



تعیین ضریب شکل تنه صنوبر کبوده (*Populus alba* L.) در استان چهارمحال و بختیاری به روش غیرمخرب

رضا اخوان^۱، فاطمه احمدلو^{۲*} و محمود طالبی^۳

^۱دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۲استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۳مربی 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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶)

چکیده

مقدمه: برآورد موجودی حجمی صنوبرکاری‌ها اهمیت زیادی در شناخت وضعیت موجود و مدیریت پایدار این منابع به‌منظور برنامه‌ریزی تولید و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای توسعه زراعت چوب دارد. ضریب شکل تنه یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تعیین حجم دقیق درختان است. هدف این پژوهش تعیین ضریب شکل واقعی تنه برای گونه صنوبر کبوده (*Populus alba* L.) در استان چهارمحال و بختیاری و مقایسه آن با ضریب شکل‌های طبیعی و مصنوعی است.

مواد و روش‌ها: برای اجرای این تحقیق، ابتدا با عملیات میدانی، توده‌های عمده صنوبرکاری در استان چهارمحال و بختیاری شناسایی شدند. سپس در ۱۰ توده مختلف صنوبرکاری با گونه صنوبر کبوده در مجموع ۶۷ اصله درخت به‌روش نمونه‌برداری طبقه‌ای - تصادفی (Stratified random sampling) براساس طبقات قطری درختان انتخاب شدند. پس از انتخاب درختان نمونه، قطر برابر سینه و ارتفاع کل آنها اندازه‌گیری و از محل بُن تنه هر درخت نمونه، محل قطعات دومتری و قطر در ۰/۱ ارتفاع و میانه ارتفاع درخت با استفاده از دستگاه لیزری لایکا مدل D810 مشخص و سپس قطر آن ارتفاع با استفاده از همین دستگاه به‌صورت سرپا و بدون قطع درخت اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، حجم کل واقعی تنه هر درخت از مجموع حجم پینه‌های ۲ متری با استفاده از رابطه اسمالیان به‌دست آمد تا در محاسبه انواع ضریب شکل تنه استفاده شود. برای بررسی وجود تفاوت معنی‌دار بین ضریب شکل واقعی تنه با دو ضریب شکل دیگر (طبیعی و مصنوعی) از آزمون t جفتی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ضریب شکل‌های واقعی، طبیعی و مصنوعی تنه صنوبر کبوده در این استان به‌ترتیب ۰/۴۴، ۰/۴۷ و ۰/۳۹ است. همچنین نتایج آزمون t جفتی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین ضریب شکل‌های مصنوعی و طبیعی با واقعی وجود دارد. براساس ضریب قدکشیدگی محاسبه‌شده، صنوبرکاری‌های بررسی‌شده در همه طبقات قطری حالت ناپایدار داشتند. **نتیجه‌گیری:** از یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ضریب شکل‌های طبیعی و مصنوعی نمی‌توانند جایگزین ضریب شکل واقعی برای گونه صنوبر کبوده در این استان باشند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند اطلاعات مبنایی بارزنی برای استفاده در تعیین حجم دقیق سرپا و قابل فروش هر پایه صنوبر، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در زمینه توسعه زراعت چوب و توسعه صنایع مرتبط در استان چهارمحال و بختیاری باشد.

واژه‌های کلیدی: زراعت چوب، ضریب شکل، ضریب قدکشیدگی، طبقات قطری.

مقدمه

با افزایش تقاضا برای چوب و ممنوعیت بهره‌برداری از جنگل‌های کشور، میزان تقاضا برای چوب صنوبر به شدت افزایش یافته است. زراعت چوب با استفاده از گونه‌های تندرشد صنوبر، 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. برنامه‌ریزی دقیق برای تأمین نیاز اولیه کارخانه‌های صنایع چوب، نیازمند آگاهی از موجودی حجمی و تولید درختان در بیشه‌های صنوبر است. تعیین حجم سرپا یکی از عوامل مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت برداشت سالانه چوب بوده (Ahmadloo et al., 2023) و برای فروش محصولات چوبی، برآورد حجم چوب سرپا ضروری است.

یک روش رایج در فروش چوب درختان این است که صنوبرکار به شخص واسطه اجازه می‌دهد تا ارزشگذاری اقتصادی درختان سرپا را بدون اطلاع از حجم واقعی آنها انجام دهد. متأسفانه واسطه‌ها به‌جای استفاده از ابزار مناسب برآورد حجم درخت، تنها بر تجربه خود در ارزشگذاری درختان سرپا تکیه می‌کنند. این روش فروش ممکن است اطلاعات اعتمادناپذیری برای برآورد حجم درختان ارائه دهد و سبب زیان صنوبرکاران شود (Ardelina et al., 2015). حجم درختان به‌طور معمول با استفاده از قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع کل و ضریب شکل به‌دست می‌آید (Adekunle, 2013).

شکل تنه جزء مهمی برای برآورد حجم است، زیرا درختان به‌دلیل شیوه‌های مختلف پرورشی، عوامل اقلیمی و ژنتیکی، گونه و سن از نظر شکل متفاوت‌اند (Colgan et al., 2014). شکل تنه، شکل درخت را مشخص می‌کند، درحالی که مخروط تنه نرخ نسبی تغییر در قطر تنه با افزایش ارتفاع است (Burkhart & Tomé, 2012) که اگر با ضریب شکل محاسبه شود، حجم سرپا را می‌توان در محدوده خطای ۰/۲ درصد

محاسبه کرد (Eastaugh, 2014). درحالی که اگر فقط از قطر برابر سینه و ارتفاع کل استفاده شود، حجم بیش‌برآورد می‌شود (Socha & Kulej, 2007). در حال حاضر در کشور، برای همه گونه‌های درختی صرف‌نظر از قطر و ارتفاع از ضریب شکل ۰/۵ استفاده می‌شود. برای نشان دادن شکل مقطع طولی تنه از مشخصه‌هایی استفاده می‌شود که در آنها تغییرات قطر در ارتفاع‌های مختلف تنه نسبت به یک مبنا سنجیده می‌شود. از جمله این مشخصه‌ها ضریب کاهش قطری، ضریب شکل و ضریب قدکشیدگی است (Namiranian, 2006). از بین ضرایب شکل موجود (واقعی، طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادل)، دقیق‌ترین ضریب شکل، ضریب شکل واقعی است که از تقسیم حجم واقعی تنه درخت بر حجم استوانه‌ای با سطح مقطع برابر سینه درخت و ارتفاع کل درخت به‌دست می‌آید. تعیین ضریب شکل واقعی تنه درخت، نیازمند قطع و آنالیز تنه درخت است که کاری زمان‌بر و پرهزینه است؛ اما اگر بتوان بدون قطع درخت و به‌روش غیرمخرب ضریب شکل تنه را محاسبه کرد، هم در هزینه و زمان صرفه‌جویی می‌شود و هم تعداد درخت بیشتری را می‌توان به‌عنوان نمونه بررسی کرد. براساس بررسی منابع داخلی موجود، تاکنون پژوهش‌های محدودی درباره تعیین ضریب شکل تنه جنس صنوبر در ایران انجام گرفته است. (Jahani et al., 2014) به‌منظور تعیین ضریب شکل واقعی تنه گونه صنوبر دلتوئیدس در ایستگاه تحقیقات البرز کرج، ۴۰ اصله از این گونه را انتخاب و قطع کردند و متغیرهای طول تنه، قطر میانه، قطر در محل‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ ارتفاع درخت و همچنین قطر دو سر هر بینه دومتري درخت تا محل قطر پنج سانتی‌متری تنه را در همه درختان قطع‌شده اندازه‌گیری کردند. سپس با محاسبه ضریب شکل واقعی درخت و مقایسه آن با ضریب شکل طبیعی، هوه‌نادل و مصنوعی نتیجه گرفتند که بین میانگین ضریب شکل‌ها در طبقات قطری ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر با طبقات قطری دیگر تفاوت معنی‌داری وجود دارد و

به جز ضریب شکل مصنوعی، بقیه ضریب شکل‌ها تفاوت معنی‌داری با ضریب شکل واقعی درخت ندارند. آنها همچنین ضریب شکل واقعی تنه صنوبر دلتوئیدس را ۰/۵۰۲۸ به‌دست آوردند. در تحقیقی دیگر، Eslamdoust et al. (2015) با بررسی روش‌های مختلف تعیین ضریب شکل برای برآورد حجم درختان صنوبر دلتوئیدس و دارتالاب در منطقه کلوده استان مازندران، نتیجه گرفتند که در صنوبر، ضریب شکل مصنوعی (۰/۵) با ضریب شکل واقعی (۰/۵۱۵) و در دارتالاب، ضریب شکل هوه‌نادل (۰/۵۲) با ضریب شکل واقعی (۰/۴۹۸) اختلاف معنی‌داری ندارد. همچنین ضریب شکل طبیعی و مصنوعی در طبقات مختلف قطری از نظر روند تغییرات با افزایش قطر تفاوتی نشان ندادند. (Faal-Khah et al. (2017) با مقایسه روش‌های حجم‌یابی ساده، هوبر و هوه‌نادل در سه توده دست‌کاشت صنوبر تبریزی در سه فاصله کاشت ۱×۱/۵، نامنظم ۱/۵×۱ و ۱×۳ متر در پردیس نازلو دانشگاه ارومیه نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین ضریب شکل طبیعی و مصنوعی در توده‌ها وجود دارد که بیشترین مقدار این دو مشخصه در توده با فاصله کاشت ۱×۱/۵ متر مشاهده شد. Shrestha et al. (2018) جدول‌های حجم محلی و ضریب شکل گونه‌های *Dalbergia sissoo* Roxb. ex DC و *Terminalia alata* D.Dietr. و *robusta* C.F.Gaertn را با استفاده از روش‌های مخرب و غیرمخرب تهیه کردند. نتایج آنها نشان داد که ضریب شکل گونه‌های منتخب از ۰/۵۰ تا ۰/۶۹ متغیر است. Mohammadi et al. (2021) با قطع و اندازه‌گیری ۲۰ اصله درخت، ضریب شکل گونه پالونیا فورتونی (*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl. را در جنگل دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) در استان گلستان بررسی و ضریب شکل واقعی پالونیا را ۰/۴۰۸ تعیین کردند. محققان با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار ضریب شکل طبیعی با ضریب شکل واقعی و کم بودن شاخص ضریب تغییرات، نتیجه گرفتند که ضریب شکل طبیعی در طبقات قطری کم و

متوسط می‌تواند جایگزین خوبی برای ضریب شکل واقعی باشد. Subedi et al. (2021) به‌منظور برآورد ضریب شکل تنه و توسعه مدل‌های پیش‌بینی حجم گونه *Shorea robusta*، ۴۸ نمونه درخت را از مناطق پست و کم ارتفاع غرب نپال از طریق نمونه‌گیری هدفمند انتخاب کردند. آنها قطرهای ۰/۳ متر، ۰/۸ متر، ۱/۳ متر و ۱/۸ متر بالاتر از سطح زمین را قبل از قطع درختان اندازه‌گیری کردند و پس از قطع نیز قطرهای ۲/۸ متر، ۴ متر و ۶ متر بالاتر از سطح زمین اندازه‌گیری شد و تا فاصله ۲ متری تا نوک درخت ادامه یافت. آنها همچنین طول هر بخش را بین دو نقطه اندازه‌گیری قطر متوالی و ارتفاع کل اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها نشان داد که متوسط ضریب شکل مصنوعی با پوست و بدون پوست به‌ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۴۲ است، درحالی که میانگین ضریب شکل مطلق برای با پوست و بدون پوست ۰/۴ به‌دست آمد. Varjo et al. (2006) روشی را برای برآورد ارتفاع و حجم درخت با استفاده از تصاویر رقومی به‌کار بردند. عمده‌ترین مشکلاتی که محققان به آن اشاره کردند، کیفیت تصاویر و مشکل جداسازی درخت از پس‌زمینه بود. البته بخشی از مشکل بعدها با بهبود کیفیت دوربین‌ها و مشکل جداسازی درخت از پس‌زمینه با استفاده از شاخص طراحی و نصب‌شده در اطراف درخت برطرف شد. Coelho et al. (2021) با استفاده از یک دوربین و شاخص طراحی‌شده با نصب در نزدیک درخت، قطر و ارتفاع ساقه درختان را از روی تصاویر برآورد و حجم ساقه درخت را محاسبه کردند. محققان بیان کردند که برای نتایج بهتر، تصویر باید کیفیت خوبی داشته باشد و درخت اندازه‌گیری‌شده باید به‌طور کامل در تصویر قابل مشاهده باشد که در این صورت برآورد حجم در هر دو تراکم کم و زیاد توده تفاوتی نخواهد داشت. He et al. (2016) برای اندازه‌گیری حجم واقعی چوب ۱۷۵ درخت سرپای لاریکس (*Larix gmelinii* (Rupr.)) و ۱۹۰ درخت سرپای صنوبر (*Populus tomentosa* Carrière) از یک تئودولیت الکترونیکی

تابستان‌های معتدل و دو فصل اعتدالی بهار و پاییز است. متوسط دما در ایستگاه‌های استان بین ۸/۵ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه کوه‌رنگ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه مرغک و مقدار بارش استان نیز بین ۲۵۴ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های بروجن و کوه‌رنگ است. با توجه به مقدار بارش در این استان منطقه بیابانی وجود ندارد. به‌طور کلی متوسط بارش سالیانه استان حدود ۷۰۷ میلی‌متر است. به‌دلیل کوهستانی بودن استان و با توجه به اینکه درجه حرارت هوا تابعی از ارتفاع هر منطقه است، اقلیم‌های حرارتی متفاوتی در استان وجود دارد (Statistical Center of Iran, 2022). برای این تحقیق ۱۰ توده مختلف صنوبرکاری با گونه صنوبر کبوده (*Populus alba* L. در نقاط مختلف شهرستان‌های فارس (سورشان، گوجان)، کیار (شلمزار، دستناء) و سامان (سوادجان) که از مناطق عمده صنوبرکاری در این استان هستند برای اندازه‌گیری درختان صنوبر به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. در شکل ۱ موقعیت مکانی توده‌های صنوبرکاری و در جدول ۱ مشخصات این توده‌ها ارائه شده است.

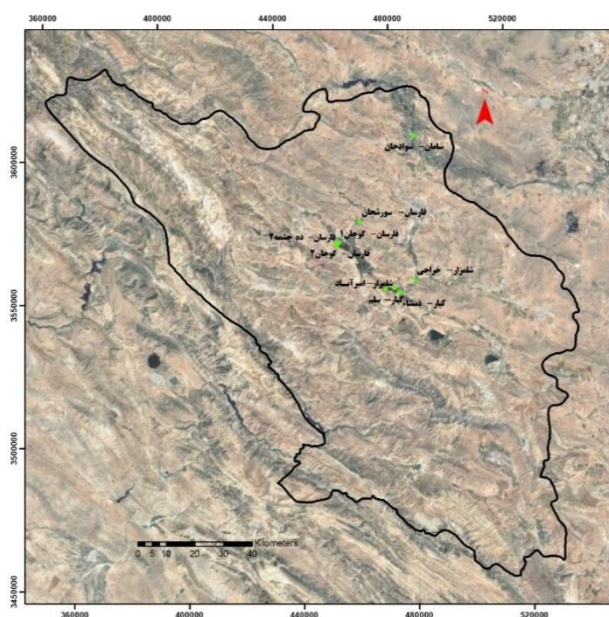
استفاده کردند که به‌ترتیب دارای خطای ۱/۶۲ و ۸/۴ درصد بود.

با توجه به اهمیت محاسبه حجم دقیق درختان صنوبر به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت تولید چوب آنها، هدف این تحقیق، تعیین ضریب شکل واقعی تنه برای گونه صنوبر کبوده (*Populus alba*) در استان چهارمحال و بختیاری و مقایسه آن با ضریب شکل‌های طبیعی و مصنوعی به‌روش غیرمخرب (به‌صورت سرپا و بدون قطع و تبدیل درخت) است تا حجم درختان سرپا با دقت تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

استان چهارمحال و بختیاری دارای ۱۱ شهرستان (شهرکرد، بروجن، فارس، لردگان، اردل، کوه‌رنگ، کیار، سامان، بن، خانمیرزا، فلارد) با مساحتی حدود ۱۶۴۱۱ کیلومتر مربع در ناحیه غربی ایران است که در ۳۱° ۹' تا ۳۲° ۴۷' عرض شمالی و ۴۹° ۲۹' تا ۵۱° ۲۶' طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار دارد. آب‌وهوای استان با توجه به شرایط اقلیمی و محلی مدیترانه‌ای با زمستان‌های مرطوب و سرد و



شکل ۱- موقعیت مکانی توده‌های صنوبرکاری بررسی‌شده در استان چهارمحال و بختیاری

Figure 1. The location of studied poplar plantations in the Chaharmahal and Bakhtiari province

جدول ۱- مشخصات توده‌های صنوبرکاری بررسی شده در استان چهارمحال و بختیاری

Table 1. The characteristics of studied poplar plantations in the Chaharmahal and Bakhtiari province

ردیف Row	نام منطقه Region name	مختصات مکانی Coordinates (UTM)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	فاصله کاشت (متر) Planting space (m)	سن توده (سال) Stand age (years)	فرم زمین Land form
1	فارسان - سورشجان Farsan- Sureshjan	X= 466614 Y= 3572666	2086	2×2	8	مسطح Flat
2	فارسان - گوجان ۱ Farsan- Gojan 1	X= 458478 Y= 3565525	2041	1×1	10	مسطح Flat
3	فارسان - گوجان ۲ Farsan- Gojan 2	X= 459171 Y= 3565890	2013	نامنظم Irregular	متفاوت Different	مسطح Flat
4	فارسان - ده چشمه ۱ Farsan- Dehcheshmeh 1	X= 458740 Y= 3565527	2016	1×1	16	مسطح Flat
5	فارسان - ده چشمه ۲ Farsan- Dehcheshmeh 2	X= 458220 Y= 3564842	2026	2×2	15	مسطح Flat
6	شلمزار - امیرآباد Shalamzar-Amirabad	X= 477483 Y= 3549034	1991	1×2	15	مسطح Flat
7	کیار - سلم Kiar- Salem	X= 474297 Y= 3548948	2020	1×1	7	مسطح Flat
8	کیار - دستناء Kiar- Dastana	X= 479435 Y= 3547356	2060	2×2	12	شیدار Sloping
9	شلمزار - خراجی Shalamzar- Kharaji	X= 484682 Y= 3551417	2023	1×2	10	مسطح Flat
10	سامان - سوادجان Saman-Savadjan	X= 487123 Y= 3601770	1906	2×2	25	مسطح Flat

شیوه اجرای پژوهش

در این تحقیق به منظور انتخاب درختان نمونه از روش نمونه برداری طبقه‌ای - تصادفی (Stratified random sampling) براساس طبقات قطری درختان صنوبر استفاده شد. طبقات قطری براساس بررسی‌های قبلی و منابع موجود برای درختکاری‌های گونه کبوده از طبقه قطری ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و با فاصله هر طبقه ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در نتیجه در کل یازده 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 دست‌کم پنج پایه به‌عنوان تکرار (Jahani et al., 2014) به‌صورت تصادفی در پنج توده

مختلف از گونه کبوده اندازه‌گیری می‌شد (در مجموع ۵۵ درخت سرپا). با این حال، با این روش در مجموع ۶۷ اصله درخت صنوبر کبوده در استان انتخاب و اندازه‌گیری شدند.

پس از انتخاب درختان نمونه، قطر برابر سینه آنها در ارتفاع ۱/۳۰ متری از سطح زمین با استفاده از دستگاه کالیپر رقومی هاگلوفا تا دقت میلی‌متر و سپس ارتفاع کل درخت با استفاده از دستگاه ورتکس شرکت هاگلوفا سوئد (Vertex III) با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. در هر درخت منتخب صنوبر، از ارتفاع هم‌سطح زمین یعنی بُن تنه هر درخت نمونه، قطر دو سر قطعات دومتری (که حجم آنها اختلاف ناچیزی با حجم استوانه خواهد داشت) تا ارتفاعی که

علامت‌گذاری شده است تنظیم می‌شود (شکل ۳). در مرحله بعد، از محل قطر برابر سینه درخت عکسی رقومی برداشت و بر روی صفحه دستگاه نشان داده می‌شود. سپس با استفاده از صفحه لمسی دستگاه، دو بازوی کالیبرمانندی که در دو طرف عکس رقومی تنه درخت قرار دارند (شکل ۴) بر روی دو لبه بیرونی تنه تنظیم می‌شوند. با توجه به اینکه تصویر برداشت‌شده به وسیله 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 کالیبرها در دو طرف تصویر تنه درخت، قطر تنه درخت در ارتفاع مدنظر به وسیله دستگاه محاسبه و روی صفحه نمایش آن آشکار می‌شود.

قطر تنه برابر ۵ سانتی‌متر شود، بدون قطع درخت و به صورت سرپا با استفاده از دستگاه لیزری لایکا (Leica) مدل D810 Touch ساخت کشور سوئیس اندازه‌گیری و تعیین شد. قطر در ۰/۱ ارتفاع و میانه ارتفاع هر درخت نیز با همین روش اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که دستگاه لیزری لایکا افزون‌بر اندازه‌گیری فاصله افقی و ارتفاع می‌تواند قطر در هر ارتفاعی از تنه درخت را نیز با دقت مناسب اندازه‌گیری کند. روش کار بدین صورت است که ابتدا دستگاه در فاصله مناسبی از تنه درخت (بین ۸ تا ۱۲ متر بسته به ارتفاع درخت هدف) بر روی سه پایه آن در توده صنوبر کاری قرار می‌گیرد و تراز می‌شود (شکل ۲). سپس نور لیزر دستگاه بر روی تنه درخت در ارتفاع برابر سینه که قبلاً به صورت دستی مشخص و



شکل ۴- محاسبه قطر در ارتفاع بالاتر از برابر سینه تنه درخت صنوبر
Figure 4. Calculating the diameter at height above breast height of a poplar tree stem



شکل ۳- برخورد نور لیزر دستگاه لایکا به تنه صنوبر برای اندازه‌گیری قطر
Figure 3. Laser beam from a Leica device hitting a poplar stem to measure the diameter



شکل ۲- نحوه استقرار دستگاه لایکا در توده صنوبر کاری
Figure 2. Installation the Leica device in a poplar plantation stand

h: طول هر بینه به متر است (معادل ۲ متر، البته طول بینه انتهایی ممکن است کمتر از ۲ متر باشد).

سپس از مجموع حجم بینه‌های ۲ متری، حجم کل واقعی تنه درخت صنوبر منتخب به دست آمد (رابطه ۲):

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i \quad \text{رابطه ۲}$$

V_T حجم واقعی کل تنه به متر مکعب است.

در مرحله بعد با تقسیم حجم واقعی تنه به حجم استوانه‌ای که قطر آن برابر قطر برابرسینه و ارتفاع آن برابر ارتفاع کل درخت صنوبر منتخب است، ضریب شکل واقعی یا حقیقی تنه (f_r) به دست آمد (رابطه ۳):

$$f_r = \frac{V_T}{g_{1.3} \times H} \quad \text{رابطه ۳}$$

$g_{1.3}$: سطح مقطع برابرسینه درخت به متر مربع و H: ارتفاع کل درخت به متر است.

پس از تعیین این ضریب برای هر پایه، از مقادیر به دست آمده برای همه پایه‌های اندازه‌گیری شده گونه صنوبر میانگین گرفته شد تا میانگین ضریب شکل واقعی مشخص شود.

ضریب شکل طبیعی از رابطه ۴ به دست آمد:

$$f_{0.1} = \frac{V_T}{g_{0.1} \times H} \quad \text{رابطه ۴}$$

$f_{0.1}$: ضریب شکل طبیعی درخت، V_T : حجم واقعی هر پایه به متر مکعب، $g_{0.1}$: سطح مقطع در ۰/۱ ارتفاع درخت به متر مربع و H: ارتفاع کل درخت به متر است. ضریب شکل مصنوعی از رابطه ۵ به دست آمد:

$$f_{1.3} = \frac{(d_{0.5})^2}{(d_{1.3})^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

$f_{1.3}$: ضریب شکل مصنوعی درخت، $d_{0.5}$ قطر در میانه ارتفاع درخت به متر و $d_{1.3}$ قطر در ارتفاع برابرسینه به متر است.

با دارا بودن قطر برابرسینه و ارتفاع کل هر درخت ضریب قدکشیدگی (Slc) هر پایه صنوبر و در نهایت میانگین ضریب قدکشیدگی نیز محاسبه شد (رابطه ۶):

پس از ثبت قطر تنه در ارتفاع مشخص (مثلاً ۱/۳۰ متر)، با استفاده از پیچ تنظیمی که در کنار دستگاه قرار دارد (شکل ۲)، 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. برای مثال با طی کردن ۷۰ سانتی‌متر از محل قطر برابرسینه (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 اندازه قطر برای ابتدا و انتهای هر قطعه دومتري از تنه صنوبر تعیین خواهد شد که با استفاده از آنها و براساس رابطه اسمالیان (رابطه ۱) می‌توان حجم واقعی هر قطعه را محاسبه کرد. بدیهی است که با جمع کردن حجم تمام تنه‌های ۲ متری، حجم واقعی کل تنه براساس رابطه ۲ قابل محاسبه خواهد بود.

شایان ذکر است که برای سهولت اندازه‌گیری‌ها و وضوح بیشتر دید به قطر تنه در ارتفاعات بالاتر از برابرسینه درختان صنوبر به وسیله دستگاه لایکا، همه اندازه‌گیری‌ها باید در فصل‌های پاییز، زمستان و اوایل بهار یعنی در زمان بی‌برگ بودن درختان صنوبر انجام گیرد تا نور لیزر دستگاه به تنه درختان صنوبر برخورد کند.

در مرحله بعد حجم هر قطعه دومتري با استفاده از رابطه اسمالیان محاسبه شد (Zobeiri, 2006) (رابطه ۱):

$$V_i = \frac{g_{1i} + g_{2i}}{2} \times h \Rightarrow g = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad \text{رابطه ۱}$$

d_i : قطر ابتدا یا انتهای هر بینه به متر، V_i : حجم هر بینه به متر مکعب، g_1 : سطح مقطع ابتدای هر بینه به مترمربع، g_2 : سطح مقطع انتهای هر بینه به مترمربع،

قبل با استفاده از دستگاه کالیپر تعیین قطر شدند تا در مقایسه‌های آماری استفاده شوند. به منظور مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده قطر با دو دستگاه کالیپر و لایکا و تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت‌های موجود از آزمون تی جفتی (Paired- sample t- test) استفاده شد.

روش تحلیل

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. سپس برای مقایسه معنی‌دار بودن تفاوت بین ضریب شکل‌ها از آزمون تی جفتی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و متغیرهای زیست‌سنجی درختان صنوبر در طبقات قطری مختلف، از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

نتایج

متغیرهای زیست‌سنجی

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۶۷ اصله درخت صنوبر کبوده اختلاف معنی‌دار آماری را در همه متغیرهای تحت بررسی در یازده طبقه قطری نشان داد که بیشترین آنها مربوط به طبقه قطری ۳۰ سانتی‌متر بود (جدول ۲).

$$Slc = \frac{H}{d_{1.3}} \times 100$$

رابطه ۶

H : ارتفاع کل درخت به متر و $d_{1.3}$ قطر در ارتفاع برابر سینه به سانتی‌متر است.

ضریب قد کشیدگی که نسبت ارتفاع کل به قطر برابر سینه درخت را نشان می‌دهد یکی از شاخص‌های مهم پایداری درخت در برابر باد افتادگی و بیانگر محیط رشد پیرامون درخت است که هرچه مقدار آن بیشتر باشد، ناپایداری درخت بیشتر خواهد بود (Akhavan & Namiranian, 2007).

ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر با دستگاه لایکا

برای ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر درختان صنوبر در ارتفاعات مختلف تنه با استفاده از دستگاه لایکا از ۱۳ درخت صنوبر از گونه‌های کبوده و تبریزی با قطر برابر سینه ۱۵ تا ۲۴ سانتی‌متر که 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 به صورت سرپا با استفاده از دستگاه لایکا به طور دقیق اندازه‌گیری شد. سپس این درختان شماره‌گذاری و مشخص شدند تا پس از قطع دوباره 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

جدول ۲- تجزیه و تحلیل متغیرهای زیست‌سنجی درختان صنوبر کبوده در طبقات قطری مختلف

Table 2. Data analysis of biometric variables of *P. alba* trees in different diameter classes

حجم واقعی کل تنه (مترمکعب) Real total volume of stem (m ³)	قطر در میانه ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Diameter at the mid- height (cm)	قطر در ۰/۱ ارتفاع درخت (سانتی‌متر) Diameter at 0.1 height (cm)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height (cm)	ارتفاع کل (متر) Height (m)	طبقات قطری Diameter classes
0.05 ^h	6.58 ^g	10.1 ^j	10.3 ^k	13.98 ^g	10
0.07 ^h	7.3 ^g	11.76 ⁱ	11.99 ^j	15.32 ^{fg}	12
0.12 ^{gh}	8.5 ^f	13.88 ^h	14.24 ⁱ	16.78 ^{efg}	14
0.16 ^{fg}	9.09 ^f	15.53 ^g	15.95 ^h	18.6 ^{def}	16
0.23 ^f	11.76 ^e	17.5 ^f	17.98 ^g	19.44 ^{cde}	18
0.3 ^e	12.82 ^{de}	19.62 ^e	20.27 ^f	20.75 ^{bcd}	20
0.34 ^d	13.22 ^d	20.78 ^d	21.72 ^e	20.7 ^{bcd}	22
0.46 ^d	15.32 ^c	23.44 ^c	24.1 ^d	22.46 ^{bc}	24
0.58 ^c	16.82 ^b	25.78 ^b	26.64 ^c	23.2 ^b	26
0.72 ^b	16.7 ^b	26.1 ^b	27.94 ^b	28.22 ^a	28
1.03 ^a	20.5 ^a	29.64 ^a	30.46 ^a	29.6 ^a	30
155.923**	117.549**	262.522**	729.679**	18.077**	آماره فیشر F

**، Significant difference at $p < 0.01$

** تفاوت معنی‌دار در سطح خطای ۱ درصد

ضریب شکل

میانگین ضریب شکل‌های درختان صنوبر کبوده در طبقات قطری مختلف در شکل ۵ ارائه شده است. بیشترین ضریب شکل‌ها مربوط به ضریب شکل طبیعی و کمترین آنها مربوط به ضریب شکل مصنوعی است.

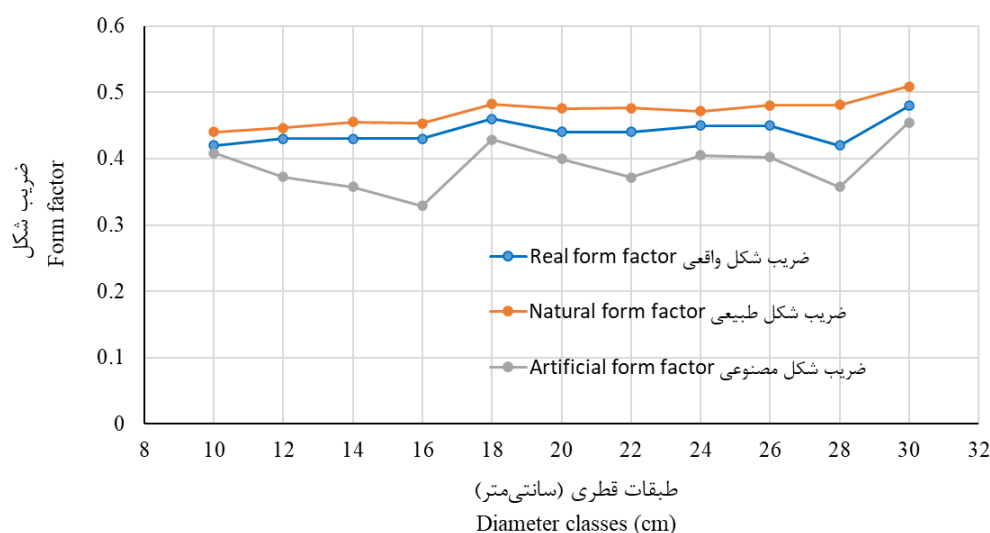
در جدول ۳ آماره‌های توصیفی هر یک از ضریب شکل‌های واقعی، طبیعی و مصنوعی درختان صنوبر براساس طبقات قطری ارائه شده است.

نتیجه مقایسه میانگین ضریب شکل‌های واقعی با طبیعی و مصنوعی براساس طبقات قطری با استفاده از آزمون t جفتی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین ضریب شکل واقعی با

طبیعی و مصنوعی و همچنین بین میانگین ضریب شکل طبیعی با مصنوعی وجود دارد (جدول ۴).

ارزیابی صحت اندازه‌گیری قطر با دستگاه لایکا

پس از اندازه‌گیری قطر تنه ۱۳ درخت قطع‌شده صنوبر در ارتفاع‌های مختلف تنه 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 تی جفتی به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت مقادیر اندازه‌گیری‌شده قطر به‌وسیله این دو دستگاه با استفاده از این تعداد جفت داده استفاده شد. جدول ۵ نتیجه آزمون تی جفتی را برای این داده‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۵- میانگین ضریب شکل‌های درختان صنوبر کبوده در طبقات قطری مختلف

Figure 5. The mean form factors of *P. alba* trees in different diameter classes

جدول ۳- مشخصه‌های آماری ضریب شکل‌های مختلف درختان صنوبر کبوده

Table 3. Statistical characteristics of various form factors of *P. alba* trees

ضریب شکل مصنوعی Artificial form factor	ضریب شکل طبیعی Natural form factor	ضریب شکل واقعی Real form factor	آماره‌های توصیفی characteristics Descriptive
0.33	0.44	0.42	Minimum کمینه
0.45	0.51	0.48	Maximum بیشینه
0.39	0.47	0.44	Mean میانگین
0.06	0.03	0.02	Std. Deviation انحراف معیار
15.4	6.4	4.5	CV% درصد ضریب تغییرات

جدول ۴- نتایج آزمون تی جفتی مقایسه میانگین ضریب شکل واقعی با ضریب شکل‌های طبیعی و مصنوعی براساس طبقات قطری درختان صنوبر کبوده

Table 4. Results of pair sample t-test in comparison of the real form factor with the natural and artificial form factors based on the diameter classes of *P. alba* trees

معنی‌داری Sig.	آماره t t-Statistic	درجه آزادی df	انحراف معیار تفاوت‌ها Std. Deviation of differences	میانگین تفاوت‌ها Mean of differences	ضریب شکل‌های مقایسه‌شده Compared form factors
0.000**	-7.8	10	0.012	-0.03	واقعی با طبیعی f_r vs. $f_{0.1}$
0.000**	6.8	10	0.024	0.05	واقعی با مصنوعی f_r vs. $f_{1.3}$
0.000**	9.1	10	0.029	0.08	طبیعی با مصنوعی $f_{0.1}$ vs. $f_{1.3}$

**, Significant difference at $p < 0.01$

** تفاوت معنی‌دار در سطح خطای ۱ درصد

جدول ۵- نتایج آزمون تی جفتی مقایسه مقادیر متناظر قطرهای اندازه‌گیری‌شده ۱۳ درخت صنوبر قطع شده به وسیله دو دستگاه کالیپر و لایکا

Table 5. Results of pair sample t-test in comparison of the corresponding diameters of 13 felled poplar trees measured by two devices: caliper and Leica

معنی‌داری Sig.	آماره t t-Statistic	درجه آزادی df	انحراف معیار تفاوت‌ها Std. Deviation of differences	میانگین تفاوت‌ها Mean of differences	جفت داده‌ها Paired data
0.051 ^{ns}	2.009	61	0.632	0.161	لایکا- کالیپر Leica- caliper

^{ns}: non-significant difference

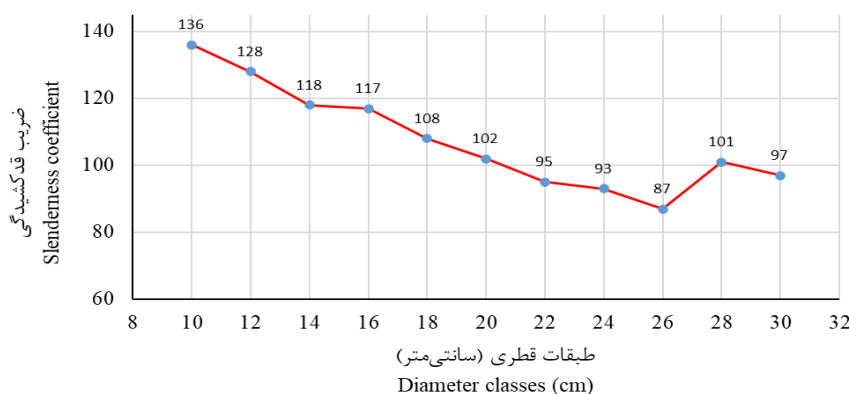
^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار

چهارمحال و بختیاری در همه طبقات قطری بررسی شده حالت ناپایدار دارند. در طبقات قطری کم، ضریب قدکشیدگی بسیار زیاد است و درختان حالت ناپایداری شدید دارند. کمترین ضریب قدکشیدگی (۸۷) در طبقه قطری ۲۶ سانتی‌متر مشاهده شد.

با توجه به ستون معنی‌داری جدول ۵ ($\text{Sig.} = 0.051$) تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده قطرهای متناظر بین دو دستگاه کالیپر و لایکا معنی‌دار نیست ($p > 0.05$). به عبارت دیگر دو دستگاه برای اندازه‌گیری قطر یکسان عمل می‌کنند.

ضریب قدکشیدگی

براساس شکل ۶، صنوبرکاری‌های استان



شکل ۶- میانگین ضریب قدکشیدگی درختان صنوبر کبوده در طبقات قطری مختلف

Figure 6. The mean slenderness coefficient of *P. alba* trees in different diameter classes

بحث

محاسبه ضریب شکل درختان و تعیین حجم چوب درخت با استفاده از روش غیرمخرب برای مدیریت بازار خرید و فروش صنوبر بسیار مهم است. تاکنون تحقیقی درباره تعیین ضریب شکل و حجم درختان با استفاده از روش غیرمخرب و اندازه گیری قطر تنه درختان در ارتفاعات بالاتر از برابرسینه به صورت سرپا در داخل کشور انجام نگرفته است. ضریب شکل، یک نسبت عددی است که حجم تنه درخت را با حجم یک شکل هندسی (به طور معمول یک استوانه) مقایسه می کند. در داخل کشور از ضریب شکل ۰/۵ برای همه گونه های صنوبر و در همه رویشگاه ها استفاده می شود، اما تنوع در شکل و اندازه درختان سبب برآورد نادرست حجم می شود. ضریب شکل واقعی درختان، در تعیین موجودی حجمی دقیق وضعیت صنوبرکاری ها، تعیین درجه مرغوبیت رویشگاه (Site index) و نیز در برنامه ریزی و اجرای عملیات پرورشی کاربرد دارد. با استفاده از این ضریب می توان شکل یا شاخص های هندسی ساقه درختان یک گونه را در رویشگاه های مختلف مقایسه کرد (Amini et al., 2007). دقت ضریب شکل ها با یکدیگر برابر نیست و برای دستیابی به حجم واقعی یک درخت نمی توان از هر ضریب شکلی استفاده کرد. در تحقیق حاضر میانگین ضریب شکل واقعی، طبیعی و مصنوعی تنه درختان صنوبر کبوده در استان چهارمحال و بختیاری به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۳۹ به دست آمد. به منظور تعیین بهترین ضریب شکل جایگزین برای ضریب شکل واقعی در طبقات قطری مختلف، هر یک از ضریب شکل های طبیعی و مصنوعی با ضریب شکل واقعی با استفاده از آزمون تی جفتی مقایسه شدند. با توجه به معنی دار شدن تفاوت بین میانگین ضریب شکل واقعی با دو ضریب شکل طبیعی و مصنوعی می توان گفت هیچ کدام از دو ضریب شکل محاسبه شده، قابلیت جایگزینی با ضریب شکل واقعی را در استان چهارمحال و بختیاری ندارند که این نتیجه با یافته های Kalantari et al.

(2012) و Ostakh et al. (2017) همخوانی دارد، ولی با یافته های Eslamdoust et al. (2015) همخوانی ندارد. از دلایل تفاوت نتایج می توان به متفاوت بودن گونه های درختی بررسی شده و همچنین ویژگی های منطقه درختان اشاره کرد. همچنین در مورد ضریب شکل مصنوعی که با ضریب شکل واقعی اختلاف معنی داری دارد، می توان استدلال کرد که ضریب شکل مصنوعی بیشتر مربوط به درختان سوزنی برگ و پهن برگ جوان است، ولی کاربرد مناسب و اطمینان بخشی برای درختان بدون تاج بزرگ و گسترده مانند صنوبر ندارد. Ostakh et al. (2017) نتیجه گرفتند که بین ضریب شکل واقعی ۰/۵۲ و سه ضریب شکل دیگر (طبیعی، مصنوعی و هوه نادل) برای گونه کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) تفاوت معنی دار آماری وجود دارد و در نتیجه هیچ کدام قابلیت جایگزینی با ضریب شکل واقعی را ندارند. نتایج مقایسه ضریب شکل های واقعی، طبیعی، مصنوعی و هوه نادل توسط Naghavi Jorshari et al. (2019) نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین میانگین ضریب شکل واقعی با دیگر ضرایب محاسبه شده در درختان راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل های استان گیلان وجود دارد که با نتایج تحقیق حاضر با وجود تفاوت در نوع گونه مطابقت دارد. Jahani et al. (2014) نیز در تعیین معادله ضریب شکل تنه مناسب برای صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* Marsh) در ایستگاه تحقیقات البرز کرج نتیجه گرفتند که به جز ضریب شکل مصنوعی درخت، بقیه ضریب شکل ها تفاوت معنی داری با ضریب شکل واقعی درخت ندارند. آنها ضریب شکل واقعی تنه برای صنوبر دلتوئیدس را ۰/۵۰۲۸ به دست آوردند. Eslamdoust et al. (2015) با بررسی ضریب شکل دو گونه صنوبر و دارتالاب بیان کردند که هیچ یک از ضریب شکل های طبیعی، مصنوعی و هوه نادل با ضریب شکل واقعی اختلاف معنی داری ندارند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد، زیرا قابلیت جایگزینی انواع ضریب شکل به جای ضریب شکل واقعی

با توجه به نوع گونه، ویژگی‌های ژنتیکی، فواصل کاشت، تراکم و ساختار توده، سن و نوع رویشگاه متفاوت است (Oluwajuwon et al., 2025).

محاسبه ضریب قدکشیدگی می‌تواند در شناسایی وضعیت موجود و اعمال عملیات پرورشی در توده مؤثر باشد. در طبقات قطری کم به دلیل تراکم (تعداد در هکتار) بیشتر و در نتیجه وجود رقابت نوری شدید، ضریب قدکشیدگی زیاد است و درختان به اصطلاح نخ‌هستند و حالت ناپایدار دارند. به طور کلی این ضریب در سنین ابتدایی درخت بیشتر است، ولی با افزایش سن و ابعاد درخت رو به کاهش می‌گذارد. از ضریب قدکشیدگی درخت به منزله شاخص مقاومت در برابر بادافتادگی و برف (Wang et al., 1998) و شاخص رقابت (Ilomaki et al., 2003) استفاده زیادی می‌شود. درختان دارای ضریب قدکشیدگی کمتر از ۸۰ پایدارند و در صورت داشتن ضریب بیشتر از ۸۰ وضعیت ناپایدار دارند که البته این رقم برای گونه‌های مختلف متفاوت است (Akhavan & Namiranian, 2007). بنابراین براساس شکل ۶، صنوبرکاری‌های استان چهارمحال و بختیاری در همه طبقات قطری بررسی شده حالت ناپایدار دارند. این موضوع به دلیل فاصله کاشت کم، تراکم زیاد درختان، رقابت نوری زیاد و افزایش ارتفاع درختان و تناسب نداشتن آن با افزایش قطر برابرسینه است. زیاد بودن ضریب قدکشیدگی درختان نشان می‌دهد که توده‌ها نیاز به تنک کردن و کاهش تراکم دارند تا رقابت نوری که سبب افزایش ارتفاع بدون افزایش متناسب قطر تنه می‌شود، کاهش پیدا کند و درختان قطر بیشتری ایجاد کنند تا ارزش افزوده آنها افزایش یابد.

تعیین موجودی حجمی دقیق صنوبرکاری‌های استان چهارمحال و بختیاری، زمینه مناسبی را برای 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 نزدیکی عرصه‌های تولید صنوبر و اطلاع از وضعیت دقیق حجم چوب سرپا سبب افزایش سود می‌شود که خود عاملی برای توسعه کاشت صنوبر است.

با توجه به اینکه نتایج این تحقیق نشان داد که اندازه‌گیری قطر در ارتفاعات بالای تنه درختان صنوبر با استفاده از دستگاه لایکا به صورت سرپا و غیرمخرب تفاوت معنی‌داری با قطرهای اندازه‌گیری شده با دستگاه کالیپر در روش قطع درختان ندارد (جدول ۵)، استفاده از دستگاه لیزری لایکا مدل D810 به منظور اندازه‌گیری قطر تنه درختان صنوبر در ارتفاعات بالاتر از برابرسینه در صنوبرکاری‌ها توصیه می‌شود.

در راستای برنامه راهبردی زراعت چوب ضروری است که پروژه‌های مکمل زراعت چوب برای استان چهارمحال و بختیاری تعریف شود و تحقیقات مربوط تا تبدیل آن به یک بسته ترویجی قابل اجرا برای توسعه تولید چوب ادامه یابد. دولت می‌تواند با در اختیار گذاشتن زمین مناسب برای سرمایه‌گذاران، صنایع چوب و پالت‌سازان در نواحی صنعتی یا کارگاه‌های کوچک فعال، سهم اشتغال استان را تنها با حمایت از این صنعت چندبرابر افزایش دهد. بنابراین حمایت از آنها به عنوان منبع بزرگ اشتغال و اقتصاد هر شهرستان رویکردی الزامی و بدون در نظر گرفتن محدودیت است.

چوب محصولی راهبردی است که سبب راه‌اندازی و فعالیت بسیاری از صنایع مرتبط می‌شود و برنامه‌ریزی برای تولید دائمی آن از اولویت‌های اصلی ارگان‌های اجرایی کشور است. نتایج این پژوهش برای تعیین حجم دقیق صنوبرکاری‌ها با استفاده از روش غیرمخرب و سپس مدیریت و برنامه‌ریزی برای توسعه زراعت چوب در سطح کلان بسیار کاربردی است.

سپاسگزاری

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.

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم (INSF) برگرفته از طرح شماره ۴۰۵۱۴۴ انجام گرفته است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از

References

- Adekunle, V.A.J., Nair, K.N., Srivastava, A.K., & Singh, N.K. (2013). Models and form factors for stand volume estimation in natural forest ecosystems: a case study of Katarniaghat Wildlife Sanctuary (KGWS), Bahraich District, India. *Journal of Forestry Research*, 24(2), 217-226. <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0347-8>
- 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. <https://doi.org/10.22034/ijf.2022.326113.1842>. (In Persian)
- Akhavan, R., & Namiranian, M. (2007). Slenderness coefficient of five major tree species in the Hyrcanian forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(2), 165-180. (In Persian)
- Amini, M., Namiranian, M., Sagheb-Talebi, Kh., Parsapajouh, D., & Amini, R. (2007). Trunk morphology of beech trees (*Fagus orientalis* Lipsky) on biometrical and silvicultural criteria (Case study: Haftkhal Forest, Sari, north of Iran). *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(3), 843-858. (In Persian)
- Ardelina, A., Tiryana, T., & Muhdin, D. (2015). Volume model of sengon tree to evaluate the profit loss for community forest's farmer. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 12(2), 131-139. <https://doi.org/10.20886/jpht.2015.12.2.131-139>
- Burkhardt, H.E., & Tomé, M. (2012). *Modeling forest trees and stands*. Springer Science+Business Media Dordrecht, Dordrecht. 458p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3170-9>
- 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. <https://doi.org/10.3390/sym13030374>
- Colgan, M.S., Swemmer, T., & Asner, G.P. (2014). Structural relationships between form factor, wood density and biomass in African savanna woodlands. *Trees*, 28(1), 91-102. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0932-7>
- Eastaugh, C.S. (2014). Relationships between the mean trees by basal area and by volume: reconciling Form factors in the classic Bavarian yield and volume tables for Norway spruce. *European journal of forest research*, 133(5), 871-877. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0804-8>
- Eslamdoust, J., Sohrabi, H., Hosseini, M., & Moradi, Z. (2015). Assessment of different methods of form factor determination for volume estimation of planted *Populus deltoides* and *Taxodium distichum* trees (Klodeh region- Mazandaran province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4(12), 67-76. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijae.4.12.67>. (In Persian)
- 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)
- 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. <https://doi.org/10.2989/20702620.2015.1108617>
- Ilomaki, S., Nikinmaa, E., & Makela, A. (2003). Crown rise due to competition drives biomass allocation in silver birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(12), 2395-2404. <https://doi.org/10.1139/x03-164>

- 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. <https://doi.org/10.22092/IJFPR.2014.10667>. (In Persian)
- Kalantari, H., Fallah, A., Hodjati, S.M., & Parsakhoo, A. (2012). Determination of the most appropriate form factor equation for *Cupressus sempervirence* L. var *horizontalis* in the north of Iran. *Pelagia Research Library*, 3(2), 644-648.
- Mohammadi, J., Masoudi, N., & Mohammad Ali Pormalekshah, A.A. (2021). Determination of form factor for three for Paulownia trees (*Paulownia fortune*) in the Dr.Bahramnia forests plan of Gorgan. *Ecology of Iranian Forests*, 8(16), 10-19. <https://doi.org/10.52547/ifej.8.16.10>. (In Persian)
- Naghavi Jorshari, F., bonyad, A., Taheri Abkenar, K., & Pourbabaei, H. (2019). Modeling form factor of *Fagus orientalis* trees using nonlinear regressions in the Caspian forests of Guilan Province. *Iranian Journal of Forest*, 11(3), 325-334. (In Persian)
- Namiranian, M. (2006). *Measurement of tree and forest biometry*. University of Tehran Press, Tehran. 574p (In Persian)
- Oluwajuwon, T.V., Ogbuka, C.E., Ogana, F.N., Hossain, M.S., Israel, R., & Lee, D.J. (2025). Describing and modelling stem form of tropical tree species with form factor: a comprehensive review. *Forests*, 16(1), 29. <https://doi.org/10.3390/f16010029>
- Ostakh, E., Soosani, J., Pilehvar, B., Khosravi, M., Poursartip, L., & Hedayati, S. (2017). The best form factor formula for *Pinus brutia* Ten. in Khorramabad city. *Forest and Wood Products*, 70(3), 461-468. <https://doi.org/10.22059/jfwp.2017.214146.772>. (In Persian)
- Shrestha, H.L., Kafle, M.R., Khanal, K., Mandal, R.A., & Khanal, K. (2018). Developing local volume tables for three important tree species in Nawalparasi and Kapilvastu districts. *Banko Janakari*, 27(3), 84-91. <https://doi.org/10.3126/banko.v27i3.20552>
- Socha, J., & Kulej, M. (2007). Variation of the tree form factor and taper in European larch of Polish provenances tested under conditions of the Beskid Sądecki mountain range (southern Poland). *Journal of Forest Science*, 53(12), 538-547. <https://doi.org/10.17221/2168-JFS>
- Statistical Center of Iran. (2022). *Data and statistical information*. The Statistical Yearbook, Publications of Management and Planning Organization of Chaharmahal and Bakhtiari province, Shahrekord, 52p. (In Persian)
- Subedi, T., Bhandari, S.K., Pandey, N., Prasad Timilsina, Y., & Mahatara, D. (2021). Form factor and volume equations for individual trees of *Shorea robusta* in Western low land of Nepal. *Austrian Journal of Forest Science*, 138(3), 143-166.
- 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.
- Wang, Y., Titus, S.J., & LeMay, V.M. (1998). Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixed wood forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 1171-1183. <https://doi.org/10.1139/x98-092>
- Zobeiri, M. (2006). *Forest Inventory*, University of Tehran Press, Tehran. Fifth edition, 401p. (In Persian)



Determination of stem form factor of white poplar (*Populus alba* L.) using a non-destructive sampling in the Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran

R. Akhavan¹, F. Ahmadloo^{2*}, and M. Talebi³

¹Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

²Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

³Senior Research Expert, Research Division of Natural Resources, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, I.R. Iran

(Received: 11 January 2025; Accepted: 16 March 2025)

Abstract

Introduction: Estimating the volume stock of poplar plantations plays an important role in understanding the current status and sustainable management of these resources in order to planning production and improve management decisions for the development of wood farming in the Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran. The stem form factor is one of the most important characteristics for determining the exact volume of trees. The aim of this research is to determine the stem real form factor for white poplar (*Populus alba* L.) and compare it with the natural and artificial form factors.

Material and Methods: To conduct this research, initially, the major poplar plantation stands were identified in the province by field surveys. Then, in 10 different stands of poplar plantation with white poplar species, a total of 67 trees were selected using stratified random sampling method based on diameter classes from 10 to 30 cm. After selecting the sample trees, their diameter at breast height, 0.1 height and mid-height and total height, as well as the location of 2-m sections from the stem collar upward, along the stem, were determined and measured using a Leica D810 laser-based device, without tree felling. Then, the real volume of each tree stem was obtained from the sum of the volume of 2- m logs using the Smalian's formula to be used in calculating various stem form factors. To check for a significant difference between the stem real form factor with the other two form factors (natural and artificial), a paired t-test was used.

Results: The results indicated that the real, natural and artificial stem form factors of white poplar in this province were 0.44, 0.47 and 0.39, respectively. Furthermore, the results of the paired t-test showed that there was a significant difference at the 99% confidence level between the form factors of artificial and natural with real. Also, based on the calculated slenderness coefficient, the studied poplar plantations were unstable in all diameter classes.

Conclusion: According to the results of this study, it can be concluded that the natural and artificial form factors cannot be used as a substitute for the real form factor for white poplar species in this province. The findings of this research can provide valuable basic information for determining the exact standing and saleable volume of each poplar tree, planning and management decisions in wood farming and related industries development in Chaharmahal and Bakhtiari province.

Keywords: Diameter class, Form factor, Slenderness coefficient, Wood farming.

*Corresponding author

Tel: +98 9184337459

Email: fatemeh_ahmadloo@yahoo.com