علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره دوازدهم، اسفند ماه ۹۸

# بررسی مدل‌های قطر و ارتفاع در مراحل تحولی مختلف جنگل‌های مدیریت نشده راش (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود)

**وحید علی‌جانی[1*]**
V_alijani@ut.ac.ir
**منوچهر نمیرانیان[۲]**
**جهانگیر فقهی[۲]**
**امید بزرگ حداد[۳]**
**وحید اعتماد[۴]**

**تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۳** **تاریخ پذیرش:۹۵/۰۷/۰۷**

**چکیده**

**زمینه و هدف**: اندازه‌گیری ارتفاع تمامی درختان یک جنگل یا توده جنگلی تقریباً غیر عملی می‌باشد. به همین دلیل امروزه محققین مختلف ترجیح می‌دهند ارتفاع درختان را از رابطه‌ی بین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان برآورد کنند.

**روش بررسی:** در این مطالعه به منظور برازش مدل‌های مختلف آماری در طی مراحل مختلف تحولی جنگل، پس از انجام جنگل گردشی سه قطعه نمونه یک هکتاری واقع در مراحل تحولی مختلف (اولیه، بلوغ و پوسیدگی) در راشستان‌های مدیریت نشده جنگل خیرود دانش-کده منابع طبیعی دانشگاه تهران انتخاب شدند. سپس قطر برابر سینه و ارتفاع ۲۵۱ اصله درخت (در مراحل تحولی مختلف) به طور تصادفی اندازه‌گیری و از ۸۰ درصد درختان به منظور مدل‌سازی و از ۲۰ درصد باقی مانده به منظور اعتبار سنجی ۲۲ مدل رگرسیونی استفاده شد. در این تحقیق، به منظور تعیین مناسب ترین مدل برای هر یک از مراحل تحولی، از معیارهای $R^2$، E، MBE و NMPE استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این بررسی نشان دهنده‌ی مناسب بودن مدل‌های تابع نسبی و ویبول در مرحله اولیه، نمایی اصلاح شده در مرحله بلوغ و گومپرتز و ریچارد در مرحله پوسیدگی می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان نمود که مدل‌های رگرسیونی مختلف دارای قابلیت یکسانی در برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع توده‌های مختلف نمی‌باشند و نمی‌توان از یک مدل یکسان جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع توده‌های واقع در مراحل تحولی مختلف استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** خیرود، مدل‌های رگرسیونی، مراحل تحولی، منحنی قطر-ارتفاع.

---

۱- دانش آموخته دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران* (مسوول مکاتبات)
۲- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۴- دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*February, 2020 J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.12,*

# Investigation of Height-Diameter Models in Different Development Stages of Unmanaged Beech Forest

## (Case Study: Educational and research forest of Kheirud)

**Vahid Alijani[1*]**
*V_alijani@ut.ac.ir*
**Manouchehr Namiranian[2]**
**Jahangir Feghhi[2]**
**Omid Bozorg-Haddad[3]**
**Vahid Etemad[4]**

Accepted: 2016.11.28 Received: 2014.11.04

**Abstract**

**Background and Objective:** Height Measurement of all trees in a forest or forest stand is almost impractical. For this reason, today different researchers prefer to estimate the tree height by the relationship between the DBH and height of trees.

**Method:** In this study, to fitting different statistical models in different stages of forest development, after field inspection, three one hectare sample plots located in different development stages in Beech forest of Kheirud forest, Natural Resources Faculty in Tehran University were selected. Then the DBH of 251 trees have been measured randomly and 80 percent of trees were used for modeling and 20 percent were used to validate 22 regression models. In order to determine the best model for each of development stages, $R^2$, E, MBE and NMPE criteria were used.

**Findings:** The results of this study indicated the suitability of Rational Function and Weibull models in initial stage, Modified Exponential in optimal stage and Gompertz and Richard models in Decay stages.

**Discussion and Conclusion:** Based on the results of this study it can be concluded that different regression models doesn't have the same ability in fitting the data of DBH and height of different forest stands and the same model can't be used to fit the data of DBH and height of different forest stands.

**Keywords:** Kheirud Forest, Regression Models, Development Stages, DBH-Height Curve.

1- Ph. D. of forestry and forest economics, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran*(Corresponding author)
2- Prof. of forestry and forest economics, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
3- Prof. of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
4- Associate professor of forestry and forest economics, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

**مقدمه**

اندازه‌گیری متغیرهای ارتفاع کل و قطر برابر سینه درختان در آماربرداری جنگل بسیار رایج هستند و امروزه در فعالیت‌های رایج مدیریتی، بررسی‌های مربوط به ساختار عمودی، مدل-سازی‌های رویش و محصول و هم چنین اهداف تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱، ۲). این متغیرها از اصلی ترین متغیرها جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری درختان جنگلی بوده و در مواردی از جمله تعیین حجم، ترسیم منحنی ارتفاع، محاسبه ضرایب شکل و قدکشیدگی (۳)، شاخص رویش گاه، شبیه سازی جنگل، بررسی نظریه رشد درختان، توصیف توده و مواردی از این دست کاربرد دارند (۴). برخلاف اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان که به سهولت امکان پذیر می‌باشد، اندازه-گیری ارتفاع درختان عمدتاً زمان‌بر و همراه با صرف هزینه زیاد می‌باشد (۵). به عبارتی دیگر در آماربرداری جنگل، معمولاً ارتفاع درختان در قطعات نمونه کوچک تر یا برای تعداد محدودی از درختان اندازه‌گیری می‌شود در حالی که قطر برابر سینه تمامی درختان واقع در قطعه نمونه اندازه‌گیری می‌شود (۶) . بنابراین، با توجه به رابطه قطر برابر سینه و ارتفاع درختان، اندازه‌گیری قطر برابر سینه برای رسیدن به ارتفاع درختان رایج‌تر از اندازه‌گیری مستقیم ارتفاع است (۴، ۷). نتایج حاصل از مرور منابع نشان دهنده‌ی وجود مطالعات متعددی در خصوص روابط بین قطر برابر سینه و ارتفاع گونه‌های جنگلی در جنگل های خارج از کشور (۸، ۹، ۱۰، ۱۱) و هم چنین جنگل-های داخل کشور (۴، ۱۲، ۱۳) می‌باشد. اما موضوع مهمی که در هنگام بررسی روابط اندازه‌ای درختان باید مدنظر قرار گیرد این است که اکوسیستم‌های طبیعی از جمله جنگل‌ها، دارای ویژگی‌های متفاوت و متمایزی نسبت به یک دیگر هستند. یک اکوسیستم همیشه در حال تغییر و تحول بوده و به عبارتی دیگر، اجزاء اکوسیستم دایماً در حال اثرگذاری بر هم هستند که نتیجه آن حفظ تعادل و پویایی اکوسیستم خواهد بود (۱۴). پایداری مراحل تکاملی و تعداد آن ها به وسیله تغییرات ساختار توده بر اثر رشد و مراحل خودتنظیمی مشخص می‌شوند و در هر جنگل طبیعی بر اساس مشخصات ظاهری درختان و صفات ساختاری توده سه مرحله تحولی اصلی قابل تشخیص هستند. در مرحله اولیه درختان تمایل به صعود به طبقات بالاتر داشته و موجودی حجمی به شکل فزاینده‌ای در حال افزایش بوده و درختان در کلیه طبقات ارتفاعی حضور دارند. در این مرحله درصد تاج پوشش و تراکم درختان در واحد سطح زیاد بوده و حفره‌های کوچکی که در اثر افتادن درختان ایجاد می‌شوند نسبتاً سریع توسط سایر درختان یا تجدید حیات پر می‌شوند. پس از عبور از این مرحله، تعداد درختان نسبت به مرحله قبلی کاهش ولی حجم درختان افزایش می‌یابد. هم چنین در این مرحله به دلیل از بین رفتن اختلافات ارتفاعی درختان و کم شدن اشکوب‌ها، مرگ و میر درختان بسیار کم شده و تاج پوشش درختان عموماً به وسیله درختان اشکوب بالا تشکیل می‌شود و تصویر حاصل از مرحله اپتیمال بسیار شبیه به جنگل دانه‌زاد هم سال می‌باشد. در اواخر مرحله اپتیمال و با مسن شدن درختان، ابتدا به تعداد کم و به تدریج به تعداد زیاد درختان مسن از بین می‌روند و از این جا به بعد مرحله تخریب شروع می‌شود. در این مرحله تعداد درختان و موجودی حجمی آن ها به تدریج کاسته شده و در پوشش تاجی جنگلی حفره-های کوچک و بزرگ ایجاد می‌شود و موجودی حجمی به صورت ناهمگن در توده جنگلی توزیع می‌گردد (۱۵). روابط بین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نیز تحت تأثیر ویژگی‌های توده از جمله مراحل تحولی، تراکم، شاخص رویش گاه و غیره می-باشد و بنابراین این روابط در توده‌های مختلف و حتی در زمان-های مختلف متفاوت می‌باشد (۱۶، ۱۷). لذا در این تحقیق سعی شده است ضمن بررسی وجود و یا عدم وجود اختلاف در روابط بین قطر برابر سینه و ارتفاع درختان در طی مراحل تحولی مختلف، با به کارگیری ۲۲ مدل خطی و غیر خطی نسبت به تعیین مناسب ترین مدل جهت برآورد ارتفاع درختان با استفاده از متغیر مستقل قطر برابر سینه اقدام گردد.

**روش بررسی**

**منطقه پژوهش**

پژوهش حاضر در بخشی از راشستان‌های مدیریت نشده‌ی جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود (بخش گرازبن و چلیر) با گونه غالب راش (*Fagus Orientalis* Lipsky) انجام شده است. این منطقه دارای میانگین بارندگی ۱۳۰۰ میلی‌متر و دمای سالیانه ۱۶/۱ سانتی‌گراد بوده و نمونه‌ای از یک جنگل طبیعی و دارای ساختار ناهم سال می‌باشد. قطعات مورد بررسی دارای حداقل دخالت انسانی بوده و تاکنون هیچ گونه فعالیت جنگل شناسی در آن صورت نپذیرفته است. لذا می‌توان بیان نمود که توده‌های مورد مطالعه نمونه‌ای از جنگل‌های طبیعی و مدیریت نشده می‌باشد (۱۸).

**شیوه اجرای پژوهش**

به منظور بررسی رابطه بین قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان در طی مراحل تحولی مختلف، ضمن انجام جنگل گردشی در راشستان‌های بهره‌برداری نشده بخش گرازبن و چلیر و بر اساس مراحل تحولی سه گانه کورپل (۱۹) سه قطعه نمونه یک هکتاری واقع در مراحل اولیه، بلوغ و پوسیدگی انتخاب شد. در انتخاب این سه قطعه نمونه، ویژگی‌هایی از جمله تعداد و حجم درختان زنده و خشکه‌دارها، ابعاد قطری درختان و توزیع آن ها در طبقات قطری مختلف، حضور روشنه‌ها و زادآوری، تعداد اشکوب و غیره مدنظر قرار گرفت (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲). سپس در داخل هر یک از قطعات نمونه به منظور تعیین رابطه قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان، در حدود ۳۰ درصد از درختان به شکل تصادفی (اندازه‌گیری درختان در طی دو نوار با عرض ۲۰ متر و به شکل عمود بر هم) انتخاب و قطر برابر سینه و ارتفاع تمامی درختان به ترتیب با دقت سانتی‌متر و دسی‌متر اندازه-گیری گردید.

**آنالیز داده‌ها**

در این تحقیق به منظور برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع در هر یک از مراحل تحولی سه گانه از مجموعه‌ای از مدل‌های خطی (مدل‌های شماره ۱ تا ۳) و غیر خطی (مدل‌های شماره ۴ تا ۲۲) استفاده شد که شامل مدل‌های نمایی، توانی، تراکم-محصول، رویش، سیگموییدی و سایر توابع می‌باشند (جدول ۱). مدل‌های مربوط به خانواده نمایی یا لگاریتمی (مدل‌های ۴ تا ۶) عمدتاً دارای شکل محدب یا مقعر می‌باشند، ولی بعضی از این مدل‌ها دارای یک نقطه عطف و یک حداکثر یا حداقل هستند. از دیگر مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌توان به مدل‌های توانی اشاره کرد (مدل‌های ۷ تا ۹). در این مدل‌ها یک یا چند پارامتر به عنوان توان متغیر مستقل قرار گرفته و حتی در مواردی متغیر مستقل به عنوان توان یک پارامتر مشخص قرار می‌گیرد. مدل‌های توانی معمولاً مجموعه-ای از منحنی‌های مقعر یا محدب بوده ولی بر خلاف مدل‌های نمایی فاقد یک نقطه انعطاف یا حداقل و حداکثر نمی‌باشد. از دیگر مجموعه مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌توان به مدل‌های محصول- تراکم اشاره کرد (مدل ۱۰) که دارای کاربردهای مختلفی به خصوص در علوم کشاورزی می‌باشد. تاریخچه استفاده از این مدل‌ها به کاربرد آن در مدل سازی روابط بین محصول و فضای در اختیار آن گیاه یا تراکم کاشت آن گیاه بر می‌گردد. این مدل‌ها دارای دو شکل مجانب و سهمی شکل می‌باشند و امروزه در علوم مختلف کاربرد وسیعی یافته-اند. مدل‌های رویش (مدل‌های ۱۱ و ۱۲) که توسط یک رشد یکنواخت از یک ارزش خاص به یک خط مجانب توصیف می-شوند دارای کاربرد وسیعی در علوم مهندسی هستند.

**جدول ۱- مدل‌های خطی و غیر خطی مورد استفاده در مراحل تحولی مختلف (۲۳)**

**Table 1 - Linear and Non-linear models Used in Different Development Stages**

| نوع | نام مدل | معادله | نوع | نام مدل | معادله |
|---|---|---|---|---|---|
| خطی | ۱- مدل خطی | $y = a + bx$ | رویش | ۱۲- مدل میزان رویش اشباع | $y = \frac{ax}{b+x}$ |
| | ۲- مدل کوادراتیک | $y = a + bx + cx^2$ | سیگموئیدی | ۱۳- مدل گومپرتز | $y = ae(-e(b-cx)$ |
| | ۳-مدل چند جمله‌ای (درجه سه) | $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ | | ۱۴- مدل لجستیک | $y = \frac{a}{1+be(-cx)}$ |
| نمایی | ۴- مدل نمایی اصلاح شده | $y = ae(b/x)$ | | ۱۵- مدل ام. ام. اف | $y = \frac{ab+cx^d}{b+x^d}$ |
| | ۵- مدل لگاریتمی | $y = a + b\ln x$ | | ۱۶- مدل ویبول | $y = a - be(-cx^d)$ |
| | ۶- مدل فشار بخار | $y = e(a + \frac{b}{x} + c\ln x)$ | | ۱۷- مدل ریچارد | $y = \frac{a}{(1+e(b-cx)^{1/d}}$ |
| توانی | ۷- مدل توانی | $y = ax^b$ | سایر توابع | ۱۸- مدل هایپربولیک | $y = a + \frac{b}{x}$ |
| | ۸- مدل هندسی اصلاح شده | $y = ax^{b/x}$ | | ۱۹- مدل سینوسی | $y = a + b\cos(cx+d)$ |
| | ۹- مدل هوئرل | $y = ab^x x^c$ | | ۲۰- مدل تابع نسبی | $y = \frac{a+bx}{1+cx+dx^2}$ |
| تراکم - محصول رویش | ۱۰- مدل هاری | $y = \frac{1}{(a+bx^c)}$ | | ۲۱- مدل ظرفیت گرمایی | $y = a + bx + \frac{c}{x^2}$ |
| | ۱۱- مدل نمایی تجمعی | $y = a(1-e(-bx))$ | | ۲۲- مدل گوسی | $y = ae(\frac{-(b-x)^2}{2c^2}$ |

خانواده دیگر از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، مدل‌های سیگموییدی (مدل‌های ۱۳ تا ۱۷) هستند که زیر مجموعه‌ای از مدل‌های خانواده رشد بوده و تحت عنوان مدل‌های S شکل دارای کاربردهای وسیعی در بیولوژی، مهندسی، کشاورزی، اقتصاد و غیره می‌باشند. این منحنی‌ها از یک نقطه ثابت شروع شده و میزان رشد آن به شکل یکنواخت تا رسیدن به یک نقطه

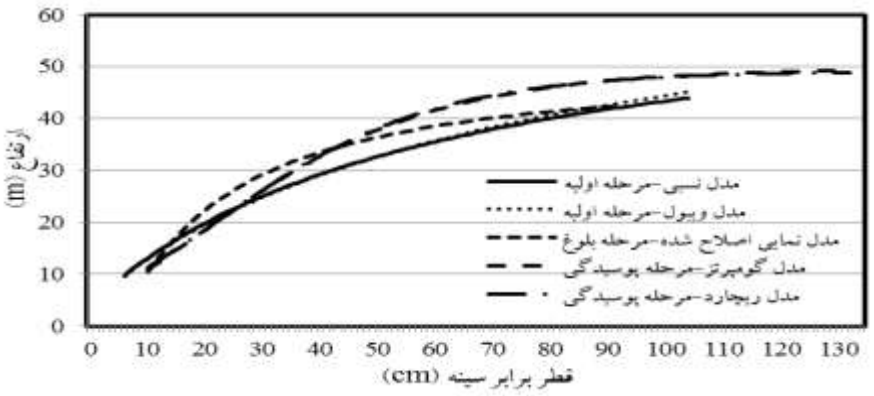
انعطاف افزایش می‌یابد. پس از این، میزان رشد به یک ارزش نهایی به شکل مجانب نزدیک می‌شود و اما تعدادی از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق که در هیچ یک از دسته‌های فوق الذکر طبقه بندی نمی‌شوند تحت عنوان سایر توابع در جدول (۱) گردآوری شده است (مدل‌های ۱۸ تا ۲۲). لازم به ذکر است که در این تحقیق به منظور برازش داده‌ها و برآورد پارامترهای هر یک از مدل‌های ارایه شده در جدول(۱) از نرم-افزار Curve Expert 1.4 استفاده شد که یک برنامه جامع به منظور برازش منحنی‌ها می‌باشد (۲۳).

**اعتبار سنجی مدل**

به منظور اعتبار سنجی نتایج حاصل از این مطالعه از معیارهای ضریب تبیین ($R^2$) و همچنین ضریب $E$ برای بررسی کارآیی مدل، از خطای اریبی میانگین ($MBE$) برای بررسی اریب بودن مدل و از پارامتر درصد خطای میانگین نرمال شده ($NMPE$) برای انتخاب بهترین مدل رگرسیونی تک متغیره استفاده شد (۲۴). مقدار ضریب $R^2$ بین صفر تا یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، برازش مدل بهتر است. بازه‌ی ضریب $E$ بین منفی بی‌نهایت تا یک است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل دارای کارآیی بهتری می‌باشد و مقادیر کم‌تر از صفر، نشان از ناکارآمدی مدل دارد. بازه‌ی $MBE$ مثبت تا منفی بی‌نهایت بوده و اعداد مثبت بیان‌گر بیش‌برآوردی و اعداد منفی نشان‌گر کم‌برآوردی مدل هستند و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، اریب بودن مدل کم تر است. NMPE نیز بازه‌ی صفر تا مثبت بی‌نهایت درصد دارد و هرچه کم تر باشد، خطای برآوردی مدل کم تر خواهد بود (۲۴).

**یافته‌ها**

مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل مدل‌های دو، سه و چهار پارامتری هستند. نتایج حاصل از معیارهای استفاده شده به منظور اعتبارسنجی مدل‌های استفاده شده (معیارهای $R^2$، E، NMPE و MBE) نشان داد که مدل‌های خطی مورد استفاده در این تحقیق دارای عمل کرد به نسبت ضعیف‌تری نسبت به مدل‌های غیر خطی می‌باشند. هم چنین بر اساس معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این تحقیق، بهترین مدل رگرسیونی جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع در مرحله اولیه تابع نسبی ($R^2$=۰/۸۵، E=۰/۸۰، NMPE=۱۴/۵۶ و MBE=۰/۳۲) و ویبول ($R^2$=۰/۸۵، E=۰/۷۹، ۱۴/۷۱ =NMPEو MBE=۰/۲۵)، در مرحله بلوغ مدل نمایی اصلاح شده ($R^2$=۰/۷۹، E=۰/۸۴، NMPE=۸/۱۶ و MBE=۰) و در مرحله پوسیدگی مدل گومپرتز ($R^2$=۰/۹۲، E=۰/۷۹، NMPE=۱۲/۳۷ و MBE=۰/۳-) و ریچارد ($R^2$=۰/۹۲، E=۰/۷۹، NMPE=۱۲/۴ و MBE=۰) می‌باشد. در شکل (۱) منحنی بهترین مدل‌های برازش داده شده به داده‌های قطر و ارتفاع و در جدول (۲) پارامتر این مدل‌ها در هر مرحله تحولی ارائه شده است.




**شکل ۱-مدل‌های مناسب جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع در طی مراحل تحولی مختلف**

**Table 1- Suitable Models for fitting DBH-Height Data in Different Development Stage**

**جدول ۲- برآورد پارامترهای مدل‌های مناسب قطر-ارتفاع در طی مراحل تحولی مختلف**

**Table 2- Parameter Estimates for suitable Height-Diameter Models in Different Development Stage**

| مراحل تحولی | مدل | پارامتر |
|---|---|---|
| مرحله تحولی اولیه | مدل ویبول<br>مدل نسبی | $y=\frac{3.086+1.137x}{1+0.017x}$<br>$y=60.458-59.368e(-0.033x^{0.798})$ |
| مرحله تحولی بلوغ | مدل نمایی اصلاح شده | $y=51.28e(^{-17.418}/_{x})$ |
| مرحله تحولی پوسیدگی | مدل گومپرتز<br>مدل ریچارد | $y=49.648e(-e(0.886-0.043x)$<br>$y=\frac{49.138}{(1+e(-0.298-0.048x)^{1/0.247}}$ |

**بحث و نتیجه‌گیری**

به کارگیری مدل صحیح قطر و ارتفاع به جای اندازه‌گیری ارتفاع تمامی درختان می‌تواند ضمن کاهش زمان و هزینه اندازه‌گیری تمام درختان (که البته همراه با خطای بسیاری می-باشد) در برآورد موجودی جنگل، شاخص رویش گاه، شبیه-سازی جنگل و مواردی از این دست مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق سعی شد توانایی ۲۲ مدل رگرسیونی مختلف در برازش داده‌های قطر و ارتفاع با در نظر گرفتن مرحله تحولی (اولیه، بلوغ و پوسیدگی) مورد بررسی قرار گیرد. تغییر در این مراحل می‌تواند همراه با تغییراتی در رقابت موجود در توده و ایجاد تغییر در مشخصه‌هایی از جمله قطر و ارتفاع باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده‌ی برتری مدل‌های غیر خطی مورد استفاده نسبت به مدل‌های خطی است که دلیل این موضوع از طریق تفسیر بیولوژیکی دو ویژگی قطر برابر سینه و ارتفاع قابل توجیه می‌باشد. به عبارتی با افزایش قطر برابر سینه، ارتفاع با همان شدت افزایش نمی‌یابد و عمدتاً در قطرهای بالا رویش ارتفاعی به کندی صورت می‌پذیرد. برتری مدل‌های غیر خطی در برازش قطر برابر سینه و ارتفاع در سایر مطالعات نیز به اثبات رسیده است (۲۵، ۲۶). بر اساس معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این تحقیق، بهترین مدل رگرسیونی جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع عبارتند از مدل‌های تابع نسبی و ویبول در مرحله اولیه، نمایی اصلاح شده در مرحله بلوغ و گومپرتز و ریچارد در مرحله پوسیدگی. البته لازم به ذکر است که تعدادی دیگر از مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای کارایی مناسبی می‌باشند که در جدول (۴) قابل مشاهده هستند. مدل تابع نسبی که دارای عمل کرد مطلوبی در برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان راش در مرحله اولیه می‌باشد، عمل کرد بسیار ضعیفی را در برازش داده‌های قطر و ارتفاع در مرحله بلوغ (رتبه ۱۷) و پوسیدگی (رتبه ۱۹) نشان می‌دهد. این در حالی است که مدل ویبول علاوه بر برازش مناسب در مرحله اولیه دارای توانایی لازم در برازش قطر برابر سینه و ارتفاع در مرحله بلوغ (رتبه دوم) و پوسیدگی (رتبه پنجم) است. همچنین در تحقیقی که در جنگلهای برزیل صورت پذیرفت مدل ویبول برازش مناسبی را در خصوص داده-های قطر و ارتفاع نشان داد. این مدل دارای کاربرد وسیعی در روابط آلومتریک به خصوص مدل سازی‌های قطر و ارتفاع می-باشد (۲۵، ۲۷). مناسب ترین مدل برای برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع در مرحله بلوغ مدل نمایی اصلاح شده بود که این مدل در سایر مراحل دارای عمل کرد متفاوتی می‌باشد (رتبه ۱۵ در مرحله اولیه و رتبه ۳ در مرحله پوسیدگی). هم چنین برازش‌های صورت گرفته در مرحله بلوغ نشان دهنده‌ی

برتری مدل‌های گومپرتز و ریچارد بود. اگرچه مدل‌های گومپرتز و ریچارد توانایی بالایی در برازش داده‌های قطر و ارتفاع در مراحل تحولی اولیه (به ترتیب دارای رتبه ۹ و ۱۱) و بلوغ (به ترتیب دارای رتبه ۱۳ و ۱۰) نداشتند، اما در تحقیق مشابهی که در یک جنگل آمیخته ناهم سال در داخل کشور انجام شد (۴) و هم چنین در تحقیقی که در راشستان‌های ترکیه انجام گردید (۲۸)، بیان شد که مدل ریچارد مدل مناسبی می‌باشد. لذا می‌توان بیان نمود که مدل‌های رگرسیونی مختلف دارای قابلیت یکسانی در برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع توده‌های مختلف نمی‌باشند و لذا نمی‌توان از یک مدل یکسان جهت برازش داده‌های قطر و ارتفاع توده‌های مختلف استفاده کرد. لازم به ذکر است که تحقیق حاضر به بررسی رابطه بین قطر برابر سینه و ارتفاع گونه راش در طی مراحل تحولی پرداخته است و توجه به این نکته ضروری است که به کارگیری این نتایج در خصوص سایر گونه‌ها حتی گونه‌هایی که در همین شرایط رویش گاهی وجود دارند نباید به کار گرفته شود (۱). هم چنین همان طور که در تحقیق El Mamoun و همکاران (۱) اشاره شده است، در هنگام استفاده از مدل‌های ارایه شده در این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه، باید به بازه ساخت مدل توجه نمود و این مدل‌ها در سایر بازه‌ها فاقد اعتبار هستند و ممکن است سبب ایجاد نتایج گمراه کننده و ناخوشایند شود. از طرفی دیگر بعضی محققین بیان می‌کنند که مدل‌های تهیه شده تنها بر اساس قطر برابر سینه درختان نمی‌توانند دقت لازم را در برآورد متغیر وابسته (ارتفاع درختان) داشته باشند (۱۱). بنابراین امروزه به منظور حل این مشکل، محققین مختلفی پیشنهاد می‌کنند که از مدل‌های تعمیم یافته ارتفاع و قطر استفاده شود که در آن تغییر پذیری رویش گاه و توده با لحاظ متغیرهای توده غیر از قطر درخت (سطح مقطع توده، سن، تعداد در هکتار، ارتفاع غالب، قطر غالب، شاخص رویش گاه و ...) در نظر گرفته می‌شود.

## Reference


1. El Mamoun H. O., El Zein A. I., and El Mugira, M. I. 2013. Modelling Height-Diameter Relationships of Selected Economically Important Natural Forests Species. Journal of forest products & industries. 2(1): 34-42.
2. Stankova, T.V and Diéguez-Aranda, U,. 2013. Height-diameter relationships for Scots pine plantations in Bulgaria: optimal combination of model type and application. Ann. For. Res. 56(1): 149-163.
3. Mohammadalizadeh, Kh., Namiranian, M., Zobeiri, M., Hoorfar, A. and Marvie Mohajer, M.R. 2013. Modeling of Frequency Distribution of Tree's Height in Uneven-aged Stands (Case study: Gorazbon district of Khyroud forest). Journal of Forest and Wood Product. 66 (2): 155-165. (In Persian).
4. Ahmadi, K., Alavi, S.J., Tabari Kouchaksaraei, M. and Aertsen, W. 2014. Comparison of non-linear height and diameter functions for oriental beech (Fagus orientalis Lipsky.) in a mixed and uneven-aged Caspian forest (Case Study: Tarbiat Modares University forest research station). Iranian Journal of Forest. 6 (1): 11-22. (In Persian).
5. Schmidt, M., Kiviste, A. and von Gadow, K. 2011. A spatially explicit height–diameter model for Scots pine in Estonia. Eur J Forest Res. 130: 303–315.
6. 6-Sánchez-González, M., Cañellas, I. and Montero, G. 2007. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. Invest Agrar: Sist Recur For. 16(1): 76-88.
7. Sharma, M., Parton, J. 2007. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using amixed-effects modeling approach. Forest Ecology and Management. 249: 187–198.
8. Huang, S. and Titus, S. 1992.Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species.Can. J. For. Res. 22: 1297-1304.

9. Leduc, D. and Goelz, J. 2009. Aheight-diameter curve for longleaf pine plantations in the gulf coastal plain. South. J. Appl. For. 33(4): 164-170.
10. Crecente-Campo, F., Tome, M., Soares, P. and Die´guez-Aranda, U. 2010. A generalized nonlinear mixed-effects height–diameter model for Eucalyptus globulus L. in northwestern Spain. Forest Ecology and Management 259: 943–952.
11. Krisnawati, H., Wang, Y. and Ades, P.K. 2010. Generalized height-diameter models for Acacia mangium Wild. Plantations in south Sumatra. Journal of Forestry Research. 7(1):1-19.
12. Namiranian, M. 2000. A Study on Dimensional characters of Beech species In Gorazbon District, Kheyrud Kenar Forest. Iranian Journal of Natural Resources. 53 (1): 87-96. (In Persian).
13. Bayat, M., Namiranian, M. and Zobeiri, M. 2014. Volume, Height and Wood Production Modeling using the Changes in a Nine Years Rotation (Case Study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran). Journal of Forest and Wood Product. 67 (3): 423-435. (In Persian).
14. Delfan Abazari, B. and Sagheb-Talebi, Kh. 2007. Diameter and height increment process of oriental beech (Fagus orientalis) in natural Caspian forests; Kelardasht region. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 15 (4): 320-328. (In Persian).
15. Mattaji, A. and Namiranian, M. 2003. Investigating the Structure and Evolution process of Beech Forests Natural Stands in North of Iran (Case Study: Kheyrood-Kenar, Noushahr). Iranian Journal of Natural Resource. 55 (4): 531-541. (In Persian).
16. Calma, R. & Montero, G. 2004. Interregional non-linear height-diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. Canadian Journal of Forest Research 34: 150–163.
17. Corral-Rivas, S., Álvarez-González, J. G., Crecente-Campo, F. and Corral-Rivas, J. J. 2014. Local and generalized height-diameter models with random parameters for mixed, uneven-aged forests in Northwestern Durango, Mexico. Forest Ecosystems. 1(6):1-9.
18. Unkhown. 2010. Forest Management Planning (Gorazbon district of Kheirud forest). Department of Forestry and Forest Economic. University of Tehran. 297 p. (In Persian).
19. Korpel, S., 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer, Berlin. 310 p.
20. Sagheb-Talebi, Kh., Delfan Abazari, B., Namiranian, M. 2003. Description of decay stage in a natural Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) forest in Iran, preliminary results. In: Commarmot B, Hamor FD (eds) Natural forests in the temperate zone of Europe-values and utilization. Proceedings of conference in Mukachevo, Ukraine, October 13-17, 2003, pp 130-134.
21. Sefifi, K. and Marvie Mohadjer, M.R. 2010. Charachteristics of coarse woody debris in successional stages of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran. J. For. Sci. 56: 7-17.
22. Akhavan, R.,Sagheb-Talebi, Kh., Zenner, E. K., Safavimanesh, F. 2012. Spatial patterns in different development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Hyrcanian region of Iran.Eur J Forest Res. 131: 1355-1366.
23. Hyams, D. 2010. Curve expert 1.40: A curve fitting system for Windows. http://curveexpert.webhop.biz/

24. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G. and Dunkerley, D., 2015. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. Agricultural and Forest Meteorology, 201: 76–85.
25. Fang, Z., Bailey, R.L. 1998. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. Forest Ecology and Management 110: 315–327.
26. Scaranello, M. A. S., Alves, L. F., Vieira, S. A., Camargo, P. B. C., Joly, C. A., Martinelli, L. A. 2012. Height-diameter relationships of tropical Atlantic moist forest trees in southeastern Brazil. Scientia Agricola. 69(1): 26-37.
27. Batista, J.L., Couto, H.T.Z., Marquesini, M. 2001. Performance of height-diameter relationship models: analysis in three forest types. Scientia Forestalis 60: 149–163 (in Portuguese, with abstract in English).
28. 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.