Journal of Forest Ecosystems Research, 2025, 4(2):50-66

Research Article

Modelling the relationship between climatic fluctuations and diameter growth of *Pistacia atlantica* in Zagros forests using Neural Network

Ali Mahdavi [1*], Sahel Ramezani and Hamidreza Naji

Extended Abstract

Background and Objectives: Background and Objectives: Climate change, reflected in fluctuations in key variables such as temperature and precipitation, poses a significant threat to forest ecosystems, particularly in semi-arid regions like the Zagros. *Pistacia atlantica* (Wild Pistachio) is a valuable native species in these forests, with growth highly sensitive to water availability. Quantifying the impact of climatic variables on its radial growth is essential for adaptive forest management. While traditional statistical methods have been used, advanced artificial intelligence models such as the Group Method of Data Handling (GMDH) neural network offer superior capabilities for modelling complex, non-linear relationships. The main objectives of this study were to: 1) evaluate the effect of climatic variables (precipitation, temperature, and relative humidity) on the diameter growth of P. atlantica; 2) determine the most influential climatic factors; and 3) assess the accuracy of the GMDH neural network model in predicting growth based on climate data.

Materials and Methods: The study was conducted in three habitats of *P. atlantica* (Darreh Shahr, Abdanan, and Majin) in Ilam province, Iran. A total of 18 tree discs (six from each site, divided into two diameter classes: <30 cm and >30 cm) were collected from trees with similar topographic conditions. After surface preparation and polishing, high-resolution images were taken, and annual ring widths were precisely measured using Motic image software. Wood density was determined for each sample. Climatic data (annual precipitation, average, minimum, and maximum temperature, and relative humidity) for the past 15 years were obtained from the nearest meteorological stations. The relationship between ring width indices and climatic variables was first analysed using Pearson correlation in SPSS software. The GMDH neural network model was then implemented in MATLAB to predict radial growth based on climatic inputs. The data were randomly divided into training (70%), validation (15%), and test (15%) sets. Model performance was evaluated using statistical indices: Root Mean Square Error (RMSE), Mean Squared Error (MSE), and Correlation Coefficient (R).

Results: Statistical analysis revealed a significant positive correlation between annual ring width and both annual precipitation (r=0.188, p=0.002) and relative humidity (r= 0.173, p = 0.004). In contrast, a significant negative correlation was found with average annual temperature (r= -0.185, p= 0.002) and maximum annual temperature (r= -0.152, p= 0.013). No significant correlation was observed with minimum annual temperature. The GMDH neural network model demonstrated high accuracy in predicting radial growth from climatic variables, with performance metrics on the total dataset as follows: RMSE= 3.86, MSE= 14.88, and R = 0.90. The model's predictions closely matched the observed growth trends, confirming its effectiveness.

Conclusion: The radial growth of Pistacia atlantica in the semi-arid Zagros forests is significantly influenced by climatic fluctuations. Increased precipitation and relative humidity enhance growth, while rising temperatures, particularly maximum temperatures, have a suppressive effect, likely due to increased evapotranspiration and water stress. The successful application of the GMDH neural network model, with its high predictive accuracy (R = 0.90), establishes it as a powerful and reliable tool for modelling climate-growth relationships in complex forest ecosystems. These findings provide critical insights for developing climate-adaptive conservation and management strategies to enhance the resilience of P. atlantica stands against future climate variability.

Keywords: Climate Change, Dendrochronology, GMDH Neural Network, Growth rings, Pistacia atlantica, Zagros forests.

1 Dept. Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, I.R. Iran
*Corresponding author, E-mail: a.mahdavi@ilam.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer.4.2.50

ISSN: 2423-4427 (Online); 2423-4095 (Print)

Received: 16.05.2025, Accepted: 07.02.2026, Online Published: 16.02.2026

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

مجله تحقیقات اکوسیستم‌های جنگلی/ دوره چهارم/ شماره دوم/ ۱۴۰۴/ صفحات: ۶۶-۵۰

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی رابطه بین نوسانات اقلیمی و رویش قطری گونه بنه در جنگل‌های زاگرس با استفاده از شبکه‌عصبی

علی مهدوی*[۱]، ساحل رمضانی[۱]، حمیدرضا ناجی[۱]

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییراقلیم که از طریق نوسانات متغیرهای کلیدی مانند دما و بارش تظاهر می‌یابد، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های جنگلی، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک‌ای مانند زاگرس محسوب می‌شود. گونه بنه (*Pistacia atlantica*) از گونه‌های بومی باارزش این جنگل‌هاست که رشد آن به شدت به دسترسی آب حساس است. کمّی‌سازی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر رشد شعایی این گونه، برای مدیریت تطبیقی جنگل ضروری است. اگرچه از روش‌های آماری سنتی استفاده شده است، اما مدل‌های هوش مصنوعی پیشرفته‌ای مانند شبکه‌عصبی ساختار گروهی داده (GMDH)، به دلیل قابلیت بالاتر در مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی، مزیت ویژه‌ای دارند. اهداف اصلی این پژوهش شامل ارزیابی اثر متغیرهای اقلیمی (بارش، دما، رطوبت نسبی) بر رشد قطری بنه، تعیین مهم‌ترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار، و ارزیابی دقت مدل شبکه‌عصبی (GMDH) در پیش‌بینی رشد بر اساس داده‌های اقلیمی بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در سه رویشگاه بنه (دره‌شهر، آبدانان و ماژین) در استان ایلام انجام شد. در مجموع ۱۸ دیسک درختی (از هر منطقه ۶ دیسک، در دو طبقه قطری کمتر و بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر) از درختانی با شرایط توپوگرافی مشابه برداشت شد. پس از آماده‌سازی و صیقل‌دادن سطوح، تصاویر با وضوح بالا تهیه و پهنای دوایر سالیانه با استفاده از نرم‌افزار Motic image با دقت اندازه‌گیری شد. جرم حجمی چوب نیز برای هر نمونه تعیین گردید. داده‌های اقلیمی (بارش سالانه، دمای میانگین، حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی) مربوط به ۱۵ سال گذشته از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی اخذ شد. در ابتدا، رابطه بین شاخص‌های پهنای دوایر و متغیرهای اقلیمی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. سپس، مدل شبکه‌عصبی GMDH در محیط MATLAB نسخه ۲۰۱۴ برای پیش‌بینی رشد شعایی بر پایه داده‌های اقلیمی پیاده‌سازی گردید. داده‌ها به‌صورت تصادفی به مجموعه‌های آموزش (۷۰٪)، اعتبارسنجی (۱۵٪) و آزمون (۱۵٪) تقسیم شدند. عملکرد مدل با شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی(R) ارزیابی شد.

یافته‌ها: تحلیل آماری همبستگی مثبت و معناداری را بین پهنای دوایر سالیانه با هر دو متغیر بارش سالانه (r= 0.188, p=0.002) و رطوبت نسبی (r= 0.173, p=0.004) نشان داد. در مقابل، همبستگی منفی و معناداری با دمای میانگین سالانه (r = -0.185, p=0.002) و دمای حداکثر سالانه (r= -0.152, p=0.013) مشاهده شد. با دمای حداقل سالانه همبستگی معناداری یافت نشد. مدل شبکه‌عصبی GMDH دقت بالایی در پیش‌بینی رشد شعایی از متغیرهای اقلیمی نشان داد، به‌طوری‌که معیارهای عملکرد آن روی کل مجموعه داده به شرح زیر بود: RMSE= 3.86, MSE= 14.88 و R= 0.90 پیش‌بینی‌های مدل به‌خوبی با روندهای رشد مشاهده‌شده مطابقت داشت که مؤید کارایی آن است.

نتیجه‌گیری: رشد شعایی بنه در جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس به‌طور معناداری تحت تأثیر نوسانات اقلیمی قرار دارد. افزایش بارش و رطوبت نسبی رشد را به‌طور مثبت افزایش می‌دهد، در حالی که افزایش دما، به‌ویژه دمای حداکثر دارای اثر بازدارنده بود که به احتمال قوی ناشی از افزایش تبخیر و تعرق و ایجاد تنش آبی است. کاربرد موفق مدل شبکه‌عصبی GMDH با دقت پیش‌بینی بالا (R= 0.90) آن را به عنوان ابزاری قدرتمند و قابل اعتماد برای مدل‌سازی روابط اقلیم-رشد در اکوسیستم‌های جنگلی پیچیده تثبیت می‌کند. این یافته‌ها بینش‌های مهمی برای تدوین راهبردهای حفاظتی و مدیریتی تطبیقی با اقلیم فراهم می‌آورد تا تاب‌آوری توده‌های بنه در برابر نوسانات اقلیمی آینده افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: بنه، تغییراقلیم، جنگل‌های زاگرس، دندروکرونولوژی، دوایر رویشی، شبکه‌عصبی GMDH.

[۱] گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایران.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mahdavi@ilam.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer4.1.50.

شاپا: ۴۴۲۷-۲۴۲۳ (برخط)؛ ۴۰۹۵-۲۴۲۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

مقدمه

تغییر اقلیم به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده که تأثیرات آن در اکوسیستم‌های جنگلی به وضوح قابل مشاهده است (Ray, 2008; Trigo *et al.*, 2005.) تغییر در میانگین و شدت متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارندگی، پویایی جنگل‌ها را با تأثیر بر رویش، زنده‌مانی و پراکنش گونه‌های درختی، عمیقاً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bonan, 2008; Thomas *et al.*, 2004; Allen *et al.*, 2010). رویش درختان، به‌عنوان شاخصی کلیدی از سلامت و پویایی اکوسیستم، از سالی به سال دیگر متغیر بوده و اغلب با نوسانات آب‌وهوایی همبستگی نزدیکی دارد (Itter *et al.*, 2016). این تغییرات رویشی که در مشخصه‌هایی مانند پهنای حلقه‌های سالیانه و دانسیته چوب ثبت می‌شوند، از اولین واکنش‌های درختان به تغییرات محیطی محسوب می‌شوند (Savva *et al.*, 2003; Das *et al.*, 2015). در واقع حلقه‌های رویشی به‌عنوان بایگانی‌های ارزشمندی از تاریخچه اقلیمی عمل می‌کنند (Fritts, 1976; Hamidi *et al.*, 2021). بنابراین، درک رابطه بین اقلیم و رویش برای پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم آینده و تدوین راهبردهای مدیریت تطبیقی امری ضروری است. (Maaten, 2012) در این میان، بارندگی و دما به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر رویش درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شوند (Hamidi et al., 2021; Attarood *et al.*, 2015). در این مناطق، بارندگی با تأمین رطوبت خاک، نقش مثبت و غالباً تعیین‌کننده‌ای در رشد درختان ایفا می‌کند (Cherubini *et al.*, 2003; Pourtahmasbi *et al.*, 2008). مطالعات متعددی در جنگل‌های زاگرس همبستگی مثبت و معناداری بین بارندگی و رویش قطری گونه‌هایی مانند بلوط ایرانی گزارش کرده‌اند. (Najafi *et al.*, 2012; Poursartip *et al.*, 2012; Radmehr *et al.*, 2015) در مقابل، افزایش دما از طریق تشدید تبخیر و تعرق و ایجاد تنش خشکی، معمولاً تأثیر منفی بر رویش درختان در این مناطق دارد (Sheng *et al.*, 2007; Van der werf *et al.*, 2012; Najafi Harsini *et al.*, 2012).

البته، این الگو در همه مناطق یکسان نیست و در ارتفاعات بالا یا عرض‌های جغرافیایی خاص که دما عامل محدودکننده اصلی است، رابطه مثبتی بین دما و رشد مشاهده شده است. (Stacy *et al.*, 2006; Flower *et al.*, 2011) همچنین، رطوبت نسبی به‌عنوان عاملی مؤثر بر تعادل آبی گیاه، می‌تواند اثر مثبتی بر رشد داشته باشد. لازم به ذکر است که در برخی مطالعات، رابطه معناداری بین رشد و برخی از این عوامل اقلیمی مشاهده نشده که احتمالاً ناشی از تفاوت در شرایط محلی، ژنتیک یا روش‌شناسی است (Bortozzi *et al.*, 2002; Habibi Bibalani *et al.*, 2007).

گونه بنه (*Pistacia atlantica*) از گونه‌های مهم و باارزش ناحیه رویشی زاگرس است که سطح وسیعی از جنگل‌های ایران و استان ایلام را پوشش می‌دهد و متأسفانه در سالیان اخیر تحت تأثیر فشارهای اقلیمی و انسانی قرار گرفته است (Zahedipour *et al.*, 2004; Naghipour Borj *et al.*, 2019).

با این حال، مطالعات کمی به بررسی کمّی رابطه بین نوسانات اقلیمی و رویش این گونه پرداخته‌اند و اکثر پژوهش‌های پیشین بر تحلیل‌های آماری کلاسیک یا مدل‌های توزیع گونه متمرکز بوده‌اند. از معدود مطالعات انجام شده در این خصوص مطالعه (Naghipour Borj *et al*. 2019) به پیش‌بینی پراکنش آتی بنه با توجه به تغییراقلیم پرداخت و (Mirzaeizadeh *et al.* 2023) مدل‌سازی پراکنش کنونی آن را انجام دادند، اما پژوهشی که به طور خاص رابطه نوسانات اقلیمی سالانه با رویش قطری این گونه را با استفاده از مدل‌های شبکه‌عصبی مانند *GMDH* بررسی کند، مشاهده نشد. مدل‌سازی روابط پیچیده و غالباً غیرخطی بین نوسانات اقلیمی و رشد شعایی درختان، که در مطالعات دندروکرونولوژیک مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز به کرات مشاهده شده است (Arsalani *et al.*, 2022; Alipoorfard *et al.*, 2023) و نیازمند رویکردهای تحلیلی پیشرفته‌ای است که توانایی استخراج الگوهای پنهان و تعاملات پیچیده میان متغیرهای مؤثر را دارا باشند. در این راستا،

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

الگوریتم‌های یادگیری ماشین [1] و شبکه‌های عصبی مصنوعی [2] به دلیل قابلیت ذاتی در پردازش روابط غیرخطی و توانایی تعمیم‌پذیری بالا، به‌طور فزاینده‌ای در علوم محیطی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (Maxwell *et al*., 2018) اثربخشی این مدلها در حوزه دندروکرونولوژی، از پیش‌بینی رشد بر اساس اقلیم (Salehnia & Ahn, 2022) تا مدل‌سازی صفات درختی پیچیده (Qin *et al*., 2023) گسترش یافته و برتری آنها را نسبت به روش‌های رگرسیونی خطی کلاسیک نشان داده است. در میان معماری‌های مختلف شبکه‌عصبی، شبکه‌عصبی ساختار گروهی داده‌ها [3] به عنوان یک الگوریتم خودسازمان‌ده [4] شناخته می‌شود که مزایای متعددی از جمله انتخاب خودکار ساختار بهینه مدل، کاهش قابل توجه خطر بیش‌برازش [5] که از موانع اصلی در مدل‌سازی شبکه‌های عصبی محسوب می‌شود (Zhang *et al*., 2000) و قابلیت بالای پردازش مجموعه‌داده‌های با ابعاد مختلف را ارائه می‌دهد. بنابراین، نوآوری اصلی و هدف عملیاتی این پژوهش، بکارگیری مدل شبکه‌عصبی GMDH به منظور مدل‌سازی کمّی و پیش‌بینی رابطه بین متغیرهای اقلیمی کلیدی (بارش، دما، رطوبت نسبی) و رویش قطری درخت بنه (*Pistacia atlantica*) در جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس است. دستیابی به یک مدل پیش‌بینی‌گر قوی و قابل اعتماد از این طریق، می‌تواند چارچوب علمی دقیق‌تری برای ارزیابی آسیب‌پذیری این اکوسیستم کلیدی در برابر تغییرات اقلیمی فراهم نموده و مبنایی مستحکم برای تدوین راهبردهای مدیریتی تطبیقی و مبتنی بر شواهد ایجاد کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در جنوب استان ایلام در سه مکان مختلف دره‌شهر، آبدانان و ماژین که دارای رویشگاه‌های باارزش گونه بنه در استان ایلام هستند (شکل ۱). اطلاعات هواشناسی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ نشان می‌دهد که این مناطق از لحاظ متغیرهای اقلیمی و هواشناسی در شرایط تقریبا مشابهی قرار دارند (جدول ۱). مهمترین گونه‌های جنگلی این مناطق مورد مطالعه شامل بلوط ایرانی، بنه، کیکم، ارژن، زالزالک، بادام کوهی و انجیر کوهی است (Mozafarian, 2008).

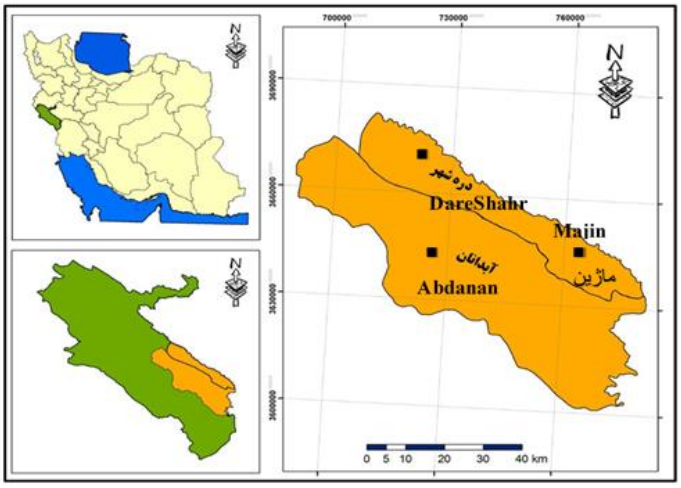
جدول ۱- اطلاعات پایه از مشخصات مناطق مورد مطالعه

Table 1- Basic information on the characteristics of the study areas

مناطق مورد مطالعه **Study areas**	طول جغرافیایی **Longitude**	عرض جغرافیایی **Lattitude**	ارتفاع از سطح دریا **(m) Height above sea level**	میانگین بارندگی سالانه **(mm) Precipitation**	میانگین دمای سالیانه **(°C) Average annual temperature**	رطوبت نسبی **relative humidity**	روزهای یخبندان **Frost days**
دره شهر DarehShahr	33°3'30"	47°19'30"	933	426.3	21.4	44	21
آبدانان Abdanan	32°54'37"	47°17'55"	1010	524.4	22.4	41	4
ماژین Majin	33°95'32"	47°78'98"	880	480.52	21.3	45	21

[1] Machine Learni
[2] Artificial Neural Networks - ANNs
[3] Group Method of Data Handling - GMDH
[4] self-organizing
[5] Overfitting

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد بررسی در استان ایلام

Figure 1- Location of study area in Liam province

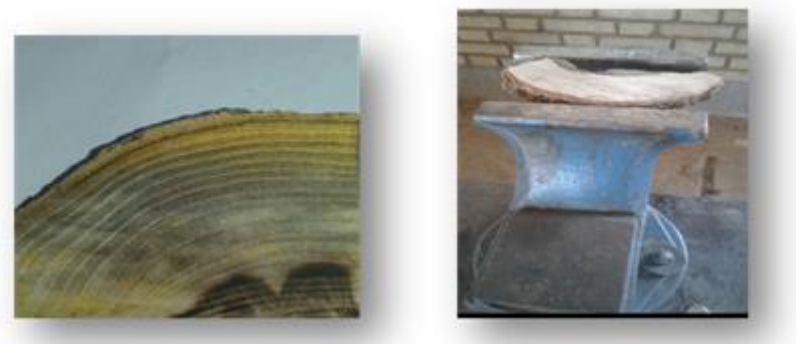
روش نمونه‌برداری در عرصه جنگل

در این تحقیق ابتدا در منطقه مورد مطالعه با بازدید میدانی شرایط رویشگاه بررسی و پس از جنگل گردشی و کسب اطلاعات اولیه از منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ اداره کل منابع طبیعی استان ایلام، مرز مناطق مورد مطالعه مشخص گردید. سپس درختانی با شرایط میکروکلیمای یکسان در هر منطقه انتخاب گردید. انتخاب منطقه نیز بر اساس حضور گونه بنه صورت گرفت. انتخاب حجم نمونه در مطالعات دندروکرونولوژی، به ویژه در رویشگاه‌های همگن با شرایط توپوگرافی و اقلیمی یکسان، عمدتاً بر اساس اصول تکرارپذیری و دستورالعمل‌های پذیرفته‌شده در مطالعات پیشین مشابه صورت گرفت. در بررسی منابع و مطالعات محققان در کشورهای مختلف با توجه به شرایط متفاوت تعداد نمونه های مختلفی (۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰) نمونه‌گیری شده است (Nasseri Karimvand *et al*., 2016; *Kose et al*, 2011; Fretts, 1976). در این تحقیق، با هدف دستیابی به یک کرونولوژی میانگین منطقه‌ای معتبر و کاهش اثرات نویز ناشی از عوامل محلی و فیزیولوژیکی فردی، از ۶ درخت در هر منطقه نمونه‌برداری شد. برای این منظور درختان نمونه بنه در طبقات قطری بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر و کمتر از ۳۰ سانتی‌متر تقسیم شدند و در هر طبقه قطری در هر منطقه ۳ نمونه برداشت شد (با توجه به مشابه بودن شرایط اقلیمی و توپوگرافی سه منطقه نمونه مجموعا ۹ نمونه رویشی بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر و ۹ نمونه رویشی کمتر از ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد). لازم به ذکر است که سعی شد تا نمونه‌برداری از درختان در ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت یکسان انجام گیرد و نمونه‌ها در ارتفاع معادل یکسان شوند. همچنین موقعیت مکانی هر درخت نمونه با استفاده از GPS ثبت شد.

روش آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا از هر نمونه به پهنای یک سانتیمتر برش زده شد و سپس سمباده با استفاده از سه نوع سمباده زبر (۸۰)، متوسط (۲۴۰) و نرم (۴۰۰) انجام گردید و در مرحله بعد از نمونه‌های سمباده‌زده شده تصاویری با کیفیت تهیه شد.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ۲- صاف سازی سطوح دیسک های نمونه جهت مشخص شدن دوایر سالیانه

Figure 2. Smoothing the surfaces of sample discs to determine the annual circles

سپس از تصاویر تهیه‌شده در نرم‌افزار Motic image که دارای دقت بسیار بالایی است، استفاده گردید تا پهنای دوایر اندازه‌گیری شوند. اندازه‌گیری پهنا با واحد اندازه‌گیری میکرون و نوع خط نرمال و پهنای خط یک، با بزرگنمایی ۱۰۰ از پوست (بیانگر جدیدترین حلقه تشکیل شده در آخرین سال رشد) به سمت مغز (بیانگر اولین حلقه‌های تشکیل شده در سال های اولیه رشد) برای تمام نمونهها انجام گرفت. سپس میزان میانگین میزان پهنای دوایر سالیانه در هر ۶ نمونه از هر منطقه در بازه زمانی ۱۵ سال محاسبه گردید.

برای اندازه گیری دانستیته هم ابتدا از هر نمونه رویشی قطعاتی در اندازه یک سانتی‌متر تهیه شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۲ درجه قرار داده شد. بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از آون خارج شده و وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی آزمایشگاه با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای به‌دست آوردن حجم نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌ها با پارافین پوشانده شده و سپس داخل آب مقطر قرار داده شد و به این وسیله حجم بر حسب سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. پس از آن با کمک رابطه (۱) دانسیته چوب به‌دست آمد.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{g}{cm^3} \qquad (1)$$

مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی

در این بررسی برای مدل‌سازی با توجه به کاربرد شبکه‌های عصبی پرسپترون و الگوریتم *GMDH* در مسائل پیش‌بینی و قابلیت بالای آن در تعمیم نتایج از این شبکه‌ها برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تاثیر آنها بر رویش قطری گونه بنه با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۴ استفاده شد.

مجموعه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و اقلیمی (شامل تعداد و رکورد) به طور تصادفی به سه بخش تقسیم شدند: ۷۰٪ برای آموزش[6]، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی[7] و ۱۵٪ برای آزمون نهایی [8] داده‌های اعتبارسنجی در حین فرآیند آموزش برای جلوگیری از بیش‌برازش و تعیین نقطه توقف بهینه آموزش مورداستفاده قرار گرفتند.

معیار اصلی برای انتخاب ساختار نهایی مدل و توقف فرآیند یادگیری، دستیابی به کمترین مقدار خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) بر روی مجموعه داده‌های اعتبارسنجی بود. در نهایت، مدلی که بهترین تعمیم‌پذیری (پایین‌ترین خطا) را بر روی داده‌های مستقل اعتبارسنجی و آزمون نشان داد، به عنوان مدل نهایی انتخاب گردید.

[6] Train
[7] Validation
[8] Test

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نرم‌افزار *SPSS* نسخه ۲۰ با اعمال عملیات‌های توصیفی (از جمله میانگین، انحراف‌معیار، حدقل و حداکثر داده‌های مربوط به متغیرهای تحقیق) و آزمون‌های آماری استنباطی(نظیر ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل واریانس یک طرفه و *t*- test و آزمون دانکن) با توجه به فرضیات تحقیق، تجزیه و تحلیل گردید. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگورف-اسمیرنوف استفاده شد.

نتایج آماری توصیفی

جدول ۲ میانگین بارش و انحراف معیار بارش در طی سال را به تفکیک سه منطقه مورد مطالعه نشان داده شد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، میزان بارش در سه منطقه مورد مطالعه در طی فصول سال تقریبا یکسان گزارش شده است.

جدول ۲- میانگین بارش باران در سال به تفکیک ماه‌های سال در سه منطقه مورد مطالعه

Table 2- Average Annual precipitation by month in the three study areas

ماژین Majin	آبدانان Abdanan	دره شهر DarehShahr	فصل‌ها Seasons
86	79.9	63.2	فروردین April
22	50.4	36.4	اردیبهشت May
0	0.2	0.6	خرداد June
0	0.1	0	تیر July
0	0.8	0.1	مرداد August
1	1.3	0.6	شهریور September
5.8	7.3	6.2	مهر October
70.4	109.6	71.9	آبان November
95.3	91.7	65.6	آذر December
69.4	72.6	54.4	دی January
81.7	85.6	84.5	بهمن February
44.9	56.9	42.8	اسفند March

جدول ۳ نشان می‌دهد که چون میزان پهنای دوایر سالیانه و دانسیته بین درختان با قطر کم و زیاد معنی‌دار نیست، لذا می‌توان اظهار داشت که تفاوت معناداری از نظر میزان پهنای دوایر و دانسیته به تفکیک قطر بیشتر و کمتر از ۳۰ وجود ندارد.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

جدول ۳- نتایج تفاوت میزان پهنای دوایر سالیانه و دانسیته به تفکیک قطر بیشتر و کمتر از ۳۰ برای سه منطقه

Table 3- The results of the difference in the width of the annual circles and the density according to the diameter greater than and less than 30

Sig	Df	Std	میانگین Mean	گروه Group	متغیر Variable
0.405	1	0.352	0.697	<30	پهنا Annual circle width
		0.324	0.732	>30	
0.998	1	0.050	0.828	<30	دانسیته Density
		0.107	0.830	>30	

طبق نتایج جدول ۴ برای تعیین ارتباط بین پهنای دوایر سالیانه و متغیرهای اقلیمی از آزمون ضریب هم¬بستگی پیرسون استفاده شد، نتایج نشان می‌دهد که بین پهنای دوایر سالیانه و متغیرهای اقلیمی ارتباط مثبت یا منفی معنی‌دار وجود دارد. همان‌طوری که در جدول نشان داده شد، بین متغیرهای اقلیمی میزان بارندگی سالانه و رطوبت نسبی ارتباط مثبت و متغیرهای میانگین دمای سالانه و حداکثر دمای سالانه هم ارتباط منفی معنی‌دار با پهنای دوایر سالانه وجود دارد. این در حالی است که بین متغیر حداقل دمای سالانه و پهنای دوایر سالانه هیچ ارتباط معناداری وجود ندارد.

جدول ۴- نتایج همبستگی پیرسون بین پهنای دوایر سالیانه و متغیرهای اقلیمی

Table 4- The results of Pearson correlation between the width of annual circles and climatic variables

Sig	**P**	**متغیرهای اقلیمی** climatic variables
0.002	0.188**	بارندگی سالانه Annual Precipitation
0.002	-0.185**	میانگین دمای سالانه Average annual temperature
0.004	0.173**	رطوبت نسبی Relative Humidity
0.635	-0.029	حداقل دمای سالانه Minimum annual temperature
0.013	-0.152**	حداکثر دمای سالانه Maximum annual temperature

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

بررسی و ارزیابی صحت مدل و کارکرد مدل شبکه‌عصبی *GMDH*

برای ارزیابی و سنجش مدل از چندین معیار آماری شامل، مجموع مربعات میانگین خطای نسبیMean، میانگین مربع خطا (MSE)، جذر میانگین مجذور خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) استفاده می‌شود.

نمودارهای زیر میزان R و MSE و RMSE و Error Mean را برای اجرای شبکه بر روی تمام داده‌ها را نمایش می‌دهد، که تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی می‌باشد. خطوط آبی رنگ نشان‌دهندهی داده‌های اصلی [۹] و خطوط قرمز رنگ نشان‌دهنده‌ی داده¬های تخمین زده شده[۱۰] می‌باشد. در واقع فاصله این خطوط از همدیگر نشان‌دهنده خطا می‌باشد و هر چه خطوط نزدیکتر باشند، خطا کمتر و برعکس است (شکل ۲).

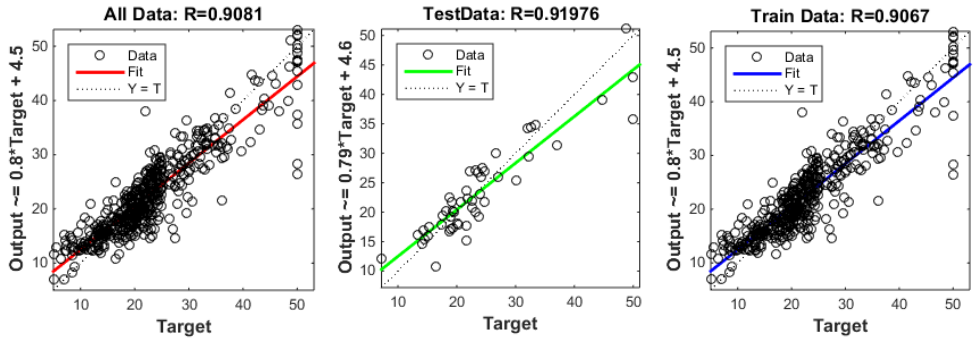
برای پارامتر میانگین خطا به ترتیب مقادیر ۰/۰۴۰۱۸۸، ۰/۰۱۰۵۸ و ۰/۳۴۳۴ را داریم که به نوعی نشان دهندهٔ تفاضل خروجی‌ها و متغیرهای هدف (تخمین زده شده) است و این مقادیر به صفر نزدیک هستند که نشان‌دهندهٔ خطای کم و نتایج قابل قبول مدل است MSE .نیز همان واریانس برآوردگر است و می‌تواند اشاره‌ای به میانگین مقدار انحراف مربعات پیش‌بینی‌ها از مقادیر واقعی داشته باشد. برای مقدار MSE به‌ترتیب مقدار ۱۴/۸۷۵۸، ۱۴/۹۹۰۲ و ۱۳/۸۵۳ به‌دست آمد.

برای RMSE نیز به ترتیب مقادیر ۳/۸۵۶۹، ۳/۸۷۱۷ و ۳/۷۲۲ به‌دست آمد که به نوعی تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی را نشان می‌دهد. همچنین سایر معیارها در شکل ۲ آمده است.

جدول۵ – شاخص‌های آماری پیش بینی در مرحله آموزش، آزمون و کل داده‌ها

Table 5- Statistical indicators of prediction in the stage of training, test and total data

Error StD	Error Mean	MSE	RMSE	معیارها **Criteria**
3.7465	0.3434	13.853	3.722	آزمون **Test**
3.876	0.01058	14.990	3.8717	آموزش **Train**
3.3605	0.040188	14.875	3.8569	کل داده‌ها **Total Data**



شکل ۲- نمودار ضریب همبستگی

Figure 2- Correlation coefficient chart

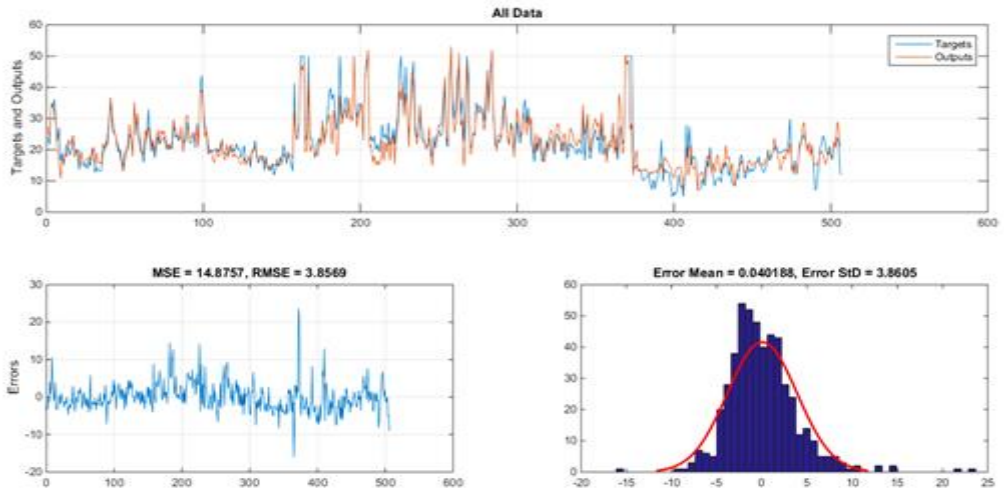
[9] Output
[10] Targets

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل های ۲ تا ۵ و نتایج شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول ۵ مشخص شد که مدل به‌کار گرفته شده در این تحقیق از عملکرد بسیار بالایی در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی و ارزیابی اثر آن بر رویش قطری گونه بنه داشته است.

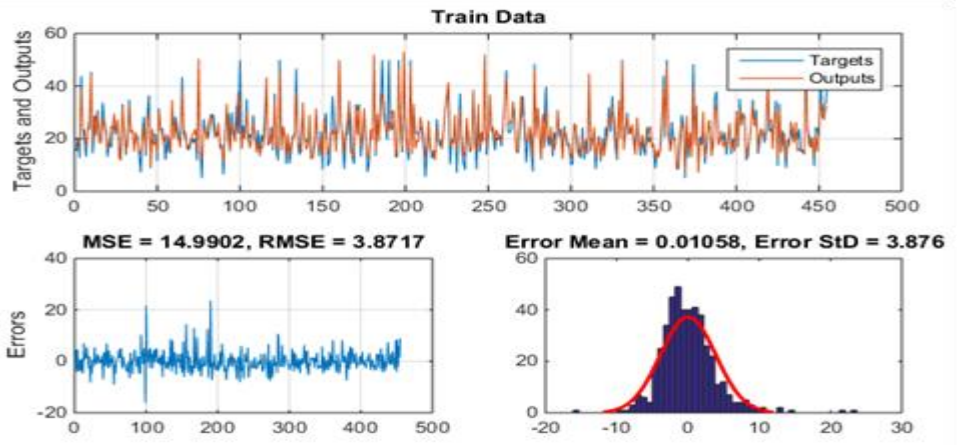
برای انتخاب مناسب‌ترین متغیرهای ورودی در شبکه‌عصبی GMDH بر اساس مشاهدات تجربی و مطالعه سایر محققان، از مهم‌ترین متغیرهای ورودی موثر برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استفاده شد. مهم‌ترین فاکتورهای اقلیمی تاثیرگذار در مناطق خشک و نیمه خشک، بارندگی، درجه حرارت، تشعشع خورشید، رطوبت نسبی، مینیمم و ماکزیمم دما می‌باشند که به ترتیب بیشترین به کمترین تاثیر را در کاهش رویش و ضعف فیزیولوژیکی ایجاد شده برای منابع جنگلی را دارند. (Mirzaeizadeh *et al.*, 2023) این فاکتورهای اقلیمی از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

.



شکل ۳- نمودارهای پیش‌بینی در مرحله‌ی بررسی تمامی داده‌ها

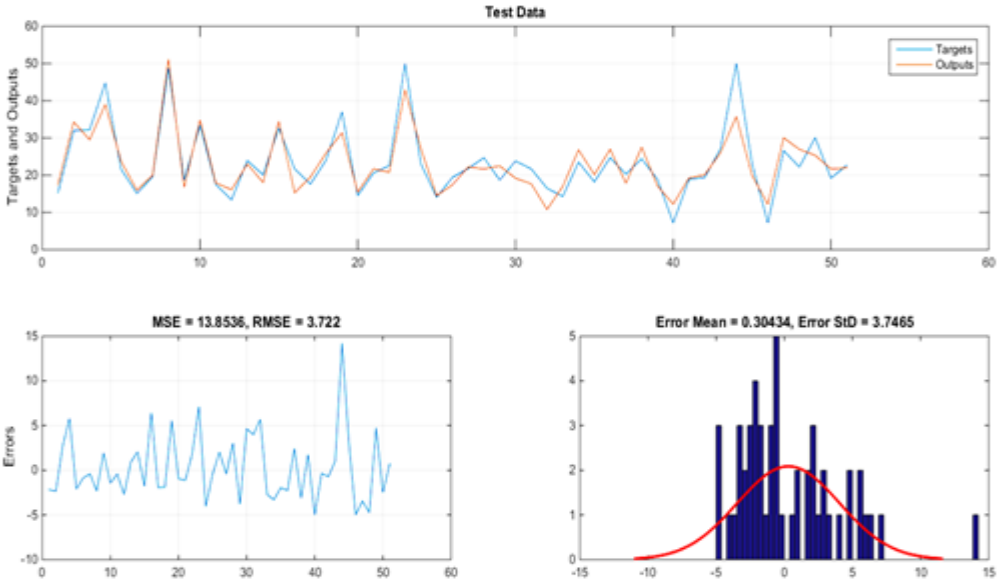
Figure 3- Prediction charts in the stage of checking all the data



شکل ۴- نمودارهای پیش بینی در مرحله‌ی آموزش

Figure 4- Prediction charts in the training phase

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

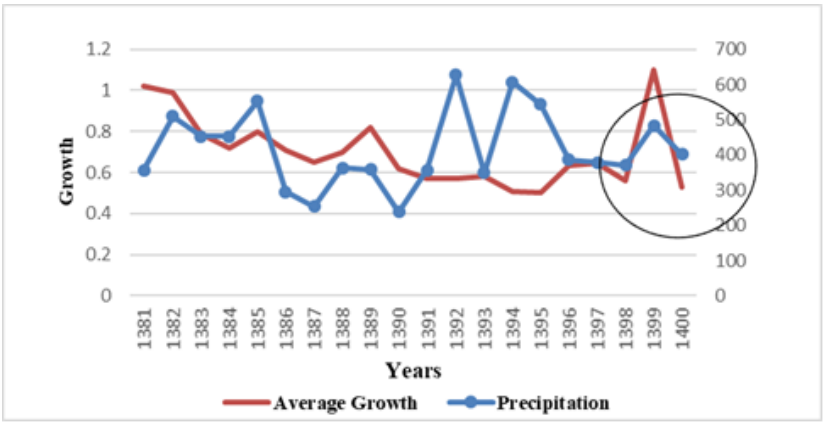


شکل ۵- نمودارهای پیش بینی در مرحله‌ی آزمون

Figure 5- Prediction charts in the test phase

مقایسه رویش کل با متغیرهای اقلیمی

یافته‌های شکل ۶ نشان می‌دهد که میانگین رویش کل در سال ۱۳۹۴ دارای کمترین میانگین رویش می‌باشد در این سال میانگین دمای سالانه افزایش داشته است و میانگین رویش کل در سال ۱۳۸۱ نیز دارای بیشترین میانگین رویش بوده است. میانگین مجموع بارش در دره شهر در سال ۱۳۸۷دارای کمترین میانگین که به دنبال آن کاهش رویش ایجاد شده است. میانگین مجموع بارش در دره شهر در سال ۱۳۹۲ دارای بیشترین میانگین بود. طبق داده‌های مدل بارندگی در سال ۱۳۹۹ افزایش خواهد داشت و با توجه به کاهش دمای پیش‌بینی‌شده در این سال پیش‌بینی رشد رویش افزایش می‌یابد که در سال‌های بعد پیش مدل یک روند نزولی را پیش‌بینی می‌کند.



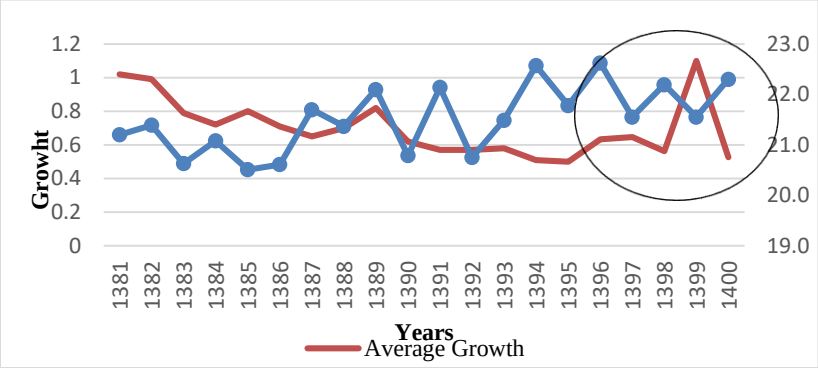
شکل ۶- مقایسه رویش کل و بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه

Figure 6- Comparison of total growth and annual rainfall in study area

یافته‌های شکل ۷ نشان می‌دهد که میانگین رویش کل در سال های ۹۱ و ۹۵ دارای کمترین میانگین و میانگین رویش کل در سال های ۸۵ و ۸۹ دارای بیشترین میانگین بود. میانگین دما در سال ۸۵ دارای کمترین میانگین و میانگین دما در سال ۹۴

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

دارای بیشترین میانگین بود. مدل برای سال ۱۳۹۶ افزایش میزان دما و در نتیجه کاهش رویش را پیش‌بینی کرده است و در سال های بعد با افزایش میزان بارش و در نتیجه آن افزایش رطوبت به خصوص در سال ۱۳۹۹ سیر صعودی داشت.



شکل ۷- مقایسه رویش کل و میانگین دمای سالانه

Figure 7- Comparison of total growth and average annual temperature

بحث و نتیجه‌گیری

تغییراقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر (Ray, 2008)، از طریق نوسانات متغیرهای کلیدی مانند دما و بارش، تأثیرات عمیقی بر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی دارد. (Itter *et al.*, 2016) مطالعه حاضر به بررسی اثر کمّی این نوسانات بر رشد قطری گونه بنه (*Pistacia atlantica*) در جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس و مدل‌سازی این رابطه با استفاده از شبکه‌عصبی پیشرفته GMDH پرداخت. یافته‌ها نشان داد که رشد شعایی بنه به‌طور معناداری تحت تأثیر عوامل اقلیمی قرار دارد، به‌طوری که بارندگی و رطوبت نسبی اثر مثبت و دما (میانگین و حداکثر) اثر منفی بر آن دارند (جدول ۴). این الگوی کلی با درک کنونی از فیزیولوژی رشد درختان در مناطق محدودشده توسط آب و نتایج بسیاری از مطالعات دندروکرونولوژی در رویشگاه‌های مشابه همخوانی دارد (Cedro *et al.*, 2002; Pourtahmasbi *et al.*, 2008; Banj Shafiei *et al.*, 2011; Radmehr *et al.*, 2015; Ghodskhah Daryaei *et al.*, 2021).

بارندگی به عنوان اصلی‌ترین عامل تسهیل‌کننده رشد، با تأمین رطوبت خاک به ویژه در فصول سرد و ابتدای فصل رشد، زمینه را برای آغاز فعالیت کامبیوم و فرآیندهای فتوسنتزی فراهم می‌کند (Cherubini *et al.*, 2003; Sheng *et al.*, 2007). این وابستگی در مناطق خشکی مانند زاگرس بسیار حیاتی است (صفدری و همکاران، ۱۳۸۴؛ رادمهر و همکاران، ۱۳۹۶). در مقابل، افزایش دما با تشدید تبخیر و تعرق، تنش آبی را در درختان افزایش داده و از طریق بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب کربن، رشد را محدود می‌سازد (Van der Werf *et al.*, 2012; Stanoosh *et al.*, 2009). این پاسخ منفی به دمای بالا، یک الگوی منطقه‌ای مشترک است و در مطالعات دیگر روی گونه‌های زاگرس مانند بلوط و سرو نیز مشاهده شده است (Arsalani *et al.*, 2022). البته، در برخی رویشگاه‌های خاص (مانند ارتفاعات بالا) یا برای گونه‌های دیگر، رابطه مثبت رشد با دما نیز گزارش شده است (Alipoorfard *et al.*, 2023) که نشان‌دهنده اهمیت شرایط اکولوژیک ویژه هر رویشگاه است.

همان‌طور که در این مطالعه مشاهده شد، رطوبت نسبی نیز تأثیر مثبت و معناداری بر رشد بنه داشت. این متغیر با کاهش فشاربخار می‌تواند از میزان تعرق

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

کاسته و کارایی مصرف آب را در درختان بهبود بخشد، که برای گونه‌های مناطق خشک مزیت محسوب می‌شود (Lebourgeois, 2004). این یافته با نتایج برخی مطالعات داخلی همخوانی دارد (Habibi Bibalani *et al*., 2008).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که رشد شعایی درخت *بنه* (*Pistacia atlantica*) در جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس به‌طور معناداری تحت تأثیر نوسانات اقلیمی قرار دارد. این نتایج با مطالعات پیشین در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی را عامل اصلی محدودکننده رشد می‌دانند، همسو است (Cherubini *et al*., 2003; Pourtahmasbi *et al*., 2008). مطابق با انتظار در چنین رویشگاه‌هایی، بارندگی سالانه بیشترین همبستگی مثبت را با پهنای دوایر رویشی نشان داد (جدول ۴). این موضوع تأیید می‌کند که حتی مقادیر کم بارش، به ویژه در فصول سرد و ابتدای بهار، برای تأمین رطوبت مورد نیاز شروع فعالیت کامبیوم و فرآیندهای فتوسنتزی در گونه‌های مقاوم به خشکی مانند بنه حیاتی است (Radmehr *et al*., *2015*). از سوی دیگر، افزایش دما، به ویژه میانگین و بیشینه دمای سالانه، اثر بازدارنده قوی بر رشد داشت. این رابطه منفی می‌تواند ناشی از افزایش تبخیر و تعرق و تشدید تنش آبی در فصل رشد باشد که منجر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب کربن و در نهایت محدودیت رشد می‌گردد (Sheng *et al*., 2007; Van der Werf *et al*., 2012). این الگوی پاسخ منفی به دمای بالا به‌طور مشابه در مطالعات دندروکرونولوژی روی دیگر گونه‌های جنگلی زاگرس، از جمله بلوط ایرانی و سرو کوهی نیز گزارش شده است (Arsalani *et al*., 2022). که نشان می‌دهد این یک پاسخ اکولوژیک منطقه‌ای مشترک به تغییراقلیم است. لازم به ذکر است که در برخی رویشگاه‌های خاص، مانند ارتفاعات بالا یا برای گونه‌هایی با اکولوژی متفاوت، رابطه رشد با دما می‌تواند مثبت باشد برای مثال(Alipoorfard *et al*., 2023) که بر اهمیت درنظرگرفتن شرایط ویژه هر رویشگاه تأکید دارد.

بررسی کارایی مدل GMDH در مقایسه با روش‌های کلاسیک: نوآوری روش‌شناختی این تحقیق، به‌کارگیری مدل شبکه‌عصبی ساختار گروهی داده‌ها (GMDH) برای مدل‌سازی رابطه اقلیم-رشد بود. عملکرد برجسته این مدل با شاخص‌های ارزیابی (R=0.9, RMSE=3.86) نه‌تنها قابلیت پیش‌بینی قوی آن را تأیید می‌کند، بلکه برتری ذاتی رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین را در پردازش روابط غیرخطی و پیچیده موجود در داده‌های زیستمحیطی نشان می‌دهد (Maxwell *et al*., 2018). این نتیجه، یافته‌های تحقیقاتی را که مدل‌های هوش مصنوعی را برای پیش‌بینی رشد موفق‌تر از روش‌های رگرسیونی خطی دانسته‌اند، تأیید و تقویت می‌کند (Samarasinghe, 2006; Salehnia & Ahn, 2022). نکته حائز اهمیت این است که مدل GMDH می‌تواند با مکانیسم خودسازمان‌دهی از مشکل بیش‌برازش که از چالش‌های رایج در مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی است، جلوگیری کند (Zhang *et al*., 2000). مقایسه نتایج مدل *GMDH* با تحلیل همبستگی پیرسون اولیه در این پژوهش (جدول ۴) به‌وضوح نشان می‌دهد که رویکرد غیرخطی توانسته است با درنظرگرفتن تعامل پیچیده متغیرها، مدلی با خطای کمتر و قدرت تعمیم بالاتر تولید نماید.

محدودیت‌ها و پیشنهادات: این مطالعه با محدودیت‌هایی همراه بود که مسیر را برای تحقیقات آینده روشن می‌سازد. نخست، دوره زمانی نسبتاً کوتاه داده‌ها (۱۵ سال) برای بررسی روندهای بلندمدت تغییراقلیم کافی نیست. توسعه گاه‌شناسی‌های طولانی‌مدت‌تر برای بنه می‌تواند بینش ارزشمندی فراهم کند (Naghipour Borj *et al*., 2019). دوم، این مدل بر متغیرهای اقلیمی کلان متمرکز بود. ادغام داده‌های محلی مؤثر مانند رطوبت واقعی خاک، شاخص‌های رقابت درون‌توده‌ای، و اثرات فیزیولوژیکی انباشته (Itter *et al*., 2016) می‌تواند دقت مدل را افزایش دهد. سوم، به‌کارگیری معماری‌های پیشرفته‌تر یادگیری ماشین و یادگیری عمیق که در مدل‌سازی مسائل پیچیده منابع طبیعی موفق عمل کرده‌اند (Qin

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

et al., 2023) می‌تواند گام بعدی برای بهبود مدل‌سازی باشد. در نهایت، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی دقیق‌تر (مانند تبادلات گازی) به نوسانات اقلیمی می‌تواند مکمل ارزشمندی برای یافته‌های دندروکرونولوژیک باشد.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به‌طور کمّی تأیید کرد که در جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس، بارندگی و رطوبت نسبی به عنوان عوامل تسهیل‌گر، و دما (به ویژه در فصل گرم) به عنوان یک عامل محدودکننده قوی، رشد قطری درخت بنه را کنترل می‌کنند. در بستر تغییراقلیم و پیش‌بینی افزایش دما و تغییر الگوی بارش در منطقه، این یافته‌ها حاکی از افزایش تنش آبی و احتمال کاهش رشد آینده این گونه باارزش است. مهم‌ترین دستاورد روش‌شناختی این تحقیق، اثبات کارایی و دقت بالای مدل شبکه‌عصبی GMDH در مدل‌سازی و پیش‌بینی رابطه رشد-اقلیم بود. این مدل با توانایی درک روابط غیرخطی و تعاملات پیچیده، ابزاری قدرتمندتر نسبت به روش‌های خطی مرسوم برای ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های جنگلی در برابر نوسانات اقلیمی فراهم می‌کند. در مجموع، تلفیق دانش بوم‌شناسی سنتی با روش‌های پیشرفته مدل‌سازی هوش مصنوعی، همان‌طور که در این پژوهش نشان داده شد، راهکاری امیدبخش برای درک بهتر پیچیدگی‌های پاسخ جنگل‌ها به تغییراقلیم و تدوین راهبردهای مدیریتی تطبیقی، پیش‌گیرانه و پایدار در جنگل‌های زاگرس است.

منابع

Alipoorfard, M., Pourtahmasi, K., Raeini Sarjaz, M. & Nadi, M. 2023. Reconstruction of Jan-Mar mean temperature using tree ring widths of Juniper trees in the east of Lorestan province. *Iranian Journal of Forest*, 15(1): 53-67. [In Persian]

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. & Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced forest mortality reveals emerging climate change risks. *Forest Ecology and Management*, 259: 660-684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001

Arsalani, M., Grießinger, J. & Bräuning, A. 2022. Tree ring based seasonal temperature reconstructions and ecological implications of recent warming on oak forest health in the Zagros Mountains, *Iran*. *International Journal of Biometeorology*, 66: 2553-2565. https://doi.org/10.1007/s00484-022-02380-5

Banj Shafiei, A., Eshaghi Rad, J., Alijanpour, A. & Pato, M. 2011. The effect of the Oak bud tortricide (Tortrix viridana) on the width of the annual growth rings of oak (*Quercus libani* Oliv.) in the forests of Piranshahr and Sardasht. *Journal of Plant Protection*, 25(2): 178-185. [In Persian]

Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320: 1444-1449. https://doi.org/10.1126/science.1155121

Cherubini, P., Gartner, B.L., Tognetti, R., Bräker, O.U., Schoch, W. & Innes, J.L. 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. Biological Reviews, 78(1): 119-148. https://doi.org/10.1017/S1464793102006000

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

Das, A.J. & Stephenson, N.L. 2015. Improving estimates of tree mortality probability using potential growth rate. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(8): 920-928. https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0368

Cherubini, P., Gartner, B.L., Tognetti, R., Bräker, O.U., Schoch, W. & Innes, J.L. 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. Biological Reviews, 78(1): 119-148. https://doi.org/10.1017/S1464793102006000

Flower, A. & Smith, D.J. 2011. A dendroclimatic reconstruction of June-July mean temperature in the northern Canadian Rocky Mountains. *Dendrochronologia*, 29(2): 55-63. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2010.08.001

Fritts, H.C. 1976. Tree rings and Climate. Academic Press, London. 567 p.

Ghodskhah Daryaei, M., Ahooghalandari, N. & Torkaman, J. 2021. Investigation the effect of climatic factors of temperature and precipitation on growth patterns of the cypress (Cupressus sempervirens Var. Horizontalis (Mill.) Gord) trees in Noshahr and Rudbar habitats [In Persian]. *Journal of Plant Research*, 34(3): 669-681.

Habibi Bibalani, Gh., Bazhrang, Z., Pour-Rabi, S., Joodi, L. & Shibaei, N. 2008. Study for some climatic characters on annual ring growth for Melia azedarach at Ramsar [In Persian]. Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Chronology Tree, Surrey, UK, 25-26 May, 45-52.

Hamidi, S.K., Fallah, A., Bayat, M. & de Luis, M. 2021. The effects of climate variables (temperature and precipitation) on growth characteristics of trees (case study: Farim forest). *Journal of Forest Research and Development*, 6(4): 593-607. [In Persian]

Itter, M.S., Finley, A.O., D'Amato, A.W., Foster, J.R. & Bradford, J.B. 2016. Variable Effects of Climate on Forest Growth in Relation to Ecosystem State. *Ecological Applications*, 27(4): 1082-1095. https://doi.org/10.1002/eap.1518

Lebourgeois, F. 2004. Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, 61(2): 155-164. https://doi.org/10.1051/forest:2000166

Maaten, E.V.D. 2012. Climate sensitivity of radial growth in European beech (Fagus sylvatica L.) at different aspects in southwestern Germany. *Trees*, 26(3): 777-788. https://doi.org/10.1007/s00468-011-0645-8

Maxwell, A.E., Warner, T.A. & Fang, F. 2018. Implementation of machine learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9): 2784-2817. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343

Mirzaeizadeh, V., Mahdavi, A., Naji, H. & Ahmadi, H. 2023. Modeling the Distribution of Species Pistacia atlantica in Ilam Province using MaxEnt Methods [In Persian]. *Ecology of Iranian Forests*, 10(20): 129-139. https://doi.org/10.52547/ifej.10.20.129

Naghipour Borj, A.A., Heidarian Aghajani, M. & Sangoni, H. 2019. Predicting the impact of climate change on the distribution of Pistacia atlantica in the Central Zagros. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 6(3): 197-214. [In Persian]

Najafi Harsini, F., Pourtahmasbi, K. & Karimi, A.N. 2012. Dendrochronological Investigation of Radial Growth of *Quercus infectoria* in Kermanshah Oak Forests. Journal of Forest and Wood Products (JFWP), *Iranian Journal of Natural Resources*, 65(1): 119-129. [In Persian]

Nasseri Karimvand, S., Poursartip, L., Moradi, M. & Sosani, J. 2016. Dynamic Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the annual diameter growth of Iranian oak

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

(*Quercus brantii* Lindl) [In Persian]. *Forest Research and Development*, 2(1): 63-71. [In Persian]

Poursartip, L. 2012. Comparison of anatomical characteristics and chronology Avery trees (*Quercus macranthera*) and Oak (*Quercus castanifolia*) (Case study: North Caspian forests). PhD Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 80p. [In Persian]

Pourtahmasbi, K., Parsapajouh, D., Marvi Mohajer, M. & Ali-Ahmed-Korouri, S. 2008. Evaluation of Juniper trees (*Juniperus polycarpos* C. Koch) radial growth in three sites of Iran by using dendrochronology. *Journal of Forest and Poplar Research*, 16(2): 327-342. [In Persian]

Qin, Y., Wu, B., Lei, X. & Feng, L. 2023. Prediction of tree crown width in natural mixed forests using deep learning algorithm. *Forest Ecosystems*, 10: 100109. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100109

Radmehr, A., Sosani, J., Balapour, Sh., Hosseini Ghale Bahmani, S.M. & Sepahvand, A. 2014. Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the width of Rings-growth in Persian coppice oak in the central Zagros (Case study: Khoramabad). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22(1): 93-110. [In Persian]

Ray, D. 2008. Impacts of climate change on forestry in Scotland - a synopsis of spatial modelling research. Forestry Commission Research Note 101, *Forestry Commission Scotland, Edinburgh.*

Salehnia, N. & Ahn, J. 2022. Modelling and reconstructing tree ring growth index with climate variables through artificial intelligence and statistical methods. *Ecological Indicators*, 134: 108496. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108496

Savva, Y., Schweingruber, F.H., Vaganov, E.A. & Milyutin, L.I. 2003. Influence of climate change on tree-ring characteristics of Scots pine provenances in Southern Siberia (Forest-Steppe). *IAWA Journal*, 24(4): 371-383. https://doi.org/10.1163/22941932-90000342

Sheng, D., Yamanaka, N., Yamamoto, F., Otsuki, K., Wang, S. & Hou, Q. 2007. The effect of Quercus liaotungensis forest trees on soil properties in the Loess Plateau, *China. Dendrochronologia*, 25(1): 29-36. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.01.002

Stanoosh, K., Bhattacharyya, A. & Chaudhary, V. 2009. Climatic influence on radial growth of Pinus wallichiana in Ziro Valley, Northeast Himalaya. *Current Science*, 96(5): 697-702.

Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Squeira, M.F., Grainiger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L. & Williams, S.E. 2004. *Extinction risk from climate change. Nature*, 427: 145-148. https://doi.org/10.1038/nature02121

Trigo, R.M., García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, I.F. & Valente, M.A. 2005. How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? *Geophysical Research Letters*, 32(10): L10701. https://doi.org/10.1029/2005GL022410

Van der Werf, G.W., Sass-Klaassen, U.G.W. & Mohren, G.M.J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25: 103-112. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.03.004

Zahedipour, H., Fatahi, M., Mirdavoudi Akhavan, H.R. & Azdoo, Z. 2004. Investigation, the distribution, ecology and phenology of wild pistachio in the Markazi province (case study:

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

Koh-e-Nazarkardeh, Saveh city). *Research and Construction* (Pajohesh and Sazandegi), 17(3): 97-103. [In Persian]

Zhang, Q., Hebda, R., Zhang, Q.J. & Alfaro, R.I. 2000. Modeling tree-ring growth responses to climatic variables using artificial neural networks. *Forest Science*, 46(2): 229-239. https://doi.org/10.1093/forestscience/46.2.229

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]