Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 1, 2025 p: 108-119

OPEN ACCESS

Research Paper

The Effect of the Forest Stratification Method and its Combined Effect with the PRODAN Six-Tree Sampling Method

Ali Alizadeh[1] and Amir Eslam Bonyad[2]

1-Ph.D. in forest management, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran, (Corresponding author: alializadeh1359@yahoo.com)
2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh 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^3, 200-250 m^3, and more than 250 m^3 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

Copyright ©2025. Alizadeh and. Bonyad Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

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

علی علیزاده[۱] و امیراسلام بنیاد[۲]

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 دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳
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 کمّی 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 تهیّه طرح‌ها و تحقیقات جنگل‌های شمال بیشتر از روش‌های نمونه برداری با مساحت ثابت استفاده می‌شود. امروزه، روش‌های مختلف نمونه‌برداری جنگل طراحی و ارایه 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 کارآیی، 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 دقّت 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 درصد، 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 اوّل در عرصه به مساحت ۱۷۶ هکتار بدون طبقه‌بندی با ابعاد شبکه ۱۰۰x۱۰۰ متر اندازه‌گیری گردید. مرحله دوّم عرصه جنگل مورد بررسی با استفاده از روش طبقه‌بندی « نیمَن» به سه مونه از نظر موجودی حجمی شامل کمتر از ۲۰۰ متر مکعب، بین ۲۰۰- ۲۵۰ متر مکعب و بیشتر از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار مونه‌بندی و بر اساس روش شش‌درختیProdan با استفاده از ابعاد شبکه جدید برای هر مونه صورت گرفت. در این مطالعه، اثر مونه‌بندی بر دقّت و زمان با استفاده از معیار ($E\%^2\times T$) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، زمان لازم برای پیاده کردن قطعات نمونه برای اندازه گیری‌های لازم در داخل قطعه نمونه و زمان لازم برای پیمودن فاصله بین قطعات نمونه مجاور نیز با استفاده از کورنومتر محاسبه ویادداشت شد.

یافته‌ها: نتایج مقایسه آزمون آماری بین میانگین متغیرهای محاسبه شده با روش‌های آماربرداری صددرصد (میانگین واقعی) و نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) در مرحله اوّل بدون طبقه‌بندی و در مرحله دوّم با اجرای روش طبقه‌بندی « نیمَن» اختلاف معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان دادند. نتایج این بررسی از نظر شاخص دقّت و هزینه ($E\%^2\times T$) نشان می‌دهند که اشتباه و خطای آماری مشخصه‌های اندازه‌گیری در جنگل سرپا با روش نمونه‌برداری شش‌درختی همراه با مونه‌بندی نسبت به‌روش نمونه‌برداری بدون مونه‌بندی کمتر است. این میزان برای مشخصه تعداد اصله درخت در هکتار به‌ترتیب ۸۸۱۱/۸۱ و ۵۶۷۷/۵۲ محاسبه شد که با مونه‌بندی 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 مونه‌بندی 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 به‌مقدار 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 نیمَن

مقدمه

ضرورت برنامه‌ریزی موفّق در مدیریت جنگل‌داری علاوه بر صرف بودجه، مستلزم شناخت وضعیت موجود و توان منطقه مورد برنامه‌ریزی از لحاظ نوع نیازمندی و توانایی‌های بالقوّه 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 کمّی 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 صددر صد، تمام درختان عرصه جنگل مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند و یکی از اهداف اصلی آن مقایسه دقّت برآورد کننده‌ها در روش‌های مختلف نمونه‌برداری‌ها در جنگل است (Bonyad, 2014)، امّا چون همیشه اجرای روش آماربرداری به دلیل کمبود نیروی انسانی، بودجه و امکانات فنی، زمان کافی در عرصه های وسیع جنگلی معمولا 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 نمونه برداری 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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

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 کلّ جمعیت لحاظ می‌شود (Bonyad, 2014). نمونه‌برداری به دلیل اینکه به اندازه‌گیر امکان استفاده در سطوح وسیع، اندازه‌گیری تعداد مشخصه‌های بیشتر با دقّت 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 متغیّر 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 متغیّر، 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 اوّلین 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 انجام‌شد 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 جنگل‌کاری 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 در صد 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 کارآیی روش‌های نمونه‌برداری چند درختی در برآورد مشخصه‌های کمّی 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 حالی‌که نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت متغیّر برای تخمین حجم توده کارآمدترند (Kevin *et al.*, 2007). در جنگل های ناهمگن برای افزایش دقّت نمونه‌برداری از روش طبقه‌بندی استفاده می‌شود. با انجام عملیات مونه‌بندی می‌توان دقّت برآورد جامعه را افزایش داد (Bonyad, 2014). تخمین طبقه‌بندی شده یک تکنیک آماری است که می‌تواند واریانس برآوردها را بدون افزایش حجم نمونه کاهش‌دهد (Yu *et al.*, 2023). مطالعه‌ای که توسط (Salarvand *et al.*, 2016) در مورد تأثیر مونه‌بندی جنگل بر دقّت مشخصه‌های کمّی درختان با روش نمونه‌برداری چنددرختی در جنگل‌های غرب ایران انجام شد نشان داد که با اجرای مونه‌بندی 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 منظّم تصادفی و مونه‌بندی انجام شد، بیان گردید که نمونه‌برداری با مونه‌بندی از نمونه‌برداری منظّم 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 (۶/۴۵درصد) و تعداد درختان در هکتار به تعداد ۲۹ اصله (۶/۳درصد) کمتر از آماربرداری صد درصد برآورد گردید.

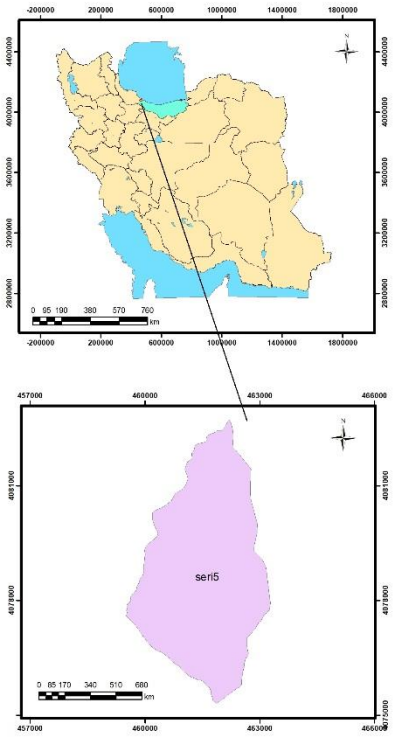
Soltani *et al.* (2007) با استفاده از سه فرضیه به به‌سازی روش شش‌درختی پرودان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از عامل تصحیح اریب و فرضیه فاصله بین نقطه نمونه تا تمام قطر درخت nام به‌اضافه نصف قطر درخت n+1ام برای برآورد تعداد در هکتار مناسب بود. در شبیه‌سازی، روش نمونه‌برداری چنددرختی صورت گرفت 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 انجام‌شد، 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 مونه‌بندی برای برآورد مشخصه‌های مورد مطالعه موجب کاهش خطای آماربرداری و افزایش زمان آماربرداری شد. تاکنون، مطالعات زیادی بر روی روش‌های نمونه‌برداری از لحاظ دقّت و هزینه در جنگل‌های زاگرس صورت گرفته‌است (Fallah *et al*., 2012). بررسی مشخصه سطح تاج‌پوشش در جنگل‌های بلوط با استفاده از چهار روش نمونه‌برداری منظّم تصادفی، خط نمونه، نواری و نمونه‌برداری با مونه‌بندی (استراتیفیکاسیون) نشان داد که روش خط نمونه بیشترین میزان صحّت و دقّت 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 (۲۰۲۳) (Liu *et al.*, 2023) 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 کمّی و کیفی جنگل، روشی مناسب است که با کمترین هزینه به دقّت مورد نظر دست یافت و یا با هزینه تعیین شده برای این منظور بتوان حداکثر دقّت را برای مشخصه‌های مورد نظر

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

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 دقّت 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 دقّت 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 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).



شکل۱– موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی
Figure 1. The geographical location of the study area

روش پژوهش

آماربرداری صددرصد

در تحقیق حاضر، به‌منظور تأثیر مونه‌بندی و مقایسه روش‌نمونه‌برداری، محدوده‌ای به مساحت ۱۷۶ هکتار به‌صورت صددرصد آماربرداری شد و تمام درختان عرصه که از حدّ 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 به‌قطعات مربعی شکل به ابعاد ۵۰ × ۵۰ متر تبدیل و تعداد ۷۰۴ 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 به‌ترتیب از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ استفاده شد (Bonyad, 2014). همچنین برای محاسبه مشخصه تعداد در هکتار و حجم در هکتار به‌ترتیب از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده شد (Zobeiri, 2002).

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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

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

رابطه (۳) $$CV\% = \frac{\delta x}{\mu} \times 100$$

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

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

μ: میانگین واقعی جامعه، X_i: مشخصه یا پارامتر مورد اندازه‌گیری که ممکن است قطر در اتفاع 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، δ_x : انحراف از معیار یا جذر واریانس و CV% درصد ضریب تغییرات متغیر مورد اندازه‌گیری.

$\sum nt$ = مجموع کل تعداد درختان جنگل

$\sum vt$ = مجموع کل حجم درختان جنگل

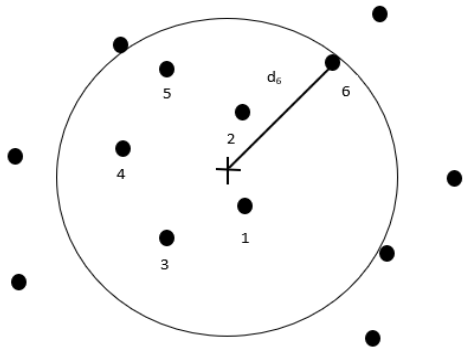
$\bar{N}$ = میانگین تعداد درختان در هکتار

$\bar{V}$ = میانگین حجم درختان در هکتار

S = مساحت جنگل

روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان

در این روش، اوّلین قطعه نمونه به‌صورت تصادفی و با استفاده از یک عارضه مشخص در طبیعت پیاده و مابقی قطعات نمونه نیز به صورت منظّم 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).



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

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

در سطح ۱۷۶ هکتار، ۱۰۰ قطعه نمونه به‌روش شش‌درختی در جنگل پیاده شد. شعاع و مساحت قطعه نمونه به‌ترتیب از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه گردیدند.

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

رابطه (۷) $$A_j = R^2 j \times \pi$$

R_j = شعاع قطعه نمونه j ام به متر

D_{ij} = قطر درخت i ام به متر

L_{ij} = فاصله درخت i ام (در شش‌درختی i = 6) تا مرکز قطعه نمونه J ام به متر

1,2,3,…., n = i

A_j = مساحت قطعه نمونه j ام به متر مربع

در جنگل ناهمگن برای بالابردن دقّت نمونه‌برداری، می‌توان جنگل را از نظر موجودی طبقه‌بندی کرد. در مطالعه 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 دقّت موردنظر به چهار روش تخصیص مساوی، روش تخصیص متناسب یا تقسیم به نسبت مساحت، روش نیمن با هزینه ثابت و روش ایده‌آل (بهینه) انجام می‌گیرد که در مطالعه حاضر از روش تخصیص نیمن (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 به‌ترتیب از رابطه‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌گردند.

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

رابطه (۹) $$n_{h.} = \frac{N_h . S_h}{\sum_{h=1}^{L} N_h . S_h} . n$$

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

رابطهٔ (۱۰) $\overline{Y}_T = \frac{N_1}{N}\overline{Y}_1 + \frac{N_2}{N}\overline{Y}_2 + \ldots + \frac{N_L}{N}\overline{Y}_L$

رابطه (۱۱) $S\overline{Y}_T = \sqrt{(\frac{N_1}{N})^2 S^2\overline{Y}_1 + (\frac{N_2}{N})^2 S^2\overline{Y}_2 + (\frac{N_3}{N})^2 S^2\overline{Y}_3}$

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 ا تا L تغییر می‌کند، شماره نمونه در داخل هر طبقه با حرف i و تعداد کل افراد جامعه با حرف N نشان داده می‌شوند. به‌منظور مقایسه دقّت برآورد کننده‌های آماری، جمع‌آوری داده به سه روش صورت‌گرفت. در روش اوّل، برای محاسبه پارامترهای واقعی جمعیّت موردمطالعه، در محدوده‌ای به مساحت ۱۷۶ هکتار آماربرداری صددرصد انجام شد. در روش دوّم، با نمونه‌برداری به‌روش شش‌درختی PRODAN با استفاده از روش منظّم تصادفی و بدون طبقه‌بندی و با شبکه نمونه‌برداری به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر صورت گرفت. در روش سوّم، انجام نمونه‌برداری به‌روش شش‌درختی PRODAN با طبقه‌بندی جنگل با تخصیص نیمن (Neyman allocation method) صورت گرفت و مساحت و انحراف معیار اولیّه در هر طبقه محاسبه شدند. در مطالعه حاضر، علاوه بر مقایسه دقّت برآوردکننده‌های آماری، مطالعات زمانی نیز صورت گرفت. به‌منظور انجام محاسبات مربوط به مطالعات زمانی، از مقدار شاخص ($E\%^2 \times T$) استفاده شد. زمان کل (T_i) از رابطه $Ti=(n_i \times ta_i)+(n_i \times tb_i)$ به‌دست می‌آید که در آن T_i زمان کلّ آماربرداری روش i، n_i تعداد قطعات نمونه روش i، ta_i میانگین زمان لازم برای اندازه‌گیری درختان هر قطعه نمونه در روش i و tbi میانگین زمان حرکت از یک قطعه نمونه به قطعه نمونه بعدی (مجاور) در روش i هستند (Alijanpour, 2004). برای تعیین دقّت روش نمونه‌برداری نیز از رابطه $E = t \times S_{\bar{x}}$ استفاده می‌شود که در آن E دقّت نمونه‌برداری، t ضریبی است که به تعداد نمونه و سطح احتمال معیّن (در این مطالعه ۹۵ درصد) از جدول t- student استخراج می‌شود و $S_{\bar{x}}$ اشتباه معیاراست. هم‌چنین، درصد اشتباه آماری از رابطه $E\% = \frac{E}{\bar{x}} \times 100$ به دست می‌آید که E دقّت نمونه‌برداری و $\bar{x}$ مشخصه مورد اندازه‌گیری هستند. در این بررسی، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده از نرم‌افزارهای Excel 2010 و Spss 16 استفاده شد و به کمک هرکدام از رابطه‌های مربوط به هر روش، مشخصه‌های تعداد در هکتار، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار به‌دست آمد. هم‌چنین، به‌منظور 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.

جدول ۱- نتایج آماربرداری صددرصد در برآورد مشخصه‌های بررسی‌شده

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^2/ha)	21.54	11.11	51.58
حجم در هکتار به مترمکعب Volume (m^3/ha)	272.55	135.35	49.66

محاسبه حجم نمونه و تخصیص آن به طبقات مختلف

پارامترهای آماری در هر طبقه شامل، تعداد نمونه در هر طبقه، میانگین، انحراف معیار واشتباه معیار در جدول۲ نشان داده شده‌اند. نتایج محاسبه حجم نمونه و اختصاص آن به هرکدام از طبقات مختلف با استفاده از روش تخصیص نیمن (Neyman) مشخص شدند.

جدول ۲- مشخصات آماری طبقات جنگل

Table 2. Characteristics of strata in the stratification sampling method

طبقه‌ها Strata	مساحت به هکتار Area (hectare)	انحراف معیارطبقه (Si) Standard deviation of strata	تعداد نمونه اختصاص یافته The number of samples allocated	دامنه موجودی هر طبقه به مترمکعب در هکتار Volume (m3/ha)	ابعاد شبکه به متر Network dimensions
I	57	12.5	30	U 1 ≤ 200	100*200
II	52/8	22	48	U_2=200-250	100*120
III	67	35	98	U3 ≥ 250	70*100

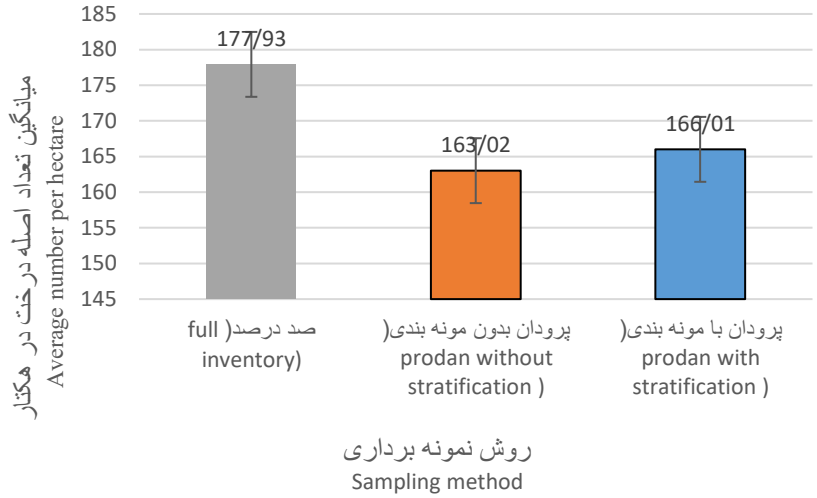
روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان

نتایج مشخصه‌های آماری مورد اندازه‌گیری در روش نمونه‌برداری شش‌درختی (پرودان) با مونه‌بندی و بدون مونه‌بندی و مقدار حقیقی حاصله از آماربرداری صد درصد در جدول ۳ و شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

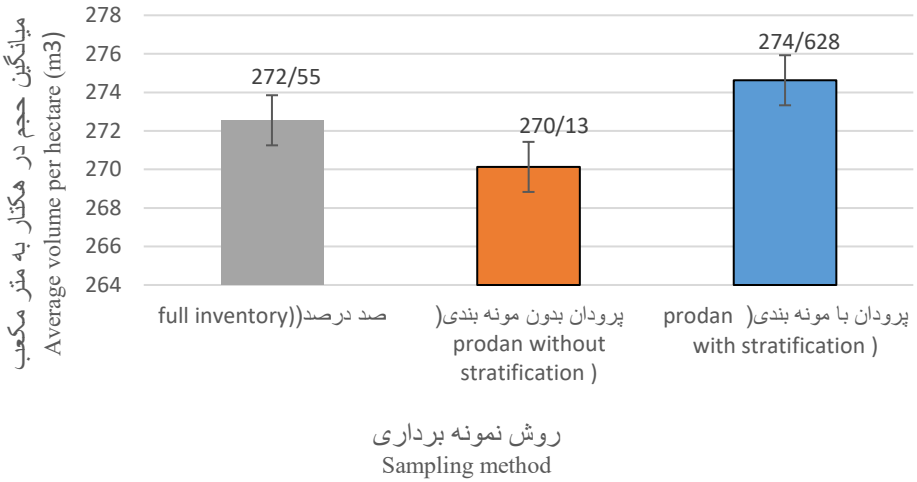
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

جدول ۳- نتایج روش نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) بدون مونه‌بندی
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 مونه‌بندی Density (trees/ha)
13.32	11.50	166.01	تعداد درخت در هکتار به اصله با مونه‌بندی Density (trees/ha)
60.31	2.03	20.13	سطح مقطع برابر سینه به مترمربع بدون مونه‌بندی در هکتار Basal area (m2/ha)
48.40	1.19	23.18	سطح مقطع برابر سینه به مترمربع با مونه‌بندی در هکتار Basal area (m2/ha)
53.71	17.46	270.13	حجم به مترمکعب بدون مونه‌بندی در هکتار Volume (m3/ha)
35.23	10.26	274.62	حجم به مترمکعب با مونه‌بندی در هکتار Volume (m3/ha)

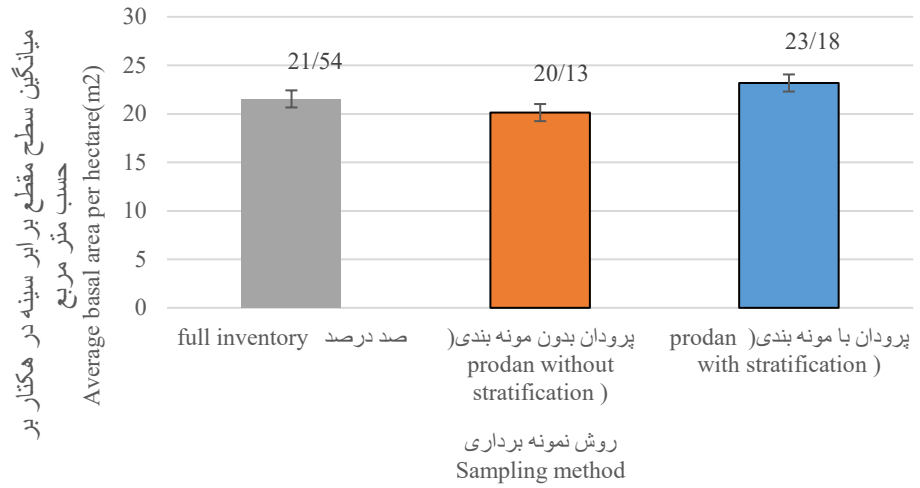


شکل ۴- نمودار میانگین تعداد در هکتار در روش صددرصد و نمونه‌برداری پرودان با مونه‌بندی و بدون مونه‌بندی
Figure 4. The comparison chart of the average number of stems per hectare in the Prodan sampling method with and without stratification



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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین سطح مقطع برابر سینه در هکتار به مترمربع در هکتار 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

میانگین متغیرهای محاسبه شده با استفاده از روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان بدون طبقه‌بندی جنگل و میانگین واقعی با استفاده از آزمون تی تک‌نمونه‌ای در نرم افزار SPSS مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که تعداد درخت در هکتار، سطح مقطع برابر سینه و حجم در هکتار جنگل مورد بررسی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۴).

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	تعداد اصله درخت در هکتار Density (trees/ha)
0.041 *	21/54	20/13	سطح مقطع برابر سینه به متر مربع در هکتار Basal area (m^2/ha)
0/035 *	272/55	270/13	حجم به متر مکعب در هکتار Volume (m^3/ha)

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 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).

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	تعداد اصله درخت در هکتار Density (trees/ha)
0.022 *	21.54	23.18	سطح مقطع برابر سینه به متر مربع در هکتار Basal area (m^2/ha)
0.032 *	272.55	274.62	حجم به متر مکعب در هکتار Volume (m^3/ha)

*: 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%.

یکی از اهداف نمونه‌برداری در جنگل، از جمله روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان، اثر دقّت و بعد زمانی است. در بررسی حاضر نیز اثر مونه‌بندی بر دقّت و زمان با استفاده از معیار ($E\%^2 \times T$) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]
[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

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

جدول ۶- مقایسه معیار ($E\%^2 \times T$) در برآورد مشخصه‌های مورد مطالعه در روش پرودان (Prodan)

Table 6 .The Comparison of Prodan's sampling method based on $(E\%)^2 \times T$

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

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 همهٔ 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 کمّی جنگل در شمال ایران، از طریق روش‌های نمونه‌برداری با استفاده از قطعات نمونه ثابت ۱۰ 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 اهمیّت، 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 ۱۷۷/۹۳ اصله درخت، میانگین واقعی سطح مقطع برابر سینه برابر ۲۱/۵۴ متر مربع در هکتار و میانگین واقعی حجم در هکتار برابر ۲۷۲/۵۵ متر مکعب در هکتار هستند. نتایج مقایسه آزمون آماری بین روش آماربرداری صددرصد و نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) بدون طبقه‌بندی و با اجرای مونه‌بندی درسطح ۱۷۶ هکتار در طرح جنگل‌داری صفارود در حوضه شماره ۳۰ رامسر نشانگر اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵درصد بودند. به‌عبارتی، نتایج بررسی نمونه‌برداری شش‌درختی بدون طبقه‌بندی نشان می‌دهد که میانگین مشخصه تعداد در هکتار به میزان ۱۶۳/۰۲ اصله یا ۸/۳۸ درصد و میانگین سطح مقطع برابر سینه در هکتار به مقدار ۲۰/۱۳ مترمربع یا ۶/۵۴ درصد، کمتر از آماربرداری صددرصد برآورد گردیده‌اند. این نتایج با برخی از مطالعات موجود (Foshat *et al.*,2011; Nazariani *et al.*, 2020; Prodan, 1968; Zobeiri, 2007; Thiry *et al.*, 1969; Jonsson *et al.*,1992 و با یافته‌های Salarvand *et al.* 2017) هم‌خوانی دارند. در برآورد میانگین مشخصه تعداد در هکتار، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه Foshat *et al.* 2011) و Nazariani *et al.* (2020) 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 جنگل‌کاری‌شده) نسبت داد. در خصوص برآورد مشخصه حجم در هکتار نیز نتایج با مقدار ۲۷۰/۱۳ مترمکعب به میزان ۰/۸۹ 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 به‌واقع 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 قرارگیرند اندازه‌گیری نمی‌شوند که این موضوع در محاسبات، کاهش برآورد را به دنبال دارد. در بعضی از مواقع، چنانچه جامعهٔ 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 به‌روش‌های 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 قرارگرفت. با اجرای مونه‌بندی در روش شش‌درختی پرودان، میانگین برآوردشده 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 ۴/۴۲ درصد و برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه ۱۱/۹۱ درصد و برای مشخصه حجم در هکتار نیز به مقدار ۱۸/۴۸ درصد محاسبه شدند. بنا بر این، همان گونه که بیان شد با اجرای مونه‌بندی، پس از افزایش همگنی طبقات و کاهش درصد خطای آماری، دقّت نتایج محاسبه شده افزایش یافته است، که با نتایج تحقیقات (Hassanzad Navroodi *et al.,* 2019) نیز هم‌خوانی دارد. در مطالعه حاضر، علاوه بر مقایسه دقّت برآورد کننده‌های آماری، مطالعات زمانی نیز صورت‌گرفت. نتایج بررسی شاخص دقّت و هزینه ($E\%^2 \times T$) نشان دادند که اشتباه

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

و خطای آماری مشخصه‌های اندازه‌گیری در جنگل سرپا با روش نمونه‌برداری شش درختی 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 دقّت 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 کمّی درختان جنگل در روش نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) انجام‌گرفت. با توجه به پیشینه تحقیق، به لحاظ مطالعه در جنگل ناهمگن دستاوردهای تازه‌ای به‌دست آمد. همان گونه که نتایج نشان داد، با اجرای روش نمونه‌برداری شش‌درختی (Prodan) بدون مونه‌بندی، نتیجه مطلوبی در جنگل‌های مورد تحقیق حاصل نشد، امّا با اجرای مونه‌بندی به‌روش نمونه‌برداری شش‌درختی نتیجه مطلوبی به‌دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده اثر مثبت مونه‌بندی به‌روش نمونه‌برداری شش‌درختی است و مونه‌بندی جنگل‌های صفارود 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.

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 stratificationfrom 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 deltoeides 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.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]

Kevin, C. P & Philip J. R. (2007). Forest sampling combining fixed- and variableradius 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.

Namiranian, 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 Jurnal 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 fur die forsteinrichtung. *Forst- und Holzwirtschaft*, *23*(11), 225-226.

Salarvand Shamsi, H., Bonyad, A.A. & Pourbabaee, 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. & Namiranian, 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

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

[DOI: 10.61186/ifej.2024.538]