



"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 مسؤول: a.najafi@modares.ac.ir)
۳- استادیار گروه ریاضی مختص، 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 پهنه‌برگ 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 امکان‌سنجی 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 برابر سینه و قطر بالای تن برای 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 همچین 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 برابر سینه و در ارتفاع کنده حالت کم‌برآورده و در برآورد قطر بالای تن، حالت بیش‌برآورده را از خود نشان می‌دهد. کمترین مقدار درصد ضریب تعییرات خطأ نیز در برآورد قطر برابر سینه (%) 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 براورده 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

اندازه‌گیری یا برآورد آن برای گروه داده‌برداری، سخت و زمان برخواهد بود (۹,۸%).

سادگی و استاندارد بودن روش‌ها و وسائل سنتی و رایج داده‌برداری جنگل (از قبیل کالپیر، قطب‌نما و رلاسکوب)، 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 خطأ بوده به‌طوری که میزان و تعداد این خطاهای 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 پهنه‌برگ 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،

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 به صورت دقیق و صحیح اطلاعات مورد نیاز آن برداشت شود (۱,۶). 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 وسائل بهینه رویه‌رو می‌کند. بهویژه اینکه قطر در ارتفاع برابر سینه، قطر در ارتفاع بالای تن و ارتفاع درخت، همبستگی زیادی با متغیرهایی مانند حجم درخت و زی‌توده دارند، اما به سختی و در اغلب موارد با خطای زیاد قبل اندازه‌گیری یا برآورد هستند (۳,۷). همچنین برخی از این مشخصه‌ها مانند قطر تن برای ارتفاع بالای درخت، به راحتی قابلیت دسترسی برای آماربردار نداشته و در نتیجه

جنگل‌های جمهوری چک و با ترکیب تصویربرداری هوایی و زمینی، قطر برایرسینه را با خطای یک سانتی‌متر برآورد نمودند. فرمسن و همکاران (۱۷) و با ترکیب ۵ دوربین دیجیتال، توانست قطر درختان را در جنگل‌های سوزنی برگ سوئد، با خطای (۱۸) ۰/۹-۰/۸ (سانتی‌متر) برآورد نمایند. همچنین عزیزی و همکاران (۱۸) با استفاده از روش عکس‌برداری عزیزی اقدام به برآورد زی توده درختان تک پایه بلوط ایرانی در چهار محال و بختیاری نمودند که نتایج این مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان زی توده برآورده از روش عکس‌برداری و شیوه قطع وجود ندارد.

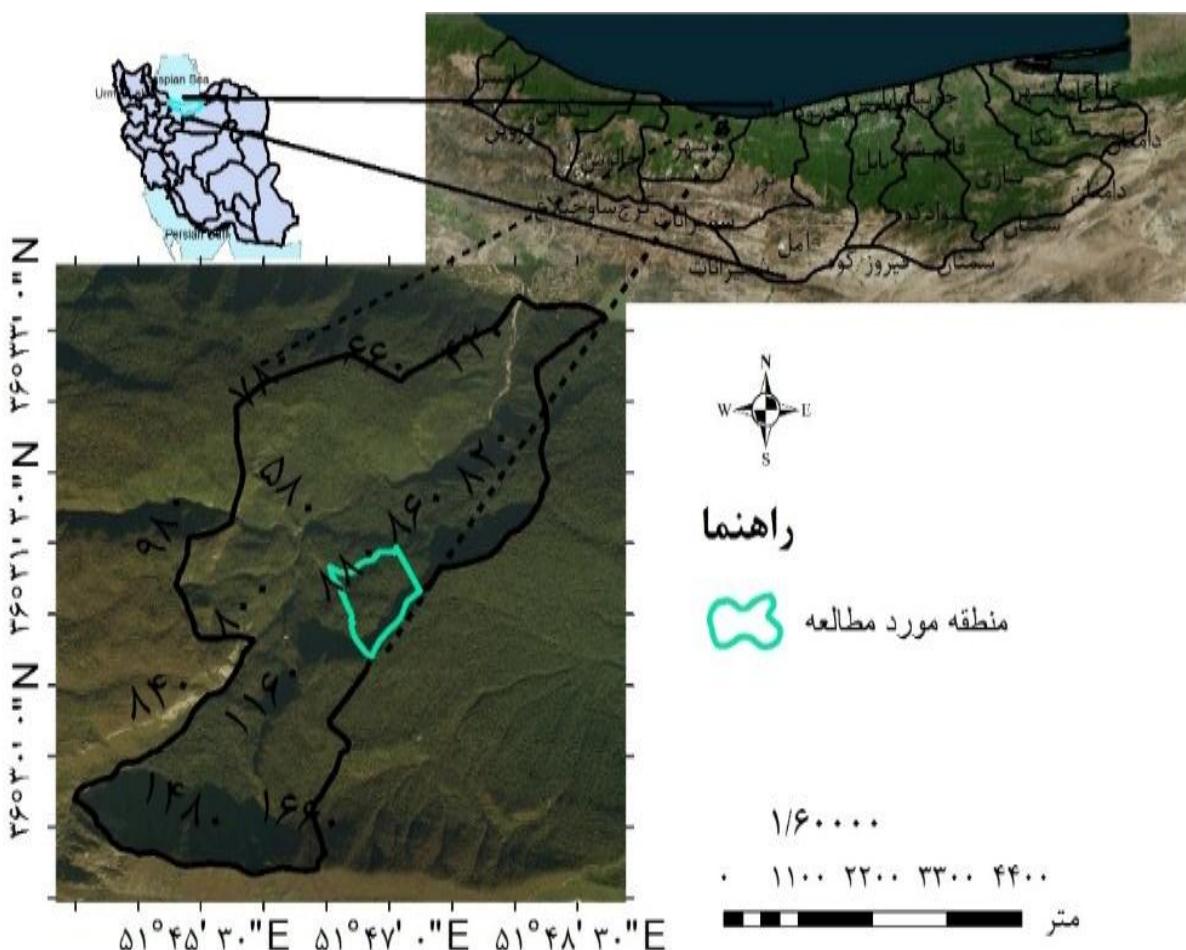
بر اساس اطلاعات موجود، مطالعه مشابهی در کشور و در ارتباط با جنگل‌های شمال کشور صورت نپذیرفته بود. بنابراین هدف پژوهش حاضر، امکان‌سنجی و بررسی کارایی روش عکس‌برداری با دوربین دیجیتال، در برآورد مشخصه‌های کمی قطر در ارتفاع کنده، قطر برایرسینه، و قطر بالای تنۀ درختان در جنگل‌های پهنه برق شمال ایران است. همچنین جهت بررسی دقت، خطأ 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 وسائل 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 ۲۹°۳۶ تا ۳۲°۳۶ شمالي و طول جغرافیایي ۴۳°۵۱ تا ۴۷°۵۱ شرقی و در دامنه ارتفاعی ۷۵۰ تا ۱۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و در فصل پاییز انجام پذیرفت (شکل ۱).

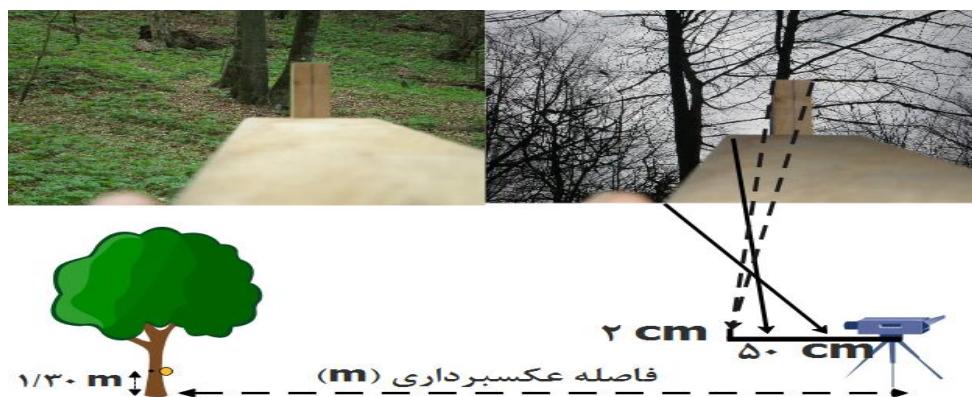
قابلیت تکرار پذیری، کم‌هزینه و مهم‌تر از همه، دارای دقت و صحت قابل قبول برای داده‌برداری جنگل باشند. به‌منظور دستیابی به چنین ویژگی‌هایی، اندازه‌گیری‌های نوری (ترکیبی از تجهیزات داده‌برداری و فناوری سنجش از دور) توسعه یافته که اندازه‌گیری مشخصه‌های کمی درخت از فاصله دور را ممکن می‌سازد. مطالعه‌ی مارش (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 ± ۰/۳ میلی‌متر) برآورد نماید. در یک روش ساده‌تر، برداشتو (۱۳) با استفاده از یک دوربین با لنز ۱۳۵ میلی‌متری متصل شده به یک شبیه‌سنجد و متر، توانست قطر درختان با ابعاد (۳۰-۷۶ سانتی‌متر) را با خطای (۰/۹ ± ۰/۹ میلی‌متر) برآورد نماید. مشکلاتی که در استفاده از دوربین‌های سنتی به عنوان 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 وسائل آن مانند دوربین‌های دیجیتال و با توجه به اینکه این وسائل دارای وزن کم، قیمت مناسب و عدم نیاز به داشتن خاص و پیچیده در استفاده هستند، لذا این امکان و پتانسیل وجود دارد که از تصویر برداری زمینی دیجیتال (DTP)^۱ در داده‌برداری جنگل استفاده گردد. از جمله مطالعاتی که با روش DTP اقدام به برآورد برخی مشخصه‌های کمی درختان کرده‌اند، می‌توان به مطالعه جوهاوي (۱۴) اشاره نمود که با استفاده از دوربین دیجیتال، شاخص و متر لیزری توانست نتایج قبل قبولي برای برآورد قطر تنۀ درختان کاج (*Pinus sylvestris*) (۱۵) در 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 تنۀ درختان، توانست قطر درختان را با دقت ۴ ± ۰ سانتی‌متر برآورد نماید. میکیتا و همکاران (۱۶) در



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

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 راچ، امکان محاسبه فاصله در سطح شبیدار و تصحیح مقدار آن است.

روش پژوهش
به منظور 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 به منظور برآورد قطر در ارتفاع کنده، قطر برابرسینه و قطر بالای تنه (از بالای کنده تا محل ظهرور اولین شاخه‌ها) (۱۹) اقدام به عکس‌برداری از قسمت پایین و بالای تنه ۱۰۸ درخت در محیط جنگل گردید (شکل ۲). لازم



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

ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از برداشت کالیبر، به عنوان مقادیر واقعی، و نتایج حاصل از روش دوربین دیجیتال، به عنوان برآورد در نظر گرفته شد.

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

$$\text{رابطه (۳)} \quad \% \text{CV.RMSE} = \text{RMSE} / \bar{y}_r \times 100$$

$$\text{رابطه (۴)}$$

$$\text{NRMSE} = (\text{RMSE} / (y_{r,\max} - y_{r,\min})) \times 100$$

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

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

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

که در آنها y_{ci} مقادیر برآورده شده توسط دوربین دیجیتال، y_{ri} مقادیر برداشت زمینی، n تعداد مشاهدات، \bar{y}_r میانگین مقادیر برداشت زمینی، $y_{r,\max}$ مقدار حداکثر برداشت زمینی، $y_{r,\min}$ مقدار حداقل برداشت زمینی، E اشتباہ 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	داده‌برداری زمینی	۳۸/۹۲	۱۳۵/۴۲	۸۰/۲۶	۲۰/۷۰	۴/۹۲
قطر برابرینه	داده‌برداری زمینی	۳۰/۰۰	۱۱۵/۰۰	۶۸/۹۲	۱۹/۶۷	۵/۴۴
برآورد دوربین	داده‌برداری زمینی	۳۱/۷۴	۱۱۷/۰۰	۶۸/۵۶	۲۰/۰۹	۵/۵۹
قطر بالای تن	داده‌برداری زمینی	۱۵/۰۰	۷۰/۰۰	۳۶/۸۵	۱۳/۶۰	۷/۰۴
برآورد دوربین	داده‌برداری زمینی	۱۴/۸۵	۷۷/۷۴	۳۶/۸۸	۱۴/۳۲	۷/۴۰

*: تمامی واحدها به سانتی متر است.

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 (۱۸، ۱۶، ۱۳، ۱۲) همسو است.

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

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	.۰۳۲
قطر برابر سینه	۱/۰۷۷	.۰۲۸۴
قطر بالای تنہ	-۰/۰۹۴	.۰۹۲۶

*: اختلاف معنی دار در سطح ۹۵٪

در صد ضریب تغییرات خطأ (CV.RMSE) (%) نیز بهترتبی در برآورد قطر برابر سینه (۴/۹۹٪) و قطر بالای تنہ درختان کم‌برآورده و در برآورد قطر بالای تنہ درختان، تقریباً به شکل بیش‌برآورده عمل می‌کند. کمترین و بیشترین مقدار

نتایج معیارهای ارزیابی نشان داد که روش دوربین دیجیتال در برآورد قطر در ارتفاع کنده و قطر برابر سینه، حالت کم‌برآورده و در برآورد قطر بالای تنہ درختان، تقریباً به شکل بیش‌برآورده عمل می‌کند. کمترین و بیشترین مقدار

جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی برای کل درختان

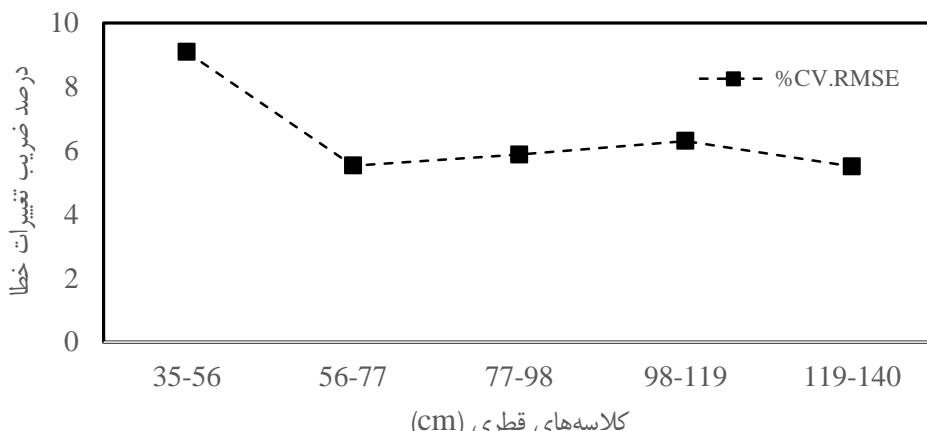
Table 3. Results of evaluation criteria for whole trees

متغیر	RMSE*	% CV.RMSE	NRMSE*	Bias*	% Bias
قطر در ارتفاع کنده	۵/۰۶	۶/۲۳	.۰۰۵	-۱/۰۳۸	-۰/۰۱۲
قطر برابر سینه	۳/۴۴	۴/۹۹	.۰۰۴	-۰/۳۵۶	-۰/۰۰۵
قطر بالای تنہ	۳/۴۸	۹/۴۴	.۰۰۶	.۰/۰۳۲	.۰/۰۰۱

*: واحداً به سانتی‌متر است

متراکم اطراف درخت قرار گیرد. بهمنظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر داده‌های متغیرهای برداشت شده به صورت فاصله طبقات تقریباً برابر، به طبقات ۵ گانه‌ای تقسیم شده و مقایسات در آن طبقات انجام پذیرفت، که به تفکیک در ادامه ذکر گردید.

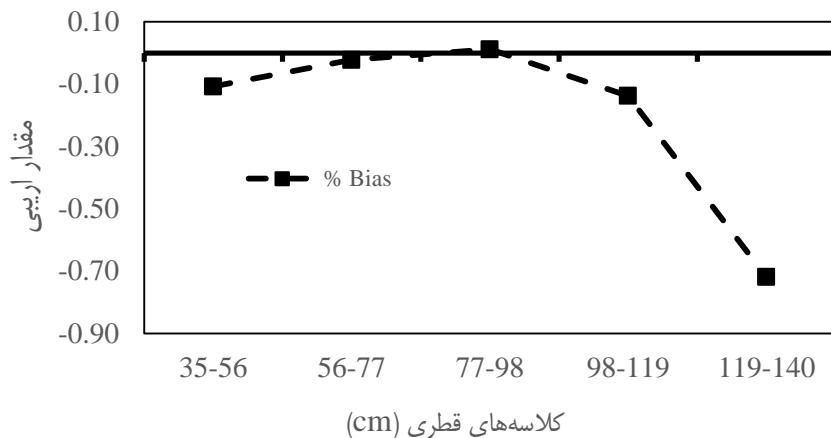
که علت آن را می‌توان به فاصله بیشتر قسمت بالای تنہ درختان با دوربین، اختلاف میزان نور دریافتی در تصاویر، و همچنین باریک‌تر شدن ابعاد تنہ درختان در قسمت‌های بالایی، ارتباط داد (۱۹، ۱۳). علاوه بر این، برآورد قطر در ارتفاع کنده نیز نسبت به قطر برابر سینه، درصد خطای بیشتری داشت که علت آن را می‌توان به عدم امکان تشخیص صحیح‌تر تنہ 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 گستردۀ و



شکل ۳ - مقدار درصد ضریب تغییرات خطأ در کلاسه‌های قطری مختلف قطر در ارتفاع کنده
Figure 3. Value of % CV.RMSE in different diameter classes of diameter at stump height

حالت بیش‌برآورده بوده و برای باقی کلاسه‌ها، به صورت کم‌برآورده است (شکل ۳).

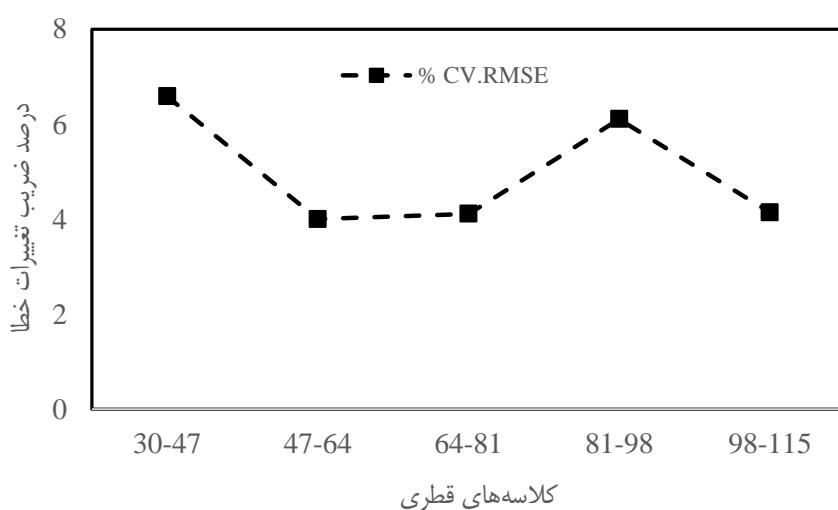
همچنین مقادیر درصد اربی نشان داد که مقادیر برآورده قطر در ارتفاع کنده، تنها برای کلاسه‌ی ۷۷-۹۸ سانتی‌متری



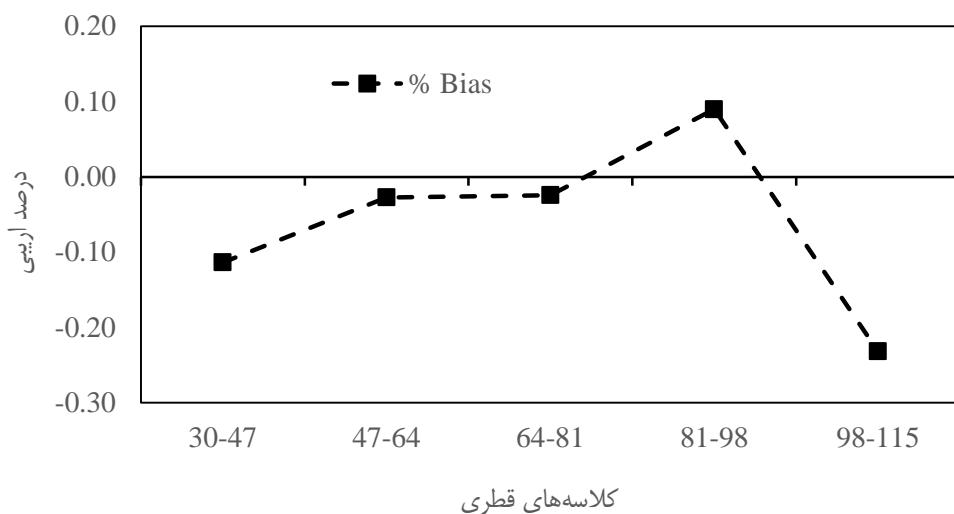
شکل ۴- مقدار درصد اریبی در کلاسهای قطری مختلف قطر در ارتفاع کنده
Figure 4. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at stump height

همچنین بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطای CV.RMSE (%) در برآورد را در کلاسه قطری ۳۰-۴۷ سانتی‌متری مشاهده گردید (شکل ۵ و شکل ۶).

نتایج برآورد قطر برابر سینه
نتایج معیارهای ارزیابی برآورد قطر برابر سینه نشان داد که، روش دوربین دیجیتال در تمامی کلاسهای قطری به استثناء کلاسه‌ی ۸۱-۹۸ سانتی‌متر، دارای حالت کم‌برآورده است.



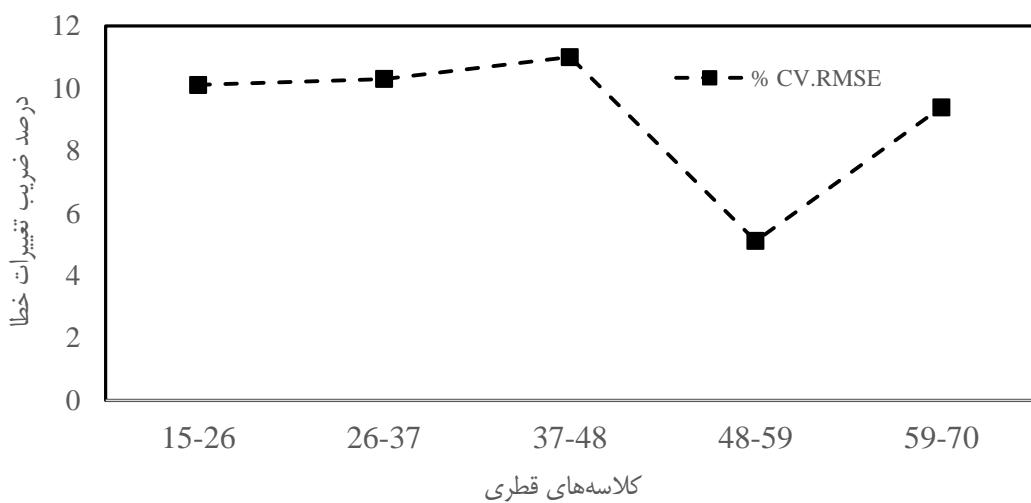
شکل ۵- مقدار درصد ضریب تغییرات خطای کلاسهای قطری مختلف قطر برابر سینه
Figure 5. Value of % CV.RMSE in different diameter classes of diameter at breast height



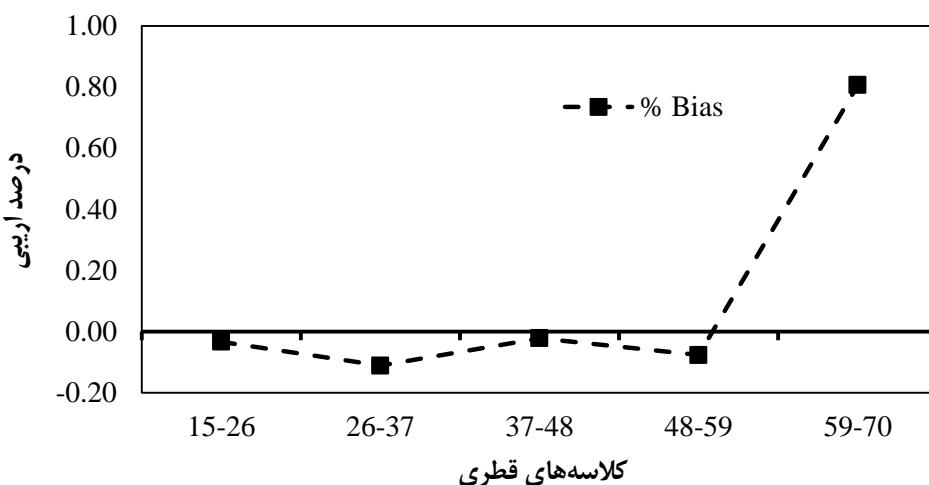
شکل ۶- مقدار درصد اریبی در کلاسهای قطری مختلف قطر برابر سینه
Figure 6. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at breast height

نتایج برآورد قطر در بالای تنہ در برآورد قطر بالای تنہ درختان توسط دوربین دیجیتال، همچنین به جز کلاسه قطری ۳۷-۴۸ و ۴۸-۵۹ سانتی متری مشاهده گردید. همچنین به جز کلاسه قطری ۵۹-۷۰ سانتی متری، در باقی کلاسه‌ها، حالت کمبأوردی عمل می‌کند (شکل ۷ و شکل ۸).

نتایج برآورد قطر در بالای تنہ در برآورد قطر بالای تنہ درختان توسط دوربین دیجیتال، به ترتیب (از راست به چپ) کمترین و بیشترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطأ (%) CV.RMSE در کلاسهای قطری



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



شکل ۸- مقدار درصد اریبی در کلاسه‌های قطری مختلف قطر بالای تنہ

Figure 8. Value of % Bias in different diameter classes of diameter at top of trunk height

که در طبقات پایین و بالاتر، احتمال مشاهده نویز، تداخل با تنہ 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).

بررسی میزان درصد ضریب تغییرات خطأ و اریبی در برآورد کلاسه‌های مختلف مشخصه‌های مورد سنجش در این پژوهش، نشان داد که تقریباً روند خاصی در میزان خطأ و اریبی برآورده آنها مشاهده نمی‌شود، و بیشتر هم به حالت کم‌برآورده عمل می‌کند. البته کمترین مقدار آنها را می‌توان در کلاسه‌های میانی مشاهده نمود، که دلیل این امر را نیز می‌توان به قابل تشخیص تر بودن این مشخصه‌ها، در تصاویر برداشت شده از درختان و در طبقات متوسط نسبت داد. چرا

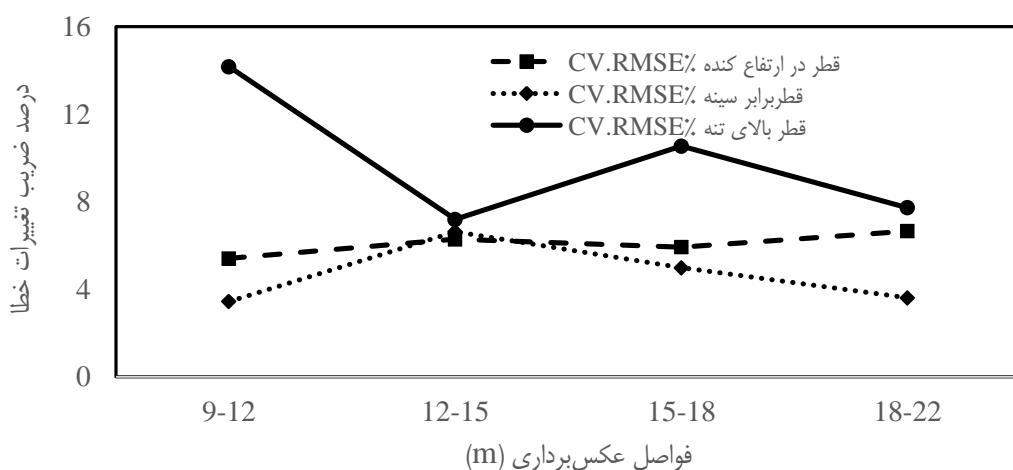
جدول ۴- مقادیر آماری فاصله محل عکس‌برداری

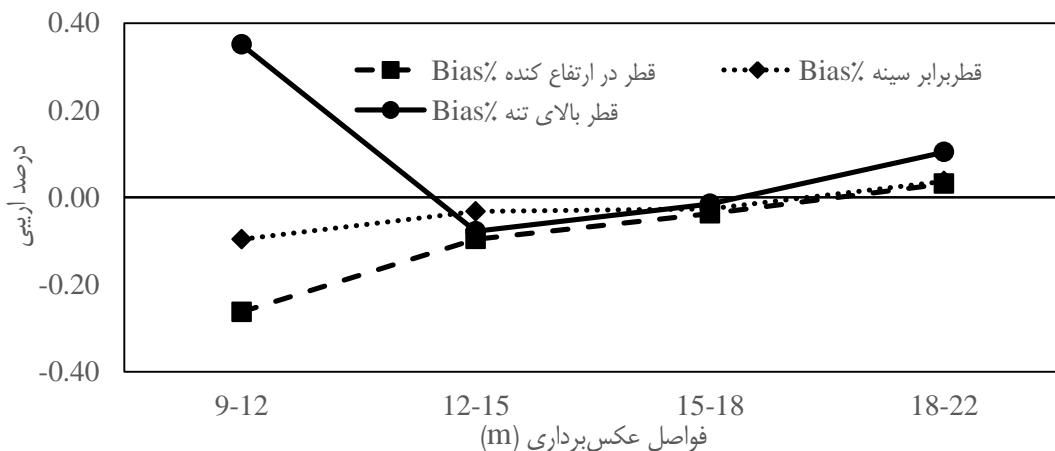
متغیر*	فاصله تا محل عکس‌برداری	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
۹/۹۰	۲۲/۰۰	۱۵/۹۹	۲/۶۴		

*: تمامی واحدها به متر می‌باشد.

بالای تنہ محاسبه گردید. همچنین بیشترین مقدار درصد اریبی در فاصله ۹ تا ۱۲ متر و برای مشخصه قطر بالای تنہ مشاهده شد (شکل ۹ و شکل ۱۰).

کمترین مقدار درصد ضریب تغییرات خطأ (%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

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



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

قدرت تفکیک بیشتر که امروزه انواع مختلف آن موجود است، اثر فاصله عکس‌برداری بر دقت نتایج را کم رنگ 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.

نتایج موید این مطلب است که با افزایش میزان فاصله محل عکس‌برداری، بر میزان خطا افزوده شده و بنابراین، دقت کلی به طور مستقیم وابسته به فاصله میان دوربین و درخت روى نقاط اندازه‌گيری 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 تحت تاثیر دقت و البته شایان ذکر است که این امر می‌تواند تحت تاثیر دقت ووضوح دوربین مورد استفاده، شرایط عکس‌برداری مانند ساعت روز و شدت نور نیز قرار گرفته و با استفاده از دوربین‌های با

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	مراحله و زمان طی شده (دقیقه)	متوسط زمان طی شده (دقیقه)	جمع زمان طی شده (دقیقه)	متوجه عکس زمان تقریبی هر درخت (دقیقه)	اندازه گیری در جنگل	۳/۴۲
داده‌برداری سنتی	۱۰۸					استقرار و فاصله یابی	۱۵۰
دوربین دیجیتال	۱۰۸					عکس‌برداری	۴۲۰
						تحلیل و برآورد در نرم افزار	۱۱۰
							۱۶۰

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این پژوهش، اگرچه برآورد خصوصیات کمی درخت با خطاب روبه‌رو بود، اما همین نتایج نیز قابل قیاس با روش‌های سنتی و رایج داده‌برداری جنگل بوده و تحقیقات اتی باقیستی روی بهبود اجرایی روش‌ها در بوم سازگان جنگل متتمرکز 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 خطأ 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 و نیاز

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، خطأ در اندازه‌گیری داده‌های مرتع، تشخیص ناصحیح نقاط جهت اندازه‌گیری و کالیبر کردن روی تصاویر، وجود سایه و منابع متعدد مرتبط با خطای دوربین از جمله این عوامل هستند. در روش داده‌برداری سنتی با کالیبر نیز می‌توان به خطاهای میدانی کالیبر، خطای شخصی اندازه گیر، جهت اندازه‌گیری و خطاهای محتوایی دامنه طبقات قطری اشاره داشت، که در صورت تجمیع این منابع خطأ، منجر به ایجاد فاصله بیشتر میان داده‌های زمینی و برآورده می‌شود.

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 گستردۀ 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.

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 قطربستج‌های 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

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, 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.
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. Burkhardt. 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. Hyppä, 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.

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 Bayati¹, Akbar Najafi², Javad Vahidi³ and Seyed Gholamali Jalali⁴

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

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