

## کارایی روش نمونه برداری خط نمونه شاخه‌ای در برآورد تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل کارزان ایلام)

عبدالعلی کرماشاهی<sup>۱</sup>

عبدالعلی کرماشاهی دانشیار گروه جنگلداری دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام - ایران (نویسنده مسوول [a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir))  
تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:  
صفحه: تا

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** تعداد درختان در هکتار (تراکم) در یک جامعه جنگلی بیانگر وضعیت موجود بوده و پایش آن، در ارزیابی تغییرات توده‌های جنگلی بسیار اهمیت دارد. استفاده از روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای بخصوص در جنگل‌های تنک، بدلیل کاهش هزینه‌های آماربرداری و داشتن دقت مطلوب در سال‌های اخیر رو به گسترش است. هدف اصلی تحقیق ارزیابی کارایی یک روش فاصله‌ای پیشنهادی (خط نمونه شاخه‌ای) با قابلیت اجرای آسان و داشتن دقت مطلوب، در شبکه آماربرداری 100\*100 متری و در محیط جی ای اس است.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب غربی منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ در شهرستان ایلام قرار دارد. ابتدا یک منطقه جنگلی با مساحت ۹۰ هکتار آماربرداری صد در صد شد، سپس از خط نمونه‌های ۱۰ و ۲۰ متری با شاخه‌های فرعی حداکثر ۲۰ متری استفاده شد (۹۰ نقطه نمونه‌برداری). در این تحقیق برای اولین بار از روش نمونه‌برداری خط نمونه با شاخه‌های جانبی ۲، ۴ و ۶ شاخه استفاده شده است. در ارزیابی روش‌ها با آماربرداری صد در صد از معیارهای درصد صحت استفاده شد.

**یافته‌ها:** با توجه به نتایج حاصل از آماربرداری صد در صد (۱۲۰۷۹ اصله درخت) تعداد درختان ۱۴۱ اصله بدست آمد. خط نمونه ۶ شاخه دو درختی با تعداد در هکتار ۱۴۱ اصله و روش چهار شاخه یک درختی با تاج‌پوشش ۲۸۱۵ متر مربع در هکتار نسبت به میانگین واقعی بهترین نتایج را نشان داد. تجزیه و تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد اکثر روش‌های نمونه‌برداری مورد تحقیق (خط نمونه شاخه‌ای با شش روش مختلف 6b2t- 6b1t- 2b1t- 2b2t- 4b2t- 4b1t) نتایج قابل قبولی جهت ارزیابی جنگل‌های تنک دارند ولی روش‌های خط نمونه شاخه‌ای در اکثر شبکه‌ها دارای درصد خطای آماربرداری کمتر و از نظر میانگین تعداد در هکتار نیز مقدار واقعی نزدیک‌ترند.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع روش خط نمونه شاخه‌ای جهت برآورد تعداد در هکتار در اکثر شبکه‌ها دارای درصد صحت در محدوده ۱۰ درصد و از نظر میانگین تعداد در هکتار نیز با احتمال ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار واقعی نداشت و نسبت به دیگر روش‌های فاصله‌ای مورد مطالعه در این تحقیق (نسبت به روش‌های شاخه‌ای برای برآورد تاج‌پوشش) از دقت و صحت مطلوب‌تری برخوردار بود.

**کلمات کلیدی:** تراکم جنگل، زاگرس، تاج‌پوشش، خط نمونه شاخه‌ای، روش‌های فاصله‌ای.

### مقدمه

از آنجا که جمع‌آوری اطلاعات هزینه‌بردار است، به منظور تعیین میزان بهینه اطلاعات برای تصمیم‌گیری، هزینه‌ها باید متوازن شوند. باید بر اساس ساختار جنگل مورد مطالعه و اطلاعات لازم جهت دستیابی به هدف جنگلداری روش جمع-آوری داده‌ها را مشخص کرد (Gilabert, and McDill, ME., 2010).

مطلوب این است با هزینه‌های از پیش تعریف شده به بالاترین میزان دقت و صحت دست یافت و یا هزینه‌های آماربرداری را به منظور دسترسی به یک دقت از پیش تعیین شده به حداقل برسانیم (Nikolas and Joachim., 2014). در بسیاری از منابع جهت کاهش هزینه آماربرداری و دقت قابل قبول روش‌های نمونه‌برداری مختلفی پیشنهاد شده است. برخی محققین روش‌های دو و سه اشکوبه‌ای که در آن از ترکیب عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و تعداد محدود نمونه‌برداری زمینی استفاده می‌شود را جهت مدیریت هزینه‌ها پیشنهاد داده‌اند (Gregoire, and Valentine., 2008; Mandallaz, 2003; Sarndal et al., 2008). برخی نیز روش‌های فاصله‌ای و انواع ترانسکت‌ها را به خصوص برای مناطق جنگلی تنک مطلوب و مناسب ارزیابی کرده‌اند (Erfanifard, 2013; Magnussen, 2013; Karamshahi, 2012).

جنگل‌ها یکی از مهمترین اکوسیستم‌های روی زمین هستند که در ساختار اقتصادی، تغییرات آب و هوایی و بقای انسان اهمیت زیادی دارند (Knapp et al., 2020; Pfeifer, et al., 2004). تراکم توده‌های جنگلی (تعداد درختان در هکتار)، یکی از اولویت‌هایی است که مدیران جهت ارزیابی منابع جنگلی و برنامه‌ریزی، بایستی به آن دست یابند (Karamshahi et al., 2012). تعداد درخت در هکتار (تراکم) در بسیاری از موارد جهت برنامه‌ریزی، ارزیابی پویایی و تحول در جنگل کاربرد دارد (Buckland et al., 2007; Abedi, et al., 2017).

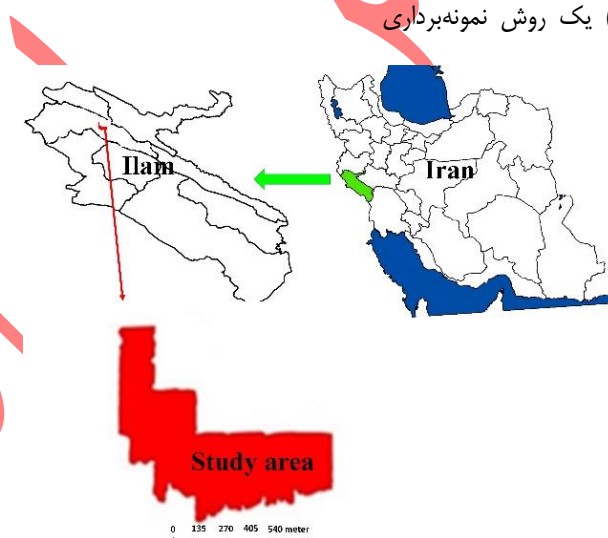
دقت در توصیف درست ویژگی‌های جنگل و بررسی روش-های آماربرداری با هدف استخراج دقیق‌ترین اطلاعات ممکن، با استفاده از کمترین هزینه‌ها یک نیاز کلیدی برای مدیران جنگل محسوب می‌شود (Melville et al., 2015). آماربرداری جنگل از مهمترین پارامترها در طبقه‌بندی درختان جنگلی است و پایه بسیاری از مطالعات منابع جنگلی محسوب می‌شود (Xi, Z et al., 2020). دستیابی به روش برآورد موجودی با حداقل هزینه به گونه‌ای که فاصله اطمینان آماری قابل قبول رعایت شود از اهداف مهم در آماربرداری است (Henyang, hui et al., 2023).

جدید را برای جنگل‌های زاگرس پیشنهاد دادند که در آن از خط نمونه با شاخه‌های جانبی (۸ شاخه جانبی ۳۰ متری با ثبت حداکثر ۵ درخت) استفاده شد و نتیجه گرفتند این روش دارای دقت و صحت مناسب برای جنگل‌های تنک می‌باشد. بر این اساس تحقیق موجود بدنبال دستیابی به روش‌های فاصله‌ای مناسب جهت برآورد موجودی (تعداد در هکتار) جنگل‌های زاگرس و منابع جنگلی مشابه می‌باشد. در تحقیق موجود در جهت کاهش هزینه‌های آماربرداری و تکمیل روش خطنمونه با شاخه جانبی اصلاحاتی صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان ایلام، در بخشی از منطقه حفاظت شده مانشت و قلا رنگ بعد از تونل آزادی، شهرستان ایلام قرار دارد که در واقع قسمتی از منطقه حفاظت شده قلا رنگ محسوب می‌شود (شکل ۱). ساختار جنگل منطقه مورد مطالعه دانه و شاخه زاد و گونه‌های جنگلی موجود شامل بلوط ایرانی، زالزالک، بنه، خنجوک، دافنه، شن، گیلاس وحشی، کیکم، ارژن و پنج انگشت می‌باشند. میانگین بارندگی سالیانه منطقه حفاظت شده سالیانه معادل ۶۳۲ میلی‌متر و میانگین دمای روزانه ۹/۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. خاک منطقه کم عمق تا نیمه عمیق با بافت سنگین و بر روی مواد آهکی متراکم قرار دارد. در این تحقیق از نرم افزارهای spss26 و Arc GIS10.7 (Karamshahi, 2019) استفاده شده است.

عرفانی‌فرد (Erfanifard., 2013) کارایی دو روش فاصله- ای (LTS (Line Transect Sampling) و LIS (Line Intersect Sampling) را در جنگل‌های زاگرس جهت برآورد تعداد در هکتار درختان بنه مورد ارزیابی قرار دادند و ضمن برتری روش LTS نسبت به LIS آن‌ها را به عنوان روش‌های مطلوب جهت ارزیابی تراکم درختان معرفی نمودند. عابدی (Abedi, 2023) در جنگل‌های ارسباران جهت کمی‌سازی رقابت در توده‌های آمیخته با استفاده از روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای قطر برابر سینه، ارتفاع کل، دو قطر عمود بر هم تاج و فاصله بین درختان و چهار درخت همسایه بعنوان رقیب اندازه-گیری کرد پس از تحلیل داده‌ها نتایج نشان داد مقادیر شاخص-های فاصله‌ای بین ۰/۲۹ تا ۳۱/۷۱ و غیر فاصله‌ای بین ۰/۹۴ تا ۰/۴۳ بودند. ماگنوسن و همکاران (Magnussen et al., 2008) در کانادا با استفاده از شبیه‌سازی از جنگل‌های طبیعی و نیمه طبیعی در یک ارزیابی جامع ۱۷ روش نمونه‌برداری فاصله‌ای مختلف را جهت برآورد تعداد درخت در هکتار با هم مقایسه کردند که نتایج نشان داد مجموعه‌ای مرکب از تخمین-گرهای گامپوی، اوربیت، بایت، پیرسون و موربیتا از لحاظ معنی‌داری بهتر و از لحاظ خطای نسبی مجذور میانگین مربعات (RRMSE) کمترین مقدار را داشتند. حیدری و همکاران (2011) در توده‌های جنگلی بلوط در کرمانشاه چند روش نمونه‌برداری فاصله‌ای را برای برآورد تعداد درختان در هکتار (تراکم) مورد بررسی قرار دادند که روش‌های نزدیکترین فرد باچلر و موربیتا را بعنوان برآورد کننده مناسب معرفی کردند. کرماشاهی (Karamshahi, 2019) یک روش نمونه‌برداری

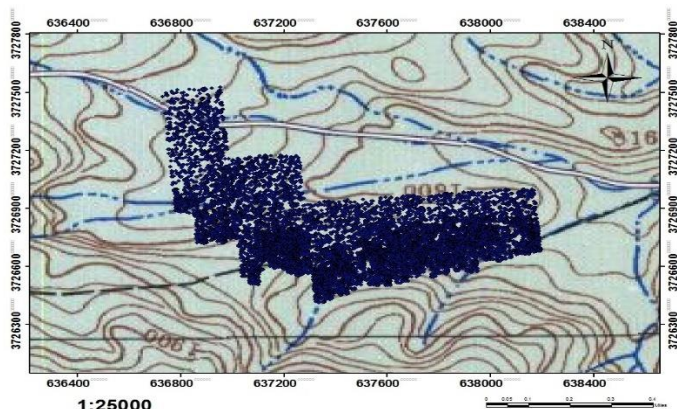


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.  
Figure 1. Location of the study area.

گونه وارد محیط Excel گردید و به فرمت قابل شناسایی در محیط ArcGIS تبدیل شد. فایل مختصات طول و عرض داده‌های جمع‌آوری شده به صورت فایل نقطه‌ای زمین مرجع شد که هر کدام از نقاط نشان دهنده یک درخت می‌باشند. سپس هر کدام از روش آماربرداری (خط نمونه با شاخه جانبی در یک شبکه آماری صد در صد متر در رایانه و در محیط ArcMap انجام و نتایج با میانگین واقعی منتج از آماربرداری (زمینی) صددرصد مقایسه شد (شکل ۲).

### روش کار

جهت بررسی کارایی و مقایسه روش‌های نمونه‌برداری خط نمونه با شاخه‌های جانبی از نتایج آماربرداری صددر صد یک توده جنگلی ۹۰ هکتاری استفاده شد. در آماربرداری صددر صد فاصله هر درخت نسبت به یک محور مختصات فرضی بر روی زمین اندازه‌گیری شد. مختصات درختان و کمیت‌های اندازه‌گیری شده برای هر درخت از جمله مختصات طول و عرض، مشخصات تاج (قطر بزرگ و کوچک تاج) و نام

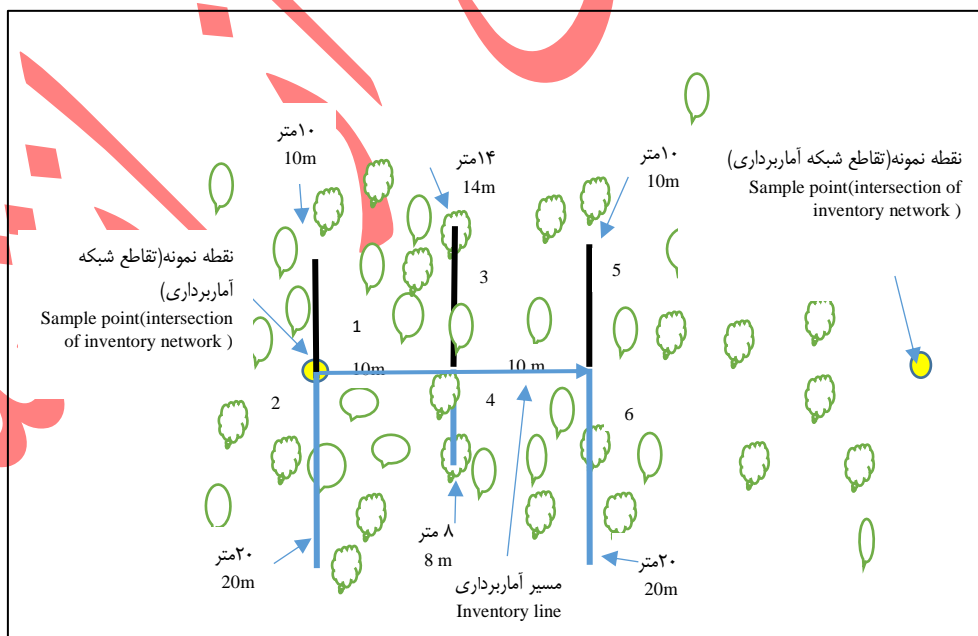


شکل ۲- موقعیت جنگل مورد مطالعه در محیط جی آی اس  
Figure 2. Study area's forests in GIS environment

### روش نمونه برداری خط نمونه شاخه‌ای

به طور خلاصه این روش نمونه برداری مورد بررسی تشکیل شده از دو، چهار یا شش خط نمونه جانبی که از نقطه نمونه یا محل تقاطع ابعاد شبکه آماربرداری بطرف چپ و راست ترسیم شده و هر درختی (تنه یا تاج) با این خطوط برخورد داشته باشد پارامترهای لازم آن درخت اندازه گیری می شود. در خط نمونه دو شاخه‌ای دو خط نمونه از مرکز شبکه آماربرداری (نقطه نمونه) بطرف چپ و راست ترسیم می شود. در چهار شاخه‌ای علاوه بر دو خط نمونه اول در ادامه مسیر آماربرداری ۱۰ متر جلوتر دو خط نمونه عمود بر مسیر آماربرداری ترسیم می شود. در خط نمونه شش شاخه‌ای علاوه بر چهار شاخه قبل در مسیر

آماربرداری ۱۰ متر ادامه داده سپس دو خط نمونه دیگر عمود بر مسیر آماربرداری ترسیم می شود. نقطه نمونه بعدی به همین روش در صد متر بعد در محل تقاطع شبکه آماربرداری انجام می شود. این روش پیشنهادی مورد بررسی با روش نمونه برداری خطی یا خط نمونه مرسوم (Zobeiri, 2007) متفاوت است در این روش بجای یک خط نمونه با طول ثابت از دو، چهار یا شش خط نمونه جانبی با طول متغیر و تعداد درخت ثابت استفاده می شود. در این روش طول خط نمونه جانبی حداکثر ۲۰ متر در نظر گرفته می شود. اگر جنگل متراکم باشد و در مسافت کمتر از ۲۰ متری تعداد دو درخت ثبت شود در آن صورت ضرورت ندارد کار برداشت و ثبت درختان تا انتهای شاخه فرعی ادامه یابد.



شکل ۳- یک خط نمونه شاخه‌ای با ۶ شاخه فرعی.  
Figure 3. A branch transects with 6 branches.

با توجه به طول خط نمونه جانبی و تعداد درخت مورد ارزیابی، در اجرای شاخه‌های جانبی هر کدام از این سه حالت ممکن

به طور کلی هر چه جنگل همگن تر و یا متراکم تر باشد می توان تعداد شاخه‌های فرعی را کمتر در نظر گرفت (شکل ۳).

است پیش آید: در حالت اول در خط نمونه فرعی اگر در کمتر از فاصله ۲۰ متر دو درخت ثبت شد آماربرداری آن خط نمونه فرعی پایان یافته و طول خط نمونه فرعی برابر فاصله از مرکز نقطه نمونه برداری تا وسط قطر تاج دومین درخت ثبت شده در نظر گرفته می شود. شکل ۲ شاخه فرعی شماره سه و چهار که فاصله از خط نمونه اصلی (مسیر آماربرداری) تا وسط قطر درخت دوم از ۲۰ متر کمتر است (۱۴ و ۸ متر فرض شده است). در حالت دوم اگر تا فاصله ۱۰ متر از خط نمونه اصلی هیچ درختی روی شاخه فرعی ثبت نشد کار آماربرداری آن خط نمونه خاتمه می یابد (تا آخر خط نمونه فرعی یعنی ۲۰ متر ادامه پیدا نمی کند). در واقع یک خط نمونه جانبی به طول ۱۰ متر و خالی از درخت خواهیم داشت که تعداد درخت آن صفر در نظر گرفته می شود (شکل ۲ شاخه فرعی شماره ۱ و ۵). در حالت سوم اگر تا فاصله ۲۰ متر کمتر از دو درخت ثبت شد، طول خط نمونه فرعی حداکثر ۲۰ متر در نظر گرفته می شود. یعنی حتی اگر یک درخت هم ثبت شد در محاسبات فاصله ۲۰ متر محاسبه می شود (یک خط نمونه فرعی ۲۰ متری) ولی باید حالت دوم نقض نشود یعنی یک درخت ثبت شده قبل از فاصله ۱۰ متری از خط نمونه اصلی ثبت شده باشد (شکل ۲ خط نمونه های فرعی شماره ۲ و ۶ با یک اصله درخت). برای حالت اول و سوم باید قبل از فاصله ۱۰ متری درختی با خط نمونه فرعی برخورد داشته باشد که مسیر تا ثبت دو درخت ادامه یابد در غیر این صورت خط نمونه خالی از درخت در نظر گرفته می شود.

#### محاسبات آماری

در محاسبات (برآورد تعداد در هکتار و مساحت تاج پوشش) هر خط نمونه جانبی یک مستطیل در نظر گرفته می شود. طول مستطیل عبارتست از فاصله نقطه نمونه تا وسط قطر آخرین درخت (در چهار و شش شاخه، فاصله مسیر آماربرداری تا وسط قطر آخرین درخت) و عرض مستطیل برابر است با میانگین قطر درخت یا درختان خط نمونه. با توجه به مساحت مستطیل و تعداد درخت موجود در خط نمونه تعداد در هکتار درخت حاصل می شود. مساحت تاج پوشش نیز به دو روش قابل اندازه گیری است. در روش اول می توان ابتدا تعداد درختان در هکتار را محاسبه نمود سپس در میانگین مساحت تاج درخت در خط نمونه ضرب کرد و مساحت تاج پوشش در خط نمونه و در مرحله بعد در هکتار را محاسبه کرد. در روش دوم می توان مساحت تاج درختان را در هر خط نمونه (مستطیل حاصل از هر

خط نمونه) بدست آورد و به هکتار تعمیم داد. در محاسبات آماری، هر شاخه جانبی یک مستطیل (صرفاً جهت محاسبات آماری) در نظر گرفته می شود. در برخی منابع علمی با استفاده از میانگین فاصله بین درختان و به توان دو رساندن فاصله، فضا را برای هر درخت مربع در نظر گرفته اند که جهت این کار باید فاصله بین هر درخت تا درخت بعدی نیز اندازه گیری شود (Zobeiri, 2007). در روش پیشنهادی برای کم کردن هزینه آماربرداری (با کم کردن زمان اندازه گیری فاصله بین درختان) یک فضای مستطیل برای کل درختان خط نمونه فرعی در نظر گرفته که در اجرا روی زمین اندازه گیری فاصله بین هر درخت با درخت بعدی وجود ندارد. طول مستطیل بسته به یکی از سه حالت ممکن توضیح داده شده متفاوت است. در حالت اول که دو درخت قبل از ۲۰ متر ثبت می شوند طول مستطیل برابر است با فاصله از مسیر آماربرداری (که از وسط نقطه نمونه برداری می گذرد) تا وسط قطر تاج درخت دوم (شکل ۲ شاخه جانبی شماره ۳ و ۴). در حالت دوم که تا ۱۰ متر هیچ درختی شاخه جانبی را قطع نمی کند و درختی ثبت و اندازه گیری نمی شود طول مستطیل ۱۰ متر در نظر گرفته می شود و در حالت سوم که تا فاصله ۲۰ متری تعداد درخت کمتر از دو اصله ثبت می شود طول خط نمونه ۲۰ متر در نظر گرفته می شود. برای حالت اول و سوم عرض مستطیل در محاسبات آماری برای هر شاخه جانبی برابر میانگین قطر تاج درختان در همان شاخه جانبی در نظر گرفته می شود. برای حالت دوم که یک شاخه جانبی بدون درخت داریم عرض مستطیل برابر عرض شاخه جانبی کناری در نظر گرفته می شود عبارتی در حالت دوم یک مستطیل با طول ۱۰ متر و عرض برابر عرض شاخه جانبی همسایه، خالی از درخت خواهیم داشت که در محاسبات آماری، موجودی آن (تعداد در هکتار درخت و مساحت تاج پوشش) صفر در نظر گرفته می شود.

با توجه به مساحت مستطیل و تعداد درختان موجود در مستطیل (خط نمونه فرعی) تعداد درخت و مساحت تاج پوشش در شاخه فرعی و در هکتار برای هر شاخه فرعی محاسبه شده است و در نهایت میانگین تمام شاخه های فرعی بعنوان میانگین کل نقطه نمونه برداری در نظر گرفته می شود. می توان از انواع برآورد کننده های آماری که جهت برآورد تعداد در هکتار در روش های فاصله ای به کار گرفته می شوند استفاده کرد ولی در این تحقیق سعی شده از ساده ترین روش های محاسباتی استفاده شود.

#### جدول ۱- معادلات محاسبه پارامترها

Table 1. Equations for calculation of characteristics Equations Description Reference

Equations	معادله	Description	توضیحات	Reference	منبع
$N = 1/n\sum \left[ \frac{10000 \times n}{S} \right]$		N (number of trees in hectare for each side branch, n: the number of trees in each side branch), S: area of side branch m <sup>2</sup> .	n: تعداد درخت در هر شاخه جانبی. S: مساحت شاخه جانبی به متر مربع. N: تراکم (تعداد درختان در هکتار برای هر شاخه جانبی).	Zobeiri (2007)	
$A = \frac{\pi}{4} \Sigma D^2$		A: the canopy area of side branch trees in m <sup>2</sup> , D: tree crown diameter	A: مساحت تاج پوشش در هر شاخه جانبی به متر مربع. D: قطر تاج به متر	West (2015)	
$A_{ha} = (10000 * A)/S$		A <sub>ha</sub> : the canopy area per hectare inside branch, S: side branch area m <sup>2</sup> .	S: مساحت شاخه جانبی به متر مربع. A <sub>ha</sub>	Zobeiri (2007)	
$A = \pm 100 \times (Ec \times Tr)/Tr$		AC: accuracy, Es: estimated mean, Tr: True mean	AC: صحت آماربرداری, Es: میانگین برآورد شده, Tr: میانگین واقعی	West (2015)	

مربوط به نمونه‌برداری خط نمونه با شاخه‌های جانبی از نظر صحت در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده تمام روش‌های نمونه‌برداری مربوط به خط نمونه شاخه‌ای جهت برآورد تراکم دارای مقدار درصد صحت قابل قبولی هستند. مقدار صحت هر روشی کمتر از ۲۵ درصد باشد، آن روش برای کارهای اجرایی مناسب می‌باشد و برای کارهای پژوهشی صحت کمتر از ۱۰ درصد مناسب می‌باشد (West., 2015; Southwood, and Henderson, 2000). در خط نمونه‌ها مقدار درصد صحت محاسبه شده برای برآورد تعداد در هکتار درختان (تراکم) در همه موارد زیر ۲۵ درصد هستند که نشان می‌دهد جهت انجام کارهای اجرایی بخوبی جوابگو هستند (جدول ۲). نتایج حیدری و همکاران (2008) نشان داد هیچکدام از روابط ارائه شده جهت معیار صحت در برآورد تعداد در هکتار در منطقه سرخه دیزه کرمانشاه قابل قبول و مناسب نبودند که با این مطالعه مطابقت ندارد. کرمشاهی (2019) در یک تحقیق با عنوان ارائه یک روش جدید برای جنگل‌های زاگرس در محیط Gis از خط نمونه‌های با ۴ و ۸ شاخه جانبی جهت برآورد تراکم جنگل استفاده کردند که درصد صحت همه روش‌ها زیر ۱۰٪ برآورد شد. در این تحقیق نیز برای خصوصیت تراکم جنگل (تعداد در هکتار) برخی از روش‌ها دارای مقدار درصد صحت کمتر از ۱۰ درصد هستند و از نظر معیار صحت جهت استفاده در کارهای پژوهشی قابل پیشنهاد هستند.

در این تحقیق جهت مقایسه روش‌ها با یکدیگر از جدول تجزیه واریانس یک طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد و برای مقایسه آنها با آماربرداری صد در درصد (میانگین واقعی)، از one- sampl T Test استفاده شد (جدول ۱).

## نتایج و بحث

در تحقیق موجود ۶ خط نمونه با شاخه‌های جانبی ۴،۲ و ۶ شاخه‌ای و با تعداد دو یا یک درخت مورد اندازه‌گیری در هر شاخه جانبی (در مجموع شش روش) از نظر مقایسه میانگین‌ها با یکدیگر و با میانگین واقعی یعنی آماربرداری صد در صد و نیز از نظر درصد صحت آماربرداری مورد ارزیابی، قرار گرفت. با توجه به بزرگ بودن حجم نمونه‌ها (برداشت ۹۰ نقطه نمونه برای هر روش، و در مجموع ۵۴۰ نقطه نمونه) توزیع میانگین نمونه‌های تصادفی، نرمال در نظر گرفته شد (Levin; 2011, Keller, 2015). در آماربرداری ۱۰۰٪ قطر کوچک و بزرگ تاج تمام درختان موجود در مساحت ۹۰ هکتار از جنگل مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آماربرداری صد در صد (۱۲۰۷۹ اصله درخت) تعداد در هکتار درختان ۱۴۱ اصله و مساحت تاج پوشش ۳۷۰۴ متر مربع در هکتار محاسبه شد. نتایج

جدول ۲- نتایج محاسبات آماری درصد صحت جهت برآورد تراکم

Table 2. Statistical analysis accuracy % for density

Density تراکم n/ha	صحت % accuracy	روش‌های مورد مطالعه methods
142	0.07	خط نمونه ۶ شاخه دو درختی (6b2t)
123	0.11	خط نمونه ۶ شاخه یک درختی (6b1t)
125	0.12	خط نمونه ۴ شاخه دو درختی (4b2t)
130	0.08	خط نمونه ۴ شاخه یک درختی (4b1t)
156	0.11	خط نمونه ۲ شاخه دو درختی (2b2t)
119	0.16	خط نمونه ۲ شاخه یک درختی (2b1t)

and Henderson, 2000; Karamshahi, 2019; Heydari, 2011). فلاح و همکاران (2012) در ارزیابی روش‌های نمونه‌برداری منظم تصادفی، خط نمونه، نواری و مونه‌بندی در جنگل‌های بلوط یاسوج جهت برآورد تاج پوشش، روش خط نمونه را دارای بیشترین میزان صحت معرفی کردند. در بررسی حاضر نیز روش چهار شاخه‌ای یک درختی با مقدار صحت 03٪ مناسب‌ترین میزان صحت را به خود اختصاص داده است (جدول ۳).

صحت نتایج حاصل از برآورد تاج پوشش در هکتار در این بررسی گرچه در تمام موارد زیر ۲۵٪ برآورد شد ولی درصد صحت زیر ۱۰٪ فقط در روش چهار شاخه‌ای یک درختی مشاهده شد و بقیه روش‌ها درصد صحت بالای ۱۰٪ داشتند که در مجموع دارای درصد صحت بالاتری نسبت به برآورد تراکم درختان هستند یعنی میزان نزدیک بودن اندازه معیار برآورد شده (مساحت تاج پوشش) با مقدار واقعی آن (میانگین حاصل از آماربرداری ۱۰۰٪) در بیشتر موارد برای انجام امور اجرایی قابل پیشنهاد است (West., 2015; Southwood, )

جدول ۳- نتایج محاسبات آماری درصد صحت جهت برآورد تاج پوشش

Table 3. Statistical analysis accuracy % for crown canopy

تاج پوشش Crown canopy m <sup>2</sup> /ha	صحت % accuracy	روش‌های مورد مطالعه methods
2887	0.22	خط نمونه ۶ شاخه دو درختی (6b2t)
2967	0.20	خط نمونه ۶ شاخه یک درختی (6b1t)

3225	0.13	خط نمونه ۴ شاخه دو درختی (4b2t)
3815	0.03	خط نمونه ۴ شاخه یک درختی (4b1t)
4122	0.11	خط نمونه ۲ شاخه دو درختی (2b2t)
4120	0.11	خط نمونه ۲ شاخه یک درختی (2b1t)

۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری با مقدار واقعی نیستند. نزدیک بودن مقدار میانگین‌های برآورد شده با مقدار واقعی از امتیازات این روش‌ها محسوب می‌شود (جدول ۴). معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین تعداد در هکتار در روش پیشنهادی با میانگین واقعی با مطالعات کرمشاهی (2019)، فلاح و همکاران (2012) عرفانی و همکاران (2013) همخوانی دارد.

معیار دومی که در این بررسی برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته است بکارگیری آزمون (t - test) در مقایسه روش‌ها با داشتن مقدار واقعی میانگین‌های حاصل از آماربرداری ۱۰۰٪ است که نشان می‌دهد همه خط نمونه‌های شاخه‌ای از نظر میانگین تعداد در هکتار با احتمال

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین آماربرداری ۱۰۰٪ و خط نمونه شاخه‌ای (تراکم)

Table 4. The results of the average comparison 100% inventory and branch transect sampling (Density)

روش مطالعه Methods	اختلاف فاصله اطمینان ۹۵٪ %95 Confidence interval of the difference) Lower upper	اختلاف با میانگین Mean difference	ضریب معنی‌داری sig. (2-tailed)	آماره t
6b2t	-18.89 26.35	3.374	.744	.325
6b1t	-46.53 11.70	-17.414	.238	-1.189
4b2t	-40.56 -2.20	-20.383	.048	-2.007
4b1t	-34.24 6.88	-13.68	.189	-1.322
2b2t	-11.31 43.71	16.201	.246	1.17
2b1t	-53.78 5.44	-24.169	.108	-1.622

قطر با تاج گسترده، بعضاً با قطر تاج بیش از ۱۰-۱۵ متر (۷۹ تا ۱۷۶ متر مربع تاج‌پوشش در یک شاخه جانبی) است. از طرفی در این روش‌ها یک یا دو درخت مورد بررسی قرار گرفته است که اگر در چند قطعه نمونه بطور تصادفی چند دانه‌زاد قطر قرار بگیرد و یا بدلیل تنک بودن جنگل‌های زاگرس چند قطعه نمونه با موجودی صفر بطور تصادفی بین قطعات نمونه قرار داشته باشد واریانس نمونه‌ها را به شدت تحت تاثیر می‌گذارد که باید با برداشت تعداد قطعات نمونه بیشتر و یا تعداد درخت مورد اندازه‌گیری بیشتر در هر شاخه جانبی در مطالعات بعدی این نقیصه را تا حد ممکن برطرف نمود. فلاح و همکاران (2012) در جهت دستیابی به روش مناسب نمونه‌برداری ضمن آماربرداری صد در صد یک توده جنگلی به مساحت صد هکتار در جنگل‌های بلوط یاسوج، چند روش نمونه‌برداری (روش آماربرداری منظم تصادفی با قطعات نمونه مستطیلی، خط نمونه، نواری و نمونه‌برداری با مونه‌بندی) را ارزیابی و دریافتند، حدود اعتماد محاسبه شده برای مشخصه سطح تاج‌پوشش در هکتار، میانگین واقعی جامعه را دربرمی‌گیرد، که با اکثر روش‌های مطالعه موجود مغایرت دارند (جدول ۵).

نتایج آماربرداری برای برآورد سطح تاج‌پوشش در هکتار نشان داد روش خط نمونه ۴ شاخه یک درختی (4b1t) و روش خط نمونه ۲ شاخه دو درختی (2b2t) دارای اختلاف معنی‌داری با میانگین واقعی نیستند که با مطالعات کرمشاهی (2019) و حیدری (2011) همخوانی دارد. در چهار روش، شش شاخه‌ای دو درختی (6b2t)، شش شاخه‌ای یک درختی (6b1t)، چهار شاخه‌ای دو درختی (4b2t) و دو شاخه‌ای یک درختی (2b1t) اختلاف میانگین برآورد شده با میانگین واقعی حاصل از آماربرداری صد در صد معنی‌دار است که با اکثر مطالعات انجام شده متفاوت است. کرمشاهی و همکاران (2017) سه روش فاصله‌ای (ترکیبی، زوج مشترک و مربع مرکزی) را جهت برآورد تعداد در هکتار و مساحت تاج‌پوشش در جنگل‌های ایلام هم از نظر درصد خطای آماربرداری و هم زمان برداشت قطعات نمونه مورد مطالعه قرار دادند هر سه روش از نظر برآورد تاج‌پوشش با میانگین واقعی در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری نداشتند که با تحقیق موجود همخوانی ندارد. بنظر می‌رسد علت این اختلاف ناهمگن بودن توده جنگلی است که ساختار شاخه و دانه زاد با درختان شاخه‌زاد جوان و درختان دانه‌زاد کهن‌سال و

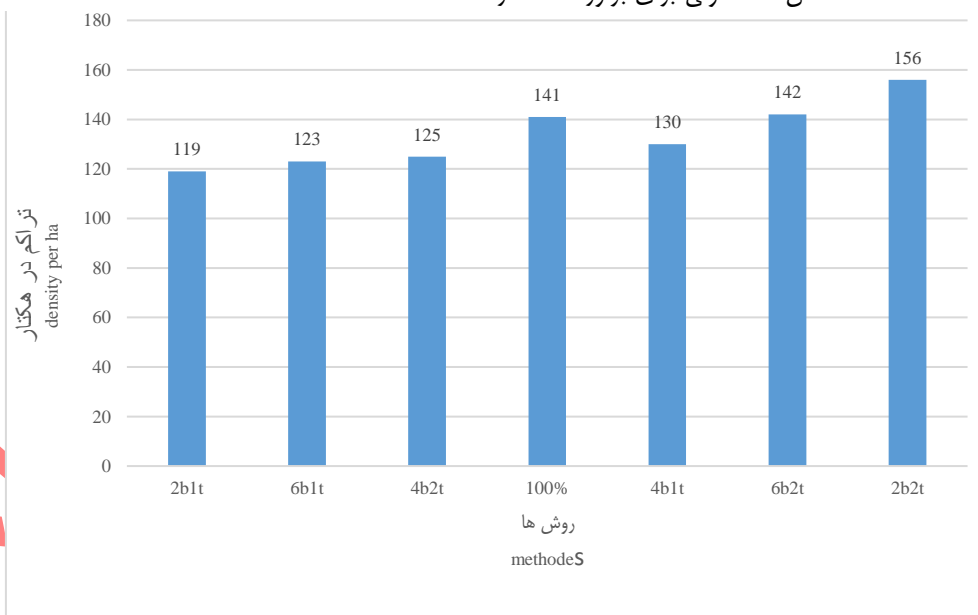
جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین آماربرداری ۱۰۰٪ و خط نمونه شاخه‌ای (تاج پوشش).

Table 5. The results of the average comparison 100% inventory and branch transect sampling (Canopy)

آماره t	ضریب معنی داری sig. (2-tailed)	اختلاف با میانگین Mean difference	اختلاف فاصله اطمینان ۹۵٪ %95 Confidence interval of the difference		روش مطالعه Methods
			Lower	upper	
4.58	.000	-777.92	-1120.17	-435.78	6b2t
-2.37	.008	-703	-1214	-191.78	6b1t
-2.58	.011	-531.52	-935.5	-128.5	4b2t
.209	.835	55.31	-469.5	580.13	4b1t
1.47	.145	464.16	-163.5	1090.81	2b2t
-2.82	.006	-884.47	-1506	-262	2b1t

هکتار چون در هر شاخه جانبی یک یا حداکثر دو درخت مورد بررسی قرار می‌گیرد و قطور بودن یا نبودن سطح تاج درخت بر خلاف برآورد تاج پوشش تاثیری بر تعداد درخت در شاخه جانبی ندارد (در هر حال چه درخت دانه‌زاد قطور و با تاج گسترده باشد یا شاخه‌زاد با تاج کوچک یک درخت محسوب می‌شود) باعث شده نتایج برآورد تعداد در هکتار در همه روش‌های مورد مطالعه به میانگین واقعی حاصل از آماربرداری صد درصد نزدیکتر باشد.

نتایج تجزیه واریانس (one-way ANOVA) روش‌های مختلف خط نمونه‌های شاخه‌ای و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در برآورد تعداد در هکتار درختان برای هر شش روش مورد مطالعه نشان داد بین میانگین هیچکدام از روش‌ها اختلاف معنی داری در سطح ۹۵٪ وجود ندارد (شکل ۳). که نتایج نشان می‌دهد همه روش‌ها از نظر برآورد تعداد در هکتار تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. بنظر می‌رسد گرچه جنگل مورد مطالعه کاملاً نا همگن هست ولی برای برآورد تعداد در



شکل ۳- میانگین تراکم درختان در هکتار در منطقه مورد مطالعه  
Figure 3. The average density of trees per ha in the study area.

T Test با یکدیگر مقایسه شدند. همانطور که ملاحظه می‌شود اکثر روش‌ها برای احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی داری نیستند (6b1t- 4b2t, 6b1t-2b1t, 4b2t- 2b1t, 4b1t- 6b2t, 6b2t-2b1t, 6b2t- 4b2t, 2b2t, 4b2t-4b1t, 6b1t, 6b1t). میانگین برآورد شده مساحت تاج پوشش، تعدادی از روش‌ها نیز با سطح خطای ۵ درصد دارای اختلاف معنی داری هستند (جدول ۷).

بر خلاف نتایج حاصل از برآورد تعداد درختان در هکتار، تجزیه واریانس یکطرفه روش‌ها و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن (جدول ۶) در برآورد تاج پوشش در هکتار درختان برای هر شش روش مورد مطالعه نشان داد اختلاف بین روش‌ها در سطح ۹۵٪ معنی داری است (شکل ۴). جهت بررسی معنی داری اختلاف بین خط نمونه‌های با شاخه جانبی برای برآورد تاج- پوشش در هکتار بصورت مستقل (independent- samples)

جدول ۶- مقایسه میانگین تاج پوشش به روش دانکن  
Table 3. Mean comparison of the canopy by Duncan method

روش method	1	2	3
2b1t	2863.40		90
6b2t	2926.07		90

		2967.03		90	6b1t
	3225.49	3225.49		90	4b2t
3815.14	3815.14			90	4b1t
4121.85				90	2b2t
.407	.111	.380			Sig.

جدول ۷- مقایسه روشها با یکدیگر برای تاج پوشش در هکتار  
Table 7. Comparison of methods with each other (trees canopy per ha)

روش مطالعه methods	ns *	اختلاف با میانگین Mean difference	ضریب معنی داری sig.	آماره t
6b2t-6b1t	ns	-40.95	.896	1.31
6b2t- 4b2t	ns	-299	.271	-1.1
6b2t- 4b1t	*	-889	.006	-2.8
6b2t- 2b2t	*	1195	.001	-3.23
6b2t- 2b1t	ns	62.68	.861	.176
6b1t-4b2t	ns	-258	.44	.774
6b1t-4b1t	*	848	.024	-2.28
6b1t-2b2t	*	1154	.005	-2.82
6b1t-2b1t	ns	104	.799	.225
4b2t-4b1t	ns	-589	.084	-1.73
4b2t-2b2t	*	-896	.019	2.37
4b2t-2b1t	ns	362	.338	.962
4b1t-2b2t	ns	-307	.459	.742
4b2t-2b1t	*	951	.022	2.32
2b2t-2b1t	*	1258	.005	2.83

\* و ns: به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و عدم معنی داری.  
\* And ns: respectively, significant difference at the probability level of 0.05 and non-significance



شکل ۴- میانگین تاج پوشش درختان در هکتار در منطقه مورد مطالعه  
Figure 4. The average canopy of trees per ha in the study area.

قبولی دست یافت. بویژه در جنگل‌های زاگرس که موضوع بهره‌برداری چوب و تعیین حجم منتفی است و دقت خیلی زیادی مورد نظر نمی‌باشد، روش خط نمونه شاخه‌ای روش مناسبی برای برآورد تعداد در هکتار و مساحت تاج پوشش می‌باشد. پیشنهاد می‌شود این روش با تعداد شاخه فرعی و تعداد درختان متفاوت، و در مناطق مختلف حتی جنگل‌های متراکم و نرمال (جنگل‌های غیر از زاگرس) و از نظر هزینه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان بطور قطعی و دقیق تر در مورد کارایی آن اظهار نظر کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج و تجزیه تحلیل‌های آماری صورت گرفته در مورد روش‌های نمونه‌برداری مورد مطالعه و معیارهایی که جهت ارزیابی این روش‌ها با مقدار واقعی آماربرداری صد- درصد بکار گرفته شده نشان می‌دهد اکثر این روش‌ها جهت برآورد موجودی جنگل‌های غرب می‌توانند کارایی داشته باشند. در مجموع بر اساس نتایج این تحقیق، روش خط نمونه شاخه- ای (۲، ۴، و ۶ شاخه) با داشتن صحت و دقت لازم، جهت تحقیقات و پژوهش‌های علمی مطلوب ارزیابی شد. به نظر می‌رسد با تعداد کمی نقطه‌نمونه (خطوط خط نمونه ۲۰ متری) در جنگل‌هایی که خیلی ناهمگن نیستند می‌توان به نتایج قابل

منابع



- Abedi, R. and Ostad Hashemi, R. (2021). Estimation of Density using Plotless Density Estimator Criteria in Arasbaran Forest. *Ecology of Iranian Forests*, 8(16):39-47. DOI:10.52547/ifej.8.1639 (In Persian).
- Abedi, R. (2023). Quantifying the Competition Concerning Trees Quantitative Characteristics of Natural Stands in Arasbaran Forest. *Iranian Journal of Applied ecology*, 1(12).
- Buckland, S.T., Borchers, D.L., Johnston, A., Henrys, P.A. and Marques, T.A. (2007). Line transect methods for plant surveys. *Journal of the international Biometrics society*, 63(4): 989-998.
- Erfanifard, S.Y. (2013). Efficiency of LTS and LIS methods for density estimation of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf). Trees in Zagros woodlands, Iran. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(2):33-40. (In Persian).
- Fallah, A., Zobeiri, M., Sisakht, A.R. and Naghavi, H. (2012). Investigation on Four Sampling Methods for Canopy Cover Estimation in Zagros Oak Forests (Case study: Mehrian Forests of Yasuj City). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2): 194 -203 (In Persian).
- Gilabert, H., & McDill, ME. (2010). Optimizing inventory and yield data collection for forest management planning. *Forest Science*, 56: 578–591.
- Gregoire, T. G., and Valentine, H. (2008). Sampling strategies for natural resources and the environment. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Sobhani, H. (2007). Application of T-square sampling method in Zagros forests (Case Study: Kermanshah province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1). (In Persian).
- Heidari, R.H., M. Zobeiri, M. Namiranian, H. Sobhani and A. Safari. 2011. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*, 2(4): 323 -330 (In Persian).
- Hui, Z., Cai, Z., Xu, P., Xia, Y. and Cheng, P. (2023). Tree Species Classification Using Optimized Features Derived from Light Detection and Ranging Point Clouds Based on Fractal Geometry and Quantitative Structure Model. *Forests*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/f14061265>.
- Karamshahi, A., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Fegghi, J. (2012). Investigation on application of k-NN (k-Nearest Neighbor) sampling method in Zagros forests (Case study: Karzan forest, Ilam). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 453-465 (In Persian).
- Karamshahi A, Alihoseini Z, Mirzaei J & Jafarzadeh, A. (2017). Interval sampling methods in Zagros forests using GIS. *Journal of Forestry Research*, 28(6):1261–1266. DOI 10.1007/s11676-03900-y.
- Karamshahi A. (2019). A New Sampling Method in the Zagros Forests Using GIS (Case Study: Ilam Forests of Iran). *Journal of Forestry Research*, 30(6). DOI 10.1007/s11676-018-0781-8.
- Keller, G. (2015). Statistics for Management and Economics, Abbreviated. Cengage Learning.
- Knapp, N., Fischer, R., Cazcarra-Bes, V. and Huth, A. (2020). Structure metrics to generalize biomass estimation from lidar across forest types from different continents. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111597.
- Levin, R. I. (2011). Statistics for management. Pearson Education India.
- Magnussen, S., Kleinn, C. and Picard, N. (2008). Two new density estimators for distance sampling. *European Journal Forest Research*, 213–224.
- Magnussen, S. (2012). A new composite k-tree estimator of stem density. *European Journal of Forest Research*, 131(5):1513-1527. DOI: 10.1007/s10342-012-0619-4
- Mandallaz, D. (2008). Sampling techniques for forest inventories. Chapman and Hall/CRC, Boca raton.
- Melville, G., Christine, S. and Russell, T. (2015). Application of LiDAR data to maximise the efficiency of inventory plots in softwood plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 45(9):1-16.
- Nikolas, v. L. and Joachim, S. (2014). Combining double sampling for stratification and cluster sampling to a three-level sampling design for continuous forest inventories. *European Journal Forest Research*, 133(1): 89–100. DOI 10.1007/s10342-013-0743-9.
- Pfeifer, N., Gorte, B., Winterhalder, D. (2004). Automatic Reconstruction of Single Trees from Terrestrial Laser Scanner Data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, 35(1):114–119.
- Sarndal, C. E., Swensson, B. & Wretman, J. (2003). Model assisted survey sampling. *Springer*, Berlin. 695 pp.
- Southwood, T.R.E., and Henderson, P.A. (2000). Ecological Methods. Blackwell science, 575 pp. <http://www.blackwell-science.com/Southwood>.
- West, P.W. (2015). Tree and forest measurement, 3rd edn. *Springer*, Basel.
- Xi, Z., Hopkinson, C., Rood, S.B., Peddle, D.R. (2020). See the forest and the trees: Effective machine and deep learning algorithms for wood filtering and tree species classification from terrestrial laser scanning. *ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.001>.
- Zobeiri, M. (2007). Forest Biometry, University of Tehran Press, 405pp. (In Persian).

## "Research Paper"

### Efficiency of Transects Branch-Sampling Line Method to Estimate Canopy and Number of Trees Per Hectare in Zagros Forests (Case Study: Karazan Forest of Ilam)

Abdolali Karamshahi - Associate Professor of Ilam University - Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. (Corresponding author: a.karamshahi@ilam.ac.ir)

#### Extended Abstract:

**Introduction and Objective:** The number of trees per hectare (density) in a forest stand represents the existing situation, and its monitoring is very important in order to know the changes in forest stands. The use of distance sampling methods, especially in open forests, is growing in recent years due to the reduction of inventory costs and having the optimal accuracy. The main aim of the research is to evaluate the efficiency of a proposed distance method (branched sampling line) with easy implementation and good accuracy, in the 100x100 meter network and in the GIS environment.

**Materials and methods:** The studied area is located in the southwestern part of Manshet and Qalarang protected area in Ilam County. First 100% inventory was applied in 90-hectare area of studied forest, then 10 and 20-meter sampling lines with branches of up to a maximum of 20 meters were used (90 sampling points). In this research, for the first time, the sampling method of sample line with 2, 4 and 6 m lateral branches used. To evaluate the methods, they compared with 100% inventory based on accuracy rate and t-test.

**Results:** According to the 100% inventory, the number of 141 trees per hectare obtained. The 6-branched two-tree sample line with 141 trees per hectare and the four-branched one-tree sample line method with a canopy of 3815 m<sup>2</sup> per hectare showed the best results compared to the real mean. The analysis showed that most of the sampling methods used (branched sampling line with six different patterns 6b2t- 6b1t- 2b1t- 2b2t- 4b2t-4b1t) have acceptable results for the evaluation of open forests, but branched sampling line method in most networks have a lower statistical error and in terms of the mean number of trees per hectare, they are closer to the real value.

**Conclusion:** Totally, the branched sampling line has an accuracy percentage within 10% to estimate the number of trees per hectare in most networks. In terms of the mean number of trees per hectare, this method had no significant difference with the actual value with a probability of 95% and was more accurate than other distance methods considered in this research. Considering the low percentage of sampling error, acceptable accuracy and easy implementation in the nature, the branched sampling line evaluated as a suitable method than other approaches.

**Keywords:** forest density, Zagros, canopy, distance methods, branched sampling line.