تعیین مدل قطر- ارتفاع جنگل‌های راش و ممرز حوضه ۴۰ الف نوشهر (مازندران)

نسترن نظریانی[1*]، سیده کوثر حمیدی[2]، رامین منصور سمائی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

مدلسازی توزیع فراوانی متغیرهایی چون قطربرابرسینه و ارتفاع درختان به‌عنوان عامل مهمی در رشد و عملکرد شاخه‌های گوناگون علوم جنگل مانند جنگل‌شناسی، جنگلداری و زیست‌سنجی در راستای مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی صحیح منابع جنگلی مورد توجه است. معادلات قطربرابرسینه و ارتفاع اغلب برای برآورد ارتفاع درختان، زمانی که فقط قطر درختان اندازه‌گیری می‌شود، به‌کار می-روند. در پژوهش حاضر بررسی مدل‌های قطر و ارتفاع برای جنگل‌های راش و ممرز حوزه ۴۰ الف نوشهر (مازندران) 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، ۸۰۰ پایه درخت راش و ممرز از ۴۰۰ قطعه نمونه دایره‌ای شکل انتخاب گردید. داده‌ها به دو دسته تقسیم شدند. ۷۰ درصد داده‌ها برای مدلسازی و ۳۰ درصد آنها برای اعتبارسنجی استفاده شد. با استفاده از ۱۲ مدل رگرسیون غیرخطی قطر و ارتفاع برای داده‌های مذکور بررسی و تحلیل شد. برای انتخاب مدل بهینه از معیارهای ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی استفاده شد. نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان داد، مدل Korf با ضریب تبیین، اریبی و مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب (R^2=0.68)، (BIAS=0.52) و (RMSE=5.82) برای مدلسازی و به همان ترتیب (R^2=0.68)، (BIAS=0.30) و (RMSE=5.41) برای اعتبارسنجی، مدلی مناسب برای رابطهٔ قطر -ارتفاع در منطقه مورد پژوهش است. با در نظر گرفتن جنبه‌های ریاضی و زیستی مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش، مدل Korf به‌عنوان مدل نهایی برای پیش‌بینی ارتفاع درختان جنگل راش و ممرز در منطقه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: راش، رگرسیون غیرخطی، قطر –ارتفاع، مدلسازی، ممرز، مدل Korf.

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. **پست الکترونیک**:Nazariani69@yahoo.com ، شماره تماس:۰۹۱۶۸۵۹۵۶۴۳

۲ - دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳ - دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

مدیریت صحیح و اصولی جنگل‌ها نیازمند اطلاعات دقیقی از توده‌های جنگلی است. قطربرابرسینه و ارتفاع کل درخت متغیرهایی هستند که به منظور برآورد موجودی جنگل، شاخص رویشگاه، شبیه‌سازی جنگل، بررسی نظریهٔ رشد درختان، توصیف توده و دیگر موارد، اندازه‌گیری می‌شوند (۱۳). برآورد حجم درختان و شاخص رویشگاه و توصیف رشد پویایی توده جنگلی و توالی طولانی مدت نیازمند مدل‌های قطر -ارتفاع صحیح می‌باشد (۷ و ۹). در آماربرداری جنگل ارتفاع کل درخت اغلب از قطر اندازه‌گیری شده درخت در ارتفاع برابرسینه برآورد می‌شود. قطر درخت را می‌توان به راحتی و با هزینه کم اندازه‌گیری نمود، اما اندازه‌گیری ارتفاع درخت به نسبت مشکل‌تر و هزینه بردارتر است. بنابراین مدل-هایی که منحصراً براساس قطر اندازه‌گیری می‌شوند تأثیر زیادی روی هزینه دارند. با توجه به اهمیت قطربرابرسینه به عنوان اصلی‌ترین متغیر زیست‌سنجی درختان جنگلی، مطالعهٔ آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این متغیر همبستگی زیادی با متغیرهای ارتفاع، حجم و دیگر اندازه‌های درخت دارد و در مطالعه مربوط به این مشخصه‌ها عامل مهمی به شمار می‌رود (۲۱). در برخی از این مدل‌ها هدف استفاده از ارتفاع یک نمونه از درختان بوده که تمرکز اصلی در این مطالعات پیدا کردن بهترین فرم از مدل است (۱۶). با این حال، در بسیاری از موارد برای اهداف عملی خیلی بزرگ اندازه نمونه مورد نیاز است. به دلیل این که اندازه‌گیری ارتفاع زمانبر است، بنابراین در مطالعات اخیر مدل‌هایی پیش‌بینی شده است که می‌تواند در رابطه با قطر و ارتفاع در یک رویشگاه برای درختان به عنوان نمونه استفاده شود (۱۰و ۱۴). در این مدل‌ها، به منظور افزایش دقت و صحت پیش‌بینی می‌توان تعداد درختان نمونه را افزایش داد. برقراری ارتباط بین قطر و ارتفاع یک رابطه پایدار نیست، اما در طول زمان توسعه می‌یابد (۱۶). مدلسازی توزیع فراوانی متغیرهایی چون قطر و ارتفاع در شاخه‌های گوناگون علوم جنگل مانند جنگل-شناسی، جنگلداری و زیست‌سنجی جنگل مورد توجه اهل فن بوده است. نکته قابل توجه در برنامه‌ریزی در زمینه جنگل استفاده از توابع آماری مختلف است، زیرا توابع آماری از جمله عواملی هستند که در تهیه مدل‌های رویشی برای برآورد وضعیت آینده رویشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از تئوری‌های احتمال مناسب برای پیش‌بینی وضعیت پراکنش تعداد درختان در یک توده جنگلی نه تنها در برآورد نوع تولید در سنین مختلف حائز اهمیت است، بلکه در برنامه‌ریزی روش‌های تنک کردن در جنگل‌ها نیز می‌تواند مفید باشد و تولید اقتصادی و زیستی بهینه و پایداری توده را تضمین خواهد کرد (۲۳). اولین تلاش برای مدلسازی توزیع فراوانی متغیرهای درختان را دولیکور (de licourt) در سال ۱۸۹۸ انجام داد (۶). پس از ایشان نیز مطالعات بسیاری در این مورد چه در داخل و خارج از کشور انجام شد که برای نمونه می-

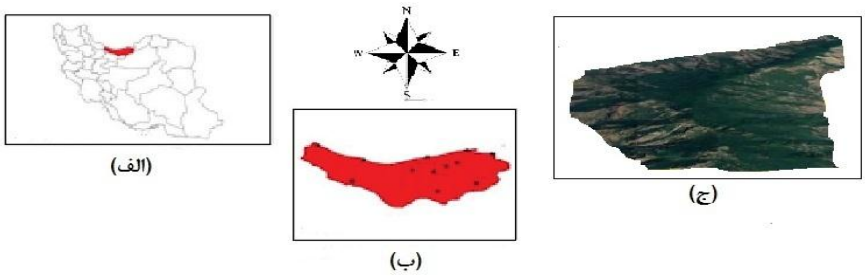
توان به مطالعه محمدی و شتایی (۲۰۱۶) در بررسی مدل‌های مختلف قطر -ارتفاع ممرز در توده‌های جنگلی ناهمسال (*Carpinus betulus* L.) شصت کلاته گرگان اشاره کرد، ایشان اذعان داشتند که نتایج معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری به جز مدل پرودان، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل‌های مختلف و مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود نداشت. همچنین چهار مدل رگرسیونی غیرخطی هایپربولیک، راتکوفسکی، چاپمن -ریچارد و ویبول با درصد مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب ۱۲/۹۱، ۱۲/۹۲، ۱۳/۰۱، ۱۳/۰۱ درصد و اریبی به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۲۱، ۰/۲۲ و ۰/۲۲ درصد نتایج مشابه و نزدیک به هم داشتند و توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان ممرز با دقت مناسب داشتند. این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان ممرز در صورت تأیید و تکرار این نتایج در دیگر مناطق جنگلی شمال ایران، در جنگل‌های پهن برگ استفاده شوند. در بررسی مدل‌های قطر و ارتفاع در مراحل تحولی مختلف جنگل‌های مدیریت نشده راش جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود توسط علیجانی و همکاران (۲۰۱۷) مشخص شد که مدل‌های تابع نسبی و ویبول در مرحله اولیه، نمایی اصلاح شده در مرحله بلوغ و گومپرتز و ریچارد در مرحله پوسیدگی مناسب بود و مدل‌های رگرسیونی مختلف دارای قابلیت یکسانی در برازش داده‌های قطربرابرسینه و ارتفاع توده‌های مختلف نبودند و نمی‌توان از یک مدل یکسان جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع توده‌های واقع در مراحل تحولی مختلف استفاده کرد. عالمی و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی مدل‌های غیرخطی قطر –ارتفاع گونه توسکا در جنگل‌های هیرکانی –رضاییان به این نتیجه دست یافتند که معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآوردشده 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. این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان جنگلی در صورت تأیید و تکرار این نتایج در مناطق جنگلی شمال ایران استفاده شوند. حمیدی و همکاران (۲۰۱۹)، مطالعه‌ای را در جنگل فریم با استفاده از ۲۰ مدل رگرسیونی غیرخطی که شامل ۱۱ مدل دو پارامتری و ۹ مدل سه پارامتری است، انجام دادند. 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 گردید. نتایج به‌دست آمده نشان

داد که نتایج معیارهای ارزیابی مدل، تفاوت زیادی با هم نداشتند. مدل Korf، Ratkowsky، Naslund و Weibull با مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب ۴/۱۷، ۴/۱۹، ۴/۲۱ و ۴/۲۳ و اریبی به ترتیب ۰/۱۷ ، ۰/۳۸- ، ۰/۵۵- و ۰/۱- توانایی خوبی برای برآورد ارتفاع درختان راش با دقت مناسب در منطقه مورد مطالعه دارند. در خارج از کشور نیز لامبرز و همکاران (۲۰۱۶) که مدل‌های قطر و ارتفاع گونه کاج و لاریکس را در جنوب کره بررسی کردند، اشاره کرد (۱۵). نتایج به‌دست آمده از تحقیق آنها نشان داد که مدل لجستیک بهینه شده و مدل Korf/Lundqvist در مقایسه با مدل‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه دادند. وییرا و همکاران (۲۰۱۸) به پیش‌بینی قطر و ارتفاع درختان اکالیپتوس در بخشی از جنگل‌های اکالیپتوس برزیل با استفاده از هوش مصنوعی و سیستم استنتاج فازی پرداختند. نتایج نشان داد که تکنیک هوش مصنوعی در برآورد مدل رشد قطربرابرسینه و ارتفاع دارای دقت زیادی است. بنابراین، دو تکنیک هوش مصنوعی و سیستم استنتاج فازی را می‌توان برای پیش‌بینی رابطه قطربرابرسینه و ارتفاع در بوم‌سازگان جنگلی اکالیپتوس استفاده کرد. همچنین این تکنیک‌ها قابل استفاده در مناطق و دیگر گونه‌های سازگار جنگل می‌باشند. چای و همکاران (۲۰۱۸) 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 Chapman-Richards، Weibull و *Näslund* به دلیل پیش‌بینی‌های رضایت‌بخش و تفسیرپذیری زیستی بهتر، برای کاشت گونه‌ی *Cryptomeria fortunei* توصیه می‌شود. نتایج بررسی تِن و همکاران (۲۰۱۹) در رابطه قطر-ارتفاع برای گونه *Pinus koraiensis* در مزرعه جنگلی Mengjiagang شمال شرقی چین، با استفاده از رگرسیون‌های غیرخطی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که تمام مدل‌ها در توزیع ارتباط قطر-ارتفاع با تخمین خطای ارتفاع درخت از ۰/۶۱ تا ۱/۵۲ متر عملکرد خوبی داشتند. به ویژه، مدل ANN که می‌تواند میانگین خطا را بیش از ۴۰ درصد کاهش دهد. به طور کلی، نتایج آنها نشان داد که مدل‌های ANN بیشتر از شش مدل غیرخطی مورد استفاده از پژوهش برتر بودند.

با توجه به اهمیت جنگل‌های شمال ایران به‌عنوان یکی از منابع غنی و اقتصادی کشور، در پژوهش حاضر به بررسی مدل‌های مختلف رابطه قطربرابرسینه و ارتفاع و انتخاب مدل بهینه برای جنگل‌های راش و ممرز حوضه ۴۰ الف- نوشهر (مازندران) در راستای مدیریت صحیح و اصولی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در جنگل‌های طبیعی راش-ممرز در حوضه ۴۰ الف نوشهر واقع در غرب استان مازندران با موقعیت جغرافیایی "۳۹ '۱۴ °۵۱ تا "۱۹ '۱۳ °۵۱ طول شرقی "۷۹ '۱۵ °۳۶ تا "۴۲ '۱۸ °۳۶ عرض شمالی انجام شده است. این منطقه دارای مساحت ۹۸۲/۲۴ هکتار است که ۲/۴۳ درصد از سطح کل حوضه را شامل می‌شود. سطح مورد عمل برای پژوهش حاضر ۱۰ آر است. منطقه دارای کوه-های مرتفع با شیب زیاد و دامنه نامنظم با پوشش نهشته‌های منفصل فرسایشی و خاک و برونزد سنگی بین ۵۰-۳۰ درصد، دارای سنگ‌شناسی شیل‌های اسلیتی، لایه‌های مختلط سیلتستون و شیل، ماسه سنگ‌های آرکوزی، ماسه سنگ و شیل با زهکشی دندریتی با تراکم زیاد که شیب آن بین ۸۰-۷۵ درصد است. دارای سنگریزه سطحی به-مقدار متوسط، خاک کم عمق و فاقد تکامل پروفیلی و دارای پوشش جنگلی با درصد تاج پوشش حدود ۴۰ درصد است. نوع خاک از رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و مولی سول است. این جزء واحد اراضی در حال حاضر دارای کاربری جنگل است که دارای کلاس تناسب کم برای این منظور است. توپوگرافی شدید، بیرون‌زدگی سنگی، عمق کم خاک و فرسایش، محدودیت‌های اصلی این اراضی است. راش و ممرز پوشش غالب گیاهی منطقه را شامل می‌شود (۴). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه الف) روی نقشه ایران، ب) نقشه مازندران و ج) حوضه ۴۰ الف نوشهر

Figure 1 - Location of the area studied a) On the map of Iran; b) Mazandaran map; and c) 40 th A. Nowshahr

به منظور انجام پژوهش حاضر مساحت ۱۰ آر از منطقه با ابعاد شبکه ۱۵۰× ۲۰۰ متر با تعداد ۴۰۰ اصله در عرصه با استفاده از روش نمونه‌برداری منظم-تصادفی و از داده‌های قطر و ارتفاع قطورترین و نزدیکترین درخت به مرکز قطعه نمونه استفاده گردید. قطر برابرسینه به وسیله خط‌کش دوبازو (کالیپر) با دقت میلیمتر و ارتفاع درختان به وسیله شیب سنج سونتو با دقت دسیمتر در ۲۰۰ قطعه نمونه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از مجموع ۴۰۰ پایه مورد بررسی ۲۸۰ پایه (۷۰ درصد) از درختان به‌منظور مدلسازی و ۱۲۰ پایه (۳۰

درصد) برای اعتبارسنجی انتخاب شد. با استفاده از انواع مدل‌های رگرسیونی غیرخطی، ارتباط بین ارتفاع به عنوان متغیر وابسته و قطر به عنوان متغیر مستقل بررسی و تجزیه و تحلیل شد.

تحلیل داده‌ها

تعداد زیادی از معادلات قطر-ارتفاع برای گونه‌های مختلف در رویشگاه‌های مختلف بکار گرفته شده است. در این پژوهش برای ارزیابی منحنی قطر –ارتفاع پس از انتقال داده‌ها به محورهای مختصات و رسم ابر نقاط داده‌ها تعداد ۱۲ مدل غیرخطی که در جدول (۱) آمده مورد استفاده قرار گرفت. 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.

رابطه ۱ $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Hi-\widehat{Hi})^2}{n-p}}$$

رابطه ۲ $$BIAS= \frac{\sum_{i=1}^{n}(Hi-\widehat{Hi})}{n}$$

رابطه ۳ $$R^2=1- [\sum_{i=1}^{n} (H_i - \widehat{H})^2] / \sum_{i=1}^{n} (H_i - \overline{H})^2$$

در روابط فوق، Hi: ارتفاع مشاهده شده؛ $\widehat{H}$: ارتفاع برآورد شده iامین درخت؛ $\overline{H}_i$: میانگین ارتفاع درختان مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و p تعداد پارامترهای مدل می‌باشد. برای هر یک از مدل‌های قطر-ارتفاع برازش شده می‌بایست مقدار RMSE کوچک و R^2 بزرگ باشد. مدل با بالاترین ارزش شاخص R^2 و کمترین ارزش RMSE، بهترین و مفیدترین مدل رگرسیون بشمار می‌رود (۲۶).

اعتبارسنجی مدل‌ها به شیوه‌های مختلفی انجام می‌شود. در پژوهش پیش‌رو به منظور ارزیابی و برازش مدل‌ها، ۳۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند و به عنوان مجموعه داده‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شد. از ۷۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها به‌منظور مدلسازی بکار گرفته شدند.

در پژوهش پیش رو برای محاسبات آماری، اجرای مدل‌های رگرسیونی غیرخطی و پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده از عملیات زمینی مربوط به قطر و ارتفاع و نرم‌افزار R استفاده شد. جدول ۱ مدل‌های مورد استفاده برای تعیین رابطه قطر –ارتفاع در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول۱- مدل‌های مورد استفاده برای تعیین رابطه قطر –ارتفاع در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Models used to determine the relationship between diameters -height in the study area

شماره Number	مدل Model	عبارت جبری Algebra	منبع Reference
1	Naslund	$H = 1.3 + \frac{d^2}{(a+bd)^2}$	Naslund (1973), Peschel (1938)
2	Curtis	$H = 1.3 + a\left(\frac{d}{1+d}\right)^b$	Curtis (1967)
3	Meyer	$H = 1.3 + a(1- e^{-bd})$	Meyer (1940), Curtis (1967)
4	Power	$H= 1.3 + ad^b$	Stoffels and van Soest (1953)
5	Michaelis-Menten	$H = 1.3 +\left(\frac{ad}{b+d}\right)$	Michaelis and Menten (1913), Huang et al. (1992)
6	Wykoff	$H= 1.3 + e^{(a+(b/d+1))}$	Wykoff et al. (1982)
7	Prodan	$H= 1.3 + \left(\frac{d^2}{a+bd+cd^2}\right)$	Curtis (1967) and Prodan (1968)
8	Logistic	$H= 1.3 + \left(\frac{a}{1+be^{-cd}}\right)$	Pearl and Reed (1920), Huang et al. (1992)
9	Chapman-Richards	$H= 1.3 + a(1-e^{-bd})^c$	Richards (1959), Huang et al. (1992)
10	Weibull	$H= 1.3 + a(1- e^{-bd^c})$	Weibull (1951), Huang et al. (1992)
11	Korf	$H= 1.3 + a\exp(-bd^{-c})$	Flewelling and de Jong (1994)
12	Ratkowsky	$H= 1.3 + a\exp\left(\frac{-b}{d+c}\right)$	Ratkowsky (1990), Huang et al. (1992)

نتایج

جدول ۲ آماره‌های توصیفی مربوط به مدلسازی و اعتبارسنجی قطر و ارتفاع برای جنگل‌های راش و ممرز حوضه ۴۰ الف نوشهر را نشان می‌دهد.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مربوط به مدلسازی و اعتبارسنجی قطر و ارتفاع برای حوضه ۴۰ الف نوشهر

Table 2- Descriptive statistics related to the modeling and validation of diameter and height for 40 A. Noshahr.

	مدلسازی Modelling		اعتبارسنجی Validation	
	قطر Diameter	ارتفاع Height	قطر Diameter	ارتفاع Height
میانگین Mean	19	44.4	16.3	36.2
حداقل Min	13	5	13	5
حداکثر Max	135	46	102	33
فراوانی Frequency	280	280	120	120

در جدول ۳ پارامترهای مدل به‌طور جداگانه برای هر یک از مدل‌ها ارائه شده است.

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی مدل های استفاده شده

Table 3. Regression coefficients of models used

شماره Number	نام مدل Model Name	ضرایب Parameters		
		c	b	a
1	Hdnaslund	-	0.1902279	2.2486223
2	HDcurtis	-	11.58646	24.67258
3	HDmeyer	-	0.007335815	58.11
4	HDpower	-	0.4256246	3.3583415
5	HDmicment	-	39.30103	30.76278
6	HDwykoff	-	-12.36524	3.14967
7	HDprodan	0.02155023	2.23447653	-14.4580318
8	HDlogistic	0.01406746	4.79652956	58.11
9	HDrichards	0.8902633	0.04	20.8907899
10	HDweibull	0.49423629	0.05379861	58.11
11	HDkorf	0.3074987	3.7508325	58.11
12	HDratkowsky	5	17.93373	25.2243

نتایج حاصل از برازش مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۴ نمایش داده شده است. با توجه به این نتایج رتبه‌بندی مدل‌ها به کمک مقادیر ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و اریبی (BIAS) صورت گرفته است، هر چه مقدار ضریب تبیین بیشتر، میانگین مربعات خطا و اریبی مدل کمتر باشد، مدل قابلیت بیشتری برای تبیین رابطه قطر و ارتفاع خواهد داشت. مقادیر R^2 نشان می‌دهد که بین مدل ها اختلاف زیادی دیده نمی‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده، بهترین مدل قطر – ارتفاعی بدست آمده مدل Korf است (شکل ۲) که به صورت رابطه ۴ است.

رابطه ۴ مدل قطر و ارتفاع منطقه

$$H= 1.3 + 58.11\exp (3.75\ d^{-0.30})+e$$

که در اینجا H: ارتفاع کل درخت و d: قطر در ارتفاع برابرسینه همان درخت و e: باقیمانده است. $e\sim N(0,\sigma_u^2)$

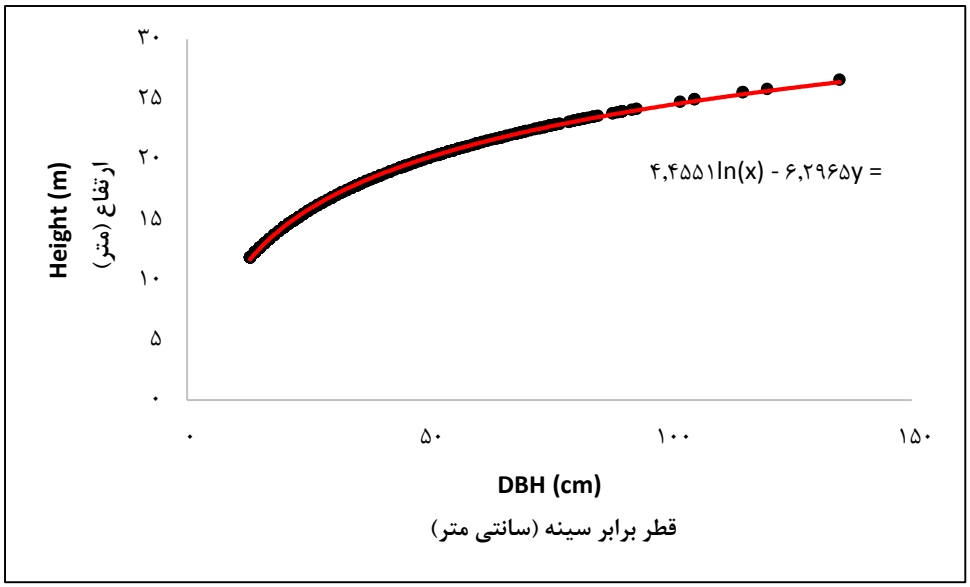
مدل Korf با مجذور میانگین مربعات خطا ۵/۸۱ و اریبی ۰/۵۱ و $R^2=$ ۰/۶۸ بهتر توانسته مشخصه ارتفاع گونه مورد نظر را برآورد کند (جدول ۴).

جدول ۴- ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا و اریبی برای مدلسازی و اعتبار سنجی ۱۲ مدل غیرخطی

Table 4. R2, RMSE and BIAS for modeling and validation of 12 nonlinear models

شماره Number	نام مدل Model Name	مدلسازی Modelling			اعتبارسنجی Validation		
		R^2	BIAS	RMSE	R^2	BIAS	RMSE
1	HDnaslund	0.6806	1.464815394	6.33931162	0.6801	0.873498369	5.421918925
2	HDcurtis	0.6808	0.843218911	5.829930229	0.6804	0.300255103	5.412545349
3	HDmeyer	0.6804	1.49964944	7.533486921	0.6781	1.400800943	5.887604497
4	HDpower	0.6716	1.238085679	6.00467863	0.6723	1.215626787	5.736061838
5	HDmicment	0.6755	1.644751075	6.506763795	0.6763	1.166985016	5.525344437
6	HDwykoff	0.6735	1.662347279	6.415136004	0.6799	0.992497037	5.659321843
7	HDprodan	0.674	1.643851636	6.482744445	0.6779	1.21042771	5.591649773
8	HDlogistic	0.6463	3.356245054	12.6629458	0.6453	3.141160799	11.29725223
9	HDrichards	0.6732	1.28727188	6.062636892	0.6751	0.153898626	5.519538187
10	HDweibull	0.6746	1.154101283	5.953749356	0.6731	0.899856614	5.500925058
11	HDKorf	0.6815	0.516555301	5.815669269	0.681	0.2973477	5.41134129
12	HDratkowsky	0.6312	1.278690275	6.03252876	0.6743	0.592283805	5.486459867

در شکل ۲ منحنی قطربرابرسینه (سانتیمتر) و ارتفاع (متر) برای کل منطقه مورد بررسی آورده شده است.



شکل ۲- منحنی قطر -ارتفاع برای حوضه ۴۰ الف نوشهر

Figure 2. Diameter-height curve for 40 A Noshahr

بحث

در پژوهش حاضر به‌منظور مدلسازی روابط ارتفاع و قطر در توده راش و ممرز حوضه ۴۰ الف نوشهر از ۱۲ مدل غیرخطی استفاده شد.

نتایج به‌دست آمده از آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی قطربرابرسینه و ارتفاع درختان نشان می‌دهد که این داده‌ها از یک دامنه وسیع قطر برابرسینه ۱۳ تا ۱۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵ تا ۴۶ متر انتخاب شده‌اند. این مساله بیانگر این است که به طور تقریب تمامی قطر و ارتفاع درختان راش و ممرز در نظر گرفته شده‌اند.

از نتایج بدست آمده مشخص شد مدل Korf برای جنگل مورد بررسی به‌دلیل داشتن مقدار RMSE کوچکتر، R^2 بزرگتر و همچنین مقدار BIAS کمتر نسبت به دیگر مدل‌های مورد استفاده مناسبتر است. که با مطالعات آناکیوکو و همکاران (۲۰۱۸)، مهتاتالو و همکاران (۲۰۱۸) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) همسو می‌باشد. طی مطالعه‌ای که آناکیوکو و همکاران (۲۰۱۸)، با هدف بررسی رابطه قطر و ارتفاع برای گونه Alnus Japonica در فیلیپین انجام دادند، شش مدل غیرخطی انتخاب شد که شامل چپمن-ریچاردز، اسنوت، لجستیک اصلاح شده، کورف و وایبول بود که نتایج نشان داد که هر شش مدل قادر به تعیین رابطه قطر و ارتفاع است و داده‌ها را به خوبی برآورد کردند. لازم به ذکر است نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها تفاوت زیادی با هم نداشتند که با نتایج عالمی و همکاران (۲۰۱۸) و حمیدی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. این مدل‌ها با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های بررسی مدل نسبت به باقی مدل‌ها در پیش-بینی ارتفاع درختان راش ممرز در شمال ایران در جنگل‌های پهن‌برگ و ناهمسال معرفی می‌شوند. مجذور میانگین مربعات خطا در حدود ۵ و ۶ متر بود که با مطالعات تمسژن و همکاران (۲۰۱۴) ناهمسو بوده است که می-تواند عواملی مانند ساختار توده و نوع توده در این مورد بسیار اثرگذار باشد.

در این تحقیق ۱۲ مدل مختلف قطر-ارتفاع ارائه شد که بهترین مدل قطر -ارتفاع برای جنگل‌های راش و ممرز حوضه ۴۰ الف نوشهر که ناهمسال‌اند مدل korf بود که بهترین برازش را برای داده‌های قطر -ارتفاع به همراه داشت. این مدل، به عنوان یک راهنما، نقش مؤثری در اُمور مختلف جنگل خصوصاً برنامه‌ریزی امور قطع و تبدیل و بهره‌برداری دارد. بنابراین این مدل‌ها می‌توانند در برآورد ارتفاع درختان جنگلی در مناطق جنگلی دیگر مشابه در شمال ایران، در جنگل‌های پهن‌برگ استفاده شوند. همچنین در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود علاوه بر مدل‌های مذکور از ماشین‌بردارپشتیبان نیز در برآورد ارتفاع درختان راش و ممرز و دیگر گونه‌های جنگل-های هیرکانی استفاده شود و بتوان این مدل‌ها را به صورت عملیاتی در برنامه‌ریزی جنگل به کار برد.

Reference

1- Alami, A., Oladi, J., Fallah, A. & Y. Maghsodi, 2018. Evaluation of nonlinear non-linear models of alder species in Hirkani forests (Case study: Rezaee forest). Quarterly journal of ecosystems of Iran 9 (2): 1-12 (In Persion).
2- Alijani,V., Namiranian, M., Feghhi, J., Bozorg Hadad, O. & V.Etemad, 2017. Investigation of Diameter and Elevation Models in Different Stages of Different Forest Management in Rash (Case Study: Kheyroud Educational and Research Forest). Quarterly journal of environmental science and technology, ready for publication (In Persion).
3- Anacioco, K., J. Gorio, M. Padsico, R. Lumbres, N. Doyog & 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. Non-productive non-timber forestry plan 40 A, Series 2 Dirier and 3 Anguran, 398 p (In Persion).
5- Arabatzis, A. A. & H.E. Burkhart, 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations, Forest science 38(1): 192-198.
6- Baily, R. L. 1980. Individual tree growth derived from diameter distribution model. Forest Science 26(4): 626-632.
7- Botkin, Daniel B., James F. Janak, & James R. Wallis, 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth, The Journal of Ecology 849-872.
8- Chai, Zongzheng., Tan., Wei, Li, Yuanyuan., Yan, Lan., Yuan Hongbo., & Li. Zhaojun, 2018. Generalized nonlinear height–diameter models for a Cryptomeria fortunei plantation in the Pingba region of Guizhou Province, China 18:29–35.
9- Curtis, Robert O. 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir, Forest science 13(4): 365-375.
10- Eerikäinen, K. 2003. Predicting the height-diameter pattern of planted Pinus kesiya stands in Zambia and Zimbabwe, Forest Ecology and Management 175: 355–366.
11- Flewelling, J.W. & R. deJong, 1994. Considerations in simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements, Canadian Journal of Forest Research 24: 1408-1414.
12- Hamidi, K., Fallah, A. Bayat, M. & S.A. Hosseini yekani, 2019. Investigating the Diameter and Height Models of Beech trees in Uneven age Forest of Northern Iran (Case study: Forest Farim), Iranian Forest Ecology, under Press.
13- Huang, S. & S. J. Titus, 1992. Comparison of nonlinear-highert-diameter fuction for major alberta tree species. Can. J. For. Res 22: 1297-1304.
14- Lappi, J. 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters, Forest Science 37: 781–801.
15- Lumbres I.R.C., C.A. Abino, M.N. Pampolina, G.F. CaloraJr & 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.
16- Mehtätalo, L., 2005. Height-diameter models for Scots pine and birch in Finland.

17- Mehtatalo, L., S. de-Miguel & T.G. Gregoire, 2015. Modeling height-diameter curves for prediction, Canadian Journal of Forest Research 45(7): 826-837.
18- Michaelis, L. & M.L. Menten, 2007. *Die kinetik der invertinwirkung*. Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg.
19- Meyer, W. 1940. A mathematical expression for height curves, Journal of Forestry 38: 415- 420.
20- Michailoff, I. 1943. Zahlenm¨ assiges verfahren f¨ Ur die ausf¨ uhrung der bestandeshhenkurven. Forstw, Clb U Thar. Forstl. Jahrb 6: 273-279.
21- Mohammadalizadeh, Kh., Zobeiri, M., Horfar, A. & M. R., Marvi Mohajer, 2009. Qtrbrabrsynh frequency distribution was using some statistical distribution models, CASE STUDY: Kheyroudkenar Noshahr, Research and spruce forest 17 (1): 116-124 (In Persion).
22- Mohammadi, J. & Sh.Shataee, 2016. In uneven-aged forests (Carpinus betulus L.) to evaluate different models Mmrzshst Kalat-height diameter of Gorgan, Journal -research forest and poplar 24 (4): 704-712 (In Persion).
23- Nanang, D.M. 1998. Suitability of the Normal, Lognormal and Weibull distributions for fitting diameter distributions of Neem plantations in northern Ghana, Forest Ecology and Management 103(1):1-7.
24- 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.
25- Pearl, R. & 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.
26- Peng, Chang Hui, 1999. Nonlinear height-diameter models for nine boreal forest tree species in Ontario, Forest Research Report Ontario Forest Research Institute For, Res. Ins.report (155): 34pp.
27- Peschel, W. 1938. Mathematical methods for growth studies of trees and forest stands and the results of their application, Tharandter Forstliches Jahrbuch 89: 169-247.
28- Prodan, M. & S.H. Gardiner, 1968. Forest Biometrics, Pergamon Press, Oxford, 447p.
29- Ratkowsky, D.A. and Giles, D.E., 1990. Handbook of nonlinear regression models.
30- Richards, F. J. 1959. A flexible growth functions for empirical use, J. Exp. Bio (10):290-300.
31- Stoffels, A. & J. van Soest, 1953. The main problems in sample plots, Ned. Boschb. Tijdschr 25: 190-199.
32- Thanh, T.N., Tien, T.D. & H.L. Shen, 2019. Height-diameter relationship for Pinus koraiensis in Mengjiagang Forest Farm of Northeast China using nonlinear regressions and artificial neural network models, Journal of Forest Science, 65(4) pp.134-143.
33- Temesgen, H., Zhang, C.H. & Zhao, X.H., 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, pp.78-89.

34- Vieira, G.C., de Mendonça, A.R., da Silva, G.F., Zanetti, S.S., da Silva, M.M. & dos A.R. Santos, 2018. Prognoses of diameter and height of trees of eucalyptus using artificial intelligence, Science of The Total Environment 1473-1481.
35- Weibull, W. 1951. A statistical distribution functions of wide applicability, Journal of Applied. Mechanice 18(3): 293-297.
36- Wykoff, W.R., N.L. Crookston & A.R. Stage, 1982. User's guide to the stand prognosis model. USDA Forest Service, General Technical Report (GTR). 133p.
37- Zhang, X., A. Duan, J. Zhang & C. Xiang, 2014. Estimating Tree Height-Diameter Models with the Bayesian Method, Journal of Scientific World 2014: 240-249.

Investigating Diameter-Height Models of *Beech* and *Hornbeam* Forests in watershed 40 A of Noshahr (Mazandaran)

N. Nazariani[1*], S. K. Hamidi[2] and R. Manssor Samaei[3]

Abstract

Modeling the frequency distribution of variables such as diameter and height of trees as an important factor in the growth and performance of various branches of forest science such as forestry, forestry and biometrics in order to provide sustainable management and proper planning of forest resources. Altitude and diameter equations are often used to estimate the height of trees when only the diameter of the trees is measured. In the present study, we investigated the diameter and height models for beech and hornbeam forests of 40 A Nowshahr (Mazandaran).In this study, a systematic-randomly sampling method with 150 × 200 m network (0.1 ha) was used and the diameter and height data of the thickest and closest tree to the center of the sample plot, 800 beech and hornbeam stands from 400 circular sample plots was selected. The data were divided into two categories. 70% of the data was used for modeling and 30% for validation. Using the 12 models of nonlinear diameter and height regression models were analyzed and analyzed. In order to select the optimal model, moderate explanation coefficient criteria, mean square error and error were used. The results of different models showed that the Korf model with the coefficients of error, irregularity and mean squared error (R2 = 0.68), (BIAS = 0.52) and (RMSE = 5.82) for modeling and respectively (R2 = 0.68) (BIAS = 0.30) and (RMSE = 5.41) for validation, is a suitable model for the diameter-altitude relationship in the studied area. With regard to aspects of mathematical and biological models studied in this research, korf model as the final model to predict the height of *beech* and *Carpinus betulus* forests in the area is recommended.

Keywords: *Beech, Carpinus betulus, Diameter-height, Korf model, Modeling, Nonlinear regression.*

1*- Corresponding author, Ph.D. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Sari, Iran. **E-mail**: Nazariani69@yahoo.com, Phone number:+98 9168595343

2 - Ph.D. student of forestry, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Sari, Iran.

3 - Ph.D. student of Forestry, Natural Resources Faculty, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Sari, Iran.