

کاربرد مدل‌های گپ در پیش‌بینی رویش سطح مقطع درختان گونه‌های تجاری جنگل‌های هیرکانی با احتساب شرایط اقلیمی (بررسی موردی: بخش گرازبن جنگل آموزشی - پژوهشی خیرود)

شیرین ورکوهی^{۱*}، منوچهر نمیرانیان^۲، پدram عطارد^۳ و محمود امید^۴

- ۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (Shirin.varkuhi@gmail.com)
- ۲- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (Mnamiri@ut.ac.ir)
- ۳- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (Attarod@ut.ac.ir)
- ۴- استاد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (Omid @ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۵

چکیده

بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌های حاصل از مدل‌های اقلیمی جهانی نشان می‌دهند که الگوهای دما و بارندگی در ۵۰ الی ۱۰۰ سال آینده، متحمل تغییراتی خواهند شد که به نوبه خود می‌توانند الگوهای رویشی توده‌های جنگلی را تحت تأثیر قرار دهند. به دلیل عدم توانایی مدل‌های موجود در شبیه‌سازی توده‌های جنگلی تحت تأثیر تغییر اقلیم، مدل هیبرید JABOWA-4 برای کشف پویایی آینده تحت سناریوهای اقلیمی مختلف، و همچنین به دلیل عدم قطعیت روند تغییر اقلیم در آینده، سه سناریوی اقلیمی به منظور کشف توسعه جهانی تحت تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در این پژوهش استفاده شدند. پس از مقایسه نتایج شبیه‌سازی و ارزش‌های واقعی رویش قطری، R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۸ و $1/734$ (cm^2) محاسبه شد، که نشان‌گر همبستگی بالای دو ارزش است. پاسخ گونه‌ها به تغییر اقلیم جداگانه ارزیابی شد که راش و افرا با کاهش ۳۱ و ۲۵ درصدی رویش قطری، رابطه منفی قوی به تغییر اقلیم از خود نشان دادند. گونه بلوط ابتدا روندی افزایشی، سپس کاهش ۱۷ درصدی پیش گرفته و ممرز روندی افزایشی با مقدار کمتر از رویش واقعی را به تصویر کشید. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های گپ عملکرد به نسبت خوبی در فراهم آوردن پیش‌بینی‌های محصول جنگل تحت تأثیر تغییر اقلیم از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های رشد و محصول، شبیه‌سازی.

مقدمه

شبیه‌سازی ترکیب گونه‌های جنگلی، اندازه درخت و ساختار توده تحت سناریوهای اقلیمی پیش‌بینی‌شده در سطح منطقه‌ای هستند (Reynolds et al., 2001) و به-عنوان یک نتیجه در حد وسیعی برای بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر جنگل‌ها استفاده شده‌اند (Ehman et al., 2002; Ashraf et al., 2015).

مدل JABOWA-4 به‌عنوان یک نسخه اصلاح-شده از اولین مدل‌های گپ توسعه‌یافته برای اکوسیستم هابوردبروک در نیوهمشایر آمریکا، یک مدل پویایی جمعیت است، که رشد درخت، زادآوری و مرگ‌ومیر را برای یک قطعه‌نمونه کوچک (۱۰×۱۰ متر) با در نظر گرفتن رقابت بین‌درختی و متغیرهای فیزیکی دیگر همچون نور، درجه روزانه رشد و ویژگی‌های خاک، شبیه‌سازی می‌کند (Botkin, 1993; Kimmins, 1990; Ashraf et al., 2015). این مدل پاسخ جنگل به-سناریوهای اقلیمی مختلف را به‌تصویر می‌کشد، بنابراین امکان پیش‌بینی محصول آینده جنگل و کشف راهکارهای مدیریتی قبل از صرف زمان و هزینه در واقعیت را فراهم می‌کند (Vanclay, 1994). در طول دو دهه گذشته در پژوهش‌های زیادی پاسخ گونه‌های درختی به اقلیم پیش‌بینی‌شده، مدل‌سازی شده است. (Battles et al., 2008) در پژوهشی اثرهای تغییر اقلیم بر سلامت جنگل‌های سوزنی‌برگ آمیخته در کالیفرنیا را با استفاده از مدل Cactos-clim مورد بررسی قرار دادند. همچنین (Battles et al., 2009) در پژوهشی دیگر به-منظور بررسی پاسخ اکوسیستم‌های جنگلی به اثرهای تغییر اقلیم، مدل Ws-Calclim0.1 را طراحی کردند. (Ashraf et al., 2015) در بررسی جنگل‌های منطقه Nova Scotia در کانادا، با استفاده از نسخه سوم مدل JABOWA به‌ترتیب اثرهای تغییر اقلیم بر درختان تجاری را کمی‌سازی و پویایی جنگل‌ها را پیش‌بینی کردند. همچنین در پژوهش‌های انجام‌شده در ایران می-

تغییر اقلیم که عامل اصلی آن انتشار افزایشی گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی است، به موضوع نگران‌کننده‌ای در قرن بیست‌یک تبدیل شده است. براساس پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیمی جهانی (GCM) تغییرات اقلیمی معنی‌داری در اواخر قرن اخیر رخ خواهد داد (IPCC, 2007). براساس ارتباط نزدیک اقلیم و پوشش گیاهی، تغییر مرزهای وسیع پوشش گیاهی اغلب دنباله‌رو متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و رطوبت هستند (Stephenson, 1990). انتشار افزایشی گازهای گلخانه‌ای به‌نوبه خود اثر گلخانه‌ای را تشدید کرده و عوامل دما و بارندگی را که به‌صورت مستقیم بر رشد درختان اثرگذارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (et al., 2001; Reynolds).

مدل‌های رشد و محصول که امروزه در پیشگویی پویایی آینده جنگل به‌شکل وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ماهیت تجربی دارند، که براساس تعداد زیادی از داده‌های تاریخی محلی توسعه یافته‌اند و اطلاعاتی صحیح در سطح رویشگاه تولید می‌کنند (Yaussy, 2000; Monserud, 2003; Landsberg, 2003; Sun et al., 2007; Ashraf et al., 2015). اما برخلاف همه این نکات مثبت، این مدل‌ها شرایط محیط‌زیستی را ثابت در نظر می‌گیرند و در صورت بروز تغییر در محیط‌زیست رشد درخت، همچون تغییرات اقلیمی، محدودیت از خود نشان می‌دهند (et al., 2006; Kimmins, 1990). ارزیابی اثرهای اکولوژیکی مربوط به تغییر اقلیم در آینده، اغلب براساس پیشگویی‌های مدل‌های رایانه‌ای از پاسخ اکوسیستم جنگل به تغییرات محیط-زیستی انجام می‌شود (Botkin, 1993). مدل‌های گپ نمونه‌ای از شبیه‌سازی‌های پویایی جنگل هستند، که اثرهای شرایط محیط‌زیستی را بر رویش تک‌درختان در نظر می‌گیرند. این مدل‌ها ابزارهای سودمندی برای

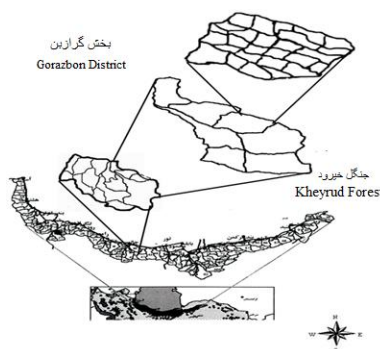
JABOWA-4 مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش به‌نوبه خود برای اولین بار در جنگل‌های ناهمسال هیرکانی، کاربرد مدل‌های گپ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش

موقعیت و وسعت محدوده مورد بررسی

مجموعه جنگل پژوهشی دانشکده واقع در شیب‌های جنوبی رشته‌کوه البرز و در هفت کیلومتری شهرستان نوشهر در کنار روستای نجارده قرار دارد. حدود ارتفاعی منطقه از صفر تا ۲۲۰۰ متر متغیر و متوسط دمای ۸/۵۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالانه ۱۵۳۲/۳۵ است (Gorazbon Forestry Plan, 2006). بخش گرازین با مساحتی حدود ۹۳۴/۲۴ هکتار، به‌عنوان سومین بخش با حدود ارتفاعی ۵۵۰ الی ۱۳۸۰ متر بالاتر از سطح دریا، به‌عنوان منطقه مورد بررسی انتخاب شد. ترکیب گونه‌ای این منطقه را گونه‌های راش، ممرز، شیردار، انجیلی، افرا، توسکا و بلوط تشکیل داده‌اند که در بین آن‌ها بیشترین تعداد درخت موجود مربوط به گونه‌های راش و ممرز است.

توان به (Fallah and Heydari 2018) در استان ایلام اشاره کرد، که با استفاده از مت‌سال‌سنج رویش قطری درختان تحت تأثیر تغییر اقلیم را مورد بررسی قرار دادند. با وجود افزایش سطح بررسی‌ها در زمینه پیش‌بینی‌های اقلیمی، اثرهای بالقوه تغییر اقلیم در جنگل‌های هیرکانی تا به‌امروز در سطح کمی در ارتباط با تغییرات سطوح رویشگاهی گونه‌های خاص مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Taleshi et al., 2019) و با توجه به اهمیت بالای این اکوسیستم‌ها از نظر صنعتی و تولید چوب، این مهم است که کشف شود چگونه تغییر اقلیم می‌تواند بر جنگل‌ها و رویش آن‌ها اثر کند. براساس تغییرات پیش‌بینی‌شده مشخصه‌های اقلیمی تا پایان این قرن، انتظار می‌رود تغییراتی در مقدار رویش و درصد حضور درختان در عرصه مشاهده شود. از این‌رو یک نیاز ضروری به توسعه مدل‌های ساده و کاربردی رشد و محصول که به‌سادگی برای مدیران جنگل قابل استفاده بوده و بتواند پویایی آینده جنگل تحت یک اقلیم متغیر را پیش‌بینی کند، وجود دارد. در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر مقدار رویش درختان با استفاده از مدل گپ



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure 1. Location of case study

۲۰۰*۱۵۰ متر به‌صورت منظم تصادفی (سیستماتیک) در عرصه پیاده شده بودند، در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ آماربرداری شدند. فرآیند آماربرداری شامل

جمع‌آوری اطلاعات زمینی

برای جمع‌آوری اطلاعات میدانی، تعداد ۲۵۸ قطعه نمونه دائم ۱۰ آری که با شبکه آماربرداری مستطیلی، به‌ابعاد

در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل اقلیمی جهانی CanESM2، از مدل SDSM استفاده شد (Chaumont, 2014). عملکرد و ساختار مدل SDSM در چهار مرحله انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به نام متغیر مستقل، واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آبی خلاصه می‌شود (Wilby et al., 2014). برای اجرای این مدل سه نوع داده به‌عنوان فایل‌های ورودی مورد نیاز است: دسته‌ی اول داده‌های مشاهداتی (دما و بارش) که از سازمان هواشناسی اخذ شده است و دسته دوم، داده‌های NCEP، که شامل داده‌های روزانه ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده است و دسته سوم داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو هستند. همچنین شایان ذکر است به‌منظور کالیبره کردن مدل SDSM، داده‌های مشاهداتی و NCEP برای دو دوره ۱۹۷۷-۱۹۹۱ و ۱۹۹۲-۲۰۰۶ به ترتیب مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفتند و در مجموع این محدوده زمانی به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد. در این پژوهش پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌های مشاهداتی، تهیه داده‌های NCEP و داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای جدید سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5، مدل SDSM اجرا شد.

برای تعیین دقت مدل JABOWA-4 در شبیه‌سازی، اقلیم امروزی را به‌صورت تکرارهای سی‌ساله در این مدل جای‌گذاری کرده و پس از اجرا، نتایج چهارده ساله با اطلاعات حاصل از آماربرداری در بازه ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۷ با استفاده از آزمون t جفتی مقایسه شدند (جدول ۱). در JABOWA-4 بعد از کالیبراسیون و آماده‌سازی مدل (Botkin, 1993)، زمانی که همه شرایط مورد نیاز درخت برای رویش فراهم باشد، رویش تک‌درخت براساس رابطه اساسی رشد (رابطه ۱) ارائه می‌شود.

رابطه (۱)

اندازه‌گیری ویژگی‌های رایج قطعات نمونه همچون قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع قطورترین درخت در قطعه - نمونه و نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه نمونه و تعیین وضعیت زادآوری بود. در بررسی‌های انجام‌شده تا به - امروز به ازای هر یک از اقلیم‌های متنوعی که در عرصه مشاهده شود، یک واحد اقلیمی انتخاب و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Ashraf et al., 2015). از آنجا که مدل JABOWA-4 پویایی را برای یک سطح کوچک جنگلی پیش‌بینی می‌کند و در سطح منطقه مورد بررسی اقلیم - های متنوعی وجود ندارد، از این رو در این پژوهش نیز تنها یک قطعه نمونه (۱۰×۱۰ متر) به‌منظور ارائه شرایط رویشگاه و توده به‌عنوان واحد اقلیمی در نظر گرفته شد. در فرآیند انتخاب واحد اقلیمی، ترجیح بر انتخاب قطعات نمونه‌ای شامل گونه‌های هدف تجاری (راش، ممرز، افرا، بلوط)، با فاصله نزدیک به ایستگاه‌های هواشناسی و ثبت‌های آب و هوایی حداقل سی‌ساله بود. در نهایت پس از فرآیند انتخاب، قطعه نمونه مذکور توسط JABOWA-4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

اطلاعات هواشناسی

در این پژوهش برای بررسی روند اثرهای تغییر اقلیم بر مقدار رویش درختان، از داده‌های بارش و دمای میانگین ماهانه برای یک دوره سی‌ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷)، ایستگاه سینوپتیک شهرستان نوشهر با ارتفاع ۲۰/۹- متر و به - ترتیب طول و عرض جغرافیایی ۳۰-۵۱ E و ۳۹-۳۶ N استفاده شد. همچنین برای شبیه‌سازی اقلیمی آینده، داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل اقلیمی جهانی CanESM2 که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوای کانادا (CCCMA)، زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است، حاصل از پنجمین دوره ارزیابی IPCC (AR5)، استخراج شدند.

روند انجام کار

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

میانگین مربعات خطای نرمال شده:

$$NMSE = \frac{MSE}{V} \quad \text{رابطه (۴)}$$

ضریب همبستگی:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})(\hat{q}_i - \bar{\hat{q}})]^2}{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{q}_i - \bar{\hat{q}})^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

نتایج

با بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، دو عنصر میانگین دمای روزانه و بارش ایستگاه مورد بررسی، از میان ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده NCEP با چهار متغیر همبستگی قوی و بالا داشتند (جدول ۱).

براساس نتایج حاصل از مقایسه داده‌های دمای روزانه و بارش مشاهداتی با داده‌های مدل‌سازی شده برای دوره پایه (۲۰۰۵ - ۱۹۷۷)، صرف‌نظر از اختلاف بسیار جزئی که مشاهده شد، ارزش‌ها کاملاً برهم منطبق هستند (شکل ۲ و ۳) که این امر مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی داده‌های دو مشخصه دمای روزانه و بارش در سال‌های آتی را نشان می‌دهد. علاوه بر صحت‌سنجی که در خود مدل انجام شد، برای اطمینان از عملکرد و دقت مدل در برآورد مقادیر دما و بارش، از آماره‌هایی مانند ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، NRMSE و میانگین خطای مطلق (MAE) برای بررسی مقدار خطای مدل استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر خطا بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، برای ایستگاه مورد بررسی، بسیار کم و حتی به صفر (عدم وجود خطا) می‌رسد. که این امر خود نشان‌گر توانایی و دقت بالای مدل، برای برآورد متغیرهای مورد نظر است.

$$\delta(D^2H) = R * LA \left(\frac{DH}{D_{\max(i)} H_{\max(i)}} \right) * f(environment)$$

که در این رابطه، D: قطر در ارتفاع برابر سینه درخت، H: ارتفاع درخت، LA: سطح برگ درخت، $D_{\max(i)}$ و $H_{\max(i)}$: به ترتیب حداکثر قطر و ارتفاع شناخته شده از درختان یک گونه، R: یک ثابت و f تابعی از محدودکننده‌های محیط‌زیستی است. در رابطه ۱ کسر $\frac{DH}{D_{\max(i)} H_{\max(i)}}$ نشانگر بیشترین محدوده از اندازه یک درخت است، که فرض می‌کند درختان نمی‌توانند از حداکثر قطر و ارتفاع شناخته شده، تجاوز کنند.

یکی از شاخص‌های دمایی مهم مؤثر در رشد درختان، درجه روزانه رشد است. GDD یک شاخص تراکمی حرارت براساس یک آستانه دمایی است که در اینجا، بر ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ درجه فارنهایت) تنظیم شده است، که در دمای پایین‌تر از آن رشد گیاه متوقف می‌شود و با فرض سینوسی بودن، از طریق متوسط دمای ژانویه و جولای تخمین زده می‌شود (Botkin, 1993).

رابطه (۲)

$$DEGD = \frac{365}{2\pi} (T_{july} - T_{jan}) - \frac{365}{\pi} \left[50 - \frac{T_{july} + T_{jan}}{2} \right] + \frac{365}{\pi} \left\{ \frac{[50 - (T_{july} + T_{jan})/2]^2}{(T_{july} - T_{jan})} \right\}$$

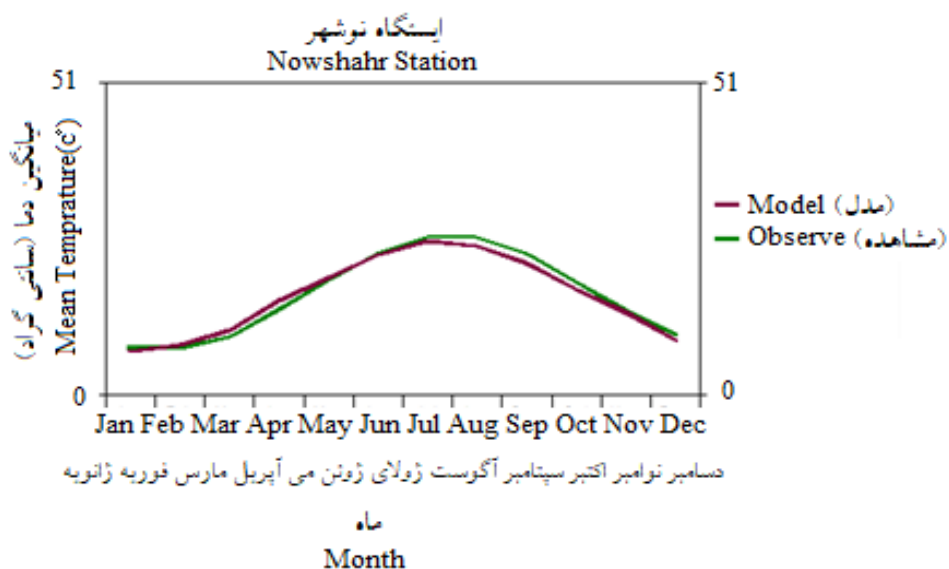
پس از تهیه فایل اقلیم و فایل متغیرها، با مقداردهی اولیه داده‌های سال ۲۰۰۳، JABOWA-4، کالیبره شد. مدل ۵۰ بار برای کاهش اثر وراثت (ذات) تصادفی مدل اجرا، و پویایی قطر و ارتفاع تک‌درختان در ۹۰ سال آینده به‌وسیله خروجی JABOWA-4 تحت سه سناریوی تغییر اقلیم استخراج شد (Botkin, 1993). آماره‌های ارزیابی دقت و صحت مدل‌ها به شرح زیر است.

خطای جذر میانگین مربعات:

جدول ۱- پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب میانگین دمای روزانه و بارش

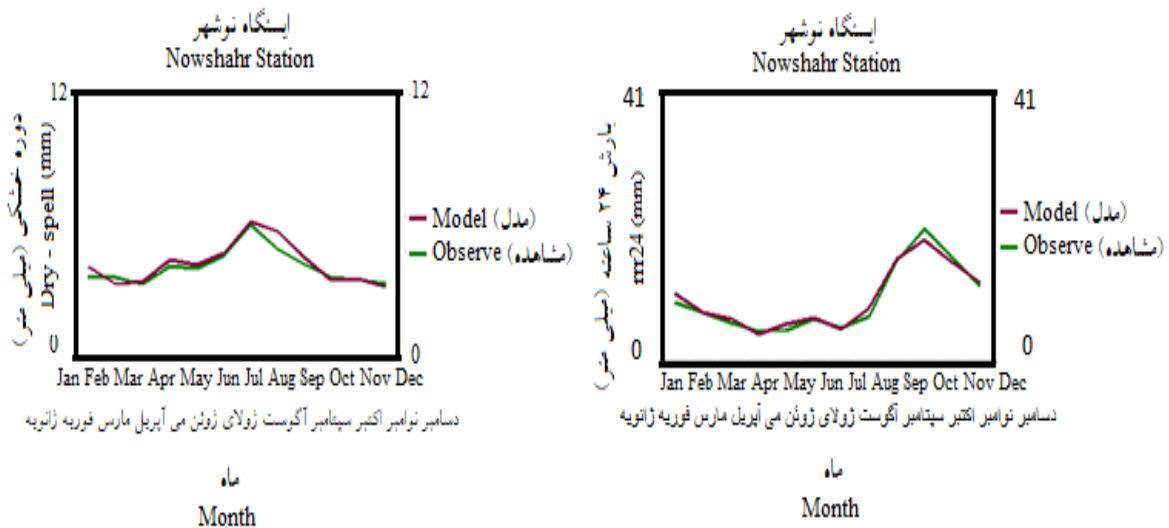
Table 1. Selected Predictors of mean daily Temperature and Precipitation

پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب Selected Predictors	متغیر NCEP NCEP variable	متغیر Variable
ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hp Geopotential height 500 hp level	ncepp500gl.dat	
باد مداری تراز ۸۵۰ hp Orbital with level 850 hp	ncepp8_ugl.dat	دما
رطوبت ویژه تراز ۵۰۰ hp Specific humidity 850hPa	nceps850gl.dat	Temperature
میانگین دمای تراز ۲ متر Screen air temperature (2m)	nceptempgl.dat	
میانگین فشار سطح دریا Mean sea level pressure	ncepmslpgl.dat	
باد نصف النهاری Meridional velocity	ncepp1_vgl.dat	بارش
ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ hp Geopotential height 850 hp level	ncepp850gl.dat	Precipitation
رطوبت ویژه تراز ۵۰۰ hp Specific humidity 500 hPa	nceps500gl.dat	



شکل ۲- مقایسه دمای روزانه مشاهداتی و مدل‌سازی شده برای دوره پایه (۱۹۷۷-۲۰۰۵)

Figure 2. Comparison of observed and modeled temperatures for the base period (1977-2005)

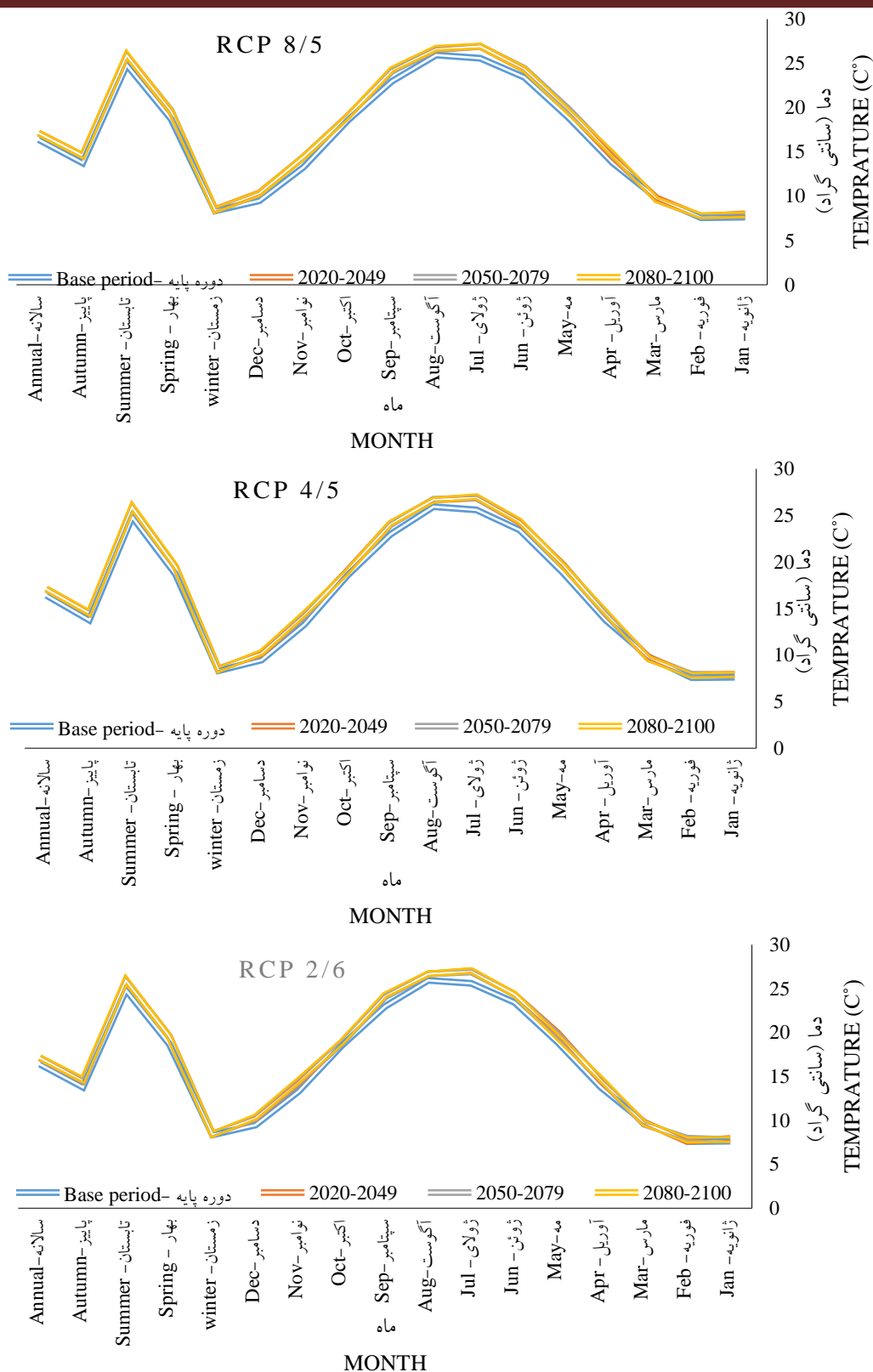


شکل ۳- مقایسه بارش مشاهداتی و مدل سازی شده برای دوره پایه (۱۹۷۷-۲۰۰۵)

Figure 3. Comparison of observed and modeled precipitation for the base period (1977-2005)

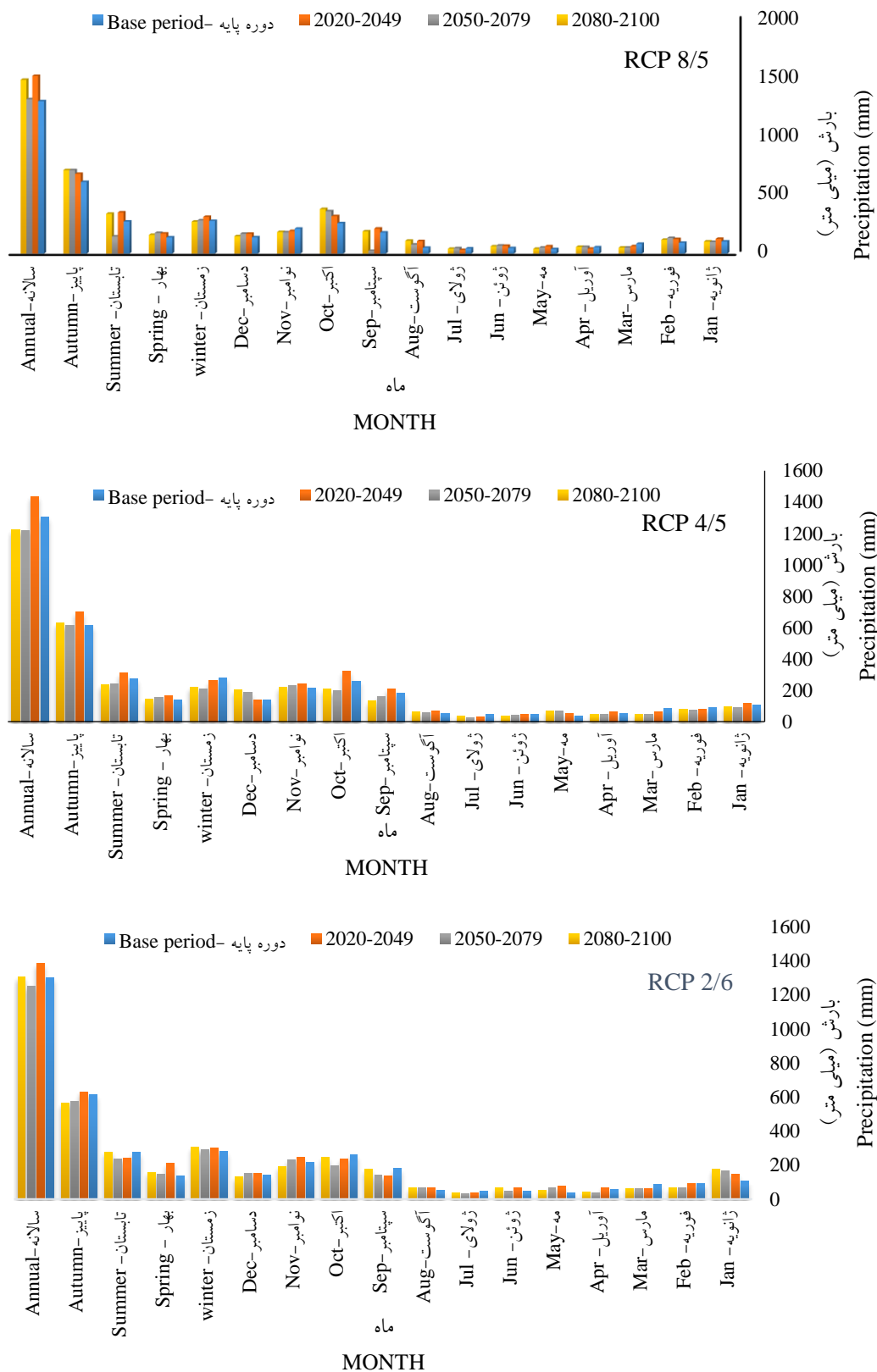
در ۲ سناریوی RCP 4.5 و RCP 2.6 برای دوره اول افزایش و برای دو دوره دیگر کاهش بارش پیش‌بینی شده است. با توجه به اینکه عمده بارندگی در شمال کشور، در فصل پاییز رخ می‌دهد، مشاهده می‌شود که تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 افزایش بارش در این فصل رخ می‌دهد، ولی سناریوی RCP 2.6 در بازه ۲۰۵۰ الی ۲۱۰۰ کاهش را نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی شاخص‌های اقلیمی ایستگاه نوشهر از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۱۰۰ شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج حاصل از ریزمقیاس-نمایی سناریوهای اقلیمی برای تغییرات دما و بارندگی سه دوره زمانی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. به‌طور کلی میانگین دمای ایستگاه نوشهر در کلیه ماه‌ها در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت که در هر سه دوره این افزایش دما تقریباً برابر است. دما در فصول تابستان، بهار و پاییز افزایش محسوسی دارد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در سناریوی RCP 8.5 برای هر سه دوره مورد بررسی افزایش بارش مورد انتظار است.



شکل ۴- ریزمقیاس نمایی میانگین دمای ماهانه (درجه سلسیوس) برای سه سناریوی تغییر اقلیم

Figure 4. Downscaling of Mean Month Temperature for Three Climate change Scenarios



شکل ۵- ریزمقیاس نمایی مجموع بارش ماهانه (میلی‌متر) برای سه سناریوی تغییر اقلیم

Figure 5. Downscaling of Total Monthly Precipitation for Three Climate change Scenarios

نتایج حاصل از آماربرداری ۳ دوره ۲۰۰۳، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۷ در جدول ذیل ارائه شده است.

جدول ۲- درصد حضور گونه‌ها در بخش گرازبن

Table 2. Species Presence in Gorazbon District

افرا <i>Acer</i>			بلوط <i>Quercus Castaneifolia</i>			ممرز <i>Carpinus betulus</i>			راش <i>Fagus orientalis</i>			گونه Speies
2017	2011	2003	2017	2011	2003	2017	2011	2003	2017	2011	2003	دوره Period
7.49	5.29	6.1	5	4.4	4.9	51.23	47.29	49.55	40.47	37.19	33	درصد حضور Percent of presence
39.97	34.47	31.66	29.85	25.08	21.98	28.29	25.56	23.56	50.26	48.02	45	قطر متوسط Average DBH

عنوان کمیت هدف (مشاهدات) در ساخت و اعتبارسنجی زیرمدل رویش قطر به عنوان رویش سطح-مقطع (سانتی مترمربع در پنج سال) مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل JABOWA-4 پس از اجرای مدل، JABOWA-4 سطح مقطع تک-درختان متعلق به گونه‌های مختلف را به عنوان تابعی از زمان پیش‌بینی کرد. نتایج آماربرداری‌های پیشین به-

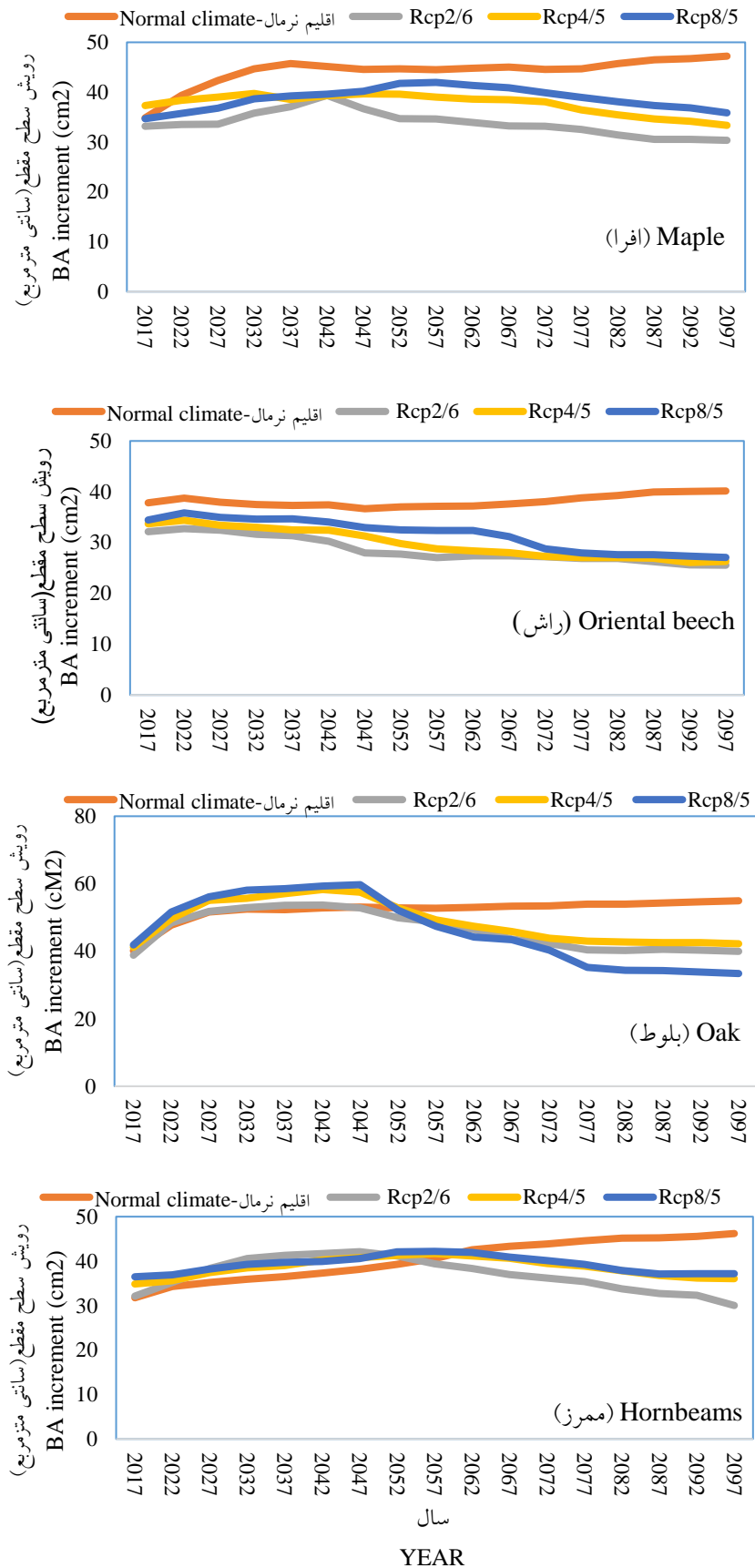
جدول ۳- نتایج آزمون t جفتی

Table 3. Paired sample t test

درجه آزادی df	t	انحراف معیار Std. Deviation	اشتباه معیار Std. Error Mean	سطح اطمینان Sig
12	-1.787	1.5875	0.4431	0.085

پیش‌بینی رویش سطح مقطع نتایج حاصل از پیش‌بینی رویش سطح مقطع برای اقلیم امروزی و سه سناریوی تغییر اقلیم برای دو گونه راش و ممرز در شکل ۶ به تصویر کشیده شده است.

براساس نتایج حاصل از آزمون t، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده در بازه زمانی ۱۴ ساله مشاهده نمی‌شود و مقادیر خطای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) به ترتیب ۱/۷۳۴ و ۰/۹۸ محاسبه شد.



شکل ۶- پیش‌بینی ۹۰ ساله رویش سطح مقطع (سانتی‌متر مربع در سال)

Figure 6. BA increment Projection for 90 years (cm²/ year)

براساس نتایج حاصل از پیش‌بینی رویش سطح-مقطع مرتبط با سناریوهای تغییر اقلیم، در همه گونه‌ها بیشینه تفاوت در سال‌های آخر توالی مشاهده می‌شود. سطح مقطع گونه‌های راش و افرا بدون در نظر گرفتن نوع سناریو، از خود کاهش بارز (به ترتیب ۳۱ و ۲۵ درصد) به‌خصوص در بازه زمانی ۲۰۷۰ الی ۲۰۹۹ نشان دادند. در مقابل گونه‌های ممرز و بلوط در نیمه اول شبیه‌سازی افزایش اندکی در سطح مقطع و در نیمه دوم روندی کاهش (به ترتیب ۲۰ و ۱۷ درصد) از خود نشان دادند که برای ممرز و بلوط به ترتیب در سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 مقدار اختلاف بیشتر بود.

بحث

رقابت، توالی و تغییرات ترکیب گونه‌ها به‌عنوان تابعی از زمان و اقلیم با موفقیت به‌وسیله مدل به‌تصویر کشیده شد (شکل ۶). همانطور که ذکر کردیم، هدف از این پژوهش ارزیابی امکان‌پذیری استفاده از JABOWA-4 برای پیش‌بینی رویش سطح مقطع در یک دوره زمانی است. پس از فرآیند شبیه‌سازی، مقایسه ارزش‌های سطح مقطع مشاهده شده و پیش‌بینی شده R^2 ، RMSE را به ترتیب ۰/۹۸ و ۱/۷۳۴ (سانتی متر مربع) نشان داد، که همبستگی خوبی بین ارزش‌های متناظر از خود نشان می‌دهد. در پژوهش Ashraf et al. (2015)، پس از آزمون رگرسیون خطی تفاوت معنی‌داری بین ارزش‌های واقعی و مدل شده مشاهده نشد و پس از بررسی آماره‌های R^2 ، RMSE و ME، مناسب بودن نرم‌افزار در مدل‌سازی پیش‌بینی‌های رشد و محصول شد. در پژوهشی دیگر در شرق استرالیا با استفاده از مدل JABOWA، شاخص R^2 در پیش‌بینی قطر و ارتفاع به-ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۵۹ محاسبه شد که نشانگر کارایی بالای مدل در پیش‌بینی قطر بود (Botkin, 1993). در پژوهش انجام‌شده به‌وسیله Trasobares et al. (2016)

باقی‌مانده‌های مدل رویش قطر و ارتفاع زمانی که به-عنوان یک تابع از پیش‌بینی‌کننده و یا رشد پیش‌بینی شده نشان داده می‌شود، روند خاصی را نشان نمی‌دهد و مقدار RMSE مطلق و نسبی برای رویش قطر به ترتیب ۰/۶۸ و ۵۰/۸ درصد و برای رویش ارتفاع، ۰/۷۱ و ۵۹/۶ درصد محاسبه شد. نتایج حاصل از این پژوهش، از نظر دقت مدل در پیش‌بینی رویش قطری مشابه با نتایج پژوهش‌های ذکر شده بود. اما در پژوهش‌های دیگری همچون پژوهش Lee and Giuldig (2002)، بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده تفاوتی معنی‌دار مشاهده شد و در بررسی انجام شده به‌وسیله Ringval and Kruys (2005)، ضرورت اصلاح مدل‌های موجود مطرح شد. در کل براساس مقایسه اطلاعات میدانی موجود برای شبیه‌سازی، در بعضی موارد پیش‌بینی خیلی خوب و دقیق است اما در برخی درختان که در مرحله دیرزیستی هستند و در ساختار آن‌ها پوسیدگی وجود دارد و یا توده‌های پر از زادآوری، بین ارزش‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده تفاوت مشاهده می‌شود. یکی از عوامل مؤثر در صحت پیش‌بینی مدل‌ها، ارزش‌های شبیه‌سازی‌شده برای Ingrowth هستند. به عبارتی در نرم‌افزار مقدار Ingrowth از ابتدای رویش به‌عنوان رویش قطری شبیه‌سازی می‌شود ولی در دنیای واقعی تا زمانی که زادآوری به طبقه‌های قطری قابل اندازه‌گیری تبدیل نشود، در محاسبات رویش وارد نخواهد شد، در نتیجه می‌تواند عامل بروز تفاوت بین ارزش‌های مورد بررسی شود (Weiskittel et al., 2011).

برای شبیه‌سازی پویایی جنگل تحت تأثیر اقلیم امروز و سناریوهای اقلیمی آینده بر اساس شرایط رویشی توده با استفاده از مدل JABOWA-4، نمودار رویش سطح مقطع برای گونه‌های مورد بررسی تهیه شد. براساس نتایج، گونه راش نسبت به گونه‌های دیگر تا پایان قرن ۲۱، کاهش بیشتری تقریباً معادل ۳۱ درصد از

های گونه راش در شرایط قطعیت و عدم قطعیت حاصل از تغییر اقلیم، مساحت رویشگاه‌های راش مورد بررسی قرار گرفت، که براساس نتایج کاهش چشم‌گیری در مساحت مشاهده خواهد شد و تا سال ۲۰۷۰ ارتفاع رویشگاه‌های راش از ۱۳۷۸ متر به ۱۶۷۹ متر در RCP2.6 و ۱۹۴۳ متر در RCP 8.5 افزایش خواهد یافت. به عبارتی راش تحت تأثیر گرمای بیش از حد بخش‌های وسیعی از رویشگاه‌های خود را از دست خواهد داد. در پژوهش Charles et al. (2010)، افزایش درجه روزانه رشد و به دنبال آن آفتاب‌سوختگی، در کانادا می‌تواند عامل کاهش ۱۴ درصدی رویش گونه راش باشد. Engler et al. (2011)، در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاهش محدوده پراکنش گونه‌ها از ویژگی‌های مهم اکوسیستم‌های کوهستانی است. زیرا در ارتفاعات، فضاهای کوچکی برای انتقال گونه‌ها به مناطق مرتفع‌تر وجود دارد و چون جنگل‌های هیرکانی هم از این دسته اکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند، تغییر محدوده پراکنش گونه راش قابل توجه است. در پژوهش‌های مختلفی همچون Iverson and Prasad (2002)، Kramer et al. (2010)، اثر تغییر اقلیم بر کاهش رویشگاه‌های مطلوب گونه‌های مختلف جنس راش گزارش شده است. این موضوع ممکن است ناشی از آن باشد که به‌طور کلی در تعیین پراکنش گونه‌های جنس راش اثر اقلیم حرارتی از اثر رطوبت مهم‌تر است (Lechowicz and Fang, 2006) و در نتیجه تغییرات حرارتی می‌تواند به‌شدت بر مطلوبیت رویشگاه این گونه اثر بگذارد. از عوامل مهم اثرگذار بر پیش‌بینی کاهش رویش گونه‌های مورد بررسی می‌توان به تابع مرگ و میر در مدل JABOWA اشاره کرد که به دو روش بر حذف گونه‌ها مؤثر است. مدل با بررسی دیرزیستی گونه‌ها، کسری از درختان را که به سن دیرزیستی خود خواهند رسید، دو درصد در نظر می‌-

خود نشان داد که در سناریوی RCP 2.6 این تفاوت بارزتر بود. دمای بالا و به‌همراه آن پایین‌بودن رطوبت هوا آثار زیان‌بخشی بر درختان به‌خصوص آن‌ها که دارای پوست صاف هستند، همچون گونه راش خواهد داشت، که علت آن آفتاب‌سوختگی نامیده می‌شود و شرایط را برای حمله حشرات و قارچ‌ها نیز فراهم می‌سازد (Mohajer, 2012). از این‌رو انتظار می‌رود رویش گونه راش در ارتفاعات پایین به‌دلیل بالاتر بودن دما و تاحدودی نامساعد شدن شرایط رویش، محدود شود. گونه بلوط در پیش‌بینی مربوط به سری‌های زمانی، ابتدا افزایش و سپس کاهش تقریباً ۱۷ درصدی تا پایان قرن ۲۱ از خود نشان می‌دهد. گونه بلوط به‌علت مقاومت به‌نور و گرمای شدید در مقایسه با گونه راش نسبت به تغییر اقلیم عملکرد بهتری از خود نشان داده است. اما در نیمه زمانی دوم شبیه‌سازی پس از کاهش زیاد مقدار بارندگی در بیشتر سناریوها رویش این گونه نیز به‌دلیل نامساعد شدن شرایط رویشی از خود زوال نشان می‌دهد. گونه ممرز به‌طور کلی نسبت به مقدار رویش اولیه خود روندی افزایشی داشته است اما مقدار این افزایش همواره تا حدود ۲۰ درصد از مقدار رویش واقعی کمتر پیش‌بینی شده است. شایان ذکر است که گونه ممرز نیز همچون بلوط نیاز حرارتی بالاتری نسبت به گونه راش دارد. افزون بر کاهش ۲۵ درصدی در رویش سطح مقطع از خود نشان داده و چون گونه‌هایی هستند با مقاومت پایین نسبت به گرما، این کاهش رویش قابل توجه است. که این نتایج با مشاهدات تاریخی منطقه سازگاری دارد. در پژوهش Ashraf et al. (2015)، پس از به‌کارگیری JABOWA-3، بیشتر گونه‌های ارزیابی شده به‌شکل مثبت به تغییر اقلیم پاسخ داده و سطح مقطع‌شان با بالا رفتن دما، زیاد می‌شود. در پژوهشی مشابه بر جنگل‌های هیرکانی توسط Taleshi et al. (2019)، برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه-

توانایی خوب مدل در پیش‌بینی صحت است. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی بلندمدت رویش سطح مقطع گونه‌های مورد بررسی، حاکی از پاسخ منفی گونه‌ها به- اقلیم پیش‌رو بود. افزایش دما و پایین بودن رطوبت هوا عامل اصلی این کاهش رویش محسوب می‌شود که در این بین گونه راش به دلیل داشتن پوست صاف نسبت به گونه‌های درختی دیگر، تخریب بیشتری را متحمل خواهد شد. گونه‌های درختی که نسبت به تغییر اقلیم پاسخ متعادل‌تری از خود نشان دادند، پتانسیل رقابت و پایداری در مقابل تغییرات را داشته و ممکن است در آینده توسعه بیشتری داشته باشند. نتایج این پژوهش، بیانگر یک روند عمومی از پاسخ گونه‌های درختی به- تغییر اقلیم است و می‌تواند در توسعه استراتژی‌های پایداری مدیران جنگل در منطقه مورد بررسی مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Anonymous., Gorazbon Forestry Plan., Dept. of Natural resources, University of Tehran Report. **2006** (In Persian).
- Ashraf, M. I.; Meng, F.-R.; Bourque, C. P.-A.; MacLean, D. A., A novel modelling approach for predicting forest growth and yield under climate change. *PloS one* **2015**, *10* (7), e0132066.
- Battles, J. J.; Robards, T.; Das, A.; Waring, K.; Gillies, J. K.; Biging, G.; Schurr, F., Climate change impacts on forest growth and tree mortality: a data-driven modeling study in the mixed-conifer forest of the Sierra Nevada, California. *Climatic Change* **2008**, *87* (1), 193-213.
- Battles, J.; Robards, T.; Das, A.; Stewart, W., Projecting climate change impacts on forest growth and yield for California's Sierran mixed conifer forests. California Climate Change Center paper CEC-500-2009-047-D. Available at www.energy.ca.gov/2009publications/CEC-500-2009-047/CEC-500-2009-047-F. PDF 2009.
- Botkin, D. B., Forest dynamics: an ecological model. Oxford University Press on Demand: 1993.

گیرد. روش دیگر مقدار حداقل رویش مورد نیاز برای استقرار گونه در عرصه را ۰/۰۱ در نظر می‌گیرد. همچنین لازم به ذکر است که تنها رقابت مورد بررسی در مدل، رقابت نوری در نظر گرفته می‌شود که از ضعف‌های بارز مدل است. دو عامل بالا نیز به صورت آشکار تصدیقی بر یکی از عوامل پیش‌گویی مرگ و میر بیش از حد نرم‌افزار و کاهش رویش است (Botkin, 1993). نتایج ارائه شده همگی نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم در پیش‌بینی رویش سطح مقطع در گونه‌های تجاری جنگل‌های هیرکانی با استفاده از JABOWA-4 مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزش‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده همبستگی بالایی از خود نشان داده که این به‌نوبه خود نشانگر

- Charles, P.-A. B.; Hassan, Q. K.; Swift, D., Modelled Potential Species Distribution for Current and Projected Future Climates for the Acadian Forest Region of Nova Scotia, Canada.
- Chaumont, D., A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. Ouranos: Montréal, QC, Canada 2014.
- Ehman, J.; Fan, W.; Randolph, J.; Southworth, J.; Welch, N. T., An integrated GIS and modeling approach for assessing the transient response of forests of the southern Great Lakes region to a doubled CO₂ climate. *Forest Ecology and Management* **2002**, *155*(1-3), 237-255.
- Engler, R.; Randin, C. F.; Thuiller, W.; Dullinger, S.; Zimmermann, N. E.; Araújo, M. B.; Pearman, P. B.; Le Lay, G.; Piedallu, C.; Albert, C. H., 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* **2011**, *17*(7), 2330-2341.
- Fallah, A.; Heydari, M., Studying the diameter growth of Persian oak and its relationship with climatic parameters in Zagros forests (Case study: Sarab-Karzan forests of Ilam).

- Journal of Forest Research and Development* **2018**, 3(4), 361-175 (In Persian).
- Fang, J.; Lechowicz, M. J., Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *Journal of Biogeography* **2006**, 33(10), 1804-1819.
- IPCC., Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
- Iverson, L. R.; Prasad, A. M., Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US. *Forest Ecology and Management* **2002**, 155(1-3), 205-222.
- Kimmins, J., Modelling the sustainability of forest production and yield for a changing and uncertain future. *The Forestry Chronicle* **1990**, 66(3), 271-280.
- Kramer, K.; Degen, B.; Buschbom, J.; Hickler, T.; Thuiller, W.; Sykes, M. T.; de Winter, W., Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica L.*) under climate change—range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management* **2010**, 259(11), 2213-2222.
- Landsberg, J., Physiology in forest models: history and the future. *FBMIS* 2003, 1, 49-63.
- Lee, K.; Goulding, C., Practicality of 3P sampling with accurate dendrometry for the pre-harvest inventory of plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science* **2002**, 32(2), 279-296.
- Marvi Mohadjer, M.R., Silviculture, second edition. University of Tehran press, 2012 (In Persian).
- Monserud, R. A., Evaluating Forest models in a sustainable forest management context. *Forest Biometry, Modelling and Information Sciences* **2003**, 1(1), 35-47.
- Pinjuv, G.; Mason, E. G.; Watt, M., Quantitative validation and comparison of a range of forest growth model types. *Forest Ecology and Management* **2006**, 236(1), 37-46.
- Reynolds, J. F.; Bugmann, H.; Pitelka, L. F., How much physiology is needed in forest gap models for simulating long-term vegetation response to global change? Challenges, limitations, and potentials. *Climatic Change* **2001**, 51(3), 541-557.
- Ringvall, A.; Kruys, N., Sampling of sparse species with probability proportional to prediction. *Environmental Monitoring and Assessment* **2005**, 104(1), 131-146.
- Stephenson, N. L., Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *The American Naturalist* **1990**, 135(5), 649-670.
- Sun, H.-g.; Zhang, J.-g.; Duan, A.-g.; He, C.-y., A review of stand basal area growth models. *Forestry studies in China* **2007**, 9(1), 85-94.
- Taleshi, H., GH. Jalali, J. Alavi, M. Hosseini, B. Naeimi, The effect of Climate Change on Geographical Distribution of *Fagus Orientalis* in Hyrcanian Forests. *Iranian Journal of Forest* **2019**, 10(2), 251-266 (In Persian).
- Trasobares, A.; Zingg, A.; Walthert, L.; Bigler, C., A climate-sensitive empirical growth and yield model for forest management planning of even-aged beech stands. *European Journal of Forest Research* **2016**, 135(2), 263-282.
- Vanclay, J. K., Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB international: 1994.
- Weiskittel, A. R.; Hann, D. W.; Kershaw Jr, J. A.; Vanclay, J. K., Forest growth and yield modeling. John Wiley & Sons: 2011.
- Wilby, R. L.; Dawson, C. W.; Murphy, C.; Connor, P.; Hawkins, E., The statistical downscaling model-decision centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications. *Climate Research* **2014**, 61(3), 259-276.
- Yaussy, D. A., Comparison of an empirical forest growth and yield simulator and a forest gap simulator using actual 30-year growth from two even-aged forests in Kentucky. *Forest Ecology and Management* **2000**, 126(3), 385-398.

Application of gap models in projection of basal area increment of commercial trees in the Hyrcanian region based on climate change effects (Case study: Gorazbon district, Kheyroud forest research station)

Sh. Varkouhi^{*1}, M. Namirani², P. Attarod³ and M. Omid⁴

1- PhD Candidate of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (shirin.varkouhi@gmail.com)

2- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (mnamiri@ut.ac.ir)

3- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (attarod@ut.ac.ir)

4- Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (omid@ut.ac.ir)

Received: 06.09.2019 Accepted: 30.12.2019

Abstract

Climate change studies and simulations conducted by GCM models show that patterns of temperature and rainfall will change over the next 50 to 100 years can affect patterns of forest stands increment. Growth and yield models do not have the ability to simulation forest stands under the effect of climate change. Due to lack of efficient models, JABOWA-4 as a hybrid model that can evaluate the population dynamic under climate change scenarios, and can explore the long-term aspects of forest composition, was applied in this study. In order to uncertainty of climate change trend in future, three greenhouse emission scenarios were formulated to explore future global developments with special emphasis on greenhouse gases. After comparison of modeled and real values of diameter growth, R^2 and RMSE were calculated to be 0.98 and 1.734 (cm^2), respectively, indicating a good correlation between two mentioned values. The response of species to climate change were assessed separately for Beech and Maple with 31 and 25 percent reduction in DBH increment, respectively, wich showed a negative response to climate change. Oak projected to increase slightly and after that decreased by 17 percent under climate change and Hornbeam showed positive response to climate change but less than real values. The results of this study indicated that gap models are good at providing forest yield prediction affected by climate change.

Keywords: Climate change, Growth and yield model, Simulation.

* Corresponding author

Tel: +98939507237