Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 14, Issue 1, 2026 p: 109-120

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Quantitative Characteristics in Different Developmental Stages of Uneven-Aged Broadleaf Hyrcanian Forests (Case Study: Shastkalateh Forest, Gorgan)

Yaser Mohammadi[1], Jahangir Mohammadi[2], HamidReza Riyahi Bakhtiyari[3], Shaban Shataee Jouibary[4] and Ramin Rahmani[5]

1- Ph.D. Student, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Associate Professor., Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, (Corresponding author: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4- Professor, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5- Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 01 August, 2025 Revised: 05 November, 2025 Accepted: 28 November, 2025

Extended Abstract

Background: Transitions between developmental stages in forest stands are often accompanied by shifts in intra-stand competition and changes in key structural attributes, such as the Leaf Area Index (LAI), stand volume per hectare, basal area per hectare, and tree density. Understanding these structural dynamics from the initial stage through maturity to degradation is essential for restoring ecosystem functionality in disturbed forests. Evaluating these attributes across developmental stages provides insight into the ecological processes governing natural forest dynamics. Structural changes not only reflect internal stand interactions and competitive relationships but also serve as indicators of ecosystem health and resilience to stressors. Analyzing these changes within the framework of forest succession—particularly in Caspian forests such as Shast-Kalateh—plays a critical role in shaping effective management and restoration strategies. Accordingly, this study aimed to assess and compare quantitative structural attributes, including LAI, volume per hectare, basal area per hectare, and tree density, across three developmental stages: initial, peak, and degraded.

Methods: The study was conducted in series one and two of the Shastkalateh forest management plan in Gorgan. A systematic sampling grid with a random start (200 × 150 m) was established, and data on diameter at breast height, species type, and height of selected trees were collected from each sample plot. Additionally, a litter trap (60×60 cm, 20 cm deep) was installed in each plot to collect leaves over one year. The collected leaves were transferred to the laboratory, where specific leaf area and dry leaf weight were calculated by species and for all species combined per plot. Furthermore, volume per hectare, basal area per hectare, and the number of trees per hectare were calculated for each plot. The developmental stage of each plot was determined using the structural triangle method. The total LAI, species-specific LAI, volume per hectare, basal area per hectare, and the number of trees per hectare were compared across the initial, optimal, and decay stages using the analysis of variance (ANOVA) and Duncan's test.

Results: Descriptive statistics revealed that total LAI values for the initial, peak, and degraded stages were 6.09, 7.07, and 5.85, respectively, with the peak stage exhibiting the highest LAI. The highest species-specific LAI in the initial and degraded stages was observed in *Carpinus betulus* (2.44 and 2.33), while *Parrotia persica* showed the highest LAI in the peak stage (3.28). Standard deviations for volume, tree density, and basal area per hectare were 84.5, 33.52, and 12.41 (initial), 95.6, 40.06, and 9.59 (peak), and 102.5, 28.13, and 6.39 (degraded). LAI standard deviations were 3.52, 4.11, and 2.19, respectively. Duncan's test indicated no significant differences ($P > 0.05$) in total LAI, the LAI of *Fagus orientalis* and *Parrotia persica*, tree density, and basal area across stages. However, significant differences ($P < 0.05$) were found in the LAI of *Carpinus betulus*, *Carpinus orientalis*, and stand volume.

Conclusion: The study demonstrates that structural attributes, such as LAI, stand volume, basal area, and tree density, undergo substantial changes across developmental stages. These variations

Copyright © 2026 Mohammadi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 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 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

reflect ecological dynamics, including competition, mortality, and regeneration. Recognizing these patterns is vital for understanding forest ecosystem performance and for designing targeted restoration strategies, especially in degraded stands. The findings offer valuable guidance for forest managers and planners in selecting stage-specific interventions to enhance sustainability, biodiversity, and ecosystem services in semi-natural and disturbed Hyrcanian forests.

Keywords: Basal area per hectare, Decay stage, Hyrcanian forests, Initial stage, Number of trees per hectare, Optimal stage, Volume per hectare

How to Cite This Article: Mohammadi, Y., Mohammadi, J., Riyahi Bakhtiyari, H., Shataee Jouibary, Sh., & Rahmani, R. (2026). Evaluation of Quantitative Characteristics in Different Developmental Stages of Uneven-Aged Broadleaf Hyrcanian Forests (Case Study: Shastkalateh Forest, Gorgan). *Ecol Iran For,* 14(1), 109-120. DOI: 10.61882/ifej.2026.591

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

OPEN ACCESS

مقاله پژوهشی

ارزیابی مشخصه‌های کمی در مراحل مختلف تحولی توده‌های پهن‌برگ ناهم‌سال هیرکانی، (منطقه مورد مطالعه: جنگل شصت‌کلاته گرگان)

یاسر محمدی[۱]، جهانگیر محمدی[۲]، حمیدرضا ریاحی بختیاری[۳]، شعبان شتایی جویباری[۴] و رامین رحمانی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir)
۳- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۴- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۵- استاد، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷
صفحه ۱۰۹ تا ۱۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تغییر در مراحل تحولی می‌تواند همراه با تغییرات در رقابت موجود در توده و ایجاد تغییر در مشخصه‌های کمی شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار باشد. بنا بر این، درک تغییرات مشخصه‌های کمی ساختار از مرحله تحولی اولیه تا تخریب برای بازیابی عملکرد اکوسیستم‌های تخریب‌شده لازم و ضروری است. بررسی این مشخصه‌ها در مراحل مختلف تحولی، امکان شناخت بهتر از روندهای اکولوژیکی حاکم بر جنگل‌های طبیعی را فراهم می‌سازد. تغییرات در ساختار کمی توده‌های جنگلی نه‌تنها بازتابی از پویایی درون‌توده‌ای و رقابت بین درختان است، بلکه می‌تواند شاخصی برای ارزیابی سلامت اکوسیستم و ظرفیت آن در برابر عوامل تنش‌زا باشد. تحلیل این تغییرات در چارچوب مراحل تحولی، به‌ویژه در جنگل‌های خزری مانند شصت‌کلاته گرگان، نقش مهمی در تدوین راهبردهای مدیریتی و احیایی ایفا می‌کند. از این رو، شناخت دقیق الگوهای ساختاری در هر مرحله می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در جهت حفظ پایداری و افزایش عملکرد اکولوژیکی جنگل‌های تخریب‌شده مورد استفاده قرار گیرد. هدف این پژوهش، ارزیابی و مقایسه مشخصه‌های کمی شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار در مراحل تحولی اولیه، اوج و تخریب در جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان بود.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در سری یک و دو طرح جنگل‌داری شصت‌کلاته گرگان واقع شده است. ابتدا، شبکه نمونه‌برداری به‌روش منظم با شروع تصادفی با شبکه ۲۰۰×۱۵۰ پیاده و اطلاعات قطر برابر سینه، گونه و ارتفاع برخی از درختان در هر قطعه نمونه برداشت شد. سپس، در هر قطعه نمونه یک تله لاشبرگ به ابعاد ۶۰×۶۰ سانتی‌متر و با عمق ۲۰ سانتی‌متر نصب و به‌مدت یک‌سال برگ‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از محاسبه سطح ویژه برگ و وزن خشک برگ‌ها در تله به تفکیک گونه و سپس برای کل گونه‌ها برای هر قطعه نمونه محاسبه شد. مرکز جغرافیایی هر قطعه نمونه با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی ثبت شد. در هر قطعه نمونه، نوع گونه، قطر برابر سینه بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر، ارتفاع درختان، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج اندازه‌گیری شدند. سپس حجم در هکتار، تعداد در هکتار، رویه‌زمینی در هکتار، مساحت تاج در هکتار، حجم تاج در هکتار و میانگین قطر و ارتفاع واقع در هر قطعه نمونه محاسبه شدند. برای محاسبه شاخص سطح برگ، ابتدا لازم است تا سطح ویژه برگ تمامی گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شود. همچنین، مشخصه‌های حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار نیز برای هر قطعه نمونه محاسبه شد. با استفاده از مثلث ساختار مراحل تحولی برای هر قطعه نمونه تعیین شد و شاخص کل سطح برگ سه مرحله تحولی اولیه، اوج و تخریب به تفکیک گونه و حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی نشان دادند که شاخص سطح برگ در مرحله اولیه، بلوغ و تخریب به‌ترتیب ۶/۰۹، ۷/۰۷ و ۵/۸۵ بود، یعنی مقدار آن در مرحله اوج نسبت به مراحل اولیه و تخریب بیشتر بود. همچنین، بیشترین شاخص سطح برگ در مرحله اولیه ۲/۴۴ و تخریب ۲/۳۳ مربوط به گونه پلت و در مرحله اوج مربوط به گونه ممرز (۳/۲۸) بود. نتایج مربوط به انحراف از معیار نشان دادند که حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار برای مرحله اولیه به‌ترتیب ۸۴/۵، ۳۳/۵۲ و ۱۲/۴۱و برای مرحله بلوغ به‌ترتیب ۹۵/۶، ۴۰/۰۶ و ۹/۵۹ و برای مرحله تخریب به‌ترتیب ۱۰۲/۵، ۲۸/۱۳ و ۶/۳۹ به‌دست‌آمد. همچنین، انحراف از معیار شاخص سطح برگ کل برای مرحله اولیه، بلوغ و تخریب به‌ترتیب ۳/۵۲، ۴/۱۱ و ۲/۱۹ برآورد شد. نتایج آزمون دانکن نشان دادند که بین شاخص سطح برگ کل، شاخص سطح برگ راش و انجیلی، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در سه مرحله اولیه، اوج و تخریب در سطح احتمال ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$)، اما بین شاخص سطح برگ ممرز، پلت و حجم در هکتار در سه مرحله تحولی اولیه، اوج و تخریب در سطح احتمال ۹۵ درصد رابطه معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند که مشخصه‌های کمی ساختار توده، از جمله شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان، در طول مراحل مختلف تحولی از مرحله اولیه تا تخریب دچار تغییرات قابل توجهی می‌شوند. این تغییرات بیانگر پویایی اکولوژیکی و تأثیر فرآیندهای درون‌توده‌ای مانند رقابت، مرگ‌ومیر طبیعی و بازسازی زیستی هستند. آگاهی از این دگرگونی‌ها در مراحل تحولی نه‌تنها برای درک بهتر عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی ضروری است، بلکه نقش کلیدی در طراحی و اجرای برنامه‌های احیای اکوسیستم، به‌ویژه در توده‌های تخریب‌شده، ایفا می‌کند. این یافته‌ها می‌توانند به مدیران منابع طبیعی و برنامه‌ریزان جنگل‌داری در انتخاب راهبردهای مدیریتی مبتنی بر شرایط ساختاری هر مرحله کمک شایانی کنند و زمینه‌ساز ارتقاء پایداری، افزایش تنوع زیستی و بهبود خدمات اکوسیستمی در جنگل‌های نیمه‌طبیعی و تخریب شده باشند.

واژه‌های کلیدی: اوج و تخریب، تعداد درختان در هکتار، حجم در هکتار، جنگل‌های هیرکانی، رویه زمینی در هکتار، مرحله تحولی اولیه

مقدمه

جنگل‌ها حدود یک‌سوم سطح خشکی‌های کره‌زمین معادل وسعت ۱۳ میلیارد هکتار را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در تغییرات اقلیمی جهانی، تنظیم آب و هوا، جلوگیری از فرسایش خاک، مبارزه با آلودگی هوا، حفاظت خاک و چرخه کربن دارند، لذا، جنگل‌ها برای زندگی بشر اهمیت زیادی دارند. یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی ایران، جنگل‌های هیرکانی با مساحت حدود ۱/۸۵ میلیون هکتار هستند که نقش مهمی در کاهش گرم شدن کره زمین و منبع تولید چوب و فرآورده‌های جنگلی دارند (Marvie Mohajer, 2018). منابع طبیعی

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

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 (Alizade *et al*., 2025).

همان‌طور که جنگل با گذر زمان دچار تحول می‌گردد، فرآیندهایی که منجر به ایجاد جنبه‌های پیچیدگی نظیر ناهمگنی شرایط ساختاری توده و تنوع گونه‌ای می‌گردند بیشتر می‌شوند. انباشت مولفه‌های ساختاری از قبیل درختان زنده، خشکه‌دارهای سرپا و افتاده در ساختارهای جمعیتی پیچیدگی توده را به‌وجود می‌آورد. این موارد، فرآیندهایی هستند که عمدتاً به رویش و مرگ و میر درختان مربوط می‌شوند که در مرحله جوانی آغاز شده، در مرحله بلوغ ادامه یافته و در نهایت به‌نوعی پیچیدگی ساختاری منجر می‌شوند (Javanmiri Pur *et al*., 2024). اگرچه این اکوسیستم جنگلی به دلایل متعدد مانند تغییر اقلیم، تغییر کاربری و غیره دچار تغییرات شدیدی شده است و بخش وسیعی از این جنگل‌ها به اراضی جنگلی مخروبه تبدیل شده‌اند. بنا بر این، تبیین تغییرات مشخصه‌های کمی ساختار مانند شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه‌زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار از مرحله اولیه تا تخریب جهت احیاء عملکرد اکوسیستم در توده‌های جنگلی تخریب شده دارای اهمیت زیادی است و با توجه به این که بیشتر جنگل‌های جهان، جنگل‌های ثانویه هستند اهمیت این موضوع دو چندان می‌شود.

شاخص سطح برگ یک کمیت بدون واحد و به‌عنوان سطح کل یک طرف برگ درختان در واحد سطح زمین تعریف شده است. این شاخص یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کمی ساختار توده‌های جنگلی است که اطلاعات زیادی در ارتباط با پویایی، میزان فتوسنتز، تبخیر و تعرق، تولید خالص اولیه و غیره را در اختیار مدیران، پژوهشگران و برنامه‌ریزان قرار می‌دهد و یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازها برای درک و مدیریت اکوسیستم جنگلی بر ساختار توده‌های جنگلی است (Bartemucci, 2002).

اطلاعات تولیدات جنگل به‌عنوان مبنای بررسی چرخه مواد غذایی و جریان انرژی در اکوسیستم جنگل عمل می‌کنند و مشخصه‌های ساختار هم روابط بین توده‌های جنگلی و محیط آن‌ها را تبیین می‌کند (Toda *et al*,. 2023). این دیدگاه از تولیدات جنگل، اطلاعات ضروری در مورد شرایط فعلی مشخصه‌های توده‌های جنگلی را ارائه می‌دهد، اما به‌طور کافی تغییرات زمانی پویا در اکوسیستم جنگل و پاسخ آن‌ها به تغییرات محیطی را تبیین نمی‌کند. در طولانی‌مدت، تنوع گونه‌ای، ساختار، آب و هوا و مشخصه‌های توده از عوامل اصلی تعیین‌کننده تولیدات توده هستند. بنا بر این، درک تغییرات تولید توده از مرحله تحولی اولیه تا تخریب برای بازیابی عملکرد اکوسیستم‌های تخریب‌شده لازم و ضروری است. مراحل تحولی در نتیجه تغییرات مشخصه‌های ساختار توده که ناشی از مراحل رویشی و رشد توده‌های جنگلی هستند، مشخص می‌گردد و در هر توده بر اساس مشخصه‌های ساختاری توده و درختان، مراحل مختلف تحولی قابل تشخیص هستند (Mahdavi Saeedi *et al*., 2019). مراحل تحولی بر اساس روش کورپل (Korpel, 1995) شامل مرحله اولیه یا جوانی (Initial)، اوج (Optimal) و تخریب (Decay) هستند. بررسی مشخصه‌های کمی ساختار مانند شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار در مراحل مختلف تحولی، اطلاعات ارزشمندی را در مدیریت و برنامه‌ریزی توده‌های جنگلی به‌ویژه توده‌های تخریب‌شده در اختیار ما قرار می‌دهد و ارزیابی این مشخصه‌ها برای اجرای برنامه‌های کاربردی و مدیریت منابع‌طبیعی و احیا اکوسیستم ضروری است. همچنین، این امکان را فراهم می‌سازد تا دخالت‌های جنگل‌شناسی و جنگل‌داری مناسبی را بتوان اتخاذ کرد که به مدیریت پایدار جنگل کمک کند. علاوه بر آن، تفاوت موجود در مراحل مختلف تحولی ارتباط تنگانگی با تنوع گونه‌ای، مشخصه‌های کمی ساختار توده مانند حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار دارد و باعث استقرار یک توده آمیخته با مشخصه‌های کمی ساختاری متفاوت در این مراحل می‌شود که در نتیجه آن منجربه پایداری اکوسیستم می‌شود. بنا بر این، ارزیابی مشخصه‌های ساختاری توده مانند شاخص سطح برگ در مراحل مختلف تحولی اولیه، اوج و تخریب بسیار ضروری است.

در مورد ارزیابی مشخصه‌های کمی ساختار توده مانند ذخیره کربن، تنوع گونه‌ای، حجم سر پا، تعداد درختان در هکتار، رویه زمینی، و پراکنش درختان در مراحل مختلف تحولی مطالعات مختلفی انجام شده‌اند. پرهیزکار و همکاران (Parhizkar *et al*., 2011) وضعیت درختان و زادآوری در مراحل مختلف تحولی در راشستان‌های طبیعی کلاردشت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که تعداد درختان در هکتار از مرحله اولیه به سمت اوج و سپس تخریب کاهش یافت و بیشترین موجودی حجمی در مرحله اولیه و کمترین آن در مرحله تخریب بودند. میانگین شاخص سطح برگ در مرحله اولیه (۳/۳۴)، اوج (۴/۷۵) و تخریب (۲/۳۷) بود که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین سه مرحله تحولی وجود داشت ($P < 0.05$). امینی و همکاران (Amini *et al*., 2017) ارزیابی قابلیت شاخص‌های غیر مکانی ساختار برای تفکیک مراحل مختلف تحولی توده راش–ممرز در سری یک طرح جنگل‌داری حاجی‌کلا–تیرانکلی ساری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که تعداد درختان در هکتار از مرحله اولیه به سمت اوج و سپس تخریب کاهش یافت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین شاخص سطح برگ، حجم سر پا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار در سه مرحله تحولی اولیه، اوج و تخریب وجود داشت ($P < 0.05$). میزان شاخص سطح برگ در مرحله اوج بیشترین و در مرحله تخریب کمترین مقدار را داشت.

اخوان و همکاران (Akhavan *et al*., 2010) الگوی مکانی درختان در مراحل مختلف تحولی در توده‌های دست نخورده راش کلاردشت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که تعداد درختان در هکتار از مرحله اولیه تا تخریب روبه کاهش بود. علیجانی و همکاران (Alijani *et al*., 2020) مدل‌های مختلف قطر–ارتفاع را در مراحل مختلف تحولی جنگل‌های مدیریت نشده راش در خیرودکنار مورد بررسی قرار دادند. نتایج

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

نشان دادند که مناسب‌ترین مدل قطر–ارتفاع در مرحله اولیه ویبول و در مرحله اوج نمایی و در مرحله تخریب کومپرتز و ریچارد بود. مریدی و همکاران (Moridi *et al*., 2016) مشخصه‌های کمی و کیفی خشکه‌دارها را در مراحل مختلف تحولی توده‌های آمیخته راش در جنگل‌های خیرود نوشهر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که خشکه‌دارهای افتاده در مرحله اولیه و تخریب فراوانی بیشتری نسبت به خشکه‌دارهای سرپا به‌خود اختصاص دادند در حالی‌که در مرحله اوج برعکس بود. سفیدی (Sefidi, 2023) شاخص پیچیدگی ساختار در مراحل مختلف تحولی در جنگل‌های آمیخته راش هیرکانی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد از نظر شاخص پیچیدگی ساختار در مراحل مختلف تحولی وجود نداشت. گونزالس و همکاران (Gonzalez *et al*., 2012) اثر مراحل تحولی توده و کیفیت رویشگاه را بر شاخص سطح برگ در جنگل‌کاری کاج تدا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که با افزایش سن، مقدار شاخص سطح برگ تا سن حدود ۸ سالگی افزایش و سپس با افزایش سن تغییرات آن به حداقل رسید. گائوو و همکاران (Gao *et al*., 2025) اثر مراحل تحولی توده را بر شاخص سطح برگ و زی‌توده درختان در استان جیلان چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که مقدار شاخص سطح برگ و زی‌توده در مراحل اولیه کم و سپس افزایش یافت، در مرحله اوج به حداکثر خود رسید و در مرحله تخریب ثابت بود و به‌سمت کم شدن رفت. همچنین نتایج نشان دادند که بیشترین تعداد درختان در هکتار در مرحله اوج بود. باس و همکاران (Bose *et al*., 2014) زی‌توده، ارتفاع غالب و تراکم توده را در مراحل مختلف تحولی در جنگل‌های هلند مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که با افزایش سن تراکم کاهش و میزان زی‌توده تا سن حدود ۶۰ سالگی افزایش و سپس تغییرات آن کم و تقریبا ثابت شد.

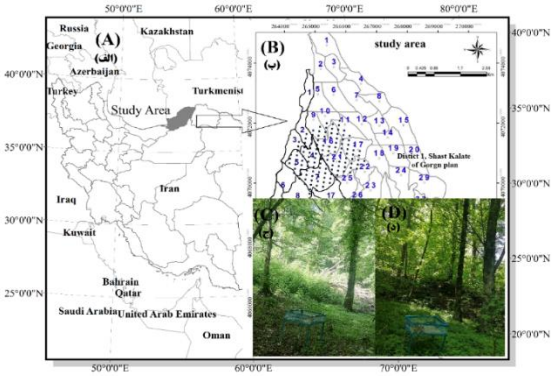
با توجه به مرور منابع، تاکنون مطالعات کمی در زمینه ارزیابی شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در مراحل مختلف تحولی انجام شده‌اند. همچنین، با توجه به اطلاعات زمینی بسیار کم شاخص سطح برگ از جنگل‌های هیرکانی و تغییرات این شاخص در فواصل کم، بررسی شاخص سطح برگ در مراحل مختلف تحولی لازم و ضروری است. علاوه بر آن، با توجه به تغییرات سریع توده‌های جنگلی به‌ویژه جنگل‌های پهن‌برگ هیرکانی در اثر عوامل مختلف مانند تغییر اقلیم، دخالت‌های انسانی و غیره و پیامدهای ناشی از آن، حفظ و مدیریت پایدار این اکوسیستم جنگلی نیازمند اطلاعات دقیق از مشخصه‌های کمی ساختار توده در مراحل مختلف تحولی است تا بتوان میزان تغییرات این مشخصه‌ها را در مراحل مختلف ارزیابی و کمی کرد و بتوان یک مدیریت و سیاست مناسبی را ارائه و تعریف کرد. بنا بر این، مطالعه مشخصه‌های کمی توده مانند شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار در مراحل مختلف تحولی ضروری و دارای اهمیت زیادی است.

هدف این مطالعه، ارزیابی و مقایسه مشخصه‌های کمی شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار در مراحل تحولی اولیه، اوج و تخریب در جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان است. نتایج این تحقیق اطلاعات ارزشمندی را در اختیار ما قرار می‌دهند که می‌توان در مدیریت پایدار این منابع جنگلی و تدوین سیاست‌های صحیح در زمینه مدیریت و دخالت‌های جنگل‌شناسی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخشی از سری یک و سری دو در طرح جنگل‌داری (شصت‌کلاته گرگان) در حوضه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان واقع است. بر مبنای سیستم مختصات UTM، منطقه مورد مطالعه در زون ۴۰ شمالی قرار دارد. جهت عمومی دامنه منطقه مورد مطالعه شمال‌غربی است و منطقه مورد مطالعه بر اساس ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد دارای اقلیم مرطوب معتدل است. مقدار بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است. متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۵/۴ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی سالانه ۶۳/۲ درصد، میانگین وزنی متوسط تبخیر و تعرق سالانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌متر و فصل رویش حدود ۱۰ ماه است (Ghorbani *et al*., 2024).



شکل ۱– موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، طرح جنگل‌داری شصت‌کلاته گرگان (ب) و نمونه‌ای از توده مورد مطالعه به‌همراه تله‌برگ (ج و د)

Figure 1. The location of the study area in Iran (A), Shasat Kalateh Forests of the Gorgan district (B), and a sample of the forest study area with a leaf trap (C and D)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌های زمینی

در سال ۱۳۹۹، پس از شناسایی اولیه منطقه به‌روش منظم با شروع تصادفی، ۱۰۲ قطعه نمونه دایره‌ای‌شکل با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع با شبکه آماربرداری (۲۰۰×۱۵۰ متر) بر روی زمین پیاده و در هر قطعه نمونه اطلاعات قطر برابر سینه با استفاده از خط کش دو بازو، گونه و ارتفاع برخی از درختان با استفاده از دستگاه ورتکس لیزر (Vertex Laser VL 402) برداشت و موقعیت مکانی قطعات نمونه با استفاده از دستگاه DGPS تفاضلی ثبت شد. در مرکز هر قطعه نمونه، یک تله لاشبرگ با ابعاد ۶۰×۶۰ سانتی‌متر برای جمع‌آوری برگ نصب شد و هر ماه یک‌بار از زمان نصب، به‌مدت یک‌سال برگ‌های آن جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

اندازه‌گیری سطح ویژه برگ (SLA)[1] و شاخص سطح برگ

برای محاسبه سطح ویژه برگ، از تمام گونه‌های درختی موجود در منطقه مورد مطالعه، به‌روش تصادفی ۳۰ درخت از هر گونه، برای هر گونه در چهار جهت جغرافیایی و در هر جهت پنج برگ (هر گونه در مجموع ۶۰۰ برگ) انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. در رویشگاه مورد مطالعه، چهار گونه درختی حضور داشتند که در مجموع ۲۴۰۰ نمونه برگ آنالیز و اسکن شدند. وزن تر با استفاده از ترازوی الکترونیکی (۰/۰۱ ± گرم)، با دقت زیاد اندازه‌گیری شد. سطح برگ‌ها نیز با استفاده از اسکنر HP با وضوح ۱۲۰۰ dpi اسکن شد. مساحت هر برگ با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد. برگ‌ها پس از اندازه‌گیری مساحت در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شدند و وزن خشک آن‌ها نیز ثبت شد. سطح ویژه برگ از رابطه (۱) و از تقسیم مساحت هر برگ به وزن خشک آن محاسبه شد. پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها با استفاده از ترازوی الکترونیکی (۰/۰۱ ± گرم)، سطح ویژه برگ برای هر درخت (t) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. جهت محاسبه میانگین سطح ویژه برگ هر گونه از رابطه زیر استفاده شد (معادله ۱)

$$\mathrm{SLA_t} = \frac{\mathrm{LA_t^{sam}}}{\mathrm{WD_t^{sam}}}$$ رابطه (۱)

که در آن: $\mathrm{SLA_t}$ سطح برگ ویژه برای هر گونه بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم، $\mathrm{LA_t^{sam}}$ مساحت هر برگ نمونه از هر گونه در هر رویشگاه بر حسب سانتی‌متر مربع و $\mathrm{WD_t^{sam}}$ وزن خشک هر برگ نمونه برحسب گرم هستند (رابطه ۲).

$$\mathrm{SLA_t} = \frac{\sum SLA_t}{n}$$ رابطه (۲)

سپس برای هر قطعه نمونه، شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\mathrm{LAI_t} = \mathrm{WD_t^{sam}} \times \frac{SLA_t}{\mathrm{GA}}$$ رابطه (۳)

که در آن: $\mathrm{LAI_t}$ شاخص سطح برگ برای هر گونه در قطعه نمونه، $\mathrm{WD_t^{sam}}$ وزن خشک لاشبرگ هر گونه در هر تله‌برگ یا قطعه نمونه در هر رویشگاه و SLA_t سطح برگ ویژه برای هرگونه در هر منطقه هستند. GA سطح زمین (۶۰×۶۰=۳۶۰۰cm^2) است. شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه نمونه نیز از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$\mathrm{LAI_t} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{LAI_{ti}}$$ رابطه(۴)

که در آن: $\mathrm{LAI_t}$ شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه نمونه و $\mathrm{LAI_{ti}}$ شاخص سطح برگ برای هرگونه در قطعه نمونه هستند.

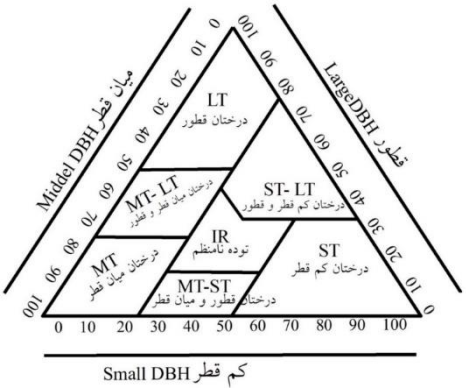
در طول دوره اندازه‌گیری یک‌ساله در سال ۱۳۹۹، تله‌های لاشبرگ هر ماه تخلیه و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس، پس از جداسازی نوع گونه برگ‌های داخل تله در هر قطعه نمونه، لاشبرگ‌ها به‌صورت جداگانه در دمای ۷۸ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت حداقل ۷۲ ساعت در آون خشک شدند تا به وزن ثابت برسند که سپس با ضرب در SLA_t شاخص سطح برگ برای هر گونه در هر قطعه نمونه محاسبه شد (Mosavi *et al*., 2024).

برای محاسبه حجم درختان از جداول حجم دو عامله استفاده گردید و میزان حجم، تعداد درختان و رویه زمینی در قطعات‌نمونه محاسبه و سپس به هکتار تبدیل شدند.

برای تعیین مراحل تحولی بر اساس روش Korpel (۱۹۹۵) شامل مراحل اولیه اوج و تخریب از مثلث ساختار استفاده شد. برای تحلیل ساختار عمودی جنگل و مشخص کردن جایگاه توده‌ها نسبت به جنگل نامنظم آمیخته از مثلث ساختار استفاده می‌شود (Amini *et al*., 2017). مسیر حرکت توده‌ها در این مثلث قابل شناسایی است (شکل ۲). تقسیم‌بندی هفت طبقه در مثلث ساختار براساس نسبت درختان کم قطر (کمتر از ۳۰ سانتی‌متر)، میان قطر (۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) و قطور (بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر) انجام شد. برای مقایسه شاخص سطح برگ کل و به تفکیک گونه، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد.

[1] Specific Leaf Area

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

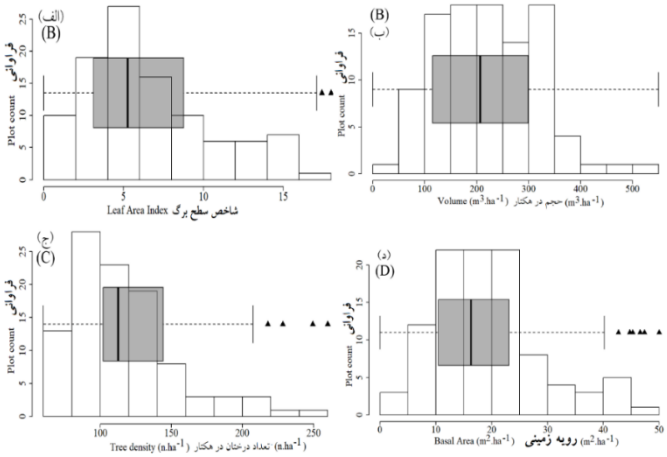


شکل ۲- تقسیم‌بندی مثلث ساختار جنگل LT: درختان طبقه قطور. ST-LT: درختان طبقه‌های کم قطر و قطور. MT-LT: درختان طبقه‌های میان قطر و قطور. ST: درختان طبقه‌های کم قطر. MT: درختان طبقه میان‌قطر MT-S: درختان طبقه قطور و میان قطر. IR: توده نامنظم (Donoso & Nyland, 2005)

Figure 2. Forest structure triangle division. LT: Thick-layer trees. ST-LT: Thin-layer trees. MT-LT: Medium-layer trees. ST: Thin-layer trees. MT: Medium-layer trees. MT-S: Thick-layer trees. IR: Irregular stand (Donoso & Nyland, 2005)

نتایج و بحث

ابتدا برای محاسبه شاخص سطح برگ، به محاسبه سطح ویژه برگ نیاز است. سطح ویژه برگ برای همه گونه‌ها در رویشگاه شصت‌کلاته از ۴۴/۵۹ تا ۱۴۸۰/۶۲ گرم بر سانتی‌متر مربع متغیر بود. بیشترین میانگین سطح برگ ویژه درختان در منطقه مورد مطالعه ۵۶۱/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مربع و مربوط به گونه افراپلت بود. کمترین سطح برگ ویژه مربوط به گونه خرمندی محاسبه شد. درختانی که سطح ویژه بالایی دارند، معمولا برگ‌هایی نازک و بافتی سبک دارند که برای جذب نور خورشید و فتوسنتز بهینه شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، میانگین سطح ویژه برگ گونه راش، ممرز، انجیلی، افراپلت، شیردار و توسکا در منطقه مورد مطالعه برابر با ۳۹۸/۴۱، ۳۸۸/۷۵، ۳۹۰/۳۴، ۳۸۰/۶۷، ۵۶۱/۲۹ و ۳۱۹/۷۸ سانتی‌متر مربع بر گرم برآورد شد. نتایج آنالیز آماره‌های توصیفی نشان داد که میانگین کل شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار برای مرحله اولیه به‌ترتیب ۶/۰۹، ۱۸۲/۴ ($m^3.ha^{-1}$)، ۱۲۶/۶۷ ($m^2.ha^{-1}$) و ۱۹/۱۹ ($n.ha^{-1}$)، برای مرحله اوج ۷/۰۷۹، ۲۱۸/۳ ($m^3.ha^{-1}$)، ۱۲۳/۰۱ ($m^2.ha^{-1}$) و ۱۹/۲۶ ($n.ha^{-1}$) و برای مرحله تخریب ۵/۸۵، ۲۹۰ ($m^3.ha^{-1}$)، ۱۰۲/۸۶ ($m^2.ha^{-1}$) و ۱۹/۶۸ ($n.ha^{-1}$) محاسبه شد (جدول ۱). نتایج نشان دادند که مقدار کل شاخص سطح برگ در مرحله اوج (۷/۰۷۹) بیشترین مقدار و در مرحله تخریب (۵/۸۵) کمترین مقدار را داشت که با نتایج (Amini *et al*., 2017; Parhizkar *et al*., 2011; Gonzalez *et al*., 2012; Gao *et al*., 2025) مطابقت دارد. به‌علاوه، میانگین کل شاخص سطح برگ بین ۵ تا ۷ است که با مطالعات (PourHashemi *et al*., 2012; Rahmani *et al*., 2014; Seyed Mosavi *et al*., 2024) مطابقت دارد. همچنین، کمترین تعداد درختان در هکتار مربوط به مرحله تخریب و بیشترین حجم در هکتار مربوط به مرحله تحولی اوج بود که با مطالعات پیشین (Mirahmadi *et al*., 2023; Amini *et al*., 2017; Parhizkar *et al*., 2011; Akhavan (Sefidi *et al*., 2023; *et al*., 2010; Gao *et al*., 2025 مطابقت دارد.



شکل ۳- هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای شاخص سطح برگ (الف)، حجم در هکتار (ب)، تعداد درختان در هکتار (ج) و رویه زمینی در هکتار (د)

Figure 3. The histogram and boxplot of the leaf area index (a), volume per hectare (b), number of trees per hectare (c), and basal area per hectare (d).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

جدول ۱- نتایج آماره‌های توصیفی شاخص سطح برگ و مشخصه‌های حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار، و رویه زمینی در هکتار به تفکیک گونه در مراحل مختلف تحولی

Table 1. Descriptive statistics of the leaf area index and characteristics of tree density (n.ha^{-1}), volume (m^3.ha^{-1}), and basal area (m^2.ha^{-1}) separated by species at different developmental stages

مشخصه Parameters	گونه Total	مرحله تحولی Development stage	کمینه Min.	بیشینه Max.	میانگین Mean	انحراف از معیار Std. D
شاخص سطح برگ Leaf Area Index	کل Total	اولیه Initial	1.837	14.031	6.090	3.521
		بلوغ Optimal	1.524	16.430	7.079	4.119
		تخریب Decay	1.164	10.55	5.855	2.194
	ممرز *Carpinus betulus*	اولیه Initial	0.46	5.83	1.8620	1.3879
		بلوغ Optimal	0.85	4.52	3.2881	1.0990
		تخریب Decay	0.09	2.94	1.3388	0.8080
	راش *Fagus oreintalis*	اولیه Initial	0.69	3.47	1.7337	0.7993
		بلوغ Optimal	0.43	4.62	1.9916	1.2337
		تخریب Decay	0.65	5.11	2.0729	1.2768
	انجیلی *Parrotia persica*	اولیه Initial	0.55	5.11	1.7719	1.1819
		بلوغ Optimal	0.41	4.17	1.7175	0.9485
		تخریب Decay	0.06	4.12	1.5913	1.2775
	افرایلت *Acer velutinum*	اولیه Initial	1.29	3.74	2.4426	0.8692
		بلوغ Optimal	0.55	2.91	1.2573	0.6362
		تخریب Decay	0.85	4.52	2.3352	1.2152
حجم در هکتار Volume (m^3.ha^{-1})		اولیه Initial	60.0	359.2	182.4	84.5
		بلوغ Optimal	37.9	477.9	218.3	95.6
		تخریب Decay	125.3	518.7	290.0	102.5
تعداد در هکتار Tree density(n.ha^{-1})		اولیه Initial	70	200	126.67	33.52
		بلوغ Optimal	60	250	123.01	40.06
		تخریب Decay	60	170	102.86	28.13
رویه زمینی در هکتار Basal area (m^2.ha^{-1})		اولیه Initial	4.69	44.52	19.19	12.41
		بلوغ Optimal	3.46	46.81	19.26	9.59
		تخریب Decay	9.83	30.38	19.68	6.39

نتایج نشان دادند که متغیرهای شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به احتمال ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی کردند ($P > 0.05$) (شکل ۳).

جدول ۲- نتایج مقایسه شاخص سطح برگ و مشخصه‌های حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار، رویه زمینی در هکتار و گونه در مراحل مختلف تحولی با استفاده از آزمون دانکن

Table 2. Results of the comparison of the leaf area index and characteristics tree density (n.ha^{-1}), volume (m^3.ha^{-1}), basal area (m^2.ha^{-1}), and species at different developmental stages using Duncan's test

عامل Agent	منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	مقدار f	سطح معنی‌داری Significance
شاخص سطح برگ LAI	بین گروه‌ها Between Groups	2	4.930	2.465	0.777	0.463 ns
	داخل گروه‌ها Within Groups	99	314.196	3.174		
	جمع Total	101	319.126			
حجم در هکتار Volume (m^3.ha^{-1})	بین گروه‌ها Between Groups	2	89060.027	44530.014	4.932	0.009*
	داخل گروه‌ها Within Groups	99	893839.03	9028.677		
	جمع Total	1011	982899.06			

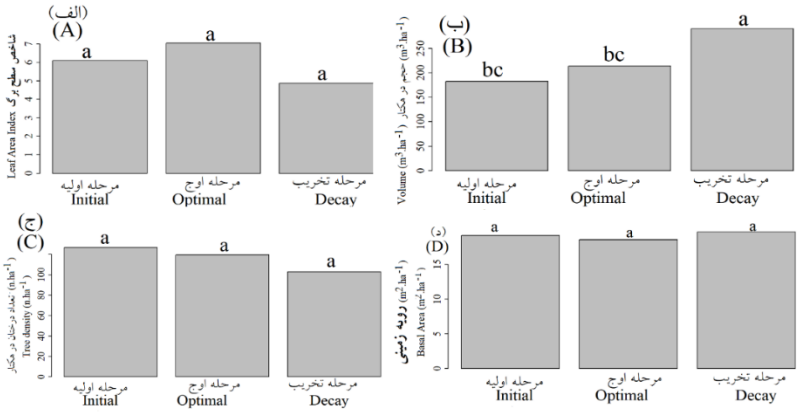
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

عامل Agent	منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of square	مقدار f	سطح معنی‌داری Significance
تعداد درختان در هکتار Tree density (n.ha^{-1})	بین گروه‌ها Between Groups	2	5381.221	2690.610	1.882	0.158 ns
	داخل گروه‌ها Within Groups	99	141556.03	1429.859		
	جمع Total	101	146937.25			
رویه‌زمینی در هکتار Basal area (m^2.ha^{-1})	بین گروه‌ها Between Groups	2	2.307	1.153	0.012	0.998 ns
	داخل گروه‌ها Within Groups	99	9306.492	94.005		
	جمع Total	101	9308.799			
ممرز *C. betulus*	بین گروه‌ها Between Groups	2	9.711	4.855	3.436	0.03*
	داخل گروه‌ها Within Groups	79	111.63	4.1.413		
	جمع Total	81	121.34			
راش *F.oreintalis*	بین گروه‌ها Between Groups	2	1.340	0.652	0.485	0.618 ns
	داخل گروه‌ها Within Groups	68	91.413	1.344		
	جمع Total	70	92.717			
انجیلی *P. persica*	بین گروه‌ها Between Groups	2	0.439	0.219	0.175	0.840*
	داخل گروه‌ها Within Groups	87	108.860	1.251		
	جمع Total	89	109.299			
افراپلت *A. velutinum*	بین گروه‌ها Between Groups	2	13.905	6.952	8.834	0.001*
	داخل گروه‌ها Within Groups	41	32.266	0.787		
	جمع Total	43	46.171			

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ ns غیر معنی‌دار

ns: non-significant; *Significant at the 95% probability level

نتایج حاصل از مقایسه شاخص سطح برگ کل راش و انجیلی، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از آزمون دانکن نشان دادند که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد در مراحل تحولی اولیه، اوج و تخریب وجود نداشت ($P > 0.05$) (جدول ۲، شکل ۴) که با نتایج مطالعات پیشین (Parhizkar *et al*., 2010؛ Amini *et al*., 2017) مطابقت ندارد. این عدم تطابق می‌تواند به عواملی مانند نوع توده مورد بررسی، توپوگرافی و عوامل اقلیمی برگ که با هم متفاوت هستند، علاوه بر آن هر مرحله تحولی مدت‌زمان نسبتاً طولانی را طی می‌کند تا به مرحله بعدی برسد و این که توده در کدام مقطع زمانی بررسی می‌شود می‌تواند تغییرات و تفاوت‌هایی را از نظر مشخصه‌های کمی مانند شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار نشان دهد.



شکل ۴- شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در مراحل مختلف تحولی در جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان

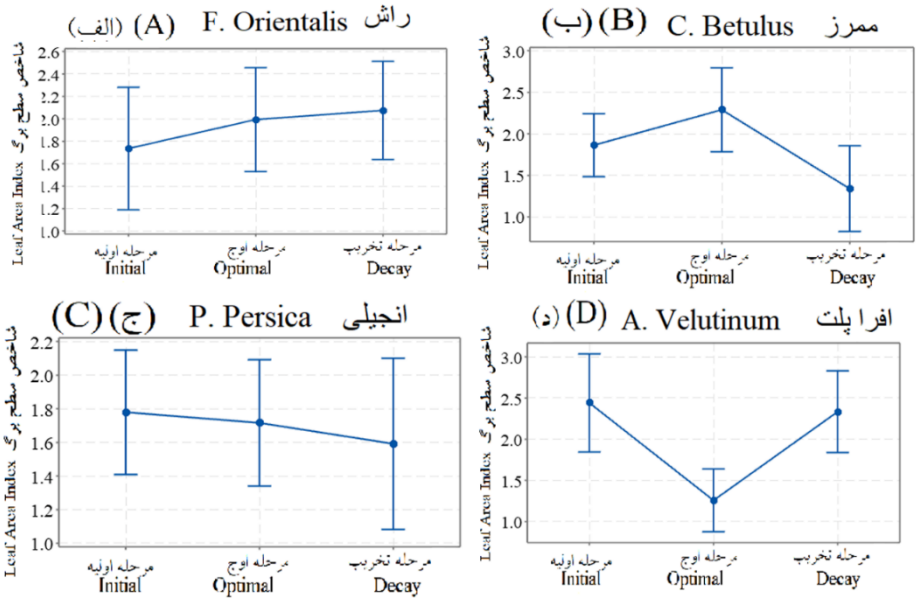
Figure 4. The leaf area index and quantitative forest characteristics at different stages of development in the forests of Shasat Kalateh, Gorgan

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

نتایج حاصل از مقایسه شاخص سطح برگ پلت، ممرز و حجم در هکتار بر اساس آزمون دانکن نشان دادند که تفاوت‌هایی در سطح احتمال ۹۵ درصد در مراحل مختلف تحولی اولیه، اوج و تخریب وجود داشتند ($P < 0.05$) (جدول ۲، شکل ۵). زیاد بودن شاخص سطح برگ پلت در مرحله تحولی اولیه به تراکم زیاد این گونه بر می‌گردد و کم‌شدن آن در مرحله اوج نیز می‌تواند به رقابت با سایر گونه‌ها برگردد. همچنین، زیاد بودن شاخص سطح برگ ممرز در مرحله اوج به رقابت این گونه با سایر گونه‌ها در این مرحله مرتبط است و همچنین سایر عوامل مانند دخالت‌های جنگل‌شناسی نیز می‌توانند تاثیرگذار باشند.

زیاد بودن شاخص سطح برگ راش در مرحله اوج و کم بودن آن در مرحله اولیه نیز به عواملی مانند سایه‌پسند بودن این گونه در مرحله اولیه و سپس غالب‌شدن این گونه در مرحله اوج در اثر رقابت با سایر گونه‌ها و همچنین دخالت‌های جنگل‌شناسی برمی‌گردد. تغییرات کاهشی شاخص سطح برگ از مرحله اولیه به سمت اوج و سپس تخریب نیز به‌دلیل رقابت و قرارگرفتن این گونه در زیر آشکوب می‌تواند مرتبط باشد.



شکل ۵- میانگین و حدود اطمینان ۹۵ درصد گونه‌های موجود در جنگل
Figure 5. Mean and 95% confidence limits of species in the forest

نتیجه‌گیری کلی

تبیین تغییرات مشخصه‌های شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار در مراحل تحولی توده از مرحله اولیه تا تخریب در مدیریت و برنامه‌ریزی توده‌های جنگلی به‌ویژه توده‌های جنگلی تخریب‌شده دارای اهمیت زیادی است و با توجه به افزایش توده‌های تخریب‌شده اهمیت این موضوع دو چندان می‌شود. همچنین، مراحل تحولی توده نیز تحت تاثیر تعاملاتی بین دینامیک جمعیت، مکانیسم‌های آشفتگی و وریکردهای مدیریت جنگل قرار دارند که به‌طور قابل توجهی بر چرخه کربن و تولیدات جنگل تاثیر می‌گذارند. با توجه به تغییرات اقلیمی موجود، تغییرات کاربری اراضی و دخالت‌های بی‌رویه، شیوه‌های مدیریت جنگل باید متناسب با مراحل تحولی توده تنظیم شوند. در مرحله اولیه با استفاده از دخالت‌های جنگل‌شناسی می‌توان رقابت را کاهش داد، استقرار گونه‌های مورد دلخواه را تقویت کرد و درجه‌ای از تنوع گونه‌ای را بهبود داد تا پیچیدگی ساختار حفظ شود. در مرحله اوج نیز با استفاده از دخالت‌های جنگل‌شناسی، مانند تنک‌کردن و قطع انتخابی می‌توان یک ساختار نامنظم چند آشکوبه را تقویت و شرایط نوری را بهینه نمود و همچنین زیرآشکوب را احیا و پایداری اکوسیستم را افزایش داد. در مرحله تخریب باید از مداخله بیش از حد جلوگیری کرد و درختان سر پا و افتاده نیز تا حدی حفظ شوند تا چرخه مواد غذایی و حاصل‌خیزی رویشگاه حفظ شود. علاوه بر این، با استفاده از جنگل‌کاری و کاشت نهال تنوع ساختاری توده را حفظ نمود. اجرای این اقدامات، اکوسیستم جنگلی را قادر می‌سازد تا به‌طور قابل توجهی در کاهش اثرات تغییر اقلیم، بهبود ترسیب کربن و حفظ تنوع گونه‌ای نقش بسیار مهمی داشته باشد. نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه می‌توانند شناسایی استراتژی‌های مناسب برای افزایش عملکرد اکوسیستم در مراحل مختلف تحولی را افزایش دهند و باعث بازیابی عملکرد اکوسیستم و کاهش اثرات تغییر اقلیم شوند.

References

Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hassani, M., & Parhizkar, P. (2010). Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2), 322-336. [In Persian]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]
[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

Alijani, V., Sadeghi, S. M. M., Namiranian, M., & Akhavan, R. (2020). Determination of the Optimum Plot Size to Study the Spatial Patterns of Juniperus Excelsa Trees (Case study: Atashgah, Karaj). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 113-12. [In Persian]

Alizadeh, A., & Bonyad, A. E. (2025). The Effect of the Forest Stratification Method and its Combined Effect with the PRODAN Six-Tree Sampling Method. *Ecology of Iranian Forest*, 13(1), 108-119. [In Persian]

Amini, R., Rahmani, R., & Parhishkar, P. (2017). Comparison of developmental stages in Beech-Hornbeam stands using non-spatial indices of stand structure. *Iranian Journal of Forest and Spruce Research*, 26(2), 156-167. [In Persian]

Bartemucci, P., Coates, K. D., Harper, K. A., & Wright, E. F. (2002) Gap disturbances in northern old-growth forests of British Columbia, Canada. *Journal of Vegetation Science*, 13, 685–696.

Bose, A.K., Schelhaas, M.J., Mazerolle, M.J., & Bongers, F. (2014). Temperate forest development during secondary succession: effects of soil, dominant species and management. *European Journal of Forest Research*, 133, 511-523.

Donoso, P.J., & Nyland, R.D. (2005). Seedling density according to structure, dominance and understory cover in old-growth forest stands of the evergreen forest type in the coastal range of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78(1), 51-63.

Dr Bahramnia Forestry Plan Management. (2009). Forest Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natrural Recourses, 478 p. [In Persian]

Gao, W., Liang, M., Xiang, W., Fu, L., Guo, H., He, X., ... & Lei, X. (2025). Development stage-dependent effects of biodiversity on aboveground biomass of temperate forests. *Ecography,* e07414. 10.1111/ ecog.07414.

Ghorbani, K., Mohammadi, J., & Rezaei Ghaleh, L. (2024). Annual growth of Fagus orientalis is limited by spring drought conditions in Iran's Golestan Province. *Journal of Forestry Research*, 35(1), 19.

Gonzalez-Benecke, C. A., Jokela, E. J., & Martin, T. A. (2012). Modeling the effects of stand development, site quality, and silviculture on leaf area index, litterfall, and forest floor accumulations in loblolly and slash pine plantations. *Forest Science*, 58(5), 457-471.

Javanmiripour, M. (2014), Study of the Structural Complexity Index (SCI) and stand quality in managed mixed habitats in Khairud Forest, Noshahr, *Journal of Iranian Forest Ecology,* 12(1), 99-112 [In Persian]

Korpel, S. (1995). Die Urwaelder der Westkarpaten. Gustav- Fischer Verlag. Stuttgart, 310 p.

Mahdavi Saeedi, A., Babaei Kafaki, S., & Metaji, A. (2019). Investigation of the efficiency of GeoEye-1 satellite data for mapping the development stages in the forests of Northern Iran. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 11(1), 11-24. [In Persian]

Marvie Mohajer, M. (2018). silviculture. Tehran University Publications. 387 p. [In Persian]

Mirahmadi, S. B., Metaji, A., Babaei Kafaki, S., & Akhavan, R. (2023). Structural diversity of developmental stages mosaics in managed eastern beech forest (case study: Ramsar Abkhair 30 basin) *Journal of Forest Research and Development*, 9(4), 481-497. [In Persian]

Moridi, M., Etemad, V., Sagheb-Talebi, Kh., & Alibabaee Omran, E. (2016). Quantitative and qualitative characteristics of dry trees in different evolutionary stages of mixed beech stands, (Case study: Khairud Nowshahr forest). *The Scientific-Research Quarterly of Iran's Forest and Poplar Research,* 23(4), 659-647. [In Persian]

Moridi, M., Etemad, V., Sefidi, K., Namiranian, M., & Sadeghi, S. M. M. (2015). Mortality of trees in the stem exclusion phase over the beech stand development. *Journal of Forest and Wood Product*, 68(4), 931-943. [In Persian]

Moridi, M., Fallah, A., Pourmajidian, M., & Sefidi, K. (2021). Quantitative analysis of forest structure in the volume increase stage in the process of natural beech stands evolution (Case Study: Khairud forest). *Iranian Forest Journal*, *Iranian Forestry Association*, 13(2), 129-115. [In Persian]

Parhizkar, P., Sagheb-Talebi, Kh., Mattaji, A., Namiranian, M., Hasani, M., & Mortazavi, M. (2011). Tree and regeneration conditions within development stages in Kelardasht beech forest (Case study: Reserve area-Langa). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3), 234-240. [In Persian]

Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A., & Panahi, P. (2012). Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4), 609-620. [In Persian]

Rahmani, R., Ghorbani, S., & Painter Zargzan, M. (2014). Measurement and modelling litter biomass and leaf area index using allometry in a Beech-Hornbeam stand in the mid-elevation of the Hyrcanian region, Iran. *Scientific-Research Quarterly Journal of Forest and Spruce Research in Iran*, 22(4), 687-701.

Sagheb-Talebi, K., Parhizkar, P., Hassani, M., Amanzadeh, B., Hemmati, A., Khanjani-Shiraz, B., Amini, M., Kiasari, S. M., Mirkazemi, S. Z., Karimidoost, A., & Maghsoudlou, M. K. (2020). Preliminary results of survey on stand structure in permanent research plots of Hyrcanian intact beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 28(2), 163-179. [In Persian]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]

Sefidi, K. (2023). Comparison of structural complexity index (SCI) in the developmental stages of Hyrcanian mixed beech forests. *Iranian Journal of Forest,* 14(4), 389-405. [In Persian]

Sefidi, K., Ismailpour, M. (2014). Meta-analysis of dry matter volume variables in Hyrcanian forests. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*, 29(2), 121-136. [In Persian]

Seyed Mousavi, S, Z., Mohammadi, J., Darvishzadeh, R., Shtaei Joybari, Sh., Rahmani, R., & Ghorbani, Kh. (2024). The effect of changes in quantitative characteristics of forest stand structure on leaf area index in Hyrcanian forests, Golestan province. *Ecology of Iranian Forest*, 12(2), 59-72. [In Persian]

Toda, M., Knohl, A., Luyssaert, S., & Hara, T. (2023). Simulated effects of canopy structural complexity on forest productivity. *Forest Ecology and Management,* 538, 120978.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-10-16]

[DOI: 10.66224/ifej.2026.591]