

برآورد مشخصه‌های کمی نهال‌ها با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی

حامد صادقیان^۱، حامد نقوی*^۲، رحیم ملک‌نیا^۳ و جواد سوسنی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (h.s1370@yahoo.com)
- ۲- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (naghavi.ha@lu.ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (maleknia.r@lu.ac.ir)
- ۴- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (soosani.j@lu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۰

چکیده

هدف از این پژوهش، برآورد مشخصه‌های مختلف دو و سه‌بعدی، نهال‌ها با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی است. بدین منظور مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از تصاویر برداشت‌شده توسط دوربین یک گوشی هوشمند و روش بازسازی ساختار حرکتی-روی هم‌گذاری تصاویر استریو چندوجهی (SfM-MVS) تهیه شد. برای ارزیابی دقت نتایج به دست آمده از مدل‌ها، مشخصه‌هایی از قبیل قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج، حجم تنه، حجم تاج و حجم کل هر نهال در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر آماره‌های RMSE% و Bias% (کمتر از ۱۰ درصد)، استفاده از تصاویر و روش مورد استفاده برای برآورد مشخصه‌های دوبعدی نهال‌ها از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین در بین مشخصه‌های سه‌بعدی نهال‌های مورد بررسی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار دقت مربوط به حجم تنه با R^2 برابر با ۰/۸۹ و RMSE% برابر با ۲۳/۰۸ درصد و حجم تاج با R^2 برابر با ۰/۶۷ و RMSE% برابر با ۳۱/۹۲ درصد بود. در نهایت می‌توان بیان داشت که تصاویر برداشت‌شده توسط دوربین گوشی هوشمند در کنار استفاده از روش SfM-MVS برای برآورد مشخصه‌هایی مانند قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج و حجم تنه نهال‌ها از دقت بالایی برخوردار است، اما در برآورد مشخصه حجم تاج دقیق نیست.

واژه‌های کلیدی: ابر نقاط، حجم، روند بازسازی ساختار حرکتی - روی هم گذاری، نهال.

مقدمه

مجموعه‌ای از عکس‌ها امکان‌پذیر است (Luhmann et al., 2006). این تصاویر را می‌توان به صورت هوایی یا زمینی برداشت کرد. در عکس‌برداری برد کوتاه زمینی (Close range photogrammetry) معمولاً از دوربین‌های عکاسی یا دوربین‌گوشی‌های هوشمند استفاده می‌شود. از مهم‌ترین مزایای استفاده از دوربین‌گوشی‌های هوشمند برای عملیات عکس‌برداری برد کوتاه زمینی در مقایسه با دوربین‌های عکاسی می‌توان به سبک‌تر بودن، بدون نیاز به تنظیمات پیچیده، هزینه کمتر، حمل آسان‌تر و استفاده راحت‌تر در شرایط مختلف اشاره کرد (Wu et al., 2019).

با توجه به پیشرفت الگوریتم‌های عکس‌برداری، اکنون روش‌های مبتنی بر تصویر قادر به تولید داده‌های ابر نقاط سه‌بعدی هستند، که کارایی مشابه با داده‌های به‌دست‌آمده از لیزر اسکنرها را دارند (Liang et al., 2015). یکی از متداول‌ترین روش‌های عکس‌برداری مورد استفاده روش SfM-MVS (Structure from Motion with Multi-View Stereo photogrammetry) است. این روش در سال ۱۹۷۹ توسط Ullman معرفی شد و پس از آن برای ساخت مدل‌های سه‌بعدی گسترش یافت (Ullman, 1979; Morgenroth et al., 2014). در روش SfM-MVS، تصاویر دوبعدی دارای هم‌پوشانی، از نقاط و زوایای دیدهای مختلف از جسم برداشت می‌شود، سپس این تصاویر برداشت شده تبدیل به مدل‌های سه‌بعدی می‌شود (Marzulli et al., 2020; Miller et al., 2015; Mikita et al., 2016). از مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده به این روش می‌توان در برآورد مشخصه‌های مختلف درختان استفاده کرد.

تاکنون پژوهشگران پژوهش‌های مختلفی در زمینه به‌کارگیری داده‌های عکس‌برداری برد کوتاه زمینی برای برآورد مشخصه‌های مختلف دو و سه‌بعدی درختان

اساس مدیریت پایدار در مناطق جنگلی، دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام در مورد مشخصه‌های درختان از قبیل قطر، ارتفاع، قطر تاج و حجم در تمامی مراحل رویشی است (Jaakkola et al., 2010). برای جمع‌آوری این‌گونه اطلاعات با توجه به شرایط موجود، منابع در دسترس و صحت مورد انتظار، از روش‌های آماربرداری متنوعی استفاده می‌شود (Liang et al., 2020; Moradi et al., 2016). در روش‌های سنتی آماربرداری برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به درختان، معمولاً از ابزارهای مکانیکی یا اپتیکی مانند کالیپر، شیب‌سنج و ارتفاع‌سنج استفاده می‌شود، اما استفاده از این نوع ابزارها زمان‌بر است و همچنین توانایی برآورد مستقیم مشخصه‌هایی مانند حجم و زی-توده درختان را ندارد (Marzulli et al., 2020). امروزه روش‌های سنجش‌ازدوری قابلیت برطرف ساختن این مشکلات و برآورد مشخصه‌های درختان در سطوح مختلف را دارند (Soleimannejad et al., 2010). یکی از این روش‌ها استفاده از داده‌های ابر نقاط (Point cloud) برای شبیه‌سازی ساختار سه‌بعدی درختان است. ساختار سه‌بعدی درختان را می‌توان با استفاده از لیزر اسکنرها (Laser scanners)، عکس‌برداری (Photogrammetry) و یا ردیاب حرکت مغناطیسی (Magnetic motion tracker) تهیه کرد (Surovy et al., 2016).

در سال‌های اخیر عکس‌برداری، با توجه به مزایایی همچون نیاز به هزینه کمتر، سرعت بالا و تولید ابر نقاط با تراکم بالا، به‌عنوان یک روش نوین در برآورد مدل سه‌بعدی درختان مطرح شده است (Getzin et al., 2015; Miller et al., 2014). عکس‌برداری شامل روش‌های اندازه‌گیری و استخراج مشخصه‌های ظاهری و مکانی یک شی است که با گرفتن یک عکس یا

عکس برداری برد کوتاه در برآورد مشخصه‌های کمی درختان در مراحل مختلف رویشی انجام نشده است، در این پژوهش سعی شد به بررسی کارایی مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده از تصاویر گرفته‌شده با استفاده از دوربین گوشی هوشمند در برآورد مشخصه‌های دو-بعدی نهال‌ها از قبیل قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج و قطر متوسط تاج برای گونه‌های مختلفی از نهال‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ پرداخته شود. همچنین در راستای بررسی کارایی روش عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد مشخصه‌های سه‌بعدی نهال‌ها، مقادیر حجم تنه، حجم تاج و حجم کل برای هر نهال در آزمایشگاه اندازه‌گیری و با مقادیر برآوردی مقایسه شد.

مواد و روش

نهال‌های مورد بررسی

در این پژوهش از ۲۰ اصله نهال کوچک پرورش یافته در گلدان از گونه‌های متفاوت سوزنی‌برگ و پهن‌برگ استفاده شد. این نهال‌ها از نهالستان‌های شهرستان خرم‌آباد تهیه شد. لازم به ذکر است با توجه به این نکته که، اطلاع از مقدار دقیق حجم نهال‌ها در سنین اولیه رشد می‌تواند در برآورد مقدار رویش حجمی جاری و متوسط، رسم منحنی‌های رویش حجمی، تعیین سن بهره‌برداری برای گونه‌های تندرشد (با توجه به کوتاه بودن دوره رویشی) و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مؤثر باشد، در این پژوهش علاوه بر مشخصه دو بعدی، مشخصه‌های سه بعدی هر نهال نیز اندازه‌گیری و با مقادیر برآوردی مقایسه شد. با در نظر داشتن اینکه برای تعیین مقادیر واقعی مشخصه‌های سه بعدی مانند حجم نیاز به قطع نهال‌ها بود، در این پژوهش از نهال‌های پرورش یافته در گلدان استفاده شد. در جدول ۱ نام و تعداد گونه‌های مورد بررسی در این پژوهش ذکر شده است.

انجام داده‌اند. به‌طور مثال، (Marzulli et al. (2020 به برآورد قطر برابر سینه و حجم تنه درختان در یک قطعه نمونه با استفاده از تصاویر برداشت‌شده توسط تلفن همراه هوشمند پرداختند. (Piermattei et al. (2019 از تصاویر دوربین عکاسی برای تخمین موقعیت، قطر در ارتفاع برابر سینه و منحنی تنه درختان قرارگرفته در چهار قطعه نمونه استفاده کردند. (Roberts et al. (2018 در پژوهش خود به بررسی دقت تصاویر برداشت شده توسط یک دوربین عکاسی برای برآورد قطر برابر سینه درختان موجود در کمربند سبز شهری اطراف مرکز تحقیقات دانشگاه فلوریدا و درختان موجود در نه خیابان این شهر پرداختند. (Forsman et al. (2016 در پژوهشی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی توسط چند دوربین عکاسی متصل به یکدیگر را برای برآورد قطر برابر سینه درختان موجود در ۲۵ قطعه نمونه جنگلی مورد بررسی قرار دادند. (Miller et al. (2015 مشخصه‌های دو بعدی و سه بعدی ۳۰ نهال کاشته شده در گلدان را با استفاده از تصاویر دوربین دستی برآورد کردند. (Morgenroth et al. (2014 نیز قطر و ارتفاع یک نهال کاشته‌شده در گلدان و ۲ درخت بالغ رشد کرده در شرایط طبیعی را با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده از ابر نقاط عکس برداری برد کوتاه برآورد کردند. (Azizi et al. (2018 در پژوهش خود به بررسی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد زی-توده درختان تک‌پایه بلوط ایرانی پرداختند. بررسی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش‌ها نشان داد که عکس برداری برد کوتاه زمینی می‌تواند به‌عنوان یک روش دقیق، سریع، کم هزینه و بدون نیاز به قطع درختان، جایگزین خوبی برای لیزر اسکنرها در برآورد مشخصه‌های دو بعدی و سه بعدی درختان باشد.

با توجه به مطالب فوق و این نکته که تا کنون پژوهش جامعی در کشور ایران در زمینه به‌کارگیری

جدول ۱- لیست گونه‌های مورد بررسی

تعداد	نام علمی	گونه‌ها
Number	Scientific name	Species
5	<i>Thuja orientalis L.</i>	سرو طبری Oriental arbor vitae
5	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	سرو لاوسون Lawson's cypress
4	<i>Populus alba</i>	سپیدار Poplar
4	<i>Ailanthus altissima</i>	عرعر Ailanthus
2	<i>Fraxinus excelsior</i>	زبان گنجشک Ash

تلفن همراه مورد استفاده

عملیات عکس برداری در این پژوهش با استفاده از دوربین گوشی هوشمند iPhone 6s انجام شد. iPhone 6s از نظر عملکرد گرافیکی مجهز به تراشه Apple A9 و دارای یک کارت حافظه‌ای به حجم ۲ GiB است. این نوع از گوشی هوشمند دارای وزن ۱۴۳ گرم و صفحه نمایش ۴/۷ اینچ است. دوربین ۱۲ مگاپیکسلی این گوشی قابلیت برداشت تصاویر با وضوح تقریباً برابر با دوربین‌های عکاسی و مناسب برای تولید مدل‌های سه بعدی از اجسام را دارد (Lamont, 2015).

اندازه‌گیری مشخصه‌های مورد بررسی

برای صحت‌سنجی مشخصه‌های دو و سه بعدی برآورد شده نیاز است تا این مشخصه‌ها به صورت دقیق و میدانی نیز اندازه‌گیری شود. در این راستا قطر در ارتفاع میانه تنه و قطر تاج نهال‌ها به ترتیب با استفاده از کالیپر و متر نواری استفاده شد. همچنین با توجه به کوچک بودن ابعاد نهال‌ها، ارتفاع آن‌ها نیز توسط متر نواری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر متوسط تاج نهال‌ها، دو قطر کوچک و بزرگ توسط متر نواری

اندازه‌گیری و متوسط آن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری حجم نهال‌ها که یک مشخصه سه بعدی است، از روش غوطه‌ورسازی در آب (Xylometry)، پیشنهاد شده توسط Miller et al. (2015) استفاده شد. در این راستا بلافاصله پس از انجام عملیات عکس برداری، نهال‌ها به آزمایشگاه منتقل و به قطعات کوچک ترخرد شد. سپس قطعات مربوط به ساقه اصلی و تاج پوشش هر نهال به صورت جداگانه بسته‌بندی و برای اشباع و جلوگیری از احتمال جذب آب در طول فرآیند اندازه‌گیری حجم به مدت ۲۴ ساعت در یک تشت آب غوطه‌ور شد (Miller et al., 2015). در نهایت با غوطه‌ورکردن قطعات در یک استوانه مدرج که نیمی از آن با آب پر شده بود و ثبت تغییرات مقدار حجم و وزن آب درون استوانه حجم دقیق هر قطعه و در نهایت هر نهال محاسبه شد. آمار توصیفی مربوط به اندازه‌گیری زمینی مشخصه‌های کمی در نظر گرفته شده از گونه‌های مختلف نهال بررسی شده در این بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- آمار توصیفی مشخصه‌های اندازه‌گیری شده

Table 2. Descriptive statistics of measured characteristics

حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	تعداد Number	مشخصه Characteristic
1.08	2.83	0.59	1.99	20	قطر (سانتی متر) Diameter (cm)
93.21	172.80	23.52	131.44	20	ارتفاع (سانتی متر) Height (cm)
37.5	107	17.27	67.56	20	ارتفاع تاج (سانتی متر) Crown height (cm)
22.86	126.62	30.83	52.69	20	قطر متوسط تاج (سانتی متر) Medium crown diameter
41.87	402.07	99.32	199.82	20	حجم تنه (سانتی متر مکعب) Stem volume (cm ³)
73.04	245.39	62.18	157.38	20	حجم تاج (سانتی متر مکعب) Crown volume (cm ³)
138.84	625.28	149.03	357.20	20	حجم کل نهال (سانتی متر مکعب) Total volume (cm ³)

برداشت تصاویر

به شکلی تعیین شد که حداقل ۵۰ درصد هم پوشانی بین تصاویر متوالی وجود داشته باشد (Miller et al., 2015).

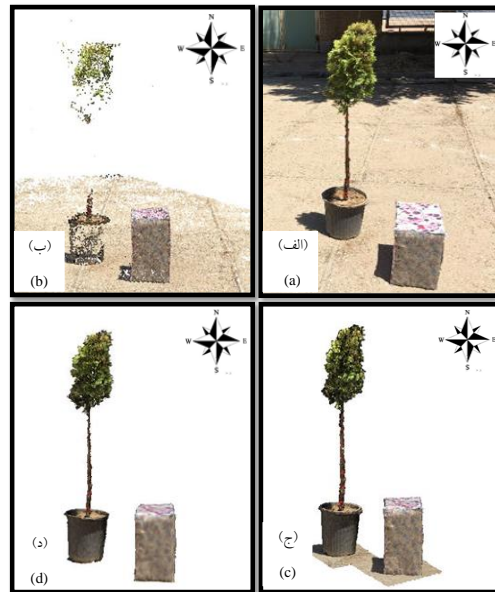
پردازش تصاویر

در این پژوهش از روش SfM-MVS برای ایجاد مدل سه بعدی ساختار نهال‌ها استفاده شد. مراحل انجام این روش به این صورت است که ابتدا در فرآیند بازسازی ساختار حرکتی (SfM) متغیرهای جهت‌یابی درونی (هندسه داخلی دوربین مانند مدل اعوجاج لنز) و بیرونی (موقعیت مکانی و جهت برداشت تصاویر) برای ایجاد ابر نقطه خام اولیه از نهال‌ها در ارتباط با محل قرارگیری دوربین با استفاده از الگوریتم توصیف و تشخیص ترکیب در نرم‌افزار Agisoft، محاسبه می‌شوند (Barazzetti et al., 2010). در مرحله بعد از آنجایی که مدل‌های تولیدشده در نرم‌افزار بدون هر گونه مقیاس مکانی یا موقعیت جغرافیایی است، برای کالیبراسیون این مدل‌ها از ابعاد یک جعبه پلاستیکی مکعبی شکل که قبل از عکس برداری در کنار هر یک از نهال‌ها قرار داده

برای انجام عملیات عکس برداری از نهال‌ها، تلفن همراه بر روی یک سه پایه نصب و تقریباً در ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متری) و به صورت افقی نصب شد. در این پژوهش برای تصویربرداری از روش عکس برداری ساکن - حرکت استفاده شد. در این روش، دوربین به صورت پایدار در هر نقطه قرار گرفته و اقدام به عکس برداری از نهال شد، سپس برای ادامه روند عکس برداری دوربین به نقاط بعدی انتقال داده شد (Liang et al., 2014; Mokroš et al., 2018). برای تعیین نقاط عکس برداری از نهال‌ها از روش پیشنهادی Morgenroth et al. (2014) و Miller et al. (2015) استفاده شد. بر اساس روش پیشنهادی ایشان دو دایره متحدالمرکز اطراف هر نهال ترسیم و بر روی محیط این دوایر و در فواصل منظم اقدام به عکس برداری از هر نهال شد. فاصله دو دایره از هر نهال به شکلی تعیین شد که در تصاویر گرفته شده، تمامی نهال در قاب تصویر موجود باشد. فواصل نقاط عکس برداری در محیط دوایر

داخلی نرم افزار، مشخصه‌هایی از نهال‌ها که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی تولید شده برای یک نهال در شکل ۱ و کلیه مراحل انجام این پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

شده بود، استفاده شد (Miller et al., 2015). سپس برای متراکم‌سازی ابر نقاط خام تولید شده در فرآیند SfM از فرآیند روی هم‌گذاری تصاویر چندوجهی (MVS) استفاده شد (Surový et al., 2016). در گام بعد اقدام به ایجاد مدل مش (Mesh) با استفاده از ابر نقاط متراکم شده شد. در نهایت با استفاده از ابزارهای



شکل ۱- نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی تولید شده. الف) تصویر اولیه، ب) ابر نقاط خام، ج) ابر نقاط متراکم شده و د) مش تولید شده

Figure 1. An example of a three-dimensional model, a) Original image, b) Raw point cloud, c) Dense point cloud, and d) Generated mesh

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

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

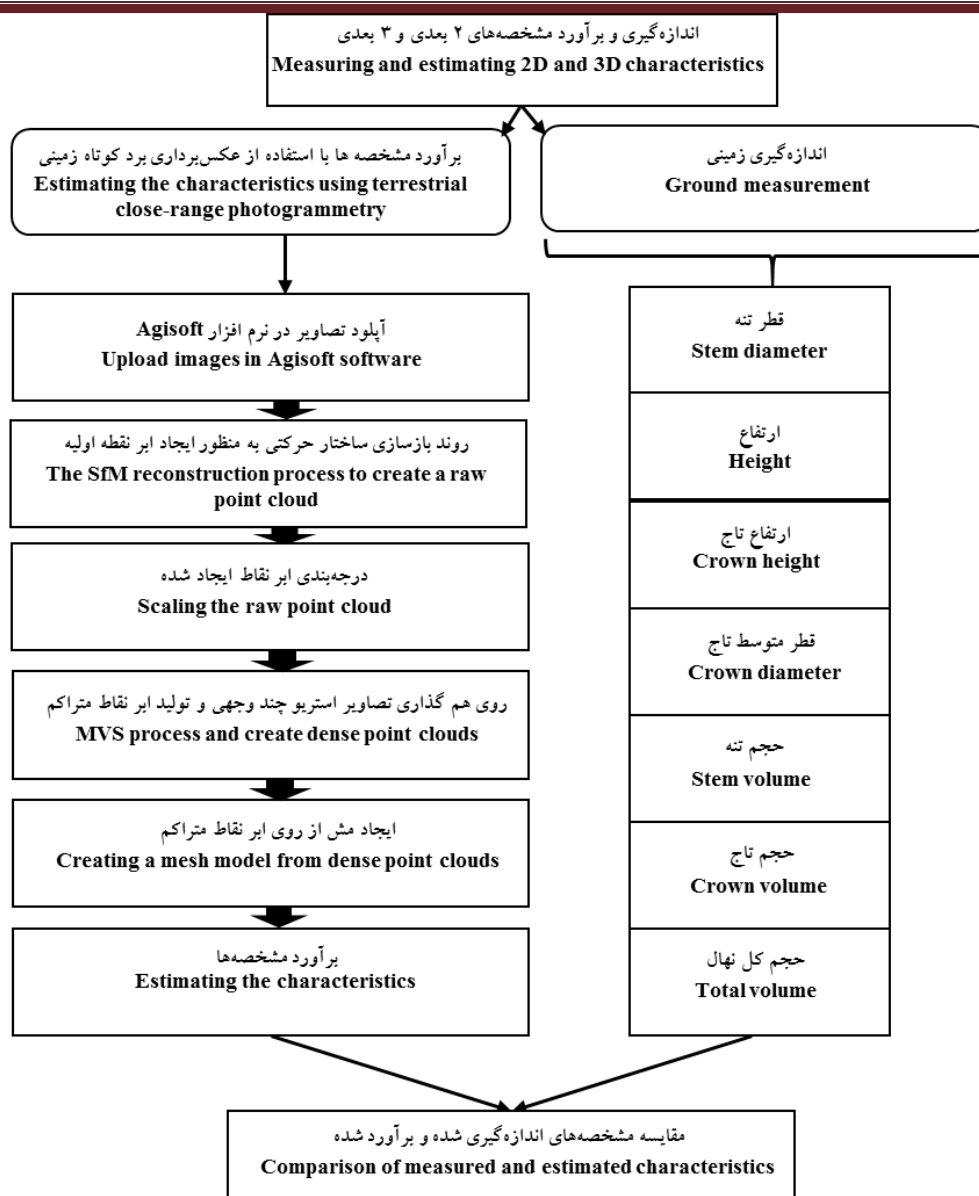
$$Bias\% = \frac{Bias}{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{n}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط فوق، n تعداد کل نهال‌ها، y_i مقدار مشخصه‌های برآوردی و \hat{y}_i مقدار حقیقی مشخصه‌ها است (Mokroš et al., 2018).

تجزیه و تحلیل آماری

برای مقایسه داده‌های برآوردی و مرجع، از آماره‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) (رابطه ۱ و ۲) و درصد اریبی (Bias%) (رابطه ۳ و ۴) استفاده شد.

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



شکل ۲- روندنمای انجام پژوهش

Figure 2. Research flowchart

مقادیر واقعی داشته‌اند (شکل ۳). بررسی دیگر آماره-های مورد بررسی نیز نشان داد که با توجه به مقدار $RMSE\%$ و $Bias\%$ محاسبه شده (کمتر از ۱۰ درصد)، مشخصه‌های دوبعدی برآورد-شده با استفاده از تصاویر و مدل مورد استفاده از دقت مناسبی برخوردار بوده‌اند (جدول ۳). لازم به ذکر است که در بین مشخصه‌های دوبعدی مورد بررسی قطر در ارتفاع میانه تنه نهال‌ها با مقدار $RMSE\%$ برابر با ۱/۱۹ درصد کمترین مقدار خطا

نتایج

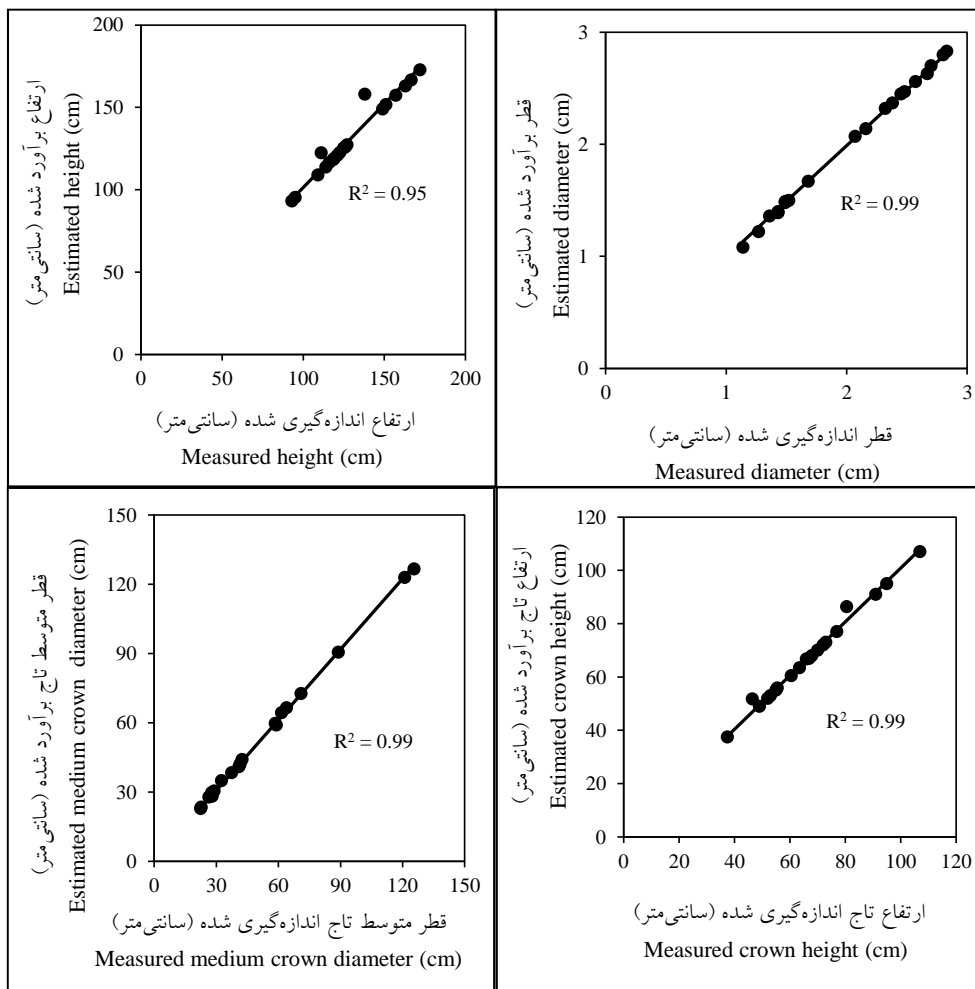
نتایج مقایسه مشخصه‌های دوبعدی برآوردشده با استفاده از تصاویر با واقعیت زمینی نتایج بررسی ارتباط مشخصه‌های دوبعدی برآوردشده با مقادیر واقعیت زمینی با استفاده از رگرسیون خطی، نشان داد که مشخصه‌های قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع کل، ارتفاع تاج و قطر متوسط تاج نهال‌ها به ترتیب با R^2 برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ رابطه معنی‌داری با

و ارتفاع با مقدار RMSE% برابر با ۳/۹۸ درصد
بیشترین مقدار خطا را داشته‌اند (جدول ۳).

جدول ۳- آماره‌های مربوط به مقایسه مشخصه‌های دوبعدی برآوردی و مقادیر اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)

Table 3. Statistics comparing between, estimated two-dimensional characteristics and reality values (cm)

Bias%	Bias	RMSE%	RMSE	تعداد Number	مشخصه Characteristic
-0.77	-0.01	1.19	0.02	20	قطر در ارتفاع میانه تنه Diameter at the middle height of stem
1.36	1.76	3.98	5.16	20	ارتفاع Height
0.92	0.61	2.66	1.78	20	ارتفاع تاج Crown height
2.52	1.29	2.97	1.52	20	قطر متوسط تاج Crown diameter



شکل ۳- رگرسیون خطی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشخصه‌های دوبعدی

Figure 3. Linear regression between estimated values and ground measurement of two-dimensional characteristics

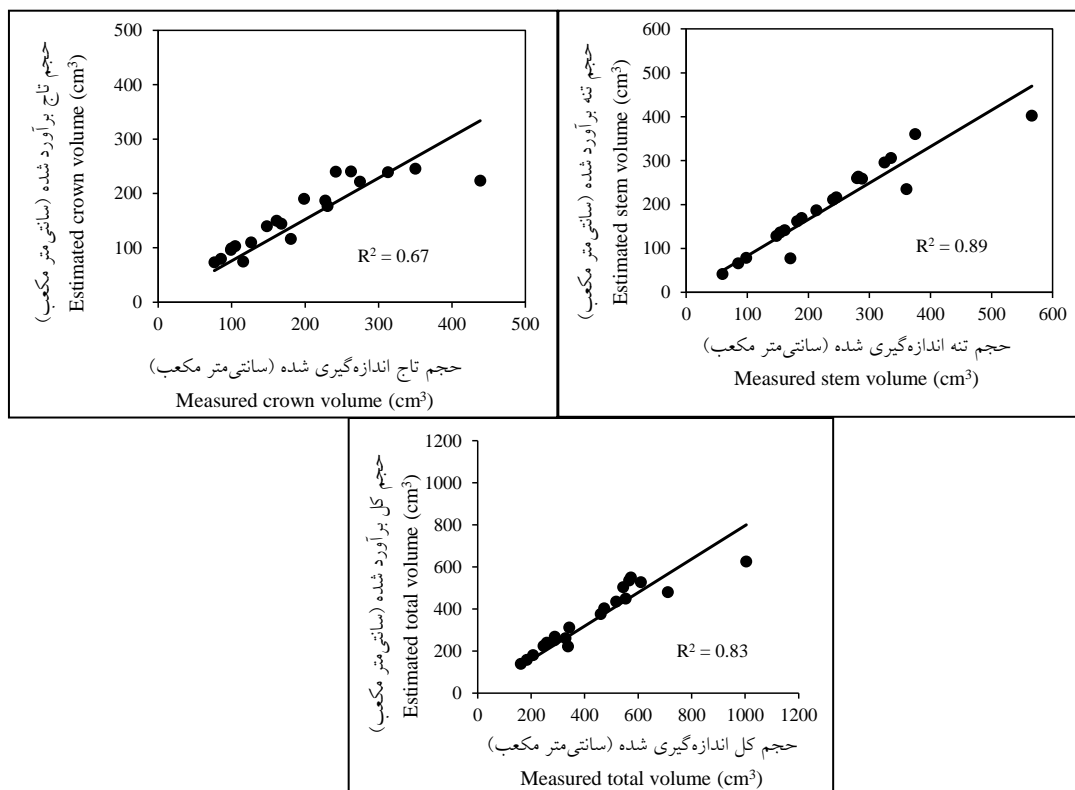
نتایج مقایسه مشخصه‌های سه‌بعدی برآورد شده با استفاده از تصاویر با واقعیت زمینی همانگونه که در شکل ۴ نمایش داده شده است در بین مشخصه‌های سه بعدی مورد بررسی، حجم تنه با R^2 برابر با ۰/۸۹ و حجم تاج با R^2 برابر ۰/۶۷ دارای بیشترین و کمترین مقدار R^2 بوده‌اند. همچنین با توجه

به نتایج به دست آمده مشخص شد که کمترین مقدار آماره‌های $RMSE\%$ و $Bias\%$ مربوط به مشخصه حجم تنه (۲۳/۰۸ و ۱۶/۰۴- درصد) و بیشترین مقدار مربوط به حجم تاج (۳۱/۹۲ و ۱۹/۲۷- درصد) بوده است (جدول ۴).

جدول ۴- آماره‌های مربوط به مقایسه مشخصه‌های سه‌بعدی برآوردی و مقادیر واقعی (سانتی‌متر مکعب)

Table 4. Statistics comparing between, estimated three-dimensional characteristics and reality values (cm^3)

Bias%	Bias	RMSE%	RMSE	تعداد Number	مشخصه Characteristic
-16.04	-38.15	23.08	54.95	20	حجم تنه Stem Volume
-19.27	-37.57	31.92	62.24	20	حجم تاج Crown Volume
-17.49	-75.76	26.33	114.03	20	حجم کل نهال Total Volume



شکل ۴- رگرسیون خطی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشخصه‌های سه بعدی

Figure 4. Linear regression between estimated values and ground measurement of three -dimensional characteristics

بحث

استفاده از روش عکس برداری برد کوتاه زمینی برای برآورد مشخصه‌های درختان یک روش جدید و کاربردی است. در این میان استفاده از دوربین گوشی هوشمند به عنوان یک ابزار غیرتخصصی و کم هزینه که تقریباً در دسترس عموم افراد جامعه قرار دارد، یک روش بسیار ساده و جدید برای برآورد مشخصه‌های دو و سه بعدی درختان جنگلی است (Marzulli et al., 2020). در این راستا در این پژوهش به بررسی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی در کنار استفاده از روش SfM-MVS برای برآورد مشخصه‌های مختلف نهال-های چند گونه سوزنی برگ و پهن برگ پرداخته شد.

نتایج اندازه گیری مشخصه‌های دوبعدی نهال‌های درختی مورد بررسی در این بررسی با استفاده از تصاویر برداشت شده توسط دوربین iPhone 6s نشان داد که مشخصه‌های دوبعدی مانند قطر، قطر متوسط تاج، ارتفاع تاج و ارتفاع نهال، برآورد شده با استفاده از این تصاویر و مدل مورد استفاده از دقت بالایی برخوردار بوده‌اند (مقدار R^2 بالاتر از ۰/۹۰ و $RMSE\%$ و $Bias\%$ کمتر از ۱۰ درصد). این نتایج در راستای نتایج به دست آمده در پژوهش انجام شده توسط Morgenroth et al. (2020) است. ایشان نیز در نتایج پژوهش خود دقت عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد قطر و ارتفاع تعدادی نهال و درختان بالغ را به ترتیب با مقدار $RMSE\%$ برابر با ۳/۷ درصد و ۲/۵۹ درصد گزارش کردند. (Miller et al. (2015) نیز به دقت بالای روش عکس برداری زمینی در برآورد مشخصه‌های دوبعدی درختان اذعان داشتند. (Liang et al. (2015), Forsman et al. (2016), et al. (2016) و Roberts et al. (2018) نیز به دقت بالای روش عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد قطر برابر سینه درختان اشاره کردند. (Marzulli et al. (2020) مقدار $RMSE\%$ و

$Bias\%$ را برای بیان دقت در برآورد قطر برابر سینه درختان یک توده جنگلی را به ترتیب ۵/۵۸ و ۱/۹۹- گزارش کردند، البته ذکر این نکته ضروری است که در این پژوهش‌ها، مشخصه‌های درختان بالغ مورد بررسی قرار گرفته است.

در زمینه برآورد مشخصه‌های سه بعدی نهال با استفاده عکس برداری برد کوتاه زمینی، نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار دقت مربوط به برآورد حجم تنه و کمترین مقدار دقت مربوط به برآورد حجم تاج بوده است، ضمن اینکه مقدار دقت برآورد مشخصه‌های سه بعدی از مشخصه‌های دوبعدی کمتر بود. با توجه به شکل نامنظم تاج درختان و وجود فضای خالی بین شاخ و برگ نهال‌ها مقدار حجم برآوردی برای این مشخصه در مقایسه با حجم واقعی محاسبه شده از طریق غوطه-ورسازی متفاوت بود و از آنجایی که حجم کل هر نهال از مجموع حجم تنه و حجم تاج محاسبه شد، این اختلاف تأثیر خود را بر مقدار حجم کل برآوردی نیز نشان داد. در مورد حجم تنه نیز با توجه به کم بودن قطر نهال‌ها به خصوص در قسمت اتصال تنه به تاج حجم مربوط به قسمت‌های انتهایی تنه با اندکی اختلاف برآورد شد. از پژوهش‌های محدود انجام شده در زمینه برآورد حجم نهال‌های درختی با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی، می توان به پژوهش Miller et al. (2015) اشاره کرد. ایشان در نتایج پژوهش خود مقدار $RMSE\%$ و $Bias\%$ را برای تعیین دقت مقادیر برآوردی حجم تنه ۱۲/۳۳ و ۸/۲-، حجم تاج ۴۷/۵۳ و ۳۳/۷۵- و حجم کل نهال‌ها ۱۸/۵۳ و ۱۴/۵۶- گزارش کردند، همچنین ایشان نیز به این نتیجه رسیدند که دقت روش عکس برداری برد- کوتاه زمینی در برآورد مشخصه‌های دو بعدی بیشتر از مشخصه‌های سه بعدی است.

پیشنهاد کرد در پژوهش‌های آتی این روش در برآورد مشخصه‌های مختلف درختان بالغ در سطح تک‌درخت و توده در مناطق مختلف به کار گرفته شود. همچنین با توجه به مرور منابع انجام شده مشخص شد که عوامل متعددی مانند تعداد تصاویر برداشت شده، مقدار هم-پوشانی تصاویر، کیفیت تصاویر، زاویه عکس برداری، شرایط محیطی هنگام عکس برداری و ابعاد درختان در دقت مدل سه بعدی تهیه شده تأثیرگذار است، از این رو می‌توان در پژوهش‌های بعدی به بررسی تأثیر این عوامل در دقت مدل سه بعدی تهیه شده پرداخت.

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان داشت که مدل سه بعدی تهیه شده با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی توسط دوربین گوشی هوشمند iPhone 6s و روش SfM-MVS قابلیت برآورد مشخصه‌هایی مانند قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع نهال، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج و حجم تنه نهال‌ها را با دقت بالایی داشته است اما در برآورد مشخصه حجم تاج از دقت مناسبی برخوردار نبوده است. با در نظر داشتن مزایای این روش از قبیل کم هزینه بودن تجهیزات و تخصص کم مورد نیاز می‌توان

References

- Azizi, Z.; Hosseini, A.; Iranmanesh, Y., Estimating Biomass of Single Oak Trees Using Terrestrial Photogrammetry. *Journal of Environmental Science and Technology* **2017**, *19* (4), 81-93.
- Barazzetti, L.; Scaioni, M.; Remondino, F., Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record* **2010**, *25* (132), 356-381.
- Forsman, M.; Börlin, N.; Holmgren, J., Estimation of tree stem attributes using terrestrial photogrammetry with a camera rig. *Forests* **2016**, *7* (3), 61.
- Getzin, S.; Nuske, R. S.; Wiegand, K., Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing* **2014**, *6* (8), 6988-7004.
- Jaakkola, A.; Hyypä, J.; Kukko, A.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Lehtomäki, M.; Lin, Y., A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for tree measurements. *ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **2010**, *65* (6), 514-522.
- Lamont, I., Google Drive & Docs in 30 Minutes: The unofficial guide to the new Google Drive. *Docs, Sheets & Slides/Ian Lamont* **2015**.
- Liang, X.; Jaakkola, A.; Wang, Y.; Hyypä, J.; Honkavaara, E.; Liu, J.; Kaartinen, H., The use of a hand-held camera for individual tree 3D mapping in forest sample plots. *Remote Sensing* **2014**, *6* (7), 6587-6603.
- Liang, X.; Kankare, V.; Hyypä, J.; Wang, Y.; Kukko, A.; Haggrén, H.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Jaakkola, A.; Guan, F., Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **2016**, *115*, 63-77.
- Liang, X.; Wang, Y.; Jaakkola, A.; Kukko, A.; Kaartinen, H.; Hyypä, J.; Honkavaara, E.; Liu, J., Forest data collection using terrestrial image-based point clouds from a handheld camera compared to terrestrial and personal laser scanning. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing* **2015**, *53* (9), 5117-5132.
- Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S.; Harley, I., *Close range photogrammetry: principles, techniques and applications*. Whittles publishing Dunbeath: 2006; Vol. 3.
- Marzulli, M. I.; Raunonen, P.; Greco, R.; Persia, M.; Tartarino, P., Estimating tree stem diameters and volume from smartphone photogrammetric point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2020**, *93* (3), 411-429.
- Mikita, T.; Janata, P.; Surový, P., Forest stand inventory based on combined aerial and terrestrial close-range photogrammetry. *Forests* **2016**, *7* (8), 165.
- Miller, J.; Morgenroth, J.; Gomez, C., 3D modelling of individual trees using a handheld camera: Accuracy of height, diameter and volume estimates. *Urban Forestry & Urban Greening* **2015**, *14* (4), 932-940.
- Mokroš, M.; Liang, X.; Surový, P.; Valent, P.; Čerňava, J.; Chudý, F.; Tunák, D.; Saloň, Š.;

- Merganič, J., Evaluation of close-range photogrammetry image collection methods for estimating tree diameters. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **2018**, 7 (3), 93.
- Moradi, G.; Pir Bavaghar, M.; Shakeri, Z.; Fatehi, P., Leaf area index estimation in the northern Zagros forests using remote sensing (Case study: a part of Baneh forests). *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6 (4), 679-693.
- Morgenroth, J.; Gómez, C., Assessment of tree structure using a 3D image analysis technique—A proof of concept. *Urban Forestry & Urban Greening* **2014**, 13 (1), 198-203.
- Piermattei, L.; Karel, W.; Wang, D.; Wieser, M.; Mokoř, M.; Surový, P.; Koreň, M.; Tomašík, J.; Pfeifer, N.; Hollaus, M., Terrestrial structure from motion photogrammetry for deriving forest inventory data. *Remote Sensing* **2019**, 11 (8), 950.
- Roberts, J. W.; Koeser, A. K.; Abd-Elrahman, A. H.; Hansen, G.; Landry, S. M.; Wilkinson, B. E., Terrestrial photogrammetric stem mensuration for street trees. *Urban Forestry & Urban Greening* **2018**, 35, 66-71.
- Soleimannejad, L.; Bonyad, A. E.; Naghdi, R.; Latifi, H., Classification of quantitative attributes of Zagros forest using Landsat 8-OLI and Random Forest algorithm (Case study: protected area of Manesht forests). *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 4 (4), 415-434.
- Surový, P.; Yoshimoto, A.; Panagiotidis, D., Accuracy of reconstruction of the tree stem surface using terrestrial close-range photogrammetry. *Remote Sensing* **2016**, 8 (2), 123.
- Ullman, S., The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* **1979**, 203 (1153), 405-426.
- Wu, X.; Zhou, S.; Xu, A.; Chen, B., Passive measurement method of tree diameter at breast height using a smartphone. *Computers and Electronics in Agriculture* **2019**, 163, 104875.

Estimating the quantitative characteristics of seedlings using terrestrial close-range photogrammetry

H. Sadeghian¹, H. Naghavi^{*2}, R. Maleknia³ and J. Sosani⁴

1- Ph.D Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (h.s1370@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (naghavi.ha@lu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (maleknia.r@lu.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (soosani.j@lu.ac.ir)

Received: 11.01.2021 Accepted: 28.02.2021

Abstract

This study aims to estimate the different two- and three-dimensional characteristics seedlings using terrestrial close-range photogrammetry. Three-dimensional models were prepared using images taken by a smartphone camera and the process of “Structure from Motion with Multi View Stereo photogrammetry” (SfM-MVS). To evaluate the accuracy of the obtained results, characteristics such as diameter at the middle height of stem, height, crown height, crown diameter, stem volume, crown volume and total volume of each seedling were measured. According to the RMSE% and the calculated Bias% (less than 10%), the images and model used to estimate the two-dimensional characteristics of seedlings, had factual accuracy. Also, among the three-dimensional characteristics of the seedlings, the highest and lowest accuracy related to stem volume with $R^2 = 0.89$, RMSE% = 23.08% and crown volume with $R^2 = 0.67$, RMSE% = 31.92% respectively. Overall, it can be concluded that the images taken by the smartphone camera and the SfM-MVS method used in this study have remarkable accuracy to estimate characteristics of seedling such as diameter at the middle height of stem, height, crown height, crown diameter and stem volume, However, it is not accurate enough to estimate the crown volume characteristic.

Keywords: Point clouds, Volume, Structure-from-Motion-Multi-View Stereo-photogrammetry, Seedling.

* Corresponding author

شماره تماس: ۰۹۱۶۳۶۷۸۶۳۵

Tel: +989163678635

نویسنده مسئول