

هماندسازی و پیش‌بینی رشد دو گونه پیسه‌آ و کاج قرمز براساس گرم شدن زیست‌کره^۱

حمید جلیوند^۲

چکیده

در این مطالعه، فرایند شناخته‌شده مدل رایانه‌ای رشد پویای درخت (JABOWA) به منظور هماندسازی و پیش‌بینی رشد دو گونه درختی پیسه‌آ (*Picea abies*(L.) Karst) و کاج قرمز (*Pinus resinosa* Aiton)، که به فاصله ۱/۸×۱/۸ متر در جنگل مورگان (واقع در جنوب جزیره مونترال، استان کبک کانادا) مورد کاشت قرار گرفته بودند، در آب و هوای معمولی و به هنگام تغییر آب و هوا مورد استفاده قرار گرفت. براساس گزارش‌های تحقیقی اعلام‌شده، چهار تیمار درجه حرارت معمولی و نیز در صورت افزایش درجه حرارت هوا، به میزان ۱، ۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد، در نظر گرفته شد. نمونه‌های دوایر رویشی دوگونه، که به صورت مخلوط در ردیف‌های متناوب کاشته شده بودند، از محل ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متر) برداشت شد. در قدم اول، برنامه رایانه‌ای رشد پویای درخت، با توجه به رشد واقعی دو گونه و با ایجاد پرونده‌هایی از داده‌های آب و هوایی سال‌های ۱۹۵۴ - ۱۹۹۲، تعیین شرایط رویشگاه از نظر نوع خاک و عناصر غذایی و مشخصه‌های رویشی، تطبیق شد. سپس مقادیر خروجی محاسبه‌شده افزایش رویه زمینی، که نمودی از رشد را نشان می‌داد، با توجه به افزایش رشد ده ساله رویش جاری (۱۹۸۳-۱۹۹۲) و ده ساله بعد از آن (۱۹۹۳-۲۰۰۲) مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه‌های افزایش رشد نشان داد وقتی که درجه حرارت به صورت معمولی باشد یا زمانی که ۱ و ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، تفاوت معنی‌داری بین دوگونه وجود نخواهد داشت، ولی هنگامی که درجه حرارت هوا تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش از خود نشان دهد، اختلاف رشد دو گونه در سطح ۰/۰۰۱، معنی‌دار خواهد بود. اثر درجه حرارت روی دو گونه، بجز حالت معمولی و موقعی که یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، منفی بود. هنگامی که متوسط درجه حرارت ۱، ۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از حالت معمولی بود، کاج قرمز بیشتر از پیسه‌آ رشد داشت. نتیجه این تحقیق مشخص کرد که در صورت گرم‌تر شدن زیست‌کره، هر دو گونه نسبت به حالت معمول کاهش رشد نشان خواهند داد و پیسه‌آ به احتمال زیادتری، بیشتر از کاج قرمز از این ویژگی برخوردار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گرم شدن زمین، مقایسه رشد پیسه‌آ و کاج قرمز، شبیه‌سازی و مدل رایانه‌ای رشد پویای درخت

۱- تاریخ دریافت: ۷۸/۱۲/۲۱، تاریخ تصویب نهایی: ۸۰/۲/۳۱

۲- عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران

مقدمه

مدارک مستند زیادی وجود دارند که زیست‌کره بخصوص از اواخر سال‌های ۱۹۸۰ به بعد گرم‌تر شده است (۱۰). آنالیزهای انجام‌شده روی افزایش درجه حرارت هوا (۹)، نشان می‌دهد که شروع گرم شدن هوا به قبل از سال‌های ۱۸۶۰ برمی‌گردد. تخمین آنها بیانگر آن است که درجه حرارت متوسط کره زمین، از سال ۱۸۶۰ بین ۰/۵ تا ۰/۷ درجه سانتی‌گراد از سال ۱۸۶۰ افزایش پیدا کرده است. همچنین گزارش شده که متوسط درجه حرارت زمین افزایش یافته است (۲۴). هرچند که میانگین درجه حرارت هوا بین سال‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۶۵ کاهش نشان داد (۱۰) و (۱۱).

بنابر تخمین‌های متعددی که مدل‌های پیش‌بینی‌کننده تغییرات آب و هوایی جهانی به‌دست آورده‌اند، میانگین درجه حرارت زیست‌کره، در یک دوره صدساله، ۱/۵ - ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان خواهد داد (۱۱ و ۱۹). روند گرم شدن از یک منطقه به منطقه دیگر در جهان متفاوت خواهد بود.

تعدادی از مطالعات اخیر، شبیه‌سازی واکنش آب و هوایی نسبت به دو برابر شدن گاز کربنیک را تایید کرده‌اند (۱۶) که درجه حرارت سطح زیست‌کره در طول یک قرن اخیر تا ۳ درجه سانتی‌گراد با حدود نوسانی معادل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد (۲ و ۱۵) با گرم شدن بیشتر در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، افزایش می‌یابد (۱). مطالعات انجام‌شده روی امکان تغییر درجه حرارت در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش بین ۲/۳-۰/۴ درجه سانتی‌گراد را برای سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۳۰ نشان داد (۲۴). بعضی از مدل‌های

رایانه‌ای، میانگین افزایش درجه حرارت را ۱-۴ درجه سانتی‌گراد برای ۵۰-۷۵ سال آینده تخمین زده‌اند (۱۱).

جابووا، یک مدل رایانه‌ای هماندسازی است که می‌تواند رشد پویای جنگل را در دو حالت آب و هوایی معمولی و گرم پیش‌بینی و محاسبه کند (۳ و ۴). با این نرم‌افزار می‌توان برحسب نیاز و به دلخواه پارامترهای محیطی را، به‌صورتی که با واقعیت تطابق داشته باشد، در فهرست‌هایی که در آن برای وارد کردن داده‌ها پیش‌بینی شده است، وارد ساخت. این مدل از چندین زیرمدل ساخته شده که برای مثال می‌تواند تخمین‌های رشد، مرگ و میر و تجدید حیات درختان را براساس منابع قابل دسترس (نور، آب، خاک و منابع غذایی) تخمین زده و در نهایت اطلاعاتی از قبیل تعداد درخت در توده نهایی جنگل در یک یا چند دوره چرخش، با توجه به نام آنها در یک جنگل مخلوط یا خالص، رویه زمینی، میزان زیتوده و حجم را محاسبه و در دسترس قرار دهد (۵). این نرم‌افزار در سایر نقاط جنگلی جهان (۷) مانند جنگل‌های استوایی (۸)، جنگل‌های اروپایی (۱۲)، ۱۳، ۱۴ و ۱۷) و جنگل‌های پهن‌برگ و معتدله آمریکای شمالی (۱۸، ۲۰ و ۲۱) مورد استفاده قرار گرفته است.

تغییر آب و هوا در جهان روی رشد گونه‌های مختلف جنگلی تاثیر متفاوتی، اعم از مثبت یا منفی، دارد که ممکن است از نظر زمانی و مکانی نیز جایگاه بوم‌شناختی آنها را تغییر دهد. دو گونه پیسه‌آ و کاج قرمز از جمله گونه‌هایی هستند که به‌طور طبیعی در عرض‌های بالای جغرافیایی استقرار طبیعی یافته‌اند، ولی پیسه‌آ در عرض‌های بالاتری قرار گرفته است. موضوع‌هایی که مورد

نمونه‌برداری از درختان غالب داخل پلات انجام شد. دو بار و در هر بار در مجموع ۹۳ نمونه مقطع عرضی، ۵۰ نمونه برای پیسه‌آ و ۴۳ نمونه برای کاج قرمز، گرفته شد. بعد از حذف نمونه‌هایی که امکان آنالیز دوایر آنها وجود نداشت، ۴۴ نمونه برای پیسه‌آ و ۳۸ نمونه برای کاج باقی ماند که این نمونه‌ها در محاسبه و آنالیز رشد مورد استفاده قرار گرفت.

آماده‌سازی مقاطع دوایر رویشی

نمونه‌های برداشتی در هوای آزاد خشک شده و در داخل تخته‌های ناودانی‌شکلی که از قبل آماده شده بود، با چسب چسبانده شدند. به هر کدام با توجه به شماره پلات و شماره درخت برچسب نصب شد. قسمت رویه بیرونی نمونه‌ها با سه نوع سمباده، به ترتیب از درشت‌تر به ریزتر، جهت صاف شدن و شناسایی دقیق‌تر سال‌های رویشی، سمباده‌کشی شد. با روش اسویتنم (۲۳) آنالیز دوایر انجام گرفت. مقاطع نمونه‌برداری شده برحسب زمان و عرض حلقه‌ها با نرم‌افزار مک دندرو^۲، اندازه‌گیری شد. این روش دارای محاسنی به شرح زیر است:

۱- آنالیز پیام‌های متقابل که یکدیگر را مورد پوشش مشترک قرار می‌هند، موجب انجام اسکن ترکیبی می‌شود و در نتیجه می‌تواند دوایر کم‌رنگ‌تر را از دوایر پررنگ‌تر کاملاً تشخیص دهد. علاوه بر آن، قادر است زمینه مورد بررسی را به دلخواه با میزان شدت نور متفاوت درآورد.

۲- با توجه به قدرت بالای تشخیص نوع رنگ و تن آن، در نتیجه از قدرت تفکیکی بسیار

مطالعه قرار گرفتند عبارت بودند از: تطابق نسل دوم مدل جابووا (۶) برای دو گونه جنگلکاری شده کاج قرمز و پیسه‌آ در آربورتوم مورگان واقع در غرب جزیره مونترال و همچنین تخمین رشد دو گونه در شرایط معمولی و به هنگامی که آب و هوا گرم‌تر می‌شود، با این فرض که اگر درجه حرارت هوا ۱، ۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به حالت معمولی گرم‌تر باشد. فرض شد که رشد دو گونه کندتر و امکان کاهش رشد آنها در صورتی که هوا گرم‌تر شود، وجود خواهد داشت. عکس‌العمل دو گونه نسبت به تغییرات آب و هوایی یکسان نخواهد بود و مدل رایانه‌ای جابووا قابل استفاده برای تخمین رشد پویای دو گونه بوده و می‌توان نتایج آن را با رشد پویای واقعی مقایسه کرد.

مواد و روش‌ها

شرح رویشگاه و نمونه‌برداری

اطلاعات آب و هوایی برای این مطالعه از نزدیک‌ترین ایستگاه آب و هوایی واقع در غرب جزیره مونترال^۱، گرفته شد. میانگین سالانه درجه حرارت ۷/۵ و میانگین حداقل آن ۶/۹ درجه سانتی‌گراد بود. متوسط سالانه بارندگی در طی یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۵۴-۱۹۹۳) ۱۲۱۴ میلی‌متر بود، که کمترین آن در سال ۱۹۵۹، معادل ۶۹ میلی‌متر به‌وقوع پیوسته بود.

در سال ۱۹۹۳، نمونه‌برداری سیستماتیک منظم شطرنجی (۱۰×۱۰)، که اولین پلات آن به‌طور تصادفی انتخاب شد، از جنگلکاری دو گونه پیسه‌آ و کاج قرمز صورت گرفت. یک نمونه از مقطع عرضی دوایر رویشی در ارتفاع برابر سینه هر درخت به‌وسیله مته سال‌سنج گرفته شد.

۲- Macdendro، نرم‌افزاری است مخصوص رایانه مکتاش، که عرض دوایر رویشی را می‌تواند با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری و شمارش کند.

۱-Sainte-Anne-de-Bellvue

گونه‌های مورد نظر، ایجاد شد. برای همانندسازی گرم شدن زیست‌کره، فرض شد که درجه حرارت معمولی مساوی متوسط درجه حرارت گزارش شده برای دوره ۱۹۸۳-۱۹۹۲ باشد و افزایش‌های ۱، ۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد در ده سال آینده (۱۹۹۳-۲۰۰۲) بر این اساس در نظر گرفته شد.

پرونده‌های مذکور در داده‌های پایه برای اجرای برنامه در نرم‌افزار به‌طور جداگانه‌ای قرار داده شدند تا بتوان در هر بار اجرای برنامه، آن را تغییر داد. پرونده‌ها برای هر دو گونه جداگانه ساخته و اجرا شدند. از اطلاعات خروجی، فقط رویه زمینی، که دارای درصد اطمینان بیشتری است، مورد استفاده واقع گردید و رشد افزایش یافته‌ها مورد محاسبه قرار گرفت.

بر اساس سری‌های تکراری، گونه‌ها و مشخصه‌های اولیه رویشگاه در فهرست‌های ۲، ۳ و ۴ برنامه جابووا، به‌منظور ایجاد تشابه سالانه رشد هر دو گونه اصلاح شد. مدل در فهرست شماره ۳ برنامه به حداکثر رویه زمینی، عمق خاک و سطح سفره آب حساسیت نشان داد. در فهرست شماره ۴، بیشتر به حداکثر سن، ضریب مخصوص رشد (G)^۲، حداقل و حداکثر مجموع درجه حرارت در فصل رشد، بردباری به سایه و نیتروژن قابل استفاده حساس بود.

با توجه به اینکه یک مدل باید حداکثر صحت و دقت را داشته باشد و رشد درختان کاشته‌شده با این فرض که هیچ‌گونه مرگ و میر و زادآوری ندارند ادامه یابد، شرایط رویشگاه در طول دوره ۳۹ ساله چرخش کلی اصلاح گردید. چرخش کل، بسته به نوع گونه و پاسخگویی مدل،

بالایی برخوردار است. این ویژگی کمک خواهد کرد که در آنالیز و تعیین سال‌های با شرایط سخت، که عرض دواپر رویشی بسیار باریک است، به‌راحتی اندازه‌گیری عرض دواپر با دقت زیادی انجام پذیرد.

۳- آنالیز بلافاصله بعد از اسکن کردن به راحتی امکان‌پذیر است.

۴- اگر اشتباهی در آنالیز و تشخیص دقیق محل مقطع یک یا چند سال وجود داشته باشد، می‌توان با بزرگ‌نمایی‌های دلخواه و تعیین دقیق محل مقطع، تصحیح‌های لازم را انجام داد.

اجرای برنامه جابووا نسل دوم^۱

در مرحله اول، مدل رشد پویای جابووا، برای گونه پیسه‌آ و کاج قرمز، با استفاده از داده‌های آب و هوایی سال‌های ۱۹۵۴-۱۹۹۷، مطابق پرونده‌هایی شامل مشخصات گونه‌ها، آب و هوا و ویژگی‌های خاص قابل قرائت توسط نرم‌افزار فوق، ساخته شد. پلات‌ها دقیقاً به اندازه مقدار واقعی در جنگلکاری، برای هر دو گونه در نظر گرفته شد. اطلاعات گونه‌ها و پرونده‌های مذکور در دو فهرست اصلی برنامه جابووا نسل دوم، وارد گردید. پرونده‌های آب و هوایی به‌منظور بررسی حالت‌های نرمال و زمانی که آب و هوا در آینده در نیوار تغییر یابد، ساخته شدند. دو نوع از پرونده‌ها شامل متوسط ماهانه درجه حرارت و بارندگی به ترتیب برای سال‌های ۱۹۵۴-۱۹۹۲ و ۱۹۹۳-۲۰۰۲ مانند پرونده‌هایی که در مدل وجود داشت، تهیه گردید. پرونده‌های آب و هوایی سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲ با استفاده از متوسط ماهانه درجه حرارت سال‌های ۱۹۸۳-۱۹۹۲، به‌منظور همانندسازی اثر گرم شدن زیست‌کره روی رشد

G-۲، عبارت از ضریبی است که چگونگی سرعت رشد درخت و

رسیدن آن را به نصف ارتفاع نهایی نشان می‌دهد.

هماندسازی رشد دو گونه با توجه به تغییرات آب و هوادر آینده

مقایسه ده ساله رشد از سال‌های ۱۹۸۳-۱۹۹۲ با سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲، نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دو گونه، هنگامی که آب و هوا در آینده به صورت معمولی باشد یا ۱ و ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، وجود ندارد. تفاوت‌های معنی‌دار در سطح ۱ درصد وقتی که درجه حرارت تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، برای هر دو گونه در مقایسه با حالت نرمال، وجود داشت (شکل ۲ الف و ب). تمامی تیمارهای حرارتی روی رشد پیسه‌آ اثر منفی داشتند و روند کاهشنده رشد به طور مشهودی در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ مشاهده شد (شکل ۳ الف و ب).

مقایسه مدل‌های تخمینی رشد

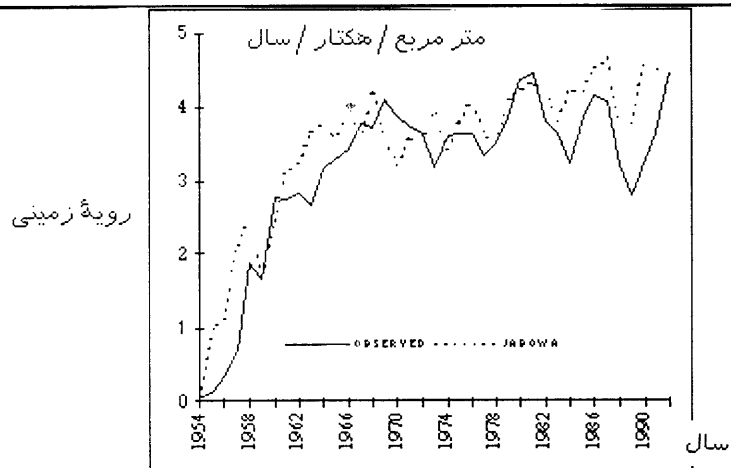
مقایسه مدل‌های رشد تخمین زده شده گونه‌های پیسه‌آ و کاج، در شکل ۴ (الف، ب، ج و د) نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند در صورتی که درجه حرارت تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، بجز سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴، روند رشد کاج قرمز نسبت به پیسه‌آ سریع‌تر خواهد شد. همچنین، مقایسه رشد تخمینی دو گونه تحت شرایط آب و هوای گرم نشان داد، وقتی که درجه حرارت هوا معمولی یا ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، تفاوت معنی‌داری در رشد دو گونه در سطح ۱ درصد به وجود خواهد آمد، ولی هنگامی که درجه حرارت هوا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار خواهد بود. در حالتی که درجه حرارت هوا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، اختلافی بین دو گونه از نظر رشد وجود نخواهد داشت (شکل ۵).

به سه دوره مختلف تقسیم شد. برای کاج قرمز، شرایط رویشگاه بعد از چهارمین و پانزدهمین سال و برای پیسه‌آ بعد از بیست و چهارمین و بیست و هفتمین سال تغییر پیدا کرد. پس از تخمین رشد با استفاده از اطلاعات خروجی مدل هماندسازی شده رشد دو گونه، مقایسه میانگین‌های دوگانه (t-test) در سطح ۵ درصد انجام شد.

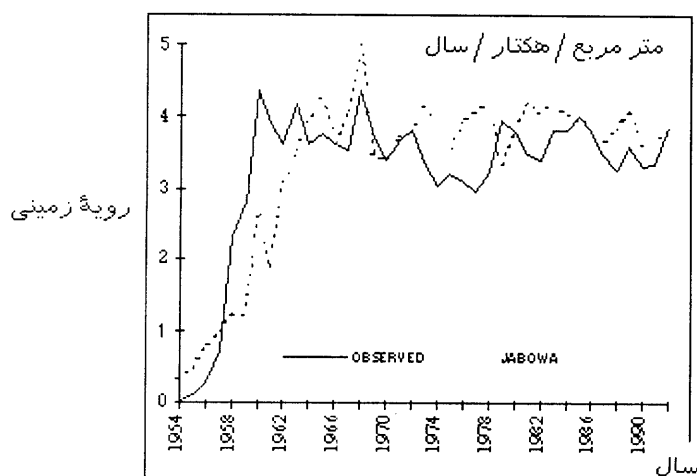
نتایج

مطابقت‌سازی مدل‌ها در وضعیت فعلی رشد

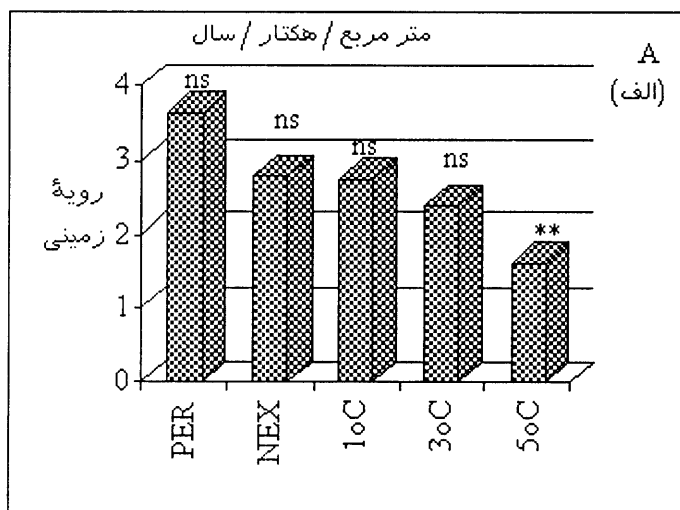
مدل‌های تطابق‌یافته رشد، به ترتیب ۶۴ و ۷۰ درصد واریانس را برای رشد پیسه‌آ و کاج قرمز شرح داد. بهترین مدل هماندسازی شده کاج قرمز وقتی به دست آمد که مقدار نیتروژن بدین ترتیب تا سال چهارم، از سال پنجم تا پانزدهم و از سال پانزدهم تا سی و نهم، ۶۰ و ۹۹ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار در سال مورد مصرف قرار گرفت. بهترین مدل هماندسازی شده برای پیسه‌آ، هنگامی به دست آمد که سطوح نیتروژن از سال اول تا بیست و چهارم، از سال بیست و پنجم تا بیست و هفتم و از سال بیست و هشتم تا سی و نهم، ۱۰۰، ۹۵ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار در سال استفاده شد. روند رشد واقعی و مدل در هر دو گونه از دقت نسبتاً بالایی برخوردار بود (شکل ۱ الف و ب). میانگین مقدار نیتروژن قابل قبول خاک به ترتیب ۷۱ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال برای کاج و پیسه‌آ، توسط مدل تخمین زده شد. این مقدار نیتروژن برای مصرف سوزنی‌برگانی که دست‌کاشت هستند، احتمالاً زیاد است، اگرچه مقدار پیش‌بینی شده بسته به شرایط رشد به دفعات به گونه‌ها داده می‌شود.



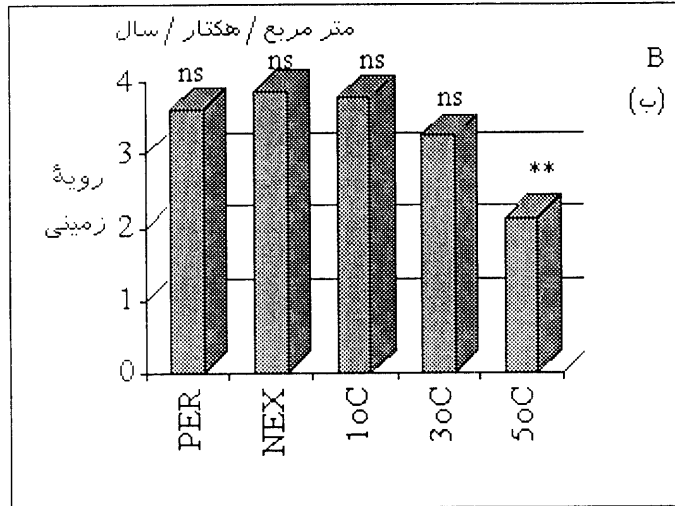
شکل ۱- الف - همانندسازی رشد (سطح مقطع برابر سینه) توسط برنامه جابوا و مشاهدات برای گونه پیسه آ از سال ۱۹۵۴ - ۱۹۹۲



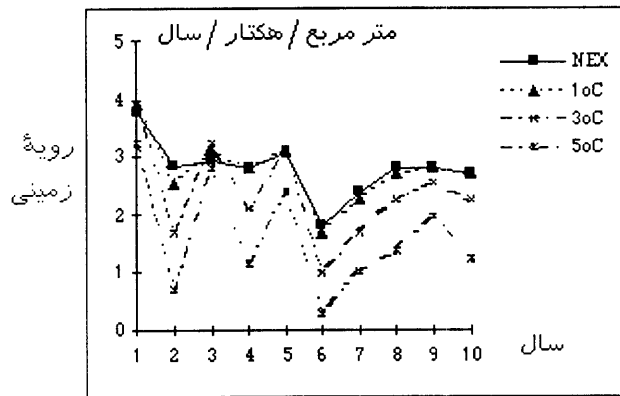
شکل ۱- ب - همانندسازی رشد (سطح مقطع برابر سینه) توسط برنامه جابوا و مشاهدات برای گونه کاج قرمز از سال ۱۹۵۴ - ۱۹۹۲



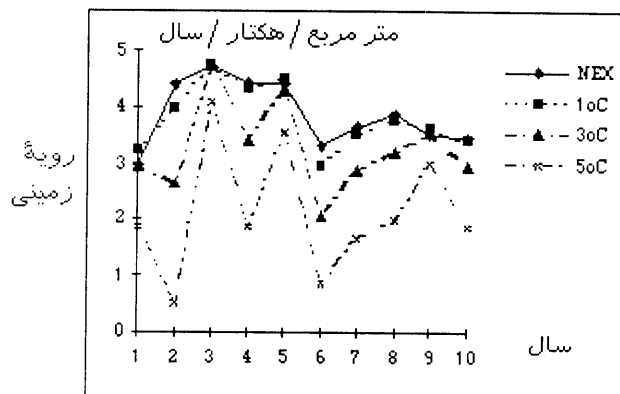
شکل ۲ - الف - مقایسه متوسط ده ساله رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه پیسه آ، درحالی که آب و هوای ده سال قبل از سال ۱۹۹۲-۱۹۸۳ با ده سال بعد (NEX)، از سال ۱۹۹۳-۲۰۰۲ با یکدیگر مساوی باشد یا ۱، ۲ و ۵ درجه سانتیگراد در آینده افزایش یابد
** تفاوت معنی دار در سطح درصد ns، تفاوت غیرمعنی دار



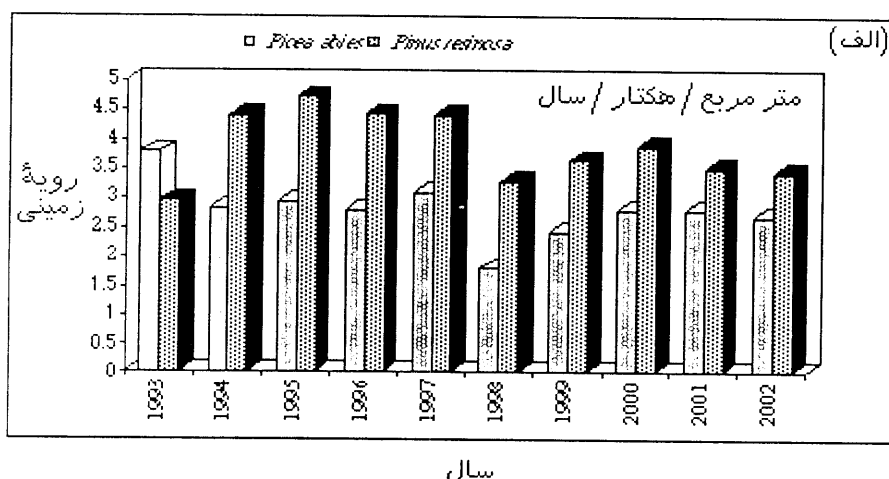
شکل ۲- ب - مقایسه متوسط ده ساله رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه پیسه‌آ، درحالی‌که آب و هوای ده سال قبل از سال ۱۹۹۲-۱۹۸۳ با ده سال بعد، از سال ۱۹۹۳-۲۰۰۲ با یکدیگر مساوی باشد یا ۳، ۱ و ۵ درجه سانتی‌گراد در آینده افزایش یابد. **، تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns، تفاوت غیرمعنی‌دار



شکل ۳- الف - افزایش سطح مقطع برابر سینه، تخمین زده شده توسط برنامه جابوا برای گونه پیسه‌آ، هنگامی‌که درجه حرارت هوا معمولی (NEX) باشد یا ۳، ۱ و ۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به معمولی در آربوتوم مورگان (غرب جزیره مونتال) افزایش یابد.

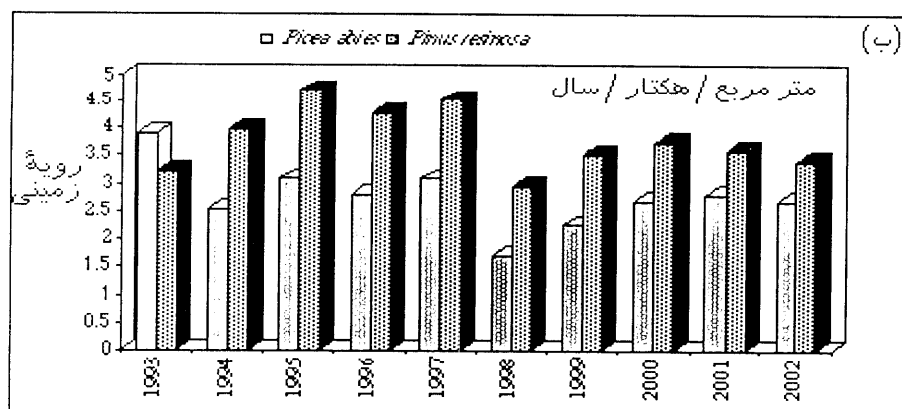


شکل ۳- ب - افزایش سطح مقطع برابر سینه، تخمین زده شده توسط برنامه جابوا برای گونه کاج قرمز، هنگامی‌که درجه حرارت هوا معمولی (NEX) باشد یا ۳، ۱ و ۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به معمولی در آربوتوم مورگان افزایش یابد.



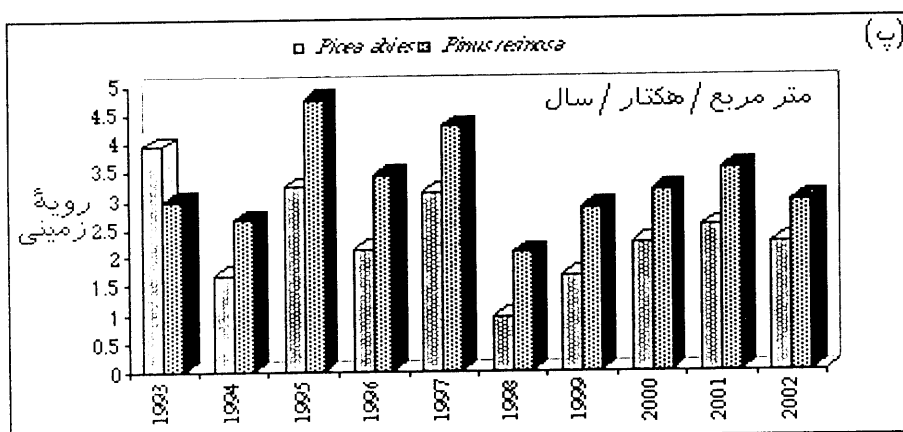
سال

شکل ۴ - الف - مقایسه رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه‌های پیسه‌آ و کاج قرمز هنگامی که درجه حرارت هوا بین سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲ معمولی باشد



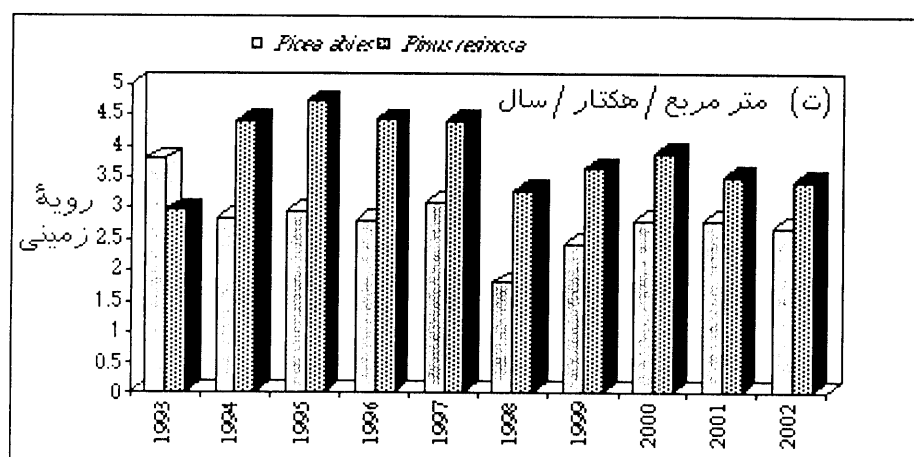
سال

شکل ۴ - ب - مقایسه رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه‌های پیسه‌آ و کاج قرمز، هنگامی که درجه حرارت هوا بین سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲ یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد



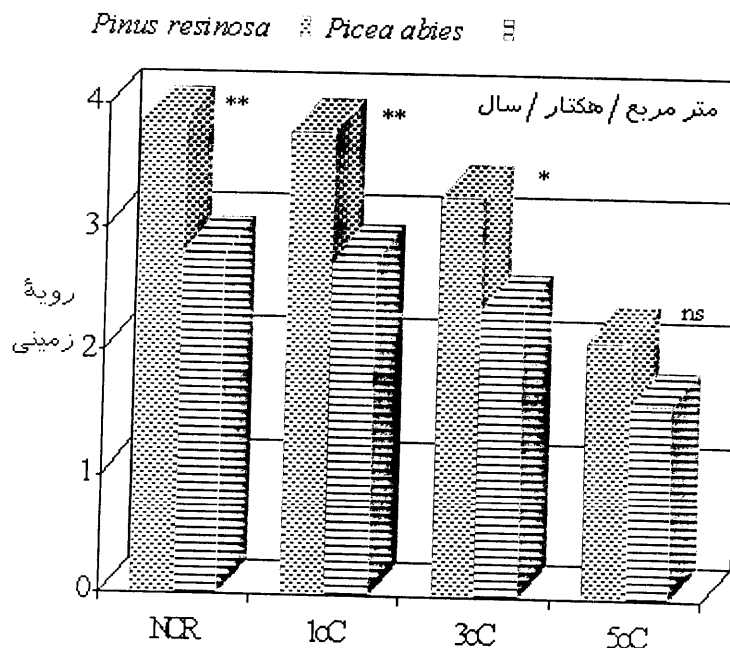
سال

شکل ۴ - ج - مقایسه رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه‌های پیسه‌آ و کاج قرمز هنگامی که درجه حرارت هوا بین سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲، سه درجه سانتی‌گراد افزایش یابد



سال

شکل ۴ - د- مقایسه رشد (سطح مقطع برابر سینه) گونه‌های پیسه‌آ و کاج قرمز هنگامی که درجه حرارت هوا بین سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲، پنج درجه سانتی‌گراد افزایش یابد



شکل ۵- مقایسه متوسط رشد دو گونه پیسه‌آ و کاج قرمز در ده سال آینده (۱۹۹۳-۲۰۰۲) در صورتی که درجه حرارت هوا معمولی باشد یا ۱، ۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد * تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns، تفاوت غیرمعنی‌دار

بحث و نتیجه‌گیری

در مدل جابووا درختان به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و این حالت انتخاب از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند. علاوه بر آن، این نوع انتخاب با نوع انتخابی که در پلات‌ها به صورت

عملی انجام می‌شود، ممکن است مغایرت داشته باشد. فاصله درختان همان‌طور که ذکر شد $1/8 \times 1/8$ متر بود، در صورتی که در مدل فهرستی دیده نمی‌شود تا بتوان به دلخواه فاصله درختان را از یکدیگر، بنابر آنچه مورد کاشت قرار گرفته است،

تعیین و ثابت نگه داشت. بنابراین مدل جابووا مشخصه های مصنوعی رویشگاه را زیادتر از آنچه مشاهده شده، جهت تطابق رشد در حالتی که مرگ و میر وجود نداشته باشد، تخمین زد.

بعضی از پارامترها مانند حداکثر سن و رویه زمینی خیلی بیش از واقعیت در مدل قرار داده شد. این متغیرها اگر به مقدار معمولی در نظر گرفته می شدند، میزان تخمین رشد با رشد واقعی بسیار فاصله پیدا می کرد. شاید با تغییراتی در محاسبات اصلی این متغیرها و با قرار دادن مقدار حداکثرهای واقعی اشاره شده، بتوان نتیجه خروجی آنالیزها را اصلاح کرد و از تکرار اجرای برنامه، جلوگیری به عمل آورد. به هر شکل و با تمام مسائلی که در اجرای برنامه به وجود آمد، مدل تقریباً قابل قبولی با توجه به حالت معمولی تغییرات آب و هوا، حاصل شد. سطح سفره آب برای پیسه آ نشان داد که این گونه در مقایسه با کاج قرمز، به رویشگاه های مرطوب تری نیاز دارد. استفاده مصنوعی و وارد کردن مقادیر بالا در بعضی از پارامترها در مدل واقعی و مدل مطابقت شده، مشخص کرد که پیسه آ رویشگاه حاصلخیزتری را نسبت به کاج قرمز دوست دارد. به طور کلی نتایج نشان داد که در زیست کره گرم تر، رشد پیسه آ نسبت به کاج قرمز زودتر کاهش خواهد یافت. این تحقیق روشن ساخت که پیسه آ به شرایط گرم حساسیت بیشتری نسبت به کاج قرمز نشان خواهد داد.

مدل های هماندسازی، شبکه کاری سودمندی را برای آزمون زنجیروار بین رشد پویای گونه های درختان جنگلی و شرایط و عوامل بوم شناختی و زیست محیطی فراهم ساخته اند. هماندسازی جابووا مشخص ساخت که رشد

درخت به تغییرات آب و هوایی در عرض جغرافیایی مورد مطالعه، واکنش نشان داده و عوامل محیطی روی گونه ها تاثیر متفاوتی دارند. اگرچه مدل رشد پویای جابووا برای تخمین رشد درخت برای جنگلکاری ها سازگار نشده است، ولی به نظر می رسد که در جنگل های طبیعی پاسخ خوبی خواهد داد. جنگلکاری درختان به شکل شطرنجی حالتی نیست که بتوان درخت را به صورت تصادفی در نرم افزار مدل سازی جابووا انتخاب کرد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که پیسه آ نسبت به کاج قرمز حساسیت بیشتری در مقابل گرم شدن زیست کره دارد. این نتیجه وقتی قابل اطمینان است که در فهرست برنامه شماره ۳ نسل دوم جابووا، پلات ثابت انتخاب شود.

برای درک بهتر پاسخ پویای عملیات رشد درخت به تغییرات محیطی، پیشنهاد می شود در مطالعات هماندسازی نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱- از چند نوع مدل نرم افزار مختلف رشد استفاده گردد، بخصوص در جابووا روش های وارد کردن اطلاعات خاک، آب و هوا و تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس کوچک و بزرگ اصلاح شود.

۲- در حالتی که اثر تغییر درجه حرارت روی رشد پویای گونه های جنگلی مورد مطالعه قرار داده می شود، تغییرات بارندگی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد، چرا که نقش باران و رطوبت کمتر از حرارت نیست. در این صورت، تبخیر و تفرق نیز می تواند از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد.

۳- مطالعه پویایی اثر تغییرات آب و هوایی روی رشد پویای درخت و روند رشد، کیفیت مواد

غذایی و میزان تجزیه آنها در سال‌های مختلف،
 اثر متقابل کمی و کیفی لاشبرگ و مواد هوموسی
 و غذایی قابل قبول و همه عوامل عمده‌ای که
 نقش اساسی در رشد گونه‌ها دارند، می‌توانند در
 یک یا چند مدل اکوفیزیولوژیکی رشد، مورد
 آزمون قرار گیرند.

منابع

- 1-Anderson, J.M. 1992. Responses of soil to climate change, In: *Advances in Ecological Research*, Eds. M. Begon, A. H. Fother, and A. Macfadye. Vol 22: 163-203.
- 2-Bolin, B. 1986. The carbon cycle and predictions for the future, In the *greenhouse effect, climate change and ecosystems*, Eds. B. Bolin, B.R. Doos, J.Jager, and R.A. Warwick. *Scope* Vol 29: 93-156. Wiley, Chichester.
- 3-Botkin, D.B. 1991. *Manual for JABOWA-II, Version 1.1, Forest growth model, DOS Version*, 90pp.
- 4-Botkin, D.B. 1993. *Forest dynamics an ecological model*, Oxford University Press, Inc. Oxford, 309pp.
- 5-Botkin, D.B., J.R.Janak, & J.R. Wallis, 1972a. Rational limitations and assumptions of a northeast forest growth simulator, *IBM Journal of Research and Development*. Vol 16: 101-116.
- 6-Botkin, D.B., J.R. Janak, & J.R. Wallis, 1972b. Some ecological consequences of a computer model of forest growth, *Journal of Ecology*, 60:49-872.
- 7-Dale, V.H. & M. Hemstrom, 1986. *Modelling the long-term effects of disturbances on forest succession, Olympic Peninsula, Washington*. *Can. J. For. Res.* Vol 16(1): 56-67.
- 8-Doyle, T.W. 1981. The role of disturbance in the gap dynamics of a montane rain forest: An application of a tropical forest succession model, 56-73.
- 9-Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, S. Lebedeff, R. Rvedy, & G. Russell, 1988. Global climate changes as forecast by Goddard institute for Space Studies Three Dimensional Model, *J.Geophys. Res.* Vol 93(D8):9341-9364.
- 10-Houghton, R. & G.M. Woodwell, 1989. Global climatic change. *Scientific American* .Vol 260(4):36-44.
- 11-Hughes, M.K., R.M. Kelly, J. R. Pilcher, & Jr V.C. LaMarche, 1982. *Climate From Tree Rings*, Cambridge University Press, Cambridge. 223pp.
- 12-Jones, P.D. & T.M.L. Wigley, 1990. Global warming trends, *Scientific American* 270: 84-91.
- 13-Kienast, F. & N. Kuhn, 1989. Simulating forest succession along ecological gradients in Southern Central Europe, *Vegetatio*. Vol 79(1-2): 7-20. In: D.B.

Botkin. 1993. Forest dynamics and ecological model, Oxford University Press, Inc. Oxford.

14-Leemans, R. & I.C. Prentice, 1989 FORSKA, a general forest succession model. Meddelanden fran Vaxtbillogiska Institutionen, Uppsala, Sweden. In: D.B.Botkin. 1993. Forest dynamics, an ecological model, Oxford University press, Inc. Oxford.

15-Leemans, R. & I.C. Prentice, 1987. Description and simulation of tree-layer composition and size distributions in a primeval Picea-Pinus forest, Vegetatio Vol 69:147-159. In: D.B. Botkin. 1993. Foest dynamics, an ecological model, Oxford University, Inc: Oxford.

16-Manabe, S. & R.J. Stouffer, 1980. Sensitivity of a global climate model to an increase in Co2 concentration in the atmosphere, J. Geophys. Res. Vol 85:5529-5554.

17-Mitchell, J.F.B., S. Manabe, T. Tokioka, & V. Meleshko, 1990. Equilibrium climate change, In: Climate change: The IPCC Scientific Assessment, Eds. R.A. Houghton, G.J. Ephraums, Cambridge University Press, Cambridge. 131-172.

18-Oja, T. 1983. Mesta suksessiooni ja tasandilis struktuuri imiteerimisest (on the simulation of succession and plain structure of forest), Year-Book of Estonian Naturalists' Society. Vol 69:110-117.

19-Pastor, J., R.H. Gardner, V.H. Dale, & W.M. Post, 1987. Successional changes in nitrogen availability as a potential factor contributing to spruce declines in boreal North America, Can. J. For. Res. Vol 17:194-1400.

20-Schlesinger, M.E. & J.F.B. Mitchell, J.F.B. 1987. Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. Rev. Geophys. Vol 25:760-798.

21-Shugart, H.H. 1984. A theory of forest dynamics: The ecological implications of forest succession models. Springer-Verlag, New York, 278 pp.

22-Solomon, A.M. 1986. Transient response of forests to CO₂-induced climate change: Simulation modelling experiments in eastern North America. Oecologia. Vol 74:143-150. In: S.W. Pacala, C.D. Canham, and J.A. Jr Silander. 1993. Forest models defined by field measurements: I. The design of a northeastern forest simulator, Can. J. For. Res. 23:1980-1988.

23-Swetnam. T. 1989. Dendrochronology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments, Advances in ecological research. Vol 9:111-188.

24-Wigley, T.M.L. 1989. The greenhouse effect lecture presented at the prime minister seminar on global climate change, UK Department of the Environment.

Simulation And Prediction of *Picea abies* And *Pinus resinosa* Based On Global Warming Scenarios

H. Jalilvand¹

Abstract

In this study a process oriented model of the JABOWA tree growth model was verified to simulate and to predict tree growth in hypothetical climate resulting from global climate change scenarios. Based on literature, four treatments were applied, normal temperature, and increases of 1,3 and 5°C. First JABOWA was calibrated for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and Red pine (*Pinus resinosa* Ait.) using the weather data from 1953 to 1992. Comparison of basal area increment of both species for last (1983-1992) and the next (1993-2002) ten years showed that there were no significant differences when temperature was normal or increased by 1 and 3°C but it was significant ($P < 0.001$) when temperature increased by 5°C. Treatment effects were negative on the growth of both species, except for normal and 1°C. Red pine grew more than Norway spruce when the mean temperature was increased by 1,3 and 5°C. It was concluded that Norway spruce was more likely to decline than Red pine if global warming occurs.

Keywords: Climate change, Growth comparison between Red pine and Norway spruce, *Picea abies*, *Pinus resinosa*, Simulation, Computer Dynamic Growth Model, JABOWA

¹ - Faculty Member, Natural Resources Faculty of Mazandarn University