

## Determination and modeling of diameter and basal area of Beech tree (*Fagus orientalis* Lipsky) in Golestan Province

Jahangir Mohammadi<sup>\*1</sup> | Seyedeh Zahra Seyed Mousavi<sup>2</sup> | Khalil Ghorbani<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran. E-mail: [mohamadi.jahangir@gmail.com](mailto:mohamadi.jahangir@gmail.com)
2. Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran. E-mail: [mousavizahra242@yahoo.com](mailto:mousavizahra242@yahoo.com)
3. Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran. E-mail: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Full Length Research Paper</p> <p><b>Article history:</b> Received: 10.09.2021 Revised: 12.18.2021 Accepted: 12.24.2021</p> <p><b>Keywords:</b> Basal area growth, Diameter growth, <i>Fagus orientalis</i> Lipsky, Modeling</p>	<p><b>Background and Objectives:</b> Determining and estimating the tree diameter growth and basal area growth of beech are very important in forest management and planning. Due to, the beech trees are one of the most valuable species in Hyrcanian forests, so the aim of this study is to determine and model the tree diameter growth and basal area growth of the beech tree in forestry plans in Golestan province.</p> <p><b>Materials and Methods:</b> This study was conducted in four forestry plans Vatana, Kordkoy, Shamoshak, and ShastKalateh located in Golestan province. In the study area, 12 beech trees were selected from healthy trees with criteria such as no twisting of the trunk and no wounding of the trunk at a similar altitude from among the healthy stands. A disk (10 cm thick) at breast height was selected. The maximum, minimum, and mean age of the trees in the study area were 243 years (2016-1773), 99 and 142 years, respectively. After preparing the samples, the width of the annual rings of trees was measured using a LINTAB with 0.01 mm accuracy. Then, the average diameter growth and annual basal area growth of trees were determined and the relationship between diameter at breast height and growth diameter and basal area growth was evaluated using four models: Hyperbolic, Heat capacity, Modified power, and Richard.</p> <p><b>Results:</b> The results showed that with the increasing age of beech trees, the diameter growth increased and reached its peak in 1955, then it started a downward trend. The results also showed that with increasing tree age, annual basal area growth of the tree also increases, in comparison to diameter growth, annual basal area growth reaches a maximum in 1990 and then takes a downward trend. The results showed that The diameter growth and annual basal areas were 3.93 mm and 17.52 cm<sup>2</sup>, respectively. The results of modeling also showed that the heat capacity model, compared to other models, could better explain the diameter and basal area with a coefficient of determination of <math>R^2 = 0.37</math> and <math>R^2 = 0.69</math>, respectively. The results of uncertainty analysis also showed that the real average of diameter growth and basal area growth characteristics is in the range of 95% confidence intervals, which shows the appropriate and reliable performance of the model.</p>

---

**Conclusion:** According to the results, it can be concluded that diameter growth and annual basal areas were 3.93 mm and 17.52 cm<sup>2</sup>, respectively, and DBH as a dependent variable explains 37% and 69% of changes in diameter growth and annual basal area.

---

Cite this article: Mohammadi, Jahangir, Seyed Mousavi, Seyedeh Zahra, Ghorbani, Khalil. 2022. Determination and modeling of diameter and basal area of Beech tree (*Fagus orientalis* Lipsky) in Golestan Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 28 (4), 45-64.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2022.16412.1943

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تعیین و مدل‌سازی رویش قطری و سطح مقطع درخت راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های استان گلستان

جهانگیر محمدی<sup>۱\*</sup> | سیده زهرا سید موسوی<sup>۲</sup> | خلیل قربانی<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [mohamadi.jahangir@gmail.com](mailto:mohamadi.jahangir@gmail.com)
۲. دانشجوی دکتری علوم جنگل - جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران. رایانامه: [mousavizahra242@yahoo.com](mailto:mousavizahra242@yahoo.com)
۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: تعیین و برآورد رویش قطری و سطح مقطع درختان اهمیت زیادی برای آگاهی از وضعیت و نحوه عملکرد در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل دارد. با توجه به این‌که گونه راش ( <i>Fagus orientalis</i> Lipsky) یکی از باارزش‌ترین گونه‌های جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود بنابراین هدف از این پژوهش تعیین رویش قطری و سطح مقطع درخت راش و برآورد رویش قطری و سطح مقطع با استفاده از قطر برابر سینه در بخشی از جنگل‌های استان گلستان (جنگل‌های وطن، کردکوی، شמושک و شصت کلاته) و مدل‌سازی آن‌ها می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۳	مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در چهار طرح جنگلداری وطن، کردکوی، شמושک و شصت کلاته واقع در جنگل‌های استان گلستان انجام شد. در این پژوهش، از بین درختان سرپا سالم با معیارهایی هم‌چون عدم پیچ‌خوردگی تنه، تقارن تاج‌پوشش و عدم زخم‌خوردگی روی تنه، به‌طور گزینشی ۱۲ پایه درخت راش انتخاب و مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری و در ارتفاع برابر سینه یک دیسک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر انتخاب و جدا شد. حداکثر سن درختان مورد بررسی در این مطالعه ۲۴۳ سال (۲۰۱۶-۱۷۷۳) و حداقل سن درختان ۹۹ سال و میانگین سنی درختان ۱۴۲ سال می‌باشد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، پهنای حلقه‌های رویشی سالیانه درختان با استفاده از دستگاه LINTAB با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس میانگین رویش قطری و سطح مقطع سالیانه درختان راش تعیین و رابطه بین قطر برابر سینه با رویش قطری و رویش سطح مقطع با استفاده از چهار مدل Hyperbolic، Richard و Modified power، Heat capacity مورد ارزیابی قرار گرفت.
واژه‌های کلیدی: راش، رویش سطح مقطع، رویش قطری، مدل‌سازی	یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش سن درختان راش رویش سالیانه قطری افزایش می‌یابد و در ۵۰ سالگی به نقطه اوج خود رسیده است، سپس روندی نزولی به خود گرفته است. همچنین

---

نتایج نشان داد که با افزایش سن درخت، رویش سطح مقطع درخت نیز افزایش می‌یابد با این تفاوت که دیرتر از رویش سالیانه قطری، در ۱۲۰ سالگی به حداکثر می‌رسد و سپس روند نزولی به خود می‌گیرد. نتایج نشان داد که میزان رویش قطری و سطح مقطع سالیانه به ترتیب ۳/۹۳ میلی‌متر و ۱۷/۵۲ سانتی‌مترمربع به دست آمد. نتایج حاصل از مدل‌سازی نیز نشان داد که مدل Heat capacity نسبت به سایر مدل‌ها، بهتر توانست رویش قطری و سطح مقطع را با ضریب تبیین  $R^2=0/37$  و  $R^2=0/69$  به ترتیب، تبیین نماید. نتایج آنالیز عدم اطمینان نیز نشان داد میانگین واقعی مشخصه‌های رویش قطری و رویش سطح مقطع در محدوده فواصل اطمینان ۹۵ درصد قرار دارد که کارایی مناسب و قابل اطمینان مدل را نشان می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج حاصله می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که رویش قطری و سطح مقطع سالیانه به ترتیب ۳/۹۳ میلی‌متر و ۱۷/۵۲ سانتی‌مترمربع حاصل شد و قطر برابر سینه به‌عنوان متغیر مستقل ۳۷ درصد و ۶۹ درصد تغییرات رویش قطری و سطح مقطع سالیانه را نشان می‌دهد.

---

استناد: محمدی، جهانگیر، سید موسوی، سیده زهرا، قربانی، خلیل (۱۴۰۰). تعیین و مدل‌سازی رویش قطری و سطح مقطع درخت راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های استان گلستان. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۸ (۴)، ۴۵-۶۴.

DOI: 10.22069/JWFST.2022.16412.1943



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

در جنگلداری مدرن انتظار می‌رود اکوسیستم‌های جنگلی ابعاد مختلف توابع اقتصادی و اکولوژیکی مانند تولید چوب، حفاظت از تنوع زیستی، حفاظت از آب‌و‌خاک، ترسیب کربن و تفرج و غیره را در برگیرد. به همین دلیل برآورد و تعیین رویش درختان جهت تهیه اطلاعات کمی و منطقی در مدیریت پایدار منابع طبیعی، ارزیابی، بازبینی، توسعه مدیریت جنگل و چرخه جهانی کربن دارای اهمیت بالایی است. تعیین میزان رویش هم‌چنین معیار مهم برای بهره‌برداری سالانه و انتخاب مناسب‌ترین گونه‌های درختی برای جنگل‌کاری دست‌کاشت می‌باشد (۱). یکی از مهم‌ترین و باارزش‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی ایران، جنگل‌های شمال ایران با مساحت حدود ۱/۹ میلیون هکتار است که منبع مهم تولید چوب و فرآورده‌های جنگلی نیز است و فقط حدود ۱/۲ میلیون هکتار از این جنگل جزو جنگل‌های مرغوب و تجارتمندی باقی‌مانده است. بنابراین هرگونه برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار این منابع جنگلی نیازمند داشتن اطلاعاتی دقیق از رویش درختان این جنگل‌ها می‌باشد (۲)؛ بنابراین کسب اطلاعات از رویش گونه‌های درختی بارز مانند راش با دارا بودن بیش از ۲۶ درصد حجم موجودی سرپا جنگل‌های هیرکانی، برای مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها امری ضروری و کاربردی می‌باشد (۴). بر همین اساس، مطالعه و بررسی وضعیت رویش قطری و سطح مقطع این‌گونه مهم می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران طرح‌های جنگل کمک زیادی نماید. یکی از مهم‌ترین اهداف درزمینه تولید چوب، ذخیره کربن و بهره‌برداری، محاسبه رویش جنگل و عوامل تعیین‌کننده مؤثر بر آن است (۷). از مهم‌ترین کاربردهای رویش، بررسی دینامیک توده‌های جنگلی می‌باشد (۱۳). این بررسی‌ها نه تنها تغییرات مداوم جنگل را نشان می‌دهند، بلکه ابزار تسهیل‌کننده فرآیند

تصمیم‌گیری برای آینده جنگل نیز می‌باشند (۲۷). باگذشت زمان، قطر، ارتفاع، زی‌توده و حجم یک درخت زنده افزایش می‌یابد که این افزایش قطر، ارتفاع، زی‌توده و حجم به‌منزله افزایش موجودی یک جنگل می‌باشد. معمولاً فرآیند تعیین رویش دارای چالش‌هایی مانند تأثیر عوامل مختلف مانند رقابت، اقلیم و غیره می‌باشد.

در درختان سرپا برای تعیین سن درخت از مته سال‌سنج استفاده می‌شود. در این روش قسمتی پوست تا مغز درخت خارج می‌شود و دوایر آن شمارش می‌شوند؛ اما این روش باعث پوسیدگی تنه درختان به‌خصوص در پهن‌برگان و درختان مسن می‌شود. یکی دیگر از مهم‌ترین راه‌ها برای اطلاع از میزان رویش با استفاده از آماربرداری زمینی و عملیات قطع درختان است که با تهیه دیسک در ارتفاع ۱/۳۰ متر و آنالیز تنه در ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ ارتفاع درخت انجام می‌شود که این امر پرهزینه و زمان‌بر است و انجام دوره‌ای آن، بسیار کند می‌باشد و آسیب‌های اکولوژیکی زیادی به همراه دارد (۴۰). به عبارتی، دقیق‌ترین روش برآورد رویش، قطع و برداشت درختان است، اما قطع و اندازه‌گیری دوایر رویشی سالیانه تعداد کافی درخت که بیان‌گر وضعیت یک گونه در رویشگاه باشد، بسیار پیچیده، وقت‌گیر، مخرب، خسته‌کننده و هزینه‌بر است. به همین دلیل، بیش‌تر مطالعات به مناطق کوچک و تعداد نمونه‌های کم محدود می‌شوند. از طرفی، روش‌های محدود به قطع درخت مناسب جنگل‌های با اکوسیستم شکننده و دارای گونه‌های در معرض تهدید نمی‌باشد (۳۴). با توجه به محدودیت‌های روش‌های زمینی در اندازه‌گیری جنگل، در دهه‌های گذشته مدل‌سازی به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری رویش استفاده شده است؛ بنابراین، بررسی شیوه‌های غیرمخرب که ضمن در برگرفتن هزینه و وقت کم‌تر، از اعتبار و دقت

رویش قطری راش را ۳-۵ میلی‌متر در سال بیان داشتند. جهان‌بازی و همکاران (۲۰۰۱)؛ غضنفری و همکاران (۲۰۰۴)؛ فلاحی و همکاران (۲۰۱۲)؛ و قادری و همکاران (۲۰۱۳) و حیدری و همکاران (۲۰۱۷) رویش جاری سالانه قطر درختان بلوط را ۲/۲-۵/۶ میلی‌متر در سال گزارش نمودند (۱۷، ۱۴، ۱۱، ۱۰، ۱۳). کیانی و همکاران (۲۰۱۳)، متوسط رویش قطری سالیانه برای گونه افرا پلت ۸/۳۶ میلی‌متر گزارش نمودند (۲۰). کلانتری و همکاران (۲۰۱۶)، متوسط رویش قطری زربین را بین (۰/۵۳-۰/۴۷ سانتی‌متر) و رویش سطح مقطع را (۰/۸۷-۰/۷۶ سانتی‌مترمربع) گزارش نمودند (۱۸). در رابطه با استفاده از مدل (روش غیرتخریبی) نیز می‌توان به پژوهش‌های لسارد و همکاران (۲۰۰۱)، زائو و همکاران (۲۰۰۴)، شارما و همکاران (۲۰۱۹)، یانگ و همکاران (۲۰۰۹) و هیو و همکاران (۲۰۲۱) و اشاره نمود (۲۲، ۳۱، ۳۶، ۳۸). نتایج تمامی مطالعات نشان داد، استفاده از مدل می‌تواند برای مشخصه‌های رویش قطری و سطح مقطع برآورد قابل‌قبولی دارند. هم‌چنین در پژوهش‌های شارما و همکاران (۲۰۱۹)؛ هیو و همکاران (۲۰۲۱) و زائو و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که به ترتیب مدل‌های Mitscherlich و Chapman-Richards، Logistic بهترین عملکرد را داشتند. میزان ضرایب تبیین (تعیین) محاسبه‌شده در این پژوهش‌ها برای مشخصه رویش قطری بین  $R^2=0/64-0/65$  و میزان RMSE محاسبه شده بین ۱۱/۳-۱۰ میلی‌متر بیان شد (۳۱، ۳۶، ۳۸).

با پیشرفت علم، مدیریت جنگل نیز باید مرحله‌به‌مرحله بهینه، ارزیابی، حذف و یا تأیید شود تا به مدیریت پایدار جنگل نزدیک‌تر شویم؛ بنابراین تعیین و مدل‌سازی رویش از مشخصه‌های کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت این عرصه‌های جنگلی است و داده‌های رویش می‌توانند پویایی توده‌های جنگلی را

بالایی برخوردار باشند، ضروری است (۲۴). ازجمله روش‌های غیر مخرب در برآورد رویش به‌کارگیری مدل‌سازی و تهیه روابط آلومتریک است که در آن رویش تعیین‌شده به رویش حقیقی درخت نزدیک‌تر باشد. امروزه اهمیت مدل‌های رویشی به‌عنوان ابزار مهم مدیریتی و عوامل مؤثر بر آن‌ها بر کسی پوشیده نیست. مدل‌های رویش قطری در رویشگاه‌های مختلف، گونه‌های مختلف و حتی در موقعیت‌های مختلف و حتی از نظر سن، گونه، کیفیت رویشگاه و تراکم متفاوت می‌باشند. این مدل‌ها ابزاری مهم برای اهداف مدیریتی در جنگل‌های پهن‌برگ و ناهمسال هیرکانی به‌حساب می‌آید. مدل‌سازی رویش و عملکرد جنگل قسمت اصلی تحقیقات جنگلداری است، زیرا مدل‌های رویش و به‌طورکلی عملکردهای آن برای، به‌روزرسانی موجودی، برنامه‌ریزی برداشت و ارزیابی و برنامه‌ریزی مدیریت جنگل مفید هستند (۱۲ و ۳). این مدل‌ها می‌توانند در سطوح مختلف مانند توده، طبقه قطری و درخت توسعه داده شوند. مدل‌های رویش در سطح توده و طبقه قطری نمی‌توانند بیان‌کننده دینامیک رویشی در سطح تک‌درخت باشند و بیش‌تر در توده‌های همسال و همگن قابل استفاده هستند. به‌عبارت‌دیگر مدل‌های رویشی در سطح تک‌درختان دارای انعطاف‌پذیری بیش‌تری و بیان‌کننده دینامیک رویشی تک‌درختان هستند و بیش‌تر در توده‌های ناهمسال و ناهمگن کاربرد دارد (۲۸). با توجه به شرایط راشستان‌های جنگل‌های هیرکانی که اغلب دارای شرایط توپوگرافی سخت دارند و نیز با توجه به محدودیت قطع و نمونه‌برداری‌های تخریبی، اولویت بر استفاده از روش‌های غیر تخریبی برای تعیین رویش درختان راش است (۳۳). درزمینه تعیین رویش قطری و سطح مقطع و هم‌چنین استفاده از مدل‌سازی در ایران و خارج از کشور مطالعاتی انجام‌شده است. (۲۳، ۶)

سالانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است (۹).

#### موقعیت و وضعیت کلی طرح جنگلداری شמושک:

این منطقه در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی آبخیزداری استان گلستان قرار دارد. دامنه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه ۱۳۵۰ تا ۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا بوده است شیب عمومی منطقه ۱۵ تا ۳۵ درجه، جهت عمومی منطقه شمال غربی و خاک آن اکثراً آهکی است. تیپ جنگل مورد مطالعه پهن‌برگ خالص و آمیخته و فرم آن غالباً دانه‌زاد ناهمسال و تیپ غالب جنگل راش و ممرز می‌باشد. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب و معتدل می‌باشد (۳۰).

#### موقعیت و وضعیت کلی طرح جنگلداری وطنا:

طرح جنگلداری وطنا در فاصله ۵ کیلومتری در جنوب غربی شهرستان بندرگز در غرب جنگل‌های استان گلستان واقع شده است. طرح جنگلداری وطنا قسمتی از حوزه آبخیز شماره ۸۴ را شامل می‌شود؛ که ارتفاع آن بین ۵۵۰ تا ۱۷۵۰ متر است. تیپ جنگل مورد مطالعه پهن‌برگ خالص و آمیخته و فرم آن غالباً دانه‌زاد ناهمسال و تیپ غالب جنگل راش می‌باشد. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب تا نیمه مرطوب می‌باشد (۳۵).

#### موقعیت و وضعیت کلی طرح جنگلداری کردکوی:

طرح جنگلداری کردکوی قسمتی از حوزه آبخیز شماره ۸۴ را شامل می‌شود. تیپ جنگل مورد مطالعه پهن‌برگ خالص و آمیخته و فرم آن غالباً دانه‌زاد ناهمسال و تیپ غالب جنگل راش و ممرز می‌باشد. دارای اقلیم مرطوب تا نیمه مرطوب می‌باشد (۲۱).

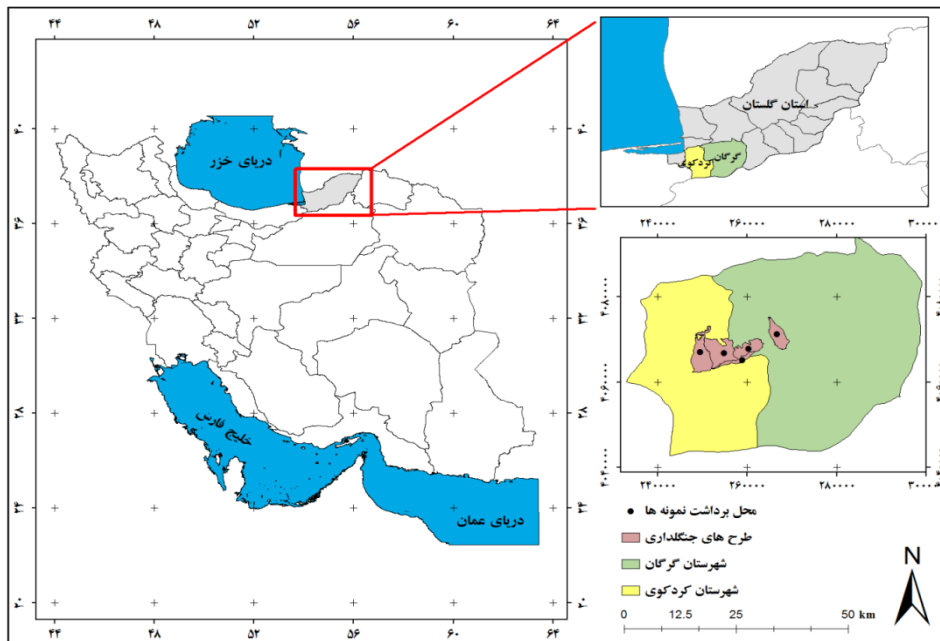
بررسی نمایند؛ علاوه بر این ارائه مدل‌ها و استفاده از آن‌ها نیز می‌تواند برای تعیین موجودی جنگل و بررسی زی‌توده آن مورد استفاده قرار بگیرند. با توجه به اهمیت محاسبه رویش دقیق درختان برای تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع جنگلی، هدف این پژوهش، تعیین رویش قطری و سطح مقطع و ارائه مدل‌های مناسب رویش برای درخت راش در جنگل‌های ناهمسال هیرکانی می‌باشد. مطالعه تغییر رویش جوامع جنگلی گونه ارزشمند راش با استفاده از مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران طرح‌های جنگلداری کمک شایانی نماید تا با شناخت بهتر این توده‌ها نسبت به تهیه برنامه‌ها و اجرای آن‌ها در سطح عملی اقدام نمایند.

### مواد و روش‌ها

**منطقه پژوهش:** پژوهش حاضر در جنگل‌های استان گلستان، واقع در چهار طرح جنگلداری شصت‌کلاته، شמושک، وطنا و کردکوی می‌باشند.

#### موقعیت و وضعیت کلی طرح جنگلداری شصت‌کلاته:

شصت‌کلاته: منطقه مورد مطالعه واقع در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته گرگان) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی می‌باشد. جهت عمومی دامنه شمال غربی و محدوده ارتفاعی منطقه مورد آماربرداری ۲۲۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت کل سری یک ۱۷۱۴ هکتار می‌باشد. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی



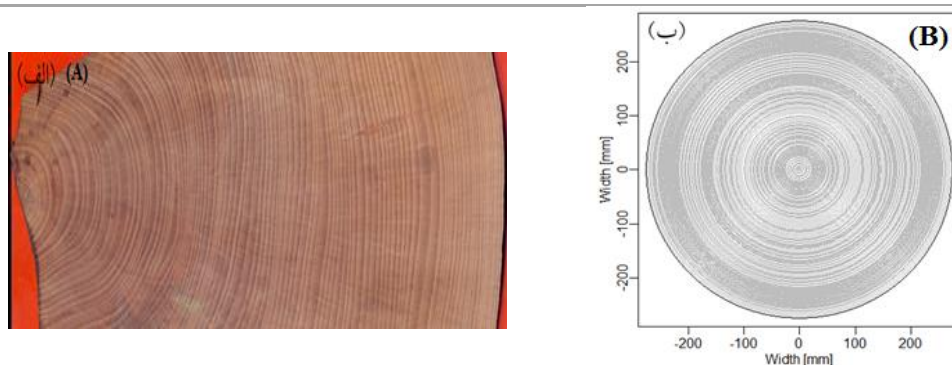
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران.

Figure 1. Location of the study area in Golestan province and Iran.

دیسک به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر انتخاب و جدا شد. نمونه‌برداری در بهمن و اسفندماه ۱۳۹۵ (ژانویه و فوریه ۲۰۱۷) انجام شد. پس از انتخاب دیسک‌ها، در معرض هوای آزاد و سایه قرار گرفتند تا با دمای محیط خشک شوند و پس از خشک شدن جهت وضوح بیش‌تر حلقه‌های رویشی ابتدا با استفاده از اره رام یک سانتی‌متر از دیسک‌ها برش شدند و سپس با استفاده از سمباده‌های زبر و نرم، وضوح دوایر بهبود یافت (شکل ۲).

#### شیوه اجرای پژوهش

داده‌های زمینی: برای تهیه دیسک ابتدا یک جنگل گردشی انجام و سپس بر اساس لیست نشانه‌گذاری سهمیه سال ۱۳۹۵، از بین درختان سرپا سالم با معیارهایی هم‌چون عدم پیچ‌خوردگی تنه، تقارن تاج‌پوشش و عدم زخم‌خوردگی روی تنه، به‌طور گزینشی ۱۲ درخت راش در ارتفاع از سطح دریا تقریباً یکسان انتخاب و مشخصه‌های قطر برابرینه و ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری و در ارتفاع برابرینه یک



شکل ۲- یکی از نمونه دیسک آماده‌شده پس از آماده‌سازی (الف) و نمونه شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار R (ب).

Figure 2. A sample disk after preparation (A) and simulated example in R software (B).



$$IG\% = 2 \times ID\% \quad (2)$$

$$ID = D_2 - D_1 \quad (3)$$

که در آن‌ها، ID رویش قطری، IG رویش سطح مقطع، D<sub>1</sub> رویش در اول دوره، D<sub>2</sub> رویش در آخر دوره. مدل‌سازی و اعتبارسنجی مدل‌ها: به منظور مدل‌سازی رویش درختان راش، مشخصه اصلی قطر برابر سینه برای برازش مدل‌ها به کار گرفته شد. تمام آنالیزهای مربوط به مدل‌سازی رویش قطر و سطح مقطع با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. با توجه به این وضعیت، در این پژوهش چهار مدل رگرسیون جهت برآورد رویش قطری و سطح مقطع که در سایر مطالعات استفاده شده است انتخاب و ارزیابی شدند (جدول ۲).

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها پهنای حلقه‌های رویشی سالیانه درختان از سمت پوست به مغز با استفاده از دستگاه LINTAB مجهز به نرم‌افزار TSAP (Time series analysis and presentation) و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. با استفاده از ریزسنج بینی کولر، حلقه‌های رویشی به صورت ده سال ده سال جدا و علامت‌گذاری شد و سپس با استفاده از دستگاه LINTAB نمونه‌ها با دقت تمام اندازه‌گیری شد. در پژوهش پیش‌رو برای محاسبات آماری، اجرای مدل‌های آماری و پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده از نرم‌افزارهای Excel، Curve Expert و R استفاده شد. سپس درصد رویش قطری و درصد رویش سطح مقطع با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد (۳۹).

$$ID\% = \frac{200 \times ID}{D_1 + D_2} \quad (1)$$

جدول ۱- مدل‌های رویش قطر و سطح مقطع مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Growth models of diameter and cross section used in this research.

شماره مدل	مدل	فرمول	رفرنس
Number of model	Model	Formol	Refrens
1	Hyperbolic	$y = a + b/dbh$	(Ratkowsky and Reedy, 1986)
2	Heat capacity	$y = a + b \times dbh + c/dbh^2$	(Hung et al., 1992)
3	Modified power	$y = a \times b^{dbh}$	(Ratkowsky and Reedy, 1986; Hung et al., 1992)
4	Richard	$y = \frac{a}{(1 + e^{b-dbh})^{1/d}}$	(Richard, 1959)

dbh قطر برابر سینه برحسب سانتی‌متر a، b، c و d ضرایب مدل

ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) (رابطه ۴) و درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) (رابطه ۶) انجام شد. عموماً مقادیر RMSE% پایین نتایج دقیق‌تری را برای برآورد رویش نشان می‌دهد. درحالی‌که مقادیر R<sup>2</sup> بالا نشان‌دهنده برازش بهتر مدل می‌باشد.

سنجش میزان مناسب بودن هر مدل رگرسیونی برای یافتن مناسب‌ترین مدل برای برآورد رویش بسیار مهم است. مقایسه بین مدل‌ها بر اساس شاخص‌های آماری انجام گرفت. انتخاب و ارزیابی مدل‌ها رگرسیون رویش بر اساس آمارهای از جمله

۳۰/۹۴ درصد به دست آمد. همچنین رویش قطری سالیانه و رویش سطح مقطع سالیانه برای گونه راش، به ترتیب ۳/۹۳ میلی‌متر و ۱۷/۵۲ سانتی‌مترمربع به دست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد که متوسط رویش قطری سالیانه درختان راش ۳/۹۳ میلی‌متر به دست آمد. پژوهشگران مقادیر رویش قطری را برای راش پیاويسان و همکاران (۲۰۰۳)، ۰/۸۲ میلی‌متر؛ لانگینا و همکاران (۲۰۰۴) ۱/۵ میلی‌متر، کلانتری و همکاران (۲۰۱۶) بین ۴/۷ تا ۵/۳ میلی‌متر؛ کرم‌دوست و بنیاد (۲۰۰۵) ۲/۴ تا ۶/۴ میلی‌متر؛ سیاه‌پور و همکاران (۲۰۰۱) ۲/۸۴ تا ۴/۴۸ میلی‌متر و بانج شفیعی و همکاران (۲۰۰۹) ۴/۴ تا ۵/۴ میلی‌متر محاسبه کردند و با توجه به میانگین رویش محاسبه شده در این پژوهش (۳/۹۳ میلی‌متر) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار رویش قطری سالیانه در این پژوهش با پژوهش‌های داخل کشور مطابقت دارد و با مطالعات خارج از کشور مطابقت ندارد. علت این امر را می‌توان شرایط آب و هوایی و شرایط رویشگاهی و اقلیمی، توپوگرافی، تفاوت در وضعیت و نوع توده، سن توده دانست (۲۶، ۲۳، ۱۸، ۱۹، ۳۲ و ۵).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE\% = (RMSE / \bar{Y}) \times 100 \quad (6)$$

که در آن‌ها،  $y_i$  مقدار رویش مشاهده شده،  $\hat{y}_i$  مقدار رویش برآورد شده،  $n$  تعداد نمونه‌های ارزیابی و  $\bar{Y}$  رویش متوسط.

**بررسی عدم اطمینان:** در این مطالعه جهت بررسی عدم اطمینان معادلات در برآورد رویش قطر و سطح مقطع، از روش شبیه‌سازی بازنمونه‌گیری (بوت استرپ)<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب و با تعداد ۱۰۰۰ تکرار به صورت جایگزین شبیه‌سازی انجام می‌شود و پارامترهای فاصله اطمینان و واریانس معادلات در برآورد رویش قطر و سطح مقطع نیز محاسبه می‌شود. تمامی مراحل بررسی عدم اطمینان نیز در نرم‌افزار R انجام شد (۱۵).

### نتایج و بحث

**آمار توصیفی داده‌های زمینی:** نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی در منطقه مورد مطالعه برای مشخصه قطر، رویش قطری سالیانه، سطح مقطع و سطح مقطع سالیانه نشان داد که مقدار میانگین برای مشخصه قطر، رویش قطری سالیانه، درصد رویش قطری سالیانه، رویش سطح مقطع سالیانه و درصد رویش سطح مقطع سالیانه به ترتیب ۵۳/۸۳ سانتی‌متر، ۳/۹۳ میلی‌متر، ۱۵/۴۷ درصد، ۱۷/۵۲ سانتی‌مترمربع و

1- Bootstrapping

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر، رویش قطری سالیانه، درصد رویش قطری، رویش سطح مقطع سالیانه، درصد رویش سطح مقطع و سن درخت راش.

**Table 2. Descriptive statistics of DBH, Annual diameter growth, Annual basal area growth, Annual basal area growth and age.**

تعداد Number	انحراف از معیار Standard deviation	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	مشخصه موردبررسی Characteristic
12	8.46	76	44	53.83	قطر (سانتی‌متر) DBH (cm)
12	1.18	5.29	1.78	3.93	رویش قطری سالیانه (میلی‌متر) Annual diameter growth (mm)
12	4.46	26.02	6.26	15.47	درصد رویش قطری سالیانه Annual diameter growth% (mm)
12	5.34	26.15	9.25	17.52	رویش سطح مقطع سالیانه (سانتی‌مترمربع) Annual basal area growth (cm <sup>2</sup> )
12	10.63	52.07	12.15	30.94	درصد رویش سطح مقطع سالیانه Annual basal area growth% (cm <sup>2</sup> )
12	43.05	243	97	142	سن درخت (سال) Age

حداکثر می‌رسد (در ۱۲۰ سالگی) و سپس روندی به صورت تابع نزولی به خود می‌گیرد. همان‌طور که مشاهده شد رویش متوسط قطری زودتر به نقطه اوج خود رسیده و سپس روند کاهشی دارد. یکی از دلایل این امر می‌تواند این باشد که هرچه قطر برابر سینه درخت بیش‌تر شود، رویش سطح مقطع مساوی یا بیش‌تر از رویش قطری خواهد شد و در نتیجه باعث می‌شود رویش سطح مقطع دیرتر از رویش قطری به حداکثر خود برسد (شکل ۳) (۳۹).

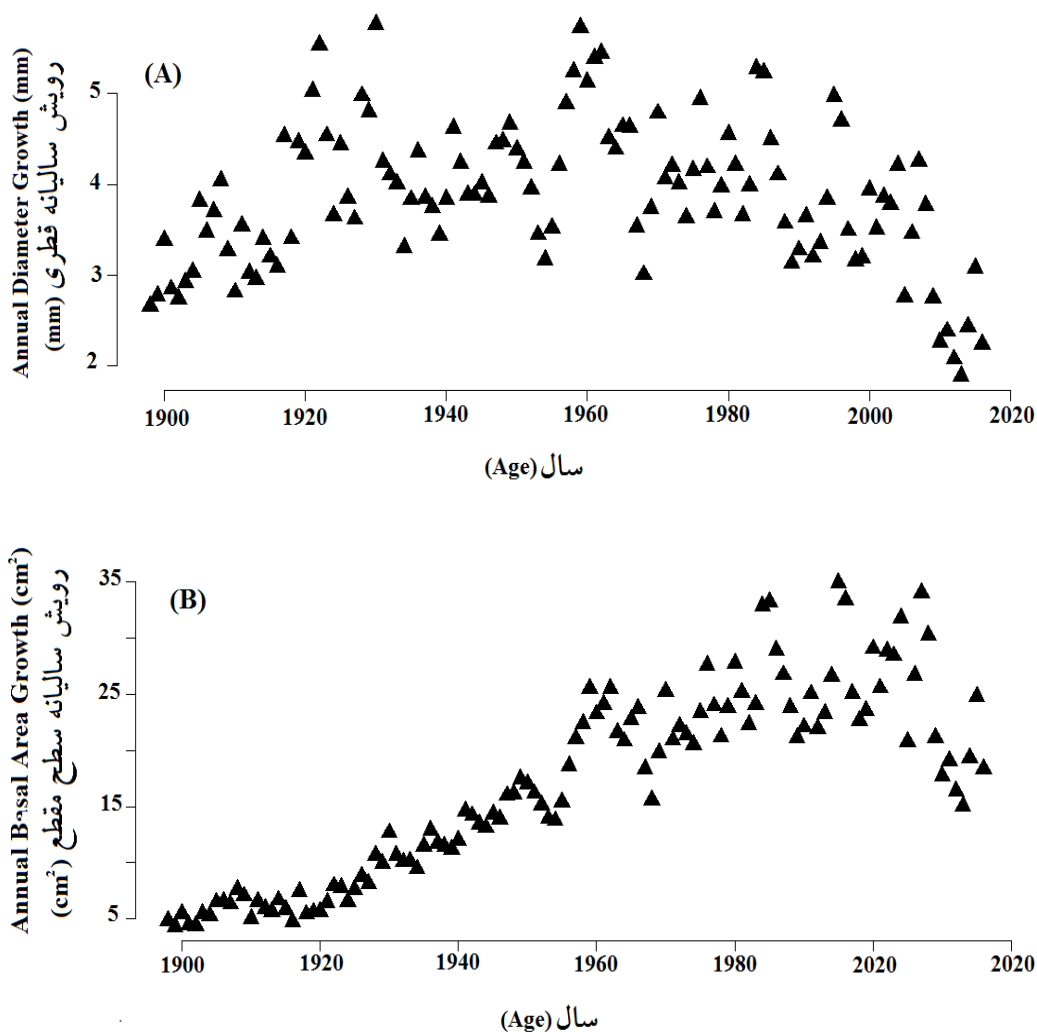
با توجه به نتایج حاصله در پژوهش انجام‌شده، چنین نتیجه‌گیری شد که با افزایش سن درختان راش، رویش سالیانه قطری افزایش و روند صعودی دارد و به نقطه اوج خود رسیده است، سپس روندی نزولی به خود گرفته است. نمودار سطح مقطع نیز می‌توان نشان داد که با افزایش سن درخت، سطح مقطع

مقایسه نمودار سالیانه رویش قطری و سطح مقطع در سال‌های مختلف نشان در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه داده شده است. با توجه به شکل (۲)، با افزایش سن درختان راش رویش سالیانه قطری افزایش می‌یابد و دارای روند صعودی می‌باشد و در سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۵۰ به نقطه اوج خود رسیده است (در ۵۰ سالگی)، سپس روندی نزولی به خود گرفته و به شکل منحنی نرمال درآمد است و در سال‌های آخر به صفر نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش سن، رویش قطری سالیانه نیز افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به نقطه اوج دوباره نزول می‌یابد. همچنین مقایسه نمودار سالیانه رویش سطح مقطع نیز چنین استنباط می‌شود که با افزایش سن درخت، سطح مقطع درخت نیز افزایش می‌یابد با این تفاوت که دیرتر از رویش سالیانه قطری، در سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۵ به

همکاران (۲۰۱۹) و هیو و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد (۳۸، ۳۱ و ۱۶).

لازم به ذکر است حداکثر سن درختان مورد بررسی در این مطالعه ۲۴۳ سال (۲۰۱۶-۱۷۷۳) می‌باشد (۳۱، ۳۸، ۱۶). حداقل سن درختان ۹۹ سال و میانگین سنی درختان ۱۴۲ سال می‌باشد در صورتی که دامنه سنی درختان در مطالعه هیو و همکاران (۲۰۲۱) ۳۲ تا ۳۸ سال می‌باشد که می‌تواند تأثیر زیادی در میانگین رویش قطری سالیانه داشته باشد (۱۶).

سالیانه درخت نیز افزایش می‌یابد با این تفاوت که دیرتر از رویش سالیانه قطری به حداکثر می‌رسد و سپس روند آن نزولی می‌شود دلیل آن این است که هرچه قطر درخت بیش‌تر باشد، مقدار رویش سطح مقطع از رویش قطری بیش‌تر یا برابر خواهد بود و در نتیجه باعث می‌شود رویش سطح مقطع دیرتر از رویش قطری به حداکثر خود برسد این بدان معنی است تا زمانی که رویش قطری حداکثر نشده رویش حداکثر سطح مقطع امکان‌پذیر نمی‌باشد که با پژوهش‌های زائو و همکاران (۲۰۰۴)؛ شارما و



شکل ۳- رویش قطری سالیانه (میلی‌متر) (A) و رویش سطح مقطع سالیانه (سانتیمتر مربع) (B) گونه راش.

Figure 3. Annual diameter growth (mm) (A) and annual basal area growth (cm<sup>2</sup>) (B).

برابرسینه با رویش سطح مقطع سالیانه محاسبه شد. بین مدل‌های ارائه‌شده تفاوت ناچیزی وجود دارد؛ با این حال می‌توان گفت که در رابطه مشخصه‌های قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه و قطر برابر سینه با رویش سطح مقطع سالیانه، مدل ۱ برآورد بهتری از سایر مدل‌ها، برای رویش قطری و سطح مقطع ارائه می‌دهد. نتایج نیز نشان داد میزان ضریب تبیین برای مشخصه قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه ۰/۳۷ و برای رویش قطری سالیانه با رویش سطح مقطع سالیانه ۰/۶۹ به‌دست آمد (جدول ۴).

در این پژوهش هم‌چنین به بررسی رابطه با استفاده از مدل‌سازی بین قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه و رویش سطح مقطع در نرم‌افزار R پرداخته شد. هدف از این مقایسه نشان دادن ارتباط بین قطر برابر سینه با متوسط رویش قطری سالیانه و متوسط رویش سطح مقطع سالیانه است. این ارزیابی‌های به‌وسیله چهار مدل ۱، ۲، ۳ و ۴ انجام شد. علاوه بر این در انجام این مدل‌ها، مقادیر  $RMSE\%$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  برای متغیرهای قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه و هم‌چنین قطر

جدول ۳- ارزیابی مدل‌های ارائه‌شده برای متغیرهای مختلف برای گونه راش.

Table 3. Evaluation of the proposed models for different variables for beech.

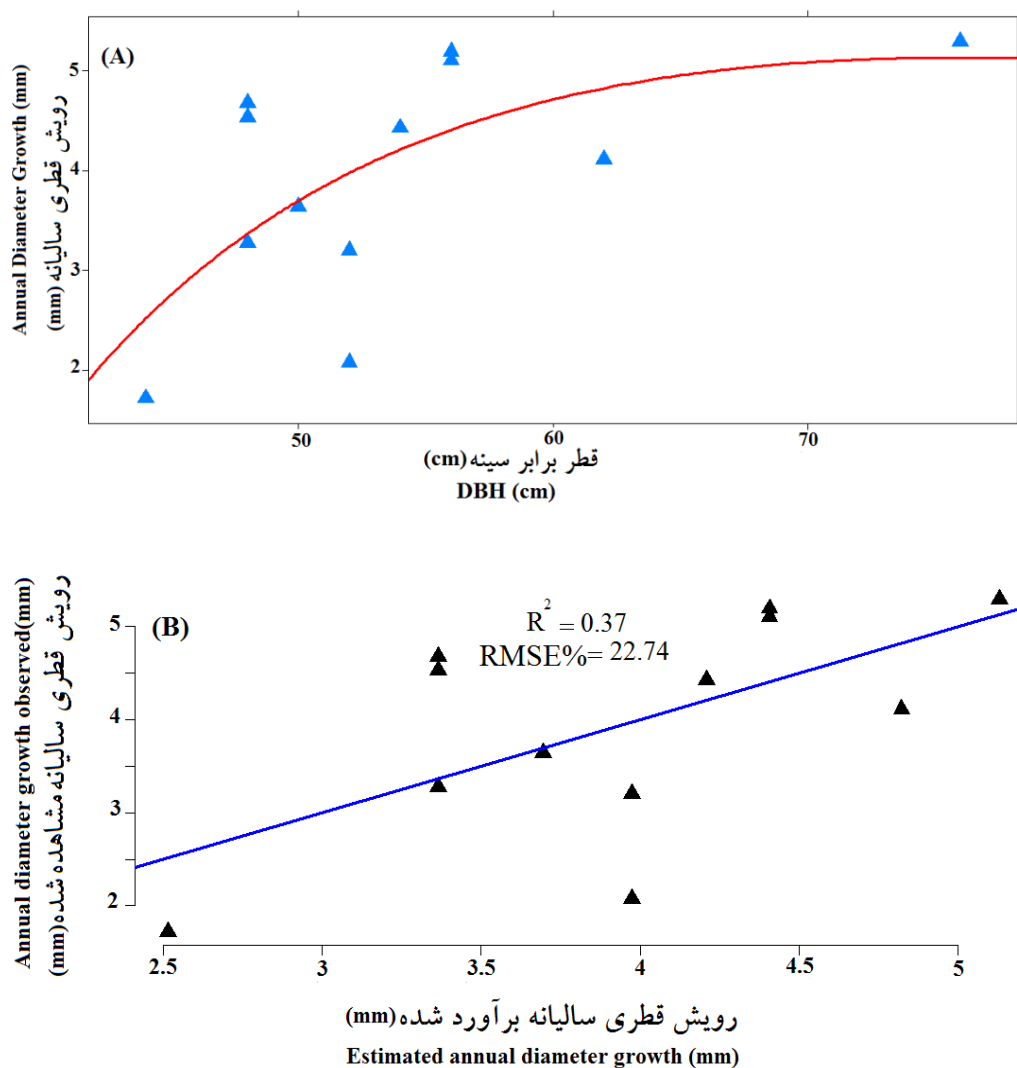
ضریب تبیین $R^2$	R	درصد میانگین مجذور مربعات خطا $RMSE\%$	میانگین مجذور مربعات خطا $RMSE$	مدل Model	مشخصه موردبررسی Characteristic
0.37	0.61	22.74	0.44	Heat capacity	رویش قطری سالیانه با قطر برابر سینه (میلی‌متر) Annual diameter growth with DBH (mm)
0.69	0.83	16.20	2.83	(1)	رویش سطح مقطع سالیانه با قطر برابر سینه (سانتی‌مترمربع) Annual basal area with DBH (cm <sup>2</sup> )
0.34	0.58	23.28	0.45	Hyper bolic	رویش قطری سالیانه با قطر برابر سینه (میلی‌متر) Annual diameter growth with DBH (mm)
0.68	0.82	16.34	2.86	(2)	رویش سطح مقطع سالیانه با قطر برابر سینه (سانتی‌مترمربع) Annual basal area with DBH (cm <sup>2</sup> )
0.27	0.52	24.44	0.48	Modified power	رویش قطری سالیانه با قطر برابر سینه (میلی‌متر) Annual diameter growth with DBH (mm)
0.58	0.76	2058	3.6	(3)	رویش سطح مقطع سالیانه با قطر برابر سینه (سانتی‌مترمربع) Annual basal area with DBH (cm <sup>2</sup> )
0.37	0.61	27.43	0.54	Richard	رویش قطری سالیانه با قطر برابر سینه (میلی‌متر) Annual diameter growth with DBH (mm)
0.68	0.82	19.04	3.3	(4)	رویش سطح مقطع سالیانه با قطر برابر سینه (سانتی‌مترمربع) Annual basal area with DBH (cm <sup>2</sup> )

مدل ارائه شده (۱) به عنوان مدل برتر انتخاب شد و به بررسی رابطه مقایسه قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه با این مدل پرداخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش قطر برابر سینه، رویش متوسط قطری سالیانه نیز افزایش می‌یابد و پس از آن دارای روندی ثابت می‌شود. همبستگی بالایی بین قطر و رویش قطری سالیانه حاصل شد و با افزایش قطر، میزان رویش قطری نیز سیر صعودی به خود می‌گیرد و افزایش می‌یابد. در این نمودار بعد از رسیدن رویش به نقطه اوج، روندی ثابت به خود می‌گیرد (شکل ۴). از مقایسه قطر برابر سینه با رویش سالیانه سطح مقطع نشان داد که با افزایش قطر برابر سینه، رویش سالیانه سطح مقطع نیز افزایش می‌یابد (شکل ۵).

مطابق با مطالعات شارما و همکاران (۲۰۱۹)، سیسالا و همکاران (۲۰۱۶) و اسکلهاس و همکاران (۲۰۱۸) قطر برابر سینه یک‌سوم تغییرات رویش قطری را بیان کند که نشان‌دهنده ارتباط قوی قطر برابر سینه و رویش قطری سالیانه می‌باشد (۸، ۲۹، ۳۱). نتایج حاصل از آنالیز مدل‌های بین قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه و سطح مقطع و همچنین ارتباط بین قطر برابر سینه با رویش سطح مقطع سالیانه نشان داد که ارتباط بین قطر برابر سینه برای مشخصه‌های یادشده با مدل‌های برازش شده

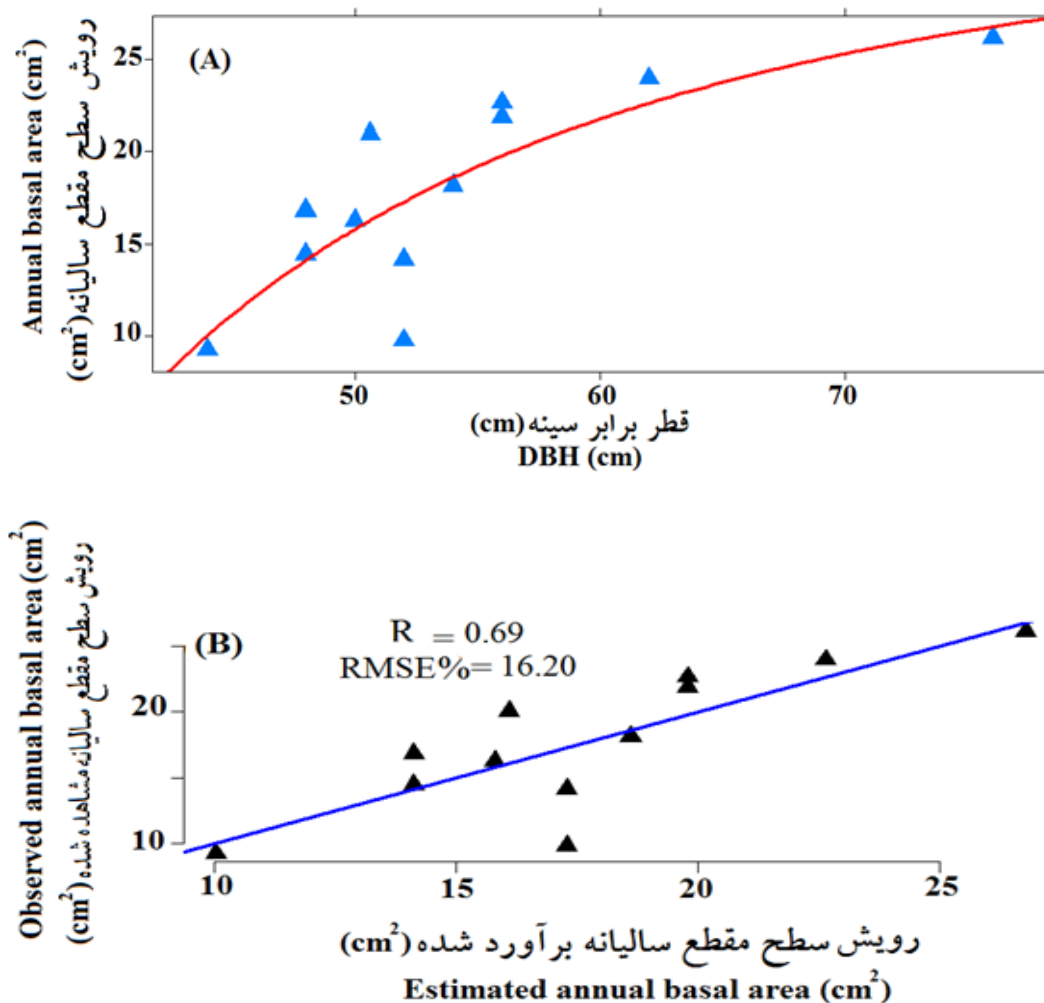
نشان داد مدل شماره ۱ نسبت به سایر مدل‌ها برآورد بهتری برای تعیین رویش قطری و سطح مقطع ارائه می‌دهد. میزان ضریب تبیین برای مشخصه قطر برای مشخصه قطر برابر سینه با میانگین رویش قطری سالیانه ۰/۳۷ و برای قطر برابر سینه با رویش سطح مقطع سالیانه ۰/۶۹ به دست آمد؛ که با مطالعات شارما و همکاران (۲۰۱۹) و هیو و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد (۳۱، ۱۶). میزان جذر میانگین مربعات خطا حاصل شده در این پژوهش برای رویش قطری سالیانه در مقایسه با مطالعه مارنو و همکاران، (۲۰۱۷) ۴۴/۴۹ درصد، کم‌تر می‌باشد که بیان‌کننده دقت مدل حاصل شده در این مطالعه می‌باشد اما میزان ضریب تبیین در مقایسه با مطالعات شارما و همکاران (۲۰۱۹)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) و مارنو و همکاران، (۲۰۱۷) کم‌تر می‌باشد که به در نظر گرفتن پارامترهای توده، توپوگرافی و رویشگاهی در مدل و استفاده از مدل غیرخطی با اثرات آمیخته برمی‌گردد (۲۵، ۳۱، ۳۷).

نتایج همچنین نشان داد که استفاده از مدل می‌تواند برآورد مناسبی برای مشخصه‌های رویش قطر و سطح مقطع داشته باشد که با پژوهش‌های زائو و همکاران (۲۰۰۴)؛ شارما و همکاران (۲۰۱۹) و هیو و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد (۱۶، ۳۱، ۳۸).



شکل ۴- ابر نقاط رویش قطری سالیانه (میلی‌متر) در برابر قطر برابر سینه (سانتی‌متر) و منحنی برازش بهترین معادله (A)، رویش قطری سالیانه (میلی‌متر) مشاهده‌شده در برابر رویش قطری سالیانه برآورد شده با استفاده از بهترین معادله (B) برای گونه راش.

Figure 4. Cloud of annual diameter growth (mm) points against DBH (cm), and the fit curve of the best equation (A), the observed annual diameter growth (mm) versus the estimated annual diameter growth using the best equation (B) for beech.



شکل ۵- ابر نقاط رویش سطح مقطع سالیانه (سانتی‌متر مربع) در برابر قطر برابر سینه (سانتی‌متر) و منحنی برازش بهترین معادله (A) رویش سطح مقطع سالیانه (سانتی‌متر مربع) مشاهده‌شده در برابر رویش سطح مقطع سالیانه برآورد شده با استفاده از بهترین معادله (B) برای گونه راش.

Figure 5. Cloud of annual basal area growth (cm<sup>2</sup>) points against DBH (cm), and the fit curve of the best equation (A), the observed annual basal area growth (cm<sup>2</sup>) versus the estimated annual diameter growth using the best equation (B) for beech.

استفاده شد. نتایج نشان داد که فواصل اطمینان ۹۵ درصد برای مشخصه رویش سطح مقطع سالیانه بر اساس تجزیه و تحلیل عدم اطمینان بین ۲۰/۱-۱۵/۱۹ بود. فواصل اطمینان ۹۵ درصد برای مشخصه رویش قطری سالیانه بر اساس تجزیه و تحلیل عدم اطمینان بین ۴/۳۵-۳/۵۳ بود (جدول ۵).

عدم قطعیت در برآورد رویش قطری و سطح مقطع: مدل ۱ برای قطر برابر سینه با رویش قطری سالیانه و رویش سطح مقطع سالیانه به عنوان مدل برتر انتخاب شد. با توجه به این نتیجه برای درک اریبی مدل ارائه شده برای رویش قطری و سطح مقطع، از باز نمونه‌گیری شبیه‌سازی عدم اطمینان (بوت استرپ)



جدول ۴- نتایج باز نمونه گیری مجدد برای مشخصه سطح مقطع، رویش قطری سالیانه و رویش سطح مقطع سالیانه برای گونه راش.

**Table 4. Bootstrap results for the characteristic basal area, Annual diameter growth and annual basal area for beech.**

خطای استاندارد Standard error	انحراف معیار Standard deviation	(۲/۵ - ۹۷/۵)	(۲/۵ - ۹۷/۵)	میانگین	میانگین	مشخصه مورد بررسی Characteristic
		میانگین باز نمونه گیری (حداکثر) Bootstrap Mean (max)	میانگین باز نمونه گیری (حداقل) Bootstrap Mean (min)	باز نمونه گیری Bootstrap mean	واقعی Real mean	
1.54	5.34	20.1	15.19	17.53	17.52	رویش سطح مقطع سالیانه (سانتی متر مربع) Annual basal area (cm <sup>2</sup> )
0.32	1.18	4.35	3.53	3.93	3.93	رویش قطری سالیانه (میلی متر) Annual diameter growth (mm)

۳/۹۳ میلی متر و ۱۷/۵۲ سانتی متر مربع حاصل شد و قطر برابر سینه به عنوان متغیر مستقل ۳۷ درصد و ۶۹ درصد تغییرات رویش قطری و سطح مقطع سالیانه راش را تبیین می کند. شرایط متفاوت می توان شاخص ها و معیارهایی را برای ارزیابی رویش درختان ایجاد کرد تا با استفاده از آن ها بتوان رویش درختان راش جنگل های هیرکانی را به طور دقیق برآورد کرد. به طور کلی، می توان بیان کرد که رویش قطری می تواند تحت تأثیر سایر عوامل مانند مشخصه های ساختاری توده (مانند تراکم، شاخص های رقابتی و غیره)، رویشگاهی و اقلیمی باشد. از این رو پیشنهاد می شود تا در مطالعات آتی، تأثیر ساختاری توده، رویشگاهی و اقلیمی در برآورد رویش قطری سالیانه با استفاده از مدل های غیرخطی با اثرات آمیخته را بررسی نمود تا با ارائه مدل های مناسب بتوان برآورد قابل اطمینان تری از رویش قطری و سطح مقطع را برای درختان راش محاسبه نمود؛ بنابراین ارزیابی صحیح رویش قطر، حجم و سطح مقطع درختان در تصمیم گیری صحیح برای مدیریت پایدار، توسعه و برنامه ریزی جنگل دارای اهمیت بالایی است. از این رو پیشنهاد می شود به منظور افزایش دقت تعیین حجم در

طبق این جدول می توان چنین نتیجه گرفت که میانگین واقعی هر دو مشخصه رویش قطری و رویش سطح مقطع در محدوده میانگین باز نمونه گیری در فواصل اطمینان (۲/۵ - ۹۷/۵) قرار دارد که می تواند نشان دهنده انتخاب مناسب مدل انجام شده و تأیید بر مدل انجام شده را داشته باشد. همچنین از آزمون عدم اطمینان نیز در برآورد رویش قطری و سطح مقطع استفاده شد که نشان داد میانگین واقعی برای مشخصه رویش قطری و رویش سطح مقطع در محدوده میانگین باز نمونه گیری مجدد در فواصل اطمینان (۲/۵ - ۹۷/۵) قرار دارد که نشان تأییدی محکم بر ارائه مدل انجام شده می باشد.

### نتیجه گیری

هدف اصلی اندازه گیری رویش جنگل، آماده کردن اطلاعات دقیق برای برنامه ریزی، مدیریت منابع جنگلی، توسعه و حفاظت است که این تصمیم گیری ها نیازمند اطلاعات دقیق از موجودی جنگل است. با بررسی رویش قطری و سطح مقطع درختان در با توجه به نتایج حاصله می توان چنین نتیجه گیری کرد که رویش قطری و سطح مقطع سالیانه به ترتیب

### سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی که توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره ۹۶۰۱۲۸۴۴ تأمین اعتبار شده است، انجام گرفته است که بدین‌وسیله نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

جنگل‌های هیرکانی برای سایر گونه‌های هیرکانی و در مناطق مختلف مدل‌های برآورد ریش قطری تهیه گردد تا بتوان دقت برآورد موجودی حجمی این جنگل‌ها را بالا برد و برآوردهای قابل‌اطمینان‌تری حاصل شود.

### منابع

- Ahmadi, K., Alavi, S.J., and Tabari Kouchaksaraei, M. 2015. Evaluation of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) site productivity using a generalized additive model (Case study: Tarbiat Modares University Forest Research Station). Iranian J. of Forest. 7: 1. 17-32. (In Persian)
- Alami, A., Oladi, J., Fallah, A., and Maghsoudi, Y. 2018. Evaluation of nonlinear diameter-height models of alder species in Hyrcanian forests (Case study: Rezaian forest). Iranian Natural Ecosystems Quarterly. 9: 2. 12-1. (In Persian)
- Amaro, A., Reed, D., and Soares, P. 2003. Modeling forest systems. CABI Publishing: Wallingford, Oxon, UK, 432p.
- Amini, M., Namiranian, M., Sagheb Talebi, Kh., and Amini, R. 2008. Investigation on the homogeneity of diameter increment models in *Fagus orientalis* L. trees. J. of Wood and Forest Science and Technology Research. 16: 4. 1-23. (In Persian)
- Banj Shafiei, A., Akbarinia, M., Jalali, Gh., and Alijanpour A. 2009. Effect of forest fire on diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.): a case study in Kheyroud forest. Iranian J. of forest and poplar research. 17: 3. 464-474. (In Persian)
- Bayat, M., Namiranian, M., and Zobeiry, M. 2017. Determining the growing volume, height, and the number of trees in the forest using permanent sample plots. Forest and Wood Products. 67: 3. 423-435. (In Persian)
- Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M., and Zobeiri, M. 2013. Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania. European J. of Forest Research. 132: 5. 851-864. (In Persian)
- Cienciala, E., Russ, R., Santruckova, H., Altman, J., Kopacek, J., Hunova, I., Stepanek, P., Oulehle, F., Tumajer, J., and Stahl, G. 2016. Discerning environmental factors affecting current tree growth in Central Europe. Science of the Total Environment, 573: 541-554.
- Dr. Bahramonia management of forestry project. 2008. Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 478p.
- Fallah, A., and Heydari, M. 2018. Studying the diameter growth of Persian oak and its relationship with climatic parameters in Zagros forests (Case study: Sarab-Karzan forests of Ilam). Forest Research and Development. 3: 4. 361-375. (In Persian)
- Fallahi, A., Haidari, M., and Hosseini, S.A. 2012. Study on the diameter growth of the Oak (*Quercus infectoria*) in the Sardasht area. Iranian J. of Natural Ecosystems. 3: 1. 15-26. (In Persian)
- García, O. 1994. The state-space approach in growth modeling. Canadian J. of Forest Research. 24: 9. 1894-1903.
- Ghadery, I., Hassanzad Navroodi, I., and Torkaman, J. 2013. Effect of altitude on annual diameter growth of *Quercus libani* Oliv in Kurdistan province. J. of plant research (Iranian J. of plant research). 26: 4. 434-443.

14. Ghazanfari, H., Nemirani, M., Sobhani, H., Marvi Mohajer, M., and Portahmasi, K. 2005. Estimation of tree diameter growth of Lebanon Oak (*Quercus libani*) in Northern Zagros forests (Case Study, Havareh khole). Iranian J. of Natural Resources. 57: 4. 649-662. (In Persian).
15. Halperin, J.L., Levine, G.N., Al-Khatib, S.M., Birtcher, K.K., Bozkurt, B., Brindis, R.G., Cigarroa, J.E., Curtis, L.H., Fleisher, L.A., Gentile, F., and Gidding, S. 2016. Further evolution of the ACC/AHA clinical practice guideline recommendation classification system: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. Circulation. 133: 14. 1426-1428.
16. Huy, B., Poudel, K.P., and Temesgen, H. 2021. Individual tree diameter growth modeling system for Dalat pine (*Pinus dalatensis* Ferré) of the upland mixed tropical forests. Forest Ecology and Management. 480. 118612.
17. Jahanbazi Gojani, H., Mirbadin, A., and Talebi, S.M. 2001. Study and determination of diameter growth of *Quercus brantii* Lindl in Chaharmahal and Bakhtiari province. Iranian Forest and Poplar Research. 5: 1-32. (In Persian)
18. Kalantari, H., Fallah, A., and Hojjati, S.M. 2016. Function ecology effect aspect geographic on the Cypress (*Cupressus sempervirens* L. var *horizontalis*) growth in the Abas Abad Behshahr planting stand. J. of Environmental Science and Technology. 18: 1. 163-175. (In Persian)
19. Karamdost, B., and Boniad, A.E. 2005. Investigation and determination of diameter and volume growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in natural forest in Nav-Asalem region. Iranian J. of Forest and Poplar Research, 13: 4. 401-415. (In Persian)
20. Kiani, G., Jalilvand, H., and Pourmajidian, M.R. 2013. Diameter increment of Maple tree (*Acer velutinum* Boiss.) in plantations in Mazandaran (Case Study: Pahnekola Region). Iranian Forests Ecology. 1: 2. 94-86. (In Persian)
21. Kordkoy management of forestry project. 2008. Forests, Range and Watershed Organization. 249p.
22. Lessard, V.C., McRoberts, R.E., and Holdaway, M.R. 2001. Diameter growth models using Minnesota forest inventory and analysis data. Forest Science. 47: 3. 301-310.
23. Longina, C.O. 2004. The influence of air temperature and precipitation on the radial increment of beech (*Fagus sylvatica* L.) in northern Poland. Abstracts of Eurodendro. pp. 15-19.
24. Moradi, M., and Marvi Mohajer, M.R. 2011. Morphological characteristics and health of beech trees by diameter more than one meter (case study, Guilan province). Iranian Forest and Poplar Research. 19: 3. 311-300. (In Persian)
25. Moreno, P.C., Palmas, S., Escobedo, F.J., Cropper, W.P., and Gezan, S.A. 2017. Individual-tree diameter growth models for mixed *Nothofagus* second-growth forests in southern Chile. Forests. 8: 12. 506.
26. Piovesan, G., Bernabei, M., Di Filippo, A., Romagnoli, M., and Schirone, B. 2003. A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy. Dendrochronologia. 21: 1. 13-22.
27. Rayner, M.E., and Turner, B.J. 1990. Growth and yield modeling of Australian eucalypt forests I. Historical development. Australian Forestry. 53: 4. 224-237.
28. Salehnasab, A., Namirani, M., Omid, M., and Soltani, A. 2019. Study of effective factors on diameter increment and mortality of individual trees in the uneven-aged stand. Iranian J. of Forest. 10: 4. 501-515. (In Persian)
29. Schelhaas, M.J., Hengeveld, G.M., Heidema, N., Thürig, E., Rohner, B., Vacchiano, G., Vayreda, J., Redmond, J., Socha, J., Fridman, J., and Tomter, S. 2018. Species-specific, pan-European diameter increment models based on data of 2.3 million trees. Forest Ecosystems. 5: 1. 1-19. (In Persian)

30. Shamushk management of forestry project. 2008. Forests range and watershed organization. 249p.
31. Sharma, R.P., Stefancik, I., Vacek, Z., and Vacek, S. 2019. Generalized nonlinear mixed-effects individual tree diameter increment models for beech forests in Slovakia. *Forests*. 10: 5. 451.
32. Siahipor Baladeh, Z., Mirbadin, A., Amanzadeh, B., and Hemati, A. 2001. Determination of diameter growth of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the north of Iran forest. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*, 7: 101-129. (In Persian)
33. Vahedi, A.A., and Mettaji, A. 2016. Assessing the possible estimation of bole carbon sequestration of beech (*Fagus orientalis*) in the Hyrcanian forests using non-destructive methods. *Iranian J. of Forest*. 7: 4. 447-458. (In Persian)
34. Vanclay, J.K. 1994. Modeling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests; CAB International: Wallingford, Oxon, UK. 312p.
35. Vatana Management of Forestry Project. 2001. Forests, Range, and watershed organization. 420p.
36. Yang, Y., Huang, S., Meng, S.X., Trincado, G., and Vander Schaaf, C.L. 2009. A multilevel individual tree basal area increment model for aspen in boreal mixed-wood stands. *Canadian J. of Forest Research*. 39: 11. 2203-2214.
37. Zhang, X., Duan, A., Dong, L., Cao, Q.V. and Zhang, J. 2014. The application of Bayesian model averaging in the compatibility of stand basal area for even-aged plantations in southern China. *Forest Science*. 60: 4. 645-651.
38. Zhao, D., Borders, B., and Wilson, M. 2004. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. *Forest Ecology and Management*. 199: 2-3. 307-322.
39. Zobeiry, M. 2009. Forest inventory (measurement of tree and forest), Third Edition, University of Tehran Publications. 401p.
40. Zobel, B., and Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. Waveland Press, Inc. Illinois. 504p.