مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال هفدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴
ص ۱۰۷-۸۷
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2025.471946.2001
CC BY 4.0

برآورد موجودی حجمی جنگل‌های هیرکانی ایران با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی و روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای

رضا اخوان[1*]، مجید حسنی[2]، شهریار صبح زاهدی[3] و رمضانعلی خرمی کتریمی[4]

[1]دانشیار پژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[2]پژوهشگر، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[3]پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
[4]استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵)

چکیده

مقدمه: موجودی حجمی یا حجم سرپای جنگل از مهم‌ترین مشخصه‌های کمّی جنگل است که در آماربرداری‌های ملی جنگل به‌منظور بررسی وضعیت فعلی و تغییرات منابع جنگلی برآورد و پایش می‌شود تا از نتایج آن در سیاستگذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل استفاده شود. هدف این تحقیق، برآورد موجودی حجمی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی و روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای است. این روش مختص آماربرداری در مناطق وسیع است.

مواد و روش‌ها: این آماربرداری سراسری در جنگل‌های ناحیهٔ رویشی هیرکانی کشور شامل ۱۰۴ حوضهٔ آبخیز با استفاده از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای انجام گرفت. براساس این روش ۴۲ حوضهٔ آبخیز به‌صورت تصادفی انتخاب شد و نمونه‌برداری در هر کدام در پارسل‌های تصادفی براساس شبکه‌ای منظم به ابعاد ۲۰۰ ×۱۵۰ متر با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی دایره‌ای ۱۰ آری انجام گرفت. در داخل هر قطعه نمونه قطر همهٔ گونه‌های درختی قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابرسینه، فاصله و زاویهٔ آنها نسبت به مرکز قطعه نمونه، ارتفاع نزدیک‌ترین درخت به مرکز هر قطعه نمونه و همچنین قطورترین درخت در داخل هر قطعه نمونه اندازه‌گیری و ثبت شد.

یافته‌ها: پس از اتمام آماربرداری در مجموع ۱۱۹۵ قطعه نمونهٔ ۱۰ آری دایره‌شکل پیاده و در نهایت ۳۳۵۱۷ اصله درخت در داخل این قطعه نمونه‌ها بررسی و اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین متغیرهای قطر سطح مقطع متوسط، رویه زمینی، حجم سرپا و تراکم جنگل در محدودهٔ این جنگل‌ها با احتساب حد شمارش ۷/۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۸ سانتی‌متر (میانگین حسابی قطر: ۲۹/۵ سانتی‌متر)، ۲۹ متر مربع در هکتار، ۳۵۹ متر مکعب در هکتار و ۳۴۰ پایه در هکتار است (میانگین حجم سرپا و تراکم جنگل با احتساب حد شمارش ۱۲/۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۵۵ متر مکعب در هکتار و ۲۵۴ پایه در هکتار است). بیشترین موجودی حجمی سرپا در محدودهٔ ارتفاعی میان‌بند و کمترین آن در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند مشاهده شد. از نظر توزیع حجم در طبقات قطری نیز بیشتر حجم موجودی در طبقه‌های قطری قطور و خیلی قطور جنگل یعنی در دامنهٔ قطری ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر با حدود ۴۶ درصد حجم موجودی کل مشاهده شد. همچنین بیشترین تراکم جنگل در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند و بالابند و کمترین آن در محدودهٔ ارتفاعی میان‌بند به‌دست آمد. براساس نتایج به‌دست‌آمده دو گونهٔ راش و ممرز در مجموع ۵۶/۵ درصد فراوانی گونه‌های درختی و ۷۱/۲ درصد حجم سرپای جنگل‌های هیرکانی کشور را تشکیل می‌دهند.

نتیجه‌گیری: با محاسبهٔ موجودی (تراکم، رویه زمینی و حجم سرپا) جنگل‌های هیرکانی افزون‌بر کسب اطلاعات مهم زیست‌سنجی از این ناحیهٔ رویشی، داده‌های لازم برای مدیریت این منابع، بررسی تنوع زیستی، مقدار ذخیره کربن، افزایش کیفیت توده‌ها و برنامه‌ریزی برای دخالت‌های پرورشی به‌منظور کنترل کمی و کیفی این جنگل‌ها فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری ملی جنگل، تراکم جنگل، حوضهٔ آبخیز، رویه زمینی، موجودی سرپا.

[*]نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۳۱۹۸۰۹۲
ایمیل: akhavan@rifr-ac.ir

مقدمه

آماربرداری جنگل اهمیت زیادی در همهٔ جنبه‌های مدیریت جنگل دارد، زیرا داده‌های زیستی حاصل از منابع جنگلی را در دسترس قرار می‌دهد. نمونه‌برداری رکن اساسی آماربرداری جنگل است. آماربرداری جنگل به‌طور مستقیم به کارآمدی روش نمونه‌برداری بستگی دارد که خود موازنه‌ای بین دقت و هزینه‌های روش نمونه‌برداری است (Georgakis & Stamatellos, 2019).

موجودی حجمی یا حجم سرپای جنگل از مهم‌ترین مشخصه‌های کمّی جنگل است که در آماربرداری‌های ملی جنگل برای بررسی وضعیت فعلی و تغییرات منابع جنگلی برآورد و پایش می‌شود تا از نتایج آن در سیاستگذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل استفاده شود (FAO, 2017). برآورد موجودی حجمی جنگل در مواردی مانند تعیین مقدار برداشت چوب از جنگل، بررسی اثرهای تغییر اقلیم، ارزیابی راهبردهای سازگاری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بررسی تنوع زیستی و تعیین مقدار ذخیره و ترسیب کربن کاربرد دارد (Presern et al., 2019). همچنین موجودی حجمی جنگل، دادهٔ ورودی مهمی برای ارزیابی‌های جهانی جنگل‌ها به‌عنوان مبنایی برای ارائهٔ گزارش‌ها در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی به سازمان‌ها و فرایندهای بین‌المللی است (FAO, 2017). تولیدات غیرچوبی جنگل نیز با مقدار موجودی حجمی جنگل ارتباط دارند (Presern et al., 2019). افزون‌بر موجودی حجمی، از رویه زمینی و تراکم جنگل نیز به‌عنوان متغیرهای موجودی جنگل به‌منظور بررسی وضعیت جنگل و پایش تغییرات اکوسیستم استفاده می‌شود، زیرا با موجودی حجمی و رویش جنگل رابطهٔ مستقیمی دارند (Elledge & Barlow, 2012).

همان‌طور که گفته شد انتخاب روش نمونه‌برداری مناسب از اهمیت زیادی در آماربرداری جنگل برخوردار است. یکی از روش‌های نمونه‌برداری مناسب برای آماربرداری در مناطق وسیع جنگلی، هنگامی‌که امکان نمونه‌برداری در کل محدودهٔ تحت بررسی وجود ندارد، روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای (Two- stage sampling) است (Zobeiri, 2007). در ایران اولین بار در سال ۱۳۵۳ شرکت فنلاندی یاکوپری برای آماربرداری جنگل‌های منطقهٔ ساری از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای استفاده کرد. به‌طوری که در مرحلهٔ اول جنگل‌های این منطقه به ۵۶۷ بلوک به ابعاد ۵×۵ کیلومتر تقسیم شدند. سپس ۲۸ درصد از این بلوک‌ها (۱۵۸ بلوک) به‌صورت تصادفی برای آماربرداری انتخاب شدند. در مرحلهٔ دوم نمونه‌برداری در بلوک‌های انتخاب‌شده با استفاده از قطعات نمونهٔ دایره‌ای تودرتو با مساحت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ متر مربع (در مجموع ۱۵۸۰ قطعه نمونه) انجام گرفت (Zobeiri, 2007).

در سومین آماربرداری ملی جنگل (NFI[1]) سوئیس در سال ۲۰۰۳ نیز از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای استفاده شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از این روش، هزینه‌های نمونه‌برداری حدود ۵۰ درصد کاهش یافت، درحالی که خطای نمونه‌برداری در مقایسه با روش نمونه‌برداری تصادفی ساده تنها ۱/۵ درصد افزایش یافته بود (Mandallaz & Massey, 2012). Stehman et al. (2009) دقت تهیهٔ نقشهٔ کاربری زمین با استفاده از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای را برآورد کردند و نتیجه گرفتند که این روش در ترکیب با روش نمونه‌برداری خوشه‌ای روشی کارآمد و دقیق در تهیهٔ نقشهٔ کاربری زمین است. Mandallaz & Massey (2012) نیز برآوردگرهای مناسب برای محاسبهٔ خطای آماربرداری جنگل با روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که آنها در مقایسه با روش‌های نمونه‌برداری تصادفی ساده برآوردی نااریب ارائه می‌دهند. Westfall et al. (2016) با استفاده از داده‌های آماربرداری جنگل در سه ایالت در شمال شرقی آمریکا دقت و هزینهٔ نمونه‌برداری را در استفاده

1. National Forest Inventory

از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای در جنگل بررسی کردند. آنها بیان کردند که از نظر عملیات میدانی، نمونه‌برداری دومرحله‌ای روشی کارآمد است، زیرا سبب تمرکز کار در بلوک‌های کاری مشخص می‌شود، اما در مقایسه با روش نمونه‌برداری تصادفی ساده با تعداد نمونهٔ یکسان، به‌دلیل شباهت قطعات نمونه در داخل بلوک‌ها سبب افزایش واریانس نمونه‌برداری می‌شود. Georgakis & Stamatellos (2019) نیز بر کارایی بیشتر روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای در آماربرداری جنگل تأکید داشتند، زیرا در این روش تعداد درخت کمتری اندازه‌گیری می‌شود که هزینه‌های آماربرداری را کاهش می‌دهد؛ اما در مقابل اندکی خطای نمونه‌برداری افزایش می‌یابد. Wu et al. (2023) با استفاده از داده‌های چهار دوره آماربرداری جنگل (از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷) در ایالت سیچوان چین و با استفاده از روش نمونه‌برداری چندمرحله‌ای موجودی حجمی جنگل را برآورد کردند. آنها در مرحلهٔ دوم نمونه‌برداری، واحدهای نمونه‌برداری جنگل را به پنج گروه تقسیم کردند و سپس با استفاده از سه روش تصادفی ساده، منظم- تصادفی و خوشه‌ای، نمونه‌برداری در گروه‌های ایجادشده در مرحلهٔ دوم را انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که با استفاده از روش نمونه‌برداری چندمرحله‌ای می‌توان موجودی حجمی جنگل را با هزینهٔ کمتر و با دقت قابل قبول برآورد کرد.

در مبحث آماربرداری جنگل استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی (ثابت) روشی کارآمد و با قدمت زیاد برای بررسی جزئیات و تغییرات موجودی حجمی در جنگل است. مزیت استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی این است که کنترل و پایش تغییرات موجودی جنگل همواره در یک محل ثابت انجام می‌گیرد و بدین ترتیب دقت فرایند پایش افزایش می‌یابد. استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی در بسیاری از کشورهای پیشرفتهٔ جهان به‌ویژه در کشورهای اروپای مرکزی که سطوح جنگلی وسیع دارند به‌منظور برآورد و پایش موجودی جنگل رایج است.

از نظر تاریخی اولین آماربرداری سراسری و ملی جنگل با استفاده از قطعه نمونه در نروژ در سال ۱۹۱۹ انجام گرفت. پس از آن فنلاند در ۱۹۲۱ و سوئد در ۱۹۲۳ این کار را انجام دادند. اما استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی به‌منظور پایش درازمدت جنگل اولین بار در دههٔ ۱۹۸۰ میلادی در سوئیس، سوئد، آلمان، اتریش، نروژ و اسپانیا آغاز شد (Gschwantner et al., 2022).

در ایران سابقهٔ برآورد موجودی حجمی جنگل با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی به جنگل‌های هیرکانی منحصر بوده است. جنگل‌های هیرکانی کشور از باارزش‌ترین اکوسیستم‌های گیاهی در سطوح ملی و جهانی هستند که تاکنون فقط بخش‌هایی از آن توسط برخی از مؤسسات آموزشی و پژوهشی مرتبط با علوم جنگل به‌صورت پراکنده و گسسته تحت عنوان قطعه نمونه‌های دائمی پایش شده است. اولین بار پیاده‌سازی قطعه نمونه‌های دائمی در جنگل به‌منظور محاسبهٔ رویش جنگل توسط زبیری در سال ۱۳۵۹ در بخش نم‌خانهٔ جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود نوشهر انجام گرفت که طی آن ۱۷۶ قطعه نمونهٔ دایره‌ای ۱۰ آری براساس شبکه‌ای منظم به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ متر به‌طور ثابت و دائمی علامتگذاری و اندازه‌گیری شدند. پس از گذشت ده سال در سال ۱۳۶۹ این قطعات مجدداً اندازه‌گیری شدند و رویش جاری سالانهٔ جنگل براساس دو آماربرداری انجام‌گرفته توسط Zahedi Amiri (1991) به‌طور مستقیم محاسبه و ۸/۳ سیلو در هکتار برآورد شد. نمیرانیان در سال ۱۳۸۲ در بخش گرازبن جنگل خیرود نوشهر، ۲۵۸ قطعه نمونهٔ دایره‌ای ۱۰ آری را براساس شبکه‌ای منظم به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر به‌طور ثابت و دائمی علامتگذاری و اندازه‌گیری کرد. طبق نتایج، حجم موجودی در سال ۱۳۸۲، ۳۳۵/۸ سیلو در هکتار به دست آمد. ۹ سال بعد یعنی در سال ۱۳۹۲ این قطعات مجدداً اندازه‌گیری شد که موجودی حجمی ۳۶۷/۷ سیلو در هکتار برآورد شد و براساس آن رویش جاری سالانه

کل جنگل به‌طور مستقیم محاسبه و ۴ سیلو در هکتار برآورد شد (Bayat et al., 2014). Hamidi et al. (2016) به‌منظور برآورد رویش حجمی و تراکم جنگل از داده‌های مربوط به ۳۵۹ قطعه نمونه دائمی ۱۰ آری در جنگل‌های فریم (بخش جوجاده سنگده) استان مازندران استفاده کردند. اندازه‌گیری مجدد طی دورهٔ زمانی ۱۰ ساله نشان داد که حجم در هکتار از ۳۰۹/۸ سیلو در سال ۱۳۸۲ به ۳۵۴/۴ سیلو در سال ۱۳۹۲ و تعداد در هکتار از ۱۷۷/۹ درخت در سال ۱۳۸۲ به ۱۸۸/۱ درخت در سال ۱۳۹۲ رسید. بر همین اساس رویش سالانه ۱۳/۱۴ اصله درخت و ۶/۲۴ سیلو در هکتار به دست آمد. Kalbi et al. (2017) با استفاده از یک شبکهٔ آماربرداری به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر و با اندازه‌گیری ۱۳۰ قطعه نمونهٔ دائمی ۱۰ آری در دو دوره به فاصلهٔ زمانی ۱۰ سال (۱۳۸۳ و ۱۳۹۳) در جنگل‌های سری سه سنگده ساری مقدار رویش حجمی این جنگل را به‌روش مستقیم ۵/۶۵ متر مکعب در هکتار برآورد کردند. Bayat et al. (2021) با اندازه‌گیری مجدد ۲۰ قطعه نمونهٔ دائمی یک هکتاری در یک دامنهٔ زمانی ده‌ساله (۲۰۰۲ و ۲۰۱۲) در جنگل‌های هیرکانی در منطقهٔ صفارود رامسر، مقدار رویش حجمی سالانه این جنگل‌ها را به‌روش مستقیم ۴/۵۲ متر مکعب در هکتار به‌دست آوردند.

شایان ذکر است که سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (سازمان جنگل‌ها و مراتع سابق) پس از انقلاب اسلامی آماربرداری سراسری در جنگل‌های هیرکانی را سه بار در سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ با دو شبکهٔ آماربرداری متفاوت (۵۰۰۰×۲۵۰ متر و ۵۰۰۰×۱۰۰۰ متر) اجرا کرده است، ولی متأسفانه به‌دلیل کمبود تجهیزات لازم در آن زمان، مختصات مراکز قطعه نمونه‌ها ثبت نشد. در آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۵ نیز سعی شد تا مرکز برخی از قطعه نمونه‌های آماربرداری سال ۱۳۷۵ بازیابی شود که آن هم به دلایل مختلف به‌صورت کامل عملیاتی نشد. پس از ۱۰ سال در سال ۱۳۹۵ هم مقرر شد چهارمین دورهٔ آماربرداری سراسری (پس از انقلاب اسلامی) در جنگل‌های هیرکانی کشور توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور اجرایی شود که در حال حاضر پس از ۱۷ سال تأخیر عملیات اجرایی آن از سال ۱۴۰۱ آغاز شده است.

اما در خارج از ایران تحقیقات متعددی به‌منظور محاسبهٔ متغیرهای موجودی و رویش حجمی جنگل با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی انجام گرفته که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

Köhl et al. (1995) در پژوهشی در سوئیس به بررسی کاربرد قطعه نمونه‌های دائمی در مدل‌های رویش و محصول پرداختند و به این نتیجه رسیدند که قطعه نمونه‌های دائمی اطلاعات دقیقی را با توجه به شرایط منطقه و تاریخچهٔ آن برای مدل‌های رویش و عملکرد آنها فراهم می‌کنند که موجب کاهش خلأهای اطلاعاتی و بهبود مدل‌های رشد و محصول می‌شوند. Sterba & Lederman (2006) با آماربرداری جنگل در قطعه نمونه‌های دائمی به مدل‌سازی جنگل‌های در حال عبور از مدیریت همسال به ناهمسال پرداختند. نتایج آنها نشان داد که آماربرداری در قطعه نمونه‌های دائمی همراه با شبیه‌سازی رویش درخت، ابزار مناسبی برای ارزیابی تغییرات مدیریتی جنگل است. Veska et al. (2009) با بررسی تغییرات در قطعه نمونه‌های دائمی (۲۰ ×۲۰ متر) در جنگل‌های بکر آمیختهٔ کوهستانی در اوکراین بعد از ۷۰ سال نشان دادند که ترکیب درختان غالب، راش همراه نراد و نوئل و در برخی گروه‌ها افرا است. Yim et al. (2015) به‌منظور بررسی تغییرات کاربری زمین و متغیرهای توده‌های جنگلی به آماربرداری مجدد در قطعه نمونه‌های دائمی در جنگل‌های کرهٔ جنوبی پس از ۵ سال پرداختند. آنها متغیرهای تراکم درختان، رویه زمینی، موجودی سرپا، متوسط قطر، متوسط ارتفاع، گونه درختی غالب و طبقات مختلف سنی را بررسی کردند. Shanin et al. (2016) به شبیه‌سازی جنگل‌های ناهمسال نوئل در فنلاند با هدف بررسی

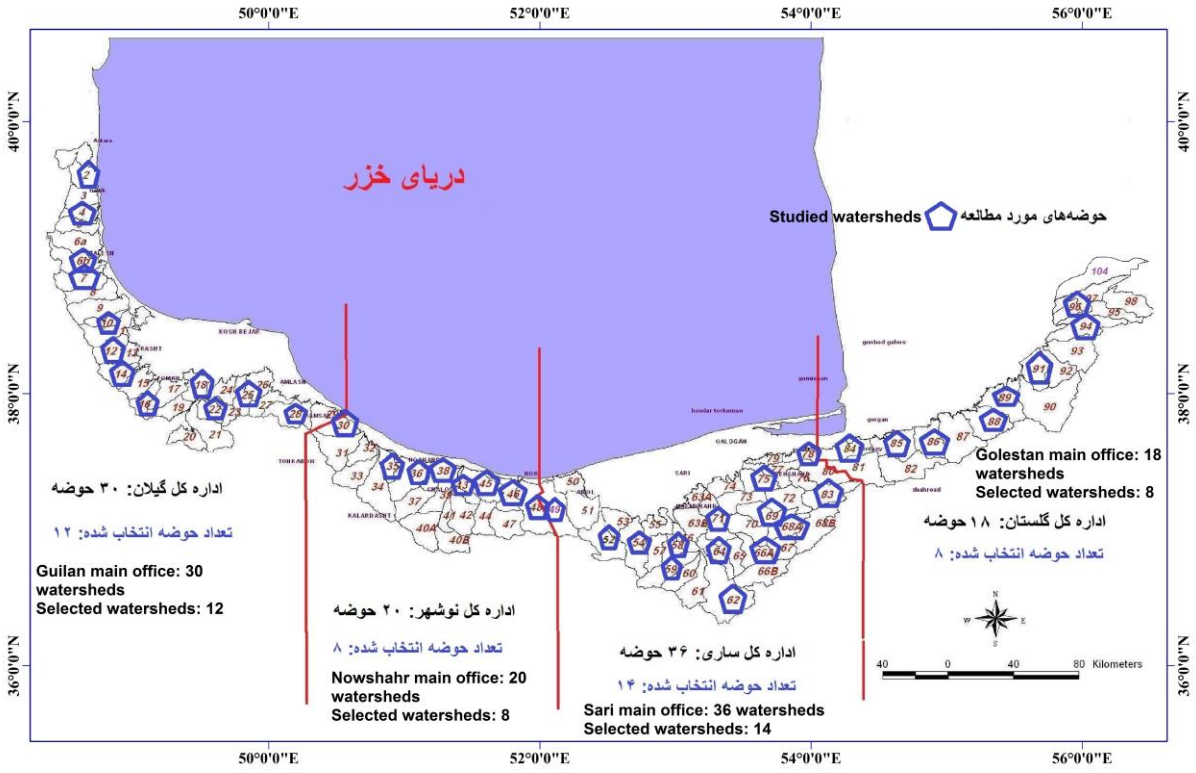
تأثیر شدت‌های مختلف تنک کردن بر مقدار رویش حجمی، با استفاده از داده‌های ۲۰ قطعه نمونهٔ دائمی در طول ۲۵ سال پایش جنگل پرداختند. موجودی حجمی بین ۳۲۰ تا ۴۰۰ متر مکعب در هکتار و رویش حجمی بین ۵ تا ۷ متر مکعب در هکتار در سال به‌دست آمد. Jevšenak & Skudnik (2021) با استفاده از داده‌های چهار دوره آماربرداری ملی جنگل در اسلوونی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی، رویش سطح مقطع درختان را با استفاده از ۱۵۵۸۰ درخت اندازه‌گیری‌شده از گونه‌های کاج، افرا، راش، بلوط، زبان‌گنجشک، نوئل و نراد با استفاده از مدل جنگل تصادفی (Random Forest) برآورد کردند. Welle et al. (2022) با استفاده از ۶۰ هزار قطعه نمونهٔ دائمی حاصل از آماربرداری ملی جنگل در آلمان که روی یک شبکه به ابعاد ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر قرار داشتند، نقشهٔ پهنه‌بندی گونه‌های درختی غالب کشور را با استفاده از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ که با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین (Machine learning) طبقه‌بندی شده بود تهیه کردند. Viet et al. (2023) با استفاده از داده‌های سه دوره آماربرداری ملی جنگل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ در لهستان و با استفاده از ۱۴۶۴ قطعه نمونهٔ دائمی، مدل رویش حجمی درختان بلوط را با استفاده مدل جمعی تعمیم‌یافته (Generalized additive model) و با دخالت دادن عوامل سن درخت، ارتفاع کل، سطح مقطع و شاخص فاصلهٔ نسبی توسعه دادند.

با توجه به سوابق اقدامات یادشده در زمینهٔ آماربرداری در جنگل‌های هیرکانی و فقدان اطلاعات به‌روز و جامع در زمینهٔ موجودی حجمی این جنگل‌ها و مشخصه‌های توده‌های جنگلی، در این پژوهش آماربرداری سراسری در جنگل‌های هیرکانی کشور با استفاده از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای (Two-stage sampling) و قطعه نمونه‌های دائمی در قالب یک طرح تحقیقاتی ملی با هدف برآورد موجودی حجمی این جنگل‌ها (در پایان اولین دورهٔ آماربرداری) و پایش درازمدت موجودی و رویش حجمی آنها (از دورهٔ آماربرداری دوم به بعد) و همچنین ایجاد یک پایگاه دائمی داده برای متغیرهای موجودی این جنگل‌ها از سال ۱۳۹۶ در دستور کار «مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور» قرار گرفت و به اجرا درآمد که نتایج اولین دورهٔ این آماربرداری سراسری در ادامه ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این تحقیق در جنگل‌های ناحیهٔ رویشی هیرکانی ایران انجام گرفته که از ۳۶ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه طول شرقی همچون نوار سبزی از آستارا در استان گیلان تا گلیداغی در استان گلستان به طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر و عرض بین ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر در جنوب دریای خزر و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در سه استان شمالی گیلان، مازندران و گلستان گسترش داشته و شامل ۱۰۴ حوضهٔ آبخیز است (شکل ۱). از این ۱۰۴ حوضهٔ آبخیز، ۳۰ حوضهٔ آبخیز در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، ۲۰ حوضهٔ آبخیز در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- نوشهر، ۳۶ حوضهٔ آبخیز در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- ساری و ۱۸ حوضهٔ آبخیز در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان قرار دارد.



شکل ۱- کل حوضه‌های آبخیز بررسی‌شده به تفکیک ادارات کل منابع طبیعی و آبخیزداری چهارگانه در ناحیهٔ رویشی هیرکانی کشور

Figure 1. All watersheds and studied watersheds separated by the four Department of Natural Resources and Watershed Management main offices in the Hyrcanian vegetation region of Iran

شیوهٔ اجرای پژوهش

به‌منظور جمع‌آوری داده‌های لازم از همهٔ قسمت‌های مختلف جنگل، باید پراکنش قطعه نمونه‌ها در سطح منطقه، یکنواخت و مناسب باشد، به‌طوری که قطعه نمونه‌ها در همهٔ رویشگاه‌ها، تیپ‌های جنگلی و گرادیان‌های مختلف ارتفاعی قرار گیرند. همچنین در برخی از موارد به‌دلیل گستردگی و وسعت زیاد منطقه، امکان نمونه‌برداری در همهٔ مناطق و نواحی مورد نظر وجود ندارد. به همین دلیل در این تحقیق از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای (Two- stage sampling) استفاده شد (Zobeiri, 2007). هنگامی که امکان نمونه‌برداری در سراسر محدوده‌ای وسیع به دلایل مختلف (بودجه، زمان، امکانات، نیروی انسانی) وجود ندارد، از این روش استفاده می‌شود.

در روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای، در مرحلهٔ اول، منطقه به قطعات یا بلوک‌هایی تقسیم می‌شود (مانند حوضه‌های آبخیز جنگل‌های هیرکانی کشور) و سپس تعدادی از این بلوک‌ها (حوضه‌ها) به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. در مرحلهٔ دوم، نمونه‌برداری با استفاده از یکی از روش‌های تصادفی (در اینجا به‌صورت منظم-تصادفی) فقط در قطعات یا بلوک‌های تصادفی منتخبِ مرحلهٔ اول (در اینجا یعنی حوضه‌های آبخیز) انجام می‌گیرد. بدین ترتیب هم تمرکز ایجاد می‌شود و در نتیجه هزینهٔ آماربرداری جنگل کاهش می‌یابد و هم اصول نمونه‌برداری تصادفی به‌منظور تعمیم نتایج به سطح رعایت می‌شود.

محاسبات آماری در روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای براساس روابط زیر انجام می‌گیرد (Zobeiri, 2007).

محاسبهٔ میانگین هر بلوک از رابطهٔ ۱:

رابطهٔ ۱
$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^{k_j} x_{ij}}{k}$$

محاسبهٔ میانگین کل بلوک‌ها از رابطهٔ ۲:

رابطهٔ ۲
$$\bar{X}_T = \frac{\sum_{j=1}^{m} \bar{x}_j}{m}$$

محاسبهٔ اشتباه معیار کل از رابطهٔ ۳:

رابطهٔ ۳
$$S_{\bar{x}_T} = \sqrt{\frac{1}{k \times m} \times \left[S^2_B \times \left(1 - \frac{m}{M}\right) + \frac{m \times S^2_{in}}{M} \times \left(1 - \frac{k}{K}\right) \right]}$$

محاسبهٔ درصد دقت نمونه‌برداری از رابطهٔ ۴:

رابطهٔ ۴
$$E\% = \frac{S_{\bar{x}_T} \times t}{\bar{X}_T} \times 100$$

در رابطه‌های بالا: x_{ij}: موجودی قطعه نمونه i از بلوک j؛ k_j: تعداد قطعه نمونهٔ برداشت‌شده در بلوک j؛ K: تعداد قطعه نمونهٔ قابل برداشت در هر بلوک؛ M: تعداد بلوک‌های در کل منطقه (مرحلهٔ اول)؛ m: تعداد بلوک‌های انتخاب‌شده به‌صورت تصادفی در مرحلهٔ دوم؛ t: مقدار جدول تی استیودنت؛ S^2_B: واریانس بین بلوک‌ها و S^2_{in} واریانس داخل بلوک‌ها که از رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند (k: تعداد قطعه نمونهٔ برداشت‌شده در هر بلوک):

رابطهٔ ۵
$$S^2_B = \frac{\sum_{j=1}^{m} \left(\sum_{i=1}^{k_j} x_{ij} \right)^2}{k} - \frac{\left(\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{k_j} x_{ij} \right)^2}{k \times m}}{m - 1}$$

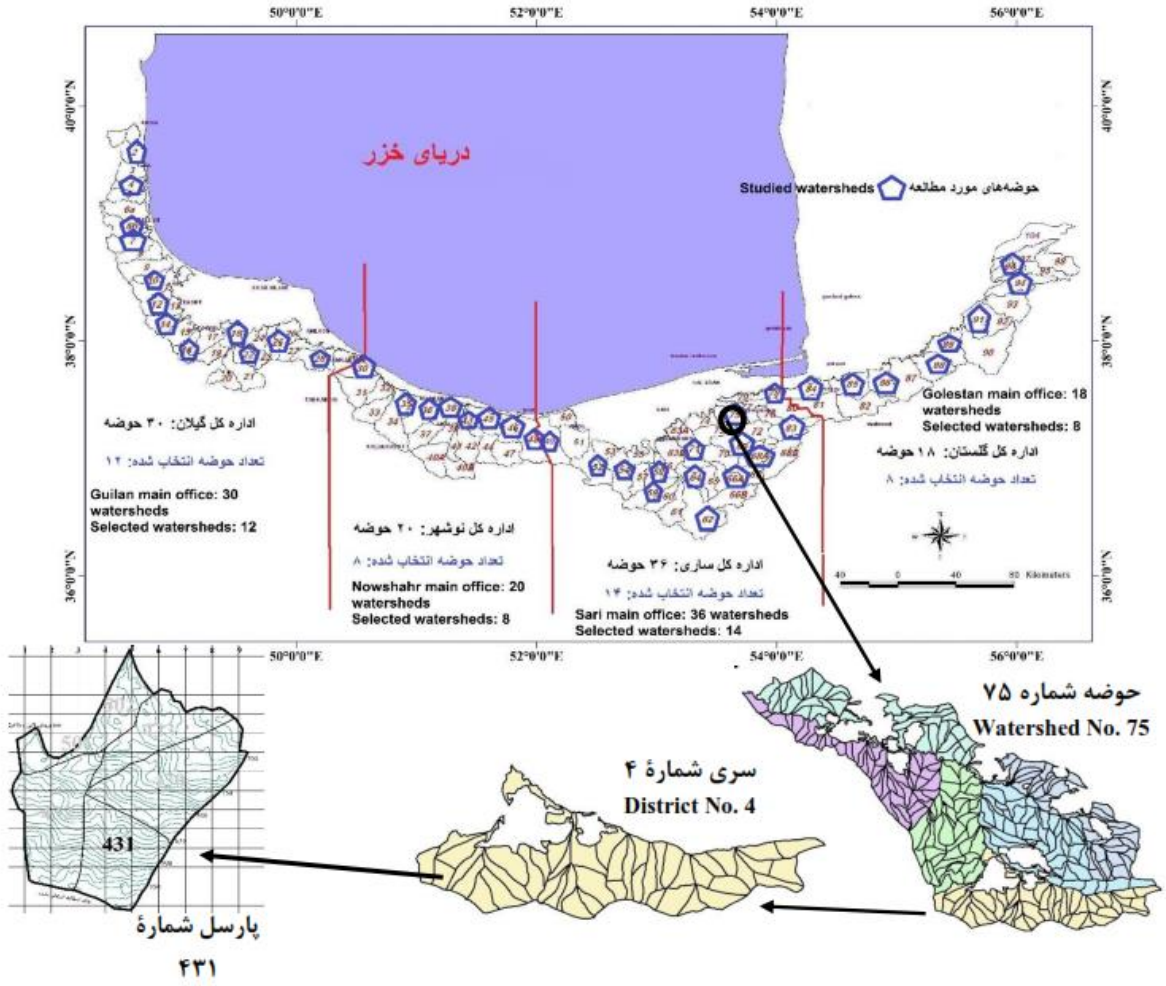
رابطهٔ ۶
$$S^2_{in} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{k_j} x^2_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^{m} \left(\sum_{i=1}^{k_j} x_{ij} \right)^2}{k}}{m(k-1)}$$

در این تحقیق با استفاده از روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای ابتدا ۴۰ درصد از ۱۰۴ حوضهٔ آبخیز جنگل‌های هیرکانی، یعنی ۴۲ حوضهٔ آبخیز، به‌صورت تصادفی در محدودهٔ چهار ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری در شمال کشور انتخاب شد. این ۴۲ حوضهٔ آبخیز شامل ۱۲ حوضهٔ آبخیز از ۳۰ حوضهٔ آبخیز موجود در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، ۸ حوضهٔ آبخیز از ۲۰ حوضهٔ آبخیز موجود در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- نوشهر، ۱۴ حوضهٔ آبخیز از ۳۶ حوضهٔ آبخیز موجود در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- ساری و ۸ حوضهٔ آبخیز از ۱۸ حوضهٔ آبخیز موجود در محدودهٔ فعالیت ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان بود (شکل ۱). سپس در هر حوضهٔ آبخیز منتخب، یک سری جنگل به‌صورت تصادفی انتخاب شد. آن‌گاه در هر سری تصادفی محدوده‌ای به مساحت تقریبی ۱۰۰ هکتار که ۳۰ قطعه نمونهٔ تصادفی (حداقل تعداد قطعه نمونهٔ قابل قبول از نظر آماری) را در شبکه‌ای منظم به ابعاد ۲۰۰ ×۱۵۰ متر (الگوی دستگاه اجرایی) در خود جای دهد انتخاب شد که به‌طور متوسط ۲ تا ۳ پارسل مجاور را در بر می‌گرفت (شکل ۲).

براساس این روش، حوضه‌های آبخیز زیر در محدودهٔ چهار ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری در ناحیهٔ رویشی هیرکانی کشور برای آماربرداری با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی انتخاب شدند:

در محدودهٔ ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان:

۱- حوضهٔ شمارهٔ ۲ لوندویل (آستارا): سری ۵ تک جم (بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ پارسل ندارد) (پایین‌بند)
۲- حوضهٔ شمارهٔ ۴ شیرآباد مشایخ (تالش): سری ۵ مشایخ، پارسل ۵۰۳ (بالابند)
۳- حوضهٔ شمارهٔ ۶ ب کرگانرود (تالش): سری ۱ رِک، پارسل‌های ۱۰۵، ۱۰۸ و ۱۰۹ (میان‌بند)
۴- حوضهٔ شمارهٔ ۷ ناو (اسالم): سری ۳ ناو، پارسل‌های ۳۴۰، ۳۵۰ و ۳۵۱ (بالابند)
۵- حوضهٔ شمارهٔ ۱۰ چفرود (رضوان‌شهر): سری ۲ لته‌تره، پارسل‌های ۳۰ تا ۳۲ (میان‌بند)
۶- حوضهٔ شمارهٔ ۱۲ ماسال (ماسال): سری ۵ شهرگاه، پارسل‌های ۵۰۲ و ۵۰۵ (میان‌بند)



شکل ۲- نحوهٔ انتخاب سری و پارسل تصادفی در روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای

Figure 2. Random compartment and parcel selection strategy in a two- stage sampling method

۷- حوضهٔ شمارهٔ ۱۴ ماسوله (فومن): سری ۱، پارسل‌های ۱۰۸ تا ۱۱۰ (بدون طرح جنگلداری) (پایین‌بند)

۸- حوضهٔ شمارهٔ ۱۶ سیاه‌مزگی (شفت): (بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ سری و پارسل ندارد- تحت حفاظت سازمان محیط زیست) (پایین‌بند)

۹- حوضهٔ شمارهٔ ۱۸ لاکان (رشت): سری ۱ کچا، پارسل‌های ۱۲۶، ۱۲۸ و ۱۲۹ (جنگل‌کاری) (پایین‌بند)

۱۰- حوضهٔ شمارهٔ ۲۲ فری‌رود (امامزاده هاشم)، سری ۲ شکارپشته، (بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ پارسل ندارد- حفاظتی) (پایین‌بند)

۱۱- حوضهٔ شمارهٔ ۲۵ شن‌رود (سیاهکل): سری ۵ رنگال، پارسل‌های ۵۰۳ تا ۵۰۶ (پایین‌بند)

۱۲- حوضهٔ شمارهٔ ۲۸ پلی‌رود (املش): سری ۴ شلیشه، پارسل‌های ۴۱۹ و ۴۲۰ (بالابند)

در محدودهٔ ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- نوشهر:

۱- حوضهٔ شمارهٔ ۳۰ صفارود (رامسر): سری ۵ صفارود، پارسل‌های ۵۱۳ و ۵۱۴ (میان‌بند)

۲- حوضهٔ شمارهٔ ۳۵ لیره‌سر (تنکابن): سری ۴ لیره‌سر، پارسل‌های ۴۲۴ و ۴۲۵ (پایین‌بند)

۳- حوضهٔ شمارهٔ ۳۶ کاظم‌رود (نشتارود- تنکابن): سری ۳ گوسر، پارسل ۳۲۸ (پایین‌بند)

۴- حوضهٔ شمارهٔ ۳۸ سردآبرود پایین (کلاردشت): سری ۱۱ بازیاب، پارسل‌های ۳۴ و ۳۵ (بالابند)
۵- حوضهٔ شمارهٔ ۴۳ دلسم (چالوس): بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ سری و پارسل ندارد (تحت حفاظت سازمان محیط زیست) (پایین‌بند)
۶- حوضهٔ شمارهٔ ۴۵ گلبند (نوشهر): سری ۷ نیرنگ، پارسل‌های ۲۹ و ۳۰ (پایین‌بند)
۷- حوضهٔ شمارهٔ ۴۶ کجور (کجور- نوشهر): سری ۴ شیوادره، پارسل‌های ۴۰۱، ۴۰۲ و ۴۱۳ (بدون طرح جنگلداری) (میان‌بند)
۸- حوضهٔ شمارهٔ ۴۸ گلندرود (رویان- نور): سری ۱۳ تارکین، پارسل‌های ۲۱ تا ۲۵ (میان‌بند)

در محدودهٔ ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- ساری:

۱- حوضهٔ شمارهٔ ۴۹ لاویج (چمستان- نور): سری ۲، پارسل‌های ۲۰۱ تا ۲۰۳ (بالابند)
۲- حوضهٔ شمارهٔ ۵۲ منگل هراز (آمل): سری ۷، پارسل‌های ۷۱۰، ۷۱۲ و ۷۱۴ (پایین‌بند)
۳- حوضهٔ شمارهٔ ۵۴ دیوا (بندپی- بابل): سری ۵، پارسل‌های ۱۶ و ۱۷ (بدون طرح جنگلداری) (پایین‌بند)
۴- حوضهٔ شمارهٔ ۵۸ لفورک (بابل): سری ۳ کارسنگ رود، پارسل‌های ۳۰۸، ۳۱۴ و ۳۱۵ (میان‌بند)
۵- حوضهٔ شمارهٔ ۵۹ کارمزد (زیرآب- سوادکوه): سری ۴ کارمزد، پارسل‌های ۴۰۷ و ۴۰۸ (بالابند)
۶- حوضهٔ شمارهٔ ۶۲ دهمیان (پل‌سفید- سوادکوه): سری ۳ دهمیان، پارسل‌های ۹ و ۱۰ (میان‌بند)
۷- حوضهٔ شمارهٔ ۶۴ سنگده (ساری): سری ۲ اَشَک، پارسل‌های ۲۶۸ و ۲۶۹ (میان‌بند)
۸- حوضهٔ شمارهٔ ۶۶ الف پاردوکلا- بولا (فریم- ساری): سری ۴ بولا، پارسل‌های ۱۹ تا ۲۲ (بالابند)
۹- حوضهٔ شمارهٔ ۶۸ الف کیاسر (کیاسر): سری جمال‌الدین‌کلا، پارسل‌های ۱۲ و ۱۳ (میان‌بند)
۱۰- حوضهٔ شمارهٔ ۶۹ هفت‌خال (نکا): بخش ۱، سری ۴، پارسل‌های ۱، ۱۱ و ۱۶ (میان‌بند)
۱۱- حوضهٔ شمارهٔ ۷۱ لاجیم (ساری): سری ۴ امره یک، پارسل‌های ۸ و ۹ (پایین‌بند)
۱۲- حوضهٔ شمارهٔ ۷۵ بالا زرندین (هزارجریب- نکا): حوضهٔ ۱، بخش ۲ نکاچوب، سری ۴ چلمردی، پارسل‌های ۴۳۰ تا ۴۳۳ (میان‌بند)
۱۳- حوضهٔ شمارهٔ ۷۸ گلوگاه (گلوگاه): سری ۲ عباس‌آباد، پارسل‌های ۲۲۶ و ۲۲۷ (پایین‌بند)
۱۴- حوضهٔ شمارهٔ ۸۳ زروم (بهشهر): بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ سری و پارسل ندارد- تحت حفاظت سازمان محیط زیست) (بالابند)

در محدودهٔ ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان:

۱- حوضهٔ شمارهٔ ۸۴ لیوان- بنفشه‌تپه (کردکوی): سری ۱ لیوان، پارسل‌های ۱۱۴ و ۱۱۵ (پارسل ۱۱۴ شاهد است) (میان‌بند)
۲- حوضهٔ شمارهٔ ۸۵ شموشک (گرگان): سری ۴، پارسل‌های ۴۰۷ تا ۴۱۰ (پایین‌بند)
۳- حوضهٔ شمارهٔ ۸۶ گرمابدشت (توسکستان- گرگان): سری ۱ نومل، پارسل‌های ۱۷۲ تا ۱۷۴ (ذخیره‌گاه راش قزلق: سفالی پایین) (بالابند)
۴- حوضهٔ شمارهٔ ۸۸ زرین‌گل (علی‌آباد کتول): سری ۱، پارسل‌های ۱۰۴ و ۱۰۵ (میان‌بند)
۵- حوضهٔ شمارهٔ ۸۹ قره‌چای (رامیان): سری ۱ کوهمیان، پارسل‌های ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۹ (پایین‌بند)

۶- حوضهٔ شمارهٔ ۹۱ مینودشت (مینودشت): سری ۴، پارسل‌های ۴۲۶ و ۴۲۷ (بالابند)
۷- حوضهٔ شمارهٔ ۹۴ گلستان (لوه): سری ۱ لوه، پارسل‌های ۱۱۳ و ۱۱۴ (بالابند)
۸- حوضهٔ شمارهٔ ۹۶ کلاله (کلاله): بدون طرح جنگلداری: شمارهٔ سری و پارسل ندارد (پایین‌بند)

پس از مشخص شدن یک یا چند پارسل تصادفی براساس روش یادشده، یک شبکهٔ نمونه‌برداری به ابعاد ۲۰۰ ×۱۵۰ متر در داخل پارسل یا پارسل‌های موردنظر به‌صورت تصادفی قرار گرفت و در محل تقاطع اضلاع این شبکه، قطعه نمونه‌های دایره‌ای ۰/۱ هکتاری با شعاع ۱۷/۸۴ متر به‌منظور آماربرداری از جنگل به‌صورت دائمی و ثابت پیاده شدند. به‌منظور دائمی شدن قطعه نمونه‌ها پس از مشخص شدن مرکز قطعه نمونه در عرصهٔ جنگل، ابتدا مختصات مکانی آنها در سیستم مختصات UTM با استفاده از دستگاه GPS در فرم‌های آماربرداری ثبت شد. سپس شمارهٔ قطعه نمونه روی تنهٔ نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه نمونه با رنگ یادداشت شد. پس از آن فاصله و زاویهٔ (آزیموت) این درخت تا مرکز قطعه نمونه تعیین و در فرم آماربرداری ثبت شد تا در مراجعات بعدی بتوان به‌آسانی مراکز قطعه نمونه‌ها را برای اندازه‌گیری‌های مجدد بازیابی کرد.

سپس در داخل هر قطعه نمونه، قطر همهٔ گونه‌های درختی قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابرسینه با خط‌کش دوبازو (تا قطر ۱۰۰ سانتی‌متر و بیشتر از آن با نوار قطرسنج) اندازه‌گیری و مقادیر آنها در طبقات قطری ۱ سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به‌تفکیک گونه ثبت شد. همچنین با توجه به دائمی بودن قطعه نمونه‌ها، فاصله و زاویهٔ (آزیموت) درختان داخل هر قطعه نمونه نسبت به مرکز آن در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به‌ترتیب با دستگاه ورتکس (Vertex III) و قطب‌نمای سونتو ثبت شد تا محل و موقعیت همهٔ درختان در محدودهٔ هر قطعه نمونه کاملاً مشخص و قابل بازیابی باشد. برای رسم منحنی ارتفاع به‌منظور محاسبهٔ حجم درختان، ارتفاع نزدیک‌ترین درخت به مرکز هر قطعه نمونه و همچنین قطورترین درخت در داخل هر قطعه نمونه نیز با استفاده از دستگاه ورتکس III (ساخت سوئد) اندازه‌گیری و ثبت شد.

برآورد ارتفاع درختان با استفاده از منحنی ارتفاع توده

با توجه به اینکه در هر قطعه نمونه ارتفاع دو درخت، یکی نزدیک‌ترین به مرکز قطعه نمونه و دیگری قطورترین در داخل قطعه نمونه اندازه‌گیری شد، در هر حوضه حدود ۶۰ درخت تعیین ارتفاع شدند که براساس قطر و ارتفاع آنها رابطهٔ رگرسیونی منحنی ارتفاع هر حوضه به‌طور جداگانه و به‌روش پرودان (رابطهٔ ۷) محاسبه و به‌منظور برآورد ارتفاع بقیه درختان در محدودهٔ قطعه نمونه‌ها به‌کار گرفته شد.

$$H = \frac{d^2}{b_0 + b_1 d + b_2 d^2} + 1.3$$ رابطهٔ ۷

H: ارتفاع کل درخت به متر و d: قطر برابرسینه به سانتی‌متر است.

محاسبهٔ حجم سرپای درختان

به‌منظور محاسبهٔ حجم درختان سرپا در داخل قطعه نمونه‌ها و در نهایت موجودی حجمی تودهٔ جنگلی از روابط رگرسیون حجمی دوعامله (براساس قطر برابرسینه و ارتفاع) هر گونهٔ درختی، مستخرج از کتابچه‌های «جداول حجم درختان جنگلی جنگل‌های استان‌های گیلان، مازندران و گلستان» (Forests & Rangelands Organization of Iran, 1985; 2002; 2014) برای حوضه‌های مختلف با توجه به نوع گونه و ارتفاع از سطح دریای منطقه آماربرداری مندرج در کتابچه‌ها استفاده شد که دو نمونه از آنها برای مثال به‌صورت رابطه‌های ۸ و ۹ است:

رابطهٔ ۸ برای محاسبهٔ حجم درختان راش در استان مازندران و برای منطقه نوشهر و ارتفاع بیشتر از ۱۰۰۰ متر:

رابطهٔ ۸ $V= (0.000026364\times d^2\times H) + (0.0000342059\times d^2) - 0.0405$

رابطهٔ ۹ برای درختان ممرز خوش‌فرم در استان‌های مازندران و گلستان:

رابطهٔ ۹ $V= 0.000023\times (H\times d^2)^{1.0432}$

به‌طوری که H: ارتفاع کل درخت به متر، d: قطر برابرسینه به سانتی‌متر و V: حجم درخت به متر مکعب است.

نتایج

پس از اتمام آماربرداری در ۴۲ حوضهٔ آبخیز منتخب از ۱۰۴ حوضهٔ آبخیز موجود در جنگل‌های هیرکانی کشور، در مجموع ۱۱۹۵ قطعه نمونهٔ ۱۰ آری دایره‌شکل پیاده و در نهایت ۳۳۵۱۷ اصله درخت در داخل این قطعه نمونه‌ها بررسی و اندازه‌گیری شد. سپس محاسبات مربوط به برآورد میانگین متغیرهای زیست‌سنجی شامل قطر برابرسینه، رویه زمینی، حجم سرپا و تراکم جنگل در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی با استفاده از این تعداد قطعه نمونه انجام گرفت. نتایج نشان داد که میانگین متغیرهای قطر سطح مقطع متوسط، رویه زمینی، حجم سرپا و تراکم جنگل در محدودهٔ این جنگل‌ها به‌ترتیب ۳۸ سانتی‌متر (میانگین حسابی قطر: ۲۹/۵ سانتی‌متر)، ۲۹ متر مربع در هکتار، ۳۵۹ متر مکعب در هکتار و ۳۴۰ پایه در هکتار است. همچنین دقت برآورد میانگین همهٔ این متغیرها به‌جز تراکم، در حد قابل قبول و کمتر از ۱۰ درصد خطا بوده است (جدول ۱).

محاسبات یادشده یک بار دیگر به‌تفکیک طبقات ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند انجام گرفت، به‌طوری که در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند (تا ارتفاع ۷۰۰ متر از سطح دریا) ۴۶۰ قطعه نمونه، در میان‌بند (۷۰۰-۱۵۰۰ متر) ۴۱۴ قطعه نمونه و در بالابند (بیشتر از ۱۵۰۰ متر) ۳۲۱ قطعه نمونه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین موجودی حجم سرپا در محدودهٔ ارتفاعی میان‌بند با ۴۱۳/۷ متر مکعب در هکتار و کمترین آن در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند با ۲۸۶/۱ متر مکعب در هکتار مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین تراکم یا تعداد در هکتار جنگل در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند و بالابند به‌ترتیب با ۳۷۵ و ۳۶۰ اصله در هکتار بوده است (جدول ۲).

شکل ۳ نمودار پراکنش تعداد در هکتار در طبقات قطری را در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور نشان می‌دهد. براساس این نمودار ساختار توده‌های بررسی‌شده در این محدوده با توجه به شکل کم‌شوندهٔ نمودار در مجموع ناهمسال است و بیشترین تراکم با حدود ۷۵ پایه در هکتار در طبقهٔ قطری ۱۰ سانتی‌متری (محدودهٔ قطری ۷/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر) مشاهده می‌شود. همچنین براساس شکل ۳ بیشترین قطر اندازه‌گیری‌شده از درختان ۱۸۵ سانتی‌متر است.

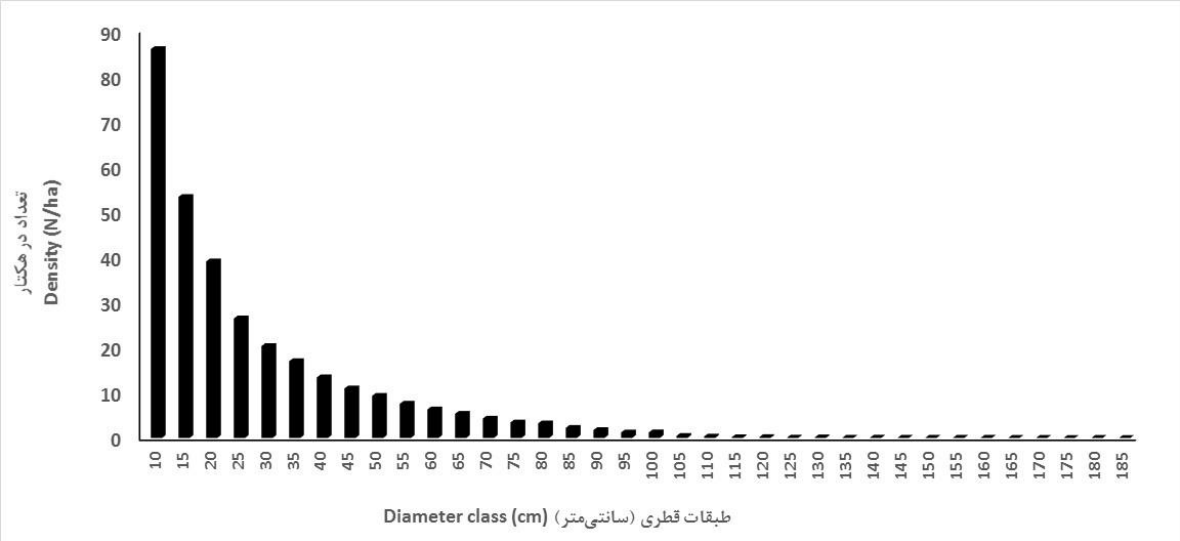
جدول ۱- مشخصات آماری متغیرهای موجودی جنگل براساس میانگین ۴۲ حوضه آماربرداری‌شده در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور

Table 1. Summery statistics of forest stock variables based on 1195 measured sample plots in the Hyrcanian forests of Iran

متغیر Variable / آماره Statistic	قطر سطح مقطع متوسط (سانتی‌متر) QMD (cm)	رویه زمینی (مترمربع/ هکتار) Basal area (m^2/ha)	حجم سرپا (متر مکعب/ هکتار) Standing Vol. (m^3/ha)	تراکم (تعداد در هکتار) Density (N/ha)
میانگین Mean	38	29	359	340
اشتباه معیار Standard Error	1.4	0.78	15.4	19.9
کمینه Minimum	16.3	20.5	191.5	66
بیشینه Maximum	69.7	41.3	645.9	1107
دقت نمونه‌برداری Precision (*E%*)	7.3%	5.4%	8.6%	11.7%

جدول ۲- میانگین متغیرهای موجودی جنگل به‌تفکیک طبقات ارتفاع از سطح دریا در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور
Table 2. Mean values of forest stock variables based on altitudinal classes in the Hyrcanian forests of Iran

طبقه ارتفاعی Altitudinal class	قطر سطح مقطع متوسط (سانتی‌متر) QMD (cm)	رویه زمینی (مترمربع/ هکتار) Basal area (m^2/ha)	حجم سرپا (متر مکعب/ هکتار) Standing Vol. (m^3/ha)	تراکم (تعداد در هکتار) Density (N/ha)
پایین‌بند Low land	34.3	26.4	286.1	375
میان‌بند Middle land	41.4	30.1	413.7	305
بالابند High land	39.8	31.1	401.9	360

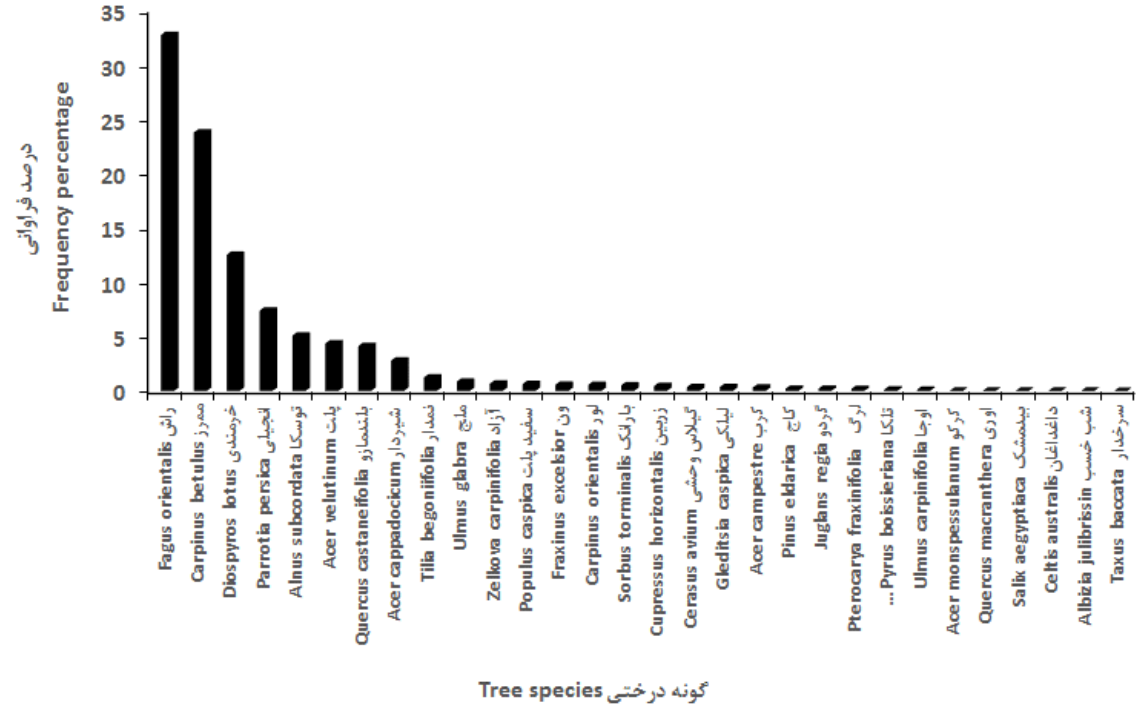


شکل ۳- نمودار پراکنش تعداد در هکتار در طبقات قطری در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور
Figure 3. Density distribution of trees (per hectare) across diameter classes in the Hyrcanian forests of Iran

شکل ۴ نمودار درصد فراوانی گونه‌های درختی مشاهده‌شده در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور را نشان می‌دهد. براساس این نمودار گونهٔ راش (*Fagus orientalis* Lipsky) با حدود ۳۳ درصد فراوانی، پرتعدادترین گونهٔ درختی مشاهده‌شده در این جنگل‌هاست و پس از آنها گونهٔ ممرز (*Carpinus betulus* L.) با حدود ۲۴ درصد فراوانی در رتبه دوم قرار می‌گیرد. بنابراین دو گونهٔ راش و ممرز در مجموع ۵۶/۵ درصد فراوانی گونه‌های درختی را در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور به خود اختصاص داده‌اند.

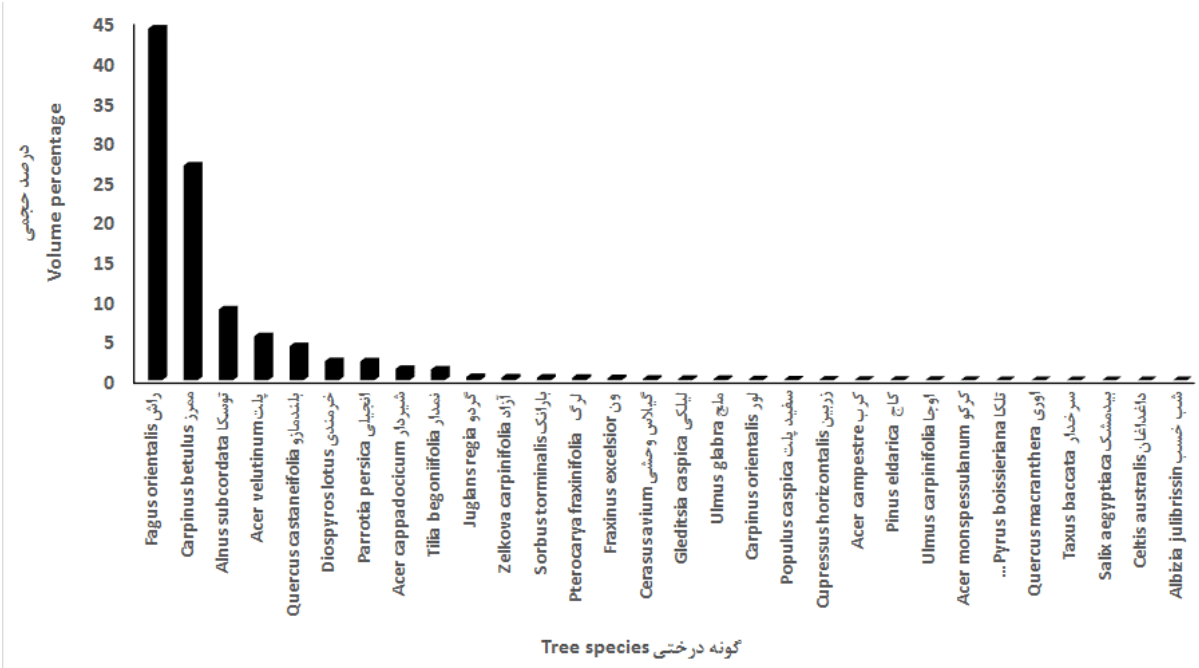
شکل ۵ نمودار درصد حجم موجودی گونه‌های درختی مشاهده‌شده در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور را نشان می‌دهد. براساس این نمودار بیشترین درصد حجمی مربوط به گونهٔ راش با ۴۴/۲ درصد و پس از آن متعلق به گونهٔ ممرز با مقدار ۲۷ درصد است. بنابراین دو گونهٔ راش و ممرز در مجموع ۷۱/۲ درصد حجم سرپای گونه‌های درختی را در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور به خود اختصاص داده‌اند.

شکل ۶ نمودار توزیع موجودی حجمی جنگل در هکتار را به‌تفکیک طبقات قطری در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور نشان می‌دهد. براساس این نمودار بیشترین موجودی حجمی در طبقات قطری ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر (طبقات قطور و خیلی قطور) با موجودی حدود ۲۵ متر مکعب در هکتار برای هر طبقهٔ قطری مشاهده می‌شوند.



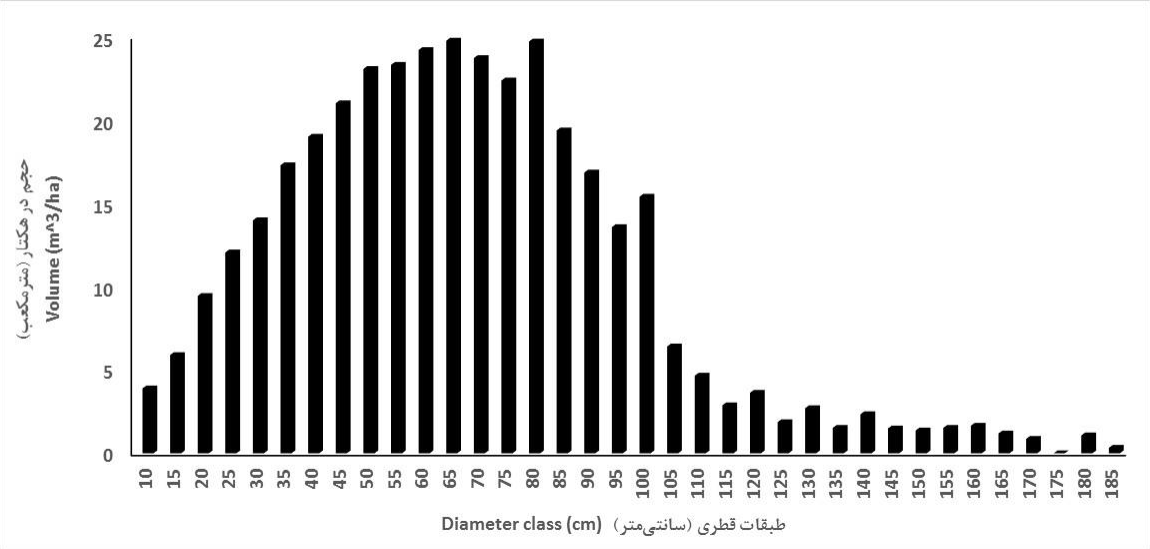
شکل ۴- نمودار درصد فراوانی گونه‌های درختی مشاهده‌شده در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور

Figure 4. Relative frequency (%) of tree species in the Hyrcanian forests of Iran



شکل ۵- نمودار درصد حجم موجودی گونه‌های درختی مشاهده‌شده در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور

Figure 5. Volume percentage of tree species in the Hyrcanian forests of Iran



شکل ۶- نمودار توزیع موجودی حجمی جنگل در هکتار در طبقات قطری مختلف در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی کشور
Figure 6. Standing volume distribution (per hectare) across diameter classes in the Hyrcanian forests of Iran

بحث

در این آماربرداری سراسری در ناحیهٔ هیرکانی با استفاده از قطعه نمونه‌های دائمی، در مجموع ۱۱۹۵ قطعه نمونهٔ ۱۰ آری دایره‌شکل پیاده و در نهایت ۳۳۵۱۷ پایه درخت در داخل این قطعه نمونه‌ها بررسی و اندازه‌گیری شد. نتایج متغیرهای زیست‌سنجی بررسی‌شده نشان داد که میانگین متغیرهای قطر سطح مقطع متوسط، رویه زمینی، حجم سرپا و تراکم جنگل در محدودهٔ این جنگل‌ها به‌ترتیب برابر ۳۸ سانتی‌متر (میانگین حسابی قطر: ۲۹/۵ سانتی‌متر)، ۲۹ متر مربع در هکتار، ۳۵۹ متر مکعب در هکتار و ۳۴۰ پایه در هکتار است (جدول ۱).

براساس نتایج آخرین آماربرداری سراسری در جنگل‌های هیرکانی کشور در سال ۱۳۸۵ یعنی ۱۷ سال پیش (Forests & Rangelands Organization of Iran, 2007)، میانگین موجودی حجمی این جنگل‌ها با حد شمارش قطری ۱۲/۵ سانتی‌متر، ۲۴۲/۴ متر مکعب در هکتار با تراکم ۲۰۱ پایه در هکتار بوده است که با میانگین اعداد به‌دست‌آمده برای این دو متغیر در این تحقیق (جدول ۱) تفاوت زیادی دارد و به‌صورت معنی‌داری کمتر است. برای مقایسهٔ بهتر نتایج این دو آماربرداری (تحقیق پیش رو و آماربرداری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۸۵) باید حد شمارش‌ها یکسان می‌شد. به همین دلیل این کار در تجزیه‌وتحلیل نتایج تحقیق پیش رو انجام گرفت و هنگامی که حد شمارش قطری درختان از ۷/۵ سانتی‌متر به ۱۲/۵ سانتی‌متر افزایش یافت، نتایج نشان داد که با حذف طبقهٔ قطری ۱۰، یعنی دامنهٔ قطری ۷/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر، میانگین حجم سرپا از ۳۵۹ به ۳۵۵/۱ متر مکعب در هکتار، میانگین رویه زمینی جنگل از ۲۹ به ۲۸/۱ متر مربع در هکتار و تراکم جنگل از ۳۴۰ به ۲۵۴ اصله در هکتار کاهش یافت که اعداد به‌دست‌آمده همچنان تفاوت معنی‌داری با نتایج آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۵ سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور دارد. این تفاوت زیاد ممکن است به‌دلیل تفاوت در روش‌های نمونه‌برداری، تعداد قطعه نمونه‌های برداشت‌شده (در آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۵ سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور از ۲۹۱۶ قطعه نمونه در محاسبات استفاده شد)، دقت به‌کاررفته در پیاده کردن و اندازه‌گیری درختان و مهم‌تر از همه تفاوت زمانی ۱۷ ساله بین دو آماربرداری باشد. زیرا ممکن است در طول این مدت موجودی حجمی جنگل‌های هیرکانی در اثر فعالیت‌های احیایی و توسعه‌ای و حفاظت و مراقبت‌ها

واقعاً افزایش یافته باشد. حتی می‌توان احتمال داد که طرح تنفس (استراحت جنگل) که از سال ۱۳۹۶ اجرایی شده و پس از آن قطع و بهره‌برداری رسمی از این جنگل‌ها عملاً متوقف شده سبب افزایش موجودی حجمی این جنگل‌ها شده است. با این‌حال با توجه به اتمام عملیات زمینی آخرین آماربرداری سراسری سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در جنگل‌های هیرکانی در انتهای سال ۱۴۰۲ باید منتظر انتشار نتایج آن بود تا مقایسهٔ دقیق‌تری بین این دو آماربرداری انجام گیرد.

بنابراین با توجه به موجودی‌های به‌دست‌آمده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که در جنگل‌های هیرکانی کشور:

- موجودی حجمی سرپای جنگل به مقدار ۳/۹ متر مکعب در هکتار مربوط به طبقهٔ قطری ۱۰ است، یعنی حدود ۱ درصد موجودی حجمی جنگل مربوط به قطرهای ۷/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر است.
- تراکم جنگل به مقدار ۸۶ اصله در هکتار مربوط به طبقهٔ قطری ۱۰ است، یعنی حدود ۲۵ درصد تراکم جنگل مربوط به قطرهای ۷/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر است.
- رویه زمینی جنگل به مقدار ۰/۹ مترمربع در هکتار مربوط به طبقهٔ قطری ۱۰ است، یعنی حدود ۳ درصد رویه زمینی جنگل مربوط به قطرهای ۷/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر است.

همچنین نتایج محاسبات به‌تفکیک طبقات ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند در محدودهٔ جنگل‌های هیرکانی نشان داد که بیشترین موجودی حجمی سرپا در محدودهٔ ارتفاعی میان‌بند و کمترین آن در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین تراکم یا تعداد در هکتار جنگل در محدودهٔ ارتفاعی پایین‌بند و بالابند و کمترین آن در محدودهٔ ارتفاعی میان‌بند مشاهده می‌شود (جدول ۲). البته این نتایج در محدودهٔ چهار ادارهٔ کل یادشده اندکی متفاوت بوده است. اما به‌طور کلی هیچ‌گاه بیشترین حجم موجودی در طبقهٔ ارتفاعی پایین‌بند و همچنین هیچ‌گاه بیشترین تراکم پایه‌ها در طبقهٔ ارتفاعی میان‌بند مشاهده نشد. زیرا جنگل‌های پایین‌بند به‌طور معمول در مجاورت روستاهای حاشیهٔ جنگل هستند و به‌دلیل دامداری، مصارف روستایی، سرشاخه‌زنی، کشاورزی، باغداری و دیگر موارد همواره تحت تأثیر فعالیت‌های روستاییان قرار دارند و در نتیجه به‌طور معمول مخروبه و با درختانی از گونه‌های خرمندی، ممرز و انجیلی هستند که اغلب بدشکل و غیرتجاری‌اند. این درختان به‌طور معمول کم‌قطر هستند و در نتیجه موجودی حجم کمی تولید می‌کنند، همچنین به‌دلیل دخالت‌های انسانی به‌طور معمول چندشاخه‌اند و در نتیجه مقدار تراکم جنگل را افزایش می‌دهند.

در ارتفاعات بالابند نیز به‌طور معمول به‌دلیل سرمای زیاد و طولانی‌مدت، در بسیاری از مناطق درختان به‌صورت شاخه‌زاد دیده می‌شوند که سبب افزایش تعداد در هکتار آنها می‌شود. درحالی که در طبقهٔ ارتفاعی میان‌بند به‌دلیل دوری از روستاها و دامداری‌های سنتی، تخریب اغلب کمتر است. در ضمن راشستان‌های مرغوب و تجاری جنگل‌های هیرکانی با درختانی قطور در مرحلهٔ تحولی اوج یا تخریب که سبب افزایش موجودی حجمی جنگل می‌شوند نیز در این طبقهٔ ارتفاعی حضور دارند. اما در عین‌حال به‌دلیل مسن بودن، تراکم بسیار کمتری در مقایسه با طبقات ارتفاعی دیگر جنگل‌های هیرکانی دارند.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در کل جنگل‌های هیرکانی گونه‌های درختی غالب به‌ترتیب فراوانی شامل راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، خرمندی (*Diospyros lotus* L.)، انجیلی (*Parrotia persica* C.A.Mey.) و توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) هستند (شکل ۴)، اما از نظر مقدار سهم در حجم موجودی سرپا، ترتیب گونه‌ها به‌صورت راش، ممرز، توسکای ییلاقی، پلت (*Acer velutinum* Boiss.) و

بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) است (شکل ۵). زیرا افزون‌بر دو گونهٔ راش و ممرز که رتبهٔ اول را هم از نظر فراوانی و هم از نظر موجودی حجمی حفظ کرده‌اند، درختان گونه‌های توسکای ییلاقی، پلت و بلندمازو به‌طور عمده درختانی قطور و پرحجم هستند. شایان ذکر است که براساس نتایج این پژوهش، دو گونهٔ راش و ممرز در مجموع ۵۶/۵ درصد فراوانی گونه‌های درختی و ۷۱/۲ درصد حجم سرپای جنگل‌های هیرکانی را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۴ و ۵) که این نتیجه در مطابقت با نتایج آخرین آماربرداری سراسری در جنگل‌های هیرکانی کشور در سال ۱۳۸۵ (Forests & Rangelands Organization of Iran, 2007) است که در آن فراوانی دو گونهٔ راش و ممرز در مجموع ۵۱ درصد و درصد حجمی این دو گونه ۶۶ درصد گزارش شده است.

تیپ‌های عمده جنگلی مشاهده‌شده در طبقات ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند در کل جنگل‌های هیرکانی براساس روش Gorgi Bahri (2000) به‌صورت زیر است:

پایین‌بند: بلوط آمیخته؛ انجیلی، ممرز؛ انجیلی- ممرز؛ ممرز- انجیلی؛ ممرز، انجیلی؛ خرمندی- ممرز؛ ممرز، خرمندی؛ خرمندی، توسکای ییلاقی؛ خرمندی، ممرز؛ انجیلی- سفیدپلت؛ خرمندی خالص؛ خرمندی، ممرز.

میان‌بند: ممرز، پلت؛ راش، ممرز؛ خرمندی، پلت؛ راش- ممرز؛ ممرز، راش؛ راش- پلت؛ راش- ممرز؛ راش خالص؛ راش- توسکای ییلاقی؛ ممرز- راش.

بالابند: ممرز- پلت؛ راش، ممرز؛ راش- ممرز؛ راش خالص؛ راش آمیخته؛ راش- پلت.

از نظر توزیع حجم در طبقات قطری نیز بیشتر حجم موجودی در طبقات قطری قطور و خیلی قطور جنگل (Akhavan & Sagheb- Talebi, 2012) یعنی در دامنهٔ قطری ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر با حدود ۴۶ درصد حجم موجودی کل مشاهده می‌شود (شکل ۶) که نشان می‌دهد طبقات قطری قطور و خیلی قطور سهم زیادی در حجم توده‌های جنگلی هیرکانی کشور دارند.

با رسم نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطری درختان، به‌منظور ارزیابی شرایط فعلی این جنگل‌ها و مقایسهٔ آن با حالت نزدیک به طبیعت، مشخص شد که تعداد درختان جوان در طبقات قطری کم به‌مراتب بیشتر از درختان قطور است. به‌طوری که این نمودار در کل ناحیهٔ هیرکانی از منحنی کم‌شونده پیروی می‌کند که ناهمسال بودن این جنگل‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۳). این موضوع با تعداد کمتر درختان قطور در طبقات قطری زیاد و قطع و برداشت‌های انجام گرفته در گذشته در این جنگل‌ها که بیشتر از درختان قطور بوده است همخوانی دارد.

Esmaellpour & Sefidi (2024) در فراتحلیلی در مورد موجودی سرپا در جنگل‌های راش ناحیهٔ هیرکانی که با بررسی و جمع‌بندی ۱۸ پژوهش اصیل انجام‌گرفته روی جنگل‌های راش ناحیهٔ هیرکانی کشور صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که میانگین موجودی حجمی جنگل‌های راش هیرکانی ۳۸۶/۸ سیلو در هکتار است، به‌طوری که بیشترین مقدار با ۴۲۴/۴ سیلو در هکتار مربوط به استان گیلان و کمترین مقدار با ۲۸۵/۶ سیلو در هکتار مربوط به استان گلستان است که با نتایج این تحقیق دربارهٔ موجودی جنگل در محدودهٔ ادارات کل گیلان و گلستان همخوانی دارد (نتایج ارائه نشده‌اند).

در مقایسه با نتایج پژوهش‌های دیگر در ناحیهٔ رویشی هیرکانی با هدف برآورد موجودی حجمی این جنگل‌ها در مناطق مختلف آن ملاحظه می‌شود که اعدادی از ۲۶۳ تا ۴۸۴ متر مکعب در هکتار برای موجودی حجمی این جنگل‌ها به شرح زیر گزارش شده است:

Akhavan et al. (2006) در بخش نمخانهٔ جنگل خیرود نوشهر ۴۶۰/۷ سیلو در هکتار؛ Azizi et al. (2010) در جنگل‌های لیره‌سر تنکابن ۳۸۱ متر مکعب در هکتار که با موجودی حجمی حوضهٔ آماربرداری‌شده شمارهٔ ۳۵ لیره‌سر در این تحقیق به میزان ۳۵۳ متر مکعب در هکتار تقریباً همخوانی دارد؛ Bayat et al.

(2014) در بخش گرازبن جنگل خیرود نوشهر ۳۶۷/۷ سیلو در هکتار؛ Kalbi et al. (2014) در جنگل‌های دارابکلای ساری ۳۸۲/۹ متر مکعب در هکتار با تراکم ۳۰۱ پایه در هکتار که با موجودی حجمی حوضهٔ آماربرداری‌شدهٔ شمارهٔ ۷۵ بالازرندین نکا در این تحقیق به میزان ۳۹۵ متر مکعب در هکتار تقریباً همخوانی دارد؛ Akhavan et al. (2014) در سری چلیر جنگل خیرود نوشهر ۴۵۹/۷ متر مکعب در هکتار با تراکم ۲۷۹ پایه در هکتار؛ Eshaghi Rad & Khanalizadeh (2014) در جنگل‌های سری جمند حوضهٔ ۴۵ گلبند نوشهر ۴۸۴ متر مکعب در هکتار؛ Hamidi et al. (2016) در بخش جوجاده سنگده ساری ۳۵۴/۴ سیلو در هکتار؛ Noorian et al. (2014) در جنگل‌های سری ۱ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته گرگان) ۲۹۴/۶ متر مکعب در هکتار با تراکم ۳۶۷ پایه در هکتار؛ Mohammadi et al. (2016) در سری‌های ۱ و ۲ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (حوضهٔ ۸۵ شموشک) ۲۶۲/۹ متر مکعب در هکتار با تراکم ۲۱۴ پایه در هکتار که با موجودی حجمی حوضهٔ آماربرداری‌شدهٔ شمارهٔ ۸۵ شموشک در این تحقیق به میزان ۲۵۰ متر مکعب در هکتار تقریباً همخوانی دارد؛ Karamdost Marian et al. (2019) در سری یک جنگل‌های ناو اسالم گیلان ۲۶۴ متر مکعب در هکتار؛ Hassanzad Navroodi et al. (2019) در سری ۲ جنگل‌های ناو اسالم گیلان ۳۲۳/۳ متر مکعب در هکتار با تراکم ۳۲۰ پایه در هکتار؛ Sagheb Talebi et al. (2021) در سری ۴ طرح جنگلداری لوه در استان گلستان ۴۲۰/۶ متر مکعب در هکتار با تراکم ۳۸۴ پایه در هکتار و Hosseinpour et al. (2023) در سری چهار بخش یک طرح جنگلداری هفت‌خال نکا در مازندران ۳۲۷/۲ متر مکعب در هکتار.

شایان ذکر است که اگر از ۱۳ پژوهش یادشده در بالا که هر کدام خود موجودی حجمی بخشی از جنگل‌های هیرکانی کشور را گزارش کرده‌اند میانگین گرفته شود به عدد ۳۶۸ متر مکعب در هکتار خواهیم رسید که تقریباً در مطابقت با مقدار موجودی حجمی به‌دست‌آمده در تحقیق پیش رو (۳۵۹ متر مکعب در هکتار، جدول ۱) است.

نتیجه‌گیری

با محاسبهٔ موجودی (تراکم، رویه زمینی و حجم سرپا) جنگل‌های هیرکانی افزون‌بر کسب اطلاعات مهم زیست‌سنجی از این مناطق، داده‌های لازم برای مدیریت این منابع، بررسی تنوع زیستی، مقدار ذخیرهٔ کربن، افزایش کیفیت توده‌ها و برنامه‌ریزی برای دخالت‌های پرورشی مانند تنک کردن به‌منظور کنترل کمی و کیفی این جنگل‌ها فراهم می‌شود. در حال حاضر به‌دلیل اجرای طرح تنفس (استراحت) جنگل، قطع درخت در این جنگل‌ها ممنوع است و هیچ‌گونه بهره‌برداری چوبی در آنها انجام نمی‌گیرد، اما با محاسبهٔ رویش این جنگل‌ها به‌روش مستقیم، پس از آماربرداری مجدد این قطعه نمونه‌های دائمی پس از گذشت ۱۰ سال می‌توان از این داده‌ها در شناخت روند تکاملی و تحولی این جنگل‌ها و بررسی وضعیت رویشی گونه‌های مختلف به‌منظور برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار این منابع استفاده کرد.

با وجود توسعه و پیشرفت فنون سنجش از دور و کاربرد آنها در جنگلداری، همچنان نیازمند اندازه‌گیری‌های زمینی در آماربرداری‌های ملی جنگل هستیم، زیرا بسیاری از ویژگی‌های جنگل مانند برآورد مقدار زادآوری و رویش جنگل و همچنین ارزیابی کیفیت چوب درختان نیازمند اندازه‌گیری‌های زمینی دقیق هستند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژهٔ ملی «پایش موجودی سرپا و رویش حجمی جنگل‌های هیرکانی شمال ایران و ارسباران با استفاده از شبکهٔ قطعه نمونه‌های دائمی» به شمارهٔ ثبت ۶۶۶۶ است که در «مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور» اجرا شد. بدین وسیله از حمایت و پشتیبانی مؤسسه در اجرای این پروژه ملی تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh., Namiranian, M., & Mandallaz., D. (2006). Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock using Geostatistics in the Caspian region of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, *59*(1), 89-102. (In Persian)

Akhavan, R., & Sagheb- Talebi, Kh. (2012). Application of bivariate Ripley's K- function for studying competition and spatial association of trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *19*(4), 632-644. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2011.107524. (In Persian)

Akhavan, R., Kia-Daliri, H., Etemad, V., Hassani, M., & Mirakhorlou, Kh. (2014). Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *22*(2), 188-203. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2014.10665. (In Persian)

Forests and Rangelands Organization of Iran. (1985). Volume table of beech trees for forest of Mazandaran province (including Golestan province). Forests and Rangelands Organization of Iran, Deputy of forest, Office of forestry, 366 p. (In Persian)

Forests and Rangelands Organization of Iran. (2002). Volume table of tree species (including: hornbeam, oak, alder and groups of 1 & 2 of Hyrcanian forests. Forests and Rangelands Organization of Iran, Deputy of forest, Office of forestry, 114 p. (In Persian)

Forests and Rangelands Organization of Iran. (2007). Qualitative assessment (periodic inventory) of Hyrcanian forests, period of 2005-2007. Forests and Rangelands Organization of Iran, Deputy of humid and semi humid area, Office of forestry, 275 p. (In Persian)

Forests and Rangelands Organization of Iran. (2014). Volume table of tree species of Guilan province. Forests and Rangelands Organization of Iran, Deputy of forest, Office of forestry, 350 p. (In Persian)

Azizi, Z., Najafi, A., Fatehi, P., & Pirbavaghar, M. (2010). Forest stand volume estimation using satellite IRS_P6 (LISS_IV) data. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *18*(1), 143-151. (In Persian)

Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M., & Fathi, J. (2014). Determining growth increment and density of trees in forest, using permanent sample plots. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(3), 424-438. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2014.4723 (In Persian)

Bayat, M., Bettinger, P., Hassani, M., & Heidari, S. (2021). Ten-year estimation of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) volume increment in natural forests: a comparison of an artificial neural networks model, multiple linear regression and actual increment. *Forestry*, 1–12. https://doi.org/10.1093/forestry/cpab001.

Elledge, J., & Barlow, B. (2012). *Basal Area: A Measure Made for Management*. Published by the Alabama Cooperative Extension System (Alabama A&M University and Auburn University).

Eshaghi Rad, J., & Khanalizadeh, A. (2014). Comparison of Woody and Herbaceous Plant Diversity in Control and Managed Broadleaves Stands Managed Broadleaves Stands. *Iranian Journal of applied ecology*, *7*(3), 27-39. (In Persian)

Esmaellpour, M., & Sefidi, K. (2024). Meta-analysis of stand volume variable in Hyrcanian beech forests. *Journal of Forest Research and Development*, *9*(4), 593-607. https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54745.1669. (In Persian)

FAO (2017). *Voluntary guidelines on national forest monitoring*. Main Report. FAO Forestry Paper. Rome, 77 p.

Georgakis, A., & Stamatellos, S. (2019). Two Contemporary and Efficient Two-Stage Sampling Methods for Estimating the Volume of Forest Stands: A Brief Overview and Unified Mathematical Description. *Open Journal of Forestry*, *9*, 241-254. https://doi.org/10.4236/ojf.2019.93013.

Gorgi Bahri, Y. (2000). Investigation of typology classifications and forest planning in Vaz forest. Ph.D. thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 138 p. (In Persian)

Gschwantner, T., Alberdi, I., Bauwens, S., Bender, S., Borota, D., Bosela, M., Bouriaud, O., Breidenbach, J., Donis, J., Fischer, Ch., Gasparini, P., Heffernan, L., Herve, J.Ch., Kolozs, L., Korhonen, K.T., Koutsias, N., Kovacsevics, P., Kucera, M., Kulbokas, G., Kuliesis, A., Lanz, A., Lejeune, Ph., Lind, T., Marin, Gh., Morneau, F., Nord-Larsen, Th., Nunes, L., Pantic, D., Redmond, J., Rego, F.C., Riedel, Th., Seben, V., Sims, A., Skudnik, M., & Tomter, S.M. (2022). Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonization. *Forest Ecology and Management*, *505*, 1-22. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119868

Hamidi, S.K., Fallah, A., Bayat, M., & Hosseini Yekani, S.A. (2016). Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots. *Ecology of Iranian Forests*, *4*(8), 1-8. (In Persian)

Hassanzad Navroodi, I., Ahmadzadeh, H., & Bonyad, A.I. (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 Nav Asalem. *Ecology of Iranian Forests*, *7*(13), 1-10. https://doi.org/10.29252/ifej.7.13.1 (In Persian)

Hosseinpour, A.R., Fallah, A., Niknejad, M., Hejazian, M., & Kalbi, S. (2023). Investigating of Kriging Geostatistic Method Capability for Forest Stand Volume Zoning. *Ecology of Iranian Forests*, *10*(20), 120-128. https://doi.org/10.52547/ifej.10.20.120 (In Persian)

Jevšenak, J., & Skudnik, M. (2021). A random forest model for basal area increment predictions from national forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, *479*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118601

Kalbi, S., Fallah, A., & Shataee, Sh. (2014). Estimation of forest biophysical properties using SPOT HRG data. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *20*(4), 117-133. (In Persian)

Kalbi, S., Fallah, A., Shataee, Sh., Yousefpour, R., & Bettinger, P. (2017). Mapping the spatial distribution of forest growth characteristics using different geostatistical methods. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *25*(2), 196-208. https://doi.org/20.1001.1.23222077.1392.20.4.7.1 (In Persian)

Karamdost Marian, B., Bonyad, A.I., & Tavankar, F. (2019). Effect of harvest intensity on volume growth of mixed beech stands in Asalem Nav forests. *Journal of Forest Research and Development*, *4*(4), 533-547. (In Persian)

Köhl, M., Scott. C., & Zingg, A. (1995). Evaluation of permanent sample surveys for growth and yield studies: a Swiss example. *Forest Ecology and Management*, *71*, 187-194.

Mandallaz, D., & Massey, A. (2012). Comparison of estimators in one-phase two-stage Poisson sampling in forest inventories. *Canadian. Journal of Forest Research*, *42*, 1865–1871. https://doi.org/10.1139/X2012-110.

Mohammadi, J., Shataee, Sh., Namiranian, M., & Eslami, V. (2016). Assessing Effect of Ground Sampling Intensity on Estimating Forest Quantitative Characteristics Using Fusion of Airborne Laser Scanner Data and Ultra CamD Images. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *23*, 155-180. https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11954.1632. (In Persian)

Noorian, N., Shataee, Sh., Mohammadi, J., & Yazdani, S. (2014). Estimating forest structural attributes by means of ASTER imagery and CART algorithm. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(3)*, 434-446. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2014.12424. (In Persian)

Presern, J., Mihelic, J., & Kobal, M. (2019). Growing stock of nectar- and honey producing tree species determines the beekeepers profit. *Forest Ecology and Management*, *448*, 490- 498. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.06.031

Sagheb Talebi, Kh., Parhizkar, P., Hassani, M., Pourhashemi, M., Mirkazemi, S.Z., Karimidoost, A., Maghsudloo, M.K., Ghorbani, H., Mortazavi, M., Seyedi, M., Rahanjam, S., Rafiee, F., & Nourolahi,

S.S. (2021). Structure of intact mixed broad-leaved stands in Hyrcanian Forests. *Journal of Forest and Wood Product*, *73*(4), 439-453. https://doi.org/ 10.22059/jfwp.2021.301031.1102. (In Persian)

Shanin, V., Valkonenc, S., Grabarnika, P., & Mäkipää, R. (2016). Using forest ecosystem simulation model EFIMOD in planning uneven-aged forest management. *Forest Ecology and Management*, *378*, 193-205. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.041

Stehman, S.V., Wickham, J.D., Fattorini, L., Wade, T.D., Baffetta, F., & Smith, J.H. (2009). Estimating accuracy of land-cover composition from two-stage cluster sampling. *Remote Sensing of Environment*, *113*, 1236–1249. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.011.

Sterba, H., & Lederman, T. (2006). Inventory and modeling for forests in transition from even aged to uneven-aged management. *Forest Ecology and Management*, *224*, 278-285. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.049

Veska, J., Šebesta, J., & Kolář, T. (2009). Changes of the mixed mountain virgin forest after 70 years on a permanent plot in the Ukrainian Carpathians. *Journal of Forest Science*, *55*(12), 567–577. https://doi.org/10.17221/41/2009-JFS

Viet, H.D.X., Tyminska-Czabanska, L., & Socha, J., (2023). Modeling the Effect of Stand Characteristics on Oak Volume Increment in Poland Using Generalized Additive Models. *Forests*, *14*, 123. https://doi.org/10.3390/f14010123

Welle, T., Aschenbrenner, L., Kuonath, K., Kirmaier, S., & Franke, J. (2022). Mapping Dominant Tree Species of German Forests. *Remote Sensing*, *14*, 3330. https://doi.org/10.3390/rs14143330.

Westfall, J.A., Lister, A.J., & Scott, Ch.T. (2016). Precision and cost considerations for two-stage sampling in a panelized forest inventory design. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188*(11). https://doi.org/10.1007/s10661-015-5002-8.

Wu, H., Xu, H., Tian, X., Zhang, W., & Lu, C. (2023). Multistage Sampling and Optimization for Forest Volume Inventory Based on Spatial Autocorrelation Analysis. *Forests*, *14*(250). https://doi.org/10.3390/f14020250.

Yim, J.S., Kim, E.S., Kim, C.M., & Son, Y.M. (2015). Assessment on forest resources change using permanent plot data in national forest inventory. *Journal of Korean Forest Society*, *104*(2), 239-247. https://doi.org/10.14578/jkfs.2015.104.2.239

Zahedi Amiri, Gh. (1991). Specification of forest increment with the help of continuous forest inventory method in Namkhane district of Kheyroud forest. M.Sc. thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 117 p. (In Persian)

Zobeiri, M. (2007). *Forest Biometry*. Tehran University Press, Tehran, 401 p. (In Persian)

Iranian Journal of Forest
Vol. 17, No. 1, Spring 2025
pp. 87-107
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2025.471946.2001
CC BY 4.0

Estimation of volume stock in the Hyrcanian forests of Iran using permanent sample plots and a two-stage sampling method

R. Akhavan[1*], M. Hassani[2], Sh. Sobh Zahedi[3], and R.A. Khorrami Katrimi[4]

[1]Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[2]Researcher, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[3]Researcher, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran
[4]Assistant Prof., Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

(Received: 13 August 2024; Accepted:25 November 2024)

Abstract

Introduction: Forest volume stock is one of the most important quantitative characteristics of forests, which is estimated and monitored in national forest inventories to study the current situation and changes in forest resources. Therefore, its results can be used in forest management policies and plans. The purpose of this study was to estimate the volume stock of the Hyrcanian forests of Iran using permanent sample plots and a two-stage sampling method, which is specific for inventory in large areas.

Material and Methods: This forest inventory was conducted in the Hyrcanian vegetation region in northern Iran including 104 watersheds, using a two-stage sampling method. Based on this sampling method, 42 watersheds were randomly selected and sampling was carried out in randomly selected parcels of them using a regular grid with dimensions of 150×200 meters with circular permanent sample plots of 1000 m^2 area. Inside each sample plot, the diameter at breast height (DBH) of all tree species greater than 7.5 cm, their distance and angle to the center of the plot, the height of the closest tree to the center, and the diameter of the thickest tree in each sample plot were measured and recorded.

Results: At the end of inventory, a total of 1195 circular sample plots (each 10 Ares) were established and 33517 trees were measured. Results showed that the mean quadratic mean diameter (QMD), basal area, standing volume and forest density in these forests, considering a minimum DBH of 7.5 cm, are 38 cm (arithmetic mean: 29.5 cm), 29 m^2/ha, 359 m^3/ha and 340 trees/hectare, respectively (The mean standing volume and tree density, considering a minimum DBH of 12.5 cm, are 355 m^3/ha and 254 trees/ha, respectively). The highest and lowest standing volumes were observed in the middle land and lowland areas of these forests, respectively. In terms of volume distribution across diameter classes, the majority of volume stock was observed in the large and extra-large diameter classes, i.e., in the diameter range of 50 to 80 cm accounting for approximately 46% of the total volume stock. Furthermore, the highest forest density was found in the lowland and highland and the lowest in the middle land areas of these forests. Based on the obtained results, beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) together constitute 56.5% of total tree abundance and 71.2% of the total volume stock in the Hyrcanian forests of Iran.

Conclusion: By calculating the stock (density, basal area and standing volume) of these forests, in addition to obtaining important biometric information from this valuable vegetation region, the necessary data for resource management, biodiversity assessment, carbon storage estimation, stand quality improvement and planning silvicultural interventions to control both the quantity and quality of these forests are provided.

Keywords: Basal area, Forest density, National forest inventory, Standing volume, Watershed.

[*] Corresponding author Tel: +98 9123198092 Email: akhavan@rifr-ac.ir