

## برآورد تعداد درخت و تعیین ساختار توده‌های جنگلی در دو روش طبقه‌بندی خوشه‌ای و منظم تصادفی

محمد امینی<sup>۱\*</sup>، روجا امینی<sup>۲</sup>، خسرو ثاقب‌طالبی<sup>۳</sup> و سیف‌اله خورنکه<sup>۴</sup>

\*- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ساری، ایران. پست الکترونیک: dr\_moamini@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد تحقیقات، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۳

### چکیده

پژوهش پیش‌رو با هدف سنجش میزان دقت دو روش نمونه‌برداری از جنگل انجام شد که معیار قضاوت، نتایج روش آماربرداری صددرصد بود. ابتدا ۱۱۶ هکتار شامل چهار پارسل آماربرداری صددرصد شد. سپس روش منظم تصادفی با شبکه‌ای به ابعاد  $200 \times 150$  متر با قطعات نمونه  $1000$  مترمربعی و روش طبقه‌بندی خوشه‌ای با وسعت هر خوشه  $7500$  مترمربع شامل چهار قطعه‌نمونه هر یک با وسعت  $1875$  مترمربع اجرا شدند. در مجموع،  $40239$  درخت در دو روش منظم تصادفی با  $40$  قطعه‌نمونه و طبقه‌بندی خوشه‌ای با  $14$  خوشه آماری مرکب از  $56$  قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد. شدت آماربرداری در روش خوشه‌ای  $9/7$  درصد و در روش منظم تصادفی  $3/44$  درصد بود. این بررسی با پردازش داده‌ها در چهار نوع گروه‌بندی و دسته‌بندی گونه‌های درختی انجام شد. نتایج نشان داد که روش خوشه‌ای برای برآورد تعداد درخت در هکتار و ساختار در مقیاس کل جنگل و نیز به تفکیک گونه برای راش و مرمرز نسبت به روش منظم تصادفی به‌روشنی صددرصد نزدیک‌تر می‌باشد. بیشینه قطری درختان در روش صددرصد  $165$ ، در روش منظم تصادفی  $110$  و در روش خوشه‌ای  $125$  سانتی‌متر ثبت شد. پیشنهاد می‌شود پیش از آماربرداری هر پارسل، تیپ‌ها براساس ساختار و ترکیب گونه تفکیک شوند. همچنین تعداد قطعه‌نمونه متناسب با تنوع تیپ تعیین شود و آرایش قطعه‌نمونه‌ها خوشه‌ای و ابعاد آنها بین  $19$  تا  $20$  آر در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری، تعداد درخت، ساختار جنگل، نمونه‌برداری طبقه‌بندی خوشه‌ای، نمونه‌برداری منظم تصادفی.

### مقدمه

درختان قطور و مسن به‌رغم تعداد کم، به‌عنوان نماد توارثی و سنگ بنای یک جنگل سالم در پایداری و مقاومت بیشتر توده‌ها در برابر عوامل نامساعد طبیعی نقش مؤثری ایفا می‌کنند (Marvie Mohajer, 2008). بخش‌هایی از این

جنگل‌های مازندران ویژگی‌های خاصی دارند که ازجمله می‌توان به منشأ طبیعی، ساختار ناهمسال، تغییرات تدریجی و بدون مرز مشخص مکانی اشاره کرد. در این جنگل‌ها

در پردازش داده‌ها روبرو است (Zobeiri, 1994; 2002). پژوهشگران جنگل‌های شمال کشور سعی کرده‌اند به روش یا روش‌هایی دست یابند که از چند ویژگی برخوردار باشد. این ویژگی‌ها عبارتند از: متناسب با تغییرات جنگل و از انعطاف لازم برخوردار باشد؛ حجم عملیات صحرایی متناسب و قابل اجرا باشد، یعنی با کمترین هزینه انواع بیشتری از داده‌ها را با دقت مورد نظر ارائه کند؛ در سطح سری و پارسل از دقت مطلوب برخوردار باشد و فراوانی و درصد گونه‌های کمیاب، خشکه‌دارها و درختان قطور و مسن جنگل را در حد نزدیک به واقعیت نشان دهد. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به استفاده از تکنیک‌های نوین زیست‌سنجی جنگل مانند زمین‌آمار (Akhavan *et al.*, 2006)، استفاده از مساحت متغیر قطعه‌نمونه در بررسی ساختار توده (Fallah *et al.*, 2000; Sagheb-Talebi & Schütz, 2002)، پیش‌بینی مشخصه‌های کمی جنگل بدون اندازه‌گیری زمینی (Mohammadi *et al.*, 2008; Jahani *et al.*, 2012) و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (Ghanbari *et al.*, 2013) اشاره کرد. در منابع داخلی، نتایج یک طرح پژوهشی نشان داد که میانگین واقعی به‌دست‌آمده از آماربرداری صددرصد در بازه حدود اعتماد میانگین که از روش نمونه‌برداری به‌دست آمده بود، قرار نداشت (Amini *et al.*, 2001). اطلاعات به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری گونه‌های انجیلی، کلهو، لرگ و مرمرز به نتایج آماربرداری صددرصد نزدیک بود. در مورد اطلاعات توصیفی ساختار راش و سایر گونه‌های صنعتی و به‌ویژه گونه‌های درختی کمیاب که از پراکنش جغرافیایی یکسان و فراوانی در طبقات قطری یکنواخت برخوردار نیستند (از قبیل نمدار، پلت، شیردار، ون، توسکا، بلندمازو و ملج)، بین نتایج به‌دست‌آمده از دو روش آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت و روش نمونه‌برداری یادشده به تجدید نظر نیاز دارد (Amini *et al.*, 2007). نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تیپولوژی توده‌های مادری راش در صفارود رامسر، سنگده و ناو اسالم برای تفکیک تیپ‌ها براساس آمیختگی، غنای گونه‌ای و ساختار در ۸۰ قطعه‌نمونه با وسعت ۲۵۰۰ مترمربع و ۲۰ قطعه‌نمونه

جنگل‌ها بر اثر اجرای طرح‌های جنگلداری و انواع بهره‌برداری و دخالت‌های مردمی، به شکل ناهمگن و لکه‌های متفاوت درآمده‌اند، بنابراین توصیف وضعیت کمی و کیفی این جنگل‌ها با روش‌های آماری متکی بر پراکنش قطعه‌نمونه‌ها با شبکه هندسی منظم، از کارآیی مورد انتظار برخوردار نیست (Amini *et al.*, 2007). براساس بررسی‌های Amini و همکاران (۲۰۰۷)، شیوه رایج نمونه‌برداری از جنگل‌های شمال کشور (منظم تصادفی با شبکه مستطیلی با شدت آماری ۳/۳ درصد و قطعات نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰ آر) به علت وجود خطاهای غیرآشکار در برآوردها، برای معرفی وضعیت واقعی توده‌ها در جنگل‌ها از دقت لازم برخوردار نیست و در مواردی، مقدار خطا غیرقابل اغماض است. نکته دیگر آنکه عملیات نشانه‌گذاری و پرورش توده‌ها در سطوح تیپ و توده انجام می‌شود، بنابراین ضرورت دارد واحدهای خرد (در سطح تیپ) تفکیک و به‌طور جداگانه اندازه‌گیری و داده‌های آنها در قالب کمیت‌های آماری پردازش شوند.

موضوع دیگری که ضرورت تغییر در شیوه آماری را ایجاب می‌کند، رویکرد جدید به جنگلشناسی نزدیک به طبیعت است. با تغییر روش جنگلداری از کلاسیک به روش نزدیک به طبیعت و اجرای طرح جنگلداری با این روش در سطوح گسترده، مدیریت پرورش بر پایه‌ها و گروه‌ها متمرکز می‌شود، فاصله دخالت‌ها کوتاه و پرورش در تمام سطح جنگل بدون اعمال نوبت‌بندی مکانی انجام می‌شود، اگرچه ممکن است فاصله زمانی تجدیدنظرها زیادتر شوند. در این صورت نیاز آماری روش اجرای جنگلشناسی نزدیک به طبیعت با آماربرداری صددرصد تمام پایه‌ها تأمین می‌شود که از جمله در ۷۶۸ هکتار از جنگل خیرودکنار نوشهر (Marvi Mohajer *et al.*, 2009) و ۱۰۰ هکتار از طرح جنگلداری نکاظالمروود (Amini *et al.*, 2001) اجرا شده است. اگرچه اجرای آماربرداری صددرصد فاقد خطای محاسباتی است، اما با مشکلات اجرایی (هزینه، زمانبر بودن، نیاز به تعداد زیاد آماربردار، مشکلات کنترل داده‌ها، خستگی افراد و افزایش احتمال خطای عملیاتی و مشکلاتی

که اکتفا و تجویز یک نسخه فراگیر نمونه برداری در سطح کل جنگل‌های شمال ایران با تردید و عدم اطمینان مواجه شود و در عوض بکارگیری بیش از یک شیوه آماری مطمئن‌تر به نظر برسد. پژوهش پیش‌رو با هدف سنجش میزان دقت دو روش نمونه برداری منظم تصادفی و طبقه‌بندی خوشه‌ای برای برآورد تعداد درخت و تعیین ساختار توده‌های جنگلی انجام شد که معیار قضاوت نتایج روش آمار برداری صد درصد بود.

### مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو در حوزه آبخیز ۶۹ رودخانه تجن در جنوب شهرستان ساری، سری یک طرح جنگلداری حاجیکلا تیرانکلی در جوار روستای حاجیکلا اجرا شد. جنگل مورد مطالعه تا زمان اجرای این بررسی، مورد بهره‌برداری صنعتی قرار نگرفته بود و آثار غیرطبیعی در آن دیده نمی‌شد. ارتفاع منطقه ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، جهت جغرافیایی عمومی شمال تا شمال غربی، جنگل از نوع پهن‌برگ، دانه‌زاد، آمیخته، ناهمسال با تیپ غالب راش همراه با مرز و سایر گونه‌ها، ساختار عمودی دو تا سه آشکوب و زادآوری متوسط تا خوب است (Anonymous, 2003). پس از جنگل‌گردشی، پارسل‌های ۲۲، ۲۹، ۳۰ و ۳۱ برای این پژوهش انتخاب شدند که مجموع مساحت آنها ۱۹۷ هکتار بود. از این عرصه وسعت جنگل‌های تولیدی و قابل کار ۱۱۶ هکتار بود که پژوهش پیش‌رو در این محدوده انجام شد. در هر پارسل دو تیپ قابل تشخیص بود که از نظر مکانی تیپ یک در ارتفاع بالاتر از تیپ دو واقع شده بود. تیپ یک دارای وضعیت عادی، موجودی سرپا، تجدیدحیات، ساختار و ترکیب سیمای مطلوب بود و شبیه جنگل‌های تولیدی و مرغوب هیرکانی به نظر می‌رسید. تیپ دو کمی دست‌خوردگی نشان می‌داد و کمیت و کیفیت درختان نسبت به تیپ یک پایین‌تر بود.

روش‌های نمونه برداری مورد استفاده عبارت بودند از: الف) آمار برداری صد درصد که به‌عنوان شاهد و برای مقایسه

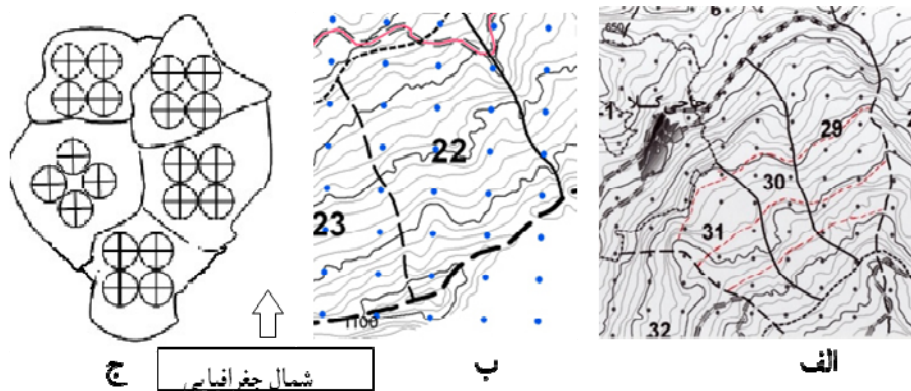
با وسعت یک هکتار منتج به تفکیک ۱۵ تیپ با وسعت ۳۰ تا ۶۰ آر شد (Amani et al., 2001). در پژوهشی دیگر (Hasani & Amani 2009) وسعت هر قطعه نمونه ۳۶ آر به فاصله ۲۵ متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. در یک بررسی در رانشستان‌ها (Eslami et al., 2008) با افزایش سطح از ۰/۲۵ تا چهار هکتار، نمودار ساختار ناهمسالی بهتر شد، به طوری که در رانشستان خالص در سطح یک هکتار و در سطح رانشستان آمیخته در سطح نیم هکتار ساختار توده جنگلی نشان داده می‌شود.

در پژوهش‌های خارجی برای برآورد وضعیت توده‌های سالم و ناسالم جنگل‌های هلستینکی فنلاند روش آماری خوشه‌ای با روش تصادفی قطعه‌نمونه‌ای مقایسه شد که در نتیجه آن کارآمدی روش خوشه‌ای از نظر دقت برآوردها ثابت شد (Talavitie et al., 2006). بررسی دیگری که در مورد داده‌های TM برای برآورد حجم سرپا در جنگل‌های نیال با استفاده از روش خوشه‌ای در فاصله ۲۵ متری انجام شده، نشان داد که خوشه‌های حاوی سه قطعه‌نمونه اطلاعات کامل‌تری را نسبت به قطعات نمونه منفرد ارائه می‌کنند (Tokole & Shresta, 1999). در آمار برداری ملی جنگل‌های سوئیس، اجرای آمار برداری ترکیبی دو و چند مرحله‌ای به صورت خوشه‌ای مناسب‌تر تشخیص داده شد و اجرا شد. نتایج این اقدام نشان داد که استفاده از روش خوشه‌ای هزینه را کاهش داده و داده‌ها با دقت بیشتری نسبت به روش‌های پیشین به دست می‌آیند (Brassel & Lischke, 2001). در کشور صربستان تفکیک تیپ‌ها از روش طبقه‌بندی و سپس آمار برداری با روش خوشه‌ای انجام شد. فاصله بین خوشه‌ها در شبکه مربع شکل چهار کیلومتر و فاصله قطعات نمونه هر خوشه ۲۰۰ متر بود. نتایج مناسب‌تر بودن این روش را نسبت به روش منظم تصادفی نشان داد (Anonymous, 2009).

وجود وضعیت‌های متفاوت شامل تغییرات تدریجی و لکه‌هایی با وسعت مختلف و از نظر هندسی بی‌شکل و طیف گسترده‌ای از همگنی نسبی تا ناهمگنی کامل در دوره‌های توالی توده (Hassani & Amani, 2009)، موجب می‌شود

نقشه پارسل‌بندی علامت‌گذاری و با دستگاه موقعیت‌یاب (GPS) ثبت شد. در ادامه، نمونه‌برداری خوشه‌ای متناسب با وسعت هر قسمت اجرا شد. آماربرداری در قالب دسته‌هایی از قطعات نمونه (هریک به شعاع  $24/43$  متر و وسعت  $1875$  مترمربع) که هر دسته با وسعت  $75$  آر یک خوشه آماري مستقل را تشکیل می‌داد، بدون شبکه منظم برای پخش خوشه‌ها در بین پارسل‌ها (بدون ارتباط منظم هندسی با خوشه‌های سایر پارسل‌ها) انجام شد. توزیع خوشه‌ها در هر پارسل به‌گونه‌ای انجام شد که به‌ازای هر هشت هکتار (واحد نمونه‌برداری) یک خوشه تخصیص یابد. بنابراین به واحد هشت هکتاری یک خوشه، به واحد  $15$  هکتاری دو خوشه، به واحد  $23$  هکتاری سه خوشه، به واحد  $30$  هکتاری چهار خوشه و به واحد  $40$  هکتاری پنج خوشه اختصاص یافت.

سایر روش‌های نمونه‌برداری با آن اجرا شد. (ب) نمونه‌برداری منظم تصادفی با شبکه‌ای به ابعاد  $150 \times 200$  متر و با قطعات نمونه  $10$  آری که روش مورد استفاده در طرح‌های جنگلداری است؛ (ج) نمونه‌برداری طبقه‌بندی خوشه‌ای با وسعت  $75$  آری برای هر خوشه (شامل چهار قطعه‌نمونه با وسعت هر قطعه‌نمونه  $1875$  مترمربع) (شکل‌های ۱- الف و ب). در اجرای آماربرداری به روش طبقه‌بندی خوشه‌ای، جنگل مورد مطالعه تحت دو نوع تقسیم‌بندی قرار گرفت. ابتدا از طریق جنگل‌گردشی، تشریح و تعیین مرز مکانی تغییرات به‌طریق چشمی بر مبنای وضعیت اراضی جنگلی (با شاخص مرز تغییرات جهت جغرافیایی و شیب زمین) و وضعیت توده‌های درختی (با شاخص‌های گونه، ترکیب، متوسط قطر و ساختار توده) تفکیک شد. سپس مرز تیپ‌ها روی تنه درختان و روی



شکل ۱- (الف و ب) نقشه موقعیت و شکل شبکه قطعه‌نمونه‌ها در روش منظم تصادفی در پارسل‌ها (نقطه‌چین)، علامت خط‌چین مرز واحد هشت هکتاری (جنوب پارسل  $31$ )، واحد  $15$  هکتاری (جنوب پارسل‌های  $30$  و  $29$ )، واحد  $23$  هکتاری (بخش میانی پارسل‌های  $29$ ،  $30$  و  $31$ )، واحد  $30$  هکتاری (سومین نوار بخش شمالی پارسل‌های  $29$ ،  $30$  و  $31$ ) در روش خوشه‌ای، (ج) آرایش هندسی خوشه‌ها در تیپ‌های قابل تفکیک در پارسل با وسعت  $40$  هکتار (پارسل  $22$ )

خوشه در آن پیاده شد. آرایش قطعه‌نمونه‌های هر خوشه طوری بود که اگر مرکز چهار قطعه‌نمونه به یکدیگر متصل شوند، شکل مربع را به‌وجود آورده و اضلاع مربع با چهار جهت جغرافیایی همسویی داشته باشند (شکل ۱- ج). علت

با پیمایش زمینی و تشریح، تیپ‌های موجود در هر پارسل طرح جنگلداری تفکیک شدند. سپس هر یک از تیپ‌های قابل تفکیک به‌عنوان یک واحد آماري مستقل (پارسل‌های فرعی مطابق شکل ۱) در نظر گرفته شد و یک

الف) کل جنگل: در ابتدا داده‌های درختانی که در داخل جنگل مورد مطالعه قرار داشتند، بدون در نظر گرفتن موقعیت مکانی آنها در تقسیمات و مرزبندی‌های داخلی این جنگل به‌طور مستقل در محاسبات وارد شدند.

ب) مرز پارسل‌های طرح جنگل‌داری: جنگل مورد مطالعه در قالب روش رایج در طرح‌های جنگل‌داری پارسل‌بندی شده بود و پارسل‌های ۲۲، ۲۹، ۳۰، ۳۱ (با مساحت‌های قابل کار به‌ترتیب ۴۰، ۲۴، ۲۳ و ۲۹ هکتار) با محدوده طرح پژوهشی تطبیق داده شدند. به‌منظور فراهم کردن شرایط مقایسه نتایج پژوهش پیش‌رو و بکارگیری در طرح جنگل‌داری و شرایط مشابه آن، مشخصات درختان با ثبت اطلاعات مکانی آنها در داخل هریک از چهار پارسل جایگذاری و ثبت شد.

ج) واحد آماری: در سومین چیدمان داده‌ها در مساحت‌های هشت، ۱۵، ۲۳، ۳۰ و ۴۰ هکتاری تجزیه و تحلیل شدند.

#### تقسیمات و دسته‌بندی موضوعی

این نوع دسته‌بندی در سه بخش به‌شرح زیر اجرا شد: الف) تقسیم‌بندی داده‌ها بر مبنای گونه: روش ساده ثبت و تفکیک داده‌های هر درخت بر اساس گونه و سپس جمع‌بندی داده‌های درختانی که از یک گونه هستند، اجرا و در پردازش‌ها وارد شد.

ب) دسته‌بندی گونه‌ها: به‌منظور کاهش تنوع داده‌ها و اعمال گروه‌بندی بر اساس مشترکات گونه‌ای و نیز ایجاد امکان مقایسه‌های بعدی نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات دیگر در طرح‌های جنگل‌داری شمال کشور، دسته‌بندی رایج در طرح‌های جنگل‌داری مبنای گروه‌بندی قرار گرفت. این دسته‌بندی شامل راش، ممرز، سایر گونه‌های صنعتی (پلت، توسکا، شیردار، بلندمازو، ون، نم‌دار) و گونه‌های غیرصنعتی (خرمندی، انجیلی، لرگ) است. در این مرحله جمع‌بندی داده‌های گونه‌هایی که از یک دسته هستند، انجام شد.

ج) طبقات قطری: یکی از روش‌های استفاده شده برای گروه‌بندی داده‌ها، استفاده از طبقه‌های قطری پنج سانتی‌متری بود.

اینکه هر خوشه به شکل یک دایره بزرگ اجرا نشد و در عوض به چهار دایره کوچک‌تر شکسته شد، مشکلات اجرایی، عدم امکان تسلط برای آماربردار در تطبیق موقعیت مکانی و افزایش میزان خطای عملیات بود. موقعیت خوشه‌ها به‌نحوی تعیین شد که هم در حد امکان اختلاف مشخصه‌های آماری بین قطعه‌نمونه‌های هر خوشه بیشترین باشد و هم شکل خوشه در پارسل قابل اجرا باشد. بنابراین مرکز اولین قطعه‌نمونه برحسب تشخیص آماربردار تعیین شد و سپس فاصله افقی (با تصحیح شیب) بین دو مرکز قطعه‌نمونه مجاور بر روی آزیموت در دو سمت جغرافیایی با زاویه ۹۰ درجه پیاده شد. از مرکز قطعه‌نمونه جدید، مراکز قطعه‌نمونه‌های بعدی به‌همان ترتیب تعیین شد تا شکل خوشه آماری کامل شود. در شرایطی که عرض پارسل نسبت به طول آن به قدری کم بود که نمی‌شد آرایش قطعه‌نمونه‌های خوشه را به شکل مربع ایجاد کرد، از انواع آرایش خطی استفاده شد (Zobeiri, 2002; Namiranian, 2006).

بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، برای بررسی ساختار باید پس از شناخت عناصر تشکیل‌دهنده توده درختی، چیدمان یا توزیع آنها در طبقات قطری بررسی شود (Amini, 2001a; Amini, 2001b; Amini et al., 2007). بنابراین قطر برابر سینه تمام درختانی که از ۷/۵ سانتی‌متر عبور کرده بودند با دقت یک سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در بررسی‌های تکمیلی ساختار توده مورد بررسی، توزیع فراوانی در طبقه‌های قطری (به‌شریحی که در مبحث گروه‌بندی داده‌ها آمده است)، به تفکیک گونه نیز انجام شد. در پژوهش پیش‌رو برای محاسبه تعداد درخت، داده‌هایی که از سه روش آماری صددرصد، منظم تصادفی و طبقه‌بندی خوشه‌ای به‌دست آمده بودند، بر اساس چند نوع آرایش به‌شرح زیر ترکیب شدند و سپس مقایسه‌ها بین گروه‌های آماری انجام شد.

#### تقسیمات و دسته‌بندی جغرافیایی یا مکانی

در تقسیمات مکانی، داده‌های به‌دست‌آمده بر مبنای سه نوع تقسیمات جغرافیایی تجزیه و تحلیل شدند (شکل ۱):

رابطه (۱)  $(S-R) \times 100 / S$  یا (S-C)

که در آن فراوانی در سه روش (S) صددرصد، (C) خوشه‌ای و (R) منظم تصادفی را نشان می‌دهد.

- ضریب یا درصد تغییرات: پس از انجام محاسبات و استخراج آماره‌های هر عامل مورد بررسی، ضریب تغییرات جامعه برحسب درصد به دست آمد ( Hosseinzadeh, 1986). همچنین درصد اشتباه آماربرداری و حدود اعتماد میانگین هر عامل محاسبه شد (Zobeiri, 2002).

- میانگین‌های تعداد درختان در هکتار که با دو روش نمونه‌برداری خوشه‌ای و منظم تصادفی به دست آمده بود، با نتایج نظیر به نظیر آنها که از روش صددرصد بدست آمده بود، با استفاده از آزمون دودامنه‌ای T و واریانس‌ها با آزمون Levene در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شد.

- با استفاده از آزمون ناپارامتری کولموگروف-سمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد، مقایسه توزیع‌های تعداد درختان که با دو روش نمونه‌برداری خوشه‌ای و منظم تصادفی به دست آمده بود، با نتایج نظیر به نظیر آنها در روش صددرصد انجام شد.

### نتایج

براساس نتایج، برآورد میانگین تعداد درخت در هکتار در مقیاس کل جنگل (۱۱۶ هکتار) با استفاده از نمونه‌برداری خوشه‌ای با نتایج صددرصد، چهار درصد اختلاف دارد. برآورد روش منظم تصادفی نسبت به نتایج صددرصد حدود ۱۵/۶ درصد اختلاف نشان داد که این اختلاف با کاهش کمیت در برآورد نسبت به صددرصد همراه بود. نکته قابل توجه وجود اختلاف کم بین نتایج روش صددرصد با روش‌های نمونه‌برداری است، درحالی‌که اختلاف بیشینه و کمینه حدود اعتماد میانگین، درصد تغییرات زیاد میانگین را نشان می‌دهد (جدول ۱).

در ادامه پردازش‌ها، به‌منظور کاهش منطقی تنوع داده‌ها و مطالعه کلی‌تر وضعیت ساختار توده بر مبنای مراحل رویشی درخت، حدود طبقات قطری با مراحل رویشی درختان انطباق تقریبی داده شد. این حدود عبارت بودند از: درختان طبقات قطری کوچک‌تر از ۳۵ سانتی‌متر (درختان کم‌قطر)، درختان طبقات قطری ۳۵ تا ۵۰ سانتی‌متر (درختان میان‌قطر)، درختان طبقات قطری ۵۵ تا ۷۰ سانتی‌متر (درختان قطور) و درختان طبقات قطری ۷۵ سانتی‌متر و بیشتر از آن (درختان خیلی قطور) ( Banan, 1964; Sagheb-Talebi, 2013). علاوه بر آن، به دلیل کم شدن نسبت حضور درختان قطور در توده‌های جنگلی و نیز اهمیت درختان خیلی قطور در توده، طبقات ۷۵ تا ۹۵ سانتی‌متر و بیشتر از ۹۵ سانتی‌متر به تفکیک مورد بررسی قرار گرفتند. برای رسیدن به نتایج این مرحله، داده‌های درختانی که در طبقات قطری مشترک واقع شدند جمع‌بندی شد.

به‌منظور بررسی نتایج، در یک خوشه با وسعت ۷۵ آر به‌عنوان یک قطعه نمونه مستقل و بدون تقسیم به قطعات نمونه کوچک‌تر محاسبه‌های آماری بین گروه‌های آماری متشکل از گروه‌های مکانی (قطعه نمونه‌ها، خوشه‌ها، پارسل‌ها، واحدهای آماری و نیز کل جنگل) و گروه‌های موضوعی (گونه، دسته‌بندی گونه‌ای و طبقه‌های قطری) به شرح زیر انجام شد:

- محاسبه قدر مطلق داده‌ها و تبدیل به واحد مشترک فراوانی در هکتار شامل تعداد درخت در سه روش آماری صددرصد، طبقه‌بندی خوشه‌ای و منظم تصادفی در ازای هریک از گروه‌های آماری.

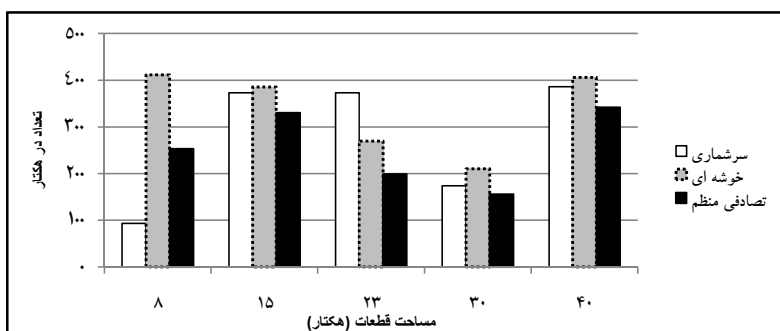
- محاسبه درصد اختلاف نمونه‌برداری با صددرصد: برای مقایسه نتایج تعداد درخت به دست آمده در دو روش نمونه‌برداری خوشه‌ای و منظم تصادفی با نتایج نظیر به نظیر آنها که از روش صددرصد به دست آمد، از شاخص درصد اختلاف نتایج دو روش نمونه‌برداری با صددرصد استفاده شد (رابطه ۱).

جدول ۱- آماره‌های تعداد درختان در هکتار در پارسل‌ها و کل منطقه مورد بررسی با دو نوع وسعت قطعه نمونه

محدوده بررسی	نام روش آماربرداری	تعداد قطعات نمونه	میانگین تعداد در قطعه نمونه	اشتباه معیار میانگین	انحراف معیار	درصد تغییرات میانگین (درصد)	متوسط تعداد درخت در هکتار	حدود اعتماد میانگین	دامنه	تعداد درخت با روش صددرصد	اختلاف با صددرصد
کل جنگل	خوشه‌ای	۵۶	۵۹/۷۷	۳/۳۲	۲۵/۷۲	۴۳	۳۱۸/۸	۲۸۳-۳۵۴	۷۱	۳۰۶/۵	+۴
	منظم تصادفی	۴۰	۲۵/۸۸	۲/۱۶	۱۳/۶۳	۵۳	۲۵۸/۸	۲۱۵-۳۰۲	۸۷	-۱۵/۶	
پارسل ۲۲	خوشه‌ای	۲۰	۷۶/۱۵	۴/۶۷	۲۰/۸۸	۲۷	۴۰۶/۱	۳۵۴-۴۵۸	۱۰۴	۳۹۵/۷	+۲/۶
	منظم تصادفی	۱۴	۳۴/۲۱	۳/۳۹	۱۲/۷	۳۷	۳۴۲/۱	۲۶۹-۴۱۵	۱۴۶	-۱۳/۵	
پارسل ۲۹	خوشه‌ای	۱۲	۶۵/۴۲	۹/۲	۳۱/۹	۴۹	۳۴۸/۹	۲۴۱-۴۵۷	۲۱۶	۳۴۰/۸	+۲/۴
	منظم تصادفی	۸	۱۹/۲۵	۲/۳۹	۶/۷۶	۳۵	۱۹۲/۵	۱۳۶-۲۴۹	۱۱۳	-۴۳	
پارسل ۳۰	خوشه‌ای	۱۲	۵۳/۸۳	۴/۵۴	۱۵/۷۲	۲۹	۲۸۷/۱	۲۳۴-۳۴۰	۱۰۶	۲۳۸	+۲۰/۶
	منظم تصادفی	۸	۲۶	۶/۳۰۵	۱۷/۸۳	۶۹	۲۶۰	۱۱۱-۴۰۹	۲۹۸	+۹/۲	
پارسل ۳۱	خوشه‌ای	۱۲	۳۹/۵	۴/۱۲	۱۶/۵	۴۲	۲۱۰/۷	۱۶۲-۲۵۹	۱۹۷	۲۱۱/۳	-۰/۳
	منظم تصادفی	۱۰	۱۹/۴۰	۳/۰۹۶	۹/۷۹	۵۰	۱۹۴	۱۲۴-۲۶۴	۱۴۰	-۸/۲	

صددرصد شد. نتایج برآورد تعداد درختان در هکتار در دو روش نمونه برداری برحسب مساحت واحدهای آماری در شکل ۲ نشان داده شده است.

استفاده از داده‌های قطعات نمونه با وسعت ۷۵ آر برای برآورد میانگین تعداد درخت در هکتار با روش نمونه برداری خوشه‌ای، موجب ایجاد  $\frac{5}{8}$  درصد اختلاف نسبت به روش



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای تعداد درخت در هکتار در سه روش آماربرداری در واحدهای آماری

سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ۲).

براساس نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها، تعداد درخت در هکتار در طبقه‌های قطری که با دو روش نمونه‌برداری برآورد شده‌اند، با نتایج به‌دست‌آمده از روش صددرصد در

جدول ۲- نتایج آزمون مقایسه میانگین تعداد درختان در هکتار

معنی‌داری	درجه آزادی	آماره t	طبقه قطری (سانتی‌متر)
** ۰/۰۰۲	۸۸	۳/۱۷۸	۱۰-۳۰
** ۰/۰۰۱	۷۹	۴/۵۴۸	۳۵-۵۰
** ۰/۰۰۱	۶۹	۳/۳۵۰	۵۵-۷۰
** ۰/۰۱۰	۵۶	۲/۶۵۷	۷۵-۹۵
* ۰/۰۱۳	۴۰	۲/۶۰۷	بیشتر از ۹۵

\*\* و \* به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد هستند.

درمورد سایر گونه‌ها نتایج در جدول ۳ درج شده است. بررسی شکل کلی نمودار فراوانی تعداد در طبقات قطری جنگل که از روش صددرصد و روش‌های نمونه‌برداری به‌دست آمد، نشان داد که این نمودار به الگوی ساختار جنگل‌های ناهمسال شباهت دارد.

آزمون مقایسه توزیع‌ها نشان داد که بین نتایج روش‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای و منظم تصادفی با روش صددرصد، در کل عرصه مورد بررسی با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار دیده نمی‌شود. (آماره‌های ۱/۱۲ و ۰/۹۴ و سطح معنی‌داری بزرگتر از ۰/۰۵). همچنین به جزء واحد آماری هشت هکتاری (با آماره‌های ۱/۴ و ۱/۸ و سطوح معنی‌داری ۰/۰۴ و ۰/۰۰۸)، در واحدهای آماری ۱۵، ۲۳، ۳۰ و ۴۰ هکتاری بین نتایج روش‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای و منظم تصادفی با روش صددرصد، با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با اجرای روش خوشه‌ای با قطعه‌نمونه‌هایی با وسعت ۱۸۷۵ مترمربع، ساختار جنگل (توزیع تعداد درخت در هکتار و در طبقات قطری) در سطح کلی جنگل و نیز در سطح پارسل‌ها با دقت مطلوب به‌دست می‌آید (شکل ۳).

بررسی نتایج اجرای آزمون مقایسه میانگین تعداد درخت در هکتار برحسب طبقات قطری و دسته‌بندی گونه‌ها در وسعت کل جنگل نشان می‌دهد که در طبقه‌های قطری ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متری گونه‌های راش و ممرز، بین روش‌های خوشه‌ای و منظم تصادفی با نتایج مشابه که از روش صددرصد به‌دست آمده، با احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

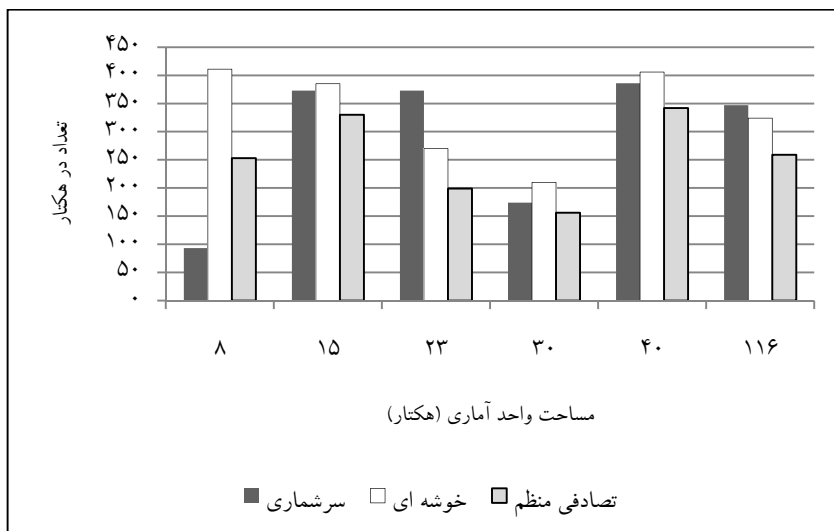
همان‌طوری که در جدول ۳ دیده می‌شود برآورد تعداد درخت در هکتار با کاربرد روش خوشه‌ای و استفاده از روش دسته‌بندی گونه‌های درختی (مطابق روال طرح‌های جنگل‌داری)، برای راش ۱۴ درصد، برای ممرز کمتر از یک درصد و برای سایر گونه‌های صنعتی کمتر از سه درصد با نتایج آماربرداری صددرصد تفاوت نشان داد. به‌رغم آنکه برآورد میانگین تعداد درختان غیرصنعتی ۲۹ درصد خطا داشت، دقت روش خوشه‌ای نسبت به روش منظم تصادفی بیشتر بود.

در صورتی که هر یک از گونه‌های درختی به‌طور مستقل و بدون مرزبندی جغرافیایی (۱۱۶ هکتار) وارد محاسبات شود، برای گونه لرگ داده ثبت نشده است، درحالی‌که مطابق داده‌های روش صددرصد ۱۴ اصله در هکتار وجود دارد و



جدول ۳- فراوانی تعداد درخت در هکتار براساس دسته‌بندی گونه‌ها در کل جنگل (۱۱۶ هکتار)

مبنای روش محاسبه		دسته‌بندی گونه‌ها (روش رایج در طرح‌های جنگلداری)					
هر یک از گونه‌ها به‌طور مستقل		اختلاف با صددرصد (درصد)		اختلاف با صددرصد (درصد)		روش آماری	
گونه	خوشه‌ای	منظم تصادفی	خوشه‌ای	منظم تصادفی	صددرد	منظم تصادفی	خوشه‌ای
راش	۱۲۹/۷	۹۰/۵	۱۱۳/۴	۲۰	۱۴	۲۰	راش
ممرز	۸۴/۹	۹۷/۷	۸۵/۱	-۷	-۲	۱۵	ممرز
سایر گونه‌های صنعتی (پلت، توسکا، شیردار)	۲۷	۲۶/۷	۲۶/۳	+۱	+۲۰	-۲۷	توسکا
گونه‌های غیرصنعتی (خرمندی، انجیلی، لرگ)	۱۰۵/۶	۴۳/۷	۸۱/۷	-۲۰	-۲۰	-۲۰	شیردار
				+۱۹	-۱۴	-۱۴	خرمندی
				-۴۶/۵	+۲۹/۲	-۴۴	انجیلی
							انجیلی، لرگ



شکل ۳- نتایج آزمون مقایسه توزیع‌ها در سه روش آماربرداری در واحدهای آماری

مقدار عددی برآوردهای روش خوشه‌ای نسبت به نتایج روش‌های صددرد و منظم تصادفی بیشتر بود. اختلاف برآورد تعداد درخت در هکتار بین روش منظم تصادفی با روش صددرد ۲۵/۴ درصد بود.

اختلاف برآورد تعداد درخت در هکتار بین روش نمونه‌برداری خوشه‌ای با روش صددرد در مجموع همه طبقات قطری، ۶/۵ درصد به‌دست آمد. این اختلاف برای روش خوشه‌ای تا طبقه قطری ۶۰ سانتی‌متر کمتر بود و سپس زیادتر می‌شد. از طبقه قطری ۱۰ تا ۷۰ سانتی‌متر

## بحث

در پژوهش پیش‌رو برآوردهای تعداد درخت در هکتار (در سه حالت کل جنگل مورد بررسی، در مقیاس پارسل و به تفکیک گونه‌ها) با استفاده از قطعات نمونه دایره‌ای شکل و با وسعت ۱۸۷۵ مترمربع تحت چیدمان خوشه‌ای نسبت به قطعات نمونه ۱۰ آری با چیدمان روش منظم تصادفی به نتایج دقیق‌تری منجر شد. این نتیجه با آنچه در سایر بررسی‌ها آمده است (Fallah et al., 2000; Amini, 2001a, b; Amani et al., 2001; Eslami et al., 2008; Hassani et al., 2009) و ضرورت افزایش مساحت قطعه‌نمونه‌ها را برای برآورد تعداد درخت و بررسی ساختار ثابت می‌کنند، همسویی دارد. از جمله دلایل قابل اشاره و مرتبط با این موضوع، وجود الگوی پراکنش کپه‌ای درختان در این جنگل‌هاست (Habashi et al., 2007; Akhavan et al., 2010) که موجب می‌شود در قطعه‌نمونه‌هایی با وسعت ۱۸۷۵ مترمربع که با روش خوشه‌ای اجرا می‌شوند، گروه‌های سنی به‌طور کامل و با تکرار کافی در هر قطعه‌نمونه و جامعه آماری متشکل از آنها ثبت شوند. از آنجایی که مساحت قطعه‌نمونه‌های روش منظم تصادفی (۱۰ آر) نسبت به روش خوشه‌ای حدود ۹۰ درصد کمتر بود، ساختار و الگوی کپه‌ای به‌طور کامل در برآوردها اثر نمی‌گذارد، بنابراین نسبت به روش صددرصد چهار برابر آنچه در روش خوشه‌ای از صددرصد فاصله دارد، خطا ایجاد می‌شود. درحالی‌که با ادغام داده‌های چهار قطعه‌نمونه که یک خوشه را به‌وجود آورده‌اند و انجام محاسبات برپایه قطعه‌نمونه ۷۵ آری به‌علت کاهش تعداد قطعه‌نمونه‌های ادغامی، نتایج با صددرصد اختلاف بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین برای تعیین تعداد درخت در هکتار، استفاده از قطعه‌نمونه‌های با وسعت ۱۸۷۵ مترمربع در آرایش خوشه‌ای مناسب‌تر است.

برآورد تعداد درخت در هکتار با استفاده از روش نمونه‌برداری خوشه‌ای برای راش، ممرز و سایر گونه‌های صنعتی در حدی از دقت قرار دارد که می‌توان آنرا قبول کرد، اما در مورد گونه‌های غیرصنعتی مطلوب نیست. برآوردهای

روش منظم تصادفی در مورد تعداد درخت راش، ممرز و گونه‌های غیرصنعتی با خطای زیاد همراه است. برآورد این روش درباره تعداد درخت در هکتار سایر گونه‌های صنعتی به واقعیت جنگل به‌نسبت نزدیک و در حد قابل قبول است. گونه‌هایی که به‌صورت پراکنده در سطح جنگل حضور دارند، در روش منظم تصادفی به‌علت کوچک بودن مساحت قطعه‌نمونه، فرصت کمتری برای شمرده شدن دارند، اما در روش خوشه‌ای این فرصت افزایش می‌یابد. در مورد گونه‌های غیرصنعتی چون شرایط دست‌خوردگی فراهم و درختان مهاجم به‌صورت لکه‌ای گسترده می‌شوند، در سیستم منظم تصادفی با صددرصد اختلاف دارند.

برآورد تعداد درخت در هکتار با روش‌های نمونه‌برداری برای دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر با اطمینان ۹۵ درصد با واقعیت جنگل مطابقت دارد. در طبقات قطری بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر، بین نتایج روش‌های نمونه‌برداری و صددرصد از نظر میانگین تعداد درختان راش و ممرز با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار دیده می‌شود. علت این موضوع به ابعاد درختان قطور و کاهش فراوانی نسبی آنها در قطعه‌نمونه مربوط است. یکی از دلایل این اختلاف برآورد، کاهش تعداد قطعه‌نمونه‌ها، در سطح پارسل‌هاست. هر قدر ناهمگنی توده جنگلی هر پارسل بیشتر باشد و تعداد نمونه کمتر شود، این اختلاف افزایش می‌یابد.

براساس نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها، برآورد میانگین تعداد درخت در هکتار سایر گونه‌های صنعتی که از طریق نمونه‌برداری به‌دست آمده در بیشتر موارد با نتایج روش صددرصد با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. دلیل این اختلاف به پراکندگی نامنظم این گونه‌ها (بلوط، پلت، شیردار، توسکا و ون) در عرصه و کاهش شانس حضور آنها در شبکه منظم قطعات نمونه مربوط می‌شود.

با توجه به نتایج یادشده می‌توان چنین نتیجه گرفت که هر قدر ابعاد درختان بزرگ‌تر و پراکندگی گونه‌ها در سطح جنگل نامنظم‌تر باشد (مانند سایر گونه‌های صنعتی)، برآورد

اصلی جنگل‌های مازندران بررسی‌های بیشتری باید انجام شود. درمورد استفاده از چیدمان خوشه‌ای، پژوهش‌های کامل‌کننده و متناسب با تیپ‌های جنگلی مازندران باید به اجرا درآید. آنچه مسلم است اکتفا به یک روش یکنواخت برای آماربرداری از تمام وضعیت‌های موجود در جنگل‌های شمال کشور به دقت مطلوب نمی‌رسد، بلکه باید با آزمون روش‌های مختلف به مجموعه کاملی از روش‌ها دست یافت.

## References

- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hassani, M. and Parhizkar, P., 2010. Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2): 322-336 (In Persian).
- Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh., Namiranian, M. and Mandallaz, D., 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistical approach in the caspian region of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 89-102 (In Persian).
- Amani, M., Hasani, M., Gholamhassanzadeh, A. and Ghomi, M.A., 2001. An investigation on typology of parent stands of *Fagus orientalis* under research project of unevenaged seed regenerated reproduction method. *Pajouhesh & Sazandegi*, 52(3): 2-13 (In Persian).
- Amini, M., 2001a. A survey on forest structure and determining of quantitative and qualitative silvicultural criterion in Neka-Zalemrud forest project. Final Report of Research Project, Research Institute of Forests and Rangeland, Tehran, 125p (In Persian).
- Amini, M., 2001b. Methods of comparison and consider the unevenaged forest stands structure. *Pajouhesh & Sazandegi*, 14(1): 5-23 (In Persian).
- Amini, M., Habashi, H. and Amini, R., 2007. A survey on the accuracy of the inventory method of sample plots with 1000 m<sup>2</sup> area under random-systematic network for estimation of amount and distribution of stand volume, basal area and tree number in diameter classes. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3): 195-206 (In Persian).
- Anonymous, 1973. Forest Management Plan of

میانگین تعداد درخت در هکتار با روش‌های نمونه‌برداری نسبت به صددرصد (واقعیت جنگل) اختلاف بیشتری نشان می‌دهد. دلیل مهم و مؤثر در تفاوت‌ها این است که الگوی پراکنش این درختان در عرصه جنگل کپه‌ای است و با شکل‌های هندسی و منظم شبکه و قطعه‌نمونه‌ها مطابقت ندارد.

در روش صددرصد، بیشینه قطری درختان طبقه قطری ۱۶۵ سانتی‌متر ثبت شد، درحالی‌که در روش نمونه‌برداری منظم تصادفی درختان تا طبقه قطری ۱۱۰ و در روش خوشه‌ای بیشینه قطر تا طبقه قطری ۱۲۵ سانتی‌متر ثبت شد و بعد از آن خلاء داده‌ها مشهود است. این نتیجه با توجه به الزامات جنگلشناسی نزدیک به طبیعت (Marvie Mohajer, 2008) ضرورت افزایش مساحت قطعه‌نمونه را تأیید می‌کند. همان‌طور که نتایج بررسی‌های دیگر (Talavitie et al., 1999; 2006) نشان می‌دهد و نیز با توجه به استفاده از روش خوشه‌ای در جنگل‌های سوییس (Anonymous, 2001) و صریستان (Brassel & Lischke, 2001)، روش خوشه‌ای علاوه بر دقت مطلوب در معرفی جنگل از نظر اجرایی و اقتصادی برای جنگل‌های شمال ایران نیز قابل بررسی است و با اعمال تغییراتی برای بومی‌سازی قابل توصیه خواهد بود. در پژوهش پیش‌رو شدت آماری که در پایان آماربرداری با روش خوشه‌ای محاسبه شد، ۹/۷ درصد به دست آمد. اگر این شدت در مقیاس واحد آماری ۵۰ هکتاری در نظر گرفته شود، ۲۴ قطعه‌نمونه در قالب شش خوشه باید اجرا شود. برای همین وسعت در روش منظم تصادفی، ۱۷ قطعه‌نمونه با شبکه ۲۰۰ × ۱۵۰ متر اجرا می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش هفت قطعه‌نمونه برای کاهش خطای آماری در سطح ثابت، در حد یک‌چهارم آنچه از روش منظم تصادفی به دست می‌آید، نکته‌ای قابل توجه است.

با در نظر گرفتن نتایج پژوهش پیش‌رو و پژوهش‌های مرتبط، پیشنهاد می‌شود ابعاد قطعه‌نمونه بین ۱۹ تا ۲۰ آر (۱۸۷۵ مترمربع) در نظر گرفته شود. درمورد مناسب‌ترین شکل و ابعاد شبکه آماری و شدت مطلوب برای تیپ‌های

- Jahani, A., Fegghi, J. and Zobeiri, M., 2012. Spatial forest simulation to obtain forest statistics. *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 65(2): 147-155 (In Persian).
- Marvie Mohadjer, M.R., Zobeiri, M., Etemad, V. and Jourgholami, M., 2009. Performing the single selection method at compartment level and necessity for full inventory of tree species (Case study: Gorazbon district in Kheyroud forest). *Iranian Journal of Natural Resources*, 61(4): 889-908 (In Persian).
- Marvie Mohajer, M.R., 2008. *Sylviculture*. University of Tehran Press, 418p (In Persian).
- Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H. and Yaghmaee, F., 2008. Comparison of remote sensing and geostatistics techniques in forest tree density estimation, case study Loveh forests, Gorgan. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 15(1): 13p (In Persian).
- Namiranian, M., 2006. *Measurement of Tree and Forest Biometry*. University of Tehran Press, 430p (In Persian).
- Sagheb-Talebi, Kh., 2013. Appropriate characteristics of beech stands for application of close to nature Silviculture (selection system). Final Report of Research Project, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 120p (In Persian).
- Sagheb-Talebi, Kh. and Schütz, J.Ph., 2002. The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 75(4): 465-472.
- Talavitie, M., Leino, O. and Holopainen, M., 2006. Inventory of sparse forest populations using adaptive cluster sampling. *Silva Fennica*, 40(1): 101-108.
- Tokole, T. and Shrestha, S.M., 1999. Comparison of cluster sampling techniques for forest inventory in southern Nepal. *Forest Ecology and Management*, 116(1-3): 219-231.
- Zobeiri, M., 1994. *Forest Statistics*. University of Tehran Press, 401p (In Persian).
- Zobeiri, M., 2002. *Forest Biometry*. University of Tehran Press, 412p (In Persian).
- Neka-Zalem Rud, Hajikola-Tironkoli, District one. Published by Forest, Rangelands and Watershed Management Organization, 280p (In Persian).
- Anonymous, 2009. *Forestry and Water Management of the Republic Serbia*. The National Forest Inventory of the Republic of Serbia, Ministry of Agriculture, 120p (In Persian).
- Banan, Gh., 1964. *Forestry Applied-theory*. Published by Forest, Rangelands and Watershed Management Organization, 420p (In Persian).
- Brassel, P. and Lischke, H., 2001. *Swiss National Forest Inventory: Methods and models of the second assessment*, WSL Swiss Federal Research Institute Publication, 336p.
- Eslami, A.R. and Sagheb-Talebi, Kh., 2008. Investigation on the structure of pure and mixed beech forests in north of Iran. *Pajouhesh & Sazandegi*, 77(4): 39-46 (In Persian).
- Fallah, A., Zobeiri, M. and Namiranian, M., 2000. A Comparison between the constant and sampling plots area with in *Quercetum Loveh* north of Iran. *Pajouhesh & Sazandegi*, 47(3): 60-74 (In Persian).
- Ghanbari, F., Shataee, Sh., Habashi, H. and Ayoubi, Sh., 2013. Possibility investigation on spatial estimation of density and mean diameter of forest trees using Terrain analysis. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(4): 41-57 (In Persian).
- Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J. and Rahmani, R., 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1) : 55-64 (In Persian).
- Hassani, M. and Amani, M., 2009. Investigation on some qualitative and quantitative characteristics of *beech* in the optimal phase. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(1): 134-148 (In Persian).
- Hosseinzadeh, A., 1986. *Elementary Statistical Methods for Forester* (translation). Published by Research Institute of Forests and rangelands, Tehran, 154p (In Persian).

## Tree density and stand structure estimation by stratified cluster and systematic random sampling methods

M. Amini<sup>\*1</sup>, R. Amini<sup>2</sup>, Kh. Sagheb-Talebi<sup>2</sup> and S.A. Khorankeh<sup>4</sup>

1\*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Sari, Iran. E mail: dr\_moamini@yahoo.com

2- Ph.D. Student, Gorgan University, Gorgan, Iran

3- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Senior Research Expert, Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Sari, Iran

Received: 24.12.2014

Accepted: 15.06.2015

### Abstract

We assessed the accuracy of two sampling methods by comparing their estimations to Full Caliper (FC). The two methods included 1000-m<sup>2</sup> systematic random (SR) sampling plots designed within a 150 × 200 m grid, and a cluster sampling (CS) method with 7500-m<sup>2</sup> clusters each embracing 4 plots of 1875 m<sup>2</sup> each. Full caliper was performed in 4 parcels of 116 ha each. The inventory resulted in total 40239 trees measured in 40 SR plots (sampling intensity=9.7 %) as well as 56 plots within 14 clusters of in CS approach (sampling intensity=3.44 %). Results from CS method were associated with optimum accuracy for tree density and forest structure. The CS method returned results closer to the FC when estimating the beech- and hornbeam-specific no. of trees per ha and their distribution in diameter classes and in parcels. The Maximum trees diameter of 165, 110 and 125 cm were recorded for FC, SR and CS approaches, respectively. Conclusively, this study suggests a forest type and species-specific stratification to be performed prior to each parcel-based inventory. In addition, sample size should be determined on a forest type-specific basis, ideally distributed within a CS design with 1900 to 2000-m<sup>2</sup> plot sizes.

**Keywords:** Number of trees, distribution, forest structure, stratified cluster sampling, systematic random sampling.