Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12, Issue 2, 2024 p: 1-14 OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of the Performance of Climatic Scenarios in the Basal Area Model of Trees (Case Study: the Farim Forest)

Seyedeh Kosar Hamidi[1] and Asghar Fallah[2]

1- Assistant Professor of Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: k.hamidi86@yahoo.com)
2- Professor of Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 19 February 2024 Accepted: 13 May 2024

Extended Abstract

Background: Currently, forests are not only considered an economic pole but also a support for the survival of other sectors. For this reason, decision-making, as the core of management, is an inseparable part of the tasks of managers and planners in natural resource units. Forest management planning is an important decision-making tool in forestry. The result is a management plan that defines the expected activities, their timing, and their control to achieve the objectives of forest management in a forested area. However, climate change over time affects the biological and ecological conditions of plant communities. Considering the importance of sustainable development, it is necessary to pay attention to this issue to offer solutions to adapt to these changes and reduce the risks. Global climate change is increasing with the rise in temperature and atmospheric carbon dioxide levels, as well as changes in precipitation. These changes also affect forest ecosystem services, growth, harvest patterns, and forest structure, posing new challenges to forest ecosystems. Predicting the future growth of forests and their performance under different scenarios is a key element in planning sustainable forest management. It is also essential to study and model the quantitative characteristics of forests to target the ecosystem toward desirable goals and implement conservation and restoration measures. Therefore, this study aimed to evaluate the basal area growth model of trees under climatic conditions for the next five decades.

Methods: This study was conducted in the Jojadeh section of the Farim Forest in Mazandaran Province. This section covers approximately 2803 hectares with elevations between 782 and 1750 m above sea level. The climate of the region was classified as humid according to the Ivanov method. The annual rainfall and average annual temperature are approximately 833 mm and 11 °C, respectively. Forest species include *Fagus orientalis, Carpinus betulus, Alnus subcordata, Quercus castaneifolia, Acer velutinum* and other species. In this study, circular fixed sample plots (1 are) were established and measured in the deciduous and uneven‑aged Farim forest. A 200 m × 150 m rectangular census was established in the forest. The diameter and tree species of all living trees with a diameter of more than 12.5 cm were measured with calipers. The basal areas of both the trees and thickest trees were two important competitive factors used as independent variables in this study. The trees measured at the beginning of the study period were re-measured and identified at the end of the study period (10 years later). Finally, the forest growth rate and growth model were calculated, analyzed, and modeled using the R software. The relationships between these factors were determined using the growth model of the basal area and the climatic information of the study area. Using the HadCM3 general circulation model data, three scenarios, A1B, A2, and B1, were used to program and analyze the relationship between the basal area growth and climate factors for the next 50 years.

Results: The basal area growth model has good accuracy, with a 94% correlation. In addition, the basal area, basal area of the thickest trees, and precipitation were the most important features in the growth changes at the sample plot level. The results of climate prediction for the next 50 years were analyzed separately by species. The results indicate that each scenario creates different conditions for each species, which is an important issue in forest management as each species

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

Copyright ©2024 Hamidi and Fallah. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

depends on its biological conditions, and the habitat itself responds differently in the region. Because of the rise in temperature in the region, competition will increase among heliophyte species, and, to the same extent, sciophytes species will be rarely seen in the region in the future. **Conclusion:** The results of this study can serve as a su itable tool to support management decisions and plans for the conservation and rehabilitation of Syrian forests in line with the effects of climate change. This is because the trend of climatic conditions indicates that torrential rains and floods will likely not increase significantly in Mazandaran province in the coming decades compared to the current and past situation while the temperature increase will take a faster pace. According to the results, the development of vegetation models for the tree basal area is strongly influenced by climatic variables, especially precipitation, which should be considered in forest management. Because climate change is regarded as one of the most important factors for tree growth, it is highly useful to carry out such studies to understand future changes in forest stands under the influence of this phenomenon and to apply them in the management and planning of forests and their management.

Keywords: Basal area model, Climate change, Forest management, Inventory, Uneven‑aged forest

How to Cite This Article: Hamidi, S.K., & Fallah, A. (2024). Evaluation of the Performance of Climatic Scenarios in the Basal Area Model of Trees (Case Study: the Farim Forest). *Ecol Iran For*, 12(2), 1-14. DOI: 10.61186/ifej.12.2.1

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد سناریوهای اقلیمی در مدل سطح مقطع درختان (مطالعه موردی: جنگل فریم)

سیده کوثر حمیدی[۱] و اصغر فلاح[۲]

۱- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: k.hamidi86@yahoo.com)
۲- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴
صفحه: ۱ تا ۱۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: امروزه جنگل‌ها نه‌تنها به‌عنوان قطب اقتصادی بلکه به‌عنوان پشتوانه بقای دیگر بخش‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. بر این اساس تصمیم‌گیری به‌عنوان جوهره مدیریت جز جدایی‌ناپذیر وظایف مدیران و برنامه‌ریزان در واحدهای منابع طبیعی است. برنامه‌ریزی مدیریت جنگل ابزار مهم تصمیم‌گیری در جنگلداری بوده و نتیجه نهایی آن، یک طرح مدیریتی است که در آن فعالیت‌های پیش‌بینی شده، زمان‌بندی آنها و کنترل برای رسیدن به اهداف مدیریت جنگل در یک منطقه جنگلی ارائه می‌شود. از طرفی تغییرات اقلیمی در طول زمان بر روی شرایط زیستی و اکولوژیکی جوامع گیاهی تأثیرگذار است و با توجه به اهمیت توسعه پایدار، لزوم توجه به آن و در نظر گرفتن ارزیابی و ارائه راهکارهای سازگاری با این تغییرات و کاهش مخاطرات امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در حال حاضر، تغییرات اقلیمی جهان با افزایش دما و سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفر و همچنین تغییر در میزان بارش، در حال افزایش کلی است. این تغییرات همچنین بر خدمات اکوسیستم جنگلی، مدل‌های رشد و محصول و ساختار جنگل تأثیر می‌گذارد و چالش‌های جدیدی را برای اکوسیستم جنگل ایجاد می‌کند. در این راستا پیش‌بینی رویش آتی جنگل و عملکرد آن تحت سناریوهای مختلف یک عنصر کلیدی در برنامه‌ریزی مدیریت پایدار جنگل به‌شمار می‌رود، همچنین بررسی و مدل‌سازی ویژگی‌های کمی جنگل به‌منظور هدایت اکوسیستم به‌سوی اهداف مطلوب و اجرای اقدامات حفاظتی و احیایی از موارد مهم به‌شمار می‌آید. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی مدل رویش سطح مقطع درختان تحت اثرات اقلیم برای پنج دهه آینده می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در بخش جوجاده از جنگل فریم واقع در استان مازندران انجام شد. این بخش حدود ۲۸۰۳ هکتار با ارتفاعات بین ۷۸۲ تا ۱۷۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا را پوشش می‌دهد. اقلیم منطقه بر اساس روش ایوانف به‌عنوان منطقه مرطوب طبقه‌بندی شده است. بارندگی سالانه حدود ۸۳۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گونه‌های جنگلی شامل گونه راش به‌همراه ممرز، توسکا، بلندمازو، افرا و سایر گونه‌ها می‌باشد. در این مطالعه قطعات نمونه ثابت دایره‌ای شکل ۱۰ آر در جنگل پهن‌برگ و ناهمسال فریم پیاده و اندازه‌گیری گردید. یک شبکه آماربرداری مستطیل شکل به ابعاد ۲۰۰ × ۱۵۰ متر در جنگل ایجاد شد. قطر برابر سینه و نوع گونه همه درختان زنده با قطر بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر با استفاده از خط‌کش دوبازو (کالیپر) اندازه‌گیری گردید. سطح مقطع درختان و سطح مقطع قطورترین درختان دو عامل رقابتی مهمی بودند که در این مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار گرفت. درختانی که در اول دوره اندازه‌گیری شده‌اند دوباره در آخر دوره (۱۰ سال بعد) اندازه‌گیری و مشخص گردید، در نهایت میزان رویش جنگل و مدل رویشی محاسبه شد. با استفاده از مدل رویشی سطح مقطع منطقه مورد مطالعه و اطلاعات اقلیمی منطقه، رابطه بین این عوامل تعیین گردید. با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی، HadCM3 با سه سناریوی A1B، A2 و B1 رابطه بین رویش سطح مقطع با عوامل اقلیمی برای ۵۰ سال آتی در نرم‌افزار R برنامه‌نویسی و تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که مدل رویش سطح مقطع با همبستگی ۹۵ ٪ دارای دقت مناسبی است، همچنین سطح مقطع برابر سینه، سطح مقطع قطورترین درختان و بارندگی مهم‌ترین مشخصه‌ها در تغییرات رویش در سطح قطعه نمونه بودند. نتایج پیش‌بینی اقلیم در ۵۰ سال آتی نیز به تفکیک گونه‌ها بررسی شد که نتایج حاکی از آن است که هر سناریو شرایط متفاوتی برای هر گونه ایجاد می‌کند که موضوع مهمی در مدیریت جنگل است، زیرا هر گونه با توجه به شرایط زیستی و رویشگاهی خود عکس‌العمل متفاوتی را در منطقه می‌گذارد و به این دلیل هرکدام از گونه‌ها نسبت به هر سناریوی مختلف، واکنش متفاوتی دارند. با توجه به افزایش دما در منطقه رقابت در گونه‌های نورپسند بیشتر می‌شود و به‌همان میزان در آینده گونه‌های سایه‌پسند کمتر در منطقه دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری مدیریتی و طرح‌های حفاظتی و احیا در جنگل‌های هیرکانی استفاده شود، به‌صورتی‌که این تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌ها سازگار با اثرهای تغییر اقلیم باشند زیرا بر اساس روند شرایط اقلیمی، احتمال می‌رود در استان مازندران در دهه‌های آتی بارش‌های رگباری و سیل‌آسا نسبت به وضعیت کنونی و گذشته افزایش چشمگیری نداشته باشد و افزایش دما سرعت بیشتری به خود بگیرد. طبق نتایج به‌دست آمده روند مدل‌های رویشی سطح مقطع درختان بسیار تحت تاثیر متغیرهای اقلیمی مخصوصاً بارش می‌باشد که در راستای مدیریت جنگل باید به آن توجه نمود. از آنجایی‌که تغییرات اقلیمی یکی از عوامل مهم در رشد درختان محسوب می‌شود، انجام چنین مطالعاتی در جهت شناخت تغییرات آتی توده‌های جنگلی تحت تاثیر این پدیده و کاربرد آن در مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل و پرورش آن بسیار راهگشا خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری، تغییر اقلیم، جنگل ناهمسال، مدل سطح مقطع، مدیریت جنگل

مقدمه

در سال‌های اخیر، موضوع تغییر اقلیم به‌عنوان مسئله مهم در محافل زیست محیطی جهان شناخته شده است. تغییرات اقلیم یکی از بزرگترین چالش‌های جهان است و بر اکوسیستم جنگل تأثیر می‌گذارد. چون اکوسیستم‌های جنگلی به اقلیم، حساس هستند. تغییرات اقلیم تأثیرات قابل‌توجهی بر توزیع گونه‌ها، سرعت رشد، مدل‌های رویشی و ساختار جنگل دارد (IPCC, 2019). تغییرات اقلیمی می‌تواند بر شرایط بیولوژیکی و اکولوژیکی جوامع گیاهی در سراسر جهان از طریق تغییرات در فصل رشد، فنولوژی، تولید اولیه، توزیع گونه‌ها، فعل و انفعالات اکولوژیکی، پویایی، ترکیب و تنوع جوامع بیولوژیکی و عوامل دیگر تأثیر بگذارد (Etzold *et al.*, 2019). با توجه به اهمیت توسعه پایدار، ارزیابی و ارائه راهکارهایی برای سازگاری با این تغییرات و کاهش خطرات ضروری است (Mathys *et*

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

al., 2021). آگاهی از تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر گونه‌ها و مدل‌سازی نقش مهمی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت پوشش گیاهی دارد (Hamidi *et al.*, 2021). تغییرات اقلیمی می‌تواند اثرات منفی عواملی مانند تخریب زیستگاه، بهره‌برداری بی‌رویه، گونه‌های مهاجم خارجی و آلودگی را تشدید کند (Mathys *et al.*, 2018). در این راستا، مطالعات متعددی به روند تغییرات پوشش گیاهی بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی پرداخته است (Askarizadeh *et al.*, 2018; Hamidi *et al.*, 2021; Mathys *et al.*, 2021). تغییرات اقلیمی با تغییر در رشد، مرگ و میر و تولید مثل درختان به‌شدت بر اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر می‌گذارد. در حال‌حاضر، تغییرات اقلیمی جهان با افزایش دما و سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفر و همچنین تغییر در میزان بارش، در حال افزایش کلی است. این تغییرات همچنین بر خدمات اکوسیستم جنگلی، مدل‌های رشد و محصول و ساختار جنگل تأثیر می‌گذارد و چالش‌های جدیدی را برای اکوسیستم جنگل ایجاد می‌کند (Liang *et al.*, 2007; Vahedi *et al.*, 2024). مدل‌های رشد و محصول مبتنی بر درخت به‌طور فزاینده‌ای در مدیریت جنگل کاربردی هستند، زیرا قادر به شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف جنگلکاری و مدیریت در توده‌ها با ساختار، ترکیب گونه‌ها و تاریخچه مدیریت متنوع هستند (Bayat *et al.*, 2021). مدل افزایش قطر یا سطح مقطع (BAI) یکی از زیرمدل‌های کلیدی در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد جنگل مبتنی بر درخت است (Froese and Robinson, 2007; Pokharel and Froese, 2009) زیرا توصیف تغییر در قطر یا سطح مقطع تک درختان یک پیش‌نیاز برای هر گونه شبیه‌سازی رشد و عملکرد جنگل است. قطر برابر سینه (DBH) یکی از متداول‌ترین ویژگی‌های درختی است که در مدل‌سازی جنگل استفاده می‌شود. اندازه‌گیری آن آسان است و با خطای کم یا بدون خطا قابل اندازه‌گیری است و با سایر ویژگی‌های درخت مانند بازیابی محصول (به‌عنوان مثال چوب اره یا چوب خمیر)، ارتفاع (Vargas-Larreta *et al.*, ؛Sharma and Parton, 2007 2009؛ Wykoff, 1990)، حجم (Hai *et al.*, 2010)، زی‌توده (IPCC, 2019) و ذخیره کربن (Richard and Stavins, 2006) در ارتباط است. قطر برابر سینه به‌عنوان جانشین برای سن درخت نیز استفاده می‌شود (Pokharel, 2008). افزایش قطر درخت یا مدل‌های BAI به مجموعه نسبتاً ثابتی از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، مانند اندازه درخت، رقابت و برخی خصوصیات کیفیت رویشگاه تکیه می‌کنند (Wykoff, 1986). افزایش قطر درخت در سنین جوانی به حداکثر خود می‌رسد، به آرامی کاهش می‌یابد و با بالغ شدن درختان به صفر نزدیک می‌شود. این روند سنی در مدل‌های رشد با انتخاب یک تابع پایه مناسب، مانند تابع گاما پیشنهاد شده توسط پوخارل (Pokharel, 2008) ثبت شده است. رقابت برای نور، رطوبت و مواد مغذی در میان درختان جداگانه از طریق موقعیت اجتماعی نسبی آن‌ها در توده و همچنین تراکم توده در مدل گنجانده شده است. خاک و آب و هوا دلایل اصلی بهره‌وری رویشگاه هستند و توپوگرافی احتمالاً نقش کلیدی در تنظیم اثرات آنها بر رشد درخت در مقیاس میکروکلیما ایفا می‌کند (Liu *et al.*, 2011). های (Hai *et al.*, 2011) یک مدل سطح مقطع را با استفاده از روش اثرات مختلط و داده‌های حاصل از تجزیه و تحلیل گونه صنوبر در توده‌های پیتزار در شمال شرقی انتاریو برازش دادند و به این نتیجه رسیدند که این مدل‌ها اثر مثبتی بر روند مدل‌سازی دارند. شارما (Sharma and Parton, 2007) مدل سطح مقطع خود را برای گونه صنوبر سیاه (شالک) و کاج مدل‌سازی کرد. در این مطالعات از داده‌های تک گونه‌ای کاج و صنوبر سیاه استفاده شد و ترکیبی از رویکرد اثرات مختلط و استفاده از متغیرهای ELC (Ecological Land Classification) برای تعیین کمیت اثرات رویشگاه صورت گرفته است.

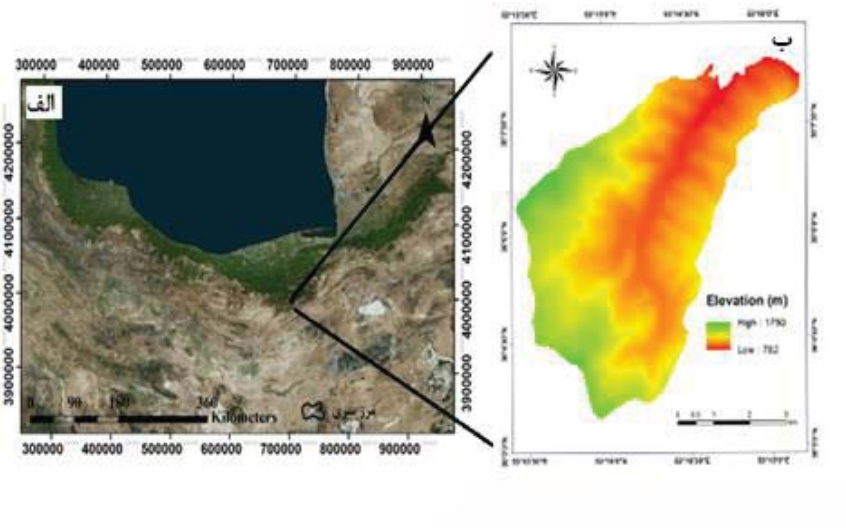
مطالعه‌ای در جنگل‌های شمالی شرق کانادا در مورد مدل‌های BAI انجام شد. هدف از این مطالعه توسعه یک مدل BAI تک درخت برای گونه‌های درختی اصلی در منطقه مذکور با استفاده از روش اثرات مختلط بود. کاربرد مدل برای مدیریت بهتر جنگل از مهمترین عواملی است که مدل‌سازی را توجیه می‌کند. مدل‌های ایجاد شده، میزان رویش و عوامل مؤثر بر آن را مشخص کرده و بهترین گزینه را ارائه می‌دهند و در بعضی از مواقع می‌توان آینده جنگل را نیز به‌کمک آن پیش‌بینی نمود. با اینکه نگرانی‌های زیادی دربارهٔ اثر تغییر اقلیم بر اکوسیستم جنگلی وجود دارد، در حال حاضر آثار این موضوع بر گونه‌های گیاهی کشورمان ناشناخته مانده است و دانش اندکی در این زمینه وجود دارد. هدف از این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم و شبیه‌سازی آن در دهه‌های آینده بر مدل رویشی سطح مقطع درختان می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری مدیریتی و طرح‌های حفاظتی و احیا در جنگل‌های هیرکانی استفاده شود، به‌صورتی‌که این تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌ها سازگار با اثرهای تغییر اقلیم باشند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در بخش جوجاده از جنگل فریم واقع در استان مازندران در بخش جنوبی شهر ساری در دامنه‌های رشته‌کوه شمالی البرز (بخش دودانگه) انجام شد (شکل ۱). این بخش حدود ۲۸۰۳ هکتار با ارتفاعات بین ۷۸۲ تا ۱۷۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا را پوشش می‌دهد. اقلیم منطقه بر اساس روش ایوانف به‌عنوان منطقه مرطوب طبقه‌بندی شده است (Hamidi *et al.*, 2019). بارندگی سالانه حدود ۸۳۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و سنگ مادری که منشأ تشکیل دهنده خاک منطقه می‌باشد از نوع ماسه سنگ سیلتستون که با رگه‌های آهکی همراه می‌گردد و تیپ خاک قهوه‌ای شسته شده با افق آرژیلیک می‌باشد (Hamidi *et al.*,

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

2017). تیپ غالب جنگلی از گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) به‌همراه ممرز (*Carpinus betulus*. L)، توسکا (*Alnus subcordata* C.A.Mey)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey) و سایر گونه‌ها از جمله گیلاس وحشی، شیردار، پلت و ون می‌باشد (Hamidi *et al.*, 2021).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) جنگل‌های شمال ایران ب) جنگل فریم
Figure 1. Location of the studied area A) Forests of northern Iran B) Farim forest

روش پژوهش

به‌منظور تهیه داده‌ها در این پژوهش از شبکه آماربرداری (مربع مستطیل ۲۰۰ ×۱۵۰ متر) با تعداد ۳۱۳ قطعه نمونه دائمی دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور منظم در منطقه پیاده شد. در داخل قطعه نمونه، قطر برابرسینه تمام درختان زنده که در ارتفاع برابرسینه، قطر بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر داشتند به‌کمک خط‌کش دوبازو اندازه‌گیری و مقادیر آنها در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد. درختانی که در اول دوره اندازه‌گیری شده‌اند دوباره در آخر دوره (۱۰ سال بعد) اندازه‌گیری شدند، در نهایت میزان رویش جنگل و مدل رویشی محاسبه گردید و از نرم‌افزار R (پکیج lme4 و lmfor) برای تجزیه تحلیل و مدل‌سازی به‌روش رگرسیون اکثر آمیخته استفاده شد (Hamidi *et al.*, 2021). سطح مقطع درختان (BA) و سطح مقطع قطورترین درختان (BAL) دو فاکتور رقابتی مهمی هستند که در این مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای بررسی روند اثرات تغییر اقلیم بر مقدار رویش درختان، از داده‌های بارش و میانگین دمای سالانه سه ایستگاه هواشناسی نزدیک به شهر فریم به‌همراه داده‌های اقلیمی شهر فریم به‌نحوی استفاده شده است که تغییرات ارتفاع از سطح دریا مدنظر قرار گیرد (Balapour and Kazemi. 2012 ؛Hamidi et al., 2022).

رابطه مدل رویشی درختان و عوامل اقلیمی

با استفاده از مدل رویشی منطقه مورد مطالعه و اطلاعات گذشته و حال مرتبط با ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به منطقه مذکور به پیش‌بینی اقلیم (دما، بارندگی، تبخیر و تعرق) منطقه و تعیین رابطه آن با رویش درختان جنگلی پرداخته شد. دوره‌ی زمانی ۲۰۰۳-۲۰۱۷ به‌عنوان دوره‌ی مشاهداتی و دوره‌ی زمانی ۲۰۱۸-۲۰۶۳ به‌عنوان دوره‌ی آینده انتخاب شد. داده‌های مورد نیاز مدل گردش عمومی، HadCM3 با سه سناریوی A1B، A2 و B1 از مرجع شبکه داده‌های تغییر اقلیم کانادا استخراج گردیدند. در جدول ۱ مشخصات مدل گردش عمومی بیان شده است. ابتدا اقلیم منطقه توسط نرم‌افزار R شبیه‌سازی شد و میزان تبخیر و تعرق از روش Thornthwaite محاسبه شد.

رابطه ۱ $ET=16N_m(10T_m/I)^a$

رابطه ۲ $I=(T_m/5)^{1.514}$

رابطه ۳ $a=(675\times10^{-9})I^3-(771\times10^{-7})I^2+(179\times10^{-4})I+0.492$

که در روابط فوق، ET: تبخیر و تعرق ماهانه به میلی‌متر، I: شاخص حرارتی سالانه، T_m: متوسط ماهانه درجه حرارت به سانتی‌متر و a: ضریبی است که از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر متفاوت بوده و بستگی به شاخص حرارتی دارد. سپس با توجه به شرایط رویش منطقه و همچنین سناریوهای اقلیمی رابطه بین رویش و اقلیم برنامه‌نویسی و مشخص شد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

جدول ۱- مشخصات مدل گردش عمومی مورد استفاده در مطالعه
Table 1. Specifications of the general circulation model used in the study

نام مدل اقلیم جهانی The name of the global climate model	مرکز تحقیقاتی Research center	کشور Country	تفکیک مکانی Spatial segregation
HadCM3	U. K. Metrological Office	انگلستان England	2.5˚ × 3.75˚

سناریوهای تغییر اقلیم

به‌طور کلی ۴۰ سناریوی مختلف وجود دارند که هرکدام فرضیات متفاوتی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پوشش سطح زمین و دیگر مسائل اقلیم در آینده را مدنظر قرار داده‌اند (Chu *et al.*, 2010). این سناریوها شامل عناصر مختلف فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی و اقتصادی هستند که به‌منظور هرچه نزدیک‌تر شدن خروجی مدل‌ها به شرایط واقعی، در آنها منظور می‌شوند (IPCC, 2007). معتبرترین سناریوهای اقلیمی که توسط IPCC مورد تأیید قرار گرفته و امروزه در انواع مدل‌های مختلف پیش‌بینی تغییر اقلیم در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند، سناریوهای A1B، A2 و B1 هستند. بر اساس سناریوی A1B رشد سریع اقتصادی و جمعیتی در جهان رخ خواهد داد به‌طوری‌که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن بوده و پس از آن روند جمعیت، کاهشی خواهد بود. همچنین، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر براساس این سناریو در دوره‌های آتی به‌وقوع خواهد پیوست. سناریوی A2 مبین رشد سریع جمعیت جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف است. بر طبق سناریوی B1 نیز در دهه‌های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (IPCC, 2019).

نتایج و بحث

داده‌های مدل‌سازی رویش

دامنه قطری درختان بین ۱۲/۵- ۱۶۰ سانتی‌متر است. در جدول ۲ آماره‌های توصیفی داده‌های مورد استفاده در مدل رویشی مورد محاسبه قرار گرفت.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی داده‌های مورد استفاده در مدل رویشی
Table 2. Descriptive statistics of data used in the growth model

متغیر Variable	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف‌معیار Standard Deviation	ضریب تغییرات Coefficient of variation
تعداد در هکتار Number per hectare	154	30	500	74.42	48.32
قطر (سانتی‌متر) Diameter (cm)	38	12.5	154	22	57.89
سطح مقطع (مترمربع در هکتار) basal area (square meters per hectare)	17.94	3.6	49.51	4.25	23.69

رابطه مدل‌های رویشی و عوامل اقلیمی

مدل رویش سطح مقطع

نتایج مربوط به بهترین مدل در رابطه ۲ آورده شده است.

رابطه ۴ $$BAI=8.45+uj+0.044\,(BA)-0.002\,(BAL)+0.032\,(DBH)+0.009\,(TEMP)+0.003\,(PCP)-0.001\,(TEMP:PCP)+0.0436\,(ET)+0.012\,(SLP)+0.0431\,(ASP)-0.011\,(ALT)$$

که در این رابطه BAI: میزان رویش سطح مقطع در یک پریود ده ساله و $uj\sim N(0,\sigma_u^2)$: فاکتور اثر تصادفی، BA: سطح مقطع برابرسینه به مترمربع در هکتار، BAL: سطح مقطع قطورترین درختان در پلات به مترمربع در هکتار می‌باشد، DBH: قطر برابرسینه به سانتی‌متر، TEMP: میزان دمای ماهانه به سانتی‌گراد، PCP: میانگین بارندگی ماهانه به میلی‌متر، TEMP:PCP نسبت میزان دما به بارش، ET: تبخیر و تعرق ماهانه به میلی‌متر، SLP: شیب، ASP: جهت و ALT: ارتفاع از سطح دریا است. میزان انحراف معیار برای فاکتور تصادفی ۰/۰۳۲ و میزان انحراف معیار برای باقی‌مانده‌ها ۰/۲۱ سانتی‌متر و میانگین مربعات خطا ۱/۸۰ سانتی‌متر، میزان همبستگی ۰/۹۵ و میزان AIC و BIC به‌ترتیب ۱۵۶۴ و ۱۵۳۲ به‌دست آمد.

در جدول ۲ ضرایب متغیرهای اثرگذار و معنادارای آنها ذکر شده است. نتایج نشان داده که در رویش سطح مقطع درختان منطقه، سطح مقطع درختان و سطح مقطع قطورترین درختان، بارندگی و ارتفاع اثرات معناداری در مدل رویش دارند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

جدول ۳- ضرایب متغیرهای تاثیرگذار و معناداری آنها بر رویش سطح مقطع
Table 3. Coefficients of effective variables and their significance on basal area

متغیر Variable	ضریب Coefficient	اشتباه معیار Standard error	Z Value	Pr(>|z|)
عدد ثابت constant number	8.45	0.010	73.42	<2e-16***
سطح مقطع برابرسینه Basal area	0.044	0.0025	21.66	<2e-16***
BAL	-0.002	0.031	-3.09	0.0007***
قطر برابر سینه Diameter	0.032	0.0045	21.12	0.0009***
دما Temperature	0.009	0.0154	4.23	0.932
بارندگی Precipitation	0.003	0.0066	7.31	0.014*
اثر دما به بارندگی Effect of temperature on precipitation	-0.001	0.0012	-1.84	0.211
تبخیر و تعرق Evaporation and transpiration	0.0436	0.021	2.78	0.083
شیب slope	0.012	0.007	19.23	0.281
جهت Aspect	0.0431	0.012	-3.4	0.310
ارتفاع از سطح دریا Altitude	-0.011	0.0006	11.12	0.001**

در جدول ۴ همبستگی بین تمام متغیرهای به‌کار گرفته شده، بررسی گردید که تأثیر مهمی در فهم روابط بین متغیرها دارد. وجود همبستگی یا عدم وجود همبستگی بین متغیرها در بررسی و اندازه‌گیری هریک از متغیرهایی که اندازه‌گیری آنها مشکل است کمک فراوانی می‌کند.

جدول ۴- بررسی همبستگی بین تمام متغیرهای تاثیرگذار بر رویش سطح مقطع
Table 4. Investigation of the correlation between all variables affecting basal area growth

متغیر	عدد ثابت constant number	سطح مقطع دوره اول Basal area	سطح مقطع قطورترین درختان BAL	قطر برابرسینه Diameter	دما Temperature	بارندگی Precipitation	اثر دما به بارندگی Effect of temperature on precipitation	تبخیر و تعرق Evaporation and transpiration	شیب slope	جهت Aspect	ارتفاع از سطح دریا Altitude
سطح مقطع برابرسینه Basal area	0.23	1									
BAL	-0.151	0.251	1								
قطر برابر سینه Diameter	0.236	0.87	0.112	1							
دما Temperature	-0.713	0.171	0.271	0.11	1						
بارندگی Precipitation	-0.981	0.127	0.158	0.832	0.956	1					
اثر دما به بارندگی Effect of temperature on precipitation	0.818	0.147	0.136	0.21	0.978	0.901	1				
تبخیر و تعرق Evaporation and transpiration	-0.842	0.154	0.144	0.213	0.953	0.832	0.891	۱			
شیب slope	0.0143	0.023	0.96	0.0410	0.220	0.152	0.83	0.96	1		
جهت Aspect	0.094	0.427	0.121	0.427	0.213	0.023	0.201	0.23	0.62	1	
ارتفاع از سطح دریا Altitude	0.124	0.121	0.110	0.142	0.184	0.118	0.11	0.143	0.302	0.120	1

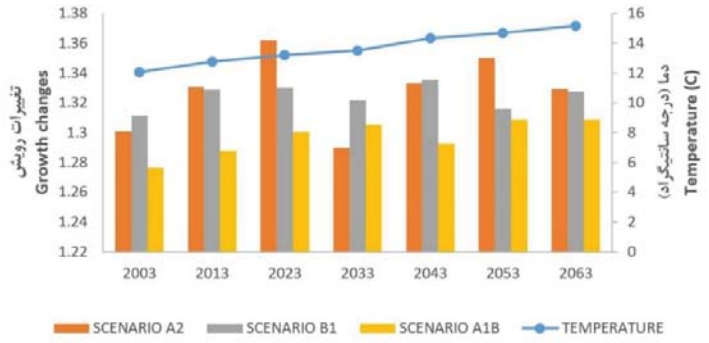
تغییرات مدل رویش سطح مقطع نسبت به سناریوهای اقلیمی به تفکیک گونه‌ها در ۵۰ سال آتی

به‌طور کلی با توجه به شکل‌های زیر (شکل ۲ تا ۱۳)، مشخص می‌شود بارش ماهانه منطقه تا سال ۲۰۶۳ کاهش پیدا می‌کند. دلیل کاهش بارندگی را می‌توان افزایش روند گرمایی در سطح زمین دانست (IPCC, 2019). طبق گزارش آکادمی علوم روسیه، افزایش دما در سیبری سبب ذوب شدن برف و یخ‌ها شده که این امر سبب افزایش آبدهی رودخانه‌ها در سیبری گردیده است. شرایط اقلیمی در ایران عموماً نمی‌تواند از این تحولات بی‌تأثیر باشد؛ چرا که یکی از توده‌های اصلی ورودی به ایران از منطقه سیبری نشأت می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصله از تحقیقات اخیر، روند گرمایی در سطح زمین افزایشی است که در این‌صورت با افزایش دما چون سامانه‌های کم‌فشار دینامیک به‌دلیل نیاز آن‌ها به‌وجود هوای سرد تضعیف می‌گردند (Hamidi *et al.*, 2021). بنابراین این سامانه‌ها وقتی به منطقه ما وارد می‌شوند از طرفی دارای شرایط ناپایداری کمتری بوده و در نتیجه بارش کمتری در منطقه ریزش می‌کند و از سوی دیگر به‌علت ضعیف شدن، به عرض‌های شمالی‌تر کشیده می‌شوند (که دارای هوای سردتر هستند)، در نتیجه منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تعداد چرخند کمتری قرار می‌گیرد. البته شرایط فیزیولوژیکی گیاهان به‌صورتی است که هرگونه نسبت به این شرایط جوی و سناریوهای اقلیمی واکنش متفاوتی را در رویش نشان می‌دهند که در ادامه به تک تک گونه‌ها نسبت به رویش سطح مقطع پرداخته شده است.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

گونه راش

به‌طور کلی مدل رویش سطح مقطع گونه راش نسبت به شرایط اقلیمی در هر دهه متفاوت می‌باشد، به‌طور کلی سناریو A2 نتایج بهتری نسبت به این گونه را نشان می‌دهد (شکل ۲ و ۳).

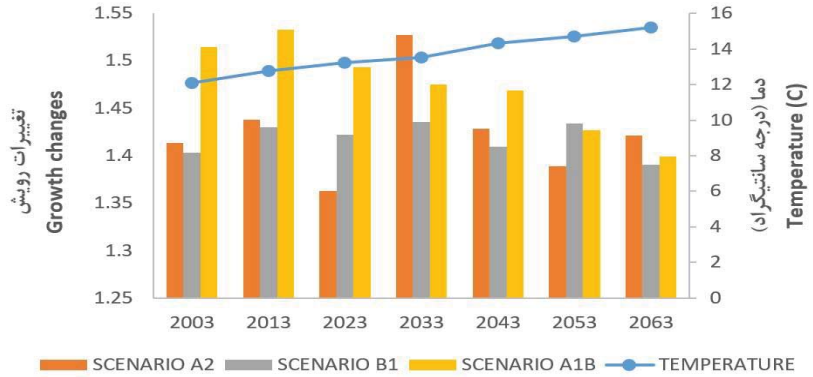


شکل ۲- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه راش
Figure 2. The effect of temperature on changes in basal area growth model in beech species

شکل ۳- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه راش
Figure 3. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in beech species

گونه ممرز

در گونه ممرز بر خلاف گونه راش سناریو A1B نسبت به شرایط رویشی و اقلیم واکنش مناسب‌تری را دارد و در دهه سوم (۲۰۲۳ تا ۲۰۳۳) شرایط تغییر کرده و سناریو A2 نتیجه بهتری را ارائه داده است و در دهه‌های آتی روند سناریوها در هر دوره متفاوت شده است (شکل ۴ و ۵).



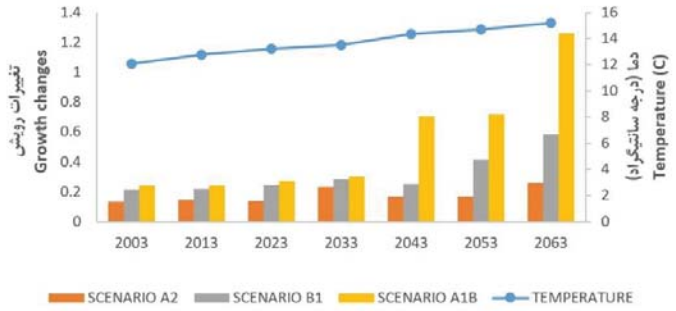
شکل ۴- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه ممرز
Figure 4. The effect of temperature on changes in basal area growth model in hornbeam species

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

شکل ۵- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه ممرز
Figure 5. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in hornbeam species

گونه بلوط

میزان رویش سطح مقطع در گونه بلوط با افزایش دما و کاهش بارندگی روند مناسبی را نشان می‌دهد و در دهه میانی و آخر (۲۰۴۳-۲۰۶۳) رشد شدیدی مشاهده می‌شود که سناریو A1B به طور مناسب‌تری این شرایط را گزارش می‌دهد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه بلوط
Figure 6. The effect of temperature on changes in basal area growth model in Oak species

شکل ۷- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه بلوط
Figure 7. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in Oak species

گونه توسکا

رویش سطح مقطع در گونه توسکا در تمام دهه‌ها شرایط تقریبا یکسانی از سناریوها گزارش می‌شود و میزان اثرگذاری سناریو A2 از مابقی سناریوها بیشتر می‌باشد (شکل ۸ و ۹).

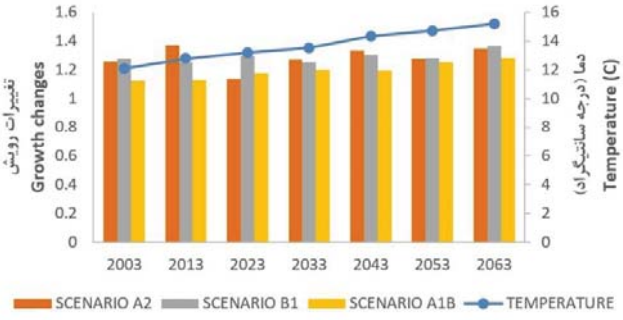
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

شکل ۸- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه توسکا
Figure 8. The effect of temperature on changes in basal area growth model in Alder species

شکل ۹- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه توسکا
Figure 9. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in Alder species

گونه افرا

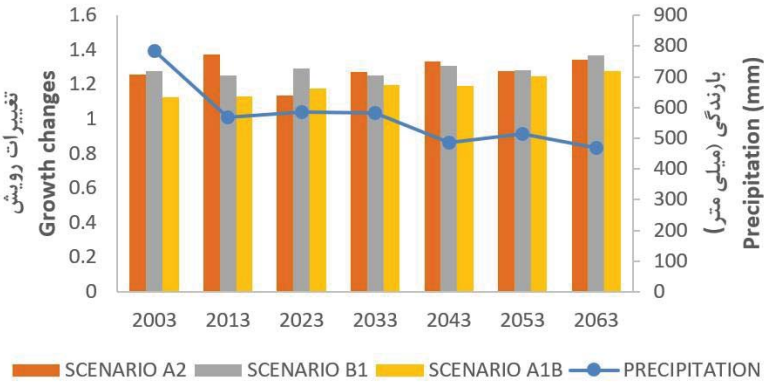
در گونه افرا سناریو A2 روند مناسبی را در دهه‌های ابتدایی برای این گونه پیش‌بینی کرده است به جز زمانی که افت بارندگی و افزایش دما در دهه‌های آتی مشاهده شده است که در این شرایط روند عملکرد سناریو B1 بسیار مناسب‌تر بوده است (شکل ۱۰ و ۱۱).



شکل ۱۰- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه افرا
Figure 10. The effect of temperature on changes in basal area growth model in Maple species

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

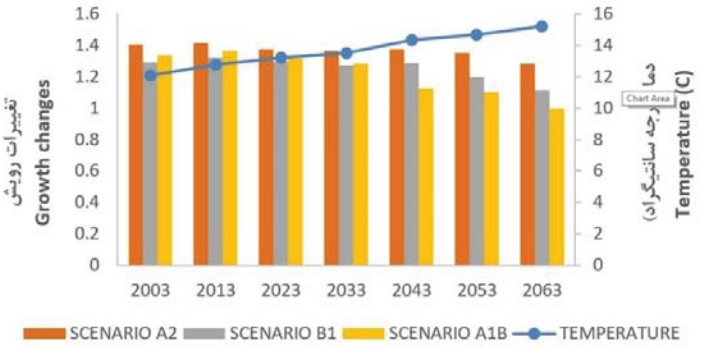
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]



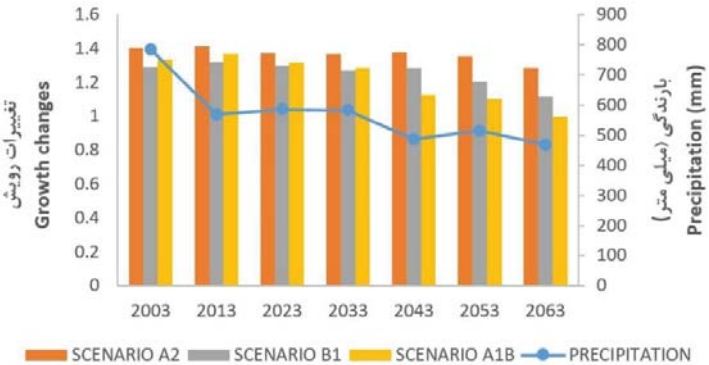
شکل ۱۱- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در گونه افرا
Figure 11. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in Maple species

سایر گونه‌ها

در سایر گونه‌های جنگلی شرایط به‌نسبت یکسان مشاهده می‌شود ولی سناریو A2 عملکرد مناسب‌تری را در ۵۰ سال آتی برای رویش سطح مقطع گونه‌ها نمایش می‌دهد (شکل ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲- اثر دما در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در سایر گونه‌ها
Figure 12. The effect of temperature on changes in basal area growth model in other species



شکل ۱۳- اثر بارندگی در تغییرات مدل رویش سطح مقطع در سایر گونه‌ها
Figure 13. The effect of precipitation on changes in basal area growth model in other species

اقلیم به‌معنای میانگین شرایط نسبتاً درازمدت جوی است و از اساسی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر حیات در سیاره زمین می‌باشد. تغییرات اقلیمی شامل تغییر مشخص طولانی‌مدت در الگوی مورد انتظار در وضعیت آب و هوایی یک منطقه می‌باشد. اقلیم بر روی شرایط زیستی و اکولوژیکی جوامع گیاهی بسیار تأثیرگذار است. آگاهی از چگونگی این تغییرات

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

سبب ایجاد راهبردهایی در جهت برنامه‌ریزی بهینه در این زمینه است. بر طبق گزارش مجمع بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC, 2007) الگوی گرمایش سال‌هاست آغاز شده و در آینده نیز ادامه خواهد داشت. بسیار با اهمیت است که بدانیم اکوسیستم‌ها در مقابل این تغییرات چگونه پاسخگو هستند و در آینده چه تغییراتی می‌کنند. در این مطالعه اثرات عوامل اقلیمی روی رویش سطح مقطع در منطقه مورد مطالعه بررسی شد. نتایج در رابطه ۴ و جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که در برآورد مدل رویشی سطح مقطع، سطح مقطع درختان و سطح مقطع قطورترین درختان و بارندگی می‌تواند تاثیر به‌سزایی بر مدل سطح مقطع در جنگل بگذارند و رویش سطح مقطع را در سطح قطعه نمونه تعریف کنند. با توجه به رابطه ۲ که در مدل آمیخته، متغیرهای اقلیمی تاثیرگذار بر رویش سطح مقطع را بیان می‌کند، مجذور میانگین مربعات خطا ۱/۸۰ سانتی‌متر، میزان همبستگی ۰/۹۵ است که نشان‌دهنده دقت مناسب این مدل در برآورد رویش سطح مقطع تحت‌تاثیر متغیرهای اقلیمی است. مطالعات فان و همکاران (Fan *et al.*, 2017)؛ بالاپور و کاظمی (Balapour and Kazemi, 2012) همسو با پژوهش حاضر می‌باشد که به این نتیجه رسیدند دما بر روی رویش تاثیری ندارد. همچنین در سطح جهانی تحقیقات متعددی در چین و فلات تبت در این ارتباط صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های (Liang *et al.*, 2007؛ Liu *et al.*, 2010؛ Liu *et al.*, 2011) اشاره کرد. از جمله دستاوردهای آن‌ها می‌توان به بررسی رابطه دما و بارش بر روی رویش درختان اشاره کرد که با انجام یک تحلیل رگرسیونی اقدام به بازسازی بارش و دما در دوره‌های خشک و مرطوب نمودند. از جمله کارهای انجام شده در ایران می‌توان به تحقیقات پورطهماسی و همکاران (Portahmasi *et al.*, 2009) اشاره نمود که با استفاده از یک تحلیل رگرسیونی و ضرایب همبستگی پیرسون اقدام به مطالعه رویش درختان و تاثیر دما و بارش پرداختند. اما کرم‌زاده و همکاران (Karamzadeh *et al.*, 2012) در منطقه سراوان گیلان به یک رابطه معنادار مثبت بین دما و بارش و رویش درختان بلوط رسیده‌اند. همچنین در این مطالعه رابطه بین تغییرات اقلیمی با مدل‌های رویشی درختان در جنگل پهن‌برگ و آمیخته طی ۵ دهه آینده با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریو A2، B1 و A1B بررسی گردید و چگونگی تغییرات آن از دوره پایه تحلیل شد، نتایج نشان می‌دهد که گونه‌ها دارای واکنش‌های متفاوتی نسبت به این تغییرات هستند.

اگرچه داده‌ها نشان می‌دهد که میزان تغییرات بارش در طول سال‌های آینده از الگوی منظمی پیروی نکرده است، اما در همین مدت روند تغییرات دما افزایشی بوده است. تغییرات اقلیمی بر روی رویش درختان و بهره‌وری آنها تاثیرگذار است. این تاثیرات با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن و دمای هوا و تغییر در رژیم بارندگی بیشتر بروز می‌کند (Mathys *et al.*, 2021). در نتیجه در اثر گرمایش جهانی، دما نیز افزایش پیدا می‌کند که توام با آن، فصل رویشی نیز افزایش می‌یابد، اما با این گرم شدن زمین و افزایش دما، دامنه پراکنش تغییر می‌کند. زیستگاه برخی گونه‌های درختی به جهات شمالی‌تر و ارتفاعات بالاتر محدود می‌شود. تغییرات اقلیمی همچنین سبب افزایش خطر خشکسالی می‌شود و با وجود اینکه بسیاری از درختان به درجه‌ای از خشکی مقاوم‌اند، اما احتمالاً در آینده درجه خشکی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی شدیدتر از دوره‌های گذشته باشد که این درجه بیشتر خشکسالی، خطر آتش‌سوزی و همچنین تشدید بیماری‌ها و آفات را برای درختان افزایش خواهد داد (Richard and Stavins, 2006).

در این پژوهش بررسی روند اثرات اقلیم طی دوره پایه ۲۰۱۷-۲۰۰۳ نشان می‌دهد حداکثر دما و حداقل بارش در منطقه مشهود است و با توجه به نتایج به‌دست از آمده از اثر عوامل اقلیمی بر رویش سطح مقطع درختان به تفکیک گونه‌ها (شکل‌های ۲ تا ۱۳) این موضوع نیز مشخص شده است که این اثرات در دهه‌های آتی برای هرگونه تأثیر متفاوتی دارد و هرگونه با توجه به شرایط زیستی و رویشگاهی خود عکس‌العمل متفاوتی را در منطقه می‌گذارد و هرگونه نسبت به هر سه سناریو واکنش متفاوتی دارد. با توجه به افزایش دما در منطقه رقابت در گونه‌های نورپسند بیشتر می‌شود و به‌همان میزان گونه‌های سایه‌پسند در آینده کمتر در منطقه دیده می‌شود. در گونه‌های افرا و سایر گونه‌ها شرایط هر سه سناریو به نسبت یکسان است ولی در گونه‌ای مثل راش سناریو A2 و در گونه بلوط سناریو A1B روند مناسب‌تری را برای مدل رویشی درختان بیان می‌کنند. در بسیاری موارد اطلاعات اقلیمی (به‌دلیل فقدان نسبی ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق جنگلی و عدم امکان برآورد شرایط اقلیمی برای هر رویشگاه معین) به‌منظور ارزیابی رویشگاه جنگلی استفاده نمی‌شوند، اما ابزارهای برآورد اقلیم در یک رویشگاه معین به‌سرعت در حال افزایش و استفاده است. علاوه بر ارتباط اقلیم با رویشگاه، پوخارل و فورس (Pokharel and Froese, 2009)، گزارش کردند که میانگین درجه حرارت سالیانه به اندازه رویشگاه در معادلات مربوط به رویش سطح مقطع متوسط درختان مؤثر است. یاگی و همکاران (Yagi and Primicerio, 2014)، یک شاخص بیولوژیکی رویشگاه را بر اساس متغیرهای اقلیمی ارائه کردند که درست به اندازه شاخص سنتی رویشگاه که به‌منظور پیش‌بینی رشد و محصول جنگل‌های بوره‌آل شرق کانادا استفاده می‌شد، کارائی داشت. آنها همچنین دریافتند که متغیرهای اقلیمی برای پیش‌بینی میزان تولید گونه‌های نورپسند کارائی دارند اما متغیرهای اقلیمی لازم است که با معیارهایی از مراحل توالی جنگل ترکیب شوند تا به‌طور صحیح میزان تولید گونه‌های نورپسند را پیش‌بینی کنند. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2004) در مطالعاتی که انجام دادند اثر دمای زمستان را بر روی شش گونهٔ مختلف درختی در شمال آمریکا تعیین کردند. آنها بیان کردند که دمای ماه ژانویه بیشترین محدودیت را در رشد درختان اعمال می‌کند. در تحقیقی دیگر، چو و همکاران (Chu *et al.*, 2010)، در چین با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و دما را شبیه‌سازی کردند که نتایج، بیانگر عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی است. فایسها و همکاران (Fiseha *et al.*, 2012)، بارش و دمای حوضهٔ رودخانهٔ تیبر را در مرکز ایتالیا با ریز مقیاس‌نمایی پیش‌بینی‌های بالاHadCM3 با سناریوهای A2 و B2 و با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]
[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

استفاده از دو مدل SDSM و WG-LARS برای چهار دورهٔ سناریو، شامل اقلیم کنونی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای سال‌های ۲۰۲۰،۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بررسی و ارزیابی کردند. نتیجهٔ مدل SDSM در این مطالعه حکایت از افزایش روند کمینه، بیشینه دما و بارش تا پایان سال ۲۰۸۰ دارد.

بنابراین احتمال می‌رود در استان مازندران در دهه‌های آتی بارش‌های رگباری و سیل‌آسا نسبت به وضعیت کنونی و گذشته افزایش چشمگیری نداشته باشد و افزایش دما سرعت بیشتری به‌خود بگیرد. طبق نتایج به‌دست آمده روند مدل‌های رویشی سطح مقطع درختان بسیار تحت تاثیر متغیرهای اقلیمی مخصوصا بارش می‌باشد که در راستای مدیریت جنگل باید به آن توجه نمود. از آنجایی‌که تغییرات اقلیمی یکی از عوامل مهم در رشد درختان محسوب می‌شود، انجام چنین مطالعاتی در جهت شناخت تغییرات آتی توده‌های جنگلی تحت تأثیر این پدیده و کاربرد آن در مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل و پرورش آن بسیار راهگشا خواهد بود.

References

Askarizadeh, D., Arzani, H., Jaffari, M., Bazrafshan, J., & Prentice., I.C. (2018). Surveying of the past, present and future of vegetation changes in the central Alborz ranges in relation to climate change. *RS & GIS for Natural Resources,* 9(3), 1-18.

Balapour, S., & Kazemi, S.M. (2012). Effects of climate variables (temperature and precipitation) on annual growth of Zelkova carpinifolia. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research,* 27(1), 69-80 (In Persian).

Bayat, M., Burkhart, H., Namiranian, M., Hamidi, S.K., Heidari, S., & Hassani, M. (2021). Assessing Biotic and Abiotic Effects on Biodiversity Index Using Machine Learning. *Forests,* 12, 461.

Chu, J.T., Xia, J., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios In Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology,* 99, 149-161.

Etzold, S., Zieminska, K., Rohner, B., Bottero, A., Bose, A. K., Ruehr, N. K., Zingg, A., & Rigling, A. (2019). One century of forest monitoring data in Switzerland reveals species- and site-specific trends of climate-induced tree mortality. Front. *Plant Science,* 10, 307.

Fan, C., Tan, L., Zhang, P., Liang, J., Zhang, C., Wang, J., Zhao, X. & Gadow, K. (2017). Determinants of mortality in a mixed broad-leaved Korean pine forest in northeastern China. *European Journal Forest Research,* 136, 457-469.

Fiseha, B. M., Melesse, A. M., Romano, E., Volpi, E., & Fiori, A. (2012). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy. *International Journal of Water Sciences,* 1(17), 1-14.

Froese, R. E. & Robinson, A. P. (2007). A validation and evaluation of the Prognosis individual-tree basal area increment model. *Can. J. For. Res.* 37, 1438-1449.

Juneja, A., Ceballo, R. M., & Murthy, G. S. (2013). Effects of Environmental Factors and Nutrient Availability on the Biochemical Composition of Algae for Biofuels Production: A Review. *Energies,* 6(9), 4607-4638. https://doi.org/10.3390/en6094607.

Hai, F. Z., Xue, M. S., Zhi, Y. Y., Peng, X., Yan, X. & Hua, T. (2011). August temperature variability in the southeastern Tibetan Plateau since A.D.1385 inferred from tree rings. *PALAEO,* 5, 703.

Hahn, J.T. (1984). Tree Volume and Biomass Equations for the Lake States. Research Paper NC-250, USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN.

Hamidi, S.K., Fallah, A., Bayat, M., & Hosseini yekani, S. A. (2017). Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots (Case Study: Farim Forest, Jojadeh District). *Ecology of Iranian Forest,* 4(8),1-8 (In Persian).

Hamidi, K., Fallah, A., Bayat, M. & Hosseini yekani, S. A. (2019). Investigating the diameter and height models of beech trees in uneven age forest of northern Iran (Case study: Forest Farim), *Iranian Forest Ecology,* 3(11), 373-386 (In Persian).

Hamidi, K., Zenner, E., Bayat M., & Fallah, A. (2021). Analysis of Plot-level Volume Increment Models Developed from Machine Learning Methods Applied to an Uneven-aged Mixed Forest. *Annals of forest science.* 78, 4 https://doi.org/10.1007/s13595-020-01011-6

Hamidi, S. K., Weiskittel, A., Bayat, M., & Fallah. A. (2021). Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran. *European Journal of Forest Research,* https://doi.org/ 10.30466/JFRD.2020.120877

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) https://doi.org/10.1007/s10342-020-01340-1

Hamidi, S. K., de Luis, M., Bourque, C. P. A., Bayat, M., & Serrano-Notivoli, R. (2023). Projected biodiversity in the Hyrcanian Mountain Forest of Iran: An investigation based on two climate scenarios. *Biodiversity and Conservation,* 32(12), 3791-3808.

IPCC. (2007). The Physical Science Basis. Contribution of I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]

IPCC. (2019). Summary for policymakers. In: Abe-Ouchi, A., Gupta, K., Pereira, J. (Eds.), IPCC Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities.

Karamzadeh, S., Pourbabaii, H., & Torkman, J. (2012). Dendroclimatology of Quercus castaneifolia (C.A.Mey) in Saravan forests of Guilan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research,* 19(1), 15-26 (In Persian).

Liang, E., Xuemei, S., & Ningsheng, Q. (2007). Tree - ring based summer temperature reconstruction for the source region of the Yangtze River on the Tibetan Plateau. *Global and Planetary Change,* (16), 313-320.

Liu, J., Yang, B., & Qin, C. (2011). Tree-ring based annual precipitation reconstruction since AD 1480 in south central Tibet. *Quaternary International,* 236(1-2), 75-81.

Mathys, A.S., Brang, P., Stillhard, J., Bugmann, H., & Hobi, M. L. (2021). Long-term tree species population dynamics in Swiss forest reserves influenced by forest structure and climate. *Forest Ecology and Management,* 481, 118666.

Mathys, A.S., Coops, N.C., Simard, S.W., Waring R.H., & Aitken, S.N. (2018). Diverging distribution of seedlings and mature trees reflects recent climate change in British Columbia. *Ecol. Model,* 384, 145-153.

Pokharel, B. (2008). A critical evaluation of diameter increment modelling in the Great Lakes region. Ph.D. Dissertation, School of Forest Resources and Environmental Science, Michigan Technological University, Houghton, MI, 148 pp.

Pokharel, B., & Froese. R.E. (2009). Representing site productivity in the basal area increment model for FVS-Ontario. *Forest Ecology and Management,* 258, 666-675.

Portahmasi, K., Parsapazhoh, D., Mohajer, M., & Sodabeh, A. (2009). Evaluation of Radial Growth of Juniperus Polycarpos C.Koch in Three Areas of Iran Using Tree Chronology, *Journal of Forest and Poplar Researches Iran,* 16(2), 327-342 (In Persian).

Richard, G. N. & Stavins. R. N. (2006). Climate changes and forest sinks: Factors affecting the costs of carbon sequestration, *Journal of Environmental Economics and Management,* 40, 122-151.

Sharma, M., & Parton, J. (2007). Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *For. Ecol. Manage,* 249, 187-198.

Tabari, M., Espahbodi, K., & Pourmajidian. M. R. (2007). Composition and structure of a Fagus orientalis-dominated forest managed with shelter wood aim: a case study in the Caspian forests, northern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 5, 35-40 (In Persian).

Vahedi, A. A., Fallah, A., Akhavan, R., Nazariani, N., Khatibnia, E., & Hamidi, S. K. (2024). Spatial Analyses for Fine Woody Debris Volume Stock in the Hyrcanian Research Forest of Kheyrood-Kenar. *Ecology of Iranian Forest,* 12(1), 73-87 (In Persian). doi:10.61186/ifej.12.1.73

Vargas-Larreta, B., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Barrio-Anta, M., & Cruz-Cobos, F. (2009). A generalized height-diameter model with random coefficients for uneven-aged stands in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry,* 82, 445-462.

Wykoff, W. R. (1986). Supplement to the user's guide for the stand Prognosis model: Version 5.0. General Technical Report INT-208, USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT 36 pp.

Wykoff, W. R. (1990). A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *For. Sci,* 36, 1077-1104.

Yagi, A., & Primicerio, M. (2014). A modified forest kinematic model. *Vietnam Journal of Mathematical Applications,* 12, 107- 118.

Yang, R. C., Monserud, R. A. and Huang, S. (2004). An evaluation of diagnostic tests and their roles in validating forest biometric models. *Canadian Journal of Forest Research,* 34, 619-629.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-07-27]

[DOI: 10.61186/ifej.12.2.1]