جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲
ص ۵۹۵-۶۱۲

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۰۷/۲۸

استفاده از مدل‌های رویشی برای بررسی و شبیه‌سازی روش‌های مختلفِ مدیریت جنگل (مطالعهٔ موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)

❖ **محمود بیات*؛** دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **منوچهر نمیرانیان؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **محمود زبیری؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **تیمو پوکالا؛** استاد گروه جنگل‌داری، دانشگاه شرقی فنلاند، جوئنزو، فنلاند

چکیده

جنگل‌های شمالِ کشور باارزش‌ترین جنگل‌های ایران از نظر صنعتی و تولید چوب به‌شمار می‌روند. برداشت‌های صنعتی فقط در این قسمت از جنگل‌های کشورمان صورت می‌گیرد. این جنگل‌ها تحت مدیریت ناهمسال و روش تک‌گزینی‌اند. برای اینکه مشخص شود روش مدیریت دانه‌زاد ناهمسال در این جنگل‌ها نه فقط از جنبهٔ اکولوژیکی، بلکه از سایر دیدگاه‌ها به‌خصوص از لحاظ اقتصادی بر سایر روش‌ها برتری دارد، این روش باید به‌طریقی بررسی شود. امروزه استفاده از مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای بررسی روش‌های مدیریت جنگل بسیار رایج و شایع شده است. در این تحقیق که در بخش گرازبن جنگل خیرود به وسعت ۹۳٤/۲٤ هکتار انجام شد، ابتدا مدل‌های رویشی خاص جنگل‌های ناهمسال و آمیخته تهیه شد و سپس با استفاده از این مدل‌ها ـ که مدل‌های رویشی تک‌درخت‌اند ـ روش‌های مختلف مدیریت جنگل از لحاظ تولید چوب، اقتصادی‌بودن، و پایداری جنگل بررسی و شبیه‌سازی شد. نتایج استفاده از این مدل‌ها بر این نکته دلالت می‌کند که رویش حجمی سالانه در دامنهٔ ۲/۵ تا ۷ متر مکعب در هکتار (برای ممرز ۲/۵، راش ۵، و بلوط تا ۷ متر مکعب در هکتار) است. همچنین تحلیل مدل و آنالیزهای این تحقیق دلالت بر عملی‌بودن و برتری روش مدیریت دانه‌زاد ناهمسال در حفظ پایداری جنگل و تولید چوب از نظر اقتصادی در مقایسه با سایر روش‌ها (دانه‌زاد همسال جوان، دانه‌زاد همسال بالغ، و دانه‌زاد دواشکوبه) دارد.

واژگان کلیدی: روش‌های مختلف مدیریت، گرازبن، محصول، مدل رویشی تک‌درخت.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۲۶-۳۲۲۲۳۰۴۴ فاکس: ۰۲۶-۳۲۲۲۳۰۴۴ Email: mbayat1983@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

منطقهٔ رویشی هیرکانی شامل جنگل‌های انبوه دامنه‌های شمالی البرز است که از آستارا در غرب تا گلیداغ در شرق با مساحت حدود ۱/۸ میلیون هکتار [۱] گسترش دارد. این جنگل‌ها به‌صورت یک نوار باریک و بلند (۸۰۰ کیلومتر طول و ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر عرض) در امتداد رشته‌کوه البرز کشیده شده‌اند. این جنگل‌ها از باارزش‌ترین جنگل‌های ایران از نظر صنعتی و تولید چوب‌اند. برداشت‌های صنعتی فقط در این قسمت از جنگل‌های کشورمان صورت می‌گیرد. این جنگل‌ها به ۹۸ حوضهٔ آبخیز تقسیم شده و اکثر توده‌ها در این جنگلِ آموزشی ــ پژوهشی از نوع دانه‌زاد ناهمسال است. گونه‌های اصلی را راش، ممرز، بلندمازو (که در این مقاله به‌اختصار بلوط نامیده می‌شود.)، افرا (پلت)، و توسکای ییلاقی تشکیل می‌دهد و گونه‌های دیگری نیز به‌صورت محدود وجود دارند. این جنگل‌ها تحت مدیریت ناهمسال با شیوهٔ تک‌گزینی‌اند [۲]. برای اینکه مشخص شود روش مدیریت دانه‌زادِ ناهمسال در این جنگل‌ها نه فقط از جنبهٔ اکولوژیکی، بلکه از سایر دیدگاه‌ها به‌خصوص از لحاظ اقتصادی به سایر روش‌ها (روش دانه‌زاد همسال جوان، روش دانه‌زاد همسال بالغ، روش دانه‌زاد دواشکوبه) برتری دارد، این روش باید بررسی و برتری آن اثبات شود. امروزه استفاده از مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای بررسی روش‌های مدیریت جنگل بسیار رایج و شایع شده است [۳]. از مهم‌ترین عواملی که مدل‌سازی را توجیه می‌کند کاربرد مدل برای مدیریتِ بهترِ جنگل است. مدل‌های ایجادشده میزان رویش و عوامل مؤثر بر آن را مشخص می‌کنند و بهترین گزینه را ارائه می‌دهند و در بعضی از مواقع می‌توان آیندهٔ جنگل را نیز به کمک آن‌ها پیش‌بینی کرد. تجزیه و تحلیل سیستمی اصولاً رویکردی است که اندیشمندان از سه دههٔ پیش برای برخورد با مشکلات و پیش‌بینی حوادث از آن سود برده‌اند [۴]. منابع طبیعی و جنگل پدیده‌ای فراگیر در تمام زمینه‌های زندگی انسان‌اند که خود به‌صورت یک نظام عمل می‌کنند و با چنین نظامی نمی‌توان با روش آزمون و خطا عمل کرد، بلکه باید تمام سامانه‌ها به‌صورت یک سیستم یا سامانه در حل مشکلات ایجاد شوند [۵]. نتیجهٔ تجزیه و تحلیل سیستمی مدل‌سازی است که به‌واسطهٔ تحول و تکامل روابط رگرسیونی توسط انسان و همچنین نسل کامپیوترها، به‌ویژه از نسل چهارم آن‌ها، تحول زیادی یافته است. چه‌بسا امروزه در بسیاری از طرح‌ریزی‌ها و سیاست‌ها بدون مدل‌سازی و شبیه‌سازی نمی‌توان به راه‌حل‌های منطقی دست یافت. آماربرداری‌های جنگل شرایط فعلی جنگل را با استفاده از روش‌های آماربرداری صد درصد یا نمونه‌برداری با قطعات نمونهٔ دائم یا قطعات نمونهٔ ثابت ارزیابی می‌کند [۶، ۷]. این اطلاعات با ترکیب با مدل‌های رویشی جنگل برای پیش‌بینی توسعهٔ آیندهٔ جنگل (رویش حجمی و غیره)، و همچنین برای جلوگیری از بهره‌برداری بیش از حد و دنبال‌کردن توسعهٔ پایدار جنگل اهمیت دارند. مدل‌های رویشی درخت به‌عنوان یک گزینهٔ مناسب انتخاب می‌شوند، زیرا روند توسعه برای هر درخت را در سطح توده پیش‌بینی می‌کنند [۸]. در این مدل سطح بررسی از سطح توده به درخت تغییر کرده که انعطاف‌پذیری بالایی در پیش‌بینی رویش درخت دارد بی اینکه عواملی از قبیل آمیختگی گونه، پراکنش سنی، و سیستم‌های مختلف مدیریتی، که در جداول محصول و در سطح توده عوامل محدودکننده هستند، وجود داشته باشد [۹].

Archive of SID

www.SID.ir

جنگل‌های شمال کشور، به‌عنوان جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال، به مدل‌های رویشی مناسب نیاز دارند تا بتوان مدیریتی جامع و صحیح انجام داد و گزینه‌های مختلف مدیریتی را مقایسه کرد و در نهایت بهترین گزینه را که توسعهٔ پایدار جنگل‌ها را تضمین کند انتخاب کرد [۵].

هدف از این تحقیق استفاده از مدل‌های رویشی تهیه‌شده برای جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال و مقایسهٔ روش‌های مختلف مدیریتی و انتخاب بهترین روش است. در این تحقیق از مدل‌های رویشیِ تک‌درخت (مدل تک‌درخت رویش قطری، مدل تک‌درخت رویش ارتفاع، مدل تک‌درخت رویش زادآوری) (تعداد درختانی که قطر آن‌ها در طول دوره به بیش از ۷ سانتی‌متر رسیده است.) و مدل تک‌درخت رویش زنده‌مانی (مرگ و میر) استفاده شده است. همچنین روش‌های مدیریتی دانه‌زادِ همسال جوان، دانه‌زاد همسال بالغ، و دانه‌زاد دواشکوبه با مدیریت دانه‌زاد ناهمسال از دیدگاه تولید چوب و اقتصاد و در نهایت توسعهٔ پایدار جنگل مقایسه شده تا تصمیمی درست برای انتخاب روش مدیریتی مناسب برای این سرمایه‌های تجدیدپذیر و باارزش کشورمان گرفته شود که هم بهره‌برداری اقتصادی صورت بگیرد و هم از سایر مواهب این گنجینه‌های طبیعی استفاده شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

این تحقیق در بخش گرازبن جنگل خیرود دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. بخش گرازبن به وسعت ۹۳۴/۲۴ هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت مدیریت دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران است که در ۷ کیلومتری شرق نوشهر و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقهٔ شرقی قرار دارد. بخش گرازبن در ارتفاع بین ۸۴۰ تا ۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. از لحاظ زمین‌شناسی، سنگ مادر بخش گرازبن، آهکی و طبق نقشهٔ وزارت نفت متعلق به دوران ژوراسیک علیا است و در بعضی نقاط از طبقات سخت شکافدار و طبقات نرم و به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. در بعضی از نقاط به‌علت بیرون‌زدگی سنگ مادر و پدیده‌های کارستیک اکثر آب حاصل از بارندگی در خاک نفوذ می‌کند و به‌صورت زهکش طبیعی به رودخانهٔ خیرود می‌ریزد و بدین‌ترتیب اغلب جنگل، مخصوصاً خاک سطحی آن، در تابستان دچار کمبود آب و خشکی و باعث کندی رویش درختان در این فصل می‌شود. خاک این بخش در دسته‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است [۱۰].

نحوهٔ پراکنش و اندازه‌گیری در قطعات نمونهٔ دائم

داده‌هایی که برای مدل‌سازی استفاده شد از دو دورهٔ آماربرداری با قطعات نمونهٔ ثابت به‌دست آمدند که شرح کامل آن به این صورت است: در سال ۱۳۸۲ به کمک یک شبکهٔ آماربرداری مستطیلی ۱۵۰×۲۰۰ متر (الگوی دستگاه اجرایی)، تعداد ۲۵۸ قطعه نمونهٔ دائمی دایره‌ای‌شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور سیستماتیک تصادفی در سطح بخش گرازبن پراکنده شدند. در داخل قطعه نمونه، قطر برابر سینهٔ تمام درختان زنده که در ارتفاع برابر سینه قطری بزرگ‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر داشتند به کمک خط‌کش دوبازو اندازه‌گیری شد و مقادیر آن‌ها در طبقات یک سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شدند. در این تحقیق، محل اندازه‌گیری قطر برابر سینهٔ درختان با رنگ قرمز مشخص شد و زاویهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

هریک از درختان از طبقهٔ قطری ۷/۵ سانتی‌متری نسبت به مرکز قطعه نمونه برداشت شد و در مرکز هر قطعه نمونه، قطعات نمونهٔ دیگری به مساحت ۴ متر مربع تعیین و به برداشت اطلاعات زادآوری آن‌ها اقدام شد. این عملیات بازیابی قطعات نمونهٔ ثابت، پس از گذشت ۹ سال با توجه به آزیموت و رنگ قرمز بر روی درختان در قطعات نمونهٔ ثابت، مجدداً تکرار شد و پس از اتمام کار به انجام محاسبات لازم و ارائهٔ مدل‌های رویشی برای اولین بار در کشور برای جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال اقدام شد.

مدل‌های رویشی مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها

از مدل لجستیک با آنالیز رگرسیون لجستیک برای مدل زنده‌مانی استفاده شد. مدل‌های غیر خطی با واردکردن اثر آمیختگی برای مدل‌های رویش قطری و ارتفاع استفاده شدند. شاخص‌هایی که در مدل رویش قطری و زنده‌مانی استفاده شدند، تأثیر رقابت و اندازهٔ درخت و ترکیب توده را نشان می‌دهند. رقابت در توده به کمک سطح مقطع و سطح مقطع قطورترین درختان در توده بررسی و محاسبه شد. در مدل‌ها، شاخص‌های رقابت نقشی در مدل رویشی ارتفاع نداشتند. برای رفع اثر همبستگی مشاهده‌شده در بین قطعات نمونهٔ دائم از شاخص تصادفی قطعات نمونه برای مدل‌های رویش قطری و ارتفاع استفاده شده است.

مدل رویش قطری: مدلی که برای رویش قطری برازش داده شد به‌صورت رابطهٔ ۱ است:

(۱)

$$id_{ij} = \exp(-0.8824 + u_j + 0.4343\ln(d_{ij}) - 0.1987(d_{ij}/100)^2 + 0.0031BAL_{ij} + 0.5861Fagus + 0.4396Carpinus + 0.8202Quercus + 0.6940Alnus + 0.7475Acervelutinum + 0.6796 Acer\ cappadocicum + 0.6535Tilia) + e_{ij}$$

که در آن id_{ij} رویش قطری ۹ سالهٔ درخت، i از قطعه نمونهٔ j به سانتی‌متر، $u_j \sim N(0,\sigma_u^2)$ فاکتور قطعه نمونهٔ تصادفی، d قطر در ارتفاع برابر سینه به سانتی‌متر، BAL سطح مقطع قطورترین درختان در به متر مربع در هکتار، و $e_{ij} \sim N(0,\sigma_e^2)$ باقی‌مانده است. راش، ممرز، و سایر گونه‌ها شاخص‌های متغیر برای گونه‌های مختلف‌اند. (در اینجا Fagus=۱ است اگر گونهٔ مورد نظر راش باشد. و برای بقیه صفر گذاشته می‌شود.) انحراف معیار برای شاخص تصادفی قطعه نمونه ۰/۸۶۰، و انحراف معیار برای باقی‌مانده ۳/۶۸ سانتی‌متر است [۱۱].

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

(۲)

$$h_{ij} = 1.3 + d_{ij}^{2.336}/(0.705+0.360d_{ij})^2 + e_{ij}$$

در این رابطه h_{ij} ارتفاع درخت i از قطعه نمونهٔ j، d_{ij} قطر در ارتفاع برابر سینهٔ همان درخت، و $e_{ij} \sim N(0,\sigma_e^2)$ باقی‌مانده است. اثر قطعه نمونه مهم نبود، بنابراین در مدل استفاده نشد. انحراف معیار باقی‌مانده ۵/۴۹ متر است.

مدل زنده‌مانی: تابع لجستیک رابطهٔ ۳ برای مدل زنده‌مانی برازش داده شد است [۱۱].

(۳)

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

Archive of SID

www.SID.ir

در این رابطه، s_{ij} احتمال زنده‌مانی درخت i از قطعه نمونهٔ j (که برای ۹ سال زنده می‌ماند)، d_{ij} قطر در ارتفاع برابر سینه، و BAL سطح مقطع قطورترین درخت (متر مربع در هکتار) است.

مدل زادآوری (درختانی که قطر آن‌ها به بیش از ۷ سانتی‌متر در طول دوره رسیده است.) به‌صورت زیر بر روی داده‌ها برازش داده شد. در این رابطه، IN_j زادآوری ۹ساله (درختانی که قطر آن‌ها به بیش از ۷ سانتی‌متر در هکتار، در طول دوره رسیده است.) از پلات j و G_j سطح مقطع توده به متر مربع در هکتار است. این مدل در بهینه‌سازی‌ها استفاده شد [۱۱].

(۴)

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

بهینه‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌های مدیریتی

سه روش متفاوتِ بهینه‌سازی بررسی شد. اولین روش بهینه‌سازی، زمانی که تولیدات چوبی پایدار حداکثر است، با استفاده از برش‌های تنک‌سازی در طبقات قطری (برش‌هایی که به‌علت در دسترس نبودن تودهٔ اولیه در مراحل بعدی توسعهٔ توده انجام می‌شود.) انجام می‌شود. در این برنامهٔ شبیه‌سازی، تودهٔ اولیه وجود ندارد. در عوض برش‌های تنک‌سازی، پراکنش طبقات قطری را بهینه می‌کنند. یک توده که مسئول پراکنش آزمایشی است ایجاد می‌شود، سپس رویش برای چرخهٔ برش تا برش بعدی شبیه‌سازی و عکس حرکت این برش‌ها ما را به فراوانی کلاس‌های قطری در تودهٔ اولیه می‌رساند. برداشت‌ها برای پراکنش‌های قطری مختلف قبل و بعد از برش‌های تنک‌سازی محاسبه می‌شود. اگر فراوانی بعضی از کلاس‌های قطری بعد از برش‌های تنک‌سازی کوچک‌تر از فراوانی اولیه باشند، زادآوری کافی نیست و راه‌حل بهینهٔ نهایی جلوگیری از انتخاب ساختار ناپایدار توده است.

ساختار توده با تعداد کل درختان با قطر برابر سینهٔ بیش از ۷ سانتی‌متر (N)، قطر حداکثر یا قطر بهره‌برداری (Dmax)، و دو پارامتر تابع وایبول در رابطهٔ ۵ توضیح داده شده است [۱۲].

(۵)

$$f(d)=\left(\frac{c}{b}\right)\left(\frac{d}{b}\right)^{c-1}\exp\left[-\left(\frac{d}{b}\right)^{c}\right]$$

در این رابطه d قطر برابر سینه، f(d) فراوانی قطر d، b ضرایب مکان، و c یک ضریب شکل است. استفاده از تابع وایبول به جای پراکنش در طبقات قطری به‌طور فزاینده‌ای از تعداد متغیرهای بهینه‌سازی می‌کاهد [۱۳]. متغیرهای بهینه‌سازی در تابع وایبول فقط ۴ متغیر هستند (d قطر برابر سینه، f(d) فراوانی قطر d، b ضریب مکان، و c یک ضریب شکل). تحقیقات قبلی بر این دلالت می‌کنند که استفاده از تابع وایبول در بهینه‌سازی در حالت پایدار، نتایجی مناسب و قابل قیاس با نتایج بهینه‌سازی با پراکنش در طبقات قطری ارائه می‌کند [۱۴]. در زمان تولید یک تودهٔ اولیه، که مسئول ایجاد مجموعه‌ای از متغیرهای بهینه‌سازی است، فراوانی‌ها از تابع وایبول در یک دامنهٔ ۲ میلی‌متری و برای حداکثر قطر ۷ سانتی‌متری محاسبه می‌شوند. فراوانی به‌دست‌آمده در مقیاس کلی برده می‌شود تا تعداد تمام درختان در هکتار که برابر با N است به‌دست آید. سپس احتمال زنده‌مانی و زادآوری در پایان چرخهٔ برش با استفاده از مدل‌هایی که در این تحقیق استفاده شد شبیه‌سازی گردید. برش‌ها فراوانی درختان را در طبقات ۵ سانتی‌متری کاهش می‌دهند تا به سطح اولیه‌شان برسند. در دومین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها، توالی از برش‌های تنک‌سازی در پراکنش قطری برای چهار تودهٔ متفاوت اولیه انجام شد با این شرط که پراکنش قطری باید به پراکنش قطری هدف از پیش تعیین‌شده با یک تعداد مشخص برش برسد. هدفِ از پیش تعریف‌شده یک

Archive of SID

www.SID.ir

پراکنش قطری با سرمایه‌گذاری پایدار است [۱۳] که این سرمایه‌گذاری ارزش خالص فعلی را با نرخ تنزیل ۱ درصد (۱ درصد نرخ تنزیلی است که نرخ بهره‌برداری پایدار است. این نرخ در اقتصاد و شرکت‌های بهره‌برداری کاربرد فراوان دارد. این نرخ تا ۳ درصد هم اضافه می‌شود.) حداکثر می‌کند (معادلهٔ ۵). تابع هدف این برنامهٔ تبدیلی، ارزش خالص فعلی است که با نرخ تنزیل ۱ درصد محاسبه شد. پراکنش برش‌های تنک‌سازی از ۵ برش متوالی در سال‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، و ۱۶۰ تشکیل شده، با این شرط که پراکنش هدف از پیش تعریف‌شده باید در برش ششم در سال ۲۰۰ بهینه شود. تمام طول دوره طوری تنظیم شده است که تمام توده‌های اولیه در طول دورهٔ تبدیل به پراکنش هدف از پیش تعیین‌شده برسند. پراکنش برش‌های تنک‌سازی با تعداد کل درختان باقی‌مانده در هکتار، حداکثر قطر به‌دست‌آمده، و ضرایب وایبول b و c تعریف می‌شوند. در برش‌های تبدیلی در سال‌های ۰ تا ۱۶۰ از پراکنش وایبول به‌عنوان حد برش استفاده می‌شود که این بدان معناست که اضافاتی که برداشت می‌شوند هدف نهایی نیستند، بلکه نقصان در طبقات قطری‌اند. در ششمین برش هر نقصانی در پراکنش قطری با پراکنش قطری هدف مقایسه می‌شود تا پراکنش قطری هدف دقیقاً به‌دست آید. تعداد متغیرهای که در بهینه‌سازی شرکت داشتند ۲۰ متغیر بودند (۵x۴=۲۰).

$(N_0, N_{40},\ldots, N_{160}, Dmax_0,\ldots, Dmax_{160}, b_0,\ldots, b_{160}, c_0,\ldots, c_{160})$

در سومین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها، پراکنش قطری در حالتی که پایدار است، هم‌زمان با برش‌های تبدیلی بهینه می‌شود. پراکنش قطری پایدار در ششمین برش حاصل می‌شود. و تعداد متغیرهای بهینه‌سازی (۴×۶=۲۴) متغیر است. ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱، ۲، و ۳ درصد حداکثر شد. درآمد خالص از ۶ برش نخست به زمان حال فعلی شد و جمع گردید، سپس درآمدهای یک دوره از دوره‌های نامحدود توده در حالت پایدار جنگل شبیه‌سازی و محاسبه شد و به زمان حال فعلی گردید. این درآمد نیز به درآمد حاصل از برش‌های تبدیلی اضافه شد. ۴ تودهٔ اولیه با ساختار مختلف شامل تودهٔ همسال جوان، تودهٔ همسال بالغ، تودهٔ دواشکوبه، و تودهٔ ناهمسال در دومین و سومین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها استفاده شد. ساختار پایدار توده که سرمایه‌گذاری کارآمد نامگذاری شد با نرخ‌های مشابه تنزیل نیز برای مقایسه انتخاب شد. در این بهینه‌سازی‌ها (سرمایه‌گذاری کارآمد) پراکنش قطری بهینه از طریق رابطهٔ ۶ حداکثر شد [۱۵، ۱۶].

$$NPV_T = \frac{N_T}{(1+i)^T - 1} - C_T \qquad (۶)$$

در این رابطه N_T درآمد خالص است که به‌طور مرتب در یک فاصلهٔ زمانی مشخص ($€\ ha^{-1}$) به‌دست می‌آید. T طول چرخش برش (به سال) و C_T ارزش سرمایه‌گذاری اولیه ($€\ \ ha^{-1}$) است. ارزش سرمایه‌گذاری اولیه از ارزش چوب سرپای درختان در توده‌هایی که برش تنک‌سازی دارند به‌دست می‌آید. در رابطهٔ ۶ از هیچ تودهٔ اولیه‌ای به‌عنوان نقطهٔ شروع استفاده نمی‌شود. هدف کلی مقایسهٔ پراکنش قطری حاصل از سرمایه‌گذاری کارآمد با سایر پراکنش‌های بهینهٔ پایانی به‌دست‌آمده از سایر توده‌های اولیه به‌منظور داشتن یک ایده از قابل استفاده بودن سرمایه‌گذاری کارآمد برای پراکنش است. روش بهینه‌سازی برای تمام برنامه‌ها به‌منظور ارزیابی استراتژی بهینه‌سازی استفاده شد [۱۷، ۱۸].

نتایج

مدل رویشی قطری نشان می‌دهد که در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال بخش گرازبن جنگل خیرود، افزایش رویش قطری تا قطر ۱۰۰ سانتی‌متر

Archive of SID

www.SID.ir

تابعی از قطر برابر سینه است، ولی از قطر ۱۰۰ سانتی‌متر به بعد، با افزایش قطر، رویش قطری کاهش نشان می‌دهد. مدل رویشی زنده‌مانی 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 می‌یابد و گونهٔ ممرز در مقایسه با سایر گونه‌ها به مقدار کمی از زنده‌مانی برخوردار است. درصد پیش‌بینی صحیح مدل زنده‌مانی ۹۱/۸ درصد است. (اگر از ۰/۵ به‌عنوان آستانهٔ زنده‌مانی استفاده شود (Nagelkerge R2 آماری ۰/۰۸۲ است.) در بهینه‌سازی‌ها نتایج زیر به‌دست آمد.

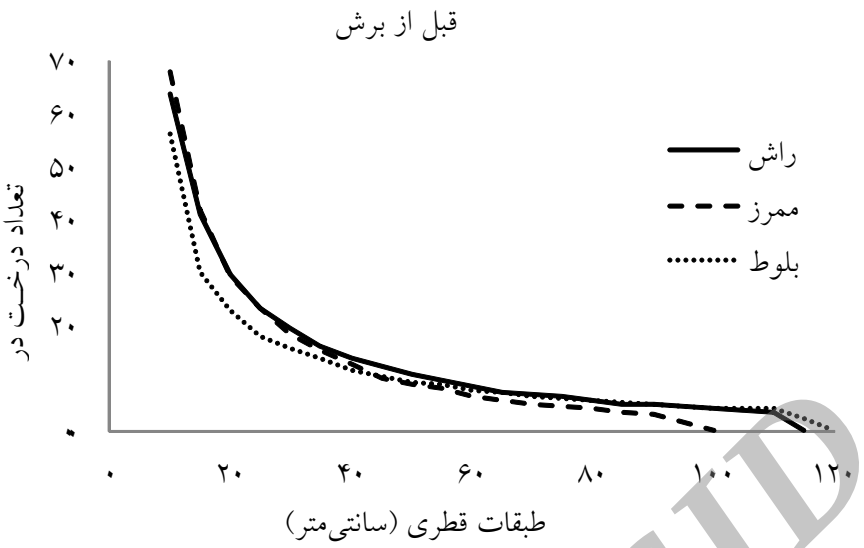
توده با ساختار بهینه برای حداکثر تولید پایدار

نخستین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها، پراکنش قطری پایداری را از برش‌های تنک‌سازی به‌دست آورد تا متوسط برداشت سالیانه حداکثر شود. بهینه‌سازی‌ها برای تودهٔ راش با چرخش برش ۱۰، ۲۰، ...، ۷۰ سال و برای گونهٔ ممرز و بلوط با چرخش ۳۰ و ۴۰ سال انجام شد. فرض بر این است که توده‌ها خالص، از یک گونه، و زادآوری از رابطهٔ ۶ برای تمام گونه‌ها به‌دست آمده است. ساختار پایدار توده‌ای که بیشترین تولید چوب را دارد از پراکنش قطری کاهنده که به سمت مدیریت ناهمسال حرکت می‌کند تشکیل شده است (شکل‌های ۱ و ۲). تفاوت اصلی بین آنالیز سه گونهٔ اصلی بر این دلالت می‌کند که حداکثر قطری که برای گونهٔ راش و بلوط به‌دست می‌آید ۱۰۰ سانتی‌متر است که این به‌طور چشمگیری بیشتر از گونهٔ ممرز است که ۸۵ سانتی‌متر است. حداکثر تولید پایدار برای راش ۴/۸ متر مکعب در هکتار، برای ممرز ۲/۲ متر مکعب در هکتار، و برای بلوط ۶/۵ متر مکعب در هکتار است (جدول ۱).

شکل ۱. پراکنش قطری بهینه بعد از تنک‌سازی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. پراکنش قطری بهینه قبل از برش‌های تنک‌سازی

جدول ۱. خصوصیات تودهٔ پایدار بعد از برش‌های تنک‌سازی زمانی که تولید چوب در یک چرخش برش ۳۰ و ۴۰ ساله حداکثر است

متغیر	ممرز		راش		بلوط	
	۴۰ساله	۳۰ساله	۴۰ساله	۳۰ساله	۳۰ساله	۴۰ساله
حجم قبل از قطع m^3ha^{-1}	۲۷۶	۲۳۳	۴۶۳	۵۰۱	۵۸۷	۵۹۴
حجم بعد از قطع m^3ha^{-1}	۱۸۳	۱۶۶	۲۷۵	۳۵۱	۳۸۷	۳۳۲
سطح مقطع قبل از قطع m^2ha^{-1}	۳۱/۷	۲۷/۹	۴۵/۱	۴۶/۹	۴۷/۹	۴۹/۲
سطح مقطع بعد از قطع m^2ha^{-1}	۲۲/۷	۲۱	۲۹/۴	۳۵/۱	۳۳	۲۹/۲
تعداد درخت سرپا قبل از برش (در هکتار)	۲۷۵	۲۷۰	۳۱۰	۳۰۱	۲۶۰	۲۸۰
تعداد درخت سرپا بعد از برش (در هکتار)	۲۵۳	۲۴۸	۲۷۵	۲۸۱	۲۲۷	۲۳۹
حداکثر قطر بهره‌برداری (سانتی‌متر)	۸۸/۸	۸۳/۵	۸۲/۶	۹۸/۵	۹۸/۷	۷۸/۸
محصول $m^3ha^{-1}a^{-1}$						
مجموع	۲/۲۶	۲/۱۷	۴/۷۳	۴/۸۵	۶/۴۸	۶/۵۹
گرده‌بینهٔ درجه ۱	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۷۳	۰/۸۶	۱/۲۲	۱/۱۶
گرده‌بینهٔ درجه ۲	۰/۵۵	۰/۴۹	۱/۱۷	۱/۳۳	۱/۸۲	۱/۷۴
گرده‌بینهٔ درجه ۳	۰/۷۴	۰/۷۲	۱/۵۷	۱/۵۳	۲/۰۲	۲/۱۲
گرده‌بینهٔ خارج از درجه	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۸۷	۰/۸۳	۱/۰۶	۱/۱۵
کاتین درجه ۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۹
کاتین درجه ۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۴

Archive of SID

www.SID.ir

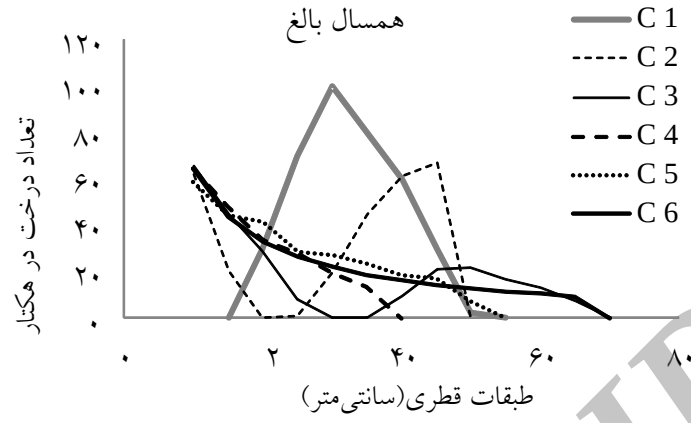
زمانی که درختان برداشت‌شده خیلی بزرگ‌اند بیشتر حجم برداشت‌شده متعلق به انواع گرده‌بینه است (گرده‌بینهٔ درجه ۱، ۲، ۳، و خارج از درجه). اگر چرخش برش ۳۰ یا ۴۰ سال باشد، تعداد درختانی که در هکتار برداشت می‌شوند، بسته به گونه و فاصلهٔ برداشت، بین ۲۰ تا ۴۰ درخت در هکتار است. حجم برداشتی بین ۶۸ (ممرز، چرخش برش ۳۰ ساله) تا ۲۶۰ متر مکعب در هکتار (بلوط، چرخش برش ۴۰ ساله) است.شکل ۱ پراکنش قطری بهینه بعد از برش‌های تنک‌سازی برای توده‌های ناهمسال راش، بلوط، و ممرز را در زمانی که تولید چوب حداکثر و چرخهٔ برش‌ها ۳۰ ساله است نشان می‌دهد. شکل ۲ پراکنش قطری بهینه قبل از برش‌های تنک‌سازی برای توده‌های ناهمسال راش، بلوط، و ممرز را در زمانی که تولید چوب حداکثر و چرخهٔ برش‌ها ۳۰ساله است نشان می‌دهد.

تبدیل بهینه برای رسیدن به پراکنش هدف سرمایه‌گذاری کارآمد

دومین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها، توالی از ۵ برش تنک‌سازی (در اینجا c مخفف cutting، یعنی برش در سال‌های مختلف است.) را در پراکنش قطری برای توده‌های اولیهٔ مختلف بهینه می‌کند. با این شرط که پراکنش باقی‌مانده بعد از ۶ برش باید با پراکنش از قبل تعیین‌شدهٔ سرمایه‌گذاری کارآمد، که با نرخ تنزیل ۱ درصد بهینه شده است، منطبق شود. ۴ تودهٔ اولیه‌ای که آنالیز شدند شاملِ تودهٔ همسال جوان، تودهٔ همسال بالغ، تودهٔ دواشکوبه، و تودهٔ ناهمسال‌اند. تمام محاسبات برای تودهٔ خالص راش انجام شد. ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شد. محاسبات ارزش خالص فعلی در تودهٔ پایدار در ششمین برش انجام شد. توالی بهینه از پراکنش قطری حاصل از برش‌های تنک‌سازی در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان می‌دهد که چگونه برش‌ها پراکنش قطری را به‌طور تدریجی به سمت پراکنش کاهندهٔ هدف می‌برند. برش‌ها تنها علت تغییر در ساختار توده نیستند، بلکه زادآوری و نرخ نابرابر آن‌ها در درختان متفاوت نیز از عوامل مهم‌اند. در سال صفر، یعنی نخستین برش، به‌جز مقدار ناچیزی در تودهٔ همسال بالغ برداشتی صورت نمی‌گیرد. اولین پراکنش از برش تنک‌سازی بر ساختار تودهٔ اولیه دلالت می‌کند. متوسط برداشت سالیانه از برش‌های تبدیلی در تودهٔ ناهمسال، از همه بیشتر است؛ اگرچه حجم اولیهٔ این توده به‌طور مشخصی نسبت به حجم اولیه در تودهٔ همسال بالغ کمتر است (جدول ۲). در واقع حجم برداشت‌شده مشابه با توده‌های همسال جوان و بالغ است؛ اگرچه بعداً حجم اولیه‌ای که برداشت می‌شود ۱۷۱ متر مکعب در هکتار است. تودهٔ همسال بالغ در مقایسه با بقیهٔ توده‌ها در طول دوره برش‌های تبدیلی نرخ رویش بسیار کمتری داشت. بعد از تودهٔ همسال بالغ، تودهٔ ناهمسال بیشترین تولید چوب را در طول دورهٔ تبدیل داشت و سپس تودهٔ دواشکوبه و بعد هم تودهٔ همسال جوان. بیشترین ارزش خالص فعلی برش‌ها، که شامل برش‌های تبدیلی و مدیریت متوالی پایدار توده است، برای تودهٔ همسال بالغ و بعد از آن برای تودهٔ همسال جوان است (جدول ۲) که این به‌علت تأثیر زیاد برش‌های اولیه بر روی درآمد فعلی‌شده می‌باشد. شکل ۳ و ۴ نشان‌دهندهٔ توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری برای ۲ تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال جوان و بالغ در زمانی است که پراکنش هدف بهینه نیست و ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شده است. شکل ۵ و ۶ نشان‌دهندهٔ توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری برای ۲ تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد ناهمسال و دواشکوبه در زمانی است که پراکنش هدف بهینه نیست و ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شده است. جدول ۲ نشان‌دهندهٔ خصوصیات توصیفی تبدیل ۴ تودهٔ اولیه به یک تودهٔ هدف پایدار ناهمسال، دورهٔ برش ۲۰۰ ساله و شامل ۶ برش است. ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد فعلی شده است.

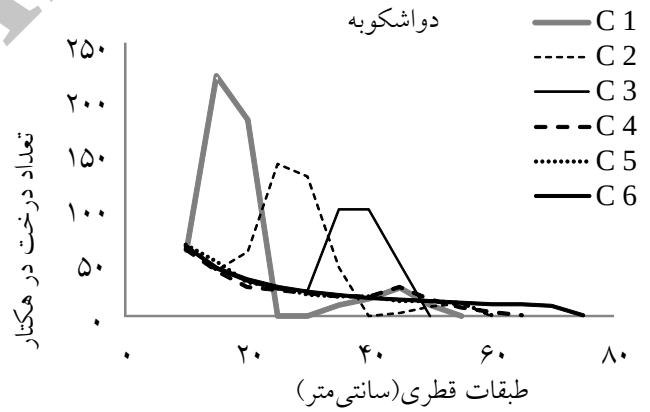
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال جوان

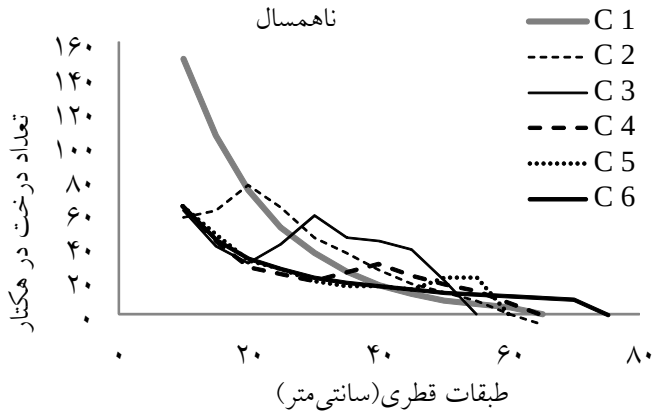
شکل ۴. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال بالغ



شکل ۵. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد ناهمسال

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد دواشکوبه.

جدول ۲. خصوصیات توصیفی تبدیل ۴ تودهٔ اولیه به یک تودهٔ هدف پایدار ناهمسال

	ناهمسال	همسال بالغ	همسال جوان	دواشکوبه
حجم اولیه m^3ha^{-1}	۱۵۶	۲۵۲	۸۵	۱۲۹
حجم پایانی m^3ha^{-1}	۲۳۲	۲۳۳	۲۲۶	۲۲۹
سطح مقطع اولیه m^2ha^{-1}	۲۱/۵	۳۳/۱	۱۵/۱	۱۸/۹
سطح مقطع پایانی m^2ha^{-1}	۲۶/۴	۲۶/۴	۲۵/۸	۲۶/۱
ارزش خالص فعلی (تومان در هکتار) با نرخ تنزیل ۱ درصد	۱۳۸۹۱۶۰۰۰	۱۵۵۹۲۰۰۰۰	۱۱۵۰۱۲۰۰۰	۱۲۹۶۹۸۰۰۰
برداشت[1] $m^3ha^{-1}a^{-1}$	۴/۵۲	۴/۰۸	۳/۹۷	۴/۲۳
رویش حجمی[2] $m^3ha^{-1}a^{-1}$	۴/۸۴	۴	۴/۵۶	۴/۶۳

۱ متوسط برداشت سالانه در طول دورهٔ تبدیل.
۲ متوسط رویش حجمی سالانه در طول دورهٔ تبدیل.
a از annualy به معنی سالانه است.

تبدیل بهینهٔ زمانی که پراکنش قطری پایانی به‌طور هم‌زمان بهینه می‌شود

سومین مجموعه از بهینه‌سازی‌ها مشابه دومین مجموعه است؛ با این تفاوت که پراکنش نهایی برش‌های تنک‌سازی تودهٔ پایدار هم‌زمان با برش‌های تبدیلی بهینه شد. اجازهٔ انجام ۶ برش تبدیلی به فاصلهٔ ۴۰ سال وجود دارد، و ۶ برش تنک‌سازی در پراکنش به‌صورت نامحدود به دنبال برش‌های تبدیلی انجام می‌شود. ششمین پراکنش باید به پایداری برسد که بدین معنی است که زمانی که برش‌های پراکنش برای ۴۰ سال انجام نشدند، تعداد کافی درخت در تمام طبقات قطری وجود داشته باشد. ارزش خالص فعلی توده با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شده است. پراکنش پایدار نهایی برای توده‌های اولیهٔ مختلف متفاوت است (شکل‌های ۷ تا ۱۱). شکل کلی به این صورت است که هرچه به سمت طبقات قطری بزرگ

Archive of SID

www.SID.ir

می‌رویم از تعداد درختان کاسته می‌شود. حداکثر قطر به‌دست‌آمده در پراکنش پایدار برش‌های تنک‌سازی، فقط ۶۴ سانتی‌متر برای تودهٔ همسال بالغ است که به‌طور مشخصی کمتر از ۸۵ تا ۹۰ سانتی‌متر است که برای سایر توده‌هاست (جدول ۳، شکل‌های ۷ تا ۱۰). این تفاوت تا حدودی به این واقعیت بستگی دارد که درختان کوچک در توده‌های همسال و بالغ کم‌اند، و زمان تبدیل (۲۰۰ سال) خیلی کوتاه‌تر از حدی است که در یک پراکنش پیوسته درختان کوچک به قطرهای برابر سینهٔ بیشتر از ۸۵–۹۰ سانتی‌متر برسند. در توده‌های بالغ همسال، تمام درختان از توده‌های اولیه نیاز به جایگزینی با زادآوری‌های جدید (درختانی که به قطر بالای ۷ سانتی‌متر رسیده‌اند.) دارند تا خلأ ایجادشده در پراکنش قطری را پر کنند. تمام توده‌های دیگر می‌توانند از درختان اولیه به‌عنوان قسمتی از پراکنش قطری پایانی استفاده کنند. نمودار تودهٔ ناهمسال در شکل‌های ۷ تا ۱۰ نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین درختان باقی‌مانده حدود ۵۵ سانتی‌متر از نخستین برش‌های تبدیلی کوچک‌ترند، سپس تدریجاً قطرها حداکثر به ۸۹ سانتی‌متر می‌رسند. سطح مقطع تودهٔ پایدار بعد از برش‌های تأخیری در دامنهٔ ۱۸/۶ متر مربع در هکتار (برای تودهٔ همسال بالغ) تا ۳۷ متر مربع در هکتار (تودهٔ ناهمسال) است. شکل‌های ۷ و ۸ توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری برای ۲ تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال جوان و بالغ را در زمانی که پراکنش قطری هدف هم‌زمان با برش‌های تبدیلی بهینه شده نشان می‌دهند. شکل‌های ۹ و ۱۰ توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری برای ۲ تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد ناهمسال و دواشکوبه را در زمانی که پراکنش قطری هدف هم‌زمان با برش‌های تبدیلی بهینه شده نشان می‌دهند. جدول ۳ خصوصیات توصیفی تبدیل ۴ تودهٔ اولیه به یک تودهٔ هدف ناهمسال پایدار را در دورهٔ برش ۲۰۰ ساله و شامل ۶ برش نشان می‌دهد. ساختار پایدار هم‌زمان با برش‌های تبدیلی بهینه می‌شود. ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شده است.

جدول ۳. خصوصیات توصیفی تبدیل ۴ تودهٔ اولیه به یک تودهٔ هدف ناهمسال

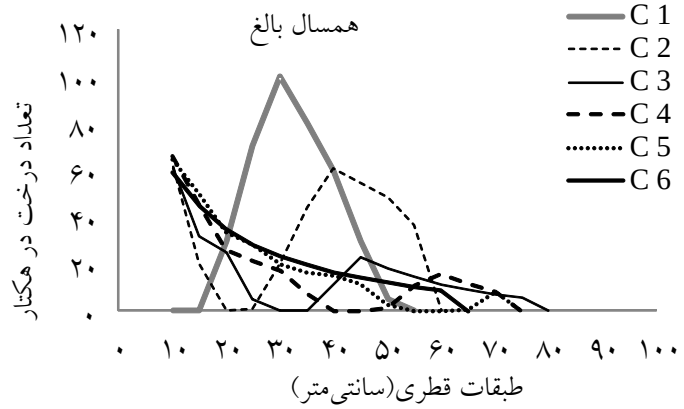
	ناهمسال	همسال بالغ	همسال جوان	دواشکوبه
حجم اولیه m^3ha^{-1}	۱۵۶	۲۵۲	۸۵	۱۲۹
حجم پایانی m^3ha^{-1}	۲۹۷	۱۵۱	۲۳۶	۲۲۹
سطح مقطع اولیه m^2ha^{-1}	۲۱/۵	۳۳/۱	۱۵/۱	۱۸/۹
سطح مقطع پایانی m^2ha^{-1}	۳۰/۷	۱۸/۶	۲۴/۱	۲۶/۱
ارزش خالص فعلی (تومان در هکتار) با نرخ تنزیل ۱ درصد	۱۳۹۷۲۲۰۰۰	۱۶۴۶۸۶۰۰۰	۱۱۷۵۰۸۰۰۰	۱۲۹۶۹۸۰۰۰
برداشت[1] $m^3ha^{-1}a^{-1}$	۴/۷۲	۴/۹۸	۴/۸۶	۴/۲۳
رویش حجمی[2] $m^3ha^{-1}a^{-1}$	۵/۳۲	۴/۵۶	۵/۴۸	۴/۶۳
حداکثر قطر بهره‌برداری (سانتی‌متر)	۸۸/۸	۶۴	۹۰/۹	۵،۸۵

متوسط رویش حجمی سالانه در طول دورهٔ تبدیل.

a از annualy به معنی سالانه است.

Archive of SID

www.SID.ir



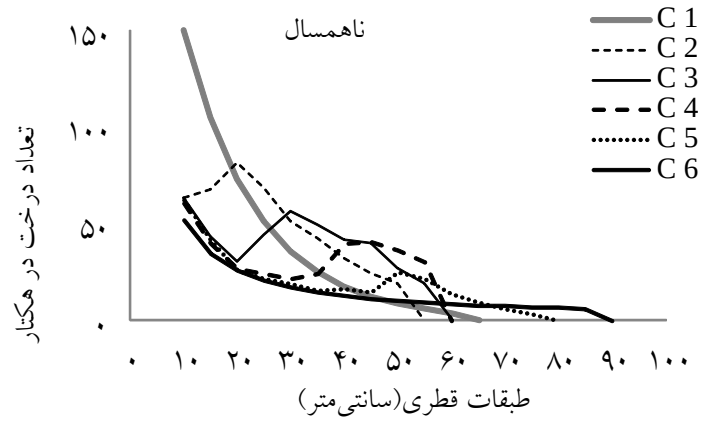
شکل ۷. توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال بالغ

شکل ۸. توالی بهینه از برش‌های تنک‌سازی پراکنش قطری تودهٔ اولیهٔ دانه‌زاد همسال جوان

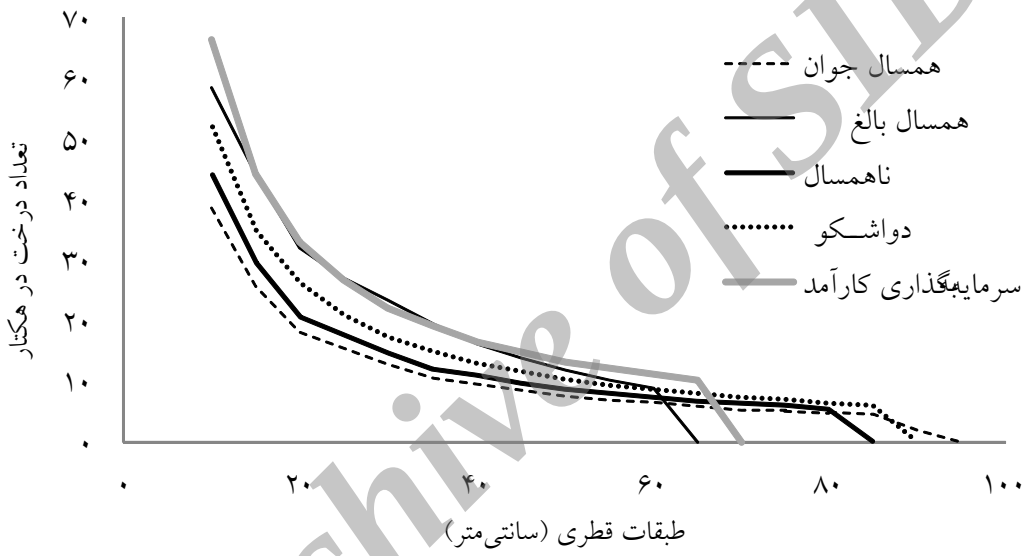
شکل ۹. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش برای اولیهٔ دانه‌زاد ناهمسال

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰. توالی از برش‌های تنک‌سازی پراکنش برای اولیهٔ دانه‌زاد دواشکوبه



شکل ۱۱. اثر ساختار تودهٔ اولیه بر روی پراکنش قطری پایدار در پایان ۲۰۰ سال دورهٔ برش

به‌جز حجم ناچیز در تودهٔ همسال بالغ اولیه (۴/۵ متر مکعب در هکتار) هیچ درختی فوراً برداشت نمی‌شود. دومین برش (سال ۴۰) فقط در توده‌های همسال بالغ و ناهمسال اجرا می‌شد. برش ۳ تا ۶ در ۴ توده اجرا می‌شود. میانگین حجم برداشت سالانه در دورهٔ تبدیل بین ۴/۶۷ تا ۴/۹۸ متر مکعب در هکتار است (جدول ۳). متوسط رویش حجمی سالانه در طول دورهٔ تبدیل بین ۴/۵ متر مکعب در هکتار (تودهٔ همسال بالغ) تا ۵/۵ متر مکعب (در تودهٔ همسال جوان) است. برداشت‌های دوره‌ای در توده‌های همسال بالغ پایدار در مقایسه با سایر توده‌ها کمتر است. شکل ۱۱ اثر ساختار تودهٔ اولیه بر روی پراکنش قطری پایدار در پایان ۲۰۰ سال دورهٔ برش را نشان می‌دهد. پراکنش سرمایه‌گذاری کارآمد از معادلهٔ ۲ و نرخ تنزیل ۱ درصد برای چرخش برش ۴۰ ساله بهینه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

جنگل‌های هیرکانی کارکردهای مختلفی از قبیل تولید

Archive of SID

www.SID.ir

چوب، تنوع زیستی، زیبایی و تفرج، حفاظت از آب و خاک، و غیره دارند که نیاز به یک مدیریت یکپارچه و همه‌جانبه دارد. به‌نظر می‌رسد که مدیریت ناهمسال در پیش‌برد این اهداف روشی کارآمد و مؤثر است. در این تحقیق از مدل‌های رویشی برای بررسی و شبیه‌سازی روش‌های مختلف مدیریت جنگل‌های شمال کشور استفاده شده است. مجموعهٔ این مدل‌ها به مدیران در مدیریت بهینهٔ تولید چوب در این جنگل‌ها کمک فراوانی می‌کند. مدل و محاسبات این تحقیق نشان می‌دهد که تولید چوب یا بازده اقتصادی این جنگل‌ها بین ۲/۲ تا ۷ متر مکعب در هکتار و در سال بسته به گونه و ساختار توده برای ممرز ۲/۲ و برای راش و بلوط نزدیک به ۷ متر مکعب در هکتار و سال است. این نتایج در راستای تحقیقات قبلی است که گزارش کرده‌اند نرخ رویش بین ۲ تا ۸ متر مکعب در هکتار و در سال [۱۹] ۲/۲ تا ۸/۳ مترمکعب در هکتار و در سال [۲۰] است. بعضی از محققان بر این باورند که اجرای مدیریت ناهمسال برای جنگل‌های هیرکانی پیچیده است و نیاز به مهارت بالا دارد [۲۱]. و برخی دیگر مانند لوماندر و محمدی [۲۰] این روش را در این جنگل‌ها عملی و قابل اجرا می‌دانند. مدل و آنالیزهای این تحقیق نیز بر عملی‌بودن این روش و حفظ پایداری جنگل دلالت دارد. مدل‌ها به این نکته اشاره می‌کنند که در مقایسه با جنگل‌های معتدله مقدار محصول پایدار از سطح کمتری برخوردار است، ولی به‌علت بالابودن قیمت چوب سرپا که ناشی از انحصار فروش است میانگین درآمد سالانه از فروش چوب در ایران بسیار بالا و برابر با ۱۷۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰ تومان در هکتار برای تودهٔ راش است. حداکثر ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل بیشتر از ۱ درصد باعث کاهش شدید تولید چوب و درآمد و تراکم توده، در مقایسه با شرایط رایج مدیریتی که تولید چوب را حداکثر می‌کند می‌شود. محاسبات اقتصادی این مطالعه نشان می‌دهد که ساختار بهینهٔ جنگل ناهمسال بستگی به ساختار اولیهٔ توده و نرخ تنزیل دارد. نتایج نخست این تحقیق با نتایج تحقیقات [۲۲] و [۲۳] همخوانی دارد. از آنجا که پراکنش قطری واحدی که هدف همیشگی باشد و همواره در جنگل پیگیری شود وجود ندارد، وابستگی ساختار پایدار به شرایط تودهٔ اولیه در مدیریت عملی نامناسب و بنابراین دستورالعمل کلی مدیریت پیچیده است که این تحقیق سعی در حل این مشکل دارد. با بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری کارآمد در ساختار توده، که به ساختار تودهٔ اولیه وابسته نباشد، استفاده از این پراکنش هدف ممکن است ایجاد سؤال کند و طبق نظر بعضی از نویسندگان برنامه‌های فرمولی فاقد پایهٔ تئوری منطقی است [۲۴، ۲۵]. خوشبختانه تأثیر ساختار تودهٔ اولیه به پراکنش پایدار در مقایسه با نرخ تنزیل یا نوع بهینه‌سازی کمتر است. ناهنجاری و اختلاف اصلی در تودهٔ بالغ همسال است که پراکنش قطری باریک‌تری در مقایسه با سایر توده‌های اولیه دارد. به هر حال این تفاوت در دورهٔ بلندمدت تبدیل ممکن است ناپدید شود [۲۵]. تفاوت سیستماتیک اصلی بین سرمایه‌گذاری کارآمد و سایر پراکنش‌ها در این است که حداکثر قطر به‌دست‌آمده از سایر پراکنش‌ها کوچک‌تر است. استفاده از پراکنش سرمایه‌گذاری کارآمد به‌عنوان هدف برای توده‌های اولیهٔ مختلف به جای بهینه‌سازی پراکنش پایانی هم‌زمان با برش‌های تبدیلی ارزش خالص فعلی را ۰/۶ درصد (تودهٔ اولیهٔ ناهمسال) تا ۶/۵ درصد (تودهٔ اولیهٔ همسال بالغ)، در زمانی که ارزش خالص فعلی با نرخ تنزیل ۱ درصد حداکثر شود، افزایش می‌دهد [۲۳]. همچنین بیان می‌کند که پراکنش ثابت هدف، ارزش خالص فعلی را کاهش می‌دهد و چون هدف محدودیتی اضافی در برنامه‌های بهینه‌سازی ایجاد می‌کند تودهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

سرمایه‌گذاری کارآمد می‌تواند ارزش خالص فعلی برابر با ۱۳۶۶۲۰۰۰ تومان را در هکتار ایجاد کند که این ارزش به تودهٔ با ساختار ناهمسال و دواشکوبه نزدیک‌تر است [۲۶]. همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که زیست‌تودهٔ باقی‌مانده نسبت به نرخ‌های تنزیل بسیار حساس است، در توده‌های راش سطح مقطع توده در توده‌های پایدار بعد از برش‌ها تنک‌سازی و با چرخش برش ۴۰ ساله با نرخ تنزیل‌های ۱، ۲، و ۳ درصد، به‌ترتیب برابر با ۲۰–۳۰، ۱۰–۱۵، و ۵ متر مربع در هکتار است. در توده‌های راش زمانی که تولید چوب حداکثر است سطح مقطع بعد از برش‌های تأخیری باید بین ۳۰ تا ۳۵ متر مربع در هکتار و حداکثر قطر به‌دست‌آمده بین ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در یک چرخهٔ ۳۰ تا ۴۰ ساله باشد. طرح‌های مدیریتی، که ارزش خالص فعلی را با نرخ تنزیل بالاتر از ۳ درصد یا بیشتر حداکثر می‌کنند، از دیدگاه تولید چوب باعث برش‌های فوری در سال‌های ابتدایی و تغییرات شدید در ساختار توده و کاهش بهره‌برداری در بلندمدت می‌شوند. از دیدگاه سایر کارکردهای جنگل این برنامه‌ها مقبول نیستند و پایداری جنگل را حفظ نمی‌کنند. یک تعادل مناسب و درخور بین کارآمدی اقتصادی، تولید چوب، و خدمات زیست‌محیطی در جنگل با نرخ تنزیل ۱ درصد به‌دست آمده که حداکثر سودآوری اقتصادی را نیز به‌دنبال دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Marvie-Mohadjer, M.R., (2012). *Silviculture*. University of Tehran Press.400p.

[2]. Sefidi, K., Marvie Mohadjer, MR., Mosandl, R., and Copenheaver, CA. (2011). Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands, northern Iran. Forest Ecology and Management, 262(6): 1094–1099.

[3]. Calama, R., Barbeito, I., Pardos, M., del Rio, M., and Montero, G. (2008). Adapting a model for even-aged *Pinus pinea* L. stands to complex multi-aged structures. Forest Ecology and Management, 256: 1390–1399.

[4]. Hokka, H. (1999). *Forest Modeling and Management*. Silva Fennica, 34: 251-272.

[5]. Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiry, M., and 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(21):25-40.

[6]. Zobeiri, M. (2011). *Forest Inventory (Tree Measurement).* University of Tehran Press. 401p.

[7]. Namiranian, M. (2010). Tree Measurement and Forest Bioinventory. University of Tehran Press. 574p.

[8]. Lahde, E., Laiho, O., and Norokorpi. Y. (1999). Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. Forest Ecology and Management, 118: 223–243.

[9]. Hasenauere, H. (2006). Sustainable forest management growth models for European Journal of Forest Research 27, 201-214.

[10]. *Forest Management Project of Gorazbon District*. (2009). University of Tehran's Kheyrud Experimental Forest in Northern Iran. 440p.

[11]. Bayat, M., Pukkala, T., Namiranian, M., and Zobeiry, M. (2013). Productivity and optimal management of the uneven-aged hardwood forests of Hyrcania. European Journal of Forest Research. 132(5-6): 851-864.

[12]. Bailey, R.L., and Dell, T.R. (1973). Quantifying diameter distributions with the Weibull function. Forest Science, 19(2): 97–104.

[13]. Bare, B.B., and Opalach, D. (1987). Optimizing species composition in uneven-aged forest stands. Forest Science, 33: 958–970.

[14]. Pukkala, T., Lähde, E., and Laiho, O. (2010). Optimizing the structure and management of uneven-sized stands in Finland. Forestry, 83(2): 129–142.

[15]. Chang, S.J., and Gadow, K. V. (2010). Application of the generalized Faustmann model to uneven-aged forest management. Journal of Forest Economics, 16 (10): 313–325.

[16]. Bare, B.B., and Opalach, D. (1987). Optimizing species composition in uneven-aged forest stands. Forest Science, 33: 958–970.

[17]. Bayer, H.-G., and Schwefel, H.-P. (2002). Evolution strategies. A comprehensive introduction. Natural Computing, 1: 214-224.

[18]. Pukkala, T. (2009). Population-based methods in the optimization of stand management. Silva Fennica, 43(2), 261–273.

[19]. Farahmand, K. (2012). Economic analysis of optimal utilising at Northern forest of Iran. International Journal of AgriScience, 2(4): 374–384.

[20]. Lomander, 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.

[21]. 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 Science, 7(8): 700-709.

[22]. Mitchie, B.R. (1985). Uneven-aged management and the value of forest land. Forest Science 31, 116–121.

Archive of SID

www.SID.ir

[23]. Haight, R.G., and Getz, W.M. (1987). Fixed and equilibrium endpoint problems in uneven-aged stand management. Forest Science, 33: 908-931.

[24]. Getz, W.M., and Haight, R.G. (1989). *Population Harvesting: Demographic Models for Fish, Forest and Aanimal Resources*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

[25]. 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.

[26]. Chang, S.J., and Gadow, K. V. (2010). Application of the generalized Faustmann model to uneven-aged forest management. Journal of Forest Economics, 16: 313-325.

Archive of SID

www.SID.ir