فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۲ شماره ۱، صفحه ۵۰-۳۹، (۱۳۹۳)

ارائه مدل‌های رویش و محصول برای جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال شمال کشور (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)

محمود بیات[۱*]، منوچهر نمیرانیان[۲]، محمود زبیری[۲]، محمود امید[۳] و تیمو پوکالا[۴]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

پست الکترونیک: mbayat1983@ut.ac.ir

۲- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استاد، گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- استاد، گروه جنگلداری، دانشگاه شرقی فنلاند، فنلاند.

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۳۱

چکیده

فقدان مدل‌های رویش و محصول، مدیریت یکپارچه جنگل (همه کارکردهای جنگل مورد توجه قرار گیرد) را به تأخیر می‌اندازد. در این تحقیق که برای اولین بار در داخل کشور در بخش گرازبن جنگل خیرود به‌وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار انجام شد، با استفاده از ۲۵۶ قطعه‌نمونه دائم ۱۰ آری که طی یک دوره نه‌ساله دوبار آماربرداری شده‌اند، مجموعه مدل‌هایی ارائه شد که قادرند توسعه توده جنگل را در روش‌های مختلف مدیریت جنگل، شبیه‌سازی کرده و درنهایت بهترین روش را انتخاب کنند. این مدل‌ها برای اولین بار بدون درنظرگرفتن شاخص رویشگاه و سن توده ارائه شده‌اند و شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاع، مدل تک‌درخت رویشی زادآوری (تعداد درختانی که به قطر بیشتر از هفت سانتی‌متر در طول دوره رسیده‌اند) و مدل تک‌درخت زنده‌مانی (مرگ‌ومیر) می‌باشند. از مدل لجستیک با آنالیز رگرسیون لجستیک برای مدل زنده‌مانی استفاده شد. شاخص‌هایی که در مدل رویش قطری و زنده‌مانی استفاده شدند، تأثیر رقابت، اندازه درخت و ترکیب توده را نشان می‌دهند. رقابت در توده از طریق سطح مقطع و سطح مقطع قطورترین درختان در توده بررسی و محاسبه شد. از میان مدل‌ها، مدل‌های رویشی قطری، رویش ارتفاعی و مدل زنده‌مانی از دقت و صحت خوبی برخوردار بودند. در مدل رویش قطری، گونه‌های بلندمازو و راش بیشترین رویش و در مدل رویشی زنده‌مانی، احتمال زنده‌مانی گونه ممرز نسبت به دیگر گونه‌ها کمتر بود. در مجموع استفاده از مدل در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل دارای معایب و محاسنی است که با آگاهی از این مهم می‌توان تصمیم‌های صحیح و منطقی گرفت.

واژه‌های کلیدی: مدل رویشی تک‌درخت، قطعات‌نمونه دائم، گرازبن، محصول.

مقدمه

در اجرای طرح‌های جنگلداری به‌روش دانه‌زاد ناهمسال، داشتن اطلاعاتی در مورد بهترین وضعیت از نظر تعداد پایه و حجم در هکتار ضروری به‌نظر می‌رسد (Bayat *et al.*, 2013a). باوجوداینکه بیش از ۲۰ سال از تغییر روش جنگلداری از دانه‌زاد همسال به دانه‌زاد ناهمسال در جنگل‌های شمال می‌گذرد، اما متأسفانه تاکنون، بررسی‌های کاربردی در جهت سوق‌دادن عرصه‌ها به‌حالت متعادل و نرمال، انجام نگرفته است و بیشتر برداشت‌های انجام‌شده در طبیعت، با محاسبه یک فرمول مشخص در تعیین حجم برداشت بوده و بدون توجه به وضعیت پراکنش تعداد درختان در طبقه‌های قطری و به‌دلیل نداشتن یک الگوی

مشخص به‌عنوان حالت متعادل و مطلوب، اغلب اقدام به نشانه‌گذاری‌های سلیقه‌ای شده است (Eslami, 2008). با توجه به مبهم بودن عامل‌های مؤثر در رویش و همچنین مشخص نبودن اندازه رقابت بین پایه‌های درختان، ضرورت ایجاد مدل برای پیش‌بینی‌های موردنظر بیشتر نمایان می‌شود (Zeid Nour Mohammadi, 2007). از مهم‌ترین عامل‌هایی که مدل‌سازی را توجیه می‌کند، کاربرد مدل برای مدیریت بهتر جنگل است. مدل‌های ایجادشده، مقدار رویش و عامل‌های مؤثر بر آن را مشخص کرده و بهترین گزینه را ارائه می‌دهند و در بعضی از مواقع، می‌توان آینده جنگل را نیز به‌کمک آنها پیش‌بینی کرد. آماربرداری‌های جنگل، شرایط فعلی جنگل را با استفاده از روش‌های آماربرداری صددرصد و یا آماربرداری با قطعات نمونه دائم و قطعات نمونه ثابت ارزیابی می‌کنند (Zobeiri, 2008; Namiranian, 2010). این اطلاعات با ترکیب مدل‌های رویشی جنگل برای پیش‌بینی توسعه آینده جنگل (رویش حجمی و غیره) و همچنین برای جلوگیری از بهره‌برداری بیش از حد و دنبال کردن توسعه پایدار جنگل، مهم هستند. مدل‌سازی به‌صورت سنتی با استفاده از جدول‌های محصول برای پیش‌بینی آینده توده جنگلی بسته به شرایط رویشگاهی مورداستفاده قرار می‌گیرد که میانگین‌های توده (میانگین قطر برابر سینه و میانگین ارتفاع) و یا موجودی توده (حجم، سطح مقطع و تعداد در هکتار) را برای توده‌های همسال و خالص مشخص می‌کنند. جدول‌های محصول براساس توده مرجع برای هر گونه و هر شاخص رویشگاهی تهیه می‌شود. شاخص رویشگاه را نیز میانگین ارتفاع کل در یک سن خاص، مشخص می‌کند. جدول‌های محصول برای تعدادی از گونه‌ها در برخی از مناطق اروپا تهیه شده‌اند (Hasenaure, 2006). باتوجه به‌اینکه جنگل‌های شمال کشور ناهمسال و آمیخته‌اند، برای دنبال کردن توسعه پایدار جنگل‌ها، به مدل‌های رویشی خاص آنها نیاز است. مدل‌های رویشی درخت به‌عنوان یک گزینه مناسب انتخاب می‌شوند، زیرا روند توسعه برای هر درخت را در سطح توده پیش‌بینی می‌کنند. در این مدل‌ها، سطح بررسی از سطح توده به درخت تغییر می‌کند که انعطاف‌پذیری زیادی در پیش‌بینی رویش درخت دارد، بدون اینکه عامل‌هایی از قبیل آمیختگی گونه، پراکنش سنی و سیستم‌های مختلف مدیریتی که در جدول‌های محصول و در سطح توده عامل‌های محدودکننده هستند، وجود داشته باشد (Hasenaure, 2006). Jalilvand (۲۰۰۳) به بررسی مدل و شبیه‌سازی واکنش رشد درختان گونه‌های مهم جنگلی نور به متغیرهای اقلیمی و غذایی پرداخت و برای این گونه‌ها، مدل اقلیمی ارائه داد. شاخص‌های مهم اقلیمی که در رویش مهم می‌باشند، با استفاده از مدل مشخص شده و در انتها نیز اعتبارسنجی شدند. Zeid Nour Mohammadi (۲۰۰۷) به بررسی تعیین مدل رویش قطری تک‌درخت گونه پلت پرداخت. مدل رویشی این مناطق نشان داد که شاخص رقابتی در مدل مؤثر بوده است. مشخصه‌های شیب، ارتفاع غالب و شاخص رقابتی مهم‌ترین اثر را در مدل داشتند.

در منابع خارجی نیز Siron (۲۰۰۳) در جنگل‌های سه ایالت شمالی در کانادا، به برآورد مدل رویشی تک‌درخت با آماربرداری در قطعه‌نمونه ثابت و طی یک بازه پنج‌ساله پرداخت و برای برازش مدل از آمار ناپارامتری استفاده کرد و شاخص رقابتی جدیدی را برای مدل‌های ناپارامتری ارائه داد و از شاخص رویشگاه استفاده نکرد. Abrams و همکاران (۱۹۹۹) در سوئیس به بررسی رقابت در ۱۴ توده کاج (*Pinus Ponderosa*) با استفاده از قطعه‌نمونه‌های تک‌درخت در جنگل‌های ناهمسال پرداخته و شاخص رقابت را برای ۱۴ توده به‌دست آوردند. در این پژوهش مشخص شد که تفاوت معنی‌داری بین شاخص رقابت در توده‌های مختلف وجود ندارد. Colbert (۲۰۰۴) در پنج ایالت آمریکا، به بررسی مدل رویشی تک‌درخت با استفاده از دیسک از درختان بلوط پرداختند و دو نوع مدل وابسته به فاصله و مستقل از فاصله را با چهار ساختار مدل‌سازی مقایسه کردند و مدل وابسته به فاصله را دقیق‌تر و شاخص رقابتی ریچارد را به‌عنوان بهترین شاخص برای پیش‌گویی در این جنگل‌ها معرفی کردند. Schroder و همکاران (۲۰۰۷) در آلمان، مدل تک‌درخت را برای مدل‌سازی در

تبدیل جنگل‌های همسال و خالص به ناهمسال و آمیخته استفاده کردند. همچنین از نرم‌افزار شبیه‌ساز BWINPro برای شبیه‌سازی رویش و محصول استفاده کردند. Pukkala و همکاران (۲۰۰۹) مدل رویشی تک‌درخت را با استفاده از قطعات‌نمونه دائمی در جنگل‌های ناهمسال فنلاند استفاده کردند. در این تحقیق، مدل‌های رویش و محصول شبیه‌سازی شدند که به مدیران اجازه انتخاب گزینه‌های مختلف مدیریتی را با تجزیه و تحلیل مدل‌های رویشی و محصول می‌دهند. با نگاهی به پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور مشخص می‌شود که تمام پژوهش بدنبال ارائه مدل رویش حجمی یا قطری برای تک‌گونه، به‌عنوان مثال گونه راش بوده‌اند که با توجه به سن و شاخص رویشگاه اقدام به مدل‌سازی شده است. جنگل‌های شمال کشور جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال هستند که نیاز به مدل‌های رویشی مناسبی دارند که بتوان یک مدیریت جامع و صحیح را برای آنها انجام داد و گزینه‌های مختلف مدیریتی را مقایسه و درنهایت بهترین گزینه که توسعه پایدار جنگل‌ها را تضمین می‌کند، برای آنها انتخاب کرد. هدف از این تحقیق، ارائه مدل‌های رویشی (رویش قطری، رویش ارتفاع، زادآوری و مرگ‌ومیر) برای جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال در بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرودکنار است که در این مدل‌ها برای اولین بار شاخص رویشگاه و سن که مختص جنگل‌های خالص و همسال هستند، استفاده نخواهد شد، زیرا در جنگل‌های ناهمسال نمی‌توان یک سن خاص و درنهایت شاخص رویشگاه را که وابسته به سن است، مشخص کرد. در این تحقیق، با بررسی رویش تک‌تک درختان، مدل رویشی کل توده ارائه می‌شود و فاقد محدودیت‌های جدول‌های محصول (سن، شاخص رویشگاه و غیره) است. مدل‌های رویش و محصول‌دهی برای جنگل‌های آمیخته و ناهمسال نقش بسیار مهمی در مدیریت پایدار و انتخاب گزینه‌های مناسب جنگلداری داشته و امکان توسعه و مدیریت جنگل‌ها را به‌نحو احسن فراهم می‌کنند. همچنین از این مدل‌ها می‌توان برای هدایت توده‌های مورد بهره‌برداری، برای رسیدن به یک تعادل پایدار در رویشگاه‌های مختلف بهره جست. به‌طور کلی اهداف این تحقیق را می‌توان در ارائه چهار مدل رویشی خلاصه کرد: الف) مدل تک‌درخت رویش قطری؛ ب) مدل تک‌درخت رویش ارتفاع؛ ج) مدل تک‌درخت رویش زادآوری (تعداد درختانی که به قطر بیشتر هفت سانتی‌متر در طول دوره رسیده‌اند) و د) مدل تک درخت زنده‌مانی (مرگ و میر).

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه

بخش گرازبن به‌وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت‌مدیریت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در هفت کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. این بخش در ارتفاع بین ۸۴۰ تا ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی، سنگ مادر آن آهکی و طبق نقشه وزارت نفت، متعلق به دوران ژوراسیک علیا است که در بعضی نقاط، طبقه‌های سخت شکافدار و طبقه‌های نرم به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. خاک این بخش در تقسیم‌بندی کلی، جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است (Anonymous, 2009). براساس اقلیم‌نگار آمبرژه، اقلیم منطقه موردبررسی مرطوب سرد و در سیستم اقلیمی دومارتن، با داشتن ضریب خشکی معادل ۸۲/۶، دارای اقلیم مرطوب نوع ب سرد است (Etemad, 2002). بخش گرازبن جنگل خیرود در محدوده راشستان‌های هیرکانی (*Fagetum hyrcanum*) واقع شده است که به‌علت دخالت‌های بی‌رویه و مستمر گذشته، فراوانی ممرز در توده‌های راش، به‌وفور مشاهده می‌شود. جوامع طبیعی راش در قسمت‌هایی به یک تیپ‌گذرای راش- ممرز تغییر یافته است که چنانچه دخالت انسانی در آن انجام نگیرد، این تیپ دوباره به‌سمت راشستان متحول خواهد شد.

روش پژوهش

نحوه پراکنش و اندازه‌گیری در قطعات‌نمونه دائم

داده‌هایی که برای مدل‌سازی استفاده شد از دو دوره آماربرداری با قطعات‌نمونه ثابت به‌دست آمدند. در سال ۱۳۸۲ به کمک یک شبکه آماربرداری مستطیلی ۲۰۰×۱۵۰

متری (الگوی دستگاه اجرائی) و با یک شروع تصادفی، تعداد ۲۵۸ قطعه‌نمونه دائمی دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور منظم در سطح بخش گرازبن پراکنده شدند. در داخل قطعات نمونه، قطر برابر سینه تمام درختان زنده‌ای که در ارتفاع برابر سینه، قطری بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر داشتند، به کمک خط‌کش دو بازو اندازه‌گیری و مقدار آنها در طبقه‌های یک سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد. محل اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان از طریق رنگ قرمز مشخص شد و زاویه هر یک از درختان (از طبقه قطری پنج سانتی‌متر به بالا)، نسبت به مرکز قطعه‌نمونه برداشت شد. با توجه به ناهمسال بودن قسمت اعظم توده‌های این بخش، برای تهیه منحنی ارتفاع، در هر قطعه‌نمونه قطورترین و نزدیکترین درخت به مرکز قطعه‌نمونه انتخاب شد و قطر برابرسینه و ارتفاع آنها اندازه‌گیری و یادداشت شد. در مرکز و چهار جهت خارجی هر قطعه‌نمونه، قطعات‌نمونه دیگری به مساحت چهار مترمربع تعیین و نسبت به برداشت اطلاعات زادآوری آنها اقدام شد. این عملیات پس از گذشت نه سال، مجدداً تکرار شد و پس از اتمام کار، نسبت به انجام محاسبات لازم و ارائه مدل‌های رویشی برای جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال، برای اولین بار در کشور اقدام شد. درختانی که قطر و ارتفاع آنها اندازه‌گیری شده بود، به سه گروه راش، ممرز و سایر گونه‌ها تقسیم شدند. سپس، تمام گونه‌ها در قالب یک مجموعه واحد درنظر گرفته شدند. با توجه به قطر و ارتفاع هر یک از درختان اندازه‌گیری شده، حجم مربوط از جدول حجم گونه‌های جنگلی شمال کشور که توسط دفتر فنی جنگلداری در اردیبهشت ۱۳۶۴ تهیه شده بود، استخراج شد و با توجه به داشتن اعداد مربوط به قطر (d) و حجم (v)، رابطه بین قطر و حجم برای گونه راش، ممرز، دیگر گونه‌ها و تمام گونه‌ها بدست آمد. به‌منظور استفاده بهتر از جدول‌های حجم در شبیه‌سازی کامپیوتری و بهینه‌سازی، این جدول‌ها به توابع و معادله‌های حجم تبدیل شدند. همچنین مجموعه مدل‌هایی برای برآورد قسمت‌های مختلف چوب تولیدشده از ساقه درخت (گرده‌بینه‌های درجه سه، دو، یک، خارج از درجه و کاتین) که تابعی از قطر برابر سینه می‌باشند، ایجاد شد. این مدل‌ها براساس تاریف راش تعریف شده‌اند. جدول‌های حجم به توابع حجم تبدیل شدند تا بتوان به‌صورت گام‌به‌گام، مدل‌های رگرسیونی تولید انواع چوب از قسمت‌های مختلف درخت را بدست آورد. این مدل‌ها شامل مجموعه‌ای از مدل‌های رگرسیونی لگاریتمی تبدیلی می‌باشند. هر مدل رویشی تک‌درخت شامل چهار قسمت است که به‌ترتیب عبارتند از: مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاع، مدل تک‌درخت رویش زادآوری (تعداد درختانی که به قطر بیشتر از هفت سانتی‌متر در طول دوره رسیده‌اند) و مدل تک‌درخت زنده‌مانی (مرگ‌ومیر). در این تحقیق از مدل لجستیک با آنالیز رگرسیون لجستیک برای مدل زنده‌مانی استفاده شد. مدل‌های غیرخطی با واردکردن اثر آمیختگی برای مدل‌های رویش قطری و ارتفاع مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص‌هایی که در مدل رویش قطری و زنده‌مانی استفاده شدند، تأثیر رقابت، اندازه درخت و ترکیب توده را نشان می‌دهند. رقابت در توده از طریق سطح مقطع و سطح مقطع قطورترین درختان در توده بررسی و محاسبه شد. شاخص‌های رقابت نقشی در مدل رویشی ارتفاع نداشته‌اند. برای رفع اثر همبستگی مشاهده شده در بین قطعات‌نمونه دائم، از شاخص تصادفی قطعات‌نمونه که برای رفع اثر همبستگی احتمالی ناشی از خطا در آماربرداری قطعات نمونه محاسبه می‌شود، برای مدل‌های رویش قطری و ارتفاع استفاده شد.

نتایج

ترکیب داده‌های مورداستفاده در مدل‌سازی رویش

تعداد کل مشاهدات در دسترس برای مدل رویش قطری ۶۶۲۷ اصله درخت بود که ترکیب گونه‌ای آن عبارتست از: راش ۲۳۶۰ اصله، ممرز ۳۲۹۶ اصله، بلندمازو ۳۵۶ اصله، پلت ۲۷۷ اصله، شیردار ۲۰۲ اصله، نمدار ۱۰۸ اصله، ملج ۲۴ اصله، گونه‌های دیگر ۴ اصله. تعداد مشاهدات دردسترس برای مدل رویشی ارتفاع ۵۲۵ جفت داده قطر و

ارتفاع و برای مدل زنده‌مانی ۷۵۸۱ اصله درخت بود. سطح مقطع توده و تعداد در هکتار درختان در پلات بسیار متغیر بود (جدول ۱). دامنه قطری درختان بین ۷ تا ۱۸۸ سانتی‌متر و رویش قطری ۱۰ساله بیشتر درختان بین صفر تا ۱۰ سانتی‌متر بود.

جدول ۱- خصوصیات داده‌های مورداستفاده در مدل رویشی قطری

متغیر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف‌معیار
تعداد درخت در هکتار	۱۲۲۰	۲۰	۴۲۱	۲۴۱
سطح‌مقطع توده (مترمربع در هکتار)	۱۱۳	۰	۳۶/۸	۱۴
*میانگین قطری (سانتی‌متر)	۱۷۵	۱۴	۳۰/۱	۱۰/۹
قطر (سانتی‌متر)	۱۸۸	۷	۳۰/۹	۲۴/۷
**سطح مقطع قطورترین (مترمربع در هکتار)	۱۱۳	۰	۲۹/۴	۱۴/۵

*میانگین قطری برای تک‌تک قطعات‌نمونه

*سطح مقطع قطورترین درختان در توده برای تک‌تک قطعات‌نمونه

مدل‌ها

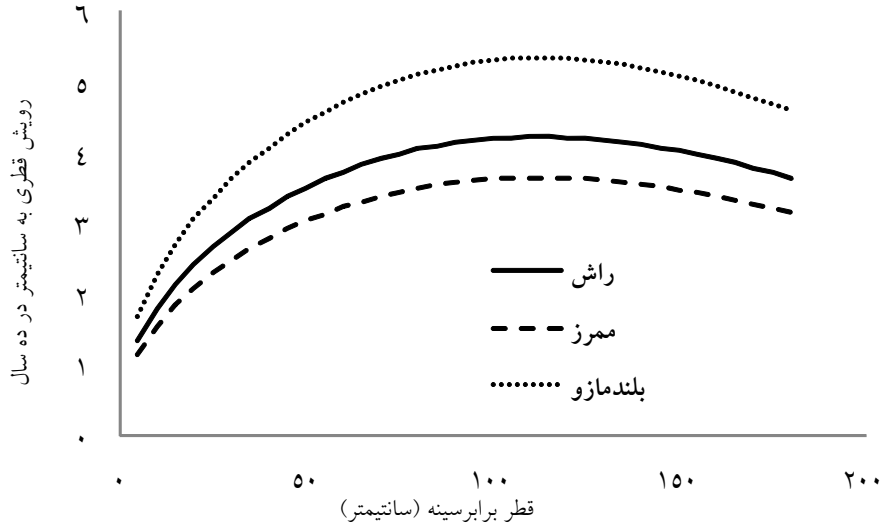
مدل رویش قطری

مدلی که برای رویش قطری برازش داده شد، به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد.

$$id_{ij} = \exp(-0/8824 + u_j + 0/4343 \ln(d_{ij}) - 0/1987 (d_{ij}/100)^2 + 0/0031 BAL_{ij} + 0/5861 Fagus + 0/4396 Carpinus + 0/8202 Quercus + 0/6940 Alnus + 0/7475 Acer\ velutinum + 0/6796 Acer\ campestre + 0/6535 Tilia) + e_{ij}$$

رابطه (۱)

در این رابطه id_{ij} رویش قطری ۱۰ساله درخت i از قطعه نمونه j به سانتی‌متر، $u_j \sim N(0,\sigma_u^2)$ عامل قطعه نمونه تصادفی، d قطر در ارتفاع برابر سینه به سانتی‌متر، BAL سطح مقطع قطورترین درختان به مترمربع در هکتار و $e_{ij} \sim N(0,\sigma_e^2)$ باقیمانده است. راش، ممرز و گونه‌های دیگر، شاخص‌های متغیر برای گونه‌های مختلف می‌باشند (در رابطه ۱ اگر گونه مورد نظر راش باشد، ۱ = Fagus و برای بقیه گونه‌ها صفر گذاشته می‌شود). انحراف معیار برای شاخص تصادفی قطعه‌نمونه ۰/۰۸۶ و میانگین مربعات خطا (RMSE) ۳/۶۸ سانتی‌متر است. مدل و شکل ۱ نشان می‌دهند که در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال خزری، افزایش رویش قطری تا قطر ۱۰۰ سانتی‌متر تابعی از قطر برابر سینه است یعنی با افزایش قطر، رویش قطری نیز افزایش می‌یابد، اما از قطر ۱۰۰ سانتی‌متر به بعد با افزایش قطر، رویش قطری کاهش نشان می‌دهد. بین دو گونه اصلی راش و ممرز، گونه راش رشد سریعتری دارد، البته گونه بلندمازو در آنالیز گونه‌ها بیشترین سرعت رویش را نسبت به گونه‌های دیگر نشان می‌دهد (شکل ۱). افزایش رقابت (سطح مقطع قطورترین درختان) سبب کاهش رویش قطری می‌شود.



شکل ۱- نمودار رویش قطری به‌صورت تابعی از قطر برابر سینه و گونه‌ها

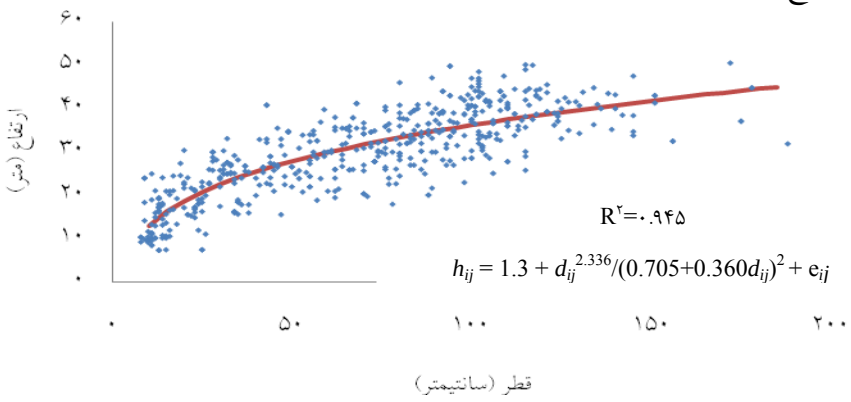
مدل رویشی ارتفاع

نوع گونه تأثیری در مدل رویشی ارتفاع نداشت. بهترین مدل رویشی ارتفاعی که به‌دست آمد، به‌صورت رابطه ۲ است:

$$h_{ij} = 1/3 + d_{ij}^{2.336}/(0/705+0/360d_{ij})^2 + e_{ij}$$

(رابطه ۲)

در این رابطه h_{ij} ارتفاع درخت i از قطعه‌نمونه j، d_{ij} قطر در ارتفاع برابر سینه همان درخت و e_{ij}~$N(0,\sigma_e^2)$ باقیمانده است. اثر نوع گونه به‌علت عدم تغییرات ناشی از ناهمسال بودن توده، در مدل استفاده نشد. برای محاسبه ضرایب مدل، از روش حداقل مربعات استفاده شد. میانگین مربعات خطا ۵/۴۹ متر بدست آمد. مدل تا ۰/۹۴۵ درصد، تغییرات ارتفاع‌های درختان اندازه‌گیری‌شده را توضیح می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- مدل رگرسیونی قطر- ارتفاع

مدل زنده‌مانی

نتایج آزمون معنی‌دار بودن ضرایب این مدل را نشان می‌دهد.

رابطه ۳ برای مدل زنده‌مانی برازش داده شد و جدول ۲

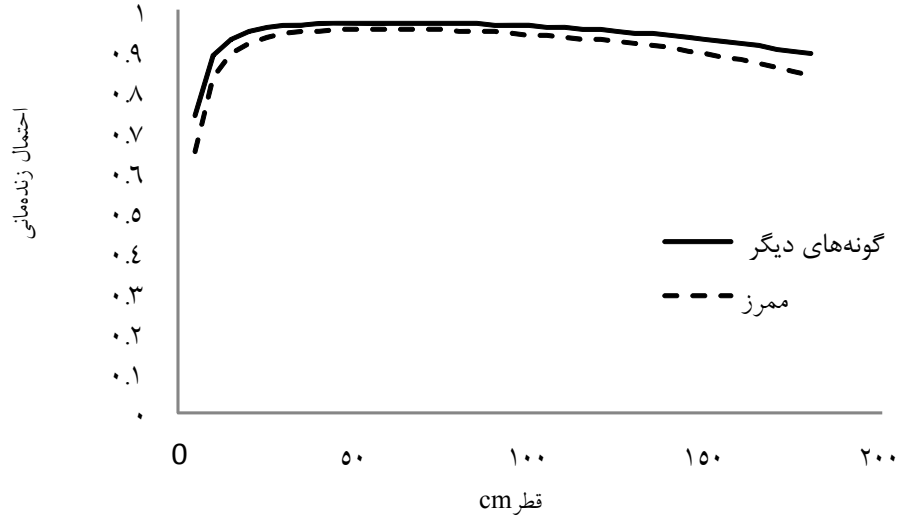
رابطه (۳)

$$s_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(-(1.282 + 0.954 \ln(d_{ij}) - 0.023 d_{ij} - 0.116 BAL_{ij} / \sqrt{d_{ij}+1} - 0.438 Carpinus))}$$

جدول ۲ – آزمون‌های معنی‌داری ضرایب برای مدل زنده‌مانی

	B	انحراف معیار	معیار والد	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	تابع نمایی (B)
قطر برابر سینه	-۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۲۱/۱۵۷	۱	۰/۰۰۰	۰/۹۷۷
سطح مقطع قطورترین درختان (مترمربع در هکتار)	-۰/۱۱۶	۰/۰۱۲	۹۲/۱۲۶	۱	۰/۰۰۰	۰/۸۹۱
لگاریتم طبیعی قطر	۰/۹۵۴	۰/۱۷۲	۳۰/۳۸۹	۱	۰/۰۰۰	۲/۵۹۶
گونه ممرز	-۰/۴۳۸	۰/۰۹۰	۲۳/۶۶۴	۱	۰/۰۰۰	۰/۶۴۵
مقدار ثابت	۱/۲۸۲	۰/۴۵۷	۷/۸۷۲	۱	۰/۰۰۵	۳/۶۰۳

در رابطه ۳، s_{ij} احتمال زنده‌مانی درخت i از قطعه‌نمونه j که برای ۱۰ سال زنده می‌ماند، d_{ij} قطر در ارتفاع برابر سینه و BAL سطح مقطع قطورترین درختان (مترمربع در هکتار) Spe_2 گونه ممرز Exp(B) تابع نمایی مورد نظر، lnD لگاریتم طبیعی قطر مورد نظر،S.E انحراف معیار، Wald معیار والد است. مدل نشان می‌دهد که درختان با قطر ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر، بهترین و بیشترین زنده‌مانی را دارند. با افزایش رقابت (سطح مقطع قطورترین درخت) زنده‌مانی کاهش پیدا می‌کند. گونه ممرز نسبت به دیگر گونه‌ها، به مقدار کمی از زنده‌مانی کمتری برخوردار است. میانگین مربعات خطا ۹/۸۵ درصد و درصد پیش‌بینی صحیح مدل زنده‌مانی (اگر از ۰/۵ به‌عنوان آستانه زنده‌مانی استفاده شود) ۹۱/۸ درصد است (شکل ۳).



شکل ۳– مدل رویشی زنده‌مانی (مرگ‌ومیر)

(تمام گونه‌ها در مدل زنده‌مانی وارد شده‌اند، فقط گونه ممرز که از احتمال زنده‌مانی کمتری برخوردار است از بقیه جدا شده است)

به‌علت تغییرات زیادی که ناشی از سطح‌مقطع توده، متوسط اندازه درخت، رقابت گونه‌ای و یا هر مشخصه دیگری که قابل رویت در سطح توده باشد، مدل مناسبی که بر روی داده‌های زادآوری برازش داده شود، پیدا نشد. متوسط مقدار زادآوری یعنی درختانی که قطر آنها در طول دوره ۱۰ ساله بیشتر از هفت سانتی‌متر شده است، ۱۶

درخت در هکتار است که در بین گونه‌های مختلف پراکنده شده‌اند (جدول ۳). متوسط قطر درختانی که در پایان دوره از قطر هفت سانتی‌متر گذشته‌اند، ۱۰/۶ سانتی‌متر است. ساده‌ترین راه برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی (زادآوری)، استفاده از ارزش متوسط برای کل توده است. بنابراین مدل دیگری که یک مدل پویا و دینامیک نیست، بر روی داده‌ها برازش داده شد. در این مدل (رابطه ۴)، میانگین مربعات خطا هفت اصله درخت در هکتار است.

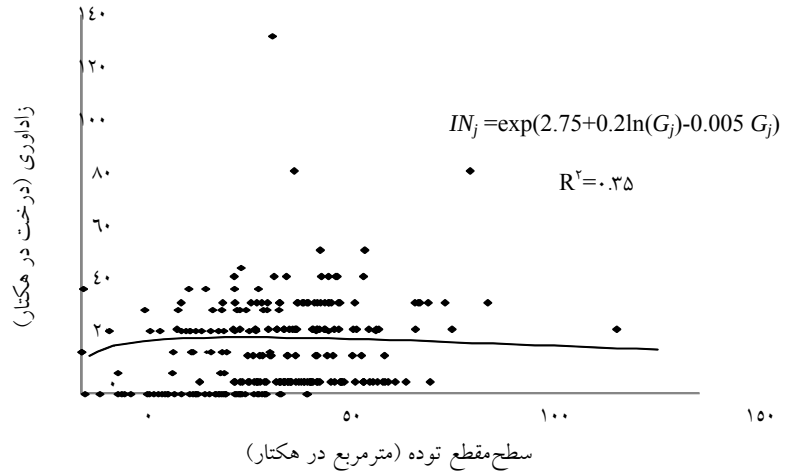
$$IN_j = \exp(2.75+0.2\ln(G_j)-0.005\ G_j)$$

(رابطه ۴)

در این رابطه، IN_j زادآوری ۱۰ساله (درختانی که قطر آنها در طول دوره بیشتر از هفت سانتی‌متر در هکتار شده است) از پلات j و G_j سطح‌مقطع توده به مترمربع در هکتار است. این مدل در بهینه‌سازی‌ها استفاده شد (شکل ۴).

جدول ۳- میانگین تعداد درختان گونه‌های مختلف که در طول دوره ۱۰ساله از قطر هفت سانتی‌متر گذشته‌اند

عامل	گونه										
	راش	ممرز	بلندمازو	توسکای ییلاقی	انجیلی	پلت	شیردار	نمدار	ملج	سایر گونه‌ها	مجموع
تعداد در هکتار	۸/۷۱	۶/۴۷	۰/۰۴	۰/۲	۰	۰/۰۴۶	۰	۰/۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۴	۱۵/۸۶



شکل ۴- مدل رویشی زادآوری (درختانی که قطر آنها طی ۱۰ سال از هفت سانتی‌متر بیشتر شده است)

معادله‌های تولید چوب راش در بخش گرازبن

شکل ۵ منحنی‌های تولید چوب (L1: گرده‌بینه درجه یک)، (L2: گرده‌بینه درجه دو)، (W: گرده‌بینه خارج از درجه)، (B1: کاتین درجه یک)، (B2: کاتین درجه دو) را از یک مترمکعب چوب در طبقه‌های مختلف قطری نشان می‌دهد. معادله‌های تولید چوب راش در رابطه‌های ۸ تا ۲۰ ارائه شده است. سهم گرده‌بینه درجه یک، دو، سه و خارج از درجه (L1+L2+L3+W4) از معادله‌های مذکور بدست می‌آید. رابطه‌های ۸ تا ۲۰ از داده‌هایی که به‌هنگام جمع‌آوری قطعات نمونه در فصل زمستان گذشته در هنگام قطع و بهره‌برداری جمع‌آوری شده‌بودند، بدست آمده‌اند.

$y = -۸/۲۹۶ + ۲/۴۴۵\ln(d)$ $R^2 = ۰/۹۲۱$ (رابطه ۸)

$pL = \exp(y)/(۱+\exp(y))$ (رابطه ۹)

سهم کاتین درجه یک و دو از رابطه‌های ۱۰ تا ۱۲ بدست می‌آید.

$p(B۱+B۲) = ۱-pL$ (رابطه ۱۰)

(رابطه ۱۱)

$pB۲ = ۰/۴۴ * p(B۱+B۲)$

(رابطه ۱۲)

$pB۲ = ۰/۵۶ * p(B۱+B۲)$

سهم گرده‌بینه خارج از درجه از رابطه‌های ۱۳ تا ۱۵ بدست می‌آید.

(رابطه ۱۳)

$y = ۳/۵۶۸ - ۱/۱۰۸\ln(d)$ $R^۲ = ۰/۵۴۳$

$pW۴ \text{ of } L = \exp(y)/(۱+\exp(y))$ (رابطه ۱۴)

$pW۴ = pL * pW۴\text{of } L$ (رابطه ۱۵)

سهم گرده‌بینه درجه سه از رابطه‌های ۱۶ تا ۱۸ به‌دست می‌آید.

(رابطه ۱۶)

$y = ۵/۵۶۷ - ۲/۲۸۷\ln(d)$ $R^2 = ۰/۵۳۷$

$pL۳ \text{ of } L۱۲۳ = \exp(y)/(۱+\exp(y))$ (رابطه ۱۷)

(رابطه ۱۸)

$pL۳ = pL*(۱-pW \text{ of } L)*pL۳\text{of } L۱۲۳$

سهم (نسبت) گرده‌بینه درجه یک و دو نیز از رابطه‌های ۱۹ و ۲۰ بدست می‌آید.

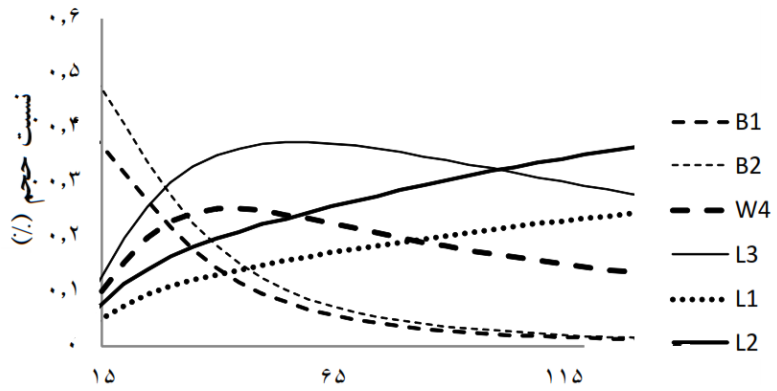
(رابطه ۱۹)

$pL۱ = ۰/۴۰ * pL*(۱-pW \text{ of } L)*(۱- pL3 \text{ of } L۱۲۳)$

(رابطه ۲۰)

$pL۲ = ۰/۶۰ * pL*(۱-pW \text{ of } L)*(۱-pL۳\text{of } L۱۲۳)$

در روابط فوق p معادل سهم (Proportion)، L معادل گرده‌بینه (Log) و B معادل کاتین (Bolt) است.



طبقه قطری (سانتی‌متر)

شکل ۵– منحنی‌های تولید چوب در طبقه‌های قطری (L1: گرده بینه درجه۱، L2: گرده بینه درجه۲، W: گرده بینه خارج از درجه، B1: کاتین درجه۱ و B2: کاتین درجه۲)

بحث

جنگل‌های هیرکانی دارای کارکردهای مختلفی ازقبیل تولید چوب، تنوع زیستی، زیبایی و تفرج، حفاظت از آب و خاک و غیره می‌باشند که نیاز به یک مدیریت یک‌پارچه و

همه‌جانبه دارند این تحقیق مدل‌هایی را ارائه کرده است که می‌توان از آنها برای بررسی و شبیه‌سازی روش‌های مختلف مدیریت جنگل‌های مناطق مورد مطالعه کشور استفاده کرد. مجموعه این مدل‌ها به مدیران در مدیریت بهینه تولید چوب در این جنگل‌ها کمک فراوانی می‌کنند. این نتایج در راستای تحقیق پیشین است که گزارش کرده‌اند، با استفاده از مدل‌های رویشی، می‌توان روش‌های مختلف مدیریتی را بررسی کرد (Farahmand, 2012). بعضی از پژوهشگران بر این باورند که با استفاده از مدل‌های رویشی، اجرای مدیریت ناهمسال برای جنگل‌های هیرکانی مشکل و سخت است (Heshmatol Vaezin *et al.*, 2008) و برخی دیگر این روش را عملی و قابل اجرا در این جنگل‌ها می‌دانند (Lohmander & Mohammadi-Limaei, 2008). مدل و آنالیزهای پژوهش پیش‌رو نیز بر عملی‌بودن استفاده از مدل‌های رویشی در اجرای این روش و حفظ پایداری جنگل دلالت دارد.

امروزه استفاده از مدل‌های رویشی در بررسی سناریو و روش‌های مدیریت جنگل امری رایج و فراگیر شده است (Peng, 2000; Griess & Knoke, 2013; Pretzsch *et al.*, 2013). در این تحقیق برای اولین بار بدون اینکه از شاخص رویشگاه و سن استفاده شود، مجموعه‌ای از مدل‌ها برای جنگل‌های آمیخته و ناهمسال ارائه شد. این مدل‌ها شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاع، مدل تک‌درخت رویش زادآوری و مدل تک درخت رویش زنده‌مانی (مرگ‌ومیر) بود تا به کمک آنها بتوان روش‌های مختلف مدیریت در جنگل را برای توده‌های ناهمسال و آمیخته مقایسه و بهترین روش را برای مدیریت انتخاب کرد، به‌طوری‌که پایداری این جنگل‌ها که سرمایه‌ای برای نسل فعلی و آینده هستند حفظ شود. همان‌طور که از ضرایب معادله و میانگین مربعات خطا (۳/۶۸ سانتی‌متر) برمی‌آید، مدل تک‌درخت رویش قطری (رابطه ۱ و شکل ۱) از دقت و صحت خوبی برخوردار است. مدل رویش قطری و شکل ۱ نشان می‌دهد که در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال خزری. از دو گونه اصلی راش و ممرز، گونه راش رشد سریع‌تری دارد، البته گونه بلندمازو در آنالیز گونه‌ها، بیشترین سرعت رویش را نسبت به گونه‌های دیگر نشان داد (شکل ۱). افزایش رقابت (سطح‌مقطع قطورترین درختان) سبب کاهش رویش قطری می‌شود. همان‌طور که از شکل ۲ و رابطه ۲ برمی‌آید، نوع گونه تأثیری در مدل رویشی ارتفاع نداشته است. این نتیجه زمانی به‌دست آمد که برای هر گونه، به‌طور جداگانه مدل رویش ارتفاعی تهیه شد و با مدل رویش ارتفاعی تمام گونه‌ها مقایسه شد که تفاوت چندانی از نظر معنی‌داری آماری مشاهده نشد. مدل زنده‌مانی برای گونه‌های مختلف نیز تهیه شد و مشخص شد که ممرز نسبت به بقیه گونه‌ها از احتمال زنده‌مانی کمتری برخوردار است (شکل ۳ و رابطه ۳). زیرمدل زادآوری (درختانی که قطر آنها از هفت سانتی‌متر در پایان دوره گذشته است) نسبت به مدل‌های دیگر، دارای صحت کمتری بود (شکل ۴ و رابطه ۴)، که به‌دلیل بی‌نظمی ذاتی زادآوری نیاز به یک پایگاه داده بزرگتر و یا قطعات نمونه بزرگتر با تعداد بیشتر است تا بتوان تأثیرات ساختار توده را بر زادآوری بررسی کرد. ساده‌ترین راه برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی (زادآوری) استفاده از ارزش متوسط برای کل توده است. به‌هرحال از آنجایی‌که با افزایش سطح‌مقطع توده از زادآوری کاسته می‌شود (Bayat *et al.*, 2013a)، این یک برازش زیستی نیست و همچنین این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که یک توده خیلی تنک زادآوری کمتری دارد که نتیجه‌ای از کمبود درخت مادری بذرده، افزایش رقابت بوته‌ها، تمشک‌ها، گیاهان علفی و زیراشکوب است. همه اینها سبب کاهش زادآوری می‌شود. یک عامل کلیدی در بهبود حاصلخیزی در جنگل‌های شمال کشور، زادآوری و تجدید نسل بهتر است (Tahvonen, 2009; Tahvonen *et al.*, 2010; Pukkala *et al.*, 2010). همچنین این تحقیق سعی برآن داشت که استفاده از قطعات نمونه ثابت را در مدل‌سازی رویش معرفی کند. امروزه کاربرد قطعات نمونه ثابت در دیگر نقاط دنیا برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی رویش در جنگل و همچنین بررسی سناریوهای جنگلداری و بررسی تغییرات جنگل در طول دوره‌ای مشخص، به‌خوبی روشن شده است (Bayat *et al.*,

2013b) و لازم است که این روش آماربرداری در جنگل‌های دیگر کشورمان نیز به‌سرعت پیاده و اجرا شود تا بتوان از مزایای این روش برخوردار شد. در پایان باید بر این نکته تأکید کرد که استفاده از مدل‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل دارای معایب و محاسنی است که با آگاهی بر این مهم، می‌توان تصمیم‌های صحیح و منطقی گرفت. به‌عنوان مثال از محاسن آنها، کاربرد مدل‌های رویشی در بررسی روش‌های مختلف مدیریت جنگل، تغییرات اقلیمی، بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر رویش و ترکیب گونه‌ای و غیره است که خود گویای اهمیت این مدل‌ها می‌باشد. از معایب آنها نیز نیاز به تخصص و تبحر فراوان در اجرا و استفاده از آنها است.

References

- Abrams, M.D., Copenheaver, C.A., Terazawa, K., Umeki, K., Takiya, M. and Akashi, N. 2003. A 370 year denderoecological history of an old-growth Abies-Acer-Quercus forest in Hokkaido, Northern Japan. Canadian Journal of Forest Research, (29):1891-1899.
- Anonymous, 2009. Forest management project of Gorazbon section, kheyrud experimental forest. University of Tehran, 375p (In Persian).
- Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M. and Fathi, J. 2013a. Determining the growing volume and number of trees in the forest using permanent sample plots. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21 (3): 424-438 (In Persian).
- Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M. and Zobeiri, M. 2013b. Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania. European Journal of Forest Research, 132:851-864**.**
- Colbert, D.M. 2004. The Practice of Silvicultere. Jon Willey & Sons, 344p.
- Eslami, A. 2008. Investigation of possible to achieve a balance of Fagetum hyrcanum curves with uneven aged structure. Ph.D. thesis, Department of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Sciences and Researches Branch, Tehran, 124p (In Persian).
- Etemad, V. 2002. Quantity and quality investigation seed of fagus the forests of Mazandaran province. Ph.D. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, 258p (In Persian).
- Farahmand, K. 2012. Economic analysis of optimal utilising at Northern forest of Iran. International Journal of AgriScience, 2(4): 374-384.
- Griess, V.C. and Knoke, T. 2013. Bioeconomic modelling of mixed Norway spruce - European beech stands: Economic consequences of considering ecological effects. European Journal of Forest Research, 132(3): 511-522.
- Hasenaure, H. 2006. Sustainable Forest Management, Growth Models for Europe. Springer, 398p.
- Heshmatol Vaezin, S.M., Attarod, P. and Bayramzadeh, V. 2008. Tree volume increment models of broadleaf species in the uneven-aged mixed Caspian forest. Asian Journal of Plant Sciences, 7: 700-709.
- Jalilvand, H. 2003. Model and simulation growth reaction in tree of forest to climate and nourishment variables. Ph.D. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Noor, 258p (In Persian).
- Lohmander, P. and Mohammadi-Limaei, S. 2008. Optimal continuous cover forest Management in an uneven-aged forest in the North of Iran. Journal of Applied Science, 8(11): 1995-2007.
- Namiranian, M. 2010. Tree Measurement and Forest Biometry. Tehran University Press, 594p (In Persian).
- Peng, Ch. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: Past, present and future. Forest Ecology and Management, 132: 259-279.
- Pretzsch, H., Bielak, K., Block, J., Bruchwald, A., Dieler, J., Ehrhart, H.P., Kohnle, U., Nagel, J., Spellmann, H., Zasada, M. and Zingg, A. 2013. Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus pretraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. European Journal of Forest Research, 132(2): 263-280.
- Pukkala, T., Lähde, E. and Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven aged stand in Finland. Forest Ecology and Management, 258: 207-216.
- Pukkala, T., Lähde, E. and Laiho, O. 2010. Optimizing the structure and management of uneven-sized stands in Finland. Forestry, 83(2): 129-142.
- Schroder, J., Röhle, H., Gerold, D. and Münder, K. 2007. Modelling individual-tree growth in stands under forest conversion in East Germany, European Journal of Forest Research, 126(3): 459-472.
- Siron, W. 2003. Competition Index and Stand Modelling. McGraw Hill, 509p.
- Tahvonen, O. 2009. Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. Natural Resources Modelling, 22: 289-321.
- Tahvonen, O., Pukkala, T., Laiho, O., Lähde, E. and Niinimäki, S. 2010. Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. Forest Ecology and Management, 260: 106-115.
- Zeid Nour Mohammadi, M. 2007. Development of diameter increment of *Acer velutinum.* M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari,105P (In Persian).
- Zobeiri, M. 2008. Forest Biometry. Tehran University Press, 407p (In Persian).

Growth and yield models for uneven – aged and mixed broadleaf forest (Case study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran)

M. Bayat[1*], M. Namiranian[2], M. Zobeiri[2], M. Omid[3] and T. Pukkala[4]

1*- Corresponding author, Ph.D student, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E mail: mbayat1983@ut.ac.ir

2- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Professor, Department of Forestry, University of Eastern Finland, Joensuu, Finland.

Received: 05.15.2013 Accepted: 09.22.2013

Abstract

Hyrcania is a productive region near the southern coast of Caspian Sea. Her forests are mostly uneven-aged beach-dominated hardwood mixtures. There is increasing willingness to treat these forests without clear-felling, following the ideas of continuous cover management. However, lack of growth and yield models have delayed this endeavor, and no instructions for uneven-aged management have been issued so far. 768.4 ha virgin forest of Gorazbon district in Kheyroud educational- experimental Forest was sampled using 258 permanent sample plots in which two inventories was done. This study developed a set of models which enable the simulation of stand development in alternative management schedules and select finally the best method. The models were used to optimize the stand structure and the way in which various initial stands should be converted to the optimal uneven-aged structure. These models firstly developed without site index and age. The model set consists of individual-tree diameter increment model, individual tree height model, survival model, and a model for ingrowth. Logistic model fitted with binary logistic regression analysis was used to model the probability of survival. Non-linear mixed-effects modeling was used in height and diameter increment modeling. The predictors used in survival and increment modeling described the influence of tree size, competition and species. A common model was fitted for all species, using indicator variables to account for any species effects. Competition was described by stand basal area and basal area in larger trees. Competition variables were not included in the tree height model since they would result in instantaneous (and illogical) changes in predicted tree height in simulated thinning treatments. Within the models individual-tree diameter increment model, individual tree height model, survival model had high accuracy, *Fagus orientalis* and *Quercus casaneifolia* species had highest incremental diameter between species. In the end, using of growth models have advantages and disadvantages in planning and forest management that aware of this importance can be taken correct and logical decisions.

Key words: Individual-tree model, Gorazbon district, permanent sample plots, yield.