

(OPEN ACCESS)

Development of volume tables for white poplar (*Populus alba* L.) trees using a non-destructive sampling in the Chaharmahal & Bakhtiari province of Iran

Reza Akhavan¹, Fatemeh Ahmadloo^{*2}, Mohammad Hosein Sadeghzadeh Hallaj³, Mahmood Talebi⁴

1. Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. E-mail: akhavan@rifr-ac.ir
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. E-mail: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com
3. Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. E-mail: h.sadeqzade@gmail.com
4. Senior Research Expert, Research Division of Natural Resources, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, I.R. Iran. E-mail: mahmoodtalebi@yahoo.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 10.23.2025

Revised: 12.30.2025

Accepted: 01.31.2026

Keywords:

Diameter classes,
Goodness of fit,
Regression models,
Standing volume,
Stem volume

ABSTRACT

Background and Objectives: Estimating the volume stock of poplar plantations is crucial for assessing their current status and ensuring sustainable management, thereby supporting production planning and enhancing decision-making for wood farming development. Volume tables, as key tools in this context, facilitate economic planning and optimization of harvesting operations. For the development of these tables, the use of non-destructive sampling which enable volume estimation without damaging trees is of great importance. This research aims to construct single- and double-entry volume tables for white poplar (*Populus alba* L.) in Chaharmahal and Bakhtiari Province, enabling volume-based wood sales and increasing profitability for poplar farmers.

Materials and Methods: Initially, major poplar stands in Chaharmahal and Bakhtiari Province were identified through field surveys. Subsequently, 67 trees of *Populus alba* L. were selected from 10 distinct stands using stratified random sampling across diameter classes ranging from 10 to 30 cm. For each sampled tree, diameter at breast height (DBH) and total height were measured. Using a Leica D810 laser-based device, diameters at both ends of each 2-m log along the stem were measured non-destructively from the stem collar upward. The actual stem volume of each tree was then calculated by summing the volumes of individual 2-m logs using Smalian's formula. To evaluate the accuracy of the Leica D810 in measuring stem diameters at various heights, 13 additional poplar trees scheduled for felling were measured both before felling (with the Leica device) and after felling (with a caliper) at corresponding heights. Measurements were compared using a paired Student's *t*-test. For volume table development, DBH, height, and stem volume data were analyzed using nonlinear regression models. Seven single-entry models (based solely

on DBH) and nine double-entry models (based on both DBH and total height) were fitted to relate diameter to actual stem volume and diameter–height combinations to actual stem volume, respectively. Model performance was evaluated using AIC (Akaike Information Criterion), RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), NSE (Nash–Sutcliffe Efficiency), and WI (Willmott Index of Agreement) to select the optimal models.

Results: The paired *t*-test revealed no significant difference between diameter measurements obtained with the Leica device and the caliper, indicating equivalent performance of the two instruments. Among the evaluated models, the Schumacher–Hall model (RMSE = 10%, $R^2 = 0.98$) demonstrated the highest accuracy for double-entry volume estimation, while the Berkhout model (RMSE = 17%, $R^2 = 0.95$) performed best for single-entry estimation. The single-entry volume table was derived from the equation $V=0.00003776 \times D^{2.969}$ and double- entry (two- way) volume table was prepared based on the equation $V=0.0000276 \times D^{2.295} \times H^{0.7785}$.

Conclusion: The regression models developed in this study provide reliable tools for estimating the standing volume of white poplar trees, supporting plantation management and enabling volume-based commercial transactions. The resulting volume tables offer valuable baseline information for accurately determining standing and saleable volumes in poplar stands, thereby informing harvesting decisions, growth analysis, and sustainable management strategies essential for wood farming development and related industries in Chaharmahal and Bakhtiari Province.

Cite this article: Akhavan, Reza, Ahmadloo, Fatemeh, Sadeghzadeh Hallaj, Mohammad Hosein, Talebi, Mahmood. 2026. Development of volume tables for white poplar (*Populus alba* L.) trees using a non-destructive sampling in the Chaharmahal & Bakhtiari province of Iran. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (4), 25-46.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwfst.2026.24193.2132

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تهیه جداول حجم برای گونه صنوبر کبوده (*Populus alba* L.) به روش غیرمخرب در استان چهارمحال و بختیاری

رضا اخوان^۱، فاطمه احمدلو^{۲*}، محمدحسین صادقزاده حلاج^۳، محمود طالبی^۴

۱. دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: akhavan@rifr-ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com
۳. کارشناس پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: h.sadeqzade@gmail.com
۴. مربی پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: mahmoodtalebi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: برآورد موجودی حجمی صنوبرکاری‌ها نقش مهمی در شناخت وضعیت موجود و مدیریت پایدار این منابع به منظور برنامه‌ریزی تولید و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای توسعه زراعت چوب دارد. جداول حجم، به‌عنوان یکی از این ابزارهای کلیدی، امکان برنامه‌ریزی اقتصادی و بهینه‌سازی بهره‌برداری را فراهم می‌کنند. برای توسعه این جداول، استفاده از روش‌های غیرمخرب که امکان برآورد حجم را بدون آسیب به درختان فراهم می‌کنند، اهمیت بسیاری دارد. هدف پژوهش حاضر تهیه جدول حجم یک و دو عامله برای گونه صنوبر کبوده در استان چهارمحال و بختیاری است تا در نتیجه امکان فروش چوب صنوبر به صورت حجمی فراهم شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱	
واژه‌های کلیدی: حجم تنه، حجم سرپا، شاخص‌های نکویی برازش، طبقات قطری، مدل‌های رگرسیونی	مواد و روش‌ها: برای اجرای این پژوهش، ابتدا با عملیات میدانی، اغلب توده‌های صنوبرکاری در سطح استان چهارمحال و بختیاری شناسایی شدند. سپس در ۱۰ توده مختلف صنوبرکاری با گونه کبوده (<i>Populus alba</i> L.) در مجموع ۶۷ اصله درخت به روش نمونه‌برداری طبقه‌ای- تصادفی (Stratified random sampling) براساس طبقات قطری از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. پس از انتخاب درختان نمونه، قطر برابرسینه (DBH) و ارتفاع کل آن‌ها اندازه‌گیری و از محل یقه تنه هر درخت نمونه، محل قطعات دومتري با استفاده از دستگاه لیزری لایکا مدل D810 مشخص و سپس قطر آن ارتفاع با استفاده از همین دستگاه به صورت سرپا و بدون قطع

درخت اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد حجم کل واقعی تنه هر درخت از مجموع حجم بینه‌های ۲ متری با استفاده از رابطه اسمالیان به دست آمد. به منظور ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر درختان در ارتفاعات مختلف تنه با استفاده از دستگاه لایکا از تعداد ۱۳ اصله درخت صنوبر که از قبل برای قطع برنامه‌ریزی شده بودند، استفاده شد، به طوری که قطر این درختان در ارتفاعات مختلف تنه قبل و پس از قطع به ترتیب با استفاده از دستگاه لایکا و کالیپر اندازه‌گیری و با استفاده از آزمون تی جفتی مقایسه شدند. برای تهیه جداول حجم، داده‌های قطر، ارتفاع و حجم تنه درختان نمونه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی تحلیل شدند. برای این منظور از تعداد ۷ مدل یک‌عامله (فقط براساس قطر برابر سینه) و ۹ مدل دوعامله (براساس قطر برابر سینه و ارتفاع کل) به ترتیب برای برازش داده‌های قطر با حجم واقعی تنه و قطر و ارتفاع با حجم واقعی تنه درختان استفاده شد. سپس از شاخص‌های کارایی آکائیکه (AIC)، مقدار جذر میانگین مربعات خطای مدل (RMSE)، میانگین خطای مطلق مدل (MAE)، ضریب کارایی نش‌ساتکلیف (NSE) و شاخص ویلموت (WI) برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها و در نهایت انتخاب بهترین مدل استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آزمون تی جفتی نشان داد که تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده قطرهای متناظر بین دو دستگاه کالیپر و لایکا معنی‌دار نیست، به عبارت دیگر دو دستگاه برای اندازه‌گیری قطر یکسان عمل می‌کنند. برای برآورد حجم و تهیه جداول حجم یک‌عامله و دوعامله در بین مدل‌های دوعامله از مدل شوماخر- هال ۲ (Schumacher-Hall 2) با $RMSE\% = 10\%$ و $R^2 = 0.98$ در بین مدل‌های یک‌عامله از مدل برک‌هوت (Berkhout) با $RMSE\% = 17\%$ و $R^2 = 0.95$ به عنوان بهترین مدل استفاده شد. جدول حجم یک‌عامله براساس مدل $V = 0.000277 \times D^{2.95} \times H^{1.7785}$ و جدول حجم دوعامله براساس مدل $V = 0.000377 \times D^{2.969}$ تهیه شد.

نتیجه‌گیری: مدل‌های رگرسیونی استفاده‌شده در این مطالعه می‌توانند به طور مؤثری برای محاسبه حجم سرپای درختان کبوده استفاده‌شده و به بهبود مدیریت صنوبرکاری‌ها و فروش حجمی چوب کمک کنند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند اطلاعات مبنایی باارزشی برای استفاده در تعیین حجم دقیق سرپا و قابل فروش هر توده صنوبر، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مورد برداشت، تحلیل رشد و راهبردهای مدیریت پایدار در زمینه توسعه زراعت چوب و توسعه صنایع مرتبط در استان چهارمحال و بختیاری باشد.

استناد: اخوان، رضا، احمدلو، فاطمه، صادق‌زاده حلاج، محمدحسین، طالبی، محمود (۱۴۰۴). تهیه جداول حجم برای گونه صنوبر کبوده (*Populus alba* L.) به روش غیرمخرب در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۲ (۴)، ۲۵-۴۶.

DOI: 10.22069/jwfst.2026.24193.2132



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

زراعت چوب صنوبر به عنوان یکی از الگوهای اقتصادی، مورد توجه دست‌اندرکاران تأمین چوب در کشور است. با افزایش تقاضا برای چوب و ممنوعیت بهره‌برداری از جنگل‌های کشور، میزان تقاضا برای چوب صنوبر به شدت افزایش یافته است (۱). بدیهی است که اتخاذ سازوکارهای حمایتی مناسب و ارائه تسهیلات لازم می‌تواند فضا را برای مشارکت بخش خصوصی در فعالیت زراعت چوب آماده کند. زراعت چوب با استفاده از گونه‌های تند رشد صنوبر به عنوان منبعی مهم در تولید چوب به‌شمار می‌رود که نقش مهمی در حمایت از معیشت مردم روستایی و اشتغال آن‌ها، کمک به توسعه پایدار و تأمین مواد خام برای صنایع چوب و کاغذ داخلی دارد (۲). از سوی دیگر برنامه‌ریزی دقیق برای تأمین نیاز اولیه کارخانه‌های صنایع چوب، نیازمند آگاهی از موجودی حجمی و تولید درختان در توده‌های صنوبر است (۱).

گونه‌های صنوبر به لحاظ سرشت اکولوژیکی و اقلیمی از گذشته در مناطق مختلف ایران سازگار شده‌اند. در این راستا، گونه بومی کبوده (*Populus alba* L.) گونه غالب توده‌های صنوبر موجود در استان چهارمحال و بختیاری است که به شیوه سنتی کاشته می‌شود. مساحت توده‌های صنوبر کبوده در این استان در سال ۱۳۷۶ برابر ۵۰۰۰ هکتار برآورد شده است (۲) که این سطح به دلایلی هم‌چون خشکسالی، مزیت اقتصادی پائین در شیوه کاشت سنتی و هم‌چنین بازگشت ۱۰ تا ۱۵ ساله و دیر هنگام سرمایه و درآمد و تبدیل به سایر کشت‌های زراعی در سال ۱۳۹۸ به ۱۵۸۰ هکتار کاهش یافته است (۳). هرگونه برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت تولید چوب و بازار فروش مستلزم شناخت کافی از شرایط موجود، ارزیابی دقیق موجودی حجمی، ارزش‌گذاری اقتصادی و سیستم خرید و فروش چوب است. براساس پژوهش‌های

انجام‌شده، خرید و فروش چوب صنوبر در ۸۸ درصد صنوبرکاری‌ها به دلیل فقدان جداول حجم ملی برای هر یک از گونه‌های صنوبر به صورت وزنی است. به عبارت دیگر چوب به‌ازای هر کیلوگرم وزن‌تر فروخته می‌شود و فقط در ۱۲ درصد توده‌ها به صورت سرپا و یکجا به فروش می‌رسد (۴). این روش فروش چوب سرپا در مناطق کوهستانی و به‌دوراز کارگاه‌های چوب‌بری و صنایع چوب اتفاق می‌افتد و دلالتان چوب درختان صنوبر را به قیمت ارزان خریداری کرده و عملیات قطع و برش و حمل و نقل را نیز خودشان انجام می‌دهند.

اگر بهره‌برداران برآورد نسبتاً دقیقی از حجم واقعی تنه تجاری درختان خود به صورت سرپا داشته باشند می‌توانند آن‌ها را به صورت حجمی به فروش برسانند و یا اینکه با داشتن جرم حجمی هرگونه صنوبر که مشخص است، این حجم را به وزن تبدیل کرده و سپس درختان صنوبر خود را به صورت سرپا و برابر ارزش واقعی آن به فروش برسانند.

اصولاً برای فروش چوب باید حجم تنه تجاری درخت را به صورت دقیق محاسبه کرد. شایان‌ذکر است در مواقعی که تولید چوب به صورت کیفی انجام می‌شود، فروش آن به صورت حجمی ارزش‌افزوده بیشتری در مقایسه با روش وزنی خواهد داشت. به‌طورکلی روش‌های برآورد حجم تنه درختان را می‌توان به دو دسته اصلی (۱) استفاده از فرمول‌های حجم‌یابی (با به‌کارگیری ضریب شکل تنه) و (۲) استفاده از جداول حجم موجود تقسیم‌بندی کرد. در روش دوم ابتدا با استفاده از یکسری از داده‌های حاصل از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری قطر و ارتفاع درختان نمونه و هم‌چنین استفاده از داده‌های محاسبه حجم تنه این درختان به روش آنالیز تنه، یک رابطه رگرسیونی یک عامله (بین قطر با حجم) و یا دو عامله (بین قطر و ارتفاع با حجم) محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از

این رابطه جدول حجم یک‌عامله (تاریف) و یا دوعامله برای هرگونه درختی تهیه می‌شود تا با استفاده از آن بتوان حجم تنه سایر درختان را با دقتی مناسب برآورد کرد؛ بنابراین هنگامی که از یک مدل حجمی استفاده می‌شود دیگر نیازی به استفاده از ضریب شکل تنه نیست.

اما در حال حاضر، عدم وجود جدول حجم یک‌عامله یا دوعامله که بهره‌بردار صنوبر بتواند به‌سادگی و با اندازه‌گیری قطر تنه یا قطر و ارتفاع تنه به حجم آن دست یابد، معمولاً منجر به فروش چوب صنوبر به صورت وزنی می‌شود. در صورتی که بتوان بدون قطع درخت و به‌روش غیرمخرب آنالیز تنه را انجام و براساس آن جداول حجم صنوبرها را تهیه کرد، به دلیل سهولت و سرعت انجام کار، هم در هزینه و زمان صرفه‌جویی می‌شود و هم تعداد درخت بیش‌تری را می‌توان به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار داد، ضمن این‌که در این حالت دیگر به ابزار توزین چوب (مانند باسکول) نیز نیازی نیست.

تهیه جدول حجم برای گونه‌های مختلف درختی در مطالعات متعددی در مناطق مختلف ایران و جهان انجام شده است. گرجی‌بحری (۱۹۹۲) در ایستگاه تحقیقات خوشامیان کلارآباد استان مازندران براساس روابط بین قطر و حجم درختان قطع شده، جدول حجم یک‌عامله برای صنوبر دورگ اورامریکن کلن I-214 تهیه کرد (۵). هم‌چنین ثاقب طالبی (۱۹۹۶) نیز در همین ایستگاه برای صنوبر دورگ اورامریکن کلن I-448 براساس روابط بین قطر و ارتفاع با حجم ۱۲۰ درخت صنوبر قطع شده، جدول حجم دوعامله تهیه کرد که با در نظر گرفتن دو متغیر قطر و ارتفاع موجب افزایش دقت برآورد حجم درختان می‌شد (۶). یلم و یوهانسون (۲۰۱۲) برازش معادلات حجمی برای صنوبرکاری‌های سوئد را با استفاده از داده‌های ۷۲ پایه صنوبر از ۳۷ توده در مرکز و جنوب سوئد

انجام دادند. آن‌ها یک معادله حجمی ساده با سه پارامتر را برای برآورد حجم صنوبر با قطر برابر سینه و ارتفاع کل به‌عنوان متغیرهای مستقل برازش دادند که بهترین عملکرد از نظر مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای مطلق، معادلات توسعه‌یافته توسط اریکسون و اسکات به‌دست آمد (۷). باقری و همکاران (۲۰۰۲) جدول حجم دوعامله را برای دو گونه صنوبر آلبا (کیوده) و نیگرا (تبریزی) در منطقه زنجان‌رود استان زنجان با انتخاب نمونه‌های لازم از ۹۸ توده صنوبرکاری براساس روابط بین قطر و ارتفاع با حجم تهیه کردند (۸). قرآنی و همکاران (۲۰۱۴) در صنوبرکاری‌های شرکت جنگل شفارود واقع در غرب استان گیلان، میزان حجم تک‌پایه‌های ۳۷۰ اصله صنوبر دلتوئیدس در طبقه‌های قطری یک سانتی‌متری (۷ تا ۴۳ سانتی‌متر) با تعداد ۱۰ اصله از هر طبقه قطری را به دو روش هوبر و اسمالیان محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین میانگین حجم گونه صنوبر به دو روش هوبر و اسمالیان اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد (۹). در پردیس نازلو دانشگاه ارومیه روش‌های حجم‌یابی ساده، هوبر و هوه‌نادل در سه توده دست‌کاشت صنوبر تبریزی در سه فاصله کاشت ۱/۵×۱، نامنظم ۱/۵× و ۳×۱ متر توسط فعال‌خواه و همکاران (۲۰۱۷) مقایسه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین حجم محاسبه شده با سه روش یاد شده وجود ندارد و برای تعیین حجم توده‌های دست‌کاشت صنوبر با شرایط مشابه (نوع گونه، فاصله کاشت و سن توده)، نیازی به استفاده از روش زمان‌بر و پرهزینه هوه‌نادل و یا حتی هوبر نیست و می‌توان روش ساده را برای حجم‌یابی به کار برد (۱۰). سینگدوها و همکاران (۲۰۱۸) جداول حجم یک‌عامله و دوعامله را برای گونه صنوبر دلتوئیدس با استفاده از داده‌های ارتفاع درخت و قطر برابر سینه ۹۱ اصله درخت در شمال ایالت

با استفاده از روش غیرمخرب انجام شده تا صنوبرکاران منطقه بتوانند با داشتن چنین جداولی حجم واقعی چوب قابل فروش و در نتیجه ارزش واقعی تولیدات چوبی خود را در اختیار داشته باشند. در حقیقت ترویج و جایگزینی روش فروش حجمی چوب صنوبر با روش فروش وزنی که در حال حاضر در این استان رایج است و معمولاً به ضرر صنوبرکار تمام می‌شود، از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد که موجب تقویت بخش خصوصی از طریق اقتصادی کردن فروش چوب صنوبر خواهد شد.

شایان ذکر است که تاکنون آنالیز تنه گونه صنوبر به صورت سرپا و غیرمخرب و با استفاده از ابزارهای لیزری اندازه‌گیری قطر درخت در ارتفاعات مختلف تنه در داخل کشور به منظور تهیه جداول حجم انجام نشده که از نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی حدود ۱۶۴۱۱ کیلومترمربع در محدوده ۹۱° ۳۱' تا ۴۷° ۳۲' عرض شمالی و ۲۹' ۴۹° تا ۲۶' ۵۱° طول شرقی در ناحیه غربی کشور قرار دارد. این استان با ارتفاع متوسط ۲۱۵۳ متر از نظر توپوگرافی یک سرزمین تپه ماهوری با دشت‌های میان کوهی است که در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس واقع شده است. متوسط دما در ایستگاه‌های استان بین ۸/۵ درجه در ایستگاه کوهرنگ و ۲۰ درجه در ایستگاه مرغک در نوسان است. هم‌چنین میزان بارش استان نیز بین ۲۵۴ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های بروجن و کوهرنگ می‌باشد. به‌طورکلی متوسط بارش سالیانه استان حدود ۷۰۷ میلی‌متر می‌باشد (۱۴).

این استان دارای ۱۱ شهرستان شهرکرد، بروجن، فارسان، لردگان، اردل، کوهرنگ، کیار، سامان، بن، خانمیرزا و فلارد است (شکل ۱). برای انجام این پژوهش ۱۰ توده مختلف صنوبرکاری با گونه کبوده

هاریانا هندوستان تهیه کردند. آن‌ها مدل دوعامله Schumacher-Hall با $R^2=0/941$ و مدل یک عامله با $R^2=0/902$ را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی حجم درختان صنوبر در ایالت هاریانای هند معرفی کردند (۱۱). یلم (۲۰۲۱) معادلات تجمعی حجم تجاری تنه صنوبرکاری‌های سوئد را ارائه کرد. داده‌ها از ۱۱۲ درخت در ۴۲ توده به دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که معادله برای قطرهای زیاد، عملکرد بهتری نسبت به معادله بر اساس طول تنه داشت. او پیشنهاد داد که معادلات ارائه شده را می‌توان برای بهینه‌سازی کارایی و سوددهی صنوبر در هنگام برداشت درختان با قطرهای بزرگ‌تر، استفاده کرد. هم‌چنین این معادلات را می‌توان در برآورد حجم تجاری درختان سرپا در صنوبرکاری‌ها استفاده کرد (۱۲). محمد و همکاران (۲۰۲۴) با مطالعه بر روی صنوبر نیگرا (*Populus nigra*) در شمال عراق، روابط بین رشد قطری (جابجایی از یک طبقه قطری به طبقه بالاتر) و قطر برابرسینه را با استفاده از مدل‌های ریاضی انجام دادند. طبق نتایج و براساس جدول توده، عوامل تراکم درختان، رشد قطری، قطر برابرسینه و ارتفاع کل در میزان حجم برآوردی مؤثر بودند (۱۳).

با توجه به سوابق پژوهش ذکر شده می‌توان بیان کرد که با وجود گسترش زراعت چوب در استان چهارمحال و بختیاری و اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی گونه کبوده (*Populus alba L.*) در این منطقه، تاکنون جداول حجم دقیق و بومی برای این گونه تهیه نشده است؛ به‌طوری‌که فقدان مدل‌های حجمی دقیق خلایبی جدی در فرآیند تصمیم‌سازی، پیش‌بینی بهره‌برداری و ارزیابی عملکرد کمی زراعت چوب در این استان ایجاد کرده است.

بنابراین این پژوهش با هدف تهیه جداول حجم دقیق برای گونه کبوده در استان چهارمحال و بختیاری

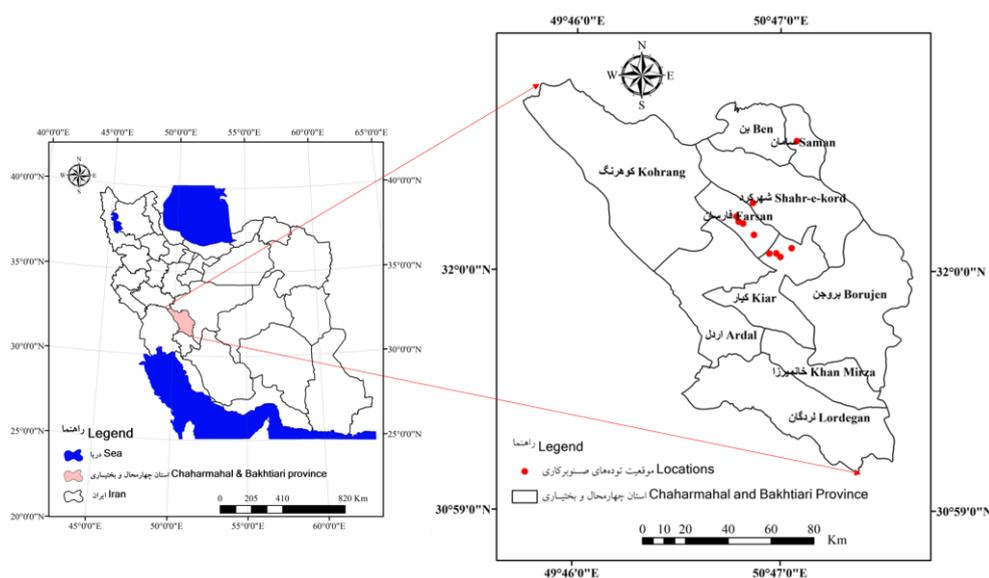
جدول ۱ مشخصات توده‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. تصاویری از توده‌های صنوبرکاری مورد آماربرداری در این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است. درختان صنوبر به صورت تصادفی انتخاب شدند (شکل ۱).

(*Populus alba* L.) در نقاط مختلف شهرستان‌های فارسان (سورشجان، گوجان)، کیار (شلمزار، دستنآ) و سامان (سوادجان) که از مناطق عمده صنوبرکاری با گونه کبوده در این استان هستند برای اندازه‌گیری درختان صنوبر به صورت تصادفی انتخاب شدند (شکل ۱).

جدول ۱- مشخصات توده‌های صنوبرکاری مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری.

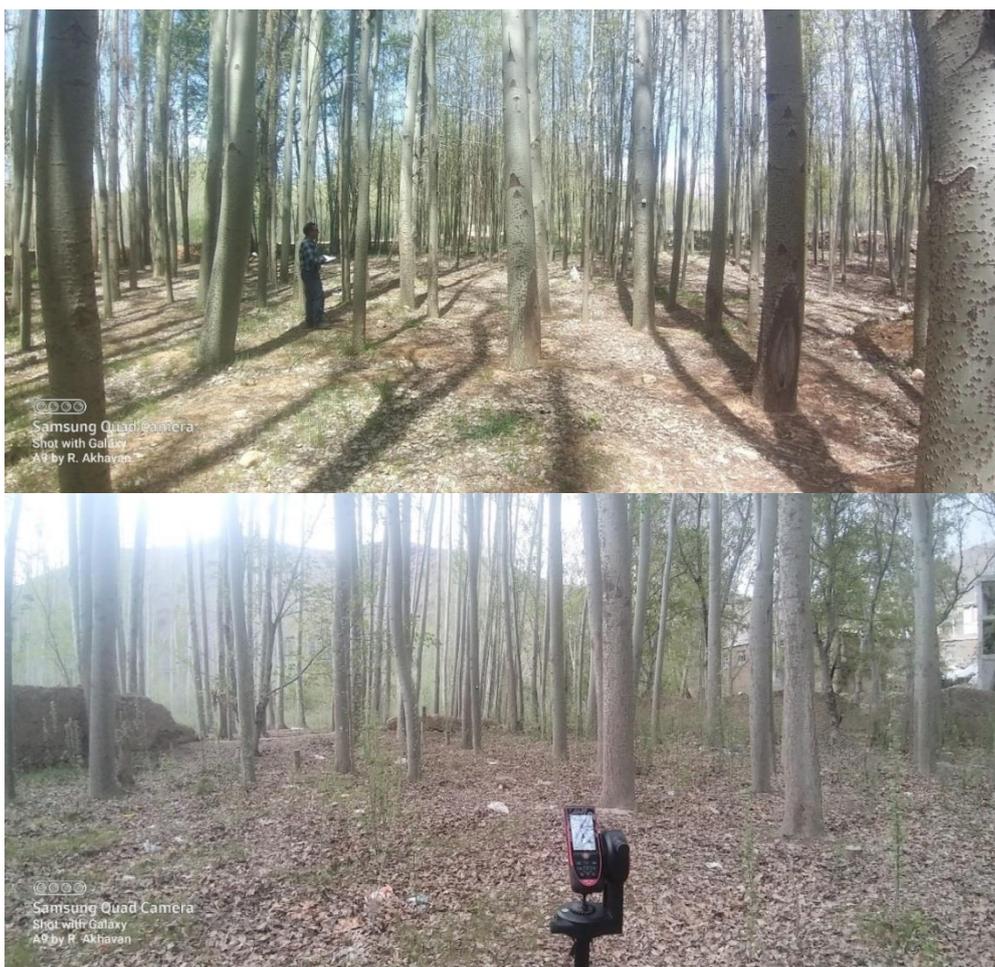
Table 1. The characteristics of studied white poplar stands in the Chaharmahal & Bakhtiari province.

شکل زمین Land form	سن توده (سال) Stand Age (Years)	فاصله کاشت (متر) Planting Spacing (m)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	نام منطقه Location	ردیف No.
مسطح Flat	8	2 × 2	2086	فارسان - سورشجان Farsan - Sureshjan	1
مسطح Flat	10	1 × 1	2041	فارسان - گوجان ۱ Farsan - Gojan 1	2
مسطح Flat	متفاوت Mixed	نامنظم Irregular	2013	فارسان - گوجان ۲ Farsan - Gojan 2	3
مسطح Flat	16	1 × 1	2016	فارسان - ده چشمه ۱ Farsan - Deh Cheshmeh 1	4
مسطح Flat	15	2 × 2	2026	فارسان - ده چشمه ۲ Farsan - Deh Cheshmeh 2	5
مسطح Flat	15	1 × 2	1991	شلمزار - امیرآباد Shalamzar - Amirabad	6
مسطح Flat	7	1 × 1	2020	کیار - سلم Kiar - Salam	7
شیب‌دار Sloped	12	2 × 2	2060	کیار - دستنآ Kiar - Dastena	8
مسطح Flat	10	1 × 2	2023	شلمزار - خراجی Shalamzar - Kharaji	9
مسطح Flat	25	2 × 2	1906	سامان - سوادجان Saman - Savadjan	10



شکل ۱- موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور و موقعیت توده‌های صنوبرکاری مورد مطالعه در سطح این استان (نقاط قرمز).

Figure 1. The location of study area in the Chaharmahal & Bakhtiari province in Iran and studied white poplar stands in the province (red dots).



شکل ۲- دو نمونه از توده‌های صنوبرکاری شده با گونه کبوده در استان چهارمحال و بختیاری.

Figure 2. Two examples of poplar stands planted by white poplar in Chaharmahal and Bakhtiari province.

روش پژوهش

انتخاب و اندازه‌گیری درختان نمونه: در این پژوهش به منظور انتخاب درختان نمونه از روش نمونه‌برداری طبقه‌ای - تصادفی (Stratified random sampling) براساس طبقات قطری درختان صنوبر استفاده شد. طبقات قطری براساس بررسی‌های قبلی و منابع موجود برای گونه صنوبر کبوده از طبقه قطری ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و با فاصله هر طبقه ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در نتیجه در کل ۱۱ طبقه قطری برای بررسی وجود داشت (طبقات قطری ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۸ و ۳۰ سانتی‌متر) و برای هر طبقه قطری ۲ سانتی‌متری باید حداقل ۵ پایه به‌عنوان تکرار (۱۵) به‌صورت تصادفی در ۵ توده مختلف از گونه کبوده اندازه‌گیری می‌شد (در مجموع ۵۵ درخت سرپا). با این‌حال، با این روش در مجموع تعداد ۶۷ اصله درخت صنوبر کبوده در سطح استان انتخاب و اندازه‌گیری شدند.

پس از انتخاب درختان نمونه، قطر برابرسینه آن‌ها در ارتفاع ۱/۳۰ متری از سطح زمین با استفاده از دستگاه کالیپر دیجیتال هاگلوپ تا دقت میلی‌متر و سپس ارتفاع کل درخت نیز با استفاده از دستگاه ورتکس (Vertex III) با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. در هر درخت منتخب صنوبر، از ارتفاع هم‌سطح زمین یعنی محل یقه هر درخت، قطر دو سر قطعات دو متری (که حجم آن‌ها اختلاف ناچیزی با حجم استوانه خواهد داشت) تا ارتفاعی که قطر تنه

برابر ۵ سانتی‌متر شود، بدون قطع درخت و به‌صورت سرپا با استفاده از دستگاه لیزری لایکا (Leica) مدل D810 Touch ساخت کشور سوئیس اندازه‌گیری و تعیین شد.

لازم به ذکر است که دستگاه لیزری لایکا علاوه بر اندازه‌گیری فاصله افقی و ارتفاع قادر است قطر در هر ارتفاعی از تنه درخت را نیز با دقت مناسب اندازه‌گیری کند. روش کار بدین‌صورت است که ابتدا دستگاه در فاصله مناسبی از تنه درخت (بین ۸ تا ۱۲ متر بسته به ارتفاع درخت هدف) بر روی سه‌پایه آن در توده صنوبرکاری قرار گرفته و تراز می‌شود (شکل ۳). سپس نور لیزر دستگاه بر روی تنه درخت در ارتفاع برابرسینه که قبلاً به‌صورت دستی مشخص و علامت‌گذاری شده است تنظیم می‌شود (شکل ۴). در مرحله بعد از محل قطر برابرسینه درخت عکسی رقومی برداشت و بر روی صفحه دستگاه نشان داده می‌شود. سپس با استفاده از صفحه لمسی دستگاه، دو بازوی کالیپر مانندی که در دو طرف عکس رقومی تنه درخت قرار دارند (شکل ۵) بر روی دو لبه بیرونی تنه تنظیم می‌شوند. با توجه به این‌که تصویر برداشت‌شده به‌وسیله دستگاه رقومی است و به هنگام تهیه آن فاصله افقی دستگاه و زاویه آن نسبت به محل عکس‌برداری از تنه درخت در نظر گرفته می‌شود، با تنظیم کالیپرها در دو طرف تصویر تنه درخت، قطر تنه درخت در ارتفاع موردنظر به‌وسیله دستگاه محاسبه و بر روی صفحه نمایش آن نشان داده می‌شود.



شکل ۵- محاسبه قطر در ارتفاع بالاتر از برابر سینه تنه درخت صنوبر.

Figure 5. Calculating the diameter at height above breast height of a poplar stem.



شکل ۴- برخورد نور لیزر دستگاه لایکا به تنه صنوبر برای اندازه‌گیری قطر.

Figure 4. Laser beam from a Leica device hitting a poplar stem to measure the diameter.



شکل ۳- نحوه استقرار دستگاه لایکا در توده صنوبر کاری.

Figure 3. Installation the Leica device in a poplar plantation stand.

اندازه قطر برای ابتدا و انتهای هر قطعه دو متری از تنه درخت صنوبر تعیین خواهد شد که با استفاده از آن‌ها می‌توان حجم واقعی هر قطعه دو متری و در نهایت حجم واقعی کل تنه را محاسبه کرد. شایان‌ذکر است که برای سهولت اندازه‌گیری‌ها به وسیله دستگاه لایکا و وضوح بیش‌تر دید به قطر تنه درخت در ارتفاعات بالاتر از برابر سینه درختان صنوبر باید تمامی اندازه‌گیری‌ها در فصل‌های پاییز، زمستان و اوایل بهار یعنی در زمان بی‌برگ بودن درختان صنوبر انجام شود تا نور لیزر دستگاه به تنه درختان صنوبر برخورد نماید.

ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر با دستگاه لایکا: به‌منظور ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر درختان صنوبر در ارتفاعات مختلف تنه با استفاده از دستگاه

پس از ثبت قطر تنه در ارتفاع مشخص (مثلاً ۱/۳۰ متر)، با استفاده از پیچ تنظیمی که در کنار دستگاه قرار دارد، شیب دستگاه افزایش داده می‌شود تا نور لیزر در راستای تنه درخت به ارتفاع بالاتری برای نقطه اندازه‌گیری بعدی انتقال داده شود که هم‌زمان دستگاه فاصله ارتفاعی طی شده را محاسبه و بر روی صفحه نمایش نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال با طی کردن ۷۰ سانتی‌متر از محل قطر برابر سینه (۱/۳ متر) به محل ارتفاع ۲ متری تنه رسیده می‌شود که با تکرار مراحل قبلی، قطر در ارتفاع ۲ متری تنه محاسبه و تعیین می‌شود و به همین ترتیب کار ادامه می‌یابد تا به محلی رسیده شود که قطر تنه درخت کم‌تر از ۵ سانتی‌متر (حداقل قطر تجاری) باشد که در این نقطه کار اندازه‌گیری متوقف می‌شود. در نتیجه با این روش

به‌طوری‌که، d_i قطر ابتدا یا انتهای هر بینه به متر، V_i حجم هر بینه به مترمکعب، g_1 سطح مقطع ابتدای هر بینه به مترمربع، g_2 سطح مقطع انتهای هر بینه به مترمربع و h طول هر بینه به متر می‌باشد (معادل ۲ متر، البته طول بینه انتهایی ممکن است کم‌تر از ۲ متر باشد).

سپس حجم واقعی کل درخت از مجموع حجم قطعات ۲ متری به دست آمد (رابطه ۲).

$$V_T = \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

به‌طوری‌که، V_T حجم واقعی کل تنه درخت به مترمکعب است.

انتخاب بهترین مدل برای تهیه جداول حجم یک‌عامله و دوعامله: در این پژوهش به‌منظور تعیین بهترین مدل از نظر میزان خطا و کارایی برای برآورد حجم تنه درختان صنوبر براساس متغیرهای قطر و ارتفاع اندازه‌گیری‌شده و حجم‌های واقعی به‌دست آمده، ابتدا براساس منابع موجود (۷، ۱۱، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰) تعداد ۱۶ مدل پرکاربرد برای برآورد حجم تنه درختان که شامل ۷ مدل یک‌عامله (فقط براساس قطر برابرسینه) و ۹ مدل دو عامله (براساس قطر برابرسینه و ارتفاع کل) بود، انتخاب شدند. مشخصات این مدل‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

لایکا از ۱۳ درخت صنوبر از گونه‌های کبوده و تبریزی با قطرهای برابر سینه ۱۵ تا ۲۴ سانتی‌متر که از قبل در ایستگاه تحقیقات البرز کرج برای قطع در نظر گرفته شده بودند، استفاده شد. بدین ترتیب که قبل از قطع این درختان ابتدا قطر در ارتفاع ۱/۳ متری، ۲ متری، ۴ متری، ۶ متری و تا ۱۴ متری (بسته به ارتفاع درختان نمونه) این درختان به‌صورت سرپا با استفاده از دستگاه لایکا به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد. سپس این درختان شماره‌گذاری و مشخص شدند تا پس از قطع مجدداً در همین ارتفاع‌ها بر روی زمین اندازه‌گیری شوند. در مرحله بعد این درختان قطع شده و پس از قطع بر روی زمین و در همان ارتفاع‌های مشخص شده قبلی با استفاده از دستگاه کالیپر تعیین قطر شدند. به‌منظور مقایسه مقادیر اندازه‌گیری‌شده قطر با دو دستگاه کالیپر و لایکا و تعیین این‌که آیا تفاوت‌های موجود معنی‌دار هستند یا خیر از آزمون تی‌جفتی استفاده شد.

محاسبه حجم درخت: براساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، حجم هر قطعه دو متری با استفاده از رابطه اسمالیان (که برخلاف رابطه هوبر از قطر دو سر هر بینه برای محاسبه حجم استفاده می‌کند و در نتیجه دقیق‌تر است)، محاسبه شد (۱۶) (رابطه ۱):

$$V_i = \frac{g_{1i} + g_{2i}}{2} \times h \Rightarrow g = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (1)$$

جدول ۲- مشخصات مدل‌های حجم استفاده شده.

Table 2. The characteristics of the used volume models.

نوع مدل Model Type	منبع Reference	رابطه مدل Formula	نام مدل Model Name	ردیف No.
یک‌عامله Single- entry	(21)	$V = a_0 + a_1 D^2$	Kopecky-Gehrhardt	1
	(22)	$V = a_1 D + a_2 D^2$	Disseesu-Meyer	2
	(23)	$V = a_0 + a_1 D + a_2 D^2$	Hohenadl_Krenn	3
	(19)	$\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D)$	Hummel 1	4
	(24)	$\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D) + a_2 D^{-1}$	Brenac	5
	(19)	$V = a_0 + a_1 g$	Hummel 2	6
	(19)	$V = a_1 D^{a_2}$	Berkhout	7
دوعامله Double- entry	(25)	$V = a_0 + a_1 D^2 H$	Spurr 1	8
	(19)	$V = D^2 / (a_0 + a_1 (1/H))$	Honner	9
	(19)	$V = D^2 (a_0 + a_1 H)$	Ogaya	10
	(19)	$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 D^2 H + a_3 H$	Stoate	11
	(25)	$\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D^2 H)$	Spurr 2	12
	(26)	$\ln(V) = a_0 + a_1 \ln(D) + a_2 \ln(H)$	Schumacher-Hall 1	13
	(26)	$V = a_0 D^{a_1} H^{a_2}$	Schumacher-Hall 2	14
	(19)	$V = a_1 D^2 + a_2 D^2 H + a_3 D H + a_4 H^2$	Näslund	15
	(19)	$V = D^2 H (a_0 + a_1 D)^{-1}$	Takata	16

D : قطر برابر سینه بر حسب سانتی متر، H : ارتفاع کل درختان بر حسب متر، V : حجم تنه بر حسب مترمکعب و a_0 تا a_4 ضرایب مدل می‌باشند
 D : diameter at breast height (cm); H : total tree height (m); V : stem volume (m³); a_0 to a_4 : model coefficients

۲- مقدار جذر میانگین مربعات خطای مدل ($RMSE^2$) که هر چه مقدار آن کم‌تر باشد عملکرد مدل بهتر است.
 ۳- میانگین خطای مطلق مدل (MAE^3) که هر چه مقدار آن کم‌تر باشد عملکرد مدل بهتر است.
 ۴- ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE^4) که هر چه مقدار آن بیش‌تر باشد عملکرد مدل بهتر است.
 ۵- شاخص ویلموت (WI^5) که هر چه مقدار آن بیش‌تر باشد عملکرد مدل بهتر است.

سپس با استفاده از تابع nls از بسته Stats در نرم‌افزار R (نسخه 4.4.1) مدل‌های غیرخطی مذکور به داده‌ها برازش داده شد و ضرایب مدل و شاخص‌های نکویی برازش مورد محاسبه قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد این مدل‌ها و در نهایت انتخاب بهترین مدل از نظر میزان خطا و کارایی از ۵ شاخص نکویی برازش که با مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده و همچنین بررسی پیچیدگی مدل در برابر دقت آن مدل‌ها را ارزیابی می‌کنند استفاده شد. این ۵ شاخص و معیار عبارتند از:

۱- معیار کارایی آکائیکه (AIC^1) که هر چه مقدار آن کم‌تر باشد عملکرد مدل بهتر است.

- 2- Root mean square error
- 3- Mean absolute error
- 4- Nash-sutcliffe efficiency
- 5- Wilmout index of agreement

- 1- Akaike information criterion

پس از محاسبه شاخص‌های پنج‌گانه بالا برای هر مدل در نرم‌افزار R، رتبه‌بندی مدل‌ها براساس جمع مقادیر رتبه‌های به‌دست آمده برای هر مدل انجام شد و هر مدلی از طبقه یک‌عامله یا دوعامله که کم‌ترین جمع را در رتبه‌ها به‌دست آورده بود به‌عنوان بهترین مدل برای برآورد حجم تنه درختان صنوبر انتخاب و براساس آن جداول حجم یک‌عامله یا دوعامله مربوطه تهیه شد (۱۷).

نتایج

ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر با دستگاه لایکا: پس از اندازه‌گیری قطر تنه ۱۳ درخت قطع‌شده صنوبر در ارتفاع‌های مختلف به‌وسیله دو دستگاه کالیپر و لایکا، در مجموع ۶۲ جفت داده متناظر قطر تولید شد که حداقل قطر در این داده‌ها ۵ و حداکثر ۲۱ سانتی‌متر و تا ارتفاع ۱۴ متری تنه بوده است. سپس از آزمون تی‌جفتی به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده قطر به‌وسیله این دو دستگاه با استفاده از این تعداد جفت داده استفاده شد. جدول ۳ نتیجه آزمون تی‌جفتی را برای این داده‌ها نشان می‌دهد.

معیارها و شاخص‌های یادشده براساس رابطه‌های ۳ تا ۷ محاسبه شدند:

$$AIC = 2k - 2Ln(L) \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (۵)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2} \quad (۶)$$

$$WI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \quad (۷)$$

در روابط بالا x_i مقادیر واقعی، y_i مقادیر برآورد شده، \bar{x} میانگین مقادیر واقعی، \bar{y} میانگین مقادیر برآورد شده، n تعداد نمونه‌ها، k تعداد پارامترهای مدل آماری و L مقدار حداکثر تابع درستمایی برای مدل برآورد شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون تی‌جفتی مقایسه بین مقادیر متناظر قطرهای اندازه‌گیری شده صنوبر به‌وسیله دو دستگاه کالیپر و لایکا.

Table 3. Results of the paired student's t-test comparing the corresponding diameter measurements of poplar trees using caliper and Leica devices.

معنی‌داری	آماره t	درجه آزادی	انحراف معیار تفاوت‌ها	میانگین تفاوت‌ها	جفت داده‌ها
p-value	t	Degree of freedom	Standard deviation of difference	Mean difference	Paired data
0.051 ^{ns}	2.009	61	0.632	0.161	لایکا- کالیپر Leica - Caliper

^{ns} non-significant difference

^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار

متغیرهای زیست‌سنجی: جدول ۴ آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده از ۶۷ درخت نمونه گونه کبوده در استان چهارمحال و بختیاری را ارائه می‌دهد که به‌عنوان متغیرهای کلیدی در برآورد حجم چوب تنه مورد تحلیل قرار گرفتند.

با توجه به ستون معنی‌داری جدول ۳ (Sig.=۰/۰۵۱) تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده قطرهای متناظر بین دو دستگاه کالیبر و لایکا معنی‌دار نیست (P>۰/۰۵). به عبارت دیگر دو دستگاه برای اندازه‌گیری قطر یکسان عمل می‌کنند.

جدول ۴- مشخصه‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده از ۶۷ درخت نمونه.

Table 4. Statistical characteristics of the measured variables in sample trees.

متغیر Variable	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)	حجم واقعی تنه (مترمکعب) Actual stem volume (m ³)
کمینه Minimum	9.7	12.3	0.04
بیشینه Maximum	31.0	35.0	1.17
میانگین Mean	19.4	20.3	0.33
انحراف معیار Standard deviation	6.1	5.1	0.28
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	31.4	25.1	84.8

شد. نتیجه رتبه‌بندی مدل‌های استفاده‌شده برای برآورد حجم تنه گونه کبوده در این استان در جدول ۵ ارائه شده است.

جداول حجم یک‌عامله و دوعامله: به منظور تهیه جداول حجم با استفاده از بهترین مدل‌ها، رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس پنج شاخص نکویی برآزش انجام

جدول ۵- نتیجه رتبه‌بندی مدل‌های استفاده‌شده برای تهیه جداول حجم یک‌عامله و دوعامله برای گونه کیود.

رتبه‌بندی مدل‌ها Model Ranking	رتبه	WI (m ³ /ha)		NSE (m ³ /ha)		MAE (m ³ /ha)		RMSE (m ³ /ha)		AIC		نام مدل Model Nme	ردیف No.	نوع مدل Model Type
		مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank			
14	15	0.9827	15	0.9341	15	0.0500	15	0.0723	11	-155.736	Kopezky-Gehrhardt	1		
13	14	0.9854	14	0.9437	14	0.0462	14	0.0669	10	-166.270	Dissestu-Meyer	2		
11	12	0.9882	12	0.9544	13	0.0415	12	0.0601	9	-178.455	Hohenadl_Krenn	3		
12	13	0.9864	13	0.9502	11	0.0395	13	0.0629	14	-53.397	Hummel 1	4	یک‌عامله Single entry	
11	11	0.9882	11	0.9557	10	0.0387	11	0.0593	15	-52.895	Brenac	5		
14	15	0.9827	15	0.9341	15	0.0500	15	0.0723	11	-155.736	Hummel 2	6		
10	10	0.9889	10	0.9561	12	0.0409	10	0.0590	8	-183.052	Berkhout	7		
5	5	0.9956	6	0.9826	2	0.0227	6	0.0371	6	-245.156	Spurr 1	8		
6	7	0.9955	5	0.9827	7	0.0230	5	0.0370	5	-245.613	Honner	9		
7	8	0.9955	7	0.9825	5	0.0229	7	0.0372	7	-244.683	Ogaya	10		
4	3	0.9959	3	0.9840	9	0.0236	3	0.0356	4	-246.768	Stoate	11		
8	6	0.9956	8	0.9825	1	0.0227	8	0.0372	12	-119.705	Spurr 2	12	دوعامله Double entry	
9	9	0.9954	9	0.9821	3	0.0228	9	0.0377	13	-117.741	Schumacher-Hall 1	13		
1	1	0.9963	1	0.9854	4	0.0229	1	0.0340	1	-254.833	Schumacher-Hall 2	14		
2	2	0.9960	2	0.9844	8	0.0234	2	0.0351	2	-248.483	Näslund	15		
3	4	0.9958	4	0.9833	6	0.0229	4	0.0364	3	-247.671	Takata	16		
	جمع رتبه‌ها Rank Sum													
	71													
	66													
	58													
	64													
	58													
	71													
	50													
	25													
	29													
	34													
	22													
	35													
	43													
	8													
	16													
	21													

(۸) مدل دوعامله شوماخر-هال ۲

$$V = 0.0000276 \times D^{2.295} \times H^{0.7785}$$

(۹) مدل یکعامله برکهوت

$$V = 0.00003776 \times D^{2.969}$$

که در آن، D قطر برابر سینه برحسب سانتی متر،
 H ارتفاع کل درختان برحسب متر، V حجم تنه
 برحسب مترمکعب.

در نهایت براساس دو مدل بالا جدول حجم یکعامله
 ۶ و دوعامله ۷ برای گونه کبوده در استان تهیه شد.

براساس جدول ۵ در بین مدل‌های دوعامله

(مدل‌های شماره ۸ تا ۱۶) مدل شماره ۱۴ یعنی

Schumacher-Hall 2 با رتبه ۱ بهترین مدل است

که از آن برای تهیه جدول حجم دوعامله استفاده شد.

هم‌چنین در بین مدل‌های یکعامله (مدل‌های شماره

۱ تا ۷) مدل شماره ۷ یعنی Berkhout با رتبه ۱۰

بهترین مدل است که از آن برای تهیه جدول حجم

یکعامله استفاده شد. رابطه نهایی دو مدل یکعامله و

دوعامله استفاده شده برای تهیه جداول حجم یکعامله

و دوعامله به صورت رابطه‌های ۸ و ۹ می‌باشد:

جدول ۶- جدول حجم یکعامله برای قسمتی از تنه گونه کبوده که قطر بیش‌تر از ۵ سانتی متر دارد براساس

مدل $V = 0.00003776 \times D^{2.969}$ در استان چهارمحال و بختیاری.

Table 6. Single- entry (one- way) volume table for a part of white poplar stem that is more than 5 cm in diameter, based on the equation $V = 0.00003776 \times D^{2.969}$ in Chaharmahal & Bakhtiari province.

حجم تنه (مترمکعب) Stem volume (m ³)	قطر برابر سینه (سانتی متر) DBH (cm)	حجم تنه (مترمکعب) Stem volume (m ³)	قطر برابر سینه (سانتی متر) DBH (cm)
0.275	20	0.026	9
0.318	21	0.035	10
0.365	22	0.047	11
0.417	23	0.060	12
0.473	24	0.077	13
0.534	25	0.095	14
0.600	26	0.117	15
0.671	27	0.142	16
0.748	28	0.170	17
0.830	29	0.201	18
0.917	30	0.236	19

جدول ۷- جدول حجم دو عامله برای قسمتی از تنه گونه کبوده که قطر بیش‌تر از ۵ سانتی‌متر دارد براساس مدل $V=1/1000 \times 0.00027 \times D^{2.985} \times H^{0.7785}$ در استان چهارمحال و بختیاری.

Table 7. Double-entry (two-way) volume table for a part of white poplar stem that is more than 5 cm in diameter, based on the equation $V=0.00027 \times D^{2.985} \times H^{0.7785}$ in Chaharmahal & Bakhtiari province.

قطر (سانتی‌متر) D (cm)	ارتفاع (متر) H (m)																												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
9	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.031	0.033	0.035																					
10	0.030	0.033	0.035	0.038	0.040	0.042	0.044	0.045																					
11	0.037	0.041	0.044	0.047	0.050	0.053	0.055	0.056	0.059																				
12	0.050	0.054	0.057	0.061	0.065	0.068	0.072	0.075	0.078	0.094																			
13	0.064	0.069	0.073	0.078	0.082	0.086	0.090	0.094	0.099	0.112																			
14	0.082	0.087	0.092	0.097	0.102	0.107	0.112	0.117	0.121	0.137	0.148																		
15	0.096	0.102	0.108	0.114	0.120	0.125	0.131	0.137	0.142	0.158	0.171	0.184																	
16	0.118	0.125	0.132	0.139	0.145	0.152	0.158	0.165	0.171	0.182	0.190	0.211	0.249																
17	0.136	0.144	0.151	0.159	0.167	0.175	0.182	0.190	0.197	0.208	0.224	0.241	0.257	0.309															
18	0.164	0.173	0.182	0.190	0.199	0.208	0.216	0.224	0.233	0.249	0.263	0.273	0.282	0.309	0.358														
19	0.185	0.196	0.206	0.216	0.225	0.235	0.245	0.254	0.263	0.286	0.296	0.307	0.317	0.348	0.358	0.400													
20	0.220	0.231	0.242	0.254	0.264	0.275	0.286	0.296	0.307	0.331	0.343	0.355	0.366	0.389	0.400	0.445	0.506												
21	0.246	0.259	0.271	0.284	0.296	0.308	0.320	0.331	0.343	0.369	0.382	0.395	0.407	0.445	0.445	0.506	0.558	0.613											
22	0.288	0.302	0.315	0.329	0.342	0.356	0.369	0.382	0.395	0.423	0.437	0.451	0.465	0.493	0.493	0.558	0.613	0.663	0.707										
23	0.334	0.349	0.364	0.379	0.394	0.408	0.423	0.437	0.451	0.482	0.497	0.512	0.527	0.558	0.558	0.613	0.663	0.712	0.751	0.795									
24	0.385	0.402	0.418	0.434	0.448	0.466	0.482	0.497	0.512	0.546	0.563	0.579	0.598	0.635	0.635	0.689	0.744	0.792	0.838	0.885	0.931								
25	0.441	0.459	0.477	0.495	0.512	0.529	0.546	0.563	0.579	0.616	0.635	0.652	0.672	0.692	0.712	0.751	0.795	0.838	0.885	0.931	0.976								
26	0.502	0.522	0.541	0.560	0.579	0.601	0.621	0.641	0.661	0.692	0.712	0.731	0.752	0.774	0.795	0.838	0.885	0.931	0.976	1.025	1.079								
27	0.548	0.569	0.590	0.611	0.632	0.652	0.672	0.692	0.712	0.731	0.752	0.774	0.795	0.817	0.838	0.885	0.931	0.976	1.025	1.079	1.133								
28	0.619	0.642	0.664	0.686	0.709	0.731	0.752	0.774	0.795	0.817	0.838	0.859	0.881	0.903	0.925	0.947	0.969	0.991	1.013	1.035	1.057								
29	0.671	0.695	0.720	0.744	0.768	0.792	0.816	0.840	0.864	0.888	0.912	0.936	0.960	0.984	1.008	1.032	1.056	1.080	1.104	1.128	1.152								
30	0.725	0.752	0.778	0.804	0.830	0.856	0.882	0.908	0.934	0.960	0.986	1.012	1.038	1.064	1.090	1.116	1.142	1.168	1.194	1.220	1.246								

D: diameter at breast height (cm); H: total height (m) and V: stem volume (m³).
D: قطر برآرسینه بر حسب سانتی‌متر، H: ارتفاع کل درختان بر حسب متر، V: حجم تنه بر حسب مترمکعب

بحث و نتیجه گیری

چوب یک محصول راهبردی و مورد نیاز مبرم کشور است که سبب راه اندازی و فعالیت بسیاری از صنایع مرتبط می شود؛ بنابراین برنامه ریزی برای تولید دائمی آن جزء اولویت های اصلی ارگان های اجرایی کشور است. تعیین حجم تنه درخت برای مدیریت بازار خرید و فروش چوب صنوبر بسیار مهم است. تعیین مدل های حجمی با دقت مناسب از گام های مهم در شناخت وضعیت توده و برنامه ریزی برای حال و آینده است. در این مطالعه جداول حجم یک عامله و دو عامله برای گونه صنوبر کبوده در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش غیرمخرب تهیه شد.

در جدول حجم یک عامله، قطر برابر سینه تنها متغیری است که کشاورزان و برنامه ریزان می توانند به راحتی آن را اندازه گیری کنند و از این رو متغیری است که در تصمیم گیری های مدیریتی و تعیین میزان حجم چوب از آن استفاده می شود؛ اما در جدول حجم دو عامله، اندازه گیری دقیق ارتفاع درخت بدون دستگاه ارتفاع سنج دشوار است.

در این پژوهش مدل های مختلفی از منابع معتبر برای تهیه جداول حجم یک عامله و دو عامله انتخاب و با استفاده از شاخص های آماری مختلف امتیاز بندی شدند که از بین آن ها مدل یک عامله Berkhout با $R^2=0/95$ و $RMSE=0/17$ و مدل دو عامله Schumacher-Hall 2 با $R^2=0/98$ و $RMSE=0/10$ با بیشترین کارایی و کمترین خطا انتخاب شدند که به عنوان مدل های مناسب به ترتیب برای تهیه جدول حجم یک عامله و دو عامله در صنوبر کاری های استان چهارمحال و بختیاری مورد استفاده قرار گرفتند.

مدل Schumacher-Hall قبلاً توسط سینگدوها و همکاران (۲۰۱۸) (۱۱) و هم چنین آمینو و همکاران (۲۰۱۹) به عنوان مناسب ترین مدل برای پیش بینی حجم درختان صنوبر در هند معرفی شده اند (۳۳).

هم چنین تواری (۲۰۰۷) گزارش کرد که مدل Schumacher-Hall مناسب ترین مدل برای پیش بینی حجم درختان *Tecomella undulata* در منطقه گرم و خشک هند براساس رابطه $V=aH^bD^{b2}$ است (۳۲).

نتایج این پژوهش براساس مقادیر دقت و خطای مدل های به کار گرفته شده ($RMSE\%$ به ترتیب برای مدل های برک هوت و مدل شوماخر- هال ۲ برابر ۱۷٪ و ۱۰٪ و $MAE\%$ به ترتیب برابر ۱۲٪ و ۷٪) نشان می دهد که جداول حجم تهیه شده از درجه اعتبار بسیار خوبی برخوردار بوده و قابل استفاده برای سازمان های اجرایی، صنوبرکاران، چوب بری ها و خریداران چوب، صنایع تولیدکننده چوب و کارشناسان جنگل در امور فنی و برنامه ریزی هستند.

در پژوهش حاضر جدول حجم یک عامله و دو عامله برای گونه کبوده در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از دستگاه لیزری لایکا برای اندازه گیری قطر در ارتفاعات مختلف تنه و به صورت غیرمخرب تهیه شد. روش های غیرمخرب به دلیل حفظ سلامت درختان و جلوگیری از قطع غیرضروری، اهمیت زیادی دارند. اندازه گیری مشخصه هایی مانند قطر برابر سینه و ارتفاع کل درخت به صورت غیرمخرب، امکان برآورد دقیق حجم چوب را فراهم و علاوه بر کاهش هزینه و زمان، امکان پایش مکرر و مدیریت بهینه منابع چوبی را نیز تسهیل می کند.

تاکنون در داخل کشور پژوهشی در مورد تهیه جدول حجم درختان با استفاده از روش غیرمخرب و اندازه گیری قطر تنه درختان در ارتفاعات بالاتر از برابر سینه به صورت سرپا انجام نشده است؛ اما در پژوهش های قبلی در خارج از کشور، وارجو و همکاران (۲۰۰۶) روشی را برای برآورد ارتفاع و حجم درخت با استفاده از تصاویر رقومی به کار بردند. عمده ترین مشکلاتی که پژوهشگران به آن اشاره کرده اند، کیفیت تصاویر و مشکل جداسازی درخت از پس زمینه بود. البته بخشی از مشکل بعدها با بهبود

توسعه کشت صنوبر و ظرفیت‌یابی زراعت چوب از طریق شناخت در مورد مقدار تولید، قابلیت منطقه برای زراعت چوب و سپس ساماندهی مناطق صنعتی و مرتبط با ماده اولیه چوب و انتقال آن‌ها به مجاورت مراکز تولید چوب و یکپارچه‌سازی و تجمیع اراضی خرد و پراکنده زراعت چوب فراهم می‌کند. استقرار صنایع چوب در مجاورت عرصه‌های تولید صنوبر و اطلاع از وضعیت دقیق حجم چوب سرپا سبب افزایش سود می‌شود که خود عاملی برای توسعه کاشت صنوبر است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که استان چهارمحال و بختیاری ظرفیت زیادی برای زراعت چوب با صنوبر دارد، دسترسی به جداول دقیق حجم برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و اقتصادی بسیار ضروری است. جداول حجم یک‌عامله و دوعامله تهیه‌شده بر اساس معادلات Berkhout و Schumacher-Hall 2 ابزار مفیدی است که به صنوبرکاران کمک می‌کند تا به هنگام فروش چوب، حجم درختان سرپای مزرعه خود را با دقتی قابل قبول برآورد کنند. از جداول حجم یک‌عامله و دوعامله تهیه‌شده در این پژوهش می‌توان برای برنامه‌ریزی دقیق‌تر کاشت، داشت و برداشت صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کرد تا تولید چوب بهینه شده و سودآوری اقتصادی آن افزایش یابد.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم (INSF) برگرفته از طرح شماره ۴۰۰۵۱۴۴ انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از بنیاد ملی علم (صندوق حمایت از پژوهش‌گران و فناوران کشور) بابت حمایت مالی از این پژوهش و هم‌چنین از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اعلام می‌دارند.

کیفیت دوربین‌ها و مشکل جداسازی درخت از پس‌زمینه با استفاده از شاخص طراحی و نصب شده در اطراف درخت برطرف شد (۲۷). کوئلیو و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از یک دوربین و شاخص طراحی‌شده با نصب در نزدیکی درخت، قطر و ارتفاع تنه درختان را از روی تصاویر برآورد و حجم تنه درخت را با ۴ درصد خطا در برآورد ارتفاع درخت محاسبه کردند. پژوهش‌گران عنوان کردند که برای نتایج بهتر، تصویر باید کیفیت خوبی داشته باشد و درخت اندازه‌گیری شده باید به‌طور کامل در تصویر قابل مشاهده باشد که در این صورت برآورد حجم در هر دو تراکم کم و زیاد توده تفاوتی ندارد (۲۸). هی و همکاران (۲۰۱۶) برای اندازه‌گیری حجم واقعی چوب تعداد ۱۷۵ درخت سرپای لاریکس (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) و ۱۹۰ درخت سرپای صنوبر (*Populus tomentosa* Carrière) از یک تئودولیت الکترونیکی استفاده کردند که به ترتیب دارای خطای ۱/۶۲ و ۸/۴ درصد بود. درحالی‌که در این پژوهش میزان خطای دستگاه لایکا برابر ۴/۶ درصد به‌دست آمد (۲۹). وان‌داندائل و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود با استفاده از لیزر اسکن زمینی، حجم تنه و تاج درختان صنوبر را به‌صورت غیرمخرب مدل‌سازی و دقت مناسبی را گزارش کردند (۳۰). لیو و همکاران (۲۰۱۹) در چین نیز مدل‌های غیرمخرب حجم را برای گونه‌های مختلف صنوبر توسعه داده و اعتبار این روش‌ها را با داده‌های میدانی تأیید کردند (۳۱). آمینو و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از دستگاه هاگا و بدون قطع درخت، بهترین مدل حجمی برای صنوبر دلتوئیدس را معرفی کردند (۳۳). این مطالعات با توجه به دقت و قابلیت اجرایی زیاد، استفاده از روش‌های غیرمخرب را در برآورد حجم درختان صنوبر توصیه می‌کنند.

تعیین موجودی حجمی دقیق صنوبرکاری‌های استان چهارمحال و بختیاری، زمینه مناسبی را برای

منابع

1. Ahmadloo, F., Dehghan, R., Salehi, A., & Escandari, S. (2023). Surveying and study on the biometric variables of poplar plantations in Guilan province. *Iranian Journal of Forest*. 15(2), 195-210. [In Persian]
2. Talebi, M., Modirrahmati, A., Jahanbazi, H., Hemati, A., & Haghghian, F. (2007). Investigation on growth characteristics of Poplar clones in research nursery of Boldaji station. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 15(4), 349-364. [In Persian]
3. Talebi, M., Calagari, M., Iranmanesh, Y., Derakhshan, S., & Gholipour, Z. (2025). Quantitative and production status of wood in poplar plantations of Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 33(1), 86-100. [In Persian]
4. Calagari, M., Mirakhorlou, Kh., Salehi, A., Ahmadloo, F., Teimouri, S., Jafari, A., Eskandari, S., Bagheri, R., Araghi, M. K., Khodayi, M. B., & Ghasemi, R. (2022). Implementation of the national plan for the development of wood farming is essential for forests conservation and the supply of wood raw materials in the country. *Journal of Iran Nature*. 7(1), 9-19. [In Persian]
5. Gorji Bahri, Y. (1992). Preparation of volume table for *Populus euramericana* I-214. *Journal of Forest and Rangeland*. Publications of Research Institute of Forests and Rangelands. 82, 25-32. [In Persian]
6. Sagheb-Talebi, Kh. (1996). Volume table of *Populus euramericana* I-448. *Research & Construction*. 30, 58-61. [In Persian]
7. Hjelm, B., & Johansson, T. (2012). Volume equations for poplars growing on farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 27(6), 561-566.
8. Bagheri, R., Namiranian, M., Zobeiry, M., & Modir Rahmati, A. R. (2002). Determination of volume tables for Zanjan-Rood river native poplars. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 9(1), 1-36. [In Persian]
9. Ghorani, M., Jahani, A., & Sardabi, H. (2014). Estimation of standing volume in *Populus deltoides* Marsh plantations by Huber and Smalian methods at Shafaroud forest, Guilan province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 22(1), 74-81. [In Persian]
10. Faal-Khah, I., Ramezani Kakroudi, E., Alijanpour, A., & Banj Shafiei, A. (2017). The effect of spacing on quantitative and qualitative characteristics of black poplar (*Populus nigra* L.). *Forest Research and Development*. 2(4), 337-351. [In Persian]
11. Singhdoha, A., Bangarwa, K. S., Johar, V., Hooda, B. K., & Dhillon, R. S. (2018). Assessment of general volume table for *Populus deltoides* in northern Haryana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(1), 1665-1668.
12. Hjelm, B. (2021). Cumulative merchantable stem volume equations for poplar plantations on farmland in Sweden. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 11(1), 15-25.
13. Mohammed, A. J., Hanna, S. A., & Saadallah, H. GH. (2024). Estimating growth of *Populus nigra* stand using stand table method. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 56(2), 794-801.
14. Statistical center of Iran. (2022). Data and statistical information. The Statistical Yearbook, Publications of Management and Planning Organization of Chaharmahal and Bakhtiari province, Shahrekord, Iran. 52p. [In Persian]
15. Jahani, A., Kalagari, M., Modirrahmati, A. R., & Ghasemi, R. (2014). Determining the best stem form factor equation for *Populus deltoides* in poplar plantations of Alborz Research Station, Karaj. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 22(2), 216-224. [In Persian]
16. Zobeiri, M. (1994). Forest inventory. Tehran University Press, Tehran, 401p. [In Persian]
17. De Oliveira, X. M., Ribeiro, A., Filho, A. C. F., Mayrinck, R., De Lima, R., & Scolforo, J. R. S. (2018). Volume

- equations for *Khaya ivorensis* A. Chev. plantations in Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 90(4), 3285-3298.
18. Santos, F. M., Terra, G., Chaer, G. M., & Monte, M. A. (2018). Modeling the height-diameter relationship and volume of young African mahoganies established in successional agroforestry systems in northeastern Brazil. *New Forests*. 50(7-8), 1-19.
 19. Imana- Encinas, J., Antunes-Santana, O., & Riesco-Munoz, G. (2019). Selection of a volumetric equation for *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake in the central region of the state of Goias, Brazil. *Revista Forestal Mesoamericana Kuru*. 16(39), 2-9.
 20. de Lima, Q. S., da Cunha, T. A., Amaro, M. A., Figueiredo, E. O., & Parente, P. R. F. (2021). Volume estimate for three timber species with commercial interest from the diameter of the stump. *Floresta*. 51(3), 776-784.
 21. Assmann, E. (1970). The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford, 506p.
 22. Van Laar, A., & Akca, A. (2007). Forest mensuration. Vol.13. Springer Science, Dordrecht, 383p.
 23. Loetsch, F., Zöhrer, F., & Haller, K. E. (1973). Forest inventory. Vol II, 1st edn. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 469 p.
 24. Possu, W. B., Brandle, J. R., Domke, G.M., Schoeneberger, M., & Blankenship, E. (2016). Estimating carbon storage in windbreak trees on U.S. agricultural lands. *Agroforestry Systems*. 90(5), 889-904.
 25. Spurr, S. (1952). Forest inventory. The Ronald Press, New York, 333p.
 26. Schumacher, F. X., & Hall, F. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*. 47, 719-734.
 27. Varjo, J., Henttonen, H., Lappi, J., Heikkonen, J., & Juujärvi, J. (2006). Digital horizontal tree measurements for forest inventory. In Working Papers of the Finnish Forest Research Institute; Finnish Forest Research Institute: Joensuu, Finland, 23p.
 28. Coelho, J., Fidalgo, B., Crisóstomo, M. M., Salas-González, R., Coimbra, A. P., & Mendes, M. (2021). Non-destructive fast estimation of tree stem height and volume using image processing. *Symmetry*. 13(3), 374.
 29. He, C., Hong, X., Liu, K. Z., Zhang, S., & Wang, Q. (2016). An improved technique for non-destructive measurement of the stem volume of standing wood. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*. 78(1), 53-60.
 30. Vandendaele, B., Martin-Ducup, O., Fournier, R. A., Pelletier, G., & Lejeune, P. (2022). Mobile laser scanning for estimating tree structural attributes in a temperate hardwood forest. *Remote Sensing*. 14(18), 4522.
 31. Liu, J., Feng, Z., Mannan, A., Khan, T. U., & Cheng, Z. (2019). Comparing non-destructive methods to estimate volume of three tree taxa in Beijing, China. *Forests*. 10(2), 92.
 32. Tewari, V. P. (2007). Total wood volume equations and their validation for *Tecomella undulate* plantations in hot arid region of India. *Indian Forester*. 133, 1648-1658.
 33. Aminu, S. A., Daniel, S., & Yakubu, I. (2019). Tree volume equation for *Populus deltoides* (Poplar) tree under agroforestry based. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8(2), 1470-1475.