جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷
ص ۸۳-۹۴

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2018.249508.883

توسعهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده برای توده‌های جست‌زاد همسال برودار (*Quercus brantii* Lindl) در زاگرس مرکزی

حمدالله صادقی کاجی[1*]، علی سلطانی[2]، صالح کهیانی[3]

۱. دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۲. دانشیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت:۹۶/۱۰/۲۱، تاریخ پذیرش:۹۷/۰۲/۲۴

چکیده

دیاگرام مدیریت تراکم توده، از روش‌های مؤثر برای طراحی، نمایش و ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریت رژیم‌های تراکم در توده‌های همسال است. هدف بررسی حاضر، تعیین ابزاری برای مدیریت تراکم در توده‌های شاخه‌زاد برودار بود. از این دیاگرام می‌توان برای مدیریت تراکم توده براساس هدف تعیین‌شده و برآورد سریع حجم توده استفاده کرد. برای توسعهٔ این دیاگرام از چهار متغیر ارتفاع غالب، تعداد جست در هکتار، جذر مربع میانگین قطر و حجم در هکتار استفاده شد. داده‌های لازم از ۱۵ تودهٔ شاخه‌زاد همسال برودار در قالب ۷۱ پلات موقت در ناحیهٔ رویشی زاگرس مرکزی واقع در استان چهارمحال و بختیاری برداشت شد. ساخت این دیاگرام با دو رابطهٔ پایهٔ حجم و مربع میانگین قطر با متغیرهای وابستهٔ تعداد در هکتار و ارتفاع غالب انجام گرفت. به‌دلیل وجود خطا در برآورد سمت چپ و راست دیاگرام، از روش برازش همزمان روابط استفاده شد. در این دیاگرام برای تعیین وضعیت رشد از بین شاخص‌های مختلف تراکم از شاخص فاصلهٔ نسبی به‌دلیل مستقل بودن از کیفیت رویشگاه و سن توده استفاده شد و همچنین ارتفاع غالب به‌عنوان معیاری برای تعیین فواصل تنک کردن به‌کار رفت. در نهایت برای روشن شدن کاربرد این دیاگرام در شرایط یک توده با موجودی متوسط، یک مثال عملی برای برنامهٔ تنک کردن با ارتفاع غالب هدف ۸ متر و دو فاصلهٔ تنک کردن پیشنهاد شد. از این دیاگرام می‌توان در برآورد سریع حجم و پیشنهاد برنامه‌های اصلاحی جنگل‌شناسی (تنک کردن جست‌گروه‌ها) در طرح‌های مدیریت توده‌های شاخه‌زاد برودار استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: برودار، تودهٔ همسال، جست‌زاد، جنگل‌شناسی، زاگرس مرکزی، مدیریت جنگل.

مقدمه

مدیریت تراکم توده فرایندی برای کنترل فضای رشد[1] توده با تنظیم تراکم برای رسیدن به اهداف مختلف مدیریتی است [۱]. تعیین سطح مناسب رشد موجودی[2] در سطح توده، فرایندی بسیار پیچیده است که فاکتورهای مختلف بیولوژیکی، تکنولوژیکی و اقتصادی را برای یک حالت مدیریتی خاص در بر می‌گیرد. یک رویکرد مناسب برای تصمیم‌سازی در خصوص مدیریت تراکم توده، استفاده از دیاگرام مدیریت تراکم توده است که براساس برنامه‌های کنترل تراکم گزینه‌هایی را برای مدیریت با توجه به هدف فراهم می‌کند. استفاده از دیاگرام مدیریت تراکم توده یکی

* نویسندهٔ مسئول، تلفن:۰۹۲۲۷۵۰۳۶۹۱
Email: hamdollahsadeghi@gmail.com
1. Growing space
2. Growing stock

از روش‌های مؤثر در طراحی، نمایش و ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریت رژیم‌های تراکمی در توده‌های همسال است [۲]. از دیگر کاربردهای این ابزار مدیریتی می‌توان به استفاده از آن در حالت‌های خاص مدیریتی مثل آمادگی[1] توده‌ها به حمله آفات [۳]، مقاومت در مقابل باد [۴] یا رسیدن به بیشترین اندازهٔ تنوع توده‌ها [۵] اشاره کرد. دیاگرام مدیریت تراکم توده با مشخصه‌هایی از رشد توده ساخته می‌شود. در این دیاگرام برای توصیف رشد توده از شاخص‌هایی مرتبط با متوسط اندازهٔ درخت (مثل میانگین وزن، حجم، ارتفاع یا قطر) نسبت به تراکم (تعداد در هکتار) استفاده می‌شود. برای توسعهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده چند شاخص وجود دارد: شاخص تراکم [۶]، قانون خود تنکی[2] [۷] و شاخص نسبی فاصله [۸].

در خصوص روش‌های تنظیم جنگل در ناحیهٔ رویشی زاگرس مرکزی بررسی قابل استنادی وجود ندارد. تنها یک تحقیق در ناحیهٔ رویشی زاگرس شمالی با عنوان بررسی رویش و تغییرات الگوی پراکنش قطری در توده‌های جنگلی وی‌ول- مازدارو، به‌منظور دستیابی به الگوی تنظیم جنگل در منطقهٔ بانه توسط غضنفری (۲۰۰۳) انجام گرفته است [۹]. در مورد الگوی تنظیم جنگل برای گونهٔ اصلی زاگرس مرکزی برودار (*Quercus brantii*) تاکنون پژوهش پایه‌ای انجام نگرفته است. بیشتر پژوهش‌های انجام‌گرفته با هدف تعیین مشخصه‌های لازم برای ارائهٔ برنامهٔ تنظیم جنگل نبوده و عمدتاً به‌صورت پراکنده در مورد مشخصه‌های مختلف توده‌های برودار انجام گرفته است. مانند آنها می‌توان به بررسی‌های انجام‌گرفته در خصوص اندازه‌گیری میزان رشد و رویش گونه‌های مختلف جنس بلوط اشاره کرد. این پژوهش‌ها در حوزهٔ رویشی زاگرس محدود است و در چارچوب مطالعات کلی و اغلب براساس برآوردهای کارشناسی به‌صورت درصدی از حجم سرپا توده‌های جنگلی انجام گرفته است [۱۰].

اولین دیاگرام مدیریت تراکم توده برای گونهٔ کاج قرمز را Ando (۱۹۶۲) در ژاپن توسعه داد [۱۱]. از آن پس تغییرات و اصلاحاتی در ساخت این دیاگرام مانند جایگزینی تولید خالص و معرفی رابطهٔ تراکم و استفاده از شاخص‌های مختلف تراکمی در آن ایجاد شد [۲]. این دیاگرام برای گونه‌ها و شرایط مختلف (همسال، ناهمسال، آمیخته و خالص) توسعه یافته است، از جمله می‌توان به توسعه و استفاده از این دیاگرام برای توده‌های خالص دانه‌زاد شاه‌بلوط (*Castanea sativa*) در پرتغال [۱۲] و استفاده از این دیاگرام برای توده‌های دست‌کاشت گونهٔ تیک (Tectona *grandis* L) در مکزیک [۱۳] و کاربرد این دیاگرام برای گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در شرایط ناهمسال و آمیخته [۱۴] اشاره کرد.

از بررسی‌های مشابه برای گونهٔ بلوط می‌توان به بررسی Barrio Anta و همکاران (۲۰۰۵) در توسعهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده و طراحی برنامهٔ تنک کردن برای توده‌های همسال بلوط pedunculate (*Quercus robur*) [۱۵] و تهیهٔ این دیاگرام برای توده‌های خالص بلوط pyrenean (*Quercus pyrenaica*) در سطح محلی در شمال غربی اسپانیا [۱۶] اشاره کرد. در خصوص توسعهٔ مدل‌های مدیریت تراکم توده برای گونهٔ برودار در زاگرس پژوهشی گزارش نشده است.

وضعیت جنگل‌های زاگرس با برداشت‌های خارج از ضابطه، غیراصولی و بدون نظم مکانی و زمانی سیر قهقرایی دارد. بخشی از تنش‌های موجود در این توده‌ها مربوط به ناهمگنی‌های ناشی از بی‌نظمی در برداشت طی دهه‌های اخیر شامل تنک شدن توده، خشک شدن درختان، مسن شدن جست‌گروه‌های موجود، تأخیر در استقرار جست‌گروه‌های جوان، کاهش تنوع زیستی، فرسایش خاک و شیوع آفات و بیماری‌هاست. توسعهٔ ابزارهایی برای مدیریت این توده‌ها با

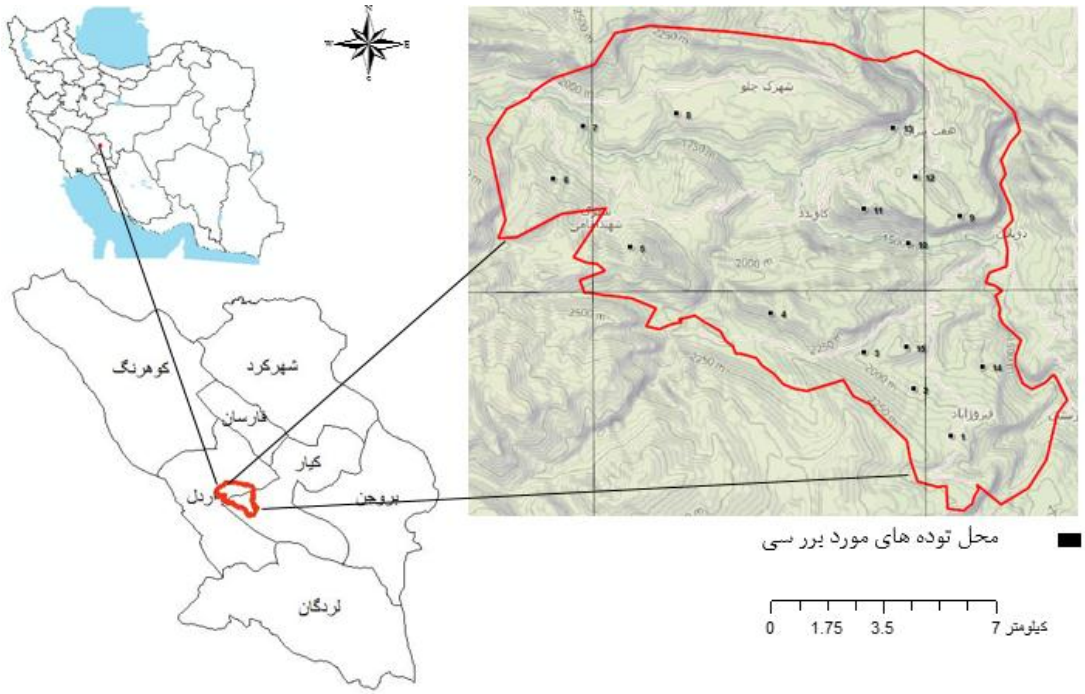
1. Susceptibility
2. Self-thinning rule

مشارکت جوامع محلی می‌تواند در حفظ و توسعهٔ این جنگل‌ها راهگشا باشد. هدف از این پژوهش، تهیهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده برای توده‌های جست‌زاد همسال برودار است. برای نمایش کاربرد این دیاگرام یک مثال عملی برای برنامهٔ تنک کردن در شرایط یک توده با وضعیت متوسط ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

انتخاب توده‌های جست‌زاد با جنگل‌گردشی در وسعتی معادل ۱۴۰۰۰ هکتار از جنگل‌های جست‌زاد برودار (*Quercus brantii* Lindl) در ناحیهٔ رویشی زاگرس مرکزی انجام گرفت. این ناحیه در استان چهارمحال و بختیاری و مرز بین شهرستان‌های اردل و کیار قرار دارد. محدودهٔ جغرافیایی توده‌های جنگلی مورد بررسی بین ′۴۳ "۵۰ °۳۱ و ′۱۳ "۵۹ °۳۱ عرض شمالی و ′۳۶ "۱۸ °۵۰ و ′۱۳ "۲۶ °۵۰ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع بین ۱۵۰۰ تا ۲۲۵۰ متر از سطح دریاست. میانگین بارندگی سالانه ۵۵۸/۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۵/۱ درجهٔ سانتی‌گراد است. منطقه از نظر ویژگی‌های آب‌وهوایی در منطقهٔ اقلیمی نیمه‌مرطوب قرار دارد [۱۷].



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ تحقیق در ایران و استان چهارمحال و بختیاری و همچنین پراکنش توده‌های مورد بررسی در منطقه

روش بررسی

جمع‌آوری داده‌ها

در ابتدا در محدودهٔ مورد نظر با جنگل‌گردشی‌های صورت‌گرفته، ۳۰ تودهٔ (در این پژوهش منظور از توده، لکه‌های جنگلی با سطح بیشتر از ۵ هکتار است) جست‌زاد خالص برودار انتخاب شد. در انتخاب توده‌های مختلف سعی شده است حالت متوسط جنگل‌های موجود در نظر گرفته شود. بنابراین از انتخاب توده‌هایی که با وضعیت عمومی جنگل‌های مورد بررسی فاصله دارند (توده‌هایی با نوسانات زیاد تعداد در هکتار و تغییرات قطری) صرف‌نظر شد. توده‌های انتخاب‌شده از نظر همسالی بررسی شدند. معیار همسالی تبعیت توزیع

فراوانی جست‌ها در طبقات قطری مختلف با توزیع نرمال بود که از طریق آزمون کولموگروف- اسمیرنوف با سطح خطای ۵ درصد انجام گرفت. در نهایت ۱۵ تودهٔ همسال با دامنهٔ طبقات قطری مختلف در این جنگل‌ها انتخاب شد. در این توده‌ها ۷۱ پلات موقت ۱۵ آری دایره‌ای به‌صورت منظم تصادفی اندازه‌گیری شد. در محل هر توده بین ۴ تا ۶ پلات با اندازهٔ شبکهٔ متغیر با شرایط توپوگرافی هر توده و با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ و ۱۰۰×۱۵۰ متر اندازه‌گیری شد. در محل هر پلات قطر در محل یقه و ارتفاع کل جست‌های با قطر یقهٔ بیش از ۵ سانتی‌متر (حداقل قطری که از بلوط برای بهره‌برداری استفاده می‌شود) اندازه‌گیری شد. ارتفاع غالب، میانگین ارتفاع ۱۰۰ جست قطور هر توده است. قطر در محل یقه با نوار قطرسنج و ارتفاع با استفاده از شیب‌سنج سونتو و فاصله تا درخت با متر نواری تا دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

حجم در هکتار

قدم اول در برآورد حجم در هکتار تعیین حجم تک‌درخت است. برای تخمین حجم تک‌درخت از رابطهٔ دو متغیر پیشنهادشده توسط Bi and Hamilton (۱۹۹۸) [۱۸] که برای توده‌های جست‌زاد برودار توسط Sadeghi kaji and Soltani (۲۰۱۷) توصیه شده [۱۹]، استفاده شد. در بررسی مذکور ۷۳ اصله درخت در طبقات قطری مختلف (۵/۷ تا ۴۶/۳) قطع و حجم واقعی آنها اندازه‌گیری شد. با مقایسهٔ روابط مختلف تک و دومتغیره از طریق رگرسیون غیرخطی وزنی و اعتبارسنجی آنها، رابطهٔ ۱ به‌عنوان رابطهٔ مناسب برای تخمین حجم تک‌درخت انتخاب شد. در بررسی حاضر با استفاده از رابطهٔ ۱، حجم تک‌درخت محاسبه و برای برآورد حجم در هکتار با ترکیب متغیرهای توده به‌کار رفت.

$$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H + b_3 D^2 H^2 + b_4 D \qquad (۱)$$

V: حجم تک‌درخت به متر مکعب؛ D: قطر در محل یقهٔ یک جست ؛H:ارتفاع کل درخت به متر؛ b_0، b_1، b_2 و b_3 ضرایب مدل

جذر مربع میانگین قطر

در جنگلداری، جذر مربع میانگین قطر از شاخص‌های تمایل مرکزی است که در اندازه‌گیری گروهی از درختان از میانگین حسابی کارایی بیشتری دارد [۲۰]. رابطهٔ مورد استفاده برای محاسبهٔ این متغیر شامل رابطهٔ ۲ است. از این رابطه در ساخت دیاگرام مدیریت تراکم توده استفاده می‌شود.

$$Dg = \sqrt{\frac{\sum D_i^2}{n}} \qquad (۲)$$

D_i: قطر در محل یقهٔ یک جست به سانتی‌متر؛ n: تعداد کل جست‌ها

دیاگرام مدیریت تراکم توده

دیاگرام مدیریت تراکم توده رشد موجودی را با نشانه‌هایی که مربوط به تراکم میانگین اندازهٔ درختان است، مشخص می‌کند. در این پژوهش این شاخص‌ها شامل یک سیستم دورابطه‌ای مربوط به حجم و جذر مربع میانگین قطر و شاخصی برای رشد موجودی است که با شاخص فاصلهٔ نسبی [۲۱] مشخص می‌شود (رابطهٔ ۳). دلیل استفاده از این شاخص این است که علاوه بر اینکه مستقل از کیفیت رویشگاه و سن توده است، از دید بیولوژیکی ارتفاع غالب یکی از معیارهای مناسب برای تعیین فواصل تنک کردن است [۱۵]. برای ساخت دیاگرام مدیریت تراکم توده مناسب‌تر است که متغیرهای وابسته فقط از متغیرهای تراکم توده و ارتفاع غالب باشد [۲۲]. بنابراین در سیستم پیشنهادی در این بررسی این متغیرها استفاده شدند. متغیر تعداد در هکتار و ارتفاع غالب، برون‌زا[1] و متغیرهای مجذور مربع میانگین قطر و حجم، درون‌زا[2] هستند؛ از

1. Exogenous
2. Endogenous

این‌رو بین اجزای خطای متغیرها در سمت راست و چپ دیاگرام همبستگی وجود دارد. برای رفع این مشکل از تکنیک full information maximum likelihood برای برازش همزمان دو رابطه با رویه مدل در نرم‌افزار SAS استفاده شد. برای نمایش نتیجهٔ برازش روابط از ضریب تعیین تعدیل‌شده و جذر مربع میانگین خطا استفاده شد (رابطه‌های ۴ و ۵). برای ساخت دیاگرام ارتفاع غالب در محور X و تعداد در هکتار در مقیاس لگاریتمی در محور Y قرار دارد. شاخص فاصلهٔ نسبی مشخص‌کنندهٔ سطح رشد موجودی است، با این فرض که پراکنش درختان یکنواخت نیست.

$$RS\% = \frac{\sqrt{\frac{2000}{N\sqrt{3}}}}{H_0} \qquad [۲۳] \ (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\sum (ei - \hat{e})^2}{n-1}} \qquad [۲۴] (۴)$$

$$R^2_{adj} = 1-(ESS/CSS)/(n-1/n-p) \qquad [۲۴] \ (۵)$$

در این روابط، RS%: درصد فاصلهٔ نسبی؛ N: تعداد جست در هکتار؛ H_0: ارتفاع غالب (متر)؛ R^2_{adj}: ضریب تعیین تعدیل‌شده، ESS: مجموع مربعات خطا؛ CSS:مجموع مربعات تصحیح‌شده؛ n: تعداد نمونه‌ها؛ RMSE: جذر مربع میانگین خطا؛ e_i:مقدار برآوردی؛ $\hat{e}$: مقدار واقعی

نتایج و بحث

شیب عمومی توده‌های مورد بررسی بین ۱۵ تا ۳۵ درصد با جهت‌های غالب جنوب و جنوب غربی بود. از بین توده‌های مورد بررسی، ۱۵ توده که منحنی فراوانی آنها از توزیع نرمال تبعیت داشت، برای استخراج داده‌های ترسیم دیاگرام مدیریت تراکم توده انتخاب شد. اطلاعات توصیفی توده‌های مورد بررسی در جدول ۱ آمده است.

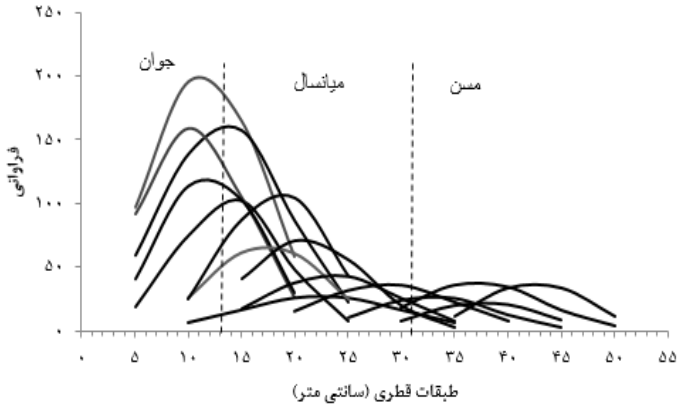
جدول ۱. مشخصات توده‌های مورد بررسی شامل میانگین و انحراف معیار هر متغیر به تفکیک هر توده

توده	متوسط ارتفاع		متوسط قطر		ارتفاع غالب		مجذور میانگین قطر		تعداد جست در هکتار		سطح مقطع	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
۱	۳/۸۱	/۲۷	۱۴/۰۳	۱/۷۹	۵/۱۷	/۳۵	۱۴/۶۹	۱/۷۶	۷۱۷/۳۳	۷/۶۰	۱۲/۵۵	۲/۷۸
۲	۴/۱۱	/۲۸	۱۵/۶۶	۱/۸۸	۵/۹۱	/۱۲	۱۶/۵۸	۱/۶۶	۶۲۶/۶۶	۱۰/۵۴	۱۳/۶۲	۲/۵۰
۳	۴/۱۳	/۲۵	۱۵/۴۰	۱/۰۳	۴/۹۷	/۲۵	۱۵/۸۰	۱/۰۶	۳۶۸/۳۳	۲۲/۰۲	۷/۲۵	/۹۵
۴	۳/۲۴	/۲۵	۱۲/۸۱	۱/۰۸	۴/۸۵	/۴۲	۱۲/۰۴	۲/۹۰	۵۴۳/۹۹	۱۲/۱۱	۸/۰۵	۱/۷۰
۵	۴/۱۰	/۵۸	۱۷/۲۳	۲/۶۰	۵/۳۶	/۷۸	۱۸/۰۲	۲/۷۵	۴۰۹/۳۳	۱۹/۷۷	۱۰/۷۵	۳/۶۲
۶	۶/۰۷	/۵۷	۲۷/۰۲	۳/۰۵	۷/۲۵	/۳۱	۲۷/۶۲	۲/۵۵	۱۸۸/۳۳	۱۳/۷۴	۱۱/۴۶	۲/۴۵
۷	۵/۰۵	/۳۷	۲۰/۰۲	/۹۷	۶	/۵۵	۲۰/۶۷	/۹۴	۲۴۱/۳۳	۱۲/۸۲	۸/۱۲	۱/۱۳
۸	۵/۵۱	/۲۴	۲۳/۶۴	۱/۲۵	۷/۰۴	/۳۹	۲۴/۲۱	۱/۲۳	۲۶۸	۲۳/۲۸	۱۲/۳۲	/۵۳
۹	۶/۴۷	/۴۸	۲۵/۹۲	۱/۶۸	۷/۵۵	/۴۴	۲۶/۶۱	۱/۵۵	۲۳۶/۶۶	۱۷/۶۳	۱۳/۲۲	۲/۱۲
۱۰	۵/۴۳	/۴۳	۲۱/۰۹	۱	۶/۲۸	/۳۶	۲۱/۶۵	۱/۱۲	۳۵۷/۳۳	۱۳/۸۲	۱۳/۱۱	/۹۹
۱۱	۸/۳۵	/۱۸	۴۴/۸۲	۱/۹۶	۸/۵۲	/۲۲	۴۵/۰۷	۱/۸۷	۱۲۲/۶۶	۱۱/۱۵	۱۹/۵۸	۲/۹۳
۱۲	۷/۰۴	/۸۵	۳۱/۳۱	۴/۱۳	۸/۲۵	/۷۷	۳۱/۵۶	۳/۴۵	۱۳۰/۶۶	۲۱/۳۹	۱۰/۵۴	۳/۲۷
۱۳	۷/۱۲	/۳۳	۳۵/۳۱	۱/۷۹	۷/۶۲	/۳۲	۳۵/۷۴	۱/۸۴	۱۳۳/۳۳	۹/۴۲	۱۳/۳۹	۱/۹۸
۱۴	۷/۸۱	/۲۴	۳۷/۲۹	۳/۴۰	۸/۰۶	/۲۶	۳۵/۸۹	۳/۶۱	۱۴۸	۱۵/۲۰	۱۶/۵۶	۳/۸۴
۱۵	۷/۹۷	/۳۴	۴۰/۰۷	۱/۸۲	۷/۹۷	/۲۶	۳۸/۷	۱/۹۸	۷۸/۶۶	۷/۳۰	۱۰/۱۲	۱/۷۹

قطر به سانتی‌متر؛ ارتفاع به متر؛ مجذور میانگین قطر؛ سطح مقطع به سانتی‌متر مربع

پراکنش قطری این توده‌ها نشان از پوشش دامنهٔ ۵ تا ۵۰ سانتی‌متری طبقات قطری دارد. توده‌های بررسی‌شده را می‌توان به‌صورت قراردادی برای تفسیر بهتر با در نظرگیری میانه به‌علاوه نصف فاصلهٔ بین چارکی به سه طبقهٔ قطری (سنی) تقسیم کرد. بر این اساس، قطر تا ۱۳/۶۷ سانتی‌متر نمایندهٔ طبقهٔ جوان، قطر ۱۳/۶۷ تا ۳۱/۳۹ سانتی‌متر نمایندهٔ طبقهٔ میانسال و قطرهای بیشتر از ۳۱/۳۹ سانتی‌متر نمایندهٔ طبقهٔ مسن تعیین شد (شکل ۲). برای تعیین برنامهٔ جنگل‌شناسی از میانگین‌های این طبقه‌ها استفاده شد. برای شروع تنک کردن از میانگین تعداد در هکتار توده‌های موجود در طبقهٔ جوان یعنی ۵۵۰ جست در هکتار و برای خاتمهٔ تنک کردن از میانگین ارتفاع غالب توده‌های طبقه سنی مسن یعنی ۸ متر برای ارتفاع غالب هدف استفاده شد (جدول ۲).

دیاگرام مدیریت تراکم توده براساس رابطه‌های ۶ و ۷ برای حجم تهیه شد (جدول ۳ و شکل ۳). خطوط هماهنگ رسم‌شده برای حجم توده و جذر مربع میانگین قطر با حل رابطه‌های ۶ و ۷ برای متغیر تعداد در هکتار تولید شدند. بدین صورت که این معادله برای متغیر تعداد در هکتار براساس متغیر حجم و جذر مربع میانگین قطر برای دامنه‌ای از ارتفاع غالب با ثابت نگه داشتن حجم و جذر مربع میانگین قطر حل می‌شود.



شکل ۲. منحنی توزیع نرمال توده‌های مورد بررسی

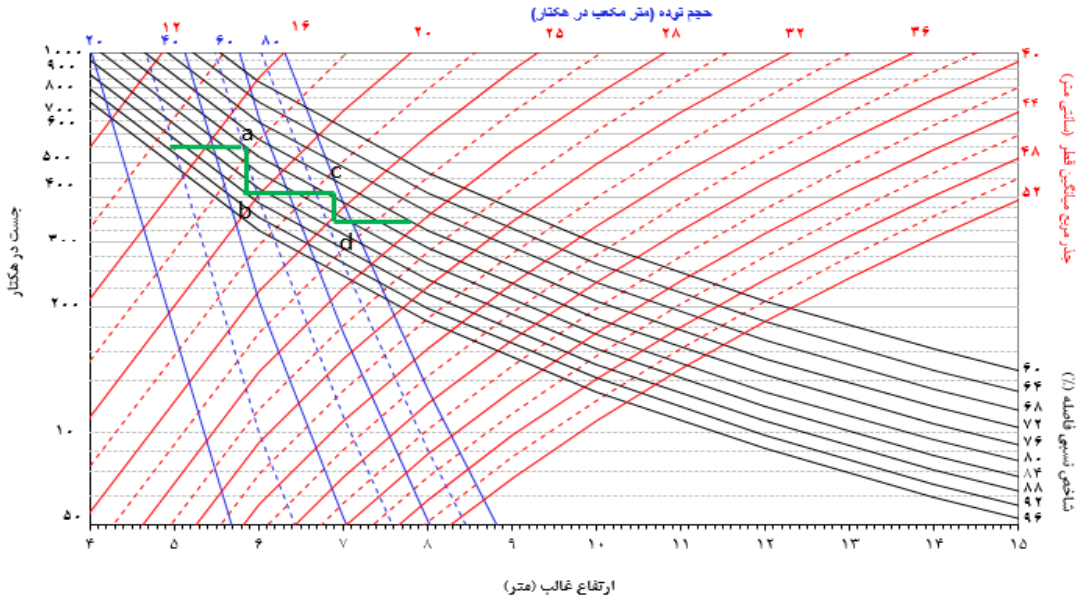
جدول ۲. مشخصه‌های میانگین ارتفاع غالب و تعداد در هکتار سه کلاس سنی جداشده برای توده‌ها

طبقه	میانگین ارتفاع غالب (متر)	میانگین تعداد در هکتار (اصله)
جوان	۵/۹	۵۵۰
میانسال	۷/۲	۲۶۷
مسن	۸/۰۱	۱۳۸

جدول ۳. نتایج مدل‌های جذر مربع میانگین قطر و حجم برای تهیهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده

شمارهٔ رابطه	رابطه	R^2_{adj}	RMSE
۶	$\ln dg = 2/9395 - 0/2989 \times \ln N + 1/033 \times \ln H_0$	۰/۹۳۶	۰/۰۹۷
۷	$\ln V = -3/6852 + 0/3472 \times \ln N + 3/0815 \times \ln H_0$	۰/۷۷۳	۰/۲۳۷

d_g: مجذور میانگین مربع قطر به سانتی‌متر؛ H_0: ارتفاع غالب به متر؛ N: تعداد جست در هکتار؛ V: حجم در هکتار به متر مکعب؛ R^2_{adj}: ضریب تعیین تعدیل‌شده؛ RMSE: جذر مربع میانگین خطا



شکل ۳. دیاگرام مدیریت تراکم توده برای توده‌های جست‌زاد همسال برودار، خط سبز نمایش گرافیکی دو برش پیشنهاد شده است (a-b برش اول و d-c برش دوم)

در این دیاگرام ارتفاع غالب، ۴ تا ۹ متر، حجم در هکتار ۲۰ تا ۸۰ متر مکعب، و مجذور میانگین قطر ۱۲ تا ۵۲ سانتی‌متر است و شاخص فاصله بین ۶۰ تا ۹۶ درصد قرار دارد. براساس دیاگرام تهیه‌شده و وضعیت متوسط توده‌های مورد بررسی در این پژوهش، یک مثال عملی برای تنک کردن پیشنهاد شد؛ این مثال با تعداد جست ۵۵۰ در هکتار (میانگین تراکم توده‌های کلاسه جوان) برای شروع تنک کردن و با دو برش تنک کردن در ارتفاع ۸ متر (میانگین ارتفاع غالب برای توده‌های کلاسه مسن) پایان می‌یابد. شاخص نسبی نهایی برای برنامه‌های پیشنهادی ۷۲ درصد در نظر گرفته شد. انتخاب شاخص ۷۲ درصدی یک عدد قراردادی برای برنامهٔ پیشنهادی است که این مقدار با توجه به هدف از مدیریت توده می‌تواند متغیر باشد. نتیجهٔ اجرای این برنامه برای متغیرهای مختلف توده براساس خط سبز ترسیم‌شده در شکل ۳ آمده است. این خط نمایش گرافیکی دو برش تنک کردن پیشنهاد شده است که اطلاعات کمّی آن در جدول ۴ آمده است. برای شروع تنک کردن از میانگین توده‌های جوان و برای رسیدن به تودهٔ هدف (که شامل میانگین ارتفاع غالب برای توده‌های کلاسه مسن است) از برش دوم استفاده شد. جدول ۴ و دو برش پیشنهادشده فقط و فقط یک مثال برای نمایش قابلیت استفاده از دیاگرام مدیریت توده است و لزوماً نمی‌تواند پیشنهادی برای توده‌های همسال برودار باشد.

جدول ۴. نتایج برنامهٔ تنک کردن در یک توده با موجودی متوسط براساس خط ترسیم‌شده در دیاگرام

قبل از تنک کردن			بعد از تنک کردن		
ارتفاع غالب	جست در هکتار	مجذور میانگین مربع قطر	حجم در هکتار	جست در هکتار	مجذور میانگین مربع قطر	حجم در هکتار
۵	۵۵۰	۱۴/۸	۳۱/۹	۴۰۰	۱۶/۶	۲۸/۶
۶	۴۰۰	۲۰/۰	۵۰/۲	۳۳۰	۲۱/۲	۴۶/۹
۷	۳۳۰	۲۴/۹	۷۵/۵			

قطر به سانتی‌متر؛ ارتفاع به متر؛ مجذور میانگین مربع قطر به سانتی‌متر ؛ حجم به متر مکعب

دیاگرام تولیدشده در واقع، مدلی ساده برای نمایش گرافیکی پویایی توده‌های همسال است [۲۵]. می‌توان با تلفیق اطلاعات گوناگون با این دیاگرام (اطلاعات اقتصادی و اجتماعی، تنوع زیستی یا حیات وحش)، تصمیم‌های مدیریتی بهتری گرفت [۱۵]. ابتدایی‌ترین کاربرد این دیاگرام در جنگل‌های زاگرس تخمین سریع حجم با استفاده از دو متغیر تعداد جست در هکتار و ارتفاع غالب در تدوین طرح‌های جنگلداری چندمنظوره است؛ علاوه بر این با داشتن این دو متغیر، دیگر متغیرهای توده نیز با استفاده از این دیاگرام قابل تخمین است.

در این پژوهش جذر مربع میانگین قطر ضریب تعیین بیشتری نسبت به حجم داشت، اگرچه در پژوهش‌های مشابه برای گونهٔ بلوط، نتایج مدل حجم ضریب بیشتری را نشان دادند؛ به‌عنوان مثال بررسی Álvarez González and Barrio Anta (۲۰۰۵) برای گونهٔ *Quercus robur* در شمال اسپانیا و پژوهش Castano-Santamaria و همکاران (۲۰۱۳) برای گونهٔ *Quercus pyrenaica* اما بررسی Menéndez-Miguélez و همکاران (۲۰۱۶) برای توده‌های شاخه‌زاد *Castanea sativa* در شمال غربی اسپانیا نشان داد که ضریب تعیین جذر مربع میانگین قطر از حجم بیشتر است. به‌نظر می‌رسد ناهمگنی در موجودی حجمی توده‌های جست‌زاد زاگرس، دلیل کم بودن ضریب تعیین حجم نسبت به جذر مربع میانگین قطر باشد.

مدیریت یک جست‌گروه برودار به‌عنوان یک واحد توانمند تولید در جنگل‌های زاگرس، نیازمند تعیین قواعد منظم مثل تیمارهای مناسب بهداشتی و تنک کردن با فواصل منظم با رویکردی مناسب است. شاید اولین انتقاد در خصوص اجرای هر گونه عملیات جنگل‌شناسی مانند تنک کردن جست‌گروه‌ها در جنگل‌های زاگرس، ایراد حفاظتی و حمایتی بودن این توده‌ها و منع قانونی هر گونه عملیات قطع و همچنین وضعیت شکنندهٔ این توده‌ها باشد. این انتقاد در صورتی صحیح است که هدف از ارائهٔ برنامه، تنک کردن بهره‌برداری تجاری از این جنگل‌ها باشد؛ درحالی که پیشنهاد تنک کردن در توده‌های زاگرس صرفاً برای بهبود وضعیت توده است. اگرچه در کنار اجرای این برنامه‌ها می‌توان نیازهای جوامع محلی را نیز تأمین کرد. ازآنجا که همسالی در جنگل‌ها طبیعی، اغلب نتیجهٔ یک عامل تنش‌زا مانند آتش‌سوزی یا عامل انسانی مانند بهره‌برداری مستمر و بی‌رویه است، باید توجه داشت هنگامی که همسالی برای توده‌ای شکل می‌گیرد، تنک کردن مهم‌ترین عاملی است که می‌تواند توان استمرار بقای جنگل را به‌خصوص در توده‌های زاگرس که با آشفتگی زوال روبه‌روست، فراهم کند.

با وجود این، کاربرد شیوه‌های جنگل‌شناسی در ناحیهٔ رویشی زاگرس متأسفانه تاریخچهٔ مناسبی ندارد. در گذشته عملیات نه‌چندان منسجم و علمی جنگل‌شناسی برای اجرای شیوهٔ شاخه‌زاد در توده‌های برودار گزارش شده است. عملیات برش یکسره در دو پارسل از طرح جنگلداری قرق و احیای سردشت آذربایجان غربی و نیز پارسلی از طرح جنگلداری قرق و احیای زردلان استان کرمانشاه با هدف اعمال روش جنگل‌شناسی شاخه‌زاد ساده در پیش از انقلاب و نیز اعمال برش یکسره در پارسل ۴۰ هکتاری طرح موسوم به طرح تأمین سوخت یا طرح انرژیک ۸۰۰ هکتاری در حوزهٔ استحفاظی شهرستان لردگان استان چهارمحال و بختیاری (با دورهٔ بهره‌برداری بیست‌ساله) در چارچوب شیوهٔ جنگل‌شناسی شاخه‌زاد ساده و همچنین عملیات پرورشی با عنوان برش اصلاحی در جست‌گروه‌های تودهٔ شاخه‌زاد جنگل‌های حوزهٔ استحفاظی شهرستان فلارد در استان چهارمحال و بختیاری نمونه‌هایی از اجرای طرح‌های مدیریت توده‌های شاخه‌زاد است [۲۶]. بیشتر کارهای صورت‌گرفته به‌علت کمبود دانش رشد و محصول‌دهی گونهٔ برودار و مشکلات سیستم اجرا به نتیجهٔ شفافی منتهی نشده‌اند.

در برآوردهای توان تولید جنگل‌های زاگرس در استان

چهارمحال و بختیاری، پتانسیل تراکم درخت در واحد سطح را ۹۲۸ اصله و پتانسیل موجودی سرپا را ۱۹۰/۹۴ سیلو در هکتار برآورد کردند [۱۰]. در تهیهٔ دیاگرام مدیریت تراکم توده با توجه به این نکته، حداکثر تراکم ۱۰۰۰ جست در هکتار در نظر گرفته شد. برآوردهای مختلفی برای تعیین میانگین حجم در جنگل‌های زاگرس عنوان شده است (۰/۱ تا ۱۱۷/۳ سیلو) که این مقدار بسته به شرایط توده‌های مختلف و شدت دست‌خوردگی و وضعیت اقلیمی متفاوت است. با توجه به اینکه این تحقیق در بخشی از توده‌های به‌نسبت همگن با دست‌خوردگی کم انجام گرفته، این مقدار لزوماً قابل مقایسه با مقادیر برآوردشده نیست.

در توسعهٔ یک برنامهٔ تنک کردن برای یک توده، دو فاکتور ارتفاع غالب هدف[1] یا قطر در سن بهره‌برداری و حد بالا و پایین رشد موجودی در نظر گرفته می‌شود. انتخاب حد بالا و پایین رشد براساس توافق بین بیشترین رشد توده و بیشترین رشد تک‌درخت انجام می‌گیرد [۲۷]. همچنین انتخاب محدوده با موجودی کامل (بین دو حد بالا و پایین رشد)، اغلب انعکاسی از اهداف مدیریت توده است. به‌دلیل دست‌خوردگی‌های طولانی‌مدت، تعیین این محدوده در رویشگاه زاگرس مشکل است. توده‌های طبیعی با حداکثر فضای رشدی به‌ندرت یافت می‌شود؛ در این تحقیق برای پیشنهاد برنامهٔ تنک کردن جست‌ها از روش جایگزین یعنی ارتفاع غالب هدف استفاده شد. برای پیشنهاد برنامهٔ تنک کردن از مقدار میانگین تراکم استخراج‌شده از توده‌های کم‌قطر (توده‌های جوان با متوسط ۵۵۰ جست در هکتار) به‌منظور شروع تنک کردن استفاده شد. برای تعیین ارتفاع غالب هدف از میانگین ارتفاع غالب توده‌های قطور (توده‌های مسن با متوسط ارتفاع غالب ۸ متر) استفاده شد. باید یادآور شد برنامهٔ ارائه‌شده یک مثال عملی برای اجرای یک برنامهٔ تنک کردن سبک در وضعیت یک توده با تراکم متوسط است که لزوماً برای توده‌های مشابه، پیش‌بینی‌پذیر نیست و این برنامه با توجه به هدف مدیریت و ساختار بهره‌برداری سنتی می‌تواند تغییر یابد.

نتیجه‌گیری

استفاده از دیاگرام مدیریت تراکم توده نشان داد که نمایش گرافیکی متغیرهای وابسته به تراکم با مدلی ساده می‌تواند راهنمای مفیدی در تدوین برنامه‌های اصلاحی جنگل‌شناسی باشد. اجرای برنامه‌های تنک کردن را می‌توان در قالب طرح‌های جنگلداری شاخه‌زاد و به‌دقت برنامه‌ریزی‌شده یا به‌صورت آزمایشی در جنگل‌های تحقیقاتی برای کسب دانش جنگل‌شناسی توصیه کرد. تأخیر در کسب تجربهٔ اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی در این توده‌ها، مدیریت پایدار آتی آنها را تحت شعاع قرار خواهد داد. همچنین بدون برنامه‌ای مدون برای اعمال شیوه‌های جنگل‌شناسی نمی‌توان به بهبود وضعیت حاضر و حتی اعمال برنامه‌های تبدیلی این توده‌ها به توده‌های دانه‌زاد در درازمدت امید داشت.

References

[1]. Newton, P.F., Lei, Y., and Zhang, S.Y. (2005). Stand-level diameter distribution yield model for black spruce plantations. Forest Ecology and Management, 209(3): 181-192.

[2]. Newton, P.F. (1997). Stand density management diagrams: review of their development and utility in stand-level management planning. Forest Ecology and Management, 98(3):251-265.

[3]. Whitehead, R., Martin, P., and Powelson, A. (2001). Reducing stand and landscape susceptibility to mountain pine beetle. BC Ministry of Forests, Canada.

1. Target dominant height

[4]. Powelson, A., and Martin, P. (2001). Spacing to increase diversity within stands. Ministry of Forests, Forest Practices Branch.

[5]. Mitchell, S. (2000). Forest health: preliminary interpretations for wind damage. British Columbia, Ministry of Forests, Forest Practices Branch.

[6]. Reineke, L.H. (1933). Perfecting a stand-density index for even-aged forest. Journal of Agricultural Research, 46: 627-638.

[7]. Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H., and Hozumi, K. (1963). Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants. XI). Journal of Biology, Osaka City University, 14:107-129.

[8]. Flewelling, J.W., Wiley, K.N., and Drew, T.J. (1980). Stand density management in western hemlock. Weyerhauser Corporation, Western Forestry Research Centre, Centralia, WA. Forestry Research Technical Report, 42.1417.

[9]. Ghazanfari, H. (2003). Investigating the growth and variation of diameter distribution in *Quercus libani-infectoria* stands in order to provide forest regulation pattern in Baneh region (case study in hoarekhol). Ph.D thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 82p.

[10]. Jazirehi, M.H., and Ebrahimi Rastaghi, M. (2003). Silviculture of Zagros. University of Tehran Press, Tehran.

[11]. Ando, T. (1962). Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora*). II. Analysis of stand density and growth, Japan. Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute, 147: 45-77.

[12]. Patrício, M.S., and Nunes, L. (2017). Density management diagrams for sweet chestnut high-forest stands in Portugal. iForest-Biogeosciences and Forestry, 10(6): 865-870.

[13]. Minoche, D., Risio-Allione, L., Herrero De Aza, C., and Martínez-Zurimendi, P. (2017). Density management diagram for teak plantations in Tabasco, Mexico. iForest-Biogeosciences and Forestry, 10(6): 909-915.

[14]. Corral-Rivas, S., Alvarez-Gonzalez, J.G., Corral-Rivas, J. J., Wehenkel, C., and Lopez-Sanchez, C.A. (2015). Density management diagrams in mixed and uneven-aged forests of Durango, Mexico. BOSQUE, 36(3): 409-421.

[15]. Barrio Anta, M., and Álvarez González, J.G. (2005). Development of a stand density management diagram for even-aged pedunculate oak stands and its use in designing thinning schedules. Forestry, 78(3): 209-216.

[16]. Castano-Santamaria, J., Barrio-Anta, M., and Alvarez-Alvarez, P. (2013). Regional-scale stand density management diagrams for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands in north-west Spain. iForest-Biogeosciences and Forestry,6(3): 113-122.

[17]. Jafari, A., Arman, Z., Soltani, A., and Lotfi, A. (2015). Developing a pattern for ecological monitoring in central Zagros forests (Case Study, Helen Protected Forest). Journal of Environmental Studies, 41(1): 179-191.

[18]. Bi, H., and Hamilton, F. (1998). Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. Australian Forestry, 61(4):275-286.

[19]. Sadeghi kaji, H., and Soltani, A. (2017). Single tree volume modeling for even age Persian oak (*Quercus brantii*) coppice in Central Zagros (Case study: Chaharmahal VA Bakhtiari province, Ardal and Kiar district). Iranian Journal of Forestry, 9(3):361-372.

[20]. Iles, K., and Wilson, L.J. (1977). A further neglected mean. Math, Teacher, 70:27-28.

[21]. Wilson, F.G. (1946). Numerical expression of stocking in terms of height. Journal of Forestry, 44(10):758-761.

[22]. Menéndez-Miguélez, M., Álvarez-Álvarez, P., Majada, J., and Canga, E. (2016). Management tools for Castanea sativa coppice stands in northwestern Spain. Bosque, 37(1):119-133.

[23]. Pe´rez-Cruzado, C., Merino, A., and Rodrı´guez-Soalleiro, R. (2011). A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens grown as short rotation woody crops in north-west Spain. Biomass Bioenergy, 3: 2839-2851.

[24]. Gadow, K., and Hui, G. (1998). Modeling forest development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

[25]. Shaw, J.D., and Long, J.N. (2007). Density management diagram for longleaf pine stands with application to red-cockaded woodpecker habitat. Southern Journal of Applied Forestry, 31(1): 28-38.

[26]. Jabari arfaei, S.H., and Ebrahimi Rostsghi, M. (2010). Report of the silviculture practice of the Oak coppice of the Rakhlan Village of Marivan. Forest Range and Watershed Management Organization, Iran.

[27]. Long, J.N., and Smith, F.W. (1984). Relation between size and density in developing stands - a description and possible mechanisms. Forest Ecology and Management, 7(3):191-206.

Development of stand density management diagram for *Quercus brantii* even-aged coppice stands in the Central Zagros

H. Sadeghi Kaji*; Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran

A. Soltani; Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran

S. Kahyani; Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran

(Received: 11 January 2018, Accepted: 14 May 2018)

ABSTRACT

Stand density management diagram is one of the effective methods for designing, displaying and evaluating various density regime management options in the even-aged stand. The aim of this study was to determine the tools for density management in *Quercus brantii* even-aged stands. This diagram can be used to manage stand density and estimate the stand volume quickly. For the development of this diagram, four variables were used including dominant heights, number of tree per hectare, quadratic mean diameter and volume per hectare. Data were collected from 15 even-aged stands in 71 plots in the central Zagros located in Charmahal Va Bakhtiari province, Iran. The construction of this diagram was carried out with two equations of the volume and quadratic mean diameter with the dependent variables of the number of tree per hectares and the dominant height. Because of the error in the estimation of left and right sides of the diagram, simultaneous fitting was used. Among different indices of density, relative density index due to its independence on site quality and age of the stand as well as dominant heights as a criterion for determining the interval thinning were used for determining the growth status in this diagram. Finally, in order to clarify the application of this diagram, a practical example of the thinning schedule with a dominant height of 8 m and two thinning intervals was proposed for a stand with medium stocking volume. This diagram can be used for rapid estimation of the volume and to suggest thinning schedules in coppice management planning of *Quercus brantii* stands.

Keywords: Central Zagros, Coppice, Even-aged, Forest Management, *Quercus brantii*, Silviculture.

* Corresponding Author, Email: sadeghihamdolla@gmail.com, Tel: +989227503691