



## Research Paper

**The Effect of the Forest Stratification Method and its Combined Effect with the PRODAN Six-Tree Sampling Method**Ali Alizadeh<sup>1</sup>  and Amir Eslam Bonyad<sup>2</sup>

1-Ph.D. in forest management, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran,  
(Corresponding author: alializadeh1359@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeih Sara, Iran

Received: 26 June, 2024

Revised: 29 August, 2024

Accepted: 14 October, 2024

**Extended Abstract**

**Background:** Renewable natural resources, such as forests, have played an important role in human life since the past. The principled and sustainable use of forests requires technical planning. Fundamental and technical planning requires data collection and analysis and obtaining useful quantitative and qualitative information. A data collection method in forest populations is 100% statistics, which is rarely implemented in large forest areas due to technical and economic reasons, and it is used in most cases to compare different sampling methods. Sampling methods with a fixed area are mostly used in the preparation of plans and studies of northern forests. Today, different forest sampling methods have been designed and presented, each of which has its own advantages and merits. The use of these methods requires examining and determining the most suitable ones in terms of ease of implementation, time, and accuracy. On the other hand, the industrial forests in the north of Iran have currently become heterogeneous stands due to exploitation in the past. For this type of forest, using the stratification method combined with sampling methods will be useful and effective. To plan to increase efficiency, speed of operation, and reduce costs, it is necessary to examine and use different sampling methods with fixed and variable areas, including multi-tree sampling. This study is aimed at the effect of forest classification and its combined effect with the fixed area sampling method and the PRODAN six tree variable area sampling method and comparing the accuracy of estimators.

**Methods:** This study was conducted in the Safaroud forests with an area of 176 hectares in Mazandaran Province. The selected areas were measured and recorded using the statistical method of 100% of all the trees in the area (counting limit, a diameter at the breast of more than 7.5 cm). To avoid mistakes and make it easier to perform 100% statistics, the studied area was divided into square pieces with dimensions of 50 × 50 m, and 704 plots were placed in the field. Then, the trees in each of these parts were measured separately. Prodan's six-tree method was carried out in two stages. The first stage was measured in an unclassified area of 176 hectares with a grid size of 100 × 100 m. The second stage of the investigated forest area using the "Neyman" stratification method into three strata in terms of volume inventory, including less than 200 m<sup>3</sup>, 200-250 m<sup>3</sup>, and more than 250 m<sup>3</sup> per hectare based on Prodan's six-tree method, was performed using new grid dimensions for each stratum. In this study, the effect of segmentation on accuracy and time was investigated using the criterion ( $E\%^2 \times T$ ). For this purpose, the time required to unload the sample plots for the necessary measurements inside the sample plot and the time required to travel the distance between the adjacent sample plots were also calculated and recorded using a stopwatch.

**Results:** The results of the comparison of the statistical test between the average of the variables calculated with the 100% statistical method (true mean) and six-tree sampling (Prodan) in the first stage without stratification and in the second stage with the implementation of the "Neyman" stratification method showed a significant difference at the level of 0.05%. The results of this study in terms of accuracy and the cost index ( $E\%^2 \times T$ ) show that the error and statistical error of the measurement characteristics in the standing forest with the six-tree sampling method with stratification was lower than the sampling method without grafting. This amount was calculated for the number of trees per hectare as 8811.81 and 5677.52, respectively. The estimated average of the examined characteristics was 35.56% closer to the real average and the error rate was less than the statistical standard with the forest stratification and Prodan's six-tree sampling implementation. The percentage of error reduction in sampling after seeding was calculated at



4.42% for number per hectare, 11.91% for breast cross-sectional area, and 18.48% for volume per hectare.

**Conclusion:** From the results of this study, it can be concluded that it is possible to estimate the characteristics of the number, basal area, and volume per hectare of forests based on the classification and implementation of six-tree sampling methods (Prodan), with a relatively variable area. It is more accurate for planning heterogeneous forests in the north of the country.

**Keywords:** Neyman stratification, Prodan's method, Ramsar, Safaroud, Forest

**How to Cite This Article:** Alizadeh, A., & Bonyad, A. E. (2025). The Effect of the Forest Stratification Method and its Combined Effect with the PRODAN Six-Tree Sampling Method. *Ecol Iran For*, 13(1), 108-119. DOI: 10.61186/ifej.2024.538



## مقاله پژوهشی

## تأثیر روش طبقه‌بندی جنگل و اثر توأم آن با روش نمونه‌گیری شش درختی PRODAN

علی علیزاده<sup>۱</sup> و امیراسلام بنیاد<sup>۲</sup>

۱- دکتری مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران، (نویسنده مسوول: alializadeh1359@yahoo.com)

۲- استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

صفحه ۱۰۸ تا ۱۱۹

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** منابع طبیعی تجدید شونده مانند جنگل‌ها از گذشته نقش مهمی در زندگی بشر بازی کرده‌اند. استفاده اصولی و پایدار از جنگل‌ها نیاز به برنامه‌ریزی فنی دارد. برنامه‌ریزی اصولی و فنی نیازمند جمع‌آوری داده‌ها و آنالیز و به‌دست آوردن اطلاعات کمی و کیفی مفید است. یکی از روش‌های جمع‌آوری داده‌ها در جمعیت‌های جنگل، آماربرداری صددرصد است که این روش در عرصه‌های وسیع جنگلی به‌دلایل فنی و اقتصادی کمتر اجرا می‌گردد و در بیشتر مواقع برای مقایسه روش‌های مختلف نمونه برداری به‌کار می‌رود. در تهیه طرح‌ها و تحقیقات جنگل‌های شمال بیشتر از روش‌های نمونه برداری با مساحت ثابت استفاده می‌شود. امروزه، روش‌های مختلف نمونه‌برداری جنگل طراحی و ارائه گردیده است که هر یک مزایا و محاسن خود را دارد. استفاده از این روش‌ها نیاز به بررسی و تعیین مناسبترین آن‌ها از نظر آسانی اجرا، زمان و دقت است. از طرفی، امروزه جنگل‌های صنعتی شمال کشور به‌دلایل بهره‌برداری در گذشته بیشتر به صورت توده‌های ناهمگن درآمده‌اند. برای این نوع جنگل‌ها، استفاده از روش طبقه‌بندی توأم با روش‌های نمونه‌برداری مفید و مؤثر خواهد بود. برای برنامه‌ریزی به‌منظور افزایش کارایی، سرعت عمل و کاهش هزینه‌ها، نیاز به بررسی و استفاده از روش‌های مختلف نمونه‌برداری با مساحت ثابت و متغیر از جمله چنددرختی است. این مطالعه به منظور تأثیر طبقه‌بندی جنگل و اثر توأم آن با روش نمونه‌گیری با مساحت ثابت و روش نمونه‌برداری با مساحت متغیر شش درختی PRODAN و مقایسه دقت برآوردکننده‌ها انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه در جنگل‌های صفارود مازندران به مساحت ۱۷۶ هکتار انجام گردید. عرصه‌های انتخاب‌شده با استفاده از روش آماربرداری صددرصد تمام درختان عرصه (حد شمارش، قطر برابر سینه بیش از هفت و نیم سانتی‌متر) اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای جلوگیری از اشتباهات و اجرای آسان‌تر آماربرداری صد در صد، منطقه مورد مطالعه به قطعات مربعی شکل به ابعاد ۵۰×۵۰ متر تبدیل و تعداد ۷۰۴ قطعه در عرصه پیاده شد. سپس درختان موجود در هر کدام از این قطعات جداگانه اندازه‌گیری گردید. روش شش‌درختی PRODAN در دو مرحله صورت گرفت. مرحله اول در عرصه به مساحت ۱۷۶ هکتار بدون طبقه‌بندی با ابعاد شبکه ۱۰۰×۱۰۰ متر اندازه‌گیری گردید. مرحله دوم عرصه جنگل مورد بررسی با استفاده از روش طبقه‌بندی «نیم» به سه نمونه از نظر موجودی حجمی شامل کمتر از ۲۰۰ متر مکعب، بین ۲۰۰-۲۵۰ متر مکعب و بیشتر از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار نمونه‌بندی و بر اساس روش شش‌درختی PRODAN با استفاده از ابعاد شبکه جدید برای هر نمونه صورت گرفت. در این مطالعه، اثر نمونه‌بندی بر دقت و زمان با استفاده از معیار  $(E\% \times T)$  مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، زمان لازم برای پیاده کردن قطعات نمونه برای اندازه‌گیری‌های لازم در داخل قطعه نمونه و زمان لازم برای پیمودن فاصله بین قطعات نمونه مجاور نیز با استفاده از کورنومتر محاسبه و یادداشت شد.

**یافته‌ها:** نتایج مقایسه آزمون آماری بین میانگین متغیرهای محاسبه شده با روش‌های آماربرداری صددرصد (میانگین واقعی) و نمونه‌برداری شش‌درختی (PRODAN) در مرحله اول بدون طبقه‌بندی و در مرحله دوم با اجرای روش طبقه‌بندی «نیم» اختلاف معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان دادند. نتایج این بررسی از نظر شاخص دقت و هزینه  $(E\% \times T)$  نشان می‌دهند که اشتباه و خطای آماری مشخصه‌های اندازه‌گیری در جنگل سرپا با روش نمونه‌برداری شش‌درختی همراه با نمونه‌بندی نسبت به روش نمونه‌برداری بدون نمونه‌بندی کمتر است. این میزان برای مشخصه تعداد اصله درخت در هکتار به ترتیب ۸۱/۱/۸۱ و ۵۶۷۷/۵۲ محاسبه شد که با نمونه‌بندی جنگل و اجرای نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان، میانگین‌های برآوردشده مشخصه‌های مورد بررسی ۳۵/۵۶ درصد به میانگین واقعی نزدیک‌تر هستند و میزان اشتباه از معیار آماری کمتر شده است. مقادیر درصد کاهش اشتباه نمونه‌برداری پس از نمونه‌بندی برای مشخصه تعداد در هکتار به مقدار ۴/۴۲ درصد، برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه ۱۱/۹۱ درصد و برای مشخصه حجم در هکتار به مقدار ۱۸/۴۸ درصد محاسبه شدند. **نتیجه‌گیری:** از نتایج این بررسی نتیجه‌گیری می‌شود که امکان برآورد مشخصه‌های تعداد، سطح مقطع و حجم در هکتار جنگل براساس طبقه‌بندی و اجرای روش‌های نمونه‌برداری شش‌درختی (PRODAN) با مساحت متغیر به‌طور نسبی دقیق‌تر برای برنامه‌ریزی جنگل‌های ناهمگن شمال کشور وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: جنگل صفارود، رامسر، روش پرودان، طبقه‌بندی نیم

## مقدمه

ضرورت برنامه‌ریزی موقف در مدیریت جنگل‌داری علاوه بر صرف بودجه، مستلزم شناخت وضعیت موجود و توان منطقه مورد برنامه‌ریزی از لحاظ نوع نیازمندی و توانایی‌های بالقوه است (Almeida et al., 2020). اکوسیستم‌های جنگلی جزء مهمی از اکوسیستم‌های زمینی هستند که نقش مهم و حیاتی در حفظ تعادل جهانی دارند. برای ارزیابی کمی و کیفی جنگل و توزیع فضایی مستمر آن به یک فهرست به موقع و قابل اعتماد جنگل نیاز است (Liu et al., 2023). بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی تجدیدشونده نیاز به برنامه‌ریزی فنی دارد. بخشی از اطلاعات مورد نیاز در مدیریت جنگل با نمونه‌برداری از ویژگی‌های کمی و کیفی درختان حاصل می‌شود (Heidari et al., 2016). اصولاً برای رسیدن به اطلاعات درست و بدون

خطا از آماربرداری صددرصد استفاده می‌شود (Zobeiri, 2007). در روش آماربرداری صددرصد، تمام درختان عرصه جنگل مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند و یکی از اهداف اصلی آن مقایسه دقت برآوردکننده‌ها در روش‌های مختلف نمونه‌برداری‌ها در جنگل است (Bonyad, 2014)، اما چون همیشه اجرای روش آماربرداری به دلیل کمبود نیروی انسانی، بودجه و امکانات فنی، زمان کافی در عرصه‌های وسیع جنگلی معمولاً امکان‌پذیر نیست، عموماً از روش‌های نمونه‌برداری استفاده می‌شود (Zobeiri, 2002). تعداد زیادی از تکنیک‌های نمونه‌برداری برای تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی جنگل موجود است. تکنیک‌های مختلف نمونه‌برداری از نظر اجرا، تجهیزات فنی مورد نیاز و زمان لازم و تجزیه و تحلیل آماری متفاوت هستند. کسب اطلاعات کافی با حداقل تلاش و زمان

بدون افزایش حجم نمونه کاهش دهد (Yu et al., 2023). مطالعه‌ای که توسط (Salarvand et al., 2016) در مورد تأثیر نمونه‌بندی جنگل بر دقت مشخصه‌های کمی درختان با روش نمونه‌برداری چنددرختی در جنگل‌های غرب ایران انجام شد نشان داد که با اجرای نمونه‌بندی در روش نمونه‌برداری چنددرختی، میانگین برآورد مشخصه‌های سطح مقطع برابر سینه و تعداد در هکتار به میانگین واقعی نزدیک‌تر بود. در مطالعه‌ای که توسط (Akhavan et al., 2001) برای مقایسه نمونه‌برداری منظم تصادفی و نمونه‌بندی انجام شد، بیان گردید که نمونه‌برداری با نمونه‌بندی از نمونه‌برداری منظم تصادفی دقیق‌تر بود (Thiry et al., 1969). در یک توده جنگلی، تعداد ۱۰۰ قطعه نمونه شش‌درختی را اندازه‌گیری کردند و در نتایج خود نشان دادند که سطح مقطع برابر سینه به میزان ۱/۲۹ متر مربع (۶/۴۵ درصد) و تعداد درختان در هکتار به تعداد ۲۹ اصله (۳/۶ درصد) کمتر از آماربرداری صد درصد برآورد گردید. (Soltani et al., 2007) با استفاده از سه فرضیه به به‌سازی روش شش‌درختی پرودان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از عامل تصحیح اریب و فرضیه فاصله بین نقطه نمونه تا تمام قطر درخت  $n$  به‌اضافه نصف قطر درخت  $n+1$  برای برآورد تعداد در هکتار مناسب بود. در شبیه‌سازی، روش نمونه‌برداری چنددرختی صورت گرفت و آن را با برآوردهای حاصل از قطعات نمونه با شعاع ثابت ۱۰ متر مقایسه نمودند (Jonsson et al., 1992). در تحقیقی که بر روی متغیرهای دندرومتری با استفاده از روش پرودان انجام شد، عنوان شد که متغیرهای دندرومتری به‌طور معکوس متناسب با فاصله بود و با افزایش فاصله برآوردها کاهش یافت (Alba da Silva et al., 2020). همچنین نتایج تحقیقی دیگر (Navroodi et al., 2019) نشان داد که اجرای روش‌های نمونه‌برداری همراه با نمونه‌بندی برای برآورد مشخصه‌های مورد مطالعه موجب کاهش خطای آماربرداری و افزایش زمان آماربرداری شد. تاکنون، مطالعات زیادی بر روی روش‌های نمونه‌برداری از لحاظ دقت و هزینه در جنگل‌های زاگرس صورت گرفته‌است (Fallah et al., 2012). بررسی مشخصه سطح تاج‌پوشش در جنگل‌های بلوط با استفاده از چهار روش نمونه‌برداری منظم تصادفی، خط نمونه، نواری و نمونه‌برداری با نمونه‌بندی (استراتیفیکاسیون) نشان داد که روش خط نمونه بیشترین میزان صحت و دقت را دارا بود. اصول نمونه‌برداری به‌روش طبقه‌بندی را نیمان در سال ۱۹۳۴ ارائه کرد. با توسعه علم آمار و ارتباط همه شاخه‌های علم آمار با نمونه‌برداری، شاخه نمونه‌برداری برای برآورد مشخصه‌های تحت مطالعه و بررسی ویژگی‌های این برآوردها به‌سرعت گسترش یافت (Neyman, 1934). لیو همکاران (Liu et al., 2023) (۲۰۲۳) رویکردهای مختلف نمونه‌گیری لیدار را مقایسه و یک طرح جمع‌آوری نمونه مؤثر لیدار را برای تخمین موجودی بررسی نمود. نتایج آنها نشان دادند که روش نمونه‌گیری مبتنی بر طبقه‌بندی از نمونه‌گیری سیستماتیک بهتر عمل کرد. برای کسب اطلاعات کمی و کیفی جنگل، روشی مناسب است که با کمترین هزینه به دقت مورد نظر دست یافت و یا با هزینه تعیین شده برای این منظور بتوان حداکثر دقت را برای مشخصه‌های مورد نظر

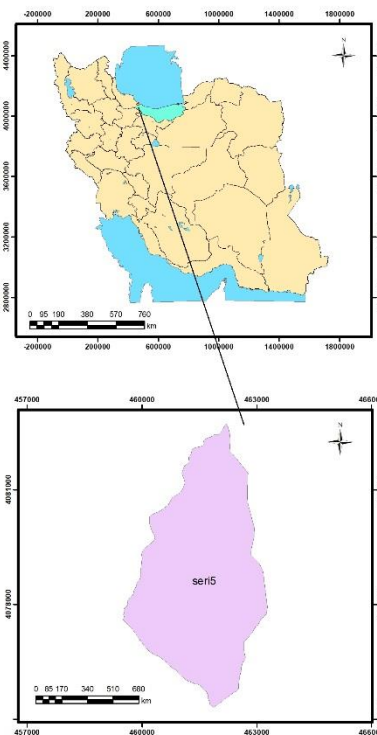
یک نگرانی عمده در هنگام نمونه‌برداری از پوشش‌های گیاهی است (Sparks et al., 2002). در نمونه‌برداری، درصدی از جنگل مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج آن برای کل جمعیت لحاظ می‌شود (Bonyad, 2014). نمونه‌برداری به دلیل اینکه به اندازه‌گیر امکان استفاده در سطوح وسیع، اندازه‌گیری تعداد مشخصه‌های بیشتر با دقت بیشتر و کنترل آماربرداری توأم با هزینه کمتر را می‌دهد در بسیاری از موارد نسبت به آماربرداری صددرصد ارجح است (Namiranian, 2006). نمونه‌برداری را می‌توان با قطعات نمونه با مساحت ثابت یا متغیر انجام داد. در نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت ثابت، سطح تمام قطعات نمونه برابر است و در نقاط مختلف جنگل با خصوصیات متفاوت تغییر نخواهد کرد. در مقابل، در نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت متغیر، سطح تمام قطعات نمونه در نقاط مختلف جنگل بر اساس تراکم درخت تفاوت خواهد داشت. نتیجه هر فرایند نمونه‌برداری همیشه یک مقدار متوسط برای یک پارامتر معین مثلاً سطح مقطع برابر سینه بر حسب متر مربع در هکتار و یا تعداد درختان در هکتار با تغییرات مربوطه (انحراف معیار) است که می‌تواند به منطقه جنگلی نمونه‌برداری شده ارتقاء یابد (leiter et al., 2023). یکی از روش‌های نمونه‌برداری متغیر، روش نمونه‌برداری شش‌درختی است که در آن تعداد درخت در هر قطعه نمونه ثابت است ولی مساحت قطعات نمونه با هم برابر نیست و به تراکم جنگل و الگوی پراکنش مکانی درختان بستگی دارد. این روش اولین بار در آلمان توسط پرودان پیشنهاد شد (Bonyad, 2014). مطالعه‌ای که توسط پرودان (۱۹۶۸)، (Prodan, 1968) در یک توده جنگلی هم‌سال جوان با استفاده از ۱۰ قطعه نمونه انجام شد نشان داد که مشخصه سطح مقطع برابر سینه کمتر از میزان آماربرداری صد درصد برآورد شد. (Foshat et al., 2011) در مطالعه‌ای که در یک قطعه جنگل کاری صنوبر با هدف ارزیابی مشخصه‌های تعداد، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار با استفاده از روش چند درختی انجام شد نشان دادند که میانگین برآوردشده از فرمول پرودان در روش‌های پنج، شش و هفت درختی برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه اختلاف معنی‌دار با آماربرداری صد درصد داشت، ولی برای مشخصه‌های تعداد در هکتار و حجم در هکتار اختلاف معنی‌داری با آماربرداری صد درصد نداشت (Nazariani et al., 2020). در تحقیقی به کارایی روش‌های نمونه‌برداری چند درختی در برآورد مشخصه‌های کمی در جنگل‌های زاگرس پرداختند و بیان کردند که نتایج مقایسه مشخصه‌های تعداد درختان در هکتار و تاج‌پوشش بین روش‌های مختلف چنددرختی تفاوت معنی‌داری با آماربرداری صد درصد نشان نداد. عموماً آماربرداری با قطعات نمونه دارای مساحت ثابت از نظر آماری و عملیاتی برای تخمین تعداد کل درختان در هکتار کارآمدتر هستند در حالی که نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت متغیر برای تخمین حجم توده کارآمدترند (Kevin et al., 2007). در جنگل‌های ناهمگن برای افزایش دقت نمونه‌برداری از روش طبقه‌بندی استفاده می‌شود. با انجام عملیات نمونه‌بندی می‌توان دقت برآورد جامعه را افزایش داد (Bonyad, 2014). تخمین طبقه‌بندی شده یک تکنیک آماری است که می‌تواند واریانس برآوردها را

طبیعی و آب‌خیزداری استان مازندران نوشهر مدیریت می‌شود. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا بین ۳۵۰ تا ۲۳۰۰ متر هستند. محدوده منطقه بین عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه و ۲۷ ثانیه و ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه و ۲۵ ثانیه و طول‌های شرقی ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۶ ثانیه و ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه و ۱۹ ثانیه قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۷۶ هکتار است. بر اساس بررسی انجام شده، جنگل‌های حوضه صفارود از ارتفاع ۴۶۰ متری تا ۱۳۳۰ متری دارای اقلیم مرطوب سرد، محدوده ارتفاعی ۱۹۰۰-۱۳۳۱ متری دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد هستند. میانگین مقدار بارندگی در این ناحیه ۱۰۸۷/۹ میلی‌متر در سال و میانگین دمای سالیانه برابر ۱۱ درجه سانتی‌گراد ثبت شده‌اند. با توجه به مشخص بودن میزان بارندگی ماهیانه و دمای متوسط ماهیانه و ترسیم منحنی بارش‌دمایی، یک دوره خشکی یک‌ماهه مرداد در حوضه وجود دارد (Zobeiri et al., 1998).

به دست آورد. تاکنون در تحقیقات انجام گرفته در ایران به‌خصوص در شمال کشور، تأثیر روش مونه‌بندی جنگل بر روش‌های مختلف نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت متغیر بررسی نشده‌است. بنا بر این، در این تحقیق سعی شد تا تأثیر طبقه‌بندی جنگل و مقایسه دقت برآوردکننده‌ها با نمونه‌برداری با مساحت متغیر به روش پرودان (شش‌درختی) در جنگل‌های شمال ایران مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه بر بررسی امکان اجرای آن در منطقه مورد مطالعه، مشخص گردد آیا نتایج مونه‌بندی تأثیری در افزایش یا کاهش دقت نمونه‌برداری دارد یا خیر تا معنی‌دار بودن یا عدم اختلاف آن مورد آزمون قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه جزو سری پنج طرح جنگل‌داری صفارود در حوضه شماره ۳۰ رامسر قرار دارد که توسط اداره کل منابع



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی  
Figure 1. The geographical location of the study area

قطعه در عرصه پیاده شد. سپس هرکدام از این قطعات جداگانه اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه پارامترهای میانگین واقعی، انحراف معیار، درصد ضریب تغییرات در آماربرداری صد در صد به ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ استفاده شد (Bonyad, 2014). همچنین برای محاسبه مشخصه تعداد در هکتار و حجم در هکتار به ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد (Zobeiri, 2002).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{رابطه (۱)}$$

### روش پژوهش آماربرداری صددرصد

در تحقیق حاضر، به‌منظور تأثیر مونه‌بندی و مقایسه روش نمونه‌برداری، محدوده‌ای به مساحت ۱۷۶ هکتار به‌صورت صددرصد آماربرداری شد و تمام درختان عرصه که از حد شمارش (قطر برابر سینه بیش از ۷.۵ سانتی‌متر) عبور کرده بودند اندازه‌گیری شدند. برای جلوگیری از اشتباهات و اجرای آسان‌تر آماربرداری صددرصد، منطقه جنگلی مشخص شده به قطعات مربعی شکل به ابعاد ۵۰ × ۵۰ متر تبدیل و تعداد ۷۰۴

$$\begin{aligned} \sum vt &= \text{مجموع کل حجم درختان جنگل} \\ \bar{N} &= \text{میانگین تعداد درختان در هکتار} \\ \bar{V} &= \text{میانگین حجم درختان در هکتار} \\ S &= \text{مساحت جنگل} \end{aligned}$$

**روش نمونه‌برداری شش درختی پرودان**

در این روش، اولین قطعه نمونه به صورت تصادفی و با استفاده از یک عارضه مشخص در طبیعت پیاده و مابقی قطعات نمونه نیز به صورت منظم پیاده می‌شوند. پس از یافتن مرکز قطعه نمونه در عرصه، قطر در ارتفاع برابر سینه ششمین درخت نزدیک به مرکز قطعه نمونه اندازه‌گیری و سپس قطر مابقی درختان (اول تا پنجم) با استفاده از خط‌کش دو بازو اندازه‌گیری می‌شود. شعاع قطعه نمونه فاصله مرکز قطعه نمونه تا درخت ششم به اضافه نصف قطر درخت ششم در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲).

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{N}}{N}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

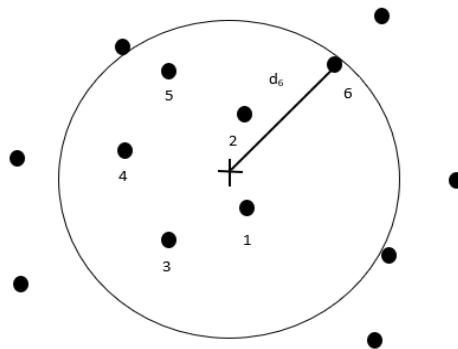
$$CV\% = \frac{\delta_x}{\mu} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\bar{N} = \frac{\sum nt}{S} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\bar{V} = \frac{\sum vt}{S} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$\mu$ : میانگین واقعی جامعه،  $X_i$ : مشخصه یا پارامتر مورد اندازه‌گیری که ممکن است قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع هر درخت در توده جنگلی، سطح مقطع در ارتفاع برابر سینه یا موجودی سرپا در واحد سطح یا در یک سطح مشخص باشد که در مطالعه حاضر منظور قطر در ارتفاع برابر سینه، سطح مقطع در ارتفاع برابر سینه و موجودی سرپا است،  $N$ : تعداد افراد جامعه یا داده‌ها،  $\delta_x$ : انحراف از معیار یا جذر واریانس و  $CV\%$  درصد ضریب تغییرات متغیر مورد اندازه‌گیری.

$$\sum nt = \text{مجموع کل تعداد درختان جنگل}$$



شکل ۲- قطعه نمونه شش درختی  
Figure 2. The six-tree sample plot

حاضر، منطقه جنگلی به سه طبقه از نظر موجودی شامل کمتر از ۲۰۰ متر مکعب، بین ۲۰۰-۲۵۰ متر مکعب و بیشتر از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار اختصاص یافت. در روش نمونه‌برداری با مونه‌بندی، محاسبه تعداد قطعات نمونه لازم برای رسیدن به دقت موردنظر به چهار روش تخصیص مساوی، روش تخصیص متناسب یا تقسیم به نسبت مساحت، روش نیمین با هزینه ثابت و روش ایده‌آل (بهینه) انجام می‌گیرد که در مطالعه حاضر از روش تخصیص نیمین (Neyman allocation method) استفاده شد. در این روش علاوه بر مساحت، همگنی طبقه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. همگنی و ناهمگنی طبقه‌ها با پارامتر واریانس آن‌ها ( $S_h^2$ ) مشخص و هزینه نمونه‌برداری در تمام طبقات ثابت فرض می‌شود. تعداد نمونه کل  $n$ ، تعداد در هر طبقه، میانگین و خطای معیار به ترتیب از رابطه‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌گردند.

$$n = \frac{\sum_{h=1}^L (N_h S_h)^2}{N^2 D^2 + \sum_{h=1}^L N_h S_h^2} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$n_h = \frac{N_h S_h}{\sum_{h=1}^L N_h S_h} \cdot n \quad \text{رابطه (۹)}$$

به‌منظور اجرای این روش با توجه به مساحت جنگل و نقشه منطقه، ابعاد شبکه آماربرداری در نرم‌افزار Arc Gis طراحی می‌شود. بعد از پیاده کردن شبکه آماربرداری و سپس تعیین قطعات نمونه، مرکز قطعات نمونه با استفاده از GPS مشخص گردید.

در سطح ۱۷۶ هکتار، ۱۰۰ قطعه نمونه به روش شش درختی در جنگل پیاده شد. شعاع و مساحت قطعه نمونه به ترتیب از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه گردیدند.

$$R_j = L_{ij} + \frac{1}{2} D_{ij} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$A_j = R_j^2 \times \pi \quad \text{رابطه (۷)}$$

$R_j$  = شعاع قطعه نمونه  $j$  ام به متر

$D_{ij}$  = قطر درخت  $i$  ام به متر

$L_{ij}$  = فاصله درخت  $i$  ام (در شش درختی  $i = 6$ ) تا مرکز قطعه نمونه  $j$  ام به متر

$$1, 2, 3, \dots, n = i$$

$A_j$  = مساحت قطعه نمونه  $j$  ام به متر مربع

در جنگل ناهمگن برای بالابردن دقت نمونه‌برداری، می‌توان جنگل را از نظر موجودی طبقه‌بندی کرد. در مطالعه

روش  $i$  و  $tbi$  میانگین زمان حرکت از یک قطعه نمونه به قطعه نمونه بعدی (مجاور) در روش  $i$  هستند (Alijanpour, 2004). برای تعیین دقت روش نمونه‌برداری نیز از رابطه  $E = t \times S_{\bar{x}}$  استفاده می‌شود که در آن  $E$  دقت نمونه‌برداری،  $t$  ضریبی است که به تعداد نمونه و سطح احتمال معین (در این مطالعه ۹۵ درصد) از جدول  $t$ - student استخراج می‌شود و  $S_{\bar{x}}$  اشتباه معیار است. همچنین، درصد اشتباه آماری از رابطه  $E\% = \frac{E}{\bar{x}} \times 100$  به دست می‌آید که  $E$  دقت نمونه‌برداری و  $\bar{x}$  مشخصه مورد اندازه‌گیری هستند. در این بررسی، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از نرم‌افزارهای Excel 2010 و Spss 16 استفاده شد و به کمک هر کدام از رابطه‌های مربوط به هر روش، مشخصه‌های تعداد در هکتار، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار به دست آمد. همچنین، به منظور بررسی معنی‌داری اختلاف بین روش‌های نمونه‌برداری با روش آماربرداری صددرصد آزمون تی تک‌نمونه‌ای انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج آماربرداری صددرصد نشان دادند که پارامتر میانگین واقعی مشخصه تعداد در هکتار برابر با ۱۷۷/۹۳ اصله، میانگین واقعی مشخصه سطح مقطع برابر سینه ۲۱/۵۴ مترمربع و میانگین واقعی حجم در هکتار به میزان ۲۷۲/۵۵ متر مکعب بودند. سایر پارامترهای واقعی شامل انحراف معیار، و درصد ضریب تغییرات برای متغیرهای مورد اندازه‌گیری نیز در جدول ۱ نشان داده‌اند.

$$\bar{Y}_T = \frac{N_1}{N} \bar{Y}_1 + \frac{N_2}{N} \bar{Y}_2 + \dots + \frac{N_L}{N} \bar{Y}_L \quad (10)$$

$$S^2_{\bar{Y}_T} = \sqrt{\left(\frac{N_1}{N}\right)^2 S^2_{\bar{Y}_1} + \left(\frac{N_2}{N}\right)^2 S^2_{\bar{Y}_2} + \left(\frac{N_3}{N}\right)^2 S^2_{\bar{Y}_3}} \quad (11)$$

تعداد طبقه‌ها با حرف  $L$ ، تعداد کل نمونه‌ها در طبقه  $h$  ام با حرف  $N_h$ ، واریانس نمونه‌ای در طبقه  $h$  ام با حرف  $S_h$ ، شماره طبقات با حرف  $h$  که از  $a$  تا  $L$  تغییر می‌کند، شماره نمونه در داخل هر طبقه با حرف  $i$  و تعداد کل افراد جامعه با حرف  $N$  نشان داده می‌شوند. به منظور مقایسه دقت برآورد کننده‌های آماری، جمع‌آوری داده به سه روش صورت گرفت. در روش اول، برای محاسبه پارامترهای واقعی جمعیت مورد مطالعه، در محدوده‌ای به مساحت ۱۷۶ هکتار آماربرداری صددرصد انجام شد. در روش دوم، با نمونه‌برداری به روش شش‌درختی PRODAN با استفاده از روش منظم تصادفی و بدون طبقه‌بندی و با شبکه نمونه‌برداری به ابعاد  $100 \times 100$  متر صورت گرفت. در روش سوم، انجام نمونه‌برداری به روش شش‌درختی PRODAN با طبقه‌بندی جنگل با تخصیص نیمن (Neyman allocation method) صورت گرفت و مساحت و انحراف معیار اولیه در هر طبقه محاسبه شدند. در مطالعه حاضر، علاوه بر مقایسه دقت برآورد کننده‌های آماری، مطالعات زمانی نیز صورت گرفت. به منظور انجام محاسبات مربوط به مطالعات زمانی، از مقدار شاخص  $(E\% \times T)$  استفاده شد. زمان کل  $(T_i)$  از رابطه  $T_i = (n_i \times ta_i) + (n_i \times tb_i)$  به دست می‌آید که در آن  $T_i$  زمان کل آماربرداری روش  $i$ ،  $n_i$  تعداد قطعات نمونه روش  $i$ ،  $ta_i$  میانگین زمان لازم برای اندازه‌گیری درختان هر قطعه نمونه در

جدول ۱- نتایج آماربرداری صددرصد در برآورد مشخصه‌های بررسی شده

Table 1. Results of estimating in the census method

مشخصه Characteristic	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	درصد ضریب تغییرات CV (%) Coefficient of variation%
تعداد درخت در هکتار به اصله Density (trees/ha)	177.93	75.23	42.28
سطح مقطع برابر سینه در هکتار به مترمربع Basal area (m <sup>2</sup> /ha)	21.54	11.11	51.58
حجم در هکتار به مترمکعب Volume (m <sup>3</sup> /ha)	272.55	135.35	49.66

داده شده‌اند. نتایج محاسبه حجم نمونه و اختصاص آن به هر کدام از طبقات مختلف با استفاده از روش تخصیص نیمن (Neyman) مشخص شدند.

محاسبه حجم نمونه و تخصیص آن به طبقات مختلف پارامترهای آماری در هر طبقه شامل، تعداد نمونه در هر طبقه، میانگین، انحراف معیار و اشتباه معیار در جدول ۲ نشان

جدول ۲- مشخصات آماری طبقات جنگل

Table 2. Characteristics of strata in the stratification sampling method

طبقه‌ها Strata	مساحت به هکتار Area (hectare)	انحراف معیار طبقه (Si) Standard deviation of strata	تعداد نمونه اختصاص یافته The number of samples allocated	دامنه موجودی هر طبقه به مترمکعب در هکتار Volume (m <sup>3</sup> /ha)	ابعاد شبکه به متر Network dimensions
I	57	12.5	30	$U_1 \leq 200$	100*200
II	52/8	22	48	$U_2 = 200-250$	100*120
III	67	35	98	$U_3 \geq 250$	70*100

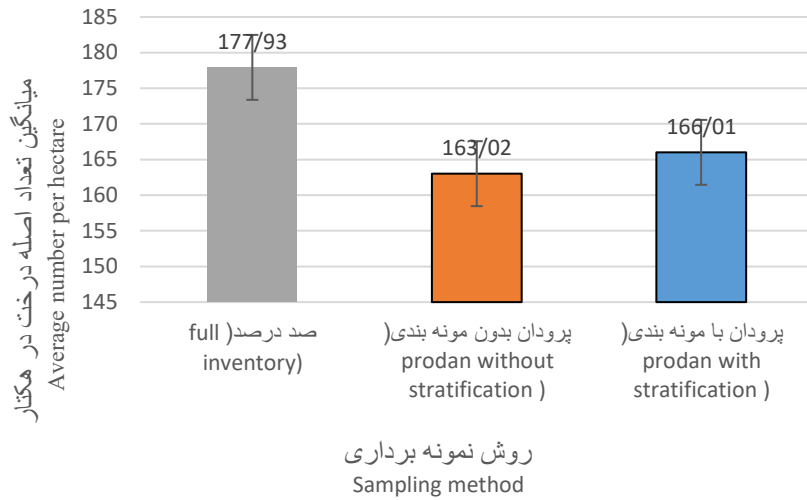
مونه‌بندی و مقدار حقیقی حاصله از آماربرداری صد درصد در جدول ۳ و شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان نتایج مشخصه‌های آماری مورد اندازه‌گیری در روش نمونه‌برداری شش‌درختی (پرودان) با مونه‌بندی و بدون

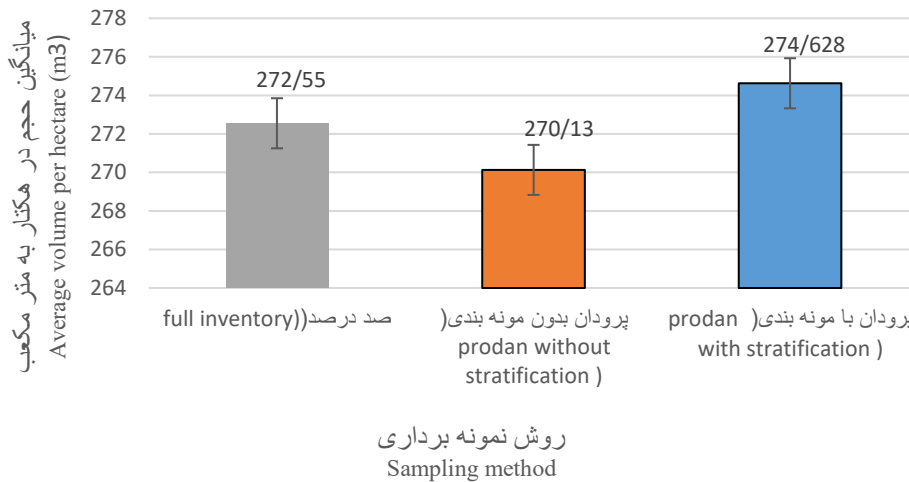
جدول ۳- نتایج روش نمونه‌برداری شش درختی (Prodan) بدون نمونه‌بندی

Table 3. Results of the sampling method (Prodan) with and without stratification

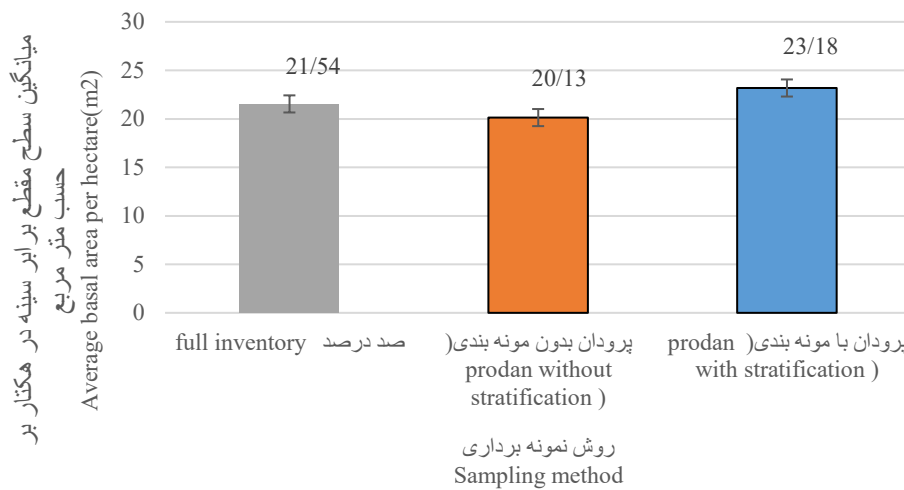
درصد اشتباه آماری Sampling error %	اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	مشخصه Characteristic
17.74	14.36	163.02	تعداد درخت در هکتار به اصله بدون نمونه‌بندی Density (trees/ha)
13.32	11.50	166.01	تعداد درخت در هکتار به اصله با نمونه‌بندی Density (trees/ha)
60.31	2.03	20.13	سطح مقطع برابر سینه به مترمربع بدون نمونه‌بندی در هکتار Basal area (m2/ha)
48.40	1.19	23.18	سطح مقطع برابر سینه به مترمربع با نمونه‌بندی در هکتار Basal area (m2/ha)
53.71	17.46	270.13	حجم به مترمکعب بدون نمونه‌بندی در هکتار Volume (m3/ha)
35.23	10.26	274.62	حجم به مترمکعب با نمونه‌بندی در هکتار Volume (m3/ha)



شکل ۴- نمودار میانگین تعداد در هکتار در روش صددرصد و نمونه‌برداری پرودان با نمونه‌بندی و بدون نمونه‌بندی  
Figure 4. The comparison chart of the average number of stems per hectare in the Prodan sampling method with and without stratification



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین حجم در هکتار به متر مکعب در روش نمونه‌برداری پرودان با نمونه‌بندی و بدون نمونه‌بندی  
Figure 5. The comparison chart of the average volume per hectare in the Prodan sampling method with and without stratification



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین سطح مقطع برابر سینه در هکتار به مترمربع در روش نمونه‌برداری پرودان با مونه‌بندی و بدون مونه‌بندی

Figure 6. The comparison chart of the average basal area per hectare in the Prodan sampling method with and without stratification

درخت در هکتار، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار جنگل مورد بررسی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۴).

میانگین متغیرهای محاسبه شده با استفاده از روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان بدون طبقه‌بندی جنگل و میانگین واقعی با استفاده از آزمون تی تک‌نمونه‌ای در نرم‌افزار SPSS مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که تعداد

جدول ۴- آزمون میانگین روش نمونه‌برداری شش‌درختی بدون طبقه‌بندی جنگل با میانگین واقعی  
Table 4. The results of comparing the average of the six-tree sampling method with the actual mean

معنی‌داری Sig.	میانگین واقعی Actual mean	میانگین نمونه‌برداری Mean of sampling	مشخصه Characteristic
0/038 *	177/93	163.02	Density (trees/ha) تعداد اصله درخت در هکتار
0.041 *	21/54	20/13	Basal area (m <sup>2</sup> /ha) سطح مقطع برابر سینه به متر مربع در هکتار
0/035 *	272/55	270/13	Volume (m <sup>3</sup> /ha) حجم به متر مکعب در هکتار

درخت در هکتار، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار جنگل مورد بررسی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین، نتایج طبقه‌بندی جنگل نشان می‌دهند که مقدار کمی متغیرهای محاسبه شده با طبقه‌بندی به مقدار واقعی نزدیک‌تر هستند (جدول ۵).

میانگین متغیرهای محاسبه‌شده با استفاده از روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان با طبقه‌بندی جنگل و میانگین واقعی، با استفاده از آزمون تی تک‌نمونه‌ای در نرم‌افزار SPSS مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که متغیر تعداد

جدول ۵- آزمون میانگین روش نمونه‌برداری شش‌درختی بعد از مونه‌بندی  
Table 5. The results of comparing the average of the six tree sampling method before and after stratification

معنی‌داری Sig.	میانگین واقعی Actual mean	میانگین نمونه‌برداری Mean of sampling	مشخصه Characteristic
0.012 *	177.93	166.01	Density (trees/ha) تعداد اصله درخت در هکتار
0.022 *	21.54	23.18	Basal area (m <sup>2</sup> /ha) سطح مقطع برابر سینه به متر مربع در هکتار
0.032 *	272.55	274.62	Volume (m <sup>3</sup> /ha) حجم به متر مکعب در هکتار

\*: اختلاف بین میانگین برآوردشده با میانگین واقعی به احتمال ۹۵٪ معنی‌دار است.  
\*: The difference between the estimated mean and the actual mean is significant at a probability of 95%.

در بررسی حاضر نیز اثر مونه‌بندی بر دقت و زمان با استفاده از معیار  $(E\% \times T)$  مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان

یکی از اهداف نمونه‌برداری در جنگل، از جمله روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان، اثر دقت و بعد زمانی است.

می‌دهند که اثر مونه‌بندی با روش مربوطه در جنگل مثبت است و در نمونه‌برداری‌های جنگل تأثیرات مفیدی دارد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه معیار  $(E\% \times T)$  در برآورد مشخصه‌های مورد مطالعه در روش پرودان (Prodan)  
Table 6. The Comparison of Prodan's sampling method based on  $(E\%)^2 \times T$

$(E\%)^2 \times T$	زمان کل T	مجدور دقت نمونه‌برداری $(E\%)^2$	روش Method	مشخصه Characteristic
8811.81	28	17.74	بدون مونه‌بندی	تعداد اصله درخت در هکتار
5677.52	32	13.32	با مونه‌بندی	Density (trees/ha)

Prodan, 1968; Zobeiri, 2007; Thiry *et al.*, 1969; Salarvand *et al.* (Jonsson *et al.*, 1992) و با یافته‌های (Foshat *et al.*, 2017) هم‌خوانی دارند. در برآورد میانگین مشخصه تعداد در هکتار، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه Nazariani *et al.* (2020) و (2011) هم‌خوانی ندارند زیرا که آنان میزان مشخصه تعداد در هکتار را بیشتر از میزان واقعی برآورد نمودند در حالی که نتایج در مطالعه حاضر کمتر از میزان آماربرداری صددرصد است که دلیل مغایرت در نتایج را شاید بتوان به تفاوت در نوع منطقه تحقیق (منطقه جنگل کاری شده) نسبت داد. در خصوص برآورد مشخصه حجم در هکتار نیز نتایج با مقدار  $270/13$  مترمکعب به میزان  $0/89$  درصد کمتر از میزان واقعی به دست آمد که با نتایج (Foshat *et al.*, 2011) مطابقت دارد. دلیل کاهش برآورد مشخصه تعداد و سطح مقطع برابر سینه را می‌توان به‌وقوع شدن بعضی از درختان در مرز قطعات نمونه در زمان اندازه‌گیری عنوان نمود که در روش پرودان در صورت وجود این‌گونه درختان، چنانچه مقداری از تنه (کمتر از نصف سطح مقطع برابر سینه) آن‌ها داخل قطعه نمونه قرار گیرند اندازه‌گیری نمی‌شوند که این موضوع در محاسبات، کاهش برآورد را به دنبال دارد. در بعضی از مواقع، چنانچه جامعه هدف بر اساس عوامل مختلف مانند شیب، جهت، ارتفاع یا مجموع این سه عامل، هم‌چنین تراکم موجودی و یا جوامع گیاهی، ناهمگن باشد برای ایجاد واحدهای همگن، مونه‌بندی یا طبقه‌بندی اجرا می‌شود که از نظر افزایش دقت نمونه‌برداری و یا کاهش خطای آماربرداری مزایای بیشتری نسبت به روش‌های دیگر نمونه‌برداری دارد (Akhavan *et al.*, 2020) در تحقیق حاضر، با توجه به دارا بودن ناهمگنی موجودی در منطقه، روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان پس از طبقه‌بندی نیز مورد بررسی قرار گرفت. با اجرای مونه‌بندی در روش شش‌درختی پرودان، میانگین برآورد شده مشخصه‌های مورد بررسی به میانگین واقعی نزدیک‌تر شده است و میزان اشتباه از معیار آماری نیز کمتر شده است. درصدهای کاهش اشتباه آماربرداری پس از مونه‌بندی برای مشخصه تعداد در هکتار به مقدار  $4/42$  درصد و برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه  $11/91$  درصد و برای مشخصه حجم در هکتار نیز به مقدار  $18/48$  درصد محاسبه شدند. بنا بر این، همان‌گونه که بیان شد با اجرای مونه‌بندی، پس از افزایش همگنی طبقات و کاهش درصد خطای آماری، دقت نتایج محاسبه شده افزایش یافته است، که با نتایج تحقیقات (Hassanzad Navroodi *et al.*, 2019) نیز هم‌خوانی دارد. در مطالعه حاضر، علاوه بر مقایسه دقت برآورد کننده‌های آماری، مطالعات زمانی نیز صورت گرفت. نتایج بررسی شاخص دقت و هزینه  $(E\% \times T)$  نشان دادند که اشتباه

کسب اطلاعات کافی با حداقل تلاش و زمان یک نگرانی عمده در هنگام نمونه‌برداری از پوشش‌های گیاهی است. بسیاری از استراتژی‌های نمونه‌برداری برای بررسی و آماربرداری جنگل در دهه‌های گذشته توسعه یافته‌اند. در بین همه استراتژی‌های نمونه‌برداری، نمونه‌برداری طبقه‌ای هنوز هم اغلب در جنگل‌داری استفاده می‌شود، به این دلیل که طبقه‌بندی می‌تواند واریانس بین نمونه‌ها در طبقات را کاهش و دقت برآوردها را افزایش دهد. در سازمان‌های اجرایی، نمونه‌برداری از جنگل‌ها به‌منظور تعیین مشخصه‌های کمی جنگل در شمال ایران، از طریق روش‌های نمونه‌برداری با استفاده از قطعات نمونه ثابت  $10$  آری صورت می‌گیرد و از سایر روش‌ها به‌خصوص از نمونه‌برداری با مساحت متغیر کمتر استفاده شده است. آماربرداری با قطعات نمونه دارای مساحت ثابت دارای این اشکال است که در قسمت‌های متراکم و جوان توده‌های هم‌سال، درختان بیش از تعداد لازم اندازه‌گیری می‌شوند و در قسمت‌های تنک و مسن توده‌های هم‌سال، تعداد درختان کمتری مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند در صورتی که درختان مسن یا قطور سهم عمده‌ای را در موجودی سرپای جنگل دارا هستند. در جنگل‌های ناهم‌سال نیز تعداد درختان کم‌قطر بیشتری نسبت به درختان قطورتر اندازه‌گیری می‌شوند. در حقیقت، به‌جای آن‌که درختان به نسبت اهمیت، سهم یا ابعادشان در توده جنگلی مورد اندازه‌گیری قرار گیرند، با در نظر گرفتن تراکمشان در توده جنگلی اندازه‌گیری می‌شوند. برای رفع این اشکال می‌توان از روش‌های مختلف دیگر نمونه‌برداری استفاده نمود که یکی از آن‌ها، روش شش‌درختی پرودان است که در مطالعه حاضر از این روش استفاده شد. نتایج بدست‌آمده از آماربرداری صددرصد نشان می‌دهند که میانگین واقعی مشخصه تعداد در هکتار برابر  $177/93$  اصله درخت، میانگین واقعی سطح مقطع برابر سینه برابر  $21/54$  متر مربع در هکتار و میانگین واقعی حجم در هکتار برابر  $272/55$  متر مکعب در هکتار هستند. نتایج مقایسه آزمون آماری بین روش آماربرداری صددرصد و نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) بدون طبقه‌بندی و با اجرای مونه‌بندی در سطح  $176$  هکتار در طرح جنگل‌داری صفارود در حوضه شماره  $30$  رامسر نشانگر اختلاف معنی‌داری در سطح  $0/05$  درصد بودند. به‌عبارتی، نتایج بررسی نمونه‌برداری شش‌درختی بدون طبقه‌بندی نشان می‌دهد که میانگین مشخصه تعداد در هکتار به میزان  $163/02$  اصله یا  $8/38$  درصد و میانگین سطح مقطع برابر سینه در هکتار به مقدار  $20/13$  مترمربع یا  $6/54$  درصد، کمتر از آماربرداری صددرصد برآورد گردیده‌اند. این نتایج با برخی از مطالعات موجود (Foshat *et al.*, 2011; Nazariani *et al.*, 2020)؛

به لحاظ مطالعه در جنگل ناهمگن دستاوردهای تازه‌ای به‌دست آمد. همان‌گونه که نتایج نشان داد، با اجرای روش نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) بدون مونه‌بندی، نتیجه مطلوبی در جنگل‌های مورد تحقیق حاصل نشد، اما با اجرای مونه‌بندی به‌روش نمونه‌برداری شش‌درختی نتیجه مطلوبی به‌دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده اثر مثبت مونه‌بندی به‌روش نمونه‌برداری شش‌درختی است و مونه‌بندی جنگل‌های صفاورد رامسر باعث همگن‌شدن هر طبقه و در نتیجه سبب افزایش دقت در نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان گردید. در نتیجه، اجرای مونه‌بندی در روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان مثبت ارزیابی می‌شود. پیشنهاد می‌شود که اثر مثبت روش طبقه‌بندی جنگل و اثر توأم آن با روش نمونه‌گیری شش‌درختی (Prodan) در نمونه‌برداری از جنگل‌های صنعتی شمال کشور به‌کار گرفته شود.

و خطای آماری مشخصه‌های اندازه‌گیری در جنگل سرپا با روش نمونه‌برداری شش‌درختی همراه با مونه‌بندی نسبت به روش نمونه‌برداری بدون مونه‌بندی کمتر بود. نتایج این بررسی نشان دادند که شاخص  $(E\%^2 \times T)$  بدون مونه‌بندی و همراه با مونه‌بندی برای مشخصه تعداد اصله درخت در هکتار به‌ترتیب ۸۸۱۱/۸۱ و ۵۶۷۷/۵۲ محاسبه شد. نسبت مونه‌بندی جنگل به بدون مونه‌بندی  $\emptyset = \frac{5677.52}{8811.81} = 0.644$  است. نتایج بر اساس معیار دقت و هزینه نشان می‌دهند که مونه‌بندی جنگل و اجرای نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan)، ۳۵/۵۶ درصد به میانگین واقعی نزدیک‌تر می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر مونه‌بندی جنگل بر دقت برآورد مشخصه‌های کمی درختان جنگل در روش نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) انجام‌گرفت. با توجه به پیشینه تحقیق،

### References

- Akhavan, R., Zobeiri, M., & Namiranian, M. (2002). A study of stratification method for volume estimation in Kheyroodkenar Forest, *Iranian Journal of Natural Resources*, 54(3), 235–245. [In Persian]
- Alba da Silva, F., Péllico Netto, S., Behling, A., Marinheski Filho, A., & Cerqueira Ciqueira, C. (2020). Estimates of Prodan's sampling method applied to Nelder's systematic design. *Floresta*, 50(3).
- Alijanpour, A. M., Zobeiri, M., Marvi Mohajer, M. R., & Zargham, N. (2004). An investigation of the best statistic sampling method in forests of Aras-baran, *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(4), 397-406. [In Persian]
- Bonyad A.E. (2015). Forest sampling methods. Guilan University Press, Sowmeh Sara.
- Daniel, A., Danilo, A., Carlos A., Evandro, O., Scott, C., Starkd, R., Luiz Carlos, E., Marcus, V. (2020). Evaluating tropical forest classification and field sampling stratification from lidar to reduce effort and enable landscape monitoring. *Forest Ecology and Management*, 457, 117634.
- Falah, A., Zobeiri, M., Rahimipour, A., & Naqvi, S. (2012). Review of four sampling methods for estimation Canopy level in Zagros oak forests (case study: Mehrian forests of Yasouj city). *Research Quarterly The Forest and Spruce of Iran*, 20 (2), 194-203. [In Persian]
- Foshat, M., Hosseini, S.M., Fallah, A., & Fakhari, M.A. (2011). Determination of suitable N-tree sampling method in Populus deltoides plantations. *Research Journal of Forest Science and Engineering*, 1(3), 65-76.
- Hassanzad Navroodi, I., Ahmadzadeh, H., & Bonyad A. E. (2019). A Study on the Accuracy and Precision of Estimation of the Number, Basal Area and Standing Trees Volume per Hectare Using of some Sampling Methods in Forests of NavAsalem. *Ecology of Iranian Forests Journal*. 7(13), 1-10. [In Persian]
- Heidari, R.H., Gholami, M., & Masomei S M. (2016). Study of Distance Sampling Methods Accuracy to Estimation of Mediterranean Stinkbush Species (*Anagyris Foetida* L.) Density (Case Study: Forests of Kasakaran, Gilanegharb). *Ecology of Iranian Forests Journal*. 4(7), 26-34. [In Persian]
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., & Sobhani, H. (2009). Comparison of circular plot and transect sampling methods in the Zagros Oak forest (Case study: educational and research forest Razi University, Kermanshah province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(3), 359-368. [In Persian]
- Jianyang, Liu., Ying, Q., Bin, W., Jinan, Sh., Lang, M., & Ming, Z. (2023). Estimation of Forest Stock Volume Combining Airborne LiDAR Sampling Approaches with Multi-Sensor Imagery, *Forests*, 14(12), 2453. <https://doi.org/10.3390/f14122453>.
- Jonsson, B., Holm, S., & Kallur, H. (1992). A forest inventory method based on density-adapted circular plot size. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 7(1-4), 405-421.

- Kevin, C. P & Philip J. R. (2007). Forest sampling combining fixed- and variable-radius sample plots. Packard, K. C., & Radtke, P. J. (2007). Forest sampling combining fixed-and variable-radius sample plots. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(8), 1460-1471.
- Leiter, M., & Hasenauer, H. (2023). Continuous cover forestry: Which sampling method should be used to ensure sustainable management? *Trees, Forests and People*, 13, 100419.
- Namirani, M. (2007). Measurement of Tree and Forest Biometry, University of Tehran Press.
- Nazariani, N., Fallah, A., Lotfalian, M. & Imani Rastabi, M. (2017). Forest dweller's livelihood dependence on forest resources (Case study: Namjoo watershed of Kouhdasht County). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(1), 95-105. [In Persian]
- Neyman, J. (1938). Contribution to the theory of sampling human populations. *Journal of the American Statistical Association*, 33(201), 101-116.
- Prodan, M. (1968). Punktstichprobe für die forsteinrichtung. *Forst- und Holzwirtschaft*, 23(11), 225-226.
- Salarvand Shamsi, H., Bonyad, A.A. & Pourbabae, H. (2017). The effect of forest stratification on precision estimation of quantitative features of trees by using N-tree sampling method in the forests of West Iran (Case Study: Dorood Lorestan province). *Forest and Wood Products*, 70(3), 469-478. [In Persian]
- Soltani, A., Zobeiri, M. & Namirani, M. (2007). Optimization of Prodan's six-tree sampling method. *Journal of Natural Research*, 60(4), 1291-1307.
- Sparks, J. C., Masters, R. E., & Payton, M.E. (2002). Comparative evaluation of accuracy and efficiency of six forest sampling methods. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 82, 49-56.
- Tao, Y., Yong, P., Xiaojun, L., Wen, J., Yu, B. & Yilin, F. (2023). China's larch stock volume estimation using Sentinel-2 and LiDAR data, *Geo-Spatial Information Science*, 26(3), 392-405. <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2105754>.
- Thiry, Ko., P. & Ehrlenspiel, L (1969). 6-Baum Stichprobe fuer die Forstienrichtung. AFJZ, Zobeiri, M. (2005). Forest Inventory (Measurement of Tree and Forest), University of Tehran Press.
- Zobeiri, M. (2007). Forest Biometry. Tehran University Press.
- Zobeiri, M., Resaneh, Y., Manteghi, A., & Samak, M. (1998). Examining the preliminary comprehensive plan of forests in the north of the Iran, 30 Ramsar., watershed, technical office, organization of forests and grasslands of Iran