Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 120-132 OPEN ACCESS

Research Paper

Designing the HCP Software for Measuring Tree Height and Canopy Diameter Simultaneously in Southern Zagros

Mohammad Javad Taheri Sarteshnizi[1], Asghar Fallah[2], Habibollah Ramezani Moziraji[3] and Jahangir Mohammadi[4]

1- Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: mojavadts@gmail.com)
2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
3- Researcher, Swedish University of Agriculture and Natural Resources, Umeå, Sweden
4- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received:27 June, 2024 Revised: 30 August, 2024 Accepted: 15 October, 2024

Extended Abstract

Background: The height of trees is among the important components in the field of forest inventory and measurement. Over successive decades, estimating tree height has been a major concern in forest statistics and measurement. The height variable is used in estimating tree volume, classifying stand productivity, and estimating growth rates of trees. It is also one of the important variables in calculating biomass. Another essential characteristic at the individual tree level is canopy diameter, which plays a role in modeling and practical attribute estimation, such as forest canopy cover percentage, leaf area index, and biomass. Until now, the devices and tools introduced in forestry science have only been able to measure a specific component, e.g. tree height, and the need for different tools or techniques arises for measuring canopy diameter. The approach of this research not only leads to the development and use of software capable of measuring the mentioned components but also enables the recording of inventory in designed forms, recording of geographic coordinates of tree bases, storing images taken from the trees, and ultimately creating a data archive from the study area. To achieve these goals, the design and development of a software (application) called HCP, which stands for H: Height, C: Canopy, and P: Pixel, based on the Android operating system, will be considered the essence and necessity of this research.

Methods: In this research, the HCP software based on the Android platform was designed and developed according to the devices with the Android operating system and with the Java language. HCP has three parts: database, image processing, and information display. Its user interface was presented in six activity pages, including Set Image, Set Data, Set View, Set Reference, Set Pin, and Set Final, with a SQL database structure. The entire coding, execution, debugging, and testing process was carried out based on API 27 (Application Program Interface) associated with the Android SDK (Software Development Kit), in the Android Studio development environment (IntelliJ). The initial testing process was also carried out with real images stored or produced by the device camera used. A total of 150 trees from Persian Oak species (*Quercus brantii* Lindl) were selected and their height and canopy diameter were measured to conduct tests and compare the measured height data using Vertex and HCP methods, as well as the measured canopy diameter data using laser meter and HCP. Descriptive indices independent of the distribution type, including the first quartile, median, third quartile, minimum, and maximum, were calculated for the height and canopy diameter components measured by the four methods mentioned above. The Shapiro-Wilk test was used to examine the distribution of the difference in the height and canopy diameter of all trees. Paired t-test was used to evaluate the accuracy of HCP. The HCP error was evaluated by the root mean square error (RMSE) and the Index of Disagreement, which is the result of dividing the absolute value of the difference of the estimated component from the actual value by the actual value. The accuracy of HCP was evaluated using linear correlation and the Index of Agreement. To further investigate the dispersion of the error distribution and to examine the accuracy and precision, the data were grouped into three levels: total trees, 75 tallest trees in terms of height (wider in terms of canopy diameter), and 75 smallest trees in terms of height (canopy diameter). All results were obtained using the R statistical software.

Results: The result of the paired t-test at a 95% confidence level indicates no significant difference between the measured heights using the Vertex and HCP methods, as well as no

Copyright ©2025 Taheri Sarteshnizi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

significant differences between the canopy diameter measurements using the laser meter and HCP. The RMSE values were calculated as 0.07 and 0.065 meters for the height and canopy diameter, respectively. The values of the linear correlation coefficient and the index of agreement were reported as 0.999 for both the height and canopy diameter measured with the mentioned methods. The disagreement percentages were calculated as 1.068 and 0.963 for the height and canopy diameter, respectively.

Conclusion: Modern methods of measuring tree height need to be improved before they can be widely used in forests, and once the shortcomings are addressed, a new chapter will open in measuring forest components, such as the canopy diameter and tree height. The following seven steps outline the general steps for measuring canopy diameter and tree height by using HCP photography. Finally, based on the examination of accuracy, precision, and error assessment test results, HCP can be introduced as an alternative method for measuring the height and canopy diameter of trees. Step 1: Design and develop HCP (other items include defining Java class file functions to determine tree number, recording time and date of photography, calculating the time difference between images, spatial positioning, copying the original image file to internal memory, resizing images for re-matching, and providing output in csv and zip format). Step 2: Taking pictures of the target tree (neighboring trees) and index. Step 3: Defining and determining the numerical value of the index used in the image. Step 4: Determining the lower points (tree trunk and index), upper points (tree tip and index), and the canopy diameter on the image. Step 5: Correcting all measured components, and Step 6: Starting and performing processing by HCP. Step 7: Automatically measuring all defined components for the target tree (neighboring trees), generating output file, and saving all information related to each image.

Keywords: Canopy diameter, Persian Oak, Southern Zagros, Tree height

How to Cite This Article: Taheri Sarteshnizi, M J., Fallah, A., Ramezani Moziraji, H., & Mohammadi, J. (2025) Designing the HCP Software for Measuring Tree Height and Canopy Diameter Simultaneously in Southern Zagros. *Ecol Iran For,* 13(1), 120-132. DOI: 10.61186/ifej.2024.524

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

مقاله پژوهشی

طراحی نرم‌افزار HCP به‌منظور اندازه‌گیری همزمان ارتفاع و قطر تاج درختان در زاگرس جنوبی

محمدجواد طاهری سرتشنیزی[۱]، اصغر فلاح[۲]، حبیب الله رمضانی موزیرجی[۳] و جهانگیر محمدی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: mojavadts@gmail.com)
۲- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- محقق، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی سوئد، اومئو، سوئد
۴- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴
صفحه ۱۲۰ تا ۱۳۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: ارتفاع درخت یکی از اجزای مهم در امر آماربرداری و اندازه‌گیری جنگل است. طی دهه‌های متوالی، برآورد ارتفاع درخت مهم‌ترین دغدغه در آمار و اندازه‌گیری جنگل به‌شمار می‌آید. متغیر ارتفاع در برآورد میزان حجم درخت، درجه‌بندی حاصل‌خیزی رویشگاه، برآورد نرخ رویش درخت و هم‌چنین یکی از متغیرهای مهم در محاسبه میزان زی‌توده است. قطر تاج یکی دیگر از مهم‌ترین مشخصات لازم در سطح تک‌درخت است. قطر تاج در مدل‌سازی و برآورد مشخصات کاربردی، نظیر درصد تاج‌پوشش جنگل، شاخص سطح برگ و زی‌توده کاربرد دارد. تاکنون دستگاه‌ها و وسایل معرفی شده در علوم جنگل تنها قابلیت اندازه‌گیری یک مؤلفه‌ی خاص هم‌چون ارتفاع درخت را دارد و به‌منظور اندازه‌گیری قطر تاج نیاز به استفاده از وسایل و یا تکنیک‌های دیگر است. رهیافت این پژوهش نه‌تنها منجر به ساخت و استفاده از نرم‌افزاری است که توانایی اندازه‌گیری مؤلفه‌های ذکر شده را داشته باشد بلکه امکان ثبت آماربرداری در قالب فرم‌های طراحی شده، امکان ثبت مختصات جغرافیایی پایه‌های درختی، امکان ذخیره‌سازی تصاویر گرفته شده از درختان و در نهایت ایجاد یک بایگانی اطلاعات از منطقه‌ی مورد مطالعه را دارد. به‌منظور رسیدن به این اهداف، طراحی و توسعه‌ی نرم‌افزاری (Application) با عنوان HCP که مخفف واژه‌های H: Height، C: Canopy و P: Pixel و بر سیستم عامل اندروید (Android) مستقر است، ماهیت و ضرورت انجام این پژوهش قلمداد خواهد شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، نرم‌افزار HCP مبتنی بر سکوی اندروید و متناسب با ابزارهای دارای سیستم عامل اندروید و با زبان جاوا طراحی و توسعه یافت. HCP دارای سه بخش پایگاه داده، بخش پردازش تصاویر و بخش نمایش اطلاعات است. رابط کاربری آن در شش صفحه کاربری شامل Set Image، Set Data، Set View، Set Reference، Set Pin و Set Final با ساختار پایگاه داده‌ی SQL ارائه گردید. تمامی فرایند کد نویسی، اجرا، دیباگینگ و آزمون بر اساس API 27 (Application Program Interface) مرتبط با SDK (Software Development Kit) اندروید، در محیط توسعه Android (IntelliJ) Studio صورت پذیرفت. فرآیند آزمون اولیه نیز با تصاویر واقعی ذخیره شده و یا تهیه شده توسط دوربین ابزار مورد استفاده انجام گرفت. به‌منظور انجام آزمون و مقایسه‌ی داده‌های ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و HCP و همچنین داده‌های قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و HCP، تعداد ۱۵۰ پایه‌ی درختی از گونه‌ی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) انتخاب و ارتفاع و قطر تاج آن‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص‌های توصیفی غیر وابسته به نوع توزیع شامل چارک اول، میانه، چارک سوم، کمینه و بیشینه برای مؤلفه‌های ارتفاع و قطر تاج اندازه‌گیری شده از چهار روش مذکور محاسبه گردید. از آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) برای بررسی پراکنش توزیع اختلاف ارتفاع و قطر تاج کل درختان استفاده شد. به منظور ارزیابی صحت HCP از آزمون t جفتی، ارزیابی خطای HCP از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص درصد عدم تطابق (Index of Disagreement)، که حاصل تقسیم قدر مطلق اختلاف مؤلفه‌ی برآورد شده از مقدار واقعی بر مقدار واقعی است، و برای ارزیابی دقت HCP از همبستگی خطی و شاخص تطابق (Index of Agreement) استفاده شد. برای بررسی بیشتر نحوه پراکندگی توزیع خطا و همچنین بررسی صحت و دقت، داده‌ها در سه سطح کل درختان، ۷۵ درخت بلندتر از نظر ارتفاع (وسیع‌تر از منظر قطر تاج) و ۷۵ درخت کوچکتر از نظر ارتفاع (قطر تاج) دسته‌بندی شدند. تمامی نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری R به‌دست آمد.

یافته‌ها: نتیجه‌ی آزمون t جفتی با سطح احتمال ۹۵ درصد حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین اتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و HCP و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و HCP بود. جذر میانگین مربعات خطا برای ارتفاع ۰/۰۷ متر و برای قطر تاج ۰/۰۶۵ متر به‌دست آمد. مقادیر ضریب همبستگی خطی و شاخص تطابق برابر با ۰/۹۹۹ برای ارتفاع و قطر تاج اندازه‌گیری شده از روش‌های مذکور گزارش شد. درصد عدم توافق برای ارتفاع ۱/۰۶۸ و برای قطر تاج ۰/۹۶۳ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: روش‌های نوین اندازه‌گیری ارتفاع درخت نیاز به به‌سازی قبل از استفاده‌ی وسیع در جنگل دارند و پس از رفع عیوب، نوید فصل جدیدی در اندازه‌گیری مؤلفه‌های جنگل از قبیل ارتفاع و قطر تاج وجود خواهد داشت. هفت گام زیر مراحل کلی اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج را به‌کمک عکس‌برداری با HCP مشخص می‌نماید. در نهایت، بر اساس بررسی نتایج آزمون‌های ارزیابی صحت، دقت و خطا، HCP می‌تواند به‌عنوان روشی دیگر برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج درختان معرفی گردد. گام اول: طراحی و توسعه‌ی HCP (سایر موارد شامل: تعریف توابع فایل کلاس جاوا برای تعیین شماره درخت، ثبت زمان و تاریخ عکس‌برداری، محاسبه اختلاف زمانی تصاویر از یکدیگر، موقعیت‌یابی مکانی، کپی فایل اصلی تصویر به حافظه داخلی، تغییر اندازه تصاویر برای تطابق مجدد، تهیه خروجی در قالب csv و zip)، گام دوم: عکس‌برداری از پایه‌ی هدف (درختان مجاور) و شاخص، گام سوم: تعریف و تعیین مقدار عددی شاخص مورد استفاده در تصویر، گام چهارم: تعیین نقاط پایینی (بن درخت و شاخص)، بالایی (نوک درخت و شاخص) و قطر تاج بر روی تصویر، گام پنجم: تصحیح تمامی مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده، گام ششم: شروع و انجام پردازش‌ها توسط HCP، گام هفتم: اندازه‌گیری اتوماتیک تمامی مؤلفه‌های تعریف شده برای پایه‌ی هدف (درختان مجاور)، تولید فایل خروجی و ذخیره‌ی تمامی اطلاعات مربوط به هر تصویر.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع درخت، بلوط ایرانی، زاگرس جنوبی، قطر تاج

مقدمه

مفهوم اندازه‌گیری برای به‌دست آوردن یک توصیف عددی در مورد اشیاء، پدیده‌ها و اشخاص در دنیای واقعی کمک کننده است. اندازه‌گیری به‌عنوان یک راهگشا برای جمع‌آوری اطلاعات از دنیای واقعی در سراسر رشته‌های علمی مورد استفاده وسیع قرار می‌گیرد (Rossi & Crenna, 2018).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

ارتفاع درخت یکی از اجزای مهم در امر آماربرداری و اندازه‌گیری جنگل است (Unger *et al.,* 2015). بر اساس تعریف، فاصله‌ی عمودی از سطح زمین تا بلندترین نقطه‌ی تاج، ارتفاع درخت نامیده می‌شود (Gschwantner *et al.,* 2009). طی دهه‌های متوالی، برآورد ارتفاع درخت مهم‌ترین دغدغه در آمار و اندازه‌گیری جنگل به‌شمار می‌آید (Gschwantner *et al*, 2009؛ Chapman & Demeritt, 1936؛ Forbes, 1995؛ Avery & Burkhart, 1994). متغیر ارتفاع در برآورد میزان حجم درخت (Tewari & Gadow, 1999؛ van Laar & Akça, 2007)، درجه‌بندی حاصل‌خیزی رویشگاه (van Laar & Akça, 2007؛ Waring *et al.,* 2006)، برآورد نرخ رویش درخت (Carmean, 1972) و هم‌چنین یکی از متغیرهای مهم در محاسبه میزان زی‌توده است (West, 2015). ارتفاع، به‌همراه سایر مؤلفه‌ها نظیر قطر برابر سینه (DBH: Diameter at Breast Height) و گونه به طرز وسیعی برای برآورد مشخصه‌هایی که به‌صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند و یا اندازه‌گیری آن‌ها اثرات مخربی بر جای خواهند گذاشت (سن، حجم، زی‌توده) مورد توجه است. به‌همین سبب، دقت اندازه‌گیری ارتفاع امری مهم و حیاتی است و رابطه‌ی مستقیمی در برآورد سایر مشخصه‌ها دارد (Wang *et al.,* 2019). برای مثال، می‌توان به پژوهش‌هایی در مورد اثر وقوع خطا در اندازه‌گیری ارتفاع بر روی برآورد حجم تک‌درخت (Tompalsk *et al.,* 2014) و اریبی در برآورد زی‌توده و کربن ذخیره شده (Feldpausch *et al,* 2012) اشاره کرد.

اندازه‌گیری ارتفاع درخت به‌کمک روش‌هایی که اساس اندازه‌گیری در آن‌ها مستقیم است، همچون استفاده از وسیله‌ی تلسکوپیک پولز (Telescopic poles)، روش‌هایی که اساس اندازه‌گیری در آن‌ها بر پایه‌ی روابط مثلثاتی است، هم‌چون استفاده از وسایل بلوم لیس (Blume–Leiss)، سونتو (Suunto)، هاگا (Haga hypsometer) و آبنه‌لول (Abney level)، روش‌هایی که اساس اندازه‌گیری در آن‌ها بر پایه‌ی روابط هندسی است، همچون استفاده از وسایل کریستن (Christen)، مریت (Merritt)، چپمن (Chapman) و مارکامپف–لائو (Varkampff–Lau hypsometer)، همچنین استفاده از دستگاه‌های پیشرفته‌تر که به‌کمک لیزر و فراصوت اندازه‌گیری ارتفاع درختان را انجام می‌دهند، صورت می‌پذیرد (van Laar & Akça, 2007).

امروزه استفاده از ابزارهای جدید مبتنی بر لیزر، از قبیل ورتکس (Vertex) و دامنه‌یاب (Range Finder)، به‌همراه توسعه و ارائه‌ی تلفن‌های همراه هوشمند که قابلیت نصب برنامه‌های پیشرفته‌ی پردازشی و گرافیکی را دارند و به دوربین و حسگرهای گوناگونی مجهز هستند رواج بیشتری گرفته است. از دلایل آن می‌توان به چندمنظوره بودن تلفن‌های همراه هوشمند، سهولت تهیه و رواج در بین عموم مردم اشاره کرد (Pariyar & Mandal, 2019؛ Karimzadeh jafari & Soosani, 2021). اما باید خاطرنشان ساخت که در مورد استفاده از تلفن‌های همراه هوشمند برای اندازه‌گیری ارتفاع پژوهش‌های محدودی صورت گرفته است و عموماً مقادیر جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) گزارش شده در آن‌ها قابل بررسی، عیب‌یابی و بازنگری است.

آماربرداری جنگل و کسب اطلاعات بروز و دقیق در مقیاس تک‌درخت نیز از نیازهای اساسی مدیریت پایدار جنگل‌ها است. قطر تاج یکی از مهم‌ترین مشخصات لازم در سطح تک‌درخت است. قطر تاج در مدل‌سازی و برآورد مشخصات کاربردی، نظیر درصد تاج‌پوشش جنگل، شاخص سطح برگ و زی‌توده کاربرد دارد. اطلاع از ساختار تاج درختان، برای پایش و مدل‌سازی دخالت‌ها در جنگل، ارزیابی تنوع زیستی و تبیین فرآیندهای اکولوژیکی، هیدرولیکی و ریزاقلیم‌شناسی ضروری است (Lovynska *et al.,* 2018؛ Nasiri *et al.,* 2020).

برای اندازه‌گیری قطر تاج در سطح تک‌درخت، دو قطر عمود بر هم از اقطار بزرگ و کوچک تاج با مترکشی زمینی (یا سنجش از دور) اندازه‌گیری می‌شوند که ساده‌ترین و سریع‌ترین روش است. سریع بودن از آن جهت که عمل اندازه‌گیری در زیر درخت انجام شده و سادگی از آن جهت که نیاز به انجام محاسبات ریاضی خاصی ندارد. هم‌چنین اندازه‌گیر می‌تواند با استفاده از روش اختلاف آزیموت، عمل اندازه‌گیری قطر تاج را با رعایت فاصله از درخت (همچون اندازه‌گیری مؤلفه ارتفاع) انجام دهد (Taheri Sarteshnizi, 2014).

تکنیک‌ها و روش‌های اندازه‌گیری ارتفاع از دیرباز مورد توجه بوده‌اند. تلاش‌ها برای این امر با اثبات هندسی و قوانین مربوط به تشابه مثلث‌ها در سال‌های ۱۸۹۸، ۱۹۰۴ و ۱۹۰۷ به‌ترتیب در مکتوبات ملودزیانسکی، تیامان و گراویس قابل ذکر و توجه است (Mlodziansky, 1898؛ Tiemann, 1904؛ Graves, 1907). استفاده از دیرک چوبی یکی از اولین تلاش‌ها به منظور حصول ارتفاع درخت بر پایه‌ی روابط ساده‌ی هندسی است (Mlodziansky, 1898؛ Graves, 1907). پس از آن، با معرفی دستگاه‌های فاستمان (Faustmann) و ویز (Weise)، تکنیک و تکنولوژی دستگاه‌های هندسی‌محور پیشرفت قابل‌توجهی پیدا کرد. دستگاهای کریستن، کلاوسنر (Klaussner) و وینکلر (Winkler) نیز براساس روابط هندسی در سالیان بعد توسط محققین علوم جنگل معرفی شدند (Graves, 1907).

دستگاه اندازه‌گیری برندیس (Brandis) از اولین دستگاه‌ها بر پایه‌ی روابط مثلثاتی است. در این دستگاه، فاصله از بن درخت تا چشم اندازه‌گیر مبنای محاسبه‌های سینوسی و کسینوسی بود. پژوهش‌های هایگ در سال ۱۹۲۵ (Haig, 1925) و مک‌آردل و چپمن در سال ۱۹۲۷ (McArdle & Chapman, 1927)، براساس فاصله‌ی بن درخت تا چشم اندازه‌گیر و نسبت‌های سینوسی انجام شد. آن‌ها نیز روابطی را برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت ارائه نمودند. براگ به این نکته اشاره می‌کند که روند استفاده از روابط مثلثاتی در علوم جنگل با گذر از روابط سینوسی کسینوسی به روابط تانژانتی (به‌دلیل سهولت در محاسبه) و همچنین اندازه‌گیری فاصله‌ی مستقیم تا درخت به‌جای فاصله‌ی بن درخت تا چشم، متکامل شد (Bragg, 2014). دستگاه‌های شیب‌سنج گولیر (Goulier) و آبنه‌لول از پیشگامان استفاده از درصد به‌جای درجه و استفاده از

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

روابط تانژانتی در محاسبه‌ی ارتفاع درخت هستند (van Laar & Akça, 2007).

وسایل و دستگاه‌هایی که به آن‌ها اشاره شد در یک زمان تنها قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع یک درخت را دارند در حالی‌که اندازه‌گیری ارتفاع در مطالعات جنگل عملیاتی وقت‌گیر است، لذا معرفی و استفاده از وسیله‌ای که همزمان توانایی اندازه‌گیری ارتفاع چندین درخت و یا جست‌گروه را داشته باشد می‌تواند در صرفه‌جویی وقت بسیار مفید باشد. قابل ذکر است که اندازه‌گیری همزمان ارتفاع در چندین سطح ارتفاعی مانند ارتفاع تنه و یا ارتفاع شروع تاج، به‌کمک وسایل و دستگاه‌های اشاره شده مقدور نیست و نیاز به انجام اندازه‌گیری‌های متوالی و وقت‌گیر وجود دارد. معرفی ابزاری که بتواند به طور همزمان چندین سطح ارتفاعی را در یک پایه اندازه‌گیری کند و در زمان معمول اندازه‌گیری ارتفاع صرفه‌جویی کند حائز اهمیت است.

مهم‌ترین نکته‌ای که در اینجا باید به آن اشاره گردد عدم توانایی وسایل و دستگاه‌های ذکرشده در اندازه‌گیری قطر تاج درخت است. به این معنا که این دستگاه‌ها و وسایل تنها قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع درخت را دارند و به‌منظور اندازه‌گیری قطر تاج نیاز به استفاده از وسایل و یا تکنیک‌های دیگر (هم‌چون مترکشی در زیر تاج درخت) خواهد بود. رهیافت این پژوهش منجربه ساخت و استفاده از نرم‌افزاری خواهد بود که علاوه بر اندازه‌گیری مؤلفه‌های ذکر شده، توانایی اندازه‌گیری قطر تاج درخت را نیز داشته باشد و زمان انجام آماربرداری و اندازه‌گیری مؤلفه‌ها را بیش از پیش کمتر نماید. همچنین باید خاطر نشان ساخت که انجام این پژوهش و ساخت چنین نرم‌افزاری، آماربرداری رقومی در قالب فرم‌های طراحی شده‌ی آماربرداری در نرم‌افزار، ثبت مختصات جغرافیایی پایه‌های درختی، ذخیره‌سازی تصاویر گرفته شده از درختان و در نهایت ایجاد یک بایگانی شامل تمام موارد ذکر شده از منطقه‌ی مورد مطالعه را امکان‌پذیر خواهد نمود.

به‌منظور رسیدن به این اهداف، طراحی و توسعه‌ی نرم‌افزاری (Application) با عنوان HCP که مخفف واژه‌های H: Height، C: Canopy و P: Pixel که بر سیستم عامل اندروید (Android) مستقر است، ماهیت و ضرورت انجام این پژوهش قلمداد خواهد شد. برای اختصار، تا انتهای متن این پژوهش، از به‌کار بردن کلمه‌ی نرم‌افزار HCP خودداری شده و فقط از واژه‌ی HCP استفاده شده‌است.

همان طور که اشاره شد، اطلاعات به‌دست‌آمده از مؤلفه‌های ارتفاع و تاج‌پوشش، پایه‌ای برای انجام سایر مطالعات اندازه‌گیری جنگل، اکولوژی و جنگل‌شناسی خواهد بود. برآورد حجم، درجه‌بندی حاصل‌خیزی رویشگاه، شناخت از وضعیت گسترش و تراکم تاج‌پوشش، کمک به مدل‌سازی نور قابل‌عبور از تاج، تبیین اهداف اکولوژیکی، شناخت تفاوت‌های جوامع گیاهی و کمک به محاسبه شاخص سطح برگ، از دیگر مزایای برآورد مؤلفه‌های ارتفاع و تاج‌پوشش خواهد بود و در اصل با انجام چنین مطالعه‌ای، دستیابی به اهداف ذکر شده برای پژوهشگران آتی آسان‌تر خواهد بود و این خود به مدیریت مؤثر در زمینه حفاظت و احیای عرصه‌های جنگلی در زاگرس می‌انجامد.

لاریاوارا و مولر–لاندائو (Larjavaara & Muller-Landau, 2013) با انتخاب ۷۴ درخت برای بررسی دو روش اندازه‌گیری ارتفاع درخت بر پایه‌ی روابط سینوسی و تانژانتی توسط پنج تکنسین در جنگل‌های گرمسیری، روش اندازه‌گیری بر پایه رابطه‌ی سینوسی را به‌دلیل واریانس کمتر، بهتر قلمداد کردند.

در پژوهش اونگر و همکاران (Unger *et al.,* 2015) با انتخاب ۶۰ درخت، قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع درختان شهری به‌کمک استفاده از تصاویر Pictometry Hyperspatial 4-Inch پیشنهاد شد. ضریب همبستگی ۰/۹۹۷ بین داده‌های ارتفاعی حاصل از روش ذکر شده با داده‌های واقعی ارتفاع درختان، گواهی بر این مدعا بود.

ویلاسانت و فرناندز (Villasante & Fernandez, 2014) برمبنای کالیبره کردن اکسلرومتر تلفن همراه و کاربردی‌تر کردن آن برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت، بیان کردند که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حاصل از تلفن همراه و ورتکس وجود نداشت. ضریب تبیین در این پژوهش ۰/۹۹۹ و مقدار RMSE بین ۰/۶۳ تا ۰/۸۶ متر، با توجه نوع تلفن همراه استفاده شده، گزارش شد.

واستارانا و همکاران (Vastaranta *et al.,* 2015) با بررسی اپلیکیشن TRESTIMA مقدار RMSE برآورد سطح مقطع را با این اپلیکیشن بین ۱۹/۷ تا ۲۹/۳ درصد با توجه به تعداد تصویر تهیه شده در هر توده‌ی جنگلی گزارش کردند. در این پژوهش، اریبی (Bias) مؤلفه‌ی ارتفاع سطح مقطع متوسط بین ۵ تا ۸/۳ درصد و مقدار RMSE بین ۱۰ تا ۱۳/۶ درصد گزارش شد. TRESTIMA به منظور محاسبه‌ی سطح مقطع، قطر برابر سینه و ارتفاع در سطح توده، توسط یک شرکت فنلاندی طراحی و توسعه یافت. اساس تئوری آن بر مبنای رلاسکوپ بیترلیخ استوار است که در اینجا دوربین سخت‌افزار برای تهیه‌ی تصاویر از توده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های این نرم‌افزار قابلیت استفاده از فضای ابری و امکان بارگذاری (Upload) تصاویر تهیه‌شده در توده بر روی سرور اپلیکیشن است. باید خاطرنشان ساخت که پس از عکس‌برداری و بارگذاری تصاویر، پردازش‌ها و محاسبات توسط تیم توسعه صورت می‌گیرد و برای کاربر ارسال می‌گردد. دسترسی کامل به تمام ویژگی‌های این نرم‌افزار مستلزم صرف هزینه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز دوپلان در ۱۳۰ کیلومتری شهرکرد و در جنوب‌غربی استان چهارمحال و بختیاری بود. مساحت این حوضه ۲۵۷۰ هکتار است که ۱۲۲۰ هکتار آن در منطقه‌ی حفاظت شده‌ی هلن قرار دارد. ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۵۳۰متر و منطقه از لحاظ ویژگی‌های آب و هوایی در اقلیم مرطوب است. تیپ غالب جنگلی، بلوط، بلوط زبان گنجشک، بلوط بنه و بلوط زالزاک است (Sadeghi Kaji *et al.,* 2015).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

روش انجام پژوهش

HCP مبتنی بر سکوی اندروید (Android Platform) و متناسب با ابزارهای دارای سیستم عامل اندروید و با زبان جاوا (JAVA) طراحی و توسعه یافته است و دارای سه بخش پایگاه داده (Database)، بخش پردازش تصاویر و بخش نمایش اطلاعات است. رابط کاربری HCP در شش صفحه کاربری (Activity)، شامل Set Image، Set Data، Set View، Set Reference، Set Pin و Set Final، با ساختار پایگاه داده‌ی SQL ارائه گردید. تمامی فرایند کد نویسی، اجرا، دیباگینگ (Debugging) و آزمون بر اساس API 27 (Application Program Interface) مرتبط با SDK (Software Development Kit) اندروید، در محیط توسعه Android Studio (IntelliJ) صورت پذیرفت. فرایند آزمون اولیه نیز با تصاویر واقعی ذخیره شده و یا تهیه شده توسط دوربین ابزار مورد استفاده انجام گرفت. گام‌های زیر مراحل کلی اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج را به‌کمک عکس‌برداری با HCP مشخص می‌نماید.

گام اول: طراحی و توسعه‌ی HCP (سایر موارد شامل: تعریف توابع فایل کلاس جاوا برای تعیین شماره درخت، ثبت زمان و تاریخ عکس‌برداری، محاسبه اختلاف زمانی تصاویر از یکدیگر، موقعیت‌یابی مکانی، کپی فایل اصلی تصویر به حافظه داخلی، تغییر اندازه تصاویر برای تطابق مجدد، تهیه خروجی در قالب csv و zip)

گام دوم: عکس‌برداری از پایه‌ی هدف (درختان مجاور) و شاخص

گام سوم: تعریف و تعیین مقدار عددی شاخص مورد استفاده در تصویر

گام چهارم: تعیین نقاط پایینی (بن درخت و شاخص)، بالایی (نوک درخت و شاخص) و قطر تاج بر روی تصویر

گام پنجم: تصحیح تمامی مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده

گام ششم: شروع و انجام پردازش‌ها توسط HCP

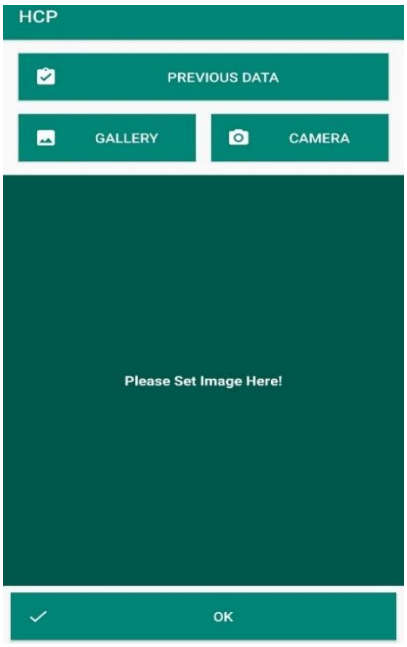
گام هفتم: اندازه‌گیری اتوماتیک تمامی مؤلفه‌های تعریف شده برای پایه‌ی هدف (درختان مجاور)، تولید فایل خروجی و ذخیره‌ی تمامی اطلاعات مربوط به هر تصویر

اندازه‌گیری همزمان مؤلفه‌ها در چندین درخت

قابل ذکر است که به‌جای استفاده از یک شاخص در کنار پایه‌ی هدف، می‌توان از تعدادی شاخص در کنار پایه‌هایی که در هنگام عکس‌برداری قابل رویت هستند، استفاده کرد. این رویّه امکان اندازه‌گیری تمامی مؤلفه‌های موردنظر را برای چندین درخت با یکبار عکس‌برداری فراهم خواهد نمود.

نحوه کار با HCP

در هنگام اجرای HCP، صفحه‌ی اول برای تهیه‌ی تصویر نمایش داده می‌شود (شکل ۱). در این صفحه، کاربر قادر به انتخاب تصویر از مرجع تصاویر ابزار اندرویدی (مانند Gallery) و یا تهیه تصویر مستقیم از اپلیکیشن‌های مرتبط با عکس‌برداری در دسترس (مانند Camera) خواهد بود.



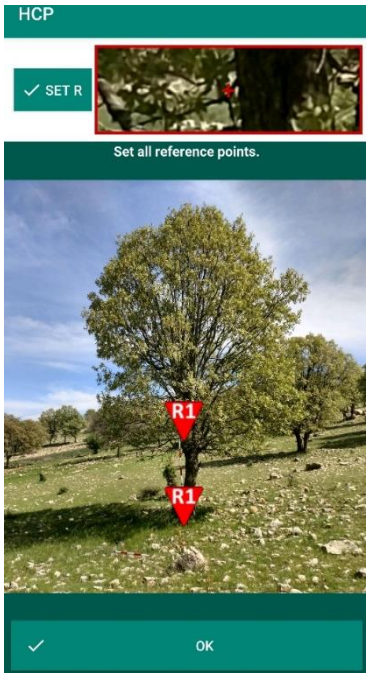
شکل ۱- صفحه اول HCP
Figure 1. The first page of HCP

پس از تأیید تصویر با فشردن دکمه OK، کاربر وارد صفحه درج اطلاعات کلی تصویر (Image information) خواهد شد. در این بخش، کاربر می‌تواند اطلاعات کلی تصویر مانند طول و عرض موقعیت جغرافیایی عکس، توضیحات اضافی درباره موقعیت عکس، تاریخ و ساعت تهیه عکس، توضیحات اضافی و همچنین اطلاعات دلخواه را درج (ADD) و یا ویرایش نماید. در این صفحه، کاربر می‌تواند موقعیت دقیق (Fine Location) استقرار ابزار اندرویدی را در هنگام تهیه عکس به‌صورت خودکار و در صورت داشتن امکانات سخت‌افزاری دریافت نماید. همچنین اپلیکیشن به‌صورت

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

خودکار به هر عکسی که وارد این مرحله از اپلیکیشن می‌شود یک شماره اختصاص می‌دهد. کاربر می‌تواند در زمان دلخواه، این شماره را بازتنظیم (RESET) نماید.

شاخص‌ها، دو به دو، با افزایش شماره و حداکثر در ۷ شاخص (۱۴ نقطه) قابل تعیین خواهند بود. به‌منظور انتخاب دقیق و جایگذاری صحیح نقاط، تصویر با قابلیت ده برابر بزرگ‌نمایی (10 DPI) در اختیار کاربر قرار خواهد گرفت. همچنین، پنجره‌ای برای پیش‌نمایش موقعیت زیر انگشت کاربر در صفحه تعبیه شده است. با لمس SET R بر روی هر موقعیتی از عکس، یک نقطه از شاخص (R1) ایجاد می‌گردد. R1 یا شاخص اول پس از تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی بر روی تصویر کاملاً مشخص خواهد بود (شکل ۲).



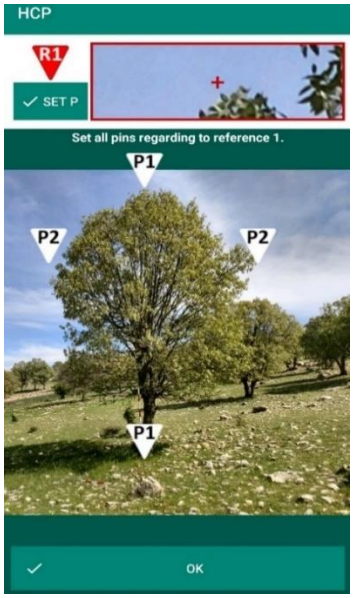
شکل ۲- تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی شاخص
Figure 2. Determining the starting and ending points of the index

به محض تعیین نقطه دوم و انتهایی شاخص، کادر محاوره‌ای (Reference info) برای دریافت اندازه واقعی شاخص در مقیاس میلی‌متر به کاربر نشان داده می‌شود. اگر کاربر از وارد کردن این مقدار امتناع ورزد، شاخص‌ها نیز از روی عکس پاک می‌شوند، زیرا عملاً شاخص‌ها بدون اندازه واقعی در اپلیکیشن کاربرد نخواهند داشت. پس لازم است کاربر پیش از درج اطلاعات عکس از این مقادیر اطلاع داشته باشد. پس از انتخاب نقاط و تعیین تمامی شاخص‌ها، کاربر می‌تواند تمامی فرآیند این بخش را نیز با زدن دکمه OK وارد فاز بعدی نماید.

لازم است به تعداد هر شاخص تعیین شده، فواصل یا مسافت‌ها (Distances) موردنظر کاربر در تصویر نیز تعیین گردد. منظور از کلمه فاصله (مسافت)، مشخصه‌های قابل اندازه‌گیری همچون ارتفاع، قطر تاج و یا قطر برابر سینه است. همچنین امکان اندازه‌گیری فاصله‌ی بین درختان، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج و سایر مواردی که کاربر در هنگام اندازه‌گیری لحاظ می‌کند با عنوان فاصله شناخته خواهند شد. لذا صفحه‌ی Set all pins regarding to reference، به تعداد شاخص‌های تعیین شده برای کاربر تکرار می‌گردد تا کاربر تمامی نقاط ابتدایی و انتهایی فواصل مورد نظر را با لمس SET P تعیین نماید. کاربری این بخش نیز مشابه بخش قبلی است، با این تفاوت که در این بخش نقاط (Pins) ابتدایی و انتهایی هر فاصله (P1، P2 و ...) تعیین می‌گردند.

به‌دلیل عدم قرارگیری کاملاً عمودی نقاط بن و نوک درخت نسبت به هم و همچنین مورب بودن نقاط ابتدایی و انتهایی قطر تاج، امکان استفاده از توازن کاملاً عمودی و افقی برای کاربر ایجاد گردید. برای کاربر با لمس مجدد نقطه انتهایی کادری محاوره‌ای گشوده خواهد شد که امکان برقراری توازن افقی با نقطه اول، عمودی و یا حذف آن میسر خواهد بود. بدیهی است که برای اندازه‌گیری ارتفاع از قابلیت توازن عمودی نقاط ابتدایی و انتهایی و برای اندازه‌گیری قطر تاج از توازن افقی تعبیه شده در کادر مذکور می‌توان استفاده کرد. در شکل ۳، وضعیت قرارگیری نقاط ابتدایی و انتهایی، پس از تصحیح توازن عمودی برای اندازه‌گیری ارتفاع (P1) و توازن افقی برای اندازه‌گیری قطر تاج (P2) نشان داده شده است.

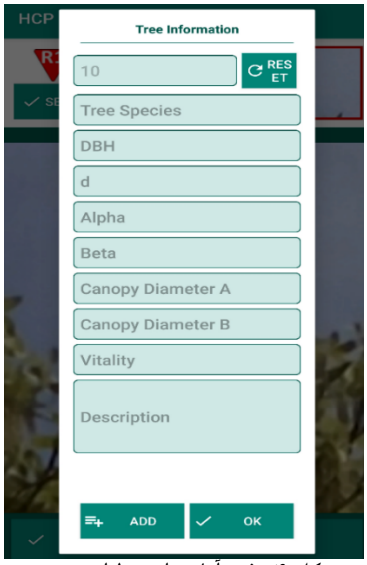
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]



شکل ۳- تصحیح نقاط P1 و P2
Figure 3. Correction of points P1 and P2

خروجی این مرحله در صورت وجود یک شاخص مرجع (R1) و دو فاصله اندازه‌گیری شده (P1، P2) به‌شکل R1P1، R1P2 و در صورت وجود دو شاخص مرجع (R1، R2) و دو فاصه اندازه‌گیری شده (P1، P2) به شکل R1P1، R1P2، R2P1 و R2P2 نمایش داده خواهد شد. بیشینه تعریف شده برای R و P تا عدد ۷ تعریف شده است، به این مفهوم که در یک تصویر قابلیت قرارگیری از ۱ تا ۷ شاخص و قابلیت اندازه‌گیری ۷ فاصله با توجه به هر شاخص (در مجموع ۴۹ فاصله) وجود دارد.

پس از تعیین هر دو نقطه مرتبط (P1 و P2)، کادری محاوره‌ای (Tree information) برای دریافت اطلاعات هر فاصله به کاربر نشان داده می‌شود. جعبه‌های ورود متن در این کادر محاوره‌ای با فرض اینکه هر فاصله می‌تواند یک درخت مجزا باشد تعیین شده‌اند. بنابر این، این اطلاعات شامل شماره‌ی فاصله، گونه‌ی درخت، مقادیر اندازه‌گیری شده توسط تیم آماربرداری در عرصه شامل قطر برابر سینه (DBH)، فاصله تا درخت (d)، زاویه دید روی اندازه‌گیر تا نوک و بن درخت (Alpha و Beta)، دو قطر کوچک و بزرگ تاج درخت (Canopy Diameter A، Canopy Diameter B)، میزان شادابی (Vitality) و همچنین ارائه توضیحات و اطلاعات دلخواه است. به علاوه، در این قسمت امکان درج (ADD) و ایجاد جعبه متنی جدید در اختیار کاربر قرار گرفته است (شکل ۴). به بیانی دیگر، در این بخش، فرم آماربرداری جنگل برای کاربر تعریف شده است و نیازی به یادداشت‌برداری و سپس ورود دستی داده‌های برداشتی از عرصه به نرم‌افزارهای تحلیلی وجود ندارد.



شکل ۴- فرم آماربرداری طراحی شده
Figure 4. Designed inventory form

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش به‌منظور مقایسه‌ی دقت و صحت داده‌های ارتفاع و قطر تاج حاصل از HCP، نیاز به مقایسه‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده با HCP و داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های دیگری که صحت و دقت آن از پیش در علوم جنگل اثبات شده است، خواهد بود. لازم به ذکر است که دستگاه‌های منتخب به‌منظور مقایسه دقت و صحت باید در دسترس بوده، کاربرد فراوانی در ایران (دانشکده‌های جنگل، سازمان‌ها و نهادهای تحقیقاتی) داشته باشند و حتی‌الامکان با تکنولوژی روز دنیای علوم جنگل همگام باشند. در این پژوهش، به منظور انجام آزمون و مقایسه‌ی داده‌های ارتفاع اندازه‌گیری شده (ورتکس و HCP) و همچنین داده‌های قطر تاج اندازه‌گیری شده (متر لیزری و HCP)، تعداد ۱۵۰ پایه‌ی درختی از گونه‌ی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) انتخاب شد. ارتفاع و قطر تاج هر اصله درخت در عرصه به‌ترتیب با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ورتکس (Vertex IV) و متر لیزری لیکا (Leica Disto X310) اندازه‌گیری شدند. برای استفاده، اجرا و ثبت تصاویر با HCP از تلفن همراه مدل سامسونگ گلکسی نوت ۹ (Samsung Galaxy Note 9) با دوربین ۱۲ مگاپیکسلی استفاده شد.

شاخص‌های توصیفی غیر وابسته به نوع توزیع، شامل چارک اول، میانه، چارک سوم، کمینه و بیشینه برای مؤلفه‌های ارتفاع و قطر تاج اندازه‌گیری شده، از چهار روش مذکور محاسبه گردیدند. از آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) برای بررسی پراکنش توزیع اختلاف ارتفاع و قطر تاج کل درختان استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت HCP از آزمون t جفتی، ارزیابی خطای HCP از جذر میانگین مربعات خطا (رابطه ۱) (RMSE) و شاخص درصد عدم تطابق (Index of Disagreement)، که حاصل تقسیم قدر مطلق اختلاف مؤلفه‌ی برآورد شده از مقدار واقعی بر مقدار واقعی است، و برای ارزیابی دقت HCP از همبستگی خطی و شاخص تطابق (رابطه ۲) (Index of Agreement) استفاده شد. برای بررسی بیشتر نحوه پراکندگی توزیع خطا و همچنین بررسی صحت و دقت، داده‌ها در سه سطح کل درختان، ۷۵ درخت بلندتر از نظر ارتفاع (قطورتر از منظر قطر تاج) و ۷۵ درخت کوچکتر از نظر ارتفاع (قطر تاج) دسته‌بندی شدند (Unger *et al*, 2015). تمامی نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری R به‌دست آمد.

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(S_i - O_i)^2}$$ رابطه ۱

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$ رابطه ۲

در روابط بالا O برابر با مقدار ارتفاع (قطر تاج) اندازه‌گیری شده با استفاده از ورتکس (متر لیزری)، S برابر با مقدار ارتفاع (قطر تاج) اندازه‌گیری شده با استفاده از HCP، $\bar{O}$ برابر با میانگین ارتفاع (قطر تاج) اندازه‌گیری شده با استفاده از ورتکس (متر لیزری) و N برابر با تعداد نمونه هستند.

نتایج و بحث

آمار توصیفی پایه‌های درختی منتخب و روش‌های اندازه‌گیری

از تعداد ۱۵۰ پایه‌ی درختی منتخب، ۳۹ پایه دانه‌زاد و ۱۱۱ پایه شاخه‌زاد شناسایی و مورد اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج قرار گرفتند. شاخص‌های توصیفی غیر وابسته به نوع توزیع به همراه میانگین، انحراف معیار و مقادیر قدر مطلق کمینه و بیشینه اختلاف برای روش‌های مختلف، در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر با واحد متر در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند. روش‌ها به اختصار با اعداد ۱ تا ۴ شماره‌گذاری شدند که روش ۱: ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس، روش ۲: ارتفاع اندازه‌گیری شده با HCP، روش ۳: قطر تاج اندازه‌گیری شده با لیزر و روش ۴: قطر تاج اندازه‌گیری شده با HCP است.

جدول ۱– شاخص‌های توصیفی غیروابسته به نوع توزیع (واحد: متر)

Table 1. Descriptive indicators independent of the distribution type (unit: meter)

سطح Level	روش Method	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	چارک اول First quarter	میانه Median	چارک سوم Third quarter	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	قدر مطلق کمینه اختلاف Absolute value of the minimum difference	قدر مطلق بیشینه اختلاف Absolute value of the maximum difference
کل ۱۵۰ درخت All 150 trees	1	1.550	13.700	3.297	5.115	6.975	5.524	2.764	0	0.21
	2	1.560	13.570	3.285	5.135	7.045	5.529	2.767		
	3	0.910	11.500	3.525	5.190	7.000	5.522	2.434	0	0.18
	4	0.910	11.380	3.570	5.220	7.072	5.520	2.431		
۷۵ درخت کوتاه‌تر Shortest 75 trees	1	1.550	5.100	2.515	3.290	4.225	3.340	1.020	0	0.10
	2	1.560	5.080	2.475	3.280	4.240	3.343	1.029		
	3	0.910	5.180	2.925	3.500	4.365	3.571	1.011	0	0.14
	4	0.910	5.190	2.945	3.540	4.395	3.573	1.011		
۷۵ درخت بلندتر Tallest 75 trees	1	5.130	13.700	6.110	7.000	8.465	7.708	2.163	2	0.21
	2	5.190	13.570	6.075	7.060	8.550	7.716	2.162		
	3	5.200	11.500	5.775	7.000	8.810	7.473	1.788	0	0.18
	4	5.250	11.380	5.760	7.080	8.850	7.466	1.790		

نتایج آزمون پراکنش توزیع اختلاف

آماره‌ی W آزمون شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) در مورد پراکنش توزیع اختلاف ارتفاع و قطر تاج کل درختان، بین روش‌های ۱ و ۲ برابر با ۰/۹۸۵ (P = ۰/۱۰۵) و بین روش‌های ۳ و ۴ برابر با ۰/۹۸۹ (P = ۰/۳۴۵) محاسبه شد.

نتایج آزمون‌های ارزیابی صحت، دقت و خطا

جدول ۲ مقادیر آماره‌های آزمون t جفتی، *p-value*، همبستگی خطی (r)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص تطابق (d) و درصد عدم تطابق (Disagreement) را در ۳ سطح برای کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر نشان می‌دهد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

جدول ۲- مقادیر آماره‌های روش‌های مختلف بررسی صحت، دقت و خطا
Table 2. Statistical values of different methods for examining accuracy, precision, and error

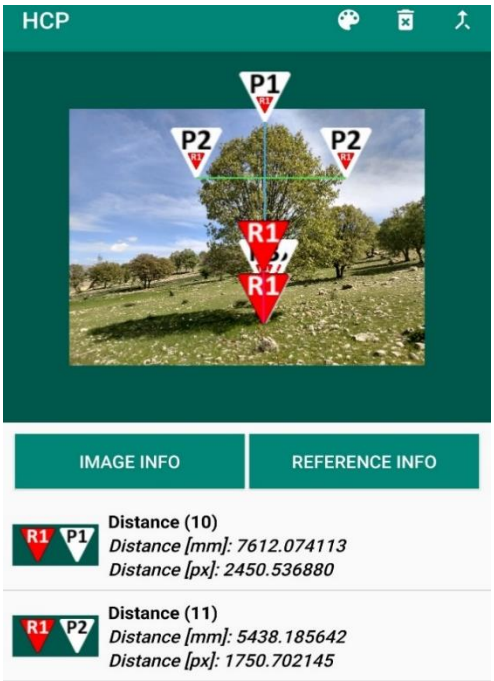
سطح Level	روش Method	آماره t t-value	سطح معنی‌داری P	همبستگی خطی r	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	شاخص تطابق d	درصد عدم تطابق Disagreement (%)
کل ۱۵۰ درخت All 150 trees	۱ و ۲ 1 and 2	-0.884	0.378	0.999*	0.070	0.999	1.068
	۳ و ۴ 3 and 4	0.400	0.689	0.999*	0.065	0.999	0.963
۷۵ درخت کوتاه‌تر Shortest 75 trees	۱ و ۲ 1 and 2	-0.490	0.625	0.999*	0.044	0.999	1.129
	۳ و ۴ 3 and 4	-0.411	0.682	0.998*	0.050	0.999	1.097
۷۵ درخت بلندتر Tallest 75 trees	۱ و ۲ 1 and 2	-0.740	0.461	0.999*	0.088	0.999	1.041
	۳ و ۴ 3 and 4	0.746	0.457	0.999*	0.077	0.999	0.899

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

*Significant at the 95% confidence level

نتایج خروجی HCP

در این بخش تمامی نقاط فواصل و همچنین تمامی شاخص‌ها نشان داده شده‌اند. R1P1 به‌معنای ارتفاع برابر با ۷۶۱۲ میلی‌متر (۷/۶۱ متر) و ۲۴۵۰/۵۳ پیکسل، R1P2 به‌معنای قطر تاج برابر با ۵۴۳۸ میلی‌متر (۵/۴۳ متر) و ۱۷۵۰/۷۰ پیکسل به‌دست آمده است. دکمه اول از سمت راست برای تهیه خروجی، دکمه وسط برای حذف تصویر و اطلاعات و دکمه سوم برای تغییر رنگ فواصل و شاخص تعبیه شده است. نتایج محاسبه‌ی تمام فواصل در این قسمت به کاربر نمایش داده می‌شود. کاربر با بزرگنمایی تصویر بالای صفحه می‌تواند نمایش بهتری از تمایز نقاط تعیین شده برای شاخص‌ها و فواصل مشاهده نماید. نقاط فواصل مرتبط به هر شاخص، تصویر منحصربه فردی به‌عنوان نمایه دارند. در این نمایه، علاوه بر نام و شماره نقاط، نام و شماره شاخص نیز در زیر آن آورده شده است. همچنین بین نقاط مرتبط با هم، یک خط رنگی با رنگی تصادفی نیز رسم شده است. این رنگ را می‌توان از دکمه تعبیه شده در منوی بالایی صفحه تغییر داد. در لیست انتهای صفحه نیز اطلاعات فواصل تعیین شده و نقاط با بیان شماره فاصله و ابعاد آن در مقیاس‌های میلی‌متر و پیکسل نمایش داده شده است. کاربر می‌تواند این تصویر و اطلاعات مرتبط با آن را با دکمه تعبیه‌شده در منوی بالایی برنامه حذف نماید. همچنین کاربر می‌تواند از اطلاعات این تصویر، خروجی تهیه نماید. علاوه بر این، در این صفحه کاربر اطلاعات عکس (Image Info) و اطلاعات شاخص(ها) (Reference Info) را می‌تواند به‌صورت جداگانه مشاهده نماید. در اطلاعات شاخص‌ها، مقدار شاخص نیز در دو مقیاس میلی‌متر و هم‌چنین پیکسل نشان داده می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- خروجی HCP
Figure 5. HCP output

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

با زدن دکمه مرتبط با دریافت خروجی (Export) در منوی بالایی، اپلیکیشن، علاوه بر تصویر، یک فایل csv شامل تمامی اطلاعات مبتنی بر تصویر تولیدشده و هر دو فایل را در یک فایل فشرده (zip) در حافظه دستگاه ذخیره می‌کند.

بررسی آمار توصیفی پایه‌های درختی منتخب و روش‌های اندازه‌گیری

بر اساس نتایج جدول ۱، کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار ارتفاع ۱۵۰ پایه‌ی درختی بلوط ایرانی اندازه‌گیری شده در عرصه با دستگاه ورتکس که به‌عنوان روش کنترل و یا مرجع انتخاب شد به‌ترتیب برابر با ۱/۵۵۰، ۱۳/۷۰۰، ۵/۵۲۴ و ۲/۷۶۴ متر گزارش شد. قدر مطلق کمینه و بیشنیه اختلاف مشاهده شده بین اندازه‌گیری ارتفاع با ورتکس و HCP به‌ترتیب برابر با صفر و ۲۱ سانتی‌متر به‌دست آمد که این مقدار در سطح ۷۵ درخت بلندتر قرار داشت. میانگین ارتفاع محاسبه شده با روش کنترل برای ۷۵ درخت کوتاه‌تر و بلندتر، به‌ترتیب برابر با ۳/۳۴۰ و ۷/۷۰۸ متر، گزارش شد.

کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار قطر تاج ۱۵۰ پایه‌ی درختی بلوط ایرانی اندازه‌گیری شده در عرصه با دستگاه متر لیزری که به‌عنوان روش کنترل و یا مرجع انتخاب شد به‌ترتیب برابر با ۰/۹۱۰، ۱۱/۵۰۰، ۵/۵۲۲ و ۲/۴۳۴ متر گزارش شد. قدر مطلق کمینه و بیشنیه اختلاف مشاهده شده بین اندازه‌گیری قطر تاج با متر لیزری و HCP به‌ترتیب برابر با صفر و ۱۸ سانتی‌متر به‌دست آمد که این مقدار در سطح ۷۵ درخت بلندتر قطورتر قرار داشت. میانگین قطر تاج محاسبه شده با روش کنترل برای ۷۵ درخت کوتاه‌تر و بلندتر، به‌ترتیب برابر با ۳/۵۷۱ و ۷/۴۷۳ متر، گزارش شد. باید توجه داشت که مشاهده‌ی کمترین مقادیر قدر مطلق بیشینه اختلاف برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج، در سطح ۷۵ درخت کوتاه‌تر لزوماً حاکی از نزدیکی زیادتر مقادیر برآورد شده توسط HCP به روش‌های مرجع در این سطح نیست.

بررسی نتایج آزمون پراکنش توزیع اختلاف

پیش از انجام آزمون t جفتی، نیاز به انجام آزمونی برای بررسی نرمال بودن پراکنش توزیع اختلاف مقادیر به‌دست آمده از روش کنترل و روش برآوردی وجود دارد. در این پژوهش، از آزمون شاپیرو–ویلک استفاده شد. نتیجه‌ی آزمون برای روش‌های ۱ و ۲ حاکی از پراکنش نرمال اختلاف ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و HCP است. نتیجه‌ی آزمون برای روش‌های ۳ و ۴ حاکی از پراکنش نرمال اختلاف قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و HCP است.

بررسی نتایج آزمون‌های ارزیابی صحت، دقت و خطا

بر اساس جدول ۲، نتیجه‌ی آزمون t جفتی با سطح احتمال ۹۵ درصد حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر بود. نتیجه‌ی آزمون t جفتی با سطح احتمال ۹۵ درصد حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر بود.

ضریب همبستگی خطی (r) بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و ارتفاع اندازه‌گیری شده با HCP با سطح احتمال ۹۵ درصد خطی است و در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر بیشتر از ۰/۹۹۹ گزارش شد. ضریب همبستگی خطی بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و قطر تاج اندازه‌گیری شده با HCP با سطح احتمال ۹۵ درصد خطی است و در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر بیشتر از ۰/۹۹۸ گزارش شد.

جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و ارتفاع اندازه‌گیری شده با HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر به ترتیب برابر با ۰/۰۷۰، ۰/۰۴۴ و ۰/۰۸۸ متر گزارش شد. جذر میانگین مربعات خطا بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و قطر تاج اندازه‌گیری شده با HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر به‌ترتیب برابر با ۰/۰۶۵، ۰/۰۵۰ و ۰/۰۷۷ متر گزارش شد. هرچه مقدار جذر میانگین مربعات خطا به صفر نزدیک‌تر باشد، حاکی از خطای کمتر اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج با HCP است.

شاخص تطابق (d) بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و ارتفاع اندازه‌گیری شده با HCP و هم‌چنین بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و قطر تاج اندازه‌گیری شده با HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر بیشتر از ۰/۹۹۹ گزارش شد. مقدار d بین دامنه ۰ تا ۱ قرار دارد. هر چه مقدار d به ۱ نزدیک‌تر باشد مبین کارآیی خوب HCP است در حالی‌که مقدار کمتر از آن به معنی وجود خطای اندازه‌گیری و کارآیی کمتر HCP است. با توجه به مقدار شاخص تطابق، کارآیی خوب HCP تایید شد.

درصد عدم توافق (Disagreement) بین ارتفاع اندازه‌گیری شده با ورتکس و ارتفاع اندازه‌گیری شده با HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر به‌ترتیب برابر با ۱/۰۶۸، ۱/۱۲۹ و ۱/۰۴۱ گزارش شد. درصد عدم توافق (Disagreement) بین قطر تاج اندازه‌گیری شده با متر لیزری و قطر تاج اندازه‌گیری شده با HCP در سطح کل درختان، ۷۵ درخت کوتاه‌تر و ۷۵ درخت بلندتر به‌ترتیب برابر با ۰/۹۶۳، ۱/۰۹۷ و ۰/۸۹۹ گزارش شد. هرچه درصد عدم توافق به صفر نزدیک‌تر باشد، حاکی از خطای کمتر اندازه‌گیری ارتفاع و قطرتاج با HCP است.

نتایج این پژوهش با ویلاسانت و فرناندز (Villasante & Fernandez, 2014) و همچنین کریم‌زاده جعفری و سوسنی (Karimzadeh Jafari & Soosani, 2021) همسو هستند و قابلیت استفاده از تلفن همراه برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت را نشان می‌دهند اما نکته اساسی مورد توجه در پژوهش‌های مذکور، مقادیر زیاد RMSE گزارش‌شده است. در مرور منابع مذکور، مقدار خطای اندازه‌گیری ارتفاع به‌کمک اپلیکیشن‌های استقرار یافته بر روی تلفن همراه اعداد ناچیزی نیستند و اصلاح، تکمیل و عیب‌یابی بیش از پیش مورد نیاز است. کریم‌زاده جعفری و سوسنی (Karimzadeh Jafari & Soosani, 2021) با انتخاب ۷۵ اصله از درختان سوزنی‌برگ و اندازه‌گیری ارتفاع آن‌ها با متر لیزری و فناوری واقعیت افزوده‌ی (AR:

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

Augmented reality) موجود در دو گوشی آیفون و سامسونگ، بیان کردند که به‌نظر می‌رسد فناوری‌های تعبیه شده در تلفن‌های همراه هوشمند، توانایی لازم را دارند تا به‌جای ابزارهای سنتی و متداول اندازه‌گیری ارتفاع درختان به‌کار روند. در این پژوهش، از دو اپلیکیشن Arboreal که مختص کاربران سیستم عامل iOS است و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان اعم از سوزنی‌برگ و پهن‌برگ طراحی شده است و هم‌چنین از اپلیکیشن ARuler که به‌طور عمومی برای اندازه‌گیری ارتفاع اجسام طراحی شده‌است، استفاده شد. داده‌های حاصل از تروپالس ۳۶۰ به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شد. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا برای پژوهش‌های مذکور به‌ترتیب برابر با دامنه‌ی ۰/۶۳ تا ۰/۸۶ و ۰/۲۸۵ متر گزارش شده‌اند در صورتی‌که مقادیر RMSE حاصل از اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج برای HCP در بالاترین مقدار RMSE گزارش شده از HCP برای اندازه‌گیری ارتفاع برابر با ۰/۰۸۸ متر و برای اندازه‌گیری قطر تاج برابر با ۰/۰۷۷ متر بود که باز هم در مقایسه با پژوهش‌های مذکور مقدار کمتری است. در پژوهش واستارانا و همکاران (Vastaranta *et al.,* 2015) با بررسی اپلیکیشن TRESTIMA مقدار RMSE گزاش شده نیز عدد قابل‌توجهی است و حاکی از عدم دقت و صحت زیاد آن است. TRESTIMA توانایی اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج درختان را در سطح تک پایه ندارد و فقط مقادیر مؤلفه‌های ذکرشده را در سطح توده گزارش می‌کند. توسعه‌ی سریع تکنولوژی مربوط به تلفن‌های همراه هوشمند، موجب ورود و استفاده از این وسایل در علوم جنگل نیز شده است. آی‌تو و همکاران (Itoh *et al.,* 2010) نرم‌افزاری را توسعه دادند که اساس تئوری آن استفاده از اکسلرومتر (accelerometer) تلفن همراه جهت اندازه‌گیری ارتفاع درخت بود. واژه‌ی شتاب‌سنج (زاویه‌یاب: در پژوهش مذکور) را می‌توان معادلی برای اکسلرومتر در نظر گرفت. بسته به میزان حرکت تلفن همراه و چرخش‌های آن، کریستال پیزوالکتریک (Piezoelectric) یا بار الکتریکی انباشت‌شده در ماده‌ی جامد به‌علت فشار مکانیکی، میزان مشخصی ولتاژ بالقوه تولید و به پردازنده دستگاه ارسال می‌کند. بسته به‌شدت ولتاژ دریافتی، تلفن همراه بازخوردی نشان داده، شتاب (زاویه) را در سه محور x و y و z اندازه‌گیری و حرکت در هریک از سه محور را حس می‌کند. استقرار این نرم‌افزار بر روی تلفن هوشمند نوع آیفون (iPhone) بود. در مقایسه‌ی ارتفاع درختان به‌دست آمده از این پژوهش با داده‌های حاصل از دستگاه تروپالس ۲۰۰ (TruPulse200)، مقدار RMSE برابر با ۰/۷ متر گزارش شد. اندازه‌گیر باید قبل از انجام عملیات اندازه‌گیری، فاصله تا درخت را اندازه‌گیری کند و سپس عملیات اندازه‌گیری را بر اساس زاویه‌ی دید روی به بن و نوک درخت انجام دهد. مقدار RMSE پژوهش مذکور نیز در مقایسه با HCP عدد قابل‌توجهی است و همچنین عدم توانایی این نرم‌افزار در اندازه‌گیری قطر تاج را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر (Bijak & Sarzynski, 2014) با تکیه بر قابلیت اکسلرومتر و مقایسه‌ی دو اپلیکیشن اندازه‌گیری ارتفاع Measure Height و Smart Measure برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان بیان کردند که مقدار RMSE اپلیکیشن‌های مورد استفاده بین ۱/۰۱ تا ۲/۴۶ متر بود و این مقدار بسته به نرم‌افزار مورد استفاده و فاصله از درخت متغیر بود. اندازه‌گیر باید قبل از انجام عملیات اندازه‌گیری، در فاصله‌ی از قبل تعریف شده‌ی ۱۵ و یا ۲۰ متری از درخت مستقر شود و عملیات اندازه‌گیری را انجام دهد. هم‌چنین، در این پژوهش اشاره شده است که اپلیکیشن‌های اندازه‌گیری ارتفاع درخت نیاز به به‌سازی قبل از استفاده‌ی وسیع در جنگل دارند و پس از رفع عیوب نوید فصل جدیدی در اندازه‌گیری مؤلفه‌های جنگل از قبیل ارتفاع وجود خواهد داشت. مقدار RMSE گزارش‌شده در پژوهش مذکور نیز عدد بسیار زیادی بوده است.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج درختان به‌کمک نرم‌افزار HCP، نیاز به استقرار در فواصل از پیش تعیین شده، محاسبه‌ی فاصله‌ی شخص اندازه‌گیر تا درخت و حمل تجهیزات گران‌قیمت و سنگین وزن نیست. همچنین، بر اساس بررسی نتایج آزمون‌های ارزیابی صحت، دقت و خطا، HCP می‌تواند به‌عنوان روشی دیگر برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر تاج درختان معرفی گردد.

References

Avery, T. E., & Burkhart, H. E. (1994). Forest measurements. New York: McGraw-Hill, Inc, 1994.

Bijak S., & Sarzynski, J. (2015). Accuracy of smartphone applications in the field measurements of tree height. *Folia Forestalia Polonica*, 57(4), 240–244.

Bragg, D. C. (2014). Accurately measuring the height of (real) forest trees. *Journal of Forestry*, *112*(1), 51-54.

Carmean, W. H. (1972). Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science*, *18*(2), 109-120.

Chapman, H. H., & Demeritt, D. B. (1936). *Elements of forest mensuration*. Williams Press, Inc., Albany, NY.

Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brienen, R. J., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A. ... & Phillips, O. L. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8), 3381-3403.

Forbes, R. D. (1955). Forestry handbook. New York: The Ronald Press Company.

Graves, H. S. (1907). *Forest Mensuration*. J. Wiley & sons.

Gschwantner, T., Schadauer, K., Vidal, C., Lanz, A., Tomppo, E., Di Cosmo, L., ... & Lawrence, M. (2009). Common tree definitions for national forest inventories in Europe. *Silva Fennica*, 43(2), 303–321.

Haig, I. T. (1925). Short cuts in measuring tree heights. *Journal of Forestry*, *23*(11), 941-944.

Itoh, T., Eizawa, J., Yano, N., Matsue, K., & Naito, K. 2010. Development of software to measure tree heights on the smartphone. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 92(4), 221-225.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]

Karimzadeh Jafari, E., & Soosani, J. (2021). The efficiency of augmented reality technology in smartphones for estimating the height of trees (case study: green space conifers of Lorestan factulty agriculture and natural resources). *Forest and Wood Products*, *74*(2), 197-207.

Larjavaara, M., & Muller-Landau, H. C. (2013). Measuring tree height: a quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. *Methods in Ecology and Evolution*, *4*(9), 793-801.

Lovynska, V., Lakyda, P., Sytnyk, S., Kharytonov, M., & Piestova, I. (2018). LAI estimation by direct and indirect methods in Scots pine stands in Northern Steppe of Ukraine. *Journal of Forest Science*, *64*(12), 514-522.

McArdle, R. E., & R. A. Chapman. (1927). Measuring tree heights on slopes. *J. For.* 25(7), 843–847.

Mlodziansky, A. K. (1898). *Measuring the Forest Crop* (No. 20). US Government Printing Office.

Nasiri, V., Darvishsefat, A. A., Arefi, H., & Namiranian, M. (2020). Estimating Mean Tree Crown Diameter using UAV Imagery Based on Multi Resolution and Watershed Segmentation Methods (Case study: Kheyrud Forest). *Iranian Journal of Forest*, *12*(1), 131-145.

Pariyar, S., & Mandal, R. A. (2019). Comparative tree height measurement using different instrument. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, *1*(2), 12-17.

Rossi, G. B., & Crenna, F. (2018). A formal theory of the measurement system. *Measurement*, *116*, 644-651.

Sadeghi Kaji, H., Jafari, A., & Yarali, N. (2015). An assessment of forest management sustainability in Do-Polan district, Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *23*(3), 490-501.

Taheri Sarteshnizi, M. (2014). "Study on different methods of canopy cover estimation in Persian oak forests in Southern Zagros," Yasouj University, Iran.

Tewari, V. P., & Gadow, K. V. (1999). Modelling the relationship between tree diameters and heights using SBB distribution. *Forest Ecology and Management*, *119*(1-3), 171-176.

Tiemann, H. D. (1904). A new hypsometer. *Journal of Forestry*, *2*(3), 145-147.

Tompalski, P., Coops, N. C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2014). Simulating the impacts of error in species and height upon tree volume derived from airborne laser scanning data. *Forest Ecology and Management*, *327*, 167-177.

Unger, D., Kulhavy, D., Williams, J., Creech, D., & Hung, I. K. (2015). Urban tree height assessment using Pictometry hyperspatial 4-inch multispectral imagery. *Journal of Forestry*, *113*(1), 7-11.

Van Laar, A., & Akça, A. (2007). *Forest Mensuration* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.

Vastaranta, M., González Latorre, E., Luoma, V., Saarinen, N., Holopainen, M., & Hyyppä, J. (2015). Evaluation of a smartphone app for forest sample plot measurements. *Forests*, *6*(4), 1179-1194.

Villasante, A., & Fernandez, C. (2014). Measurement errors in the use of smartphones as low-cost forestry hypsometers. *Silva Fennica*, *48*(5), 1-11.

Wang, Y., Lehtomäki, M., Liang, X., Pyörälä, J., Kukko, A., Jaakkola, A., ... & Hyyppä, J. (2019). Is field-measured tree height as reliable as believed–A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *147*, 132-145.

Waring, R. H., Milner, K. S., Jolly, W. M., Phillips, L., & McWethy, D. (2006). Assessment of site index and forest growth capacity across the Pacific and Inland Northwest USA with a MODIS satellite-derived vegetation index. *Forest Ecology and Management*, *228*(1-3), 285-291.

West, P. W., & West, P. W. (2009). *Tree and Forest Measurement* (Vol. 20). Berlin: Springer.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.524]