stump height

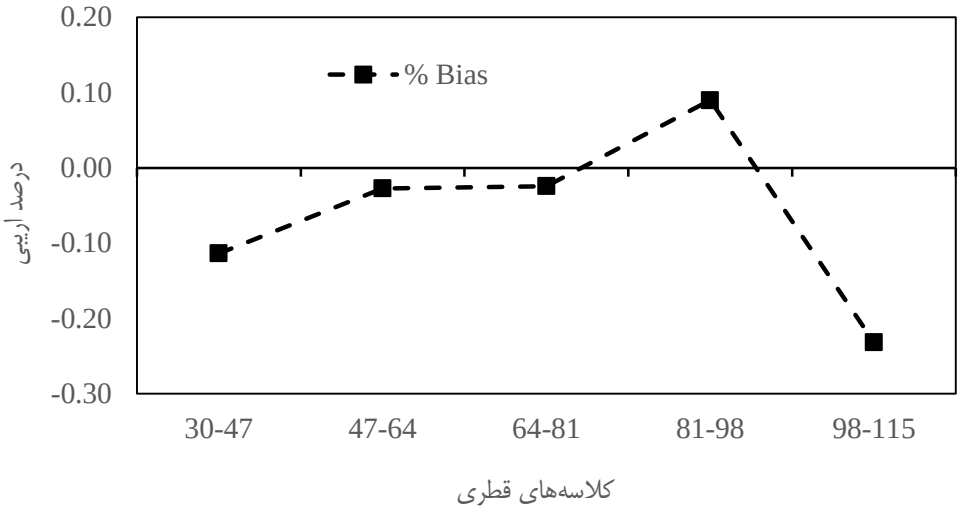
نتایج برآورد قطر برابر سینه

نتایج معیارهای ارزیابی برآورد قطر برابر سینه نشان داد که، روش دوربین دیجیتال در تمامی کلاسه‌های قطری به استثناء کلاسه‌ی ۹۸-۸۱ سانتی‌متر، دارای حالت کم‌برآوردی است. همچنین بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا (%CV.RMSE) در برآورد را در کلاسه قطری ۴۷-۳۰ سانتی‌متری مشاهده گردید (شکل ۵ و شکل ۶).



شکل ۵- مقدار درصد ضریب تغییرات خطا در کلاسه‌های قطری مختلف قطر برابر سینه
Figure 5. Value of % CV.RMSE in different diameter classes of diameter at breast height

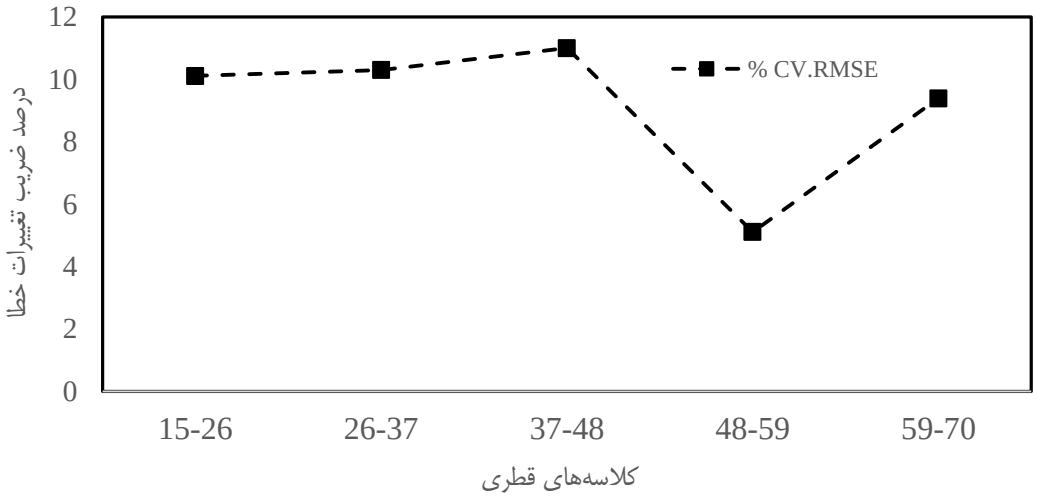
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]



شکل ۶- مقدار درصد اریبی در کلاسه‌های قطری مختلف قطر برابر سینه
Figure 6. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at breast height

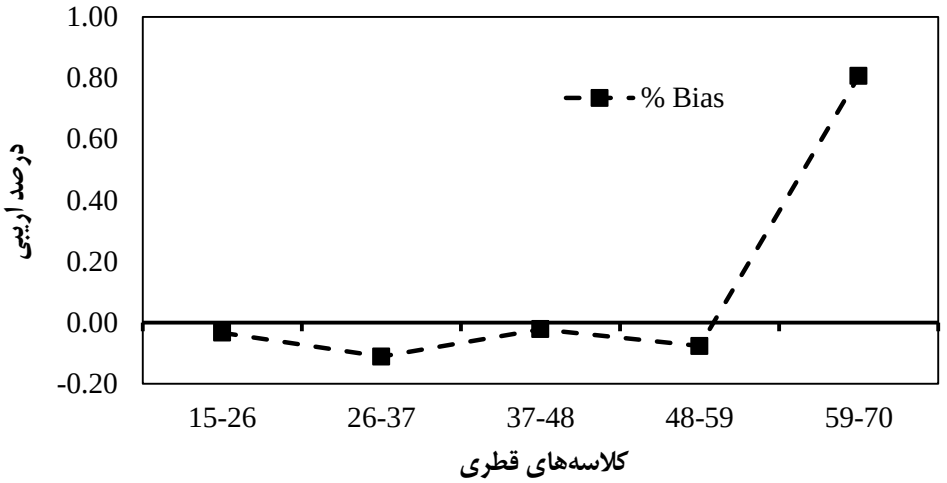
نتایج برآورد قطر در بالای تنه

در برآورد قطر بالای تنه درختان توسط دوربین دیجیتال، به ترتیب (از راست به چپ) کمترین و بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا (% CV.RMSE) در کلاسه‌های قطری ۵۹-۴۸ و ۴۸-۳۷ سانتی‌متری مشاهده گردید. همچنین به جز کلاسه قطری ۷۰-۵۹ سانتی متری، در باقی کلاسه‌ها، حالت کم‌برآوردی عمل می‌کند (شکل ۷ و شکل ۸).



شکل ۷- مقدار درصد ضریب تغییرات خطا در کلاسه‌های قطری مختلف قطر بالای تنه
Figure 7. Value of % CV.RMSE in different diameter classes of diameter at top of trunk height

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]



شکل ۸- مقدار درصد اریبی در کلاسه‌های قطری مختلف قطر بالای تنه
Figure 8. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at top of trunk height

بررسی میزان درصد ضریب تغییرات خطا و اریبی در برآورد کلاسه‌های مختلف مشخصه‌های مورد سنجش در این پژوهش، نشان داد که تقریبا روند خاصی در میزان خطا و اریبی برآورد آنها مشاهده نمی‌شود، و بیشتر هم به حالت کم‌برآوردی عمل می‌کند. البته کمترین مقدار آنها را می‌توان در کلاسه‌های میانی مشاهده نمود، که دلیل این امر را نیز می‌توان به قابل تشخیص‌تر بودن این مشخصه‌ها، در تصاویر برداشت شده از درختان و در طبقات متوسط نسبت داد. چرا که در طبقات پایین و بالاتر، احتمال مشاهده نویز، تداخل با تنه درختان مجاور، تاثیر پوشش زادآوری اطراف درختان و همچنین در سایه قرار گرفتن افزایش می‌یابد (۱۷).

فاصله‌ی عکس‌برداری

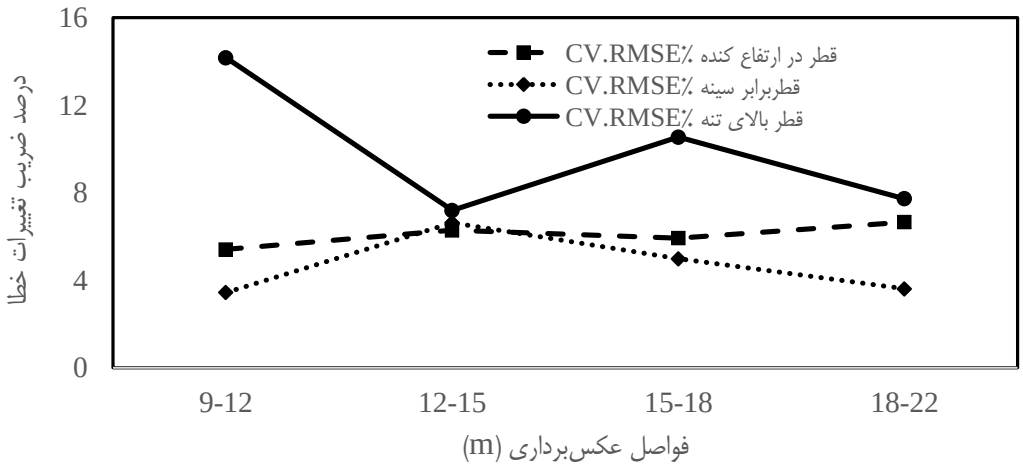
فواصل ممکن عکس‌برداری جهت برداشت تصاویر در جدول ۴ نمایش داده شده است. میانگین فاصله ممکن عکس‌برداری از درختان ۱۵/۹۹ متر می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر آماری فاصله محل عکس‌برداری

متغیر*	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
فاصله تا محل عکس‌برداری	۹/۹۰	۲۲/۰۰	۱۵/۹۹	۲/۶۴

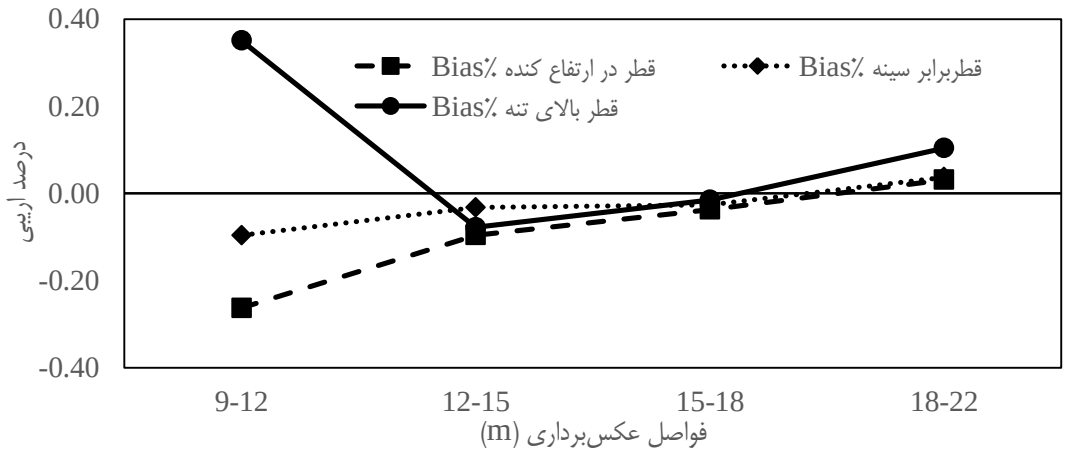
*: تمامی واحدها به متر می‌باشد.

کمترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطا (%CV.RMSE) در فاصله ۹ تا ۱۲ متر و برای مشخصه قطر برابر سینه و بیشترین مقدار آن در فاصله ۹ تا ۱۲ متر برای مشخصه قطر بالای تنه محاسبه گردید. همچنین بیشترین مقدار درصد اریبی در فاصله ۹ تا ۱۲ متر و برای مشخصه قطر بالای تنه مشاهده شد (شکل ۹ و شکل ۱۰).



شکل ۹ – نمودار تغییر مقدار درصد ضریب تغییرات خطا در برآورد قطر در فواصل مختلف عکس‌برداری
Figure 9. Graph of % CV.RMSE trend in diameter estimation at different shooting intervals

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]



شکل ۱۰- نمودار تغییر مقدار درصد اریبی در برآورد قطر در فواصل مختلف عکس‌برداری
Figure 10. Graph of % Bias trend in diameter estimation at different shooting intervals

نتایج موید این مطلب است که با افزایش میزان فاصله محل عکس‌برداری، بر میزان خطا افزوده شده و بنابراین، دقت کلی به‌طور مستقیم وابسته به فاصله میان دوربین و درخت روی نقاط اندازه‌گیری در تنه است (۲۰). چرا که در فواصل بیشتر، امکان تشخیص و تفکیک تنه درختان از سایر بخش‌های تصاویر برداشت شده، کاهش پیدا می‌کند. همچنین این امر تا حدودی افزایش واریانس در ارتفاعات بالای تنه و به شکل نظری با افزایش فاصله تا درخت را توجیه می‌کند؛ البته شایان ذکر است که این امر می‌تواند تحت تاثیر دقت و وضوح دوربین مورد استفاده، شرایط عکس‌برداری مانند ساعت روز و شدت نور نیز قرار گرفته و با استفاده از دوربین‌های با قدرت تفکیک بیشتر که امروزه انواع مختلف آن موجود است، اثر فاصله عکس‌برداری بر دقت نتایج را کم رنگ‌تر نمود.

زمان مورد نیاز جهت عکس‌برداری و محاسبات

با توجه به اینکه یکی از چالش‌های جایگزینی روش و وسایل جدید در داده‌برداری جنگل، علاوه بر دقت و صحت قابل قبول داده‌های به دست آمده؛ سرعت و سهولت آنها در جمع‌آوری داده و به‌صرفه بودن آنها از منظر زمان و هزینه می‌باشد (۲۱)، لذا مجموع و متوسط زمان اختصاص یافته در روش دوربین دیجیتال و روش سنتی داده‌برداری، برای کل درختان و هر درخت در جدول ۵ ذکر شده است.

جدول ۵- مقایسه زمان مورد نیاز جهت اخذ داده در روش دوربین دیجیتال و داده‌برداری سنتی
Table 5. Comparison of time required to obtain data in digital camera and traditional method

روش	تعداد درختان	مرحله و زمان طی شده (دقیقه)		جمع زمان طی شده (دقیقه)	متوسط زمان تقریبی هر درخت (دقیقه)
داده‌برداری سنتی	۱۰۸	اندازه گیری در جنگل	۳۷۰	۳۷۰	۳/۴۲
دوربین دیجیتال	۱۰۸	استقرار و فاصله یابی	۱۵۰	۴۲۰	۳/۸۸
		عکس‌برداری	۱۱۰		
		تحلیل و برآورد در نرم‌افزار	۱۶۰		

متوسط زمان ۳/۸۸ دقیقه برای هر درخت در روش دوربین دیجیتال در قیاس با روش سنتی داده‌برداری جنگل اختلاف زیادی نبوده و می‌توان آن را قابل قبول قلمداد نمود. عوامل متعددی در خطاهای بوجود آمده در روش ارائه شده در این پژوهش نقش داشته‌اند. در روش دوربین دیجیتال، خطاهای مربوط به جمع‌آوری و ثبت داده‌های ناصحیح در عرصه، که صحیح انگاشته شده، خطا در اندازه‌گیری داده‌های مرجع، تشخیص ناصحیح نقاط جهت اندازه‌گیری و کالیبره کردن روی تصاویر، وجود سایه و منابع متعدد مرتبط با خطای دوربین از جمله این عوامل هستند. در روش داده‌برداری سنتی با کالیپر نیز می‌توان به خطاهای میدانی کالیپر، خطای شخص اندازه گیر، جهت اندازه‌گیری و خطاهای محتوایی دامنه طبقات قطری اشاره داشت، که در صورت تجمیع این منابع خطا، منجر به ایجاد فاصله بیشتر میان داده‌های زمینی و برآوردی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این پژوهش، اگرچه برآورد خصوصیات کمّی درخت با خطا روبه‌رو بود، اما همین نتایج نیز قابل قیاس با روش‌های سنتی و رایج داده‌برداری جنگل بوده و تحقیقات آتی بایستی روی بهبود اجرایی روش‌ها در بوم سازگان جنگل متمرکز شوند. همچنین، آموزش کاربران نیز مستلزم توجه بوده، چرا که کیفیت داده‌های بدست آمده از این روش‌ها، تا حدودی توسط خط سیر انتخاب شده کاربران در عرصه تعیین شده و می‌تواند منجر به خطا شود. برتری اصلی این روش را می‌توان در برآورد بدون اختلاف معنی‌دار مشخصه‌های کمی و دور از دسترس درختان (مانند قطر در ارتفاعات بالای تنه درختان) و یا قرار گرفتن درختان در مکان‌هایی که امکان دسترسی به درخت، مشکل بوده و یا رسیدن آمار بردار به درخت را با مخاطره مواجه می‌سازد، عنوان نمود. امکان برآورد مشخصه‌های چند درخت از یک نقطه‌ی عکس‌برداری، که در نزدیکی یکدیگر قرار گرفته‌اند که موجب کاهش خستگی ونیاز

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

به تردد در عرصه و در نتیجه کاهش متوسط زمان برآورد می‌شود، از دیگر برتری‌های این روش می‌باشد. همچنین در مقابل سایر تجهیزات جدیدتر مانند قطرسنج‌های لیزری این مزیت را دارد که با توجه به ذخیره سازی عکس‌های برداشت شده در حافظه دوربین امکان بررسی مجدد آنها برای فرد میسر است.

لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر دامنه داده‌های برداشت شده محدود به یک منطقه و توده جنگلی بوده، و نمی‌تواند نماینده کلیه درختان و همچنین کلاسه‌های قطری مختلف آنها در جنگل‌های شمال ایران باشد. بنابراین، همانند سیر تکاملی سایر وسایل داده‌برداری جنگل، که امروزه به شکل گسترده در بیشتر نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند، این فناوری در ابتدای مراحل پژوهش خود بوده و سازگار شدن آن برای اجرا، گذر زمان و پژوهش‌های بیشتری در فصول، شرایط، توده‌های متفاوت و کلاسه‌های قطری متنوع‌تری را می‌طلبد.

منابع

1. Hamidi, S.K., A. Fallah, M. Bayat and S.A. Hosseini Yekani. 2017. Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots (Case Study: Farim Forest, Jojadeh District). Ecology of Iranian Forests, 4(8): 1-8 (In Persian).
2. Seyed Mousavi, Z., J. Mohammadi and S. Shataee. 2017. The Evaluation of Potential Airborne Laser Scanner Data in Estimating of Individual Canopy Area and Tree Heights in Part of Educational and Research Shast-Kalate Forests - Gorgan . Ecology of Iranian Forests, 5(9): 47-55 (In Persian).
3. Berveglieri, A., A. Tommaselli, X. Liang and E. Honkavaara.2017. Photogrammetric measurement of tree stems from vertical fisheye images. Scandinavian Journal of Forest Research, 32(8): 737-747.
4. Chen, Q., D. Baldocchi, P. Gong and M. Kelly. 2006. Isolating Individual Trees in a Savanna Woodland Using Small Footprint Lidar Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(8): 923-932.
5. Kwak, DA., 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.
6. Strigul, N., D. Pristinski, D. Purves, J. Dushoff and S. Pacala. 2008. Scaling from trees to forests: Tractable macroscopic equations for forest dynamics. Ecological Monographs, 78(4): 523-545.
7. Houghton, R.A. 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. Global Change Biology, 11(6): 945-958.
8. West, P.W. 2009. Tree and Forest Measurements, Springer Press.
9. Avery, T.E. and H.E. Burkhart. 2015. Forest measurements, Waveland Press.
10. Gardner, T.A., J. Barlow, I.S. Araujo, T.C. Ávila-Pires, A.B. Bonaldo, J.E. Costa, M.C. Esposito, L.V. Ferreira, J. Hawes, M.I.M. Hernandez, M.S. Hoogmoed, R.N. Leite, N.F. Lo-Man-Hung, J.R. Malcolm, M.B. Martins, L.A.M. Mestre, R. Miranda-Santos, W.L. Overal, L. Parry, S.L. Peters, M.A. Ribeiro-Junior, M.N.F. Da Silva, C. Motta and C.A. Peres. 2008. The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. Ecology letters, 11(2): 139-150.
11. Morgenroth, J. and C. Gomez. 2014. Assessment of tree structure using a 3D image analysis technique-A proof of concept. Urban Forestry & Urban Greening, 13(1): 198-203.
12. Marsh, E.K. measurement of standing sample trees, in: British Commonwealth Forestry Conference. 1952 Ottawa, 1952.
13. Bradshaw, F. 1972. Upper stem diameter measurements with the aid of 35mm photographs. Australian Forest Research, 6(1): 17-20.
14. Juujärvi, J., J. Heikkonen, S. Brandt and J. Lampinen. 1998. Digital Image Based Tree Measurement for Forest Inventory, in: Intelligent Robots and Computer Vision XVII: Algorithms, Techniques, and Active Vision. 114-123 pp.
15. Henning, J.G. and P.J. Radtke. 2006. Detailed stem measurements of standing trees from ground-based scanning lidar. Forest Science, 52(1): 67-80.
16. Mikita, T., P. Janata and P. Surový. 2016. Forest Stand Inventory Based on Combined Aerial and Terrestrial Close-Range Photogrammetry. Forests, 7(12): 165.
17. Forsman, M., N. Börlin and J. Holmgren. 2016. Estimation of Tree Stem Attributes Using Terrestrial Photogrammetry with a Camera Rig. Forests, 7(3): 61.
18. Azizi, Z., A. Hosseini and Y. Iranmanesh. 2018. Estimating Biomass of Single Oak Trees Using Terrestrial Photogrammetry. Journal of Environment Science & Technology, 75(19): 81-93 (In Persian).
19. Zobeiry, M. 1994. Forest Inventory (measurement of tree and stand). University of Tehran Press, Tehran (In Persian).
20. Clark, N., R. Wynne, D.L. Schmoldt and M. Winn. 2000. An assessment of the utility of a non-metric digital camera for measuring standing trees. Computers and electronics in agriculture, 28(2): 151-169.
21. Liang, X., A. Kukko, J. Hyyppä, M. Lehtomäki, J. Pyörälä, X. Yu, H. Kaartinen, A. Jaakkola and Y. Wang. 2018. In-situ measurements from mobile platforms : An emerging approach to address the old challenges associated with forest inventories. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 143(2018): 97-107.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

Feasibility and Evaluation Efficiency of Hand-held Digital Camera in Estimation of Trees Diameter in Forest Ecosystem (Case Study: Estimation of Diameter at Different Heights of Trees)

Hadi Bayati[1], Akbar Najafi[2], Javad Vahidi[3] and Seyed Gholamali Jalali[4]

1- Forest Engineering, Department of Forestry, Tarbiat Modares University, I.R. Iran
2- Associate Professor of Forest Engineering, Department of Forestry, Tarbiat Modares University, Tehran, I.R. Iran, (Corresponding Author: a.najafi@modares.ac.ir)
3- Assistant Professor of Iran University of Science and Technology, Tehran, I.R. Iran
4- Associate Professor of Forestry, Tarbiat Modares University, Tehran, I.R. Iran
Received: October 10, 2020 Accepted: January 12, 2021

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.16.2]

[DOI: 10.52547/ifej.9.18.63]

Extended Abstract

Introduction and Objective: Rapid, low-cost and accurate estimation of tree metrics in the forest ecosystem is one of the challenges facing forest managers and inventories. Therefore, given that the forest areas of northern of Iran, mainly deciduous and uneven-aged forests, are covered with various tree species of different sizes, mensuration techniques could be developed and established to suit the particular circumstances. Methods used in forest inventory should be user-friendly, repeatable, relatively low cost, and also have high accuracy and precession for forest inventory operation.

Materials and Methods: Thanks to technological advances in the photography industry, one of the attractive and proposed methods could be the use of digital cameras, in which the potential and performance of this method was evaluated to estimate diameter at different heights of trees. For this purpose, using a digital camera which is mounted on a pre-designed horizontal index and in different shooting distance, diameter at stump height, DBH, and diameter at top of trunk for 108 trees, in REFTMU and in the altitude range of 750 to 1100 meters above sea level and in autumn was estimated. The distance from each shooting station to each tree was captured using the audio and laser rangefinder of the Vertex device as well as the laser meter.

Results: The overall results showed that at 95% significance level, there was a significant difference with real data only in estimating the diameter at stump height. It is also showing an underestimation in estimating the diameter at breast height and at the top of trunk, and in estimating the upper trunk diameter, it was overestimated. The lowest amount of %CV.RMSE was also observed in estimating breast diameter (4.99%).

Conclusion: The evaluated method showed that in the middle classes of metrics captured data, it was more accurate and less error than the upper and lower classes. The results also showed that with increasing the distance of the shooting point, the error rate was increased. Consequently, the results of time study showed that the average operational time for capturing data in digital camera and the traditional method were 3.88 min.tree^{-1}, and 3.42 min.tree^{-1}, respectively.

Keywords: Diameter at Breast Height, Forest Inventory, Remote Sensing, Short Range photogrammetry, Tree metrics