مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال یازدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸
ص ۳۷۳-۳۸۶

***مقاله پژوهشی***

# ارائهٔ مدل‌های رویشی تک‌درخت به‌منظور مدیریت جنگل‌های ناهمسال و آمیختهٔ هیرکانی (مطالعهٔ موردی: جنگل فریم)

**سیده کوثر حمیدی[۱*]، اصغر فلاح[۲]، محمود بیات[۳] و سید علی حسینی یکانی[۴]**

[۱] دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.
[۲] دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.
[۳] استادیار پژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.
[۴] دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۰)

## چکیده

جنگل‌های هیرکانی که بیشتر روی دامنه‌های شمالی البرز واقع شده‌اند، از نظر ویژگی‌های ممتاز خود از اهمیت زیادی برخوردارند. بر همین اساس بررسی تحول این جوامع جنگلی و بررسی وضعیت رویشی آنها می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران اجرایی در هدایت و پرورش توده‌های جنگلی موجود کمک کند. در این پژوهش که در شمال ایران، جنگل فریم، بخش جوجاده انجام گرفت، با استفاده از ۳۱۳ قطعه نمونهٔ دائم ۱۰ آری در دو مقطع زمانی به فاصلهٔ ۱۰ سال (۱۳۹۲-۱۳۸۲)، مدل‌های رویشی تک‌درخت شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی، مدل تک‌درخت زنده‌مانی (مرگ‌ومیر) و مدل تک‌درخت رشد به داخل (زادآوری) ارائه شد. رقابت در توده از طریق سطح مقطع و سطح مقطع قطورترین درختان در توده بررسی و محاسبه شد. نتایج نشان داد در مدل رویش قطری، افزایش رویش قطری تا قطر ۹۰ سانتی‌متر تابعی از قطر برابرسینه است. یعنی با افزایش قطر رویش قطری نیز افزایش می‌یابد، ولی از قطر ۹۰ سانتی‌متر به بعد با افزایش قطر، رویش قطری کاهش می‌یابد. گونه‌های بلوط و افرا بیشترین رویش قطری را داشتند. در مدل رویش ارتفاعی، نوع گونه تأثیری در مدل رویشی ارتفاع نداشت؛ در مدل زنده‌مانی (مرگ‌ومیر)، احتمال زنده‌مانی گونهٔ ممرز و توسکا از دیگر گونه‌ها کمتر بود و در مدل رشد به داخل (زادآوری) با افزایش سطح مقطع توده از رشد به داخل کاسته شد. در نهایت در پژوهش حاضر سعی شد مدل‌هایی ارائه شوند که اندازهٔ دقیق رویش قطری، زادآوری و زنده‌مانی را بدون در نظر گرفتن سن، برآورد و اندازه‌گیری کنند که این مسئله کمک فراوانی برای مدیریت جنگل ناهمسال است.

**واژه‌های کلیدی:** جنگل هیرکانی، رقابت، قطعات نمونهٔ دائم، مدل رویش تک‌درخت.

## مقدمه

جنگل‌های هیرکانی که تنها جنگل‌های تجاری ایران و نیز به‌جامانده از جنگل‌های پهن‌برگ مناطق معتدل نیمکرهٔ شمالی هستند، اهمیت فراوانی برای برنامه‌ریزان و سیاستگذاران حوزهٔ منابع طبیعی دارند. جنگل‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین و محوری‌ترین

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳۵۶۹۰۶۸
ایمیل: k.hamidi86@yahoo.com

مسئله برای استمرار حیات انسان و بقای کرهٔ زمین و نیز پشتوانهٔ محیط زیست بشر در برنامه‌ریزی‌ها مطرح‌اند. از این‌رو برنامه‌ریزی‌های اقتصادی بدون هماهنگی با منابع طبیعی تجدیدشونده یا به‌منظور تضعیف و نابودی آنها می‌تواند موجب محو ملل و تمدن‌های اصیل جهانی شود (Mattaji et al., 2000). امروزه جنگل‌ها نه‌تنها قطب اقتصادی، بلکه پشتوانهٔ بقای دیگر بخش‌ها به شمار می‌روند (Vanclay, 1994). بر این اساس تصمیم‌گیری به‌عنوان جوهرهٔ مدیریت، جزء جدایی‌ناپذیر وظایف مدیران و برنامه‌ریزان در واحدهای منابع طبیعی است. برنامه‌ریزی مدیریت جنگل ابزار مهم تصمیم‌گیری در جنگلداری بوده و نتیجهٔ نهایی آن، یک طرح مدیریتی است که در آن فعالیت‌های پیش‌بینی‌شده، زمان‌بندی آنها و کنترل برای رسیدن به اهداف مدیریت جنگل در یک منطقهٔ جنگلی ارائه می‌شود. برنامه ریزی مکانی به‌عنوان روش‌های مدل‌سازی تعریف می‌شود که ملزومات مکانی همانند اهداف متعدد (چندگانه) مدیریتی و اغلب متضاد را در سطح چشم‌انداز تطبیق می‌دهد (Baskent & Keles, 2005). مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل نیازمند اطلاعاتی است که افزون‌بر وضعیت فعلی جنگل، وضعیت آتی و جایگزین را توصیف کند. از مهم‌ترین روش‌های دستیابی به اطلاعات دربارهٔ وضعیت آتی جنگل، استفاده از مدل‌های رویش و محصول است (Bettinger et al., 2005). مدل‌های رویش و محصول که پویایی جنگل را توصیف می‌کنند، کاربرد گسترده‌ای در مدیریت جنگل برای پیش‌بینی محصولات آتی و بررسی گزینه‌های مدیریتی دارند (Bayat et al., 2014; Burkhart, 1990; Vanclay, 1994). پیش‌بینی رویش آتی جنگل و عملکرد آن تحت سناریوهای مختلف مدیریت، عنصری اساسی در برنامه‌ریزی مدیریت پایدار جنگل است (Hyytiainen et al., 2006; Pretzch et al., 2008). در این زمینه تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. ZeidNoor Mohammadi (2007) به تعیین مدل رویش قطری تک‌درخت گونهٔ پلت پرداخت. هدف تحقیق او تعیین مهم‌ترین مشخصه‌های مؤثر بر رویش قطری گونهٔ پلت بود. این تحقیق در سه منطقهٔ ارتفاعی دلاک خیل، شیرگاه و لامه امامزاده عبدالله انجام گرفت. 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. Abedi & Ghamgosar (2012) در پژوهشی به بررسی مدل رویش و تعیین حالت پایدار تودهٔ جنگلی ناهمسال با استفاده از برنامه‌ریزی خطی پرداختند. آنان با توجه به نوع مصرف، توده را در سه طبقهٔ قطری تقسیم کردند و هر یک از معادلات در سه طبقهٔ قطری براساس سطح مقطع و تعداد در هکتار تشکیل شد. نتایج نشان داد که تعداد درختان و سطح مقطع در طی دوره‌های طولانی دارای نوسان است، ولی دامنهٔ آن کاهش می‌یابد و سرانجام به حالت پایداری می‌رسد که توده برای همیشه بدون تغییر باقی می‌ماند. از نظر زیست‌شناسی این شرایط پایدار همان کلیماکس جنگل است که رویش جایگزین دیرزیستی می‌شود و ساختار توده در واحد سطح در طی زمان تغییرات کمی دارد. Bayat et al. (2014) در بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، با استفاده از ۲۵۶ قطعه نمونهٔ دائم ۱۰ آری که در طی یک دورهٔ نُه‌ساله دو بار آماربرداری شد، مجموعهٔ مدل‌هایی را ارائه کردند که می‌توانند توسعهٔ تودهٔ جنگل را در روش‌های مختلف مدیریت جنگل، شبیه‌سازی کرده و در نهایت بهترین روش را انتخاب کنند. این مدل‌ها شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاع، مدل تک‌درخت زادآوری و مدل تک‌درخت زنده‌مانی هستند. آنان با توجه به تحلیل مدل و آنالیزهای این تحقیق به این نتیجه رسیدند که روش مدیریت دانه‌زادِ ناهمسال در حفظ پایداری جنگل و تولید چوب از نظر اقتصادی بر دیگر روش‌ها برتری دارد. Pukkala et al. (2009) مدلی را برای رویش و محصول جنگل‌های ناهمسال

فنلاند معرفی کردند. این مدل شامل مجموعه‌ای از زیرمدل‌ها همچون مدل رویش قطری تک‌درخت، مدل رویش ارتفاعی و مدل زنده‌مانی و یک مدل برای زادآوری است. آنها نتیجه گرفتند که بسته به طول چرخهٔ قطع، تراکم توده و شکل توزیع قطر در مناطق حاصلخیز جنگل‌های صنوبر، مقدار بهره‌برداری پایدار بین ۵/۵ تا ۷ متر مکعب در هکتار در سال است. Ling (2010) به‌منظور مدیریت جنگل‌های بوره‌آل در جنوب و مرکز آلاسکا، ماتریس مدل رویش توده را معرفی کرد. وی از اطلاعات ۴۴۶ قطعه نمونهٔ دائمی استفاده کرد. این مدل یک شبیه‌ساز برای یک دورهٔ سیصدساله با چرخهٔ قطع چهل‌ساله بود. این مدل دو عامل یخبندان و ارتفاع رویشگاه را دو متغیر مهم در ستاده‌های مدیریت پیش‌بینی کرد. Eerikainen et al. (2014) پژوهشی را با هدف آنالیز رویش ارتفاعی، زنده‌مانی و زادآوری (نوشمار) در توده‌های ناهمسال با گونهٔ غالب صنوبر در فنلاند انجام دادند. این بررسی روی ۱۶ تودهٔ پانزده‌ساله انجام گرفت. نتایج نشان داد که مقدار رویش ارتفاعی ۰/۱ تا ۹ متر و میانگین مرگ‌ومیر پنج‌ساله برای گونه‌های صنوبر، توس و کاج به‌ترتیب ۱۷، ۴۰/۹ و ۳۳/۹ درصد بود. نرخ زادآوری سالیانه با ارتفاع آستانهٔ ۱/۳ متر به‌ترتیب برای سه گونهٔ ۳۰/۴، ۲/۸ و کمتر از ۰/۱ پایه در هکتار محاسبه شد. Stonkova (2016) تحقیقی را به‌منظور مدل‌سازی پویایی رویش تودهٔ جنگل انجام داد. این مدل شامل وکتور سه‌بُعدی وضعیت توده که براساس ارتفاع غالب توده تعریف شده بود، تعداد درختان در هکتار، میانگین حجم ساقه و سه تابع انتقال بود. بهترین مدل برای تراکم توده، میانگین حجم توده و حجم نهایی توده دارای ضریب تبیین ۰/۹۴، ۰/۹۳ و ۰/۹۱ بود. Orellana et al. (2016) پژوهشی را به‌منظور پیش‌بینی پویایی جنگل بومی آروکاریا با استفاده از مدل رویش تک‌درخت وابسته به فاصله در جنوب برزیل انجام دادند. یافته‌های آنان نشان داد که رویش رویه‌زمینی گونه‌های سایه‌پسند در طول سال کاهش می‌یابد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در توده‌های تنک، رویش رویه‌زمینی در حال افزایش است، درحالی که در توده‌های متراکم، رویش در طی ۳۰ سال به ثبات رسیده است. Cañadas et al. (2018) تحقیقی را در مناطق ساحلی اکوادور در گونهٔ تیک انجام دادند. گیاهان تیک در جهان در حدود ۴/۳۵ میلیون هکتار را پوشش می‌دهند. با این‌حال، مدل رشد برای هیچ گونه‌ای در این منطقه وجود ندارد. هدف پژوهش، توسعهٔ مدل‌های حجمی و تولیدی برای این گونه‌ها بود. سن زیستی بیولوژیکی گونه‌ها بین ۱۵ تا ۲۶ سال بود. میانگین عملکرد سالیانه در بالاترین سطح کیفیت ۱۵/۳ متر مکعب در هکتار در سال به‌دست آمد. محققان به این نتیجه رسیدند که مدل رشد و تولید به‌دست‌آمده در چرخش سن و برآورد بهره‌وری از این گونه‌ها در مناطق ساحلی اکوادور مفید است.

بر این اساس هدف این تحقیق استفاده از مدل‌های رویشی تهیه‌شده به‌منظور مدیریت جنگل‌های آمیخته و ناهمسال است. در این پژوهش مدل‌های رویشی تک‌درخت شامل مدل تک‌درخت رویشی قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی، مدل تک‌درخت زنده‌مانی (مرگ‌ومیر) و مدل رشد به داخل (زادآوری) بدون در نظر گرفتن سن که مختص جنگل‌های خالص و همسال هستند، ارائه می‌شود تا هم تصمیمی درست در راستای بهره‌برداری اقتصادی این سرمایه‌های تجدیدپذیر و باارزش گرفته شود و هم بدون به خطر افتادن آیندهٔ جنگل، از دیگر مواهب این گنجینه‌های طبیعی استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش در بخش جوجاده، یکی از پنج بخش تحت پوشش طرح جنگلداری توسعه و عمران در استان مازندران در منطقهٔ فریم است که با مساحت ۳۵۵۰/۲ هکتار در جنوب شهرستان ساری و در دامنه

و امتداد شمالی رشته‌کوه البرز در منطقهٔ دودانگه واقع شده است. حداقل ارتفاع منطقه از سطح دریا ۷۶۰ متر و حداکثر آن ۱۷۸۰ متر است. بنابر داده‌های آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه، اقلیم منطقه براساس روش ایوانف در طبقهٔ مرطوب جنگلی و شرایط آب‌وهوایی مطلوب نشان از گذر اقلیم‌های مدیترانه‌ای از غرب و سیبری و خزری از شمال به منطقهٔ طرح دارد. مقدار بارندگی سالانه، ۸۳۲/۹ میلی‌متر است. همچنین درجهٔ حرارت متوسط سالانه ۱۱/۲ درجهٔ سانتی‌گراد است (Hamidi et al., 2016).

**شیوهٔ اجرای پژوهش و تحلیل**

آماربرداری اول در سال ۱۳۸۲ در قسمتی از جنگل‌های تولیدی و قابل کار بخش جوجاده به مساحت ۲۸۰۳ هکتار در قالب ۴۵ پارسل با شبکهٔ آماربرداری ۲۰۰ ×۱۵۰ متر انجام گرفت و روش نمونه‌برداری به‌صورت منظم- تصادفی بود که در آن، ۳۱۳ قطعه نمونهٔ دائمی به مساحت ۱۰ آر اندازه‌گیری شد. پس از مشخص شدن مراکز قطعات نمونه در طبیعت، شیب قطعه نمونه اندازه‌گیری و به‌کمک جدول تصحیح شیب، شعاع قطعه نمونه مشخص شد. در داخل قطعه نمونه، قطر برابرسینهٔ همهٔ 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. برای اینکه درختانی که در آغاز دوره اندازه‌گیری شدند دوباره در آخر دوره اندازه‌گیری شوند و تعداد درختانی که از حد شمارش گذشته‌اند نیز مشخص شود، درختان در قطعات نمونه در جنگل باید به طریقی علامت‌گذاری شوند. یک روش علامت‌گذاری مرکز قطعه نمونه و درختان با رنگ و شماره‌گذاری درختان و علامت‌گذاری محل اندازه‌گیری قطر برابرسینه در اول دوره است که در منطقهٔ پژوهش صورت گرفت. هر اصله درخت با علامتی مشخص، اندازه‌گیری و در فرم‌های مربوط یادداشت شد. در پایان دوره، قطعات نمونه مجدداً بازیابی و اندازه‌گیری‌ها همانند آغاز دوره محاسبه شد، یعنی عملیات پس از گذشت ۱۰ سال در سال ۱۳۹۲ در بخش جوجاده تکرار شد و پس از پایان کار، محاسبات لازم انجام گرفت و در نهایت مقدار رویش جنگل و مدل‌های رویشی محاسبه شد. همچنین برای بررسی رابطهٔ قطر برابرسینه و ارتفاع گونه‌های منطقه، ۶۲۶ درخت (قطورترین و نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه نمونه) در منطقه بررسی و در قطعات نمونه اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی و برازش مدل‌ها، ۳۰ درصد از داده‌ها به‌طور تصادفی انتخاب شده و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی از همهٔ تجزیه‌وتحلیل کنار گذاشته شدند. بر این اساس در مدل رویش ارتفاعی ۴۳۶ پایه از درختان به‌منظور مدل‌سازی و ۱۹۰ پایه برای اعتبارسنجی ارائه شد. همچنین عملکرد این مدل‌ها با استفاده از معیارهای مختلف مانند مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و درصد اریبی محاسبه شد. برای مدل‌سازی مدل زنده‌مانی ابتدا تعداد درختانی که در طی دو دوره از بین رفته‌اند محاسبه و سپس از روش رگرسیون لجستیک برای همهٔ گونه‌ها استفاده شد. برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل از معیارهای Nagelkerke R square، مربع کای Hann et al. (2003)، آزمون هوسمر- لمشاو Padilla (2010)، سطح زیرمنحنی ROC Lei et al. (2004) و AIC استفاده شد و در مدل رشد به داخل (زادآوری)، درختانی که در طی ۱۰ سال از حد شمارش عبور کردند، محاسبه شد و مدل‌سازی صورت گرفت. همهٔ محاسبات با نرم‌افزار R انجام گرفت.

## نتایج

**ترکیب داده‌های استفاده‌شده در مدل‌سازی رویش**

تعداد کل داده‌های در دسترس برای مدل رویش قطری ۴۸۳۳ اصله درخت بود که ترکیب گونه‌ای در جدول ۱ بیان شده است. تعداد داده‌های در دسترس

برای رویش ارتفاع ۶۲۶ جفت داده قطر و ارتفاع و برای زنده‌مانی ۵۲۳۳ اصله درخت استفاده شد. سطح مقطع توده و تعداد در هکتار در پلات متغیر است. دامنهٔ قطری درختان بین ۱۲/۵ تا ۱۶۰ سانتی‌متر و رویش قطری ده‌سالهٔ بیشتر درختان بین ۰ تا ۸ سانتی‌متر است.

جدول ۱- تعداد و درصد گونه‌های بررسی‌شده

| نام گونه | راش | ممرز | بلوط | توسکا | افرا | دیگر گونه‌ها |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد | ۲۸۷۹ | ۸۳۸ | ۱۸۷ | ۴۱۷ | ۸۰ | ۴۳۲ |
| درصد | ۵۹/۵۶ | ۱۷/۳۱ | ۳/۸۶ | ۸/۶۲ | ۱/۶۹ | ۸/۹۶ |

جدول ۲- آماره‌های توصیفی داده‌های استفاده‌شده در مدل رویشی

| متغیر | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف‌معیار | ضریب تغییرات | دقت نمونه‌برداری (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد در هکتار | ۲۱۲ | ۶۰ | ۵۶۰ | ۹۱/۶۵ | ۴۳/۲۳ | ۴/۷۶ |
| قطر (سانتی‌متر) | ۳۷ | ۱۲/۵ | ۱۶۰ | ۲۲ | ۵۹/۴۵ | ۱/۶۶ |
| سطح مقطع (مترمربع در هکتار) | ۲۴/۹۴ | ۵/۴ | ۵۲/۶۰ | ۱۰/۳۳ | ۴۱/۴۱ | ۴/۵۶ |

**مدل تک‌درخت رویش قطری**

برای مدل‌سازی مشخصهٔ رویش قطری از مدل خطی اثر آمیخته استفاده شد. نتایج مربوط به مدل در رابطهٔ ۱ آورده شده است.

رابطهٔ ۱

$$Id_{ij}= 1.5927 +u_j+ 0.0595232\ (dbh) + 0.3215855(BA) -0.0049161\ (BAL) + 0.503\ (Faguse) + 0.405\ (carpinus) + 0.697195\ (Qurcuse) + 0.866(Alnus) + 0.796(Acer\ Velutinum) + e_{ij}$$

در این رابطه Id: رویش قطری در یک دورهٔ ده‌ساله و $uj\sim N(0,\sigma_u^2)$: عامل اثر تصادفی، dbh: قطر برابرسینه به سانتی‌متر، BA: سطح مقطع برابرسینه به متر مربع در هکتار و BAL: سطح مقطع قطورترین درختان در قطعه نمونه به متر مربع در هکتار است.

انحراف معیار برای عامل تصادفی ۰/۰۳۲، انحراف معیار برای باقی‌مانده‌ها ۰/۲۵ سانتی‌متر و میانگین مربعات خطا ۳ سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین مقدار رویش و شاخص BAL منفی است، یعنی با افزایش مقدار این شاخص، رویش قطری کاهش می‌یابد. شکل ۱ نشان می‌دهد که در جنگل‌های پهن‌برگ و آمیخته و ناهمسال منطقهٔ پژوهش، افزایش رویش قطری تا قطر ۹۰ سانتی‌متر تابعی از قطر برابرسینه است. یعنی با افزایش قطر رویش قطری نیز افزایش می‌یابد؛ ولی از قطر ۹۰ سانتی‌متر به بعد با افزایش قطر، رویش قطری کاهش می‌یابد. از بین گونه‌های مورد بررسی توسکا، بلوط و افرا از گونه‌های دیگر رشد بیشتری داشتند.

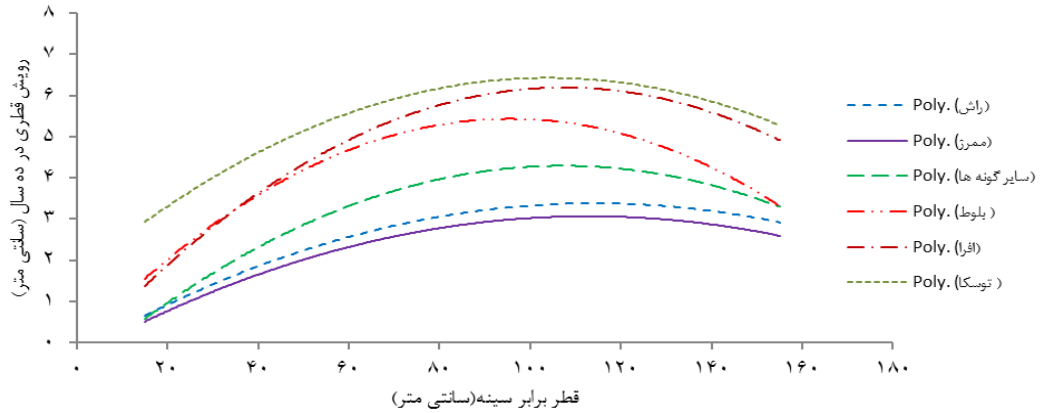
**مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی**

به‌منظور مدل‌سازی روابط قطر و ارتفاع درختان از بیست مدل غیرخطی استفاده شد. عملکرد این مدل‌ها با استفاده از معیارهای مختلف مانند مجذور میانگین مربعات خطا، درصد مجذور میانگین مربعات خطا، اریبی و درصد اریبی ارزیابی شد. بهترین مدل رویش ارتفاعی به‌دست‌آمده، مدل Korf است (شکل ۲) که به‌صورت رابطهٔ ۲ است.

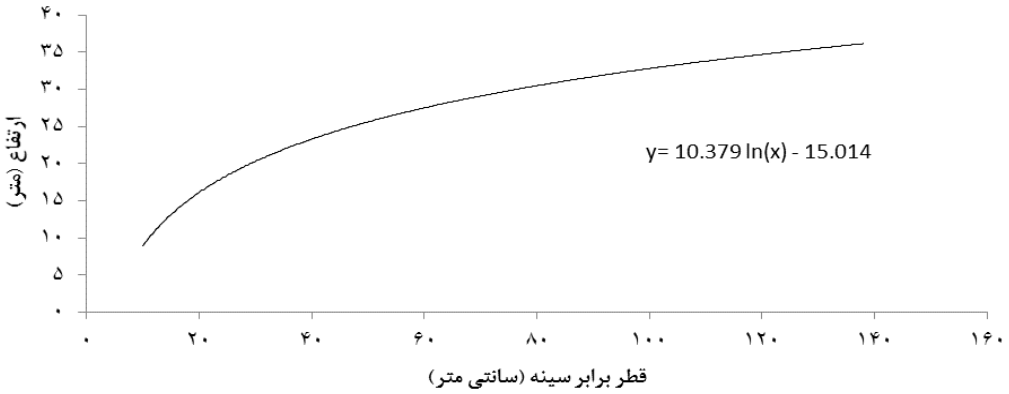
رابطهٔ ۲: مدل قطر و ارتفاع کل درخت

$$H_{ij}= 1.3 + 50.83exp\ (7.49\ d_{ij}^{-0.61})+e_i$$

H: ارتفاع کل درخت و d: قطر در ارتفاع برابرسینه همان درخت و $e \sim N(0,\sigma_u^2)$: باقی‌مانده است. ضریب تبیین ۰/۶۸، مجذور میانگین مربعات خطای ۴/۱۵ متر، درصد مجذور میانگین مربعات خطا ۱۵/۰۱، اریبی ۰/۱۹ متر و درصد اریبی ۰/۶۴ به‌دست آمد. همچنین مدل رویش ارتفاعی برای همهٔ گونه‌ها به‌طور جداگانه مقایسه شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.




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




شکل ۲- مدل رگرسیونی قطر- ارتفاع

جدول ۳- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع درختان منطقه

| آماره‌های توصیفی | قطر برابرسینه (سانتی‌متر) | | | ارتفاع (متر) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کل | مدل | ارزیابی | کل | مدل | ارزیابی |
| میانگین | ۶۳ | ۶۱ | ۶۰ | ۲۷/۸ | ۲۷/۰۱ | ۲۷/۳۲ |
| حداکثر | ۱۳۸ | ۱۳۸ | ۱۳۰ | ۴۰/۵ | ۳۶/۷۶ | ۳۶/۲۳ |
| حداقل | ۱۳ | ۱۳ | ۱۴ | ۷/۵ | ۷/۲۰ | ۷/۵۱ |
| انحراف‌معیار | ۲۹/۳۳ | ۲۹/۰۷ | ۲۹/۵۹ | ۷/۴ | ۶/۳۷ | ۵/۹۷ |
| تعداد | ۶۲۶ | ۴۳۶ | ۱۹۰ | ۶۲۶ | ۴۳۶ | ۱۹۰ |

**مدل تک‌درخت زنده‌مانی(مرگ‌ومیر)**

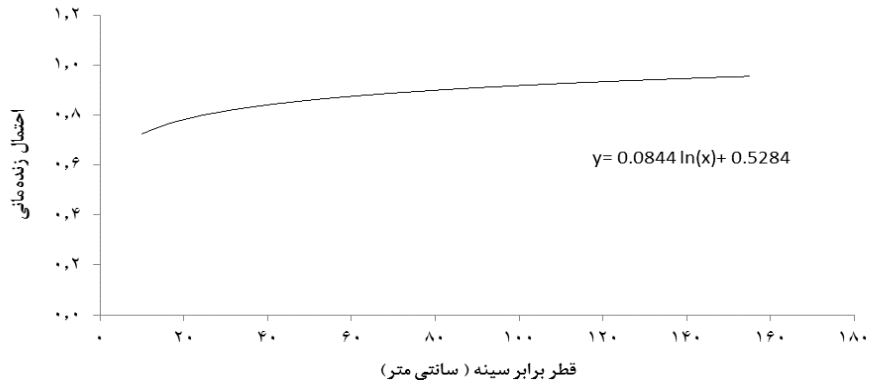
برای تعیین مدل زنـده‌مـانی از رگرسـیون لجسـتیک دودویی استفاده شد. جـدول ۴ نتـایج مربـوط بـه مـدل به‌دست‌آمده برای احتمال زنده‌مانی را نشان می‌دهـد. در رابطهٔ ۳، Y: احتمـال زنـده‌مـانی درخـت، dbh: قطـر در ارتفاع برابرسینه، BAL: سطح مقطع قطورترین درختـان و Lndbh: لگاریتم طبیعی قطر مورد نظـر اسـت. درصـد پیش‌بینی صحیح مدل زنده‌مـانی (اگـر از ۰/۵ بـه‌عنـوان آستانهٔ زنده‌مانی استفاده شود) ۹۲ درصد است (شکل ۳).

رابطه ۳: مدل زنده‌مانی

$$Y=\frac{1}{1+\exp(4.85-0.09\,\mathrm{dbh}-0.76ba+0.28\ln dbh-1.19\,BAL+1.17\,Alnus+0.74carpinus)}$$

جدول ۴- نتایج آنالیز بهترین مدل رگرسیونی برای زنده‌مانی

| متغیر | ضریب | اشتباه معیار | آمارهٔ Z | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| عدد ثابت | ۴/۸۵ | ۱/۵۰ | ۳/۲۲ | ۰/۰۰۲۷** |
| قطر برابرسینه | -۰/۰۹ | ۰/۰۳ | -۹/۴۰ | ۰/۰۰۵۵** |
| سطح مقطع برابرسینه | -۰/۷۶۵۱ | ۰/۲۰۳۵ | -۰/۷۵ | -۰/۰۰۰۱۷*** |
| Ln dbh | ۰/۲۸ | ۰/۶۸ | -۱/۷۱ | ۰/۰۸۱۶۶· |
| BAL | -۱/۱۹ | ۰/۰۰۵ | ۵/۲۹ | ۱/۱۷e-۰۷*** |
| توسکا | ۱/۱۷ | ۰/۰۳۲ | ۲/۷۹ | ۰/۰۰۳۰** |
| ممرز | ۰/۷۴ | ۰/۳۳ | ۲/۲۲ | ۰/۰۲۶۳*** |




شکل ۳- مدل رویشی زنده‌مانی (مرگ‌ومیر)

نتایج معیارهای ارزیابی مدل زندمانی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی بهترین مدل برای مشخصهٔ زنده‌مانی

| آزمون | مقدار |
|---|---|
| Chi-Square value | ۲۶۶۶/۴۰۶ |
| Hosmer & Lemeshow test Chi-square | ۰/۰۹۵ |
| ROC | ۰/۸۳ |
| Nagelkerke R square | ۰/۳۳ |
| Cox & Snell R Square | ۰/۴۰ |
| AIC | ۷۵۹ |

**مدل تک‌درخت رشد به داخل (زادآوری)**

میانگین نرخ رشد به داخل (زادآوری) (تعداد درختانی که از طبقه قطری ۱۲/۵ گذشته‌اند) در یک پریود ۱۰ ساله ۲۰ درخت در هکتار است که در بین گونه‌های مختلف پراکنده شده‌اند (جدول ۶). متوسط قطر درختان زادآوری در پریود ۱۰ ساله ۱۶/۵۲ سانتی‌متر است. ساده‌ترین روش برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی رشد به داخل (زادآوری) استفاده از سطح مقطع متوسط به مترمربع در هکتار برای کل توده است.

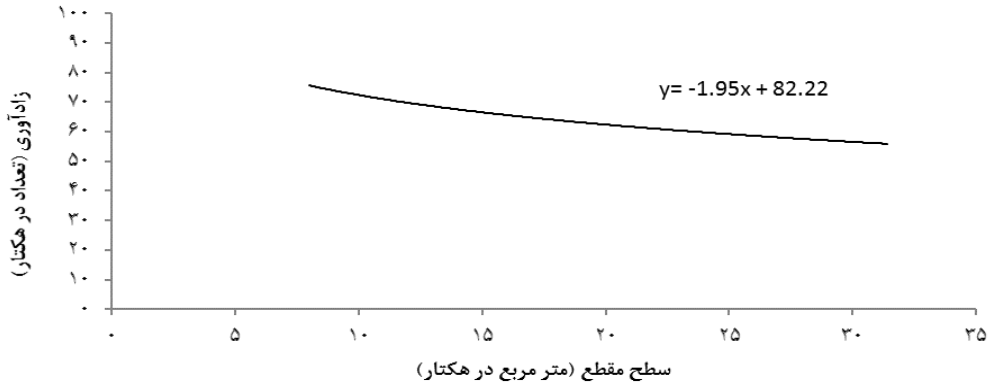
رابطهٔ ۴: (زادآوری) مدل رشد به داخل

$$Id = 2.79-1.943(BA)+4.05(Ln\ BA)$$

در این رابطه، Id: عبور از حد شمارش ده‌ساله (تعداد درختانی که از قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر گذشته‌اند)؛ BA: سطح مقطع توده به متر مربع در هکتار و Ln BA: لگاریتم طبیعی سطح مقطع مورد نظر است. در این رابطه ضریب تبیین ۰/۳۳ درصد است (شکل ۴).

جدول۶- میانگین تعداد درختانی که در طول یک دورهٔ ده‌ساله از طبقهٔ قطری ۱۲/۵ سانتی‌متر گذشته‌اند

| گونه | تعداد درخت در هکتار (تعداد درختانی که از طبقهٔ قطری ۱۲/۵ سانتی‌متر گذشته‌اند) |
|---|---|
| راش | ۱۰/۱۰ |
| ممرز | ۶/۵ |
| بلوط | ۰/۷ |
| توسکا | ۱/۵ |
| افرا | ۰/۸۲ |
| دیگر گونه‌ها | ۱ |
| مجموع | ۲۰/۶۲ |




شکل ۴- مدل رویشی رشد به داخل (تعداد درختانی که از طبقهٔ قطری ۱۲/۵ سانتی‌متر گذشته‌اند)

**بحث**

بررسی ساختار جنگل‌های طبیعی، امکان مدیریت بهینهٔ جنگل را برای رسیدن به ساختار مطلوب مشخص می‌کند. به‌طوری که اجرای عملیات جنگل‌شناسی مناسب در توده‌های تحت مدیریت، موجب حفظ تنوع بیولوژیکی، پویایی و پایداری جنگل

می‌شود (Amanzadeh et al., 2011). ساختار جنگل عامل بسیار مهمی در ارزیابی سلامت و پایداری جنگل است. جنگل‌های هیرکانی نیز با کارکردهای مختلفی همچون تولید چوب، تنوع زیستی، زیبایی و تفرج و غیره به مدیریتی یکپارچه و همه‌جانبه نیاز دارند. به نظر می‌رسد که مدیریت ناهمسال در پیشبرد این اهداف روشی کارامد و مؤثر باشد؛ اما نبود ابزار مناسب برای اجرای صحیح مدیریت ناهمسال در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال، اجرای علمی و کارامد این روش را به تأخیر انداخته است (Pukkala & Kellomäki, 2012). در این پژوهش مدل‌هایی ارائه شده است که از آنها می‌توان برای مدیریت جنگل استفاده کرد. بعضی از پژوهشگران بر این باورند که با استفاده از مدل‌های رویشی، اجرای مدیریت ناهمسال برای جنگل‌های هیرکانی دشوار است (Heshmatol Vaezin et al., 2008) و برخی دیگر این روش را عملی و قابل اجرا در این جنگل‌ها می‌دانند (Lohmander & Mohammadi-Limaei, 2008; Bayat et al., 2013). مدل‌ها و آنالیز این تحقیق نیز بر عملی بودن استفاده از مدل‌های رویشی در اجرای این روش و حفظ پایداری جنگل دلالت دارند. مجموعهٔ مدل‌های ارائه شده در این پژوهش برای جنگل ناهمسال و آمیخته شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی، مدل تک‌درخت زنده‌مانی (مرگ‌ومیر) و مدل تک‌درخت رشد به داخل (زادآوری) است. با توجه به نتایج، مدل تک‌درخت رویش قطری از دقت خوبی برخوردار است (رابطهٔ ۱). شکل ۱ نشان می‌دهد که از بین گونه‌های بررسی‌شده، توسکا و افرا از بقیهٔ گونه‌ها رشد بیشتری داشتند. بهترین متغیرهای مستقل استفاده‌شده در بهترین مدل برای رویش قطری شامل لگاریتم قطر برابرسینه و برای نشان دادن رقابت از متغیر سطح مقطع برابرسینه و سطح مقطع برابرسینه قطورترین درختان است. سطح مقطع درختان قطورتر از قطر هدف متداول‌ترین ابزار برای کمّی کردن رقابت یکطرفه است، زیرا معیاری مطلق است و محاسبهٔ ساده‌ای داشته و با اندازهٔ رشد همبستگی دارد (Vanclay, 1991). در مطالعات ثابت شده که سطح مقطع برابرسینهٔ قطورترین درختان یک پیش‌بینی‌کنندهٔ کارا برای رویش قطری گونه‌های حساسه‌ای (Vanclay, 1991)، گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنوب غرب ایالت اورگون آمریکا (Hann & Hanus, 2002)، نواحی ساحلی اورگون و واشینگتن (Hann et al., 2003)، و سیرانوادا در کالیفرنیا (Dolph, 1988) است. نتایج این بررسی نشان داد که افزایش رقابت (سطح مقطع قطورترین درختان) سبب کاهش رویش قطری می‌شود. مقدار انحراف معیار برای عامل تصادفی ۰/۰۳۲ و انحراف معیار برای باقی‌مانده‌ها ۰/۲۵ سانتی‌متر و میانگین مربعات خطا ۳ سانتی‌متر به‌دست آمد. نتایج این پژوهش با تحقیقات Bayat et al. (2014)، Kalbi et al. (2017)، Orellana et al. (2016) و Stonkova (2016) همسوست. در این پژوهش در ارتباط با مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی، از روش ایستا به‌منظور پیش‌بینی ارتفاع درختان (Hung et al., 1992) برای مدل‌سازی رویش ارتفاعی استفاده شد. آماره‌های توصیفی داده‌های زمینی قطر برابرسینه و ارتفاع درختان نشان می‌دهد که این داده‌ها از یک دامنهٔ وسیع قطر برابرسینهٔ ۱۳ تا ۱۳۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۷/۵ تا ۴۰/۵ متر انتخاب شده‌اند (جدول ۳). این مسئله بیانگر این است که به‌طور تقریبی تمامی قطر و ارتفاع درختان منطقه در نظر گرفته شد. در ارتباط با مدل رویش ارتفاعی نوع گونه تأثیری در مدل نداشت. این نتیجه زمانی به‌دست آمد که برای همهٔ گونه‌ها به‌طور جداگانه مدل رویش ارتفاعی مقایسه شد که تفاوت چندانی از نظر معنی‌داری آماری مشاهده نشد. مرگ‌ومیر درختان رویدادی نادر اما مهم در سیر تحول یک تودهٔ جنگلی است که کاربردهای مهمی در مدل‌سازی‌های رشد و محصول جنگل دارد (Akhavan & Namiranian, 2015). در تعیین مدل

زنده‌مانی (مرگ‌ومیر)، با وجود دشواری‌های پیش‌بینی مرگ‌و میر در سطح توده، معادلات فراوانی برای برآورد آن در سطح درخت وجود دارد که در این پژوهش از رگرسیون لجستیک استفاده شد (Hann et al., 2003; Monserud & Sterba, 1999). Guan et al. (1991) بیان کردند که مدل‌سازی مرگ‌ومیر درختی با استفاده از تابع لجستیک روش مؤثر و کارایی است، درحالی که تحقیقات دیگر نشان داده‌اند روش‌های دیگر بر روش لجستیک برتری دارند. اما هنگامی که مدل روی داده‌های مستقل به‌کار می‌رود، شاید تفاوت بین رگرسیون لجستیک و دیگر روش‌های برازش کمتر آشکار شود. در نتیجه رگرسیون لجستیک به‌دلیل سادگی، تغییر نکردن و کاربرد آسان برای بسیاری از اهداف کاربردی در مدل‌سازی مرگ‌ومیر کارایی خوبی دارد (Yagi & Primicerio, 2014). نتایج ارزیابی مدل نشان می‌دهد که درختانی با قطر ۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، بهترین و بیشترین زنده‌مانی را دارند (شکل ۳). با افزایش رقابت (سطح مقطع قطورترین درخت) زنده‌مانی کاهش می‌یابد. با توجه به آنالیز صورت‌گرفته از بین همهٔ گونه‌های مورد بررسی، گونه‌های توسکا و ممرز احتمال زنده‌مانی کمتری دارند (جدول ۴). ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های مرگ‌ومیر درختان به‌دلیل ماهیت ناپیوسته و گسستهٔ آن دشوار است (Hann et al., 2006). در این تحقیق اعتبار مدل‌ها (جدول ۵) با استفاده از آزمون Nagelkerke R square تعیین شد و مقدار آن ۰/۳۳ به‌دست آمد. براساس پژوهش‌های موجود قرار داشتن اندازهٔ این مشخصه بین ۰/۲ تا ۰/۴، بیانگر برازش خوب مدل است (Wilson & Oliver, 2000). در این پژوهش ارزیابی اعتبار مدل با استفاده از آزمون هوسمر- لمشاو تعیین شد و مقدار آن ۰/۰۹۵ به‌دست آمد. با توجه به اینکه مقدار این مشخصه بیشتر از ۰/۰۵ است، مدل به‌دست‌آمده معتبر است (Padilla et al., 2010). همچنین معیار دیگر ROC است که مقدار آن ۰/۸۳ به‌دست آمد. این سطح بیانگر این است که مدل تا چه حد می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند. این مقدار بین ۰/۵ تا ۱ است. رقم ۰/۵ نشان‌دهندهٔ تصادفی بودن مدل، رقم ۰/۷ بیانگر دقت خوب مدل و رقم بیشتر از ۰/۹ نشان‌دهندهٔ دقت زیاد مدل است (Lei et al., 2004). مدل‌های رشد به داخل (زادآوری)، به‌جای پیش‌بینی جنبه‌های بذردهی، تحول درختان از مرحلهٔ بذر یا نهال‌های مستقرشده را شبیه‌سازی و تلاش می‌کنند تا عوامل تأثیرگذار بیشتری را در فرایند جوان‌سازی تودهٔ جنگلی دخالت دهند (Akhavan & Namiranian, 2015). یکی از فواید این رویکرد این است که زمان لازم برای ورود نورس‌ها به داخل توده را پس از کاهش تراکم توده در اثر قطع و برداشت به‌صورت واقعی‌تری مدل‌سازی می‌کند (Gould et al., 2006; 2007). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل رشد به داخل (زادآوری) نسبت به دیگر مدل‌ها دارای صحت کمتری بوده است (شکل ۴). ساده‌ترین راه برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی، استفاده از سطح مقطع متوسط برای کل توده است (Bayat et al., 2014; Kalbi et al., 2017). همچنین نتایج نشان داد که سطح مقطع، بهترین متغیر مستقل در مدل‌سازی رشد به داخل (زادآوری) است. با افزایش سطح مقطع توده از رشد به داخل (زادآوری) کاسته می‌شود. این نتایج مشابه یافته‌های Trasobares et al. (2004) و Bayat et al. (2014) بود. Trasobares et al. (2004) در پژوهش‌های خود نشان دادند که سطح مقطع برابرسینه متغیری اساسی در مدل‌سازی رشد به داخل (زادآوری) است. همچنین این بررسی سعی داشت استفاده از قطعات نمونهٔ ثابت را در مدل‌سازی رویش معرفی کند. امروزه کاربرد قطعات نمونهٔ ثابت در دیگر نقاط جهان مناسب‌ترین منبع داده در تعیین رویش است (Härkönen et al., 2010; Kohli et al., 1995)، زیرا فقط قطعات نمونهٔ ثابت هستند که: ۱. مقایسه‌های آماری لازم را در داخل و

بین قطعات نمونه به‌منظور کنترل کفایت مدل‌ها ممکن می‌کنند؛ ۲. داده‌های معتبر و سازگار را در سطح توده فراهم می‌آورند (Hamidi et al., 2016). امروزه کاربرد قطعات نمونهٔ دائم در مدل‌سازی و شبیه‌سازی رویش در جنگل و همچنین در پایش و ارزیابی وضعیت و تغییرات ساختار جنگل و اثرگذاری آن بر پایداری و مدیریت جنگل که بسیار مهم است، به‌خوبی روشن شده است. امروزه در بسیاری از طرح‌ریزی‌ها و سیاستگذاری‌ها بدون مدل‌سازی و شبیه‌سازی نمی‌توان به راه حل منطقی دست یافت. بنابراین سعی بر این است که با ارائهٔ یک مدل برای گونه‌ها بهترین وضعیت و مهم‌ترین عوامل در رویش را برای این گونه‌ها در نظر گرفت و بتوان از آن در مدیریت جنگل استفاده کرد (Akhavan & Namiranian, 2015). در پژوهش پیش رو مدل‌های رویش تک‌درخت شامل مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاعی، مدل تک‌درخت زنده‌مانی و مدل تک‌درخت رشد به داخل (زادآوری) برای منطقهٔ پژوهش ارائه شده است تا به کمک آنها بتوان مدیریتی مناسب را برای جنگل‌های ناهمسال و آمیخته در نظر گرفت تا پایداری این جنگل‌ها که سرمایه‌ای برای نسل‌های فعلی و آینده هستند حفظ شود.

## References


Abedi, T. & Ghamgosar, M. (2012). Investigating the Growth Model and Determining the Sustainable Condition of Uneven Forest Masses Using Linear Programming, fifth Environmental Engineering Conference, Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment, 10 p.

Akhavan, R. & Namiranian. M. (2015). *Forest growth and yield modeling*, Tehran University Press, 428p.

Amanzadeh, B., Sagheb-Talebi, Kh., Fadaei Khoshkebijari, F., Khanjani Shiraz, B., & Hemmati, A. (2011). Evaluation of different statistical distribution for estimation of diameter distribution within forest development stages in Shafaroud beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *19*, 254-67.

Baskent, E.Z. & Keles, S. (2005). Spatial forest planning: Areview. *Ecological modeling, 188*,145-173.

Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M., & Fathi, J. (2013). 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.

Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiry, M., & Pukkala, T. (2014). Growth and yield models for uneven–aged and mixed broadleaf forest (Case study: Gorazbon District in Kheyroud Forest, North of Iran), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22*(1), 39-50.

Bettinger, P., Gratez, D., & Sessions, J. (2005). A Density- dependent stand-level optimization approach for deriving management prescriptions for interior northwest (USA) landscapes. *Forest Ecology and Management, 217*(2-3), 171-186.

Burkhart, H.E. (1990). Status and future of growth and yield models. In: proc. A symp. On state-of the methodology of forest inventory. *USDA Forest Service, 283*, 409-414.

Cañadas-L, Á., Andrade-Candell, J., Manuel Domínguez-A, J., Molina-H, C., Schnabel-D, O., Vargas-Hernández, J., & Wehenkel, Ch. (2018). Growth and Yield Models for Teak Planted as Living Fences in Coastal Ecuador. *Forests*, (pp.1-14).

Dolph, K.L. (1988). Prediction of periodic basal area increment for young-growth mixed conifers in the Sierra Nevada, research paper PSW-190. USDA Forest Service, pacific southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, CA.

Eerikainen, K., Valkonen, S., & Saksa, T. (2014). Ingrowth, survival and hight growth of small trees in uneven-aged picea abies stands in southern finland. *Forest ecosystems, 1*(5),1-10.

Gould, P.J., Steiner, K.C., Mcdill, M.E., & Finley, J.C. (2006). Modeling seed-origin oak regeneration in the central Appalachians. *Canadian Journal of forest research, 36*, 833-844.

Gould, P.J., Fei, S., & Steiner, K.C. (2007). Modeling sprout-origion oak regeneration in the central Appalachians, *Canadian Journal of forest research, 37*, 170-177.

Guan, B.T. & Gertner, G. (1991). Modeling red pine tree survival with an artificial neural network. *Forest science, 37*, 1429-1440.

Hamidi, S.K., Fallah, A., Bayat, M., & Hosseini Yekani, S.A. 2016. Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots (Case Study: Farim Forest, Jojadeh District). *Ecology of Iranian Forests, 4*(8), 1-8.

Hann, D.W., Marshall, D.D., & Hanus, M.L. (2003). Equation for predicting height- to- crown base, 5-year diameter growth rate, 5-year height growth rate, 5-year mortality rate, and maximum size-density trajectory for Douglas fir and western hemlock in the coastal region of the Pacific Northwest. In: *research contribution, 40*, Oregon state university, collage of forestry research laboratory, Corvallis, OR, 85p.

Hann, D.W. and Hanus, M.L. (2002). Enhanced diameter-growth-rate equations for undamaged and damaged trees in southwest Oregon. Research Contribution 39. Oregon State University, *Forest Research Laboratory*, Corvallis, OR.

Hann, D.W., Marshall, D.D., & Hanus, M.L. (2006). Reanalysis of the SMC-ORGANON equations for diameter-growth rate, height –growth rate, and mortality rate of Douglas fir. *Research Contribution, 49*. Oregen state university, Forest research laboratory, Corvallis, OR.

Härkönen, S., Mäkinen, A., Tokola, T., Rasinmäki, J., & Kalliovirta, J. (2010). Evaluation of forest growth simulators with NFI permanent sample plot data from Finland, *Forest Ecology and Management, 259*, 573- 589.

Heshmatol Vaezin, S.M., Attarod, P., & 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.

Huang, S., Titus, S.J., & Wiens, D.P. (1992).Comparison of nonlinear height-diameter function for major alberta tree species. *Cavadian Journal of Forest Research*, 22, 1297-1304.

Hyytiainen, K., Ilomaki, S., Makela, A., & Kinnunen, K. (2006). Economic analysis of stand establishment for Scots pine. *Canadian Journal of forest research, 36*, 1179-1189.

Kalbi, S., Fallah, A., Shtaii, Sh., Yousefpour, R., & Battinger, P. (2017). Mapping the spatial distribution of forest growth characteristics using different geostatistical methods (Case study: District no. 3, Sangdeh- Sari). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25*(2), 196-208.

Köhl, M., Scott, C., & Zingg, A. (1995). Evaluation of permanent sample surveys for growth and yield studies: a Swiss example. *Forest Ecology and Management, 71*, 187-194.

Lei, Y.C. & Zhang, S.Y. (2004). Featyre and Partial Derivatives of bertalanffy-richards growth model in forestry. Nonlinear analysis: *modeling and control, 9*(1), 65-73.

Ling, J. (2010). Dynamics and management of Alaska boreal forest: an all aged multi-species matrix growth model. *Forest Ecology and Management, 260*, 491-501.

Lohmander, P. & 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.

Mattaji, A., Hojjati, M., & Namiranian, M. (2000). Study of the distribution of number in diagonal classes in natural forests with probable distribution of Gorazbon Kheyroudkenar series in Noshahr. *Iranian Natural Resources Journal. 53*(2), 165-172.

Monserud, R.A. & Sterba, H. (1999). Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. *Forest Ecology and Management, 113*, 109-123.

Orellana, E., Figueiredo filho, A., Netto, S.P., & Vanclay, J.K. (2016). Predicting the dynamics of a native araucaria forest using a distance- independent individual tree-growth mode, *Forest Ecosystems, 3*, 12.

Padilla, M., Vidala, B., Sánchez, J., & Francisco, I. (2010). Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: Implications for land management, *Journal of Environmental Management, 91*, 2688-2695.

Pretzch, H., Grote, R., Reineking, B., Rotzer, T.H., & Seifert, S.T. (2008). Models for forest ecosystem management: a European perspective. *ANNALS OF BOTANY, 101*, 1065-1087.

Pukkala, T., Lähde, E., & Laiho, O. (2009). Growth and yield models for uneven aged stand in Finland. *Forest Ecology and Management, 258*, 207-216.

Pukkala, T. & Kellomäki, S. (2012). Anticipatory vs. adaptive optimization of stand management when tree growth and timber prices are stochastic. *Forestry, 85*(4), 463-472.

Stonkova, T.V. (2016). A dynamic whole-stand growth model, derived from allometric relationships. *SILVA FENNICA, 50*(1), 1-21.

Trasobares, A. & Pukkala, T. (2004). Using past growth to improve individual-tree diameter growth models for uneven-aged mixtures f pinus. Sylvestris L. and pinus. Nigra arn, in catalonia, northeast spain, *Annals of Forest Science, 61*, 409-417.

Vanclay, J.K. (1991). Aggregating tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. *Forest Ecology and Management, 42*, 143-168.

Vanclay, J.K. (1994). *Modeling forest growth and yield: application to mixed tropical forests.* CAB international, united kingdom, 330p.

Wilson, J.S. & Oliver, C.D. (2000). Stability and density management in Douglas-fir plantations. *Canadian Journal of Forest Research, 30*, 910-920.

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

Zeid Noor Mohammadi, M. (2007). Development of diagonal *Acer velutinum*, Master's Thesis, Faculty of Natural Resources, Sari of Agricultural Sciences and Natural Resources University, 105 p.

Iranian Journal of Forest
Vol. 11, No. 3, Autumn 2019
pp. 373-386

***Research Article***

# Individual Tree Growth Models for Management of Uneven aged and Mixed Hyrcanian Forests (Case Study: Farim Forest)

**S.K. Hamidi[1*], A. Fallah[2], M. Bayat[3] and S.A. Hosseini Yekani[4]**

[1] PhD Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture sciences and Natural Resource University, Sari, I. R. Iran
[2] Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture sciences and Natural Resource University, Sari, I. R. Iran
[3] Assistant Prof., Forest Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO).Tehran, I. R. Iran
[4] Associate Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agriculture sciences and Natural Resource University, Sari, I. R. Iran

(Received: 16 September 2018, Accepted: 10 June 2019)

## Abstract

Hyrcanian forests located mainly in the northern slopes of Alborz are very important in terms of their specific features. Studying the evolution of these forest communities and their vegetative status can help planners and managers for tending forest stands. Growth and product models, which describe the dynamics of the forest, are widely employed in forest management to predict future products and to study management options. This study was conducted in Jojadeh area of Farim forest in northern Iran. Individual tree growth models including individual tree diameter growth, individual tree height growth, individual tree survival growth (mortality), and individual tree regeneration growth were investigated using 313 permanent sample plots (0.1 ha) in two 10-year periods (2003-2013). Competition in the stand was also investigated and computed by basal area and basal area of thickest trees in the stand. In the diameter model, the increase in tree diameter growth up to 90 cm depended on the diameter at breast height, i.e. the diameter growth increased with the tree diameter. However, diameter growth decreased for diameter > 90 cm. Oak (Scientific name?) and Maple (Scientific name?) trees represented the highest diameter growth. In the height model, kind of species showed no effect on the height model. In the survival model (mortality), the survival probability of hornbeam (Scientific name?) and alder (Scientific name?) were lower than other species. In addition, the regeneration model indicated that regeneration decreased with increasing the basal area of stand. This study provides models for estimation and measurement the exact diameter growth, regeneration, and survival rate without considering the age, which is a great help for forest management.

**Keywords**: Individual tree growth model, Competition, Permanent sample plots, Hyrcanian forest.

∗Corresponding author Tel: +989113569068 Email: k.hamidi86@yahoo.com