دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

بررسی مدل‌های قطر و ارتفاع گونه راش در جنگل ناهمسال شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل فریم)

سیده کوثر حمیدی[۱]، اصغر فلاح[۲]، محمود بیات[۳] و سید علی حسینی یکانی[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: k.hamidi86@yahoo.com)
۲- استاد، گروه جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۲
صفحه: ۳۰ تا ۴۰

چکیده

مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع درختان، از مهم‌ترین مولفه‌های مورد بررسی در آماربرداری جنگل هستند. اندازه‌گیری قطر درختان نسبت به ارتفاع درختان ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است، از این‌رو از معادلاتی برای پیش‌بینی ارتفاع از روی قطر درختان استفاده می‌شود. در پژوهش پیش‌رو قابلیت به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر- ارتفاع برای برآورد ارتفاع درختان راش (*Fagus Oriantalis* Lipsky) در توده ناهمسال و آمیخته جنگل فریم بخش جوجاده بررسی شد. در این مطالعه از روش نمونه‌برداری منظم تصادفی با ابعاد شبکه آماربرداری ۲۰۰× ۱۵۰متر و مساحت ۱۰ آر استفاده و از داده‌های قطر و ارتفاع قطورترین و نزدیکترین درخت به مرکز قطعه نمونه، ٦٩٠ پایه درخت راش از ۳٤٥ قطعه نمونه دایره‌ای شکل انتخاب گردید. در این پژوهش ۷۰ درصد از داده‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل‌های برآوردی استفاده شد. با استفاده از ۲۰ مدل رگرسیونی غیرخطی که شامل ۱۱ مدل دو پارامتری و ۹ مدل سه پارامتری است، ارتباط بین ارتفاع به‌عنوان متغیر وابسته و قطر به‌عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد و به‌منظور ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل با استفاده از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی اعتبار مدل‌های آماری ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نتایج معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با هم نداشتند. مدل کورف، راتکوفسکی، نسلند و وایبول با مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ٤/١٧، ٤/١٩، ٤/٢١ و ٤/٢٣ و اریبی به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۳۸-، ۰/۵۵- و ۰/۱- توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان راش با دقت مناسب دارند. با توجه به شرایط منطقه از این مدل‌ها می‌توان در برآورد ارتفاع درختان راش در جنگل پهن‌برگ و آمیخته شمال ایران استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری، رگرسیون غیرخطی، مدل قطر – ارتفاع، مدل‌سازی

مقدمه

جنگل‌های هیرکانی به‌عنوان تنها جنگل‌های تجاری ایران جز کامل‌ترین جوامع زیستی به‌حساب می‌آیند که در میان تمام اکوسیستم‌های طبیعی دارای بیشترین قابلیت خودتنظیمی و خودتجدیدی است و می‌تواند به‌عنوان نقطه شروعی برای تلاش درباره حفظ تعادل بوم‌شناختی در طبیعت در نظر گرفته شود، حتی به‌عنوان یک الگوی غیر قابل جایگزین در علوم جنگل برای روش‌های مختف جنگل‌شناسی محسوب می‌شود (۲۰). با توجه به رویکرد جدید مدیریت جنگل‌های هیرکانی در سال‌های اخیر بر اساس اهداف جنگلداری چند منظوره، مدیران برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رویش و محصول در راستای مدیریت پایدار این منابع، به روابط قطر– ارتفاع دقیق نیاز دارند، بنابراین مدل‌های قطر– ارتفاع برای درک بهتر روابط مختلف در طبیعت، توصیف و بررسی تفاوت‌ها و تاثیرگذاری در توسعه اکوسیستم‌های جنگلی ضروری هستند (۳۵،۲۴) و دقت این مدل‌ها برای تهیه جداول حجم دقیق و پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر مدل‌های رویش و محصول بسیار مهم است (۲۳). به‌همین دلیل مدیران جنگل برای برآورد ارتفاع صحیح و دقیق درختان، نیازمند آگاهی از رابطه صحیح بین قطر و ارتفاع درختان هستند و برای برآورد ارتفاع کل از مدل‌های ارتفاع و قطر برابرسینه استفاده می‌کنند. از طرفی گونه راش بومی جنگل‌های شمال ایران و جز مهم‌ترین و با ارزش‌ترین گونه‌های تجاری شمال محسوب می‌شود، به‌طوری که این گونه حدود ۱۷/۵ درصد سطح و ۳۰ درصد حجم جنگل‌های شمال ایران را به‌خود اختصاص داده است (۹). بررسی ویژگی‌های کمی و ساختاری این درختان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند اطلاعات با ارزشی را برای آیندگان ارائه نماید. مدل‌های مختلفی از رابطه ارتفاع و قطر وجود دارد مانند نسلند، چپمن- ریچاردز، کورف، وایبول، پرودان، راتکوفسکی و غیره که در منابع مختلفی نیز استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به‌موارد زیر اشاره داشت. احمدی و همکاران (۱) در مطالعه‌ای از نوزده مدل غیرخطی ارتفاع و قطر برای داده‌های گونه راش در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس واقع در صلاح‌الدین‌کلا استفاده کردند. با در نظر گرفتن نتایج مشخصه‌های آماری مدل‌ها، مدل‌های چپمن–ریچاردز، اسنوت، وایبول عملکرد قابل قبول‌تری داشتند که از بین آنها مدل چپمن–ریچاردز با توجه به کارائی بهتر در مقایسه با دو مدل دیگر، به‌عنوان مدل نهایی برای پیش‌بینی ارتفاع درخت راش در منطقه تحقیق پیشنهاد شد. بیات و همکاران (۵) از مدل‌های قطر و ارتفاع برای برآورد ارتفاع درختان راش در جنگل آموزشی پژوهشی خیرود در بخش گرازبن استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان‌داد که مدل پرودان نسبت به مدل‌های دیگر نتایج قابل قبول‌تری را

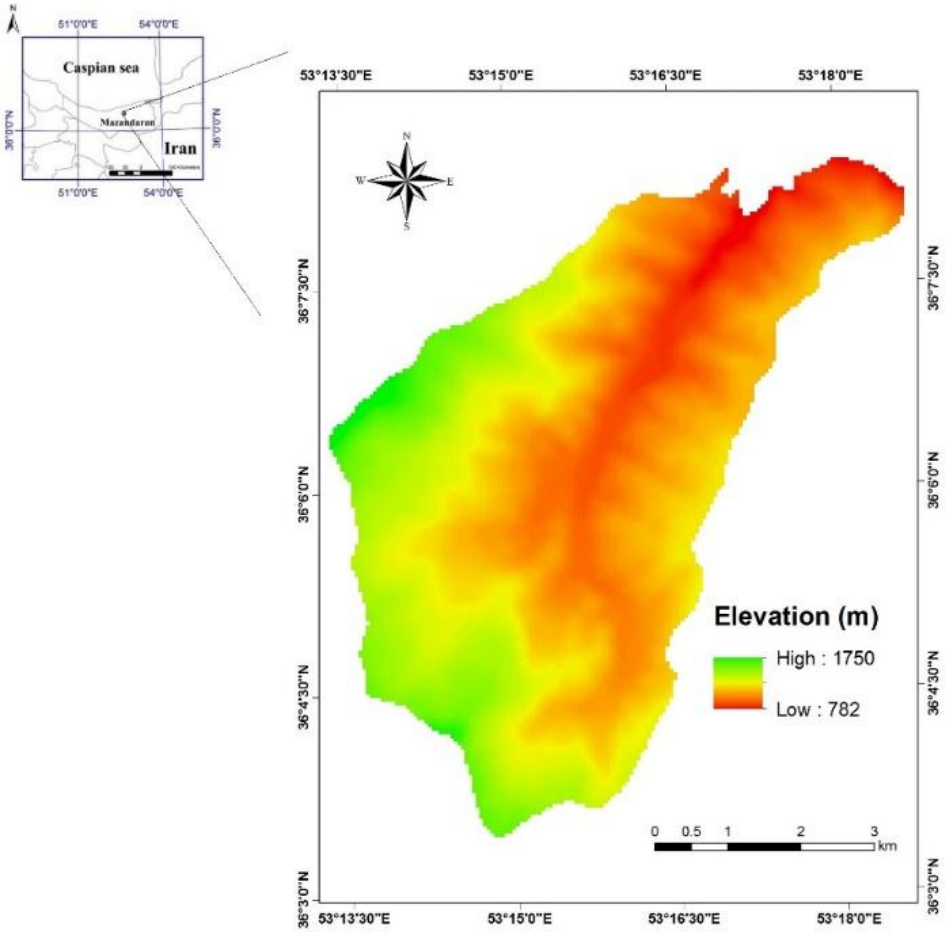
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

نشان می‌دهد. محمدی و شتایی (۱۹)، در پژوهشی قابلیت به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر و ارتفاع برای برآورد دقیق ارتفاع درختان ممرز در توده‌های ناهمسال آمیخته نامنظم در بخشی از سری‌های یک و دو جنگل شصت‌کلاته گرگان ارزیابی کردند. با استفاده از ۱۸ مدل رگرسیونی غیرخطی، ارتباط بین ارتفاع به‌عنوان متغیر وابسته و قطر برابرسینه به‌عنوان متغیر مستقل بررسی شد. نتایج نشان‌داد چهار مدل رگرسیونی غیرخطی هایپربولیک، راتکوفسکی، چاپمن ریچارد و وایبول با درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۱۲/۹۱، ۱۲/۹۲، ۱۳/۰۱ و ۱۳/۰۱ درصد نتایج مشابه و نزدیک به‌هم‌بوده و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان ممرز داشتند. عالمی و همکاران (۲) در ارزیابی مدل‌های غیرخطی قطر- ارتفاع گونه توسکا در جنگل‌های هیرکانی رضاییان به‌این نتیجه دست یافتند که معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل‌های مختلف و مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود نداشت. همچنین پنج مدل رگرسیونی غیرخطی هندسی، هندسی ۲، هایپربولیک ۳، مورگان- مرسر- فلودین و لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۸۸ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۷/۸۱، ۷/۸۶، ۷/۸۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۲ درصد، نتایج مشابه و نزدیک به‌هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان جنگلی با دقت مناسب داشتند. ازل و همکاران (۲۲)، رابطه قطر و ارتفاع گونه راش شرقی را بررسی و مدل چپمن-ریچاردز، را به‌عنوان مدل مناسب معرفی کردند. کاستانو و همکاران (۶)، روش‌های برآورد ارتفاع توده‌های ناهمسال شمال غرب اسپانیا را بررسی و تجزیه و تحلیل کردند و نتایج به‌دست آمده از تحقیق آنها نشان‌داد که مدل‌های با اثرات آمیخته، میزان میانگین مجذور مربعات خطا را در حدود ۲۲ درصد نسبت به مدل‌های غیرخطی کاهش داده‌اند. ژانگ و همکاران (۴۰)، شش مدل غیرخطی را برای رابطه قطر- ارتفاع درختان در جنگل‌های شمال غرب ایالات متحده آمریکا برازش دادند و نتایج مطالعه نشان داد که مدل وایبول بهتر توانسته ارتفاع درخت را برآورد کند. تمسژن و همکاران (۳۷)، مدل‌های قطر و ارتفاع را در جنگل آمیخته شمال‌شرق چین بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده از تحقیق نشان داد که میانگین مجذور خطای مدل‌های استفاده شده، بین دو تا چهار متر بود. لوری مهتتالو و همکاران (۱۶)، در این مطالعه برای برآورد ارتفاع درختان از مدل‌های قطر و ارتفاع مختلف که طیف گسترده‌ای از گونه‌های درخت را شامل می‌شد، استفاده گردید. مجموعه داده‌هایی از اروپا، آسیا، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی انتخاب شد. در حدود ۱۲۶ هزار درخت از ۳۷۱۷ قطعه نمونه انتخاب و نتایج این تحقیق نشان داد که مدل کورتیس و نوسلند برای این داده‌ها نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. آناکیکو و همکاران (۳) این مطالعه با هدف بررسی رابطه قطر و ارتفاع برای گونه *Alnus Japonica* در فیلیپین انجام شده است. شش مدل غیرخطی که در این مطالعه انتخاب شدند، عبارتست چپمن-ریچاردز، اسنوت، لجستیک اصلاح شده، کورف و وایبول نتایج نشان داد که هر شش مدل قادر به تعیین رابطه قطر و ارتفاع بودند و داده ها را به خوبی برآورد کردند. با استفاده از تجزیه و تحلیل رتبه ای، مدل وایبول دارای بهترین عملکرد در میان شش مدل غیرخطی داشته است. چای و همکاران (۷) ۱۶ مدل قطر-ارتفاع غیرخطی تعمیم‌یافته را برای یک درختان *Cryptomeria fortunei* در منطقه Pingba استان Guizhou، چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های چپمن-ریچاردز، وایبول و نوسلند به دلیل پیش‌بینی‌های رضایت‌بخش و تفسیرپذیری زیستی بهتر، برای کاشت گونه‌ی *Cryptomeria fortunei* توصیه می‌شود. جمع‌بندی و بررسی منابع موجود در مورد برازش مدل‌های مختلف قطر- ارتفاع نشان می‌دهد که نتایج با توجه به مناطق مورد مطالعه و توده‌های جنگلی مورد بررسی متفاوت بوده است. این مدل‌ها در رویشگاه‌ها و گونه‌های مختلف و حتی در موقعیت‌های متفاوت از جمله تراکم توده و موقعیت نسبی درختان ثابت نیستند. این مدل‌ها ابزاری برای اهداف مدیریتی در جنگل ناهمسال و پهن‌برگ هستند و استفاده از آنها امروزه رواج بیشتری دارد. با توجه به موارد گفته شده، هدف از این پژوهش به‌کارگیری مدل‌های مختلف قطر- ارتفاع و انتخاب بهترین مدل برای یکی از گونه‌های مهم و اقتصادی جنگل هیرکانی یعنی درخت راش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی در بخش جوجاده با مساحت ۳۵۵۰/۲ هکتار، یکی از پنج بخش تحت پوشش طرح جنگلداری توسعه و عمران در استان مازندران منطقه فریم است که در جنوب شهرستان ساری و در دامنه و امتداد شمالی سلسله جبال البرز، در منطقه دودانگه واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا۷۸۲ متر و حداکثر آن ۱۷۵۰ متر است. اقلیم منطقه در طبقه مرطوب جنگلی و شرایط آب و هوایی مطلوب نشان از گذر اقلیم‌های مدیترانه‌ای از غرب و سیبری و خزری از شمال به منطقه طرح دارد. میزان بارندگی سالانه بر اساس داده‌های آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه (میانگین ۲۸ ساله)، میانگین بارش سالانه را ۸۳۲/۹ میلی‌متر نشان می‌دهد. همچنین درجه حرارت متوسط سالانه ۱۱/۲ سانتی‌گراد است (۴). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure1. Location of the study area

روش مطالعه

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات به‌کمک یک شبکه آماربرداری (مربع‌مستطیل ۲۰۰× ۱۵۰متر) الگوی اجرایی کشور (۴۱)، با شروع تصادفی تعداد ۳۴۵ قطعه نمونه دائمی دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور منظم در سطح بخش پیاده شدند. از آنجا که هدف این پژوهش، بررسی رابطه قطر برابرسینه و ارتفاع گونه راش بوده است، تعداد ۶۹۰ درخت راش (قطورترین و نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه نمونه) که قطر بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر داشتند در منطقه بررسی و در قطعات نمونه اندازه‌گیری شدند. در پژوهش پیش‌رو به‌منظور ارزیابی و برازش مدل‌ها، ۳۰ درصد از داده‌ها به‌طور تصادفی انتخاب شدند و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی از کلیه تجزیه و تحلیل کنار گذاشته شدند (۱۶)، بر این اساس۴۸۰ پایه از درختان راش به‌منظور مدل‌سازی و ۲۱۰ پایه برای اعتبارسنجی ارائه شده است. مدل‌های بسیاری برای بررسی رابطه قطر و ارتفاع درختان توسعه یافته است، که در این مطالعه از ۲۰ مدل غیرخطی استفاده شد که مدل‌های ۱ تا ۱۱ دو پارامتری و مدل‌های ۱۲ تا ۲۰ سه پارامتری هستند (جدول ۱).

برآورد پارامترها و مقایسه مدل‌ها

بیست مدل قطر و ارتفاع با استفاده از رگرسیون غیرخطی و روش حداقل مربعات در نرم‌افزار R برازش داده شد. به‌منظور ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل با استفاده از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و اریبی (BIAS) اعتبار مدل‌های آماری ارزیابی شد (۱۳،۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(est_i - obs_i)^2}{n}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(est_i - obs_i)}{n} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

جدول ۱- مدل‌های قطر و ارتفاع مورد استفاده در پژوهش

Table 1. Diameter and height models used in the study

شماره	مدل	عبارت جبری	منبع
۱	Naslund	$H = 1.3 + \frac{d^2}{(a+bd)^2}$	Naslund (21), Peschel (26)
۲	Curtis	$H = 1.3 + a\left(\frac{d}{1+d}\right)^b$	Curtis (8)
۳	Michailoff	$H = 1.3 + ae^{-bd^{-1}}$	Schumacher (31), Michailoff (18), Curtis (8)
۴	Meyer	$H = 1.3 + a(1- e^{-bd})$	Meyer (18), Curtis (8)
۵	Power	$H= 1.3 + ad^b$	Stoffels and van Soest (36)
۶	Naslund2	$H = 1.3 + \frac{d^2}{(a+e^b d)^2}$	Mehtatalo (16)
۷	Naslund3	$H = 1.3 + \frac{d^2}{(e^a+bd)^2}$	Mehtatalo (15)
۸	Naslund4	$H = 1.3 + \frac{d^2}{(e^a+e^b d)^2}$	Mehtatalo (14) and Mehtatalo (15)
۹	Michaelis-Menten	$H = 1.3 + \left(\frac{ad}{b+d}\right)$	Menten and Michaelis (15), Huang et al. (11)
۱۰	Michaelis-Menten2	$H = 1.3 + \left(\frac{d}{a+b*d}\right)$	Michaelis and Menten(18) and Mehtatalo, (16)
۱۱	Wykoff	$H= 1.3 + e^{(a+(b/d+1))}$	Wykoff et al. (39)
۱۲	Prodan	$H= 1.3 + \left(\frac{d^2}{a+bd+cd^2}\right)$	Curtis (8) and Prodan, (27)
۱۳	Logistic	$H= 1.3 + \left(\frac{a}{1+be^{-cd}}\right)$	Pearl and Reed (25), Huang et al. (11)
۱۴	Chapman-Richards	$H= 1.3 + a(1-e^{-bd})^c$	Richards (29), Huang et al. (11)
۱۵	Weibull	$H= 1.3 + a(1- e^{-bd^c})$	Weibull (38), Huang et al. (11)
۱۶	Gomperz	$H= 1.3 + a\exp^{(-b\exp(-cd))}$	Gomperz (10), Huang et al. (11)
۱۷	Sibbesen	$H= 1.3 + ad(bd)^{-c}$	Sibbesen (34), Huang et al. (11)
۱۸	Korf	$H= 1.3 + a\exp(-bd^{-c})$	Flewelling and de Jong (10)
۱۹	Ratkowsky	$H= 1.3 + a\exp(\frac{-b}{d+c})$	Ratkowsky (28), Huang et al. (11)
۲۰	Hossfeldiv	$H= 1.3 + \frac{a}{1+\frac{1}{bd^c}}$	Peschel (26)

a, b, c: ضرایب مدل، H: ارتفاع درخت، d: قطر برابر سینه

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی قطر برابرسینه و ارتفاع درختان راش منطقه

میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف از معیار قطر برابرسینه و ارتفاع درختان راش منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. بررسی آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع نشان می‌دهد که بین داده‌های به‌دست آمده از مدل و ارزیابی حاصل از داده‌های اصلی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان راش

Table 2. Descriptive statistics of diameter at breast height and height of beech trees

آماره‌های توصیفی	قطر برابر سینه (cm)			ارتفاع(m)		
	کل	مدل	ارزیابی	کل	مدل	ارزیابی
میانگین	۶۵	۲۵/۳۲	۲۶	۲۷	۲۶	۲۵/۳۲
کمینه	۱۲/۵	۷/۵۱	۸	۸	۸	۷/۵۱
بیشینه	۱۳۸	۳۸/۲۳	۴۰/۵	۴۰/۵	۴۰/۵	۳۸/۲۳
اشتباه معیار	۳/۷۲	۱/۲۸	۱/۴۵	۱/۶۱	۱/۴۵	۱/۲۸
تعداد	۶۹۰	۲۱۰	۴۸۰	۶۹۰	۴۸۰	۲۱۰

در جدول ۳ پارامترهای مدل به‌طور جداگانه برای مدل‌های دو و سه پارامتری ارائه شده است. مدل‌های استفاده شده ۶۱ تا ۶۸ درصد از تغییرات کل در ارتفاع درخت را توجیه می‌کند (جدول ۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی مدل های استفاده شده در مطالعه حاضر

Table 3. Regression coefficients of models used in the present study

شماره	مدل	ضرایب مدل		
		c	b	a
۱	Naslund	–	۰/۱۵	۲/۱۳
۲	Curtis	-	۱۷/۵۱	۳۸/۸۳
۳	Michailoff	-	۱۸/۰۵	۳۷/۴۹
۴	Meyer	-	۰/۰۱	۵۰/۹۶
۵	Power	-	۰/۴۷	۳/۷۰
۶	Naslund2	-	-۱/۸۶	۲/۱۳
۷	Naslund3	-	۰/۱۵	۰/۷۵
۸	Naslund4	-	-۱/۸۶	۰/۷۵
۹	Michaelis-Menten	-	۴۱/۶۲	۴۵/۳۹
۱۰	Michaelis-Menten2	-	۰/۰۲	۰/۹۱
۱۱	Wykoff	-	-۱۸/۰۵	۳/۶۲
۱۲	Prodan	۰/۰۲	۰/۵۲	۸/۴۳
۱۳	Logistic	۰/۰۱	۲/۶۵	۵۰/۹۶
۱۴	Chapman-Richards	۱/۲۷	۰/۰۴	۳۱/۷۷
۱۵	Weibull	۰/۶۵	۰/۰۵	۵۰/۹۶
۱۶	Gomperz	۰/۰۱	۱/۳۲	۵۰/۹۶
۱۷	Sibbesen	۰/۱۳	۱/۷۲	۰/۵
۱۸	Korf	۰/۶۱	۷/۴۵	۵۰/۹۶
۱۹	Ratkowsky	۵	۲۴/۶۳	۴۰/۲۷
۲۰	Hossfeldiv	۰/۸۸	۰/۰۳	۵۰/۹۶

نتایج برازش بیست مدل غیرخطی از جمله ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل‌یافته، مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) داده‌های مدل‌سازی و اعتبارسنجی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج ضریب تبیین R^2 و R^2_{adj} نشان می‌دهد که برای هر یک از مدل‌ها اختلاف چندانی دیده نمی‌شود. بیشترین مقدار را مدل ۱ و کمترین مقدار را مدل ۱۳ داشته‌اند. با توجه به نتایج بدست‌آمده مشخص شد که از مدل‌های دو پارامتره، مدل نسلند با مجذور میانگین مربعات خطا۴/۲۱ و اریبی ۰/۵۵- و از مدل‌های سه پارامتره، مدل کورف، راتکوفسکی و وایبول با مجذور میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۴/۱۷، ۴/۱۹ و ۴/۲۳ و درصد اریبی به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۳۸- و ۰/۱- بهتر توانسته‌اند مشخصه ارتفاع را برآورد کنند.

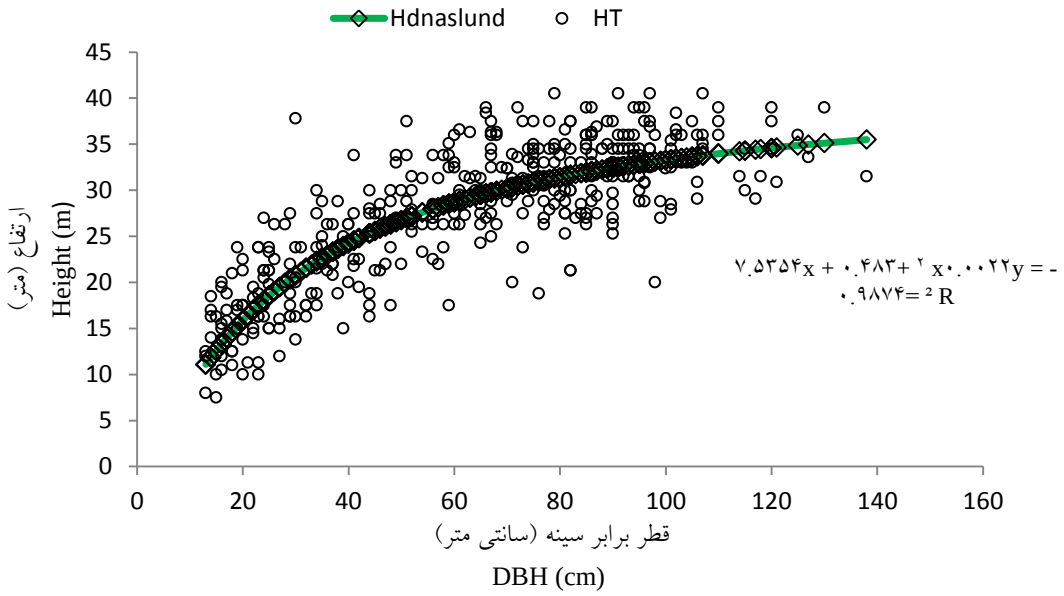
جدول ۴- مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل‌یافته، مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و AIC برای مدل‌سازی و اعتبارسنجی ۲۰ مدل غیرخطی

Table 4. Calculated values of determination coefficient, modified determination coefficient, RMSE, BIAS and AIC for modeling and validation of 20 nonlinear models

شماره	مدل	مدل‌سازی					اعتبارسنجی				
		R^2	R^2_{adj}	RMSE	BIAS	AIC	R^2	R^2_{adj}	RMSE	BIAS	AIC
۱	Naslund	۰/۶۸۱۱	۰/۶۸۰۲	۴/۲۱	-۰/۵۵	۲۳۵/۵۰	۰/۶۸۰۷	۰/۶۷۹۸	۴/۱۱	-۰/۵۰	۲۱۲/۴۱
۲	Curtis	۰/۶۷۳۷	۰/۶۷۲۹	۴/۳۲	۰/۹	۲۴۰/۱۴	۰/۶۷۳۲	۰/۶۷۳۰	۴/۲۱	۰/۶	۲۲۷/۲۱
۳	Michailoff	۰/۶۷۴۲	۰/۶۷۳۱	۴/۲۴	-۰/۴۱	۲۳۷/۶۲	۰/۶۷۵۴	۰/۶۷۵۱	۴/۱۵	-۰/۳۲	۲۱۷/۴۳
۴	Meyer	۰/۶۶۴۲	۰/۶۶۳۴	۵/۳۱	-۱/۵۵	۲۹۶/۷۳	۰/۶۶۷۳	۰/۶۶۶۱	۵/۲۰	-۱/۲۱	۲۲۷/۸۶
۵	Power	۰/۶۵۸۲	۰/۶۵۷۳	۴/۳۶	-۰/۳۵	۲۴۰/۵۲	۰/۶۵۴۸	۰/۶۵۴۳	۴/۲۲	-۰/۱۲	۲۲۸/۶۴
۶	Naslund2	۰/۶۸۱۱	۰/۶۸۰۲	۴/۲۱	-۰/۵۵	۲۳۵/۵۱	۰/۶۸۰۵	۰/۶۷۹۳	۴/۱۵	-۰/۵۲	۲۱۸/۱۲
۷	Naslund3	۰/۶۸۱۰	۰/۶۸۰۱	۴/۲۲	-۰/۵۶	۲۳۵/۵۳	۰/۶۸۰۴	۰/۶۷۹۱	۴/۱۶	-۰/۵۴	۲۱۹/۶۷
۸	Naslund4	۰/۶۸۱۱	۰/۶۸۰۲	۴/۲۲	-۰/۵۵	۲۳۵/۵۴	۰/۶۸۰۵	۰/۶۷۹۳	۴/۱۶	-۰/۵۶	۲۱۹/۶۷
۹	Michaelis-Menten	۰/۶۷۲۱	۰/۶۷۱۹	۴/۲۴	-۰/۷۷	۲۳۷/۴۰	۰/۶۷۲۳	۰/۶۷۳۰	۴/۲۰	-۰/۶۴	۲۲۷/۳۲
۱۰	Michaelis-Menten2	۰/۶۷۲۰	۰/۶۷۱۹	۴/۲۵	-۰/۷۶	۲۳۸/۴۲	۰/۶۷۲۳	۰/۶۷۳۰	۴/۱۵	-۰/۷۱	۲۱۸/۳۵
۱۱	Wykoff	۰/۶۷۴۱	۰/۶۷۳۹	۴/۴۹	-۱/۵	۲۵۴/۳۶	۰/۶۷۳۹	۰/۶۷۳۴	۴/۲۹	-۱/۶۲	۲۳۶/۳۶
۱۲	Prodan	۰/۶۷۱۹	۰/۶۷۰۹	۴/۲۶	-۰/۷۷	۲۳۹/۵۴	۰/۶۷۱۳	۰/۶۷۰۷	۴/۱۶	-۰/۶۲	۲۱۹/۳۳
۱۳	Logistic	۰/۶۱۹۱	۰/۶۱۷۸	۴/۵۶	-۰/۱	۲۷۵/۳۲	۰/۶۱۴۸	۰/۶۱۴۴	۴/۳۶	-۰/۱۷	۲۴۱/۱۱
۱۴	Chapman-Richards	۰/۶۷۹۲	۰/۶۷۸۳	۴/۲۴	-۰/۴	۲۳۷/۳۸	۰/۶۷۷۳	۰/۶۷۶۹	۴/۱۸	-۰/۳۷	۲۲۲/۳۱
۱۵	Weibull	۰/۶۸۱۱	۰/۶۸۰۲	۴/۲۱	-۰/۱	۲۳۴/۲۶	۰/۶۸۰۵	۰/۶۷۹۴	۴/۱۴	-۰/۰۹	۲۱۷/۸۵
۱۶	Gomperz	۰/۶۳۵۴	۰/۶۳۴۸	۴/۴۶	۰/۱۴	۲۵۵/۵۴	۰/۶۳۲۴	۰/۶۳۱۹	۴/۲۶	۰/۲۳	۲۳۲/۱۴
۱۷	Sibbesen	۰/۶۷۱۷	۰/۶۷۰۹	۴/۲۲	-۰/۴۷	۲۳۵/۶۳	۰/۶۷۱۱	۰/۶۷۰۴	۴/۲۰	-۰/۳۸	۲۲۶/۴۹
۱۸	Korf	۰/۶۸۱۶	۰/۶۸۰۸	۴/۱۷	۰/۱۷	۲۲۸/۲۸	۰/۶۸۱۱	۰/۶۸۰۷	۴/۰۷	۰/۱۲	۲۰۵/۶۱
۱۹	Ratkowsky	۰/۶۸۱۲	۰/۶۷۰۳	۴/۱۹	-۰/۳۸	۲۳۲/۳۴	۰/۶۸۰۹	۰/۶۸۰۱	۴/۱۰	-۰/۲۶	۲۱۱/۵۲
۲۰	Hossfeldiv	۰/۶۶۵۳	۰/۶۶۴۱	۴/۳۹	۱/۳۳	۲۴۳/۱۲	۰/۶۶۲۶	۰/۶۶۲۱	۴/۱۹	۱/۱۵	۲۲۴/۸۷

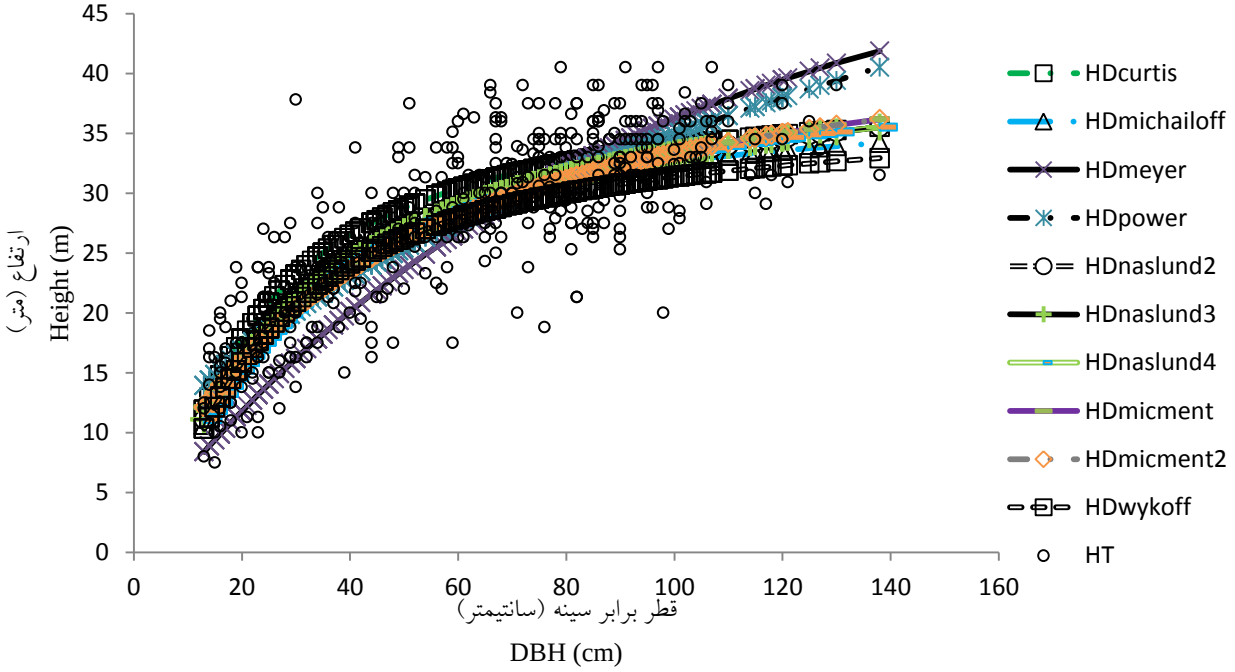
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

شکل‌های ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ منحنی قطر و ارتفاع مدل‌های دو و سه پارامتره منتخب و همچنین باقی مدل‌های برآورد شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- منحنی قطر و ارتفاع مدل دو پارامتره انتخاب شده

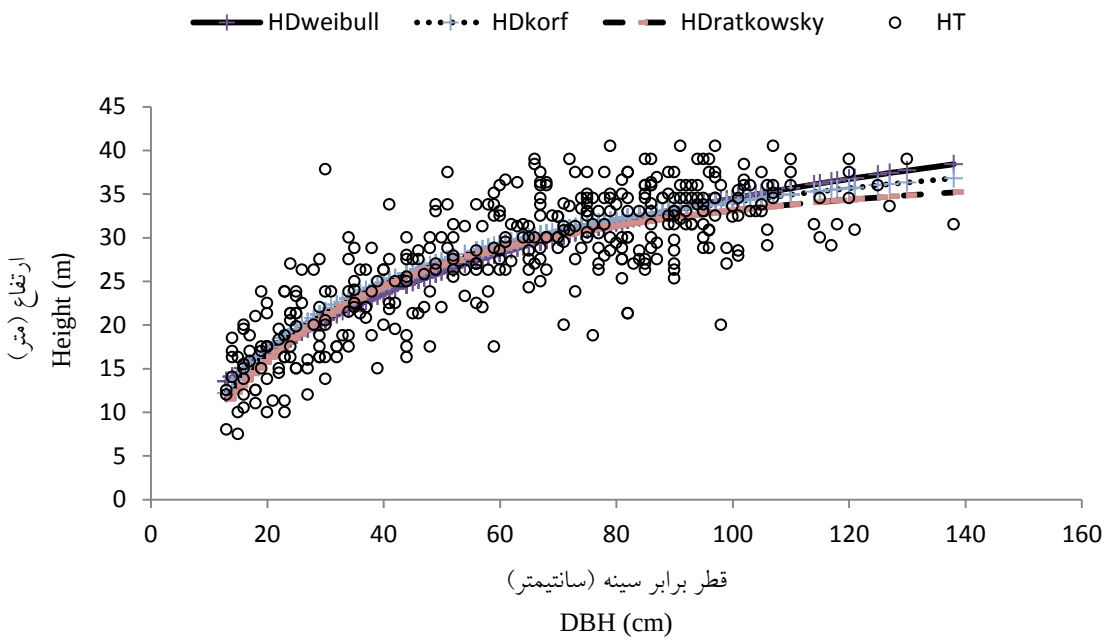
Figure 2. Graph of diameter and height of the selected two- parameter model



شکل ۳- منحنی قطر و ارتفاع مابقی مدل‌های ۲ پارامتره

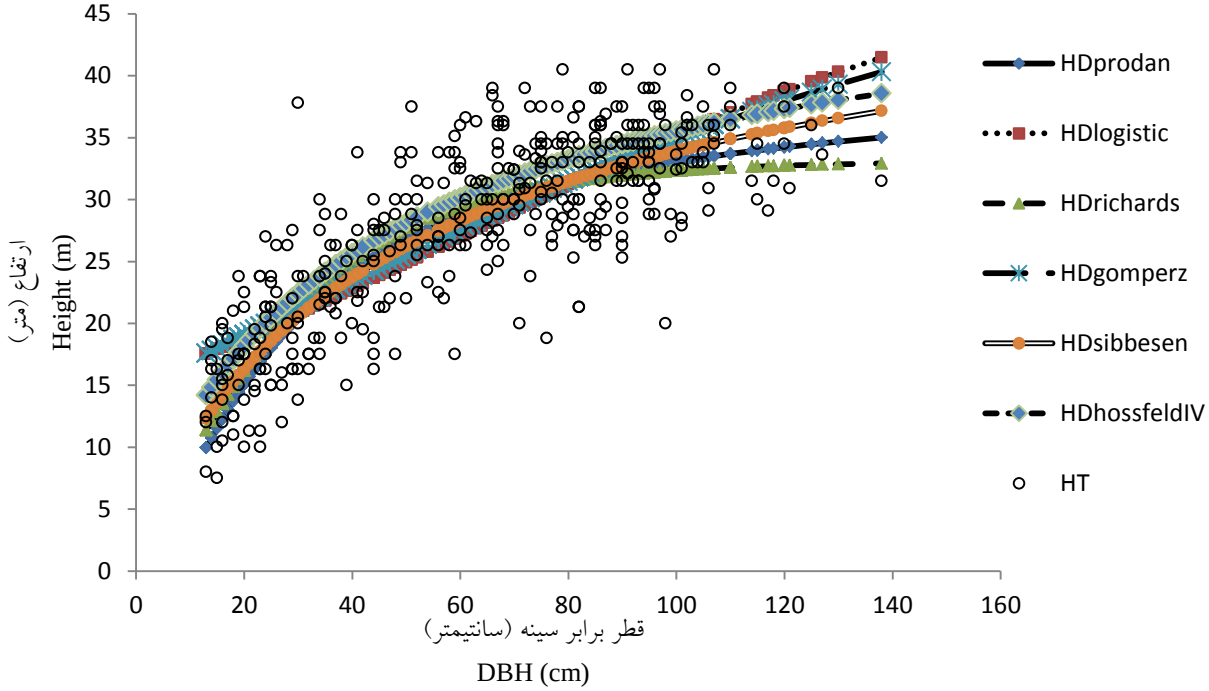
Figure 3. Graph of diameter and height of the remaining two- parameter models

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]



شکل ۴- منحنی قطر و ارتفاع مدل‌های ۳ پارامتره انتخاب شده

Figure 4. Graph of diameter and height of the selected three- parameter model



شکل ۵- منحنی قطر و ارتفاع مابقی مدل‌های ۳ پارامتره

Figure 5. Graph of diameter and height of the remaining three-parameter models

هدف اصلی آماربرداری جنگل، آماده‌کردن اطلاعات دقیق و به‌هنگام برای برنامه‌ریزی، مدیریت منابع جنگلی، توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های حفاظتی است که این تصمیم‌گیری‌ها نیازمند اطلاعات دقیق از کل منطقه است (۲). بر این اساس نتایج به‌دست آمده از آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نشان می‌دهد که این داده‌ها از

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

یک دامنه وسیع قطر برابر سینه ۱۲/۵ تا ۱۳۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۸ تا ۴۰/۵ متر انتخاب شده‌اند. این مساله بیانگر این است که به‌طور تقریب تمامی قطر و ارتفاع درختان راش در نظر گرفته‌شد. به‌منظور مدل‌سازی روابط قطر و ارتفاع درختان راش از بیست مدل غیرخطی استفاده شده است. عملکرد این مدل‌ها با استفاده از معیارهای مختلف از جمله ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیل‌یافته، مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی ارزیابی شد (۱). نتایج نشان داد که از بین مدل‌های دو و سه پارامتره غیرخطی، مدل کورف (مدل ۱۸)، راتکوفسکی (مدل ۱۹)، نسلند (مدل ۱) و وایبول (مدل۱۵)، با مجذور میانگین مربعات خطای به‌ترتیب ۴/۱۷، ۴/۱۹، ۴/۲۱ و ۴/۲۳ و اریبی به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۳۸-، ۰/۵۵- و ۰/۱- و ضریب تبیین ۰/۶۸۱۶، ۰/۶۸۱۲، ۰/۶۸۱۱ و ۰/۶۸۱۱ بهتر توانسته‌اند مشخصه ارتفاع درختان راش منطقه مورد مطالعه را برآورد کنند که با مطالعات (۴۰،۳۷،۱۹،۳،۱۶) همسو می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها تفاوت زیادی با هم نداشتند که با نتایج عالمی و همکاران (۲) مطابقت دارد. شکل ۲ و ۳ منحنی قطر و ارتفاع مدل‌های ۲ پارامتره (گروه ۱) و شکل ۴ و ۵ منحنی قطر و ارتفاع مدل‌های ۳ پارامتره (گروه ۲) را نشان می‌دهد. مدل وایکوف در گروه ۱ برازش خوبی را نشان نمی‌دهد چرا که از قطر ۶۵ سانتی‌متر به بعد روند یکنواختی در پیش‌بینی ارتفاع درختان دارد (شکل ۳). مدل لجستیک در گروه ۲ مقدار ارتفاع در قطرهای پایین را بیشتر پیش‌بینی کرد و برای ۳ مدل پاور، مایر و میچایلوف در گروه ۱ و مدل‌های گومپز و هاسفلد در گروه ۲ رفتار منحنی ارتفاع غیر واقع‌بینانه است زیرا ارتفاع از مدل‌های دیگر خیلی بیشتر پیش‌بینی شده است (شکل ۳ و ۵). اختلاف اصلی مدل‌های منتخب با مابقی مدل‌ها، به‌علت قطرهای بالاتر از ۱۰۰ سانتی‌متر است که خاصه جنگل‌های طبیعی شمال می‌باشد (۴). با مراجعه به شکل‌های مذکور در مدل ۲ پارامتر و مدل‌های ۳ پارامتر علت انتخاب مدل نسلند در گروه اول و مدل‌های وایبول، کورف و راتکوفسکی در گروه دوم در پیش‌بینی ارتفاع درختان قطور می‌باشد (شکل ۲،۳،۴،۵). این مدل‌ها با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های بررسی مدل نسبت به باقی مدل‌ها در پیش‌بینی ارتفاع درختان راش در شمال ایران در جنگل‌های پهن‌برگ و ناهمسال معرفی می‌شوند. مجذور میانگین مربعات خطا در حدود ۴ متر بود که با مطالعات محمدی و همکاران (۲۰)، احمدی و همکاران (۱)، تمسژن و همکاران (۳۷) همسو بوده است. همچنین این مطالعه با مهتتالو و همکاران (۱۴)، ژانگ همکاران (۴۰) و مهتتالو و همکاران (۱۵) از لحاظ نوع مدل انتخاب‌شده مشابه بوده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده با دیگر پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد عواملی مانند ساختار توده، نوع توده و نوع مدل به‌کار گرفته‌شده در انتخاب نوع مدل بسیار اثرگذار است. هر چند مدل‌های کورف و راتکوفسکی، نسلند و وایبول دارای بهترین عملکرد نسبت به بقیه مدل‌ها در منطقه مورد بررسی دارد اما به‌دلیل تغییرات شرایط رویشگاهی و توده، رابطه قطر و ارتفاع در یک جنگل نیز ممکن است تغییر کند. بنابراین برای توسعه یک مدل ارتفاع و قطر برابرسینه به‌طور مجزا برای هر توده می‌توان از متغیرهای دیگر غیر از قطر درخت که شامل سطح مقطع توده، سن، تعداد در هکتار و غیره است، استفاده کرد ولی دو مسئله وجود دارد. مسئله اول زمان‌بر و پرهزینه است، در صورتی که مسئله دوم جنبه عملی دارد و برآوردهای دقیق‌تری از ارتفاع درخت را فراهم می‌کند (۴۰،۳۳،۳۰،۱). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش رو، در نهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی کورف، راتکوفسکی، نسلند و وایبول نتایج مشابه و نزدیک به یکدیگر داشته و توانایی خوبی در برآورد ارتفاع درختان با دقت مناسب داشتند، بنابراین این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان جنگلی در صورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی دیگر شمال ایران، در جنگل‌های پهن‌برگ استفاده شوند. همچنین در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود علاوه بر مدل‌های مذکور از مدل‌های Mixed Model Effect نیز در برآورد ارتفاع درختان راش و دیگر گونه‌های جنگل‌های هیرکانی استفاده شود و بتوان این مدل‌ها را به‌صورت عملیاتی در برنامه‌ریزی جنگل به‌کار برد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

منابع

1. Ahmadi, K., J. Alavi, M. Tabari and W. Aertsen. 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment Journal, 17(3): 431-440 (In Persian).
2. Alami, A., J. Oladi, A. Fallah and Y. Maghsodi. 2018. Evaluation of non-linear models of diameter - alder species in Hyrkani forests (Case study: Rezaiean Forest), Journal of natural ecosystems Iran, 9(2): 1-12 (In Persian).
3. Anacioco, K., J. Gorio, M. Padsico, R. Lumbres, N. Doyog and Y. Lee. 2018. Fitting and evaluation of height-diameter models for Alnus japonica in La Trinidad, Benguet, Philippines, Journal of Mountain Science, 15: 2422-2432.
4. Anonymous. 2012. Forest Management Plan of Farim. Published by forest, Range and Watershed Management Organization, Farim Wood Company, 437 pp.
5. Bayat, M., M. Namiranian, M. Zobeiry and T. Pukkala. 2014. Growth Models using to Simulate and Investigate Different Forest Management Methods (Case Study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran). Journal of Forest and Wood Products, 67(4): 595-612 (In Persian).
6. Castano-Santamaria, J., F. Crecente-Campo, J.L. Fernandez-Martinez, M. Barrio-Anta and J.R. Obeso. 2013. Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 307: 63-73.
7. Chai, Z., W. Tan, Y. Li, L. Y, H. Yuan and Zh. Li. 2019. Generalized nonlinear height–diameter models for a Cryptomeria fortunei plantation in the Pingba. Web Ecology, 18: 29-35.
8. Curtis, R.O. 1967. Height-diameter and height-diameter age equations for second growth Douglas fir. Forest Science, 13(4): 365-375.
9. Eslami, A., S.M.T. Hoseini and Kh. Sagheb-Talebi. 2016. Investigation stem number in the first diameter class for obtaining sustainable stands considering close to nature silviculture (case study: Shamushak forest, Golestan province), Journal of Wood & Forest Science and Technology, 23(2): 111-124.
10. Flewelling, J.W. and R. DeJong. 1994. Considerations in simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements. Canadian Journal of Forest Research, 24: 1408-1414.
11. Huang, S., S.J. Titus and D.P. Wiens. 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. Canadian Journal of Forest Research, 22: 1297-1304.
12. Gomperz, B. 1832. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 123: 513-482.
13. Lumbres I.R.C., C.A. Abino, M.N. Pampolina, G.F. CaloraJr and Y.J. Lee. 2016. Comparison of stem taper models for the four tropical tree species in Mount Makiling, Philippines, Journal of Mountain Science, 13: 536-545.
14. Mehtatalo, L. 2004. A longitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland. Canadian Journal of Forest Research, 34(1): 131-140.
15. Mehtatalo, L. 2005. Height-diameter models for Scots pine and birch in Finland. Silva Fennica, 39(1): 55-66.
16. Mehtatalo, L., S. de-Miguel and T.G. Gregoire. 2015. Modeling height-diameter curves for prediction, Canadian Journal of Forest Research, 45(7): 826-837.
17. Meyer, W. 1940. A mathematical expression for height curves. Journal of Forestry, 38: 415-420.
18. Michailoff, I. 1943. Zahlenm¨ assiges verfahren f¨ Ur die ausf¨ uhrung der bestandeshhenkurven. Forstw. Clb U Thar. Forstl. Jahrb, 6: 273-279.
19. Mohammadi, J. and Sh. Shataee. 2017. Investigation of Different Diameter-Height Models (*Carpinus betulus* L.) in the uneven forest masses of shast Kalateh in Gorgan, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 4: 700-712 (In Persian).
20. Mosaddegh, A. 2015. Silvicture. Tehran University Press, 496 pp (In Persian).
21. Naslund, M. 1937. Skogsf¨ ors¨ oksanstaltens gallringsf¨ ors¨ ok i tallskog (Forest research intitute's thinning experiments in Scots pine forests). Meddelanden frstatens skogsf¨ ors¨ oksanstalt H¨ afte 29. In Swedish.
22. Özel, H.B., U. Karadavut and M. Ertekin. 2010. The use of growth models in ınvestigatıng oriental beech (Fagus orientalis Lipsky.) Natural juvenitilies growth performance, African Journal of Agricultural Research, 5(18): 2544-2550.
23. Özçelik, R., M.J. Diamantopoulou, F. Crecente-Campo and F. Eler. 2013. Estimating Crimean juniper tree-height using nonlinear regression and artificial neural network models, Forest Ecology and Management, 306: 52-60.
24. Paulo, J.A., J. Tom´e and M. Tom´e. 2011. Nonlinear fixed and random generalized height-diameter models for Portuguese cork oak stands. Annals of Forest Science, 68: 295-309.
25. Pear, R. and L.J. Reed. 1920. on the rate of growth of the population of the united states since 1790 and its mathematical representation. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A, 6: 276-288.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]

[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

26. Pesche, W. 1938. Mathematical methods for growth studies of trees and forest stands and the results of their application. Tharandter Forstliches Jahrbuch, 89: 169-247.
27. Prodan, M. and S.H. Gardiner. 1968. Forest Biometrics. Pergamon Press, Oxford, 447 pp.
28. Ratkowsky, D.A. 1990. Hand book of nonlinear regression. Marcel Deccer inc., New York, USA.
29. Richards, F.J. 1959. A flexible growth functions for empirical use. Journal of Experimental Botany, 10(29): 290-300.
30. Sáncheza, C.A.L., J.G. Varela, F.C. Doradoa, A.R. Alboreca, R.R. Soalleiro, J.G.A. Gonzalez and F.S. Rodriguez, 2003. A height–diameter model for Pinus radiata D.Don in Galicia (North-west Spain), Annals of Forest Science, 60: 237-245.
31. Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. Journal of Forestry, 37: 819-820.
32. Seyd, Z., M. Moayeri and J. Mohammadi. 2014. Introducing the Criteria and Indicators of Measuring Stand Structure in Sustainable Forest Management, Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources, 2(2): 25-38 (In Persian).
33. Sharma, M. and S.Y. Zhang. 2004. Height–diameter models using stand characteristics for Pinus banksiana and Picea mariana, Scandinavian Journal of Forest Research, 19: 442-451.
34. Sibbesen, E. 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. Journal of Soil Science, 32: 67-74.
35. Sirkia, S., J. Heinonen, J. Miina and K. Eerikainen. 2014. Subject-specific prediction using a nonlinear mixed model: consequences of different approaches. Forest Science, 61(2): 205-212.
36. Stoffels, A. and J. van Soest. 1953. The main problems in sample plots. Ned. Boschb. Tijdschr, 25: 190-199.
37. Temesgen, H., C.H. Zhang and X.H. Zhao. 2014. Modelling tree height-diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from northeast China. Forest Ecology and Management, 316: 78-89.
38. Weibull, W. 1951. A statistical distribution functions of wide applicability. Journal of Applied. Mechanice, 18(3): 293-297.
39. Wykoff, W.R., N.L. Crookston and A.R. Stage. 1982. User's guide to the stand prognosis model. USDA Forest Service, General Technical Report (GTR), 133 pp.
40. Zhang, X., A. Duan, J. Zhang and C. Xiang. 2014. Estimating Tree Height-Diameter Models with the Bayesian Method, Journal of Scientific World, 240-249.
41. Zobeiry, M. 2009. Forest Inventory, Tehran university press, 401 pp.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]

Investigating the Diameter and Height Models of Beech Trees in Uneven Age Forest of Northern Iran (Case study: Forest Farim)

Seyedeh Kosar Hamidi[1], Asghar Fallah[2], Mahmoud Bayat[3] and Seyed Ali Hosseini Yekani[2]

1- PhD Student, Sari Agriculture sciences and Natural Resource University, Sari, Mazandaran, Iran, (Corresponding author: k.hamidi86@yahoo.com)
2- Professor, Sari Agriculture sciences and Natural Resource University, Sari, Mazandaran, Iran
3- Assistant Professor, Forest Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).Tehran, Iran
Received: May 6, 2019 Accepted: June 12, 2019

Abstract

Diameter at the breast and height of trees are the most important components in the forest inventory. Measuring the diameter of trees is simpler and less costly than height; hence, some equations are used to predict height by diameter of trees. In the present study, the ability to use different diameter-height models for estimating the height of beech trees (*Fagus oriantalis* Lipsky) in uneven age and mixed stands in Hyrcanian forest, North of Iran. In this study, a systematic-randomly sampling method with 150 × 200m network (0.1 ha) was used. Diameter and height of the thickest and nearest trees (690 individuals) to the center of circular sample plots (345) was measured. 70% of the data was used for modeling and the remaining 30% was used for evaluating estimated models. Using 20 nonlinear regression models including 11 two-parameter models and 9 three-parameter models, the relationship between height as a dependent variable and diameter as an independent variable was considered and analyzed. In order to evaluate the models and select the best model, the validity of the statistical models was evaluated using RMSE and BIAS. The results of the model evaluation criteria did not differ significantly. Korf, Ratkowsky, Naslund and Weibull models with root mean square error of 4.17, 4.19, 4.21, and 4.23 and BIAS of 0.17, -0.38, -0.55 and -0.1, respectively had a good ability to accurately estimate the height of beech trees. According to the region conditions, these models can be used to estimate the height of beech trees in broadleaved and mixed forest of northern Iran.

Keywords: Diameter-Height Model, Inventory, Modelling, Nonlinear Regression

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.5.9]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.30]