


Research Paper

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

Yaser Mohammadi¹, Jahangir Mohammadi² , HamidReza Riyahi Bakhtiyari³, Shaban Shataee Jouibary⁴ and Ramin Rahmani⁵

- 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



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



مقاله پژوهشی

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

یاسر محمدی^۱، جهانگیر محمدی^{۱b}، حمیدرضا ریاحی بختیاری^۲، شعبان شتابی جویباری^۳ و رامین رحمانی^۴

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 پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴
صفحه ۱۰۹ تا ۱۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰

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 نه تنها 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 ۱۵۰×۲۰۰ 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 به مدت 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 به ترتیب 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 ممز (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 به ترتیب ۸۴/۵، ۳۳/۵۲ و ۱۲/۴۱ و برای مرحله بلوغ به ترتیب ۹۵/۶، ۴۰/۰۶ و ۹/۵۹ و برای مرحله تخریب به ترتیب ۱۰۲/۵، ۲۸/۱۳ و ۶/۳۹ به دست آمد. همچنین، انحراف از معیار شاخص سطح برگ کل برای مرحله اولیه، بلوغ و تخریب به ترتیب 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 ممز، 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 نه تنها 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 تخریب‌شده باشند.

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

مقدمه

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

جنگل‌ها حدود یک‌سوم سطح خشکی‌های کره زمین 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،

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 منابع طبیعی 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 تنگاتنگی 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 منجر به 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 رانشستان‌های 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

تجدید شونده مانند جنگل‌ها از گذشته نقش مهمی در زندگی بشر بازی کرده‌اند. استفاده اصولی و پایدار از جنگل‌ها نیاز به برنامه‌ریزی فنی دارد. برنامه‌ریزی اصولی و فنی نیازمند جمع‌آوری داده‌ها و آنالیز و به‌دست آوردن اطلاعات کمی و کیفی مفید است (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 ارزیابی 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 Saedi et al., 2019). مراحل تحولی بر اساس

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 شصت‌کلانه 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.

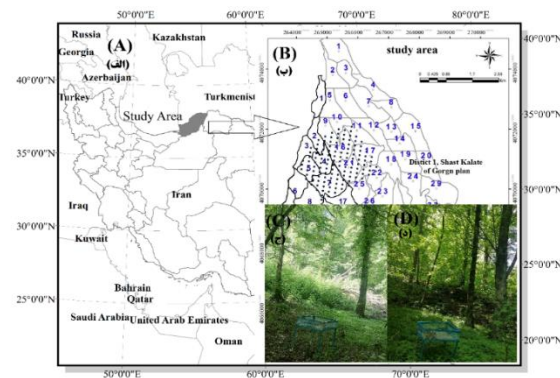
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخشی از سری یک و سری دو در طرح جنگل‌داری (شصت‌کلانه 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).

نشان دادند که مناسب‌ترین مدل قطر-ارتفاع در مرحله اولیه و بیول 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 حالی که 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 جنگل کاری 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. گائو 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 تقریباً 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



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، طرح جنگل‌داری شصت‌کلانه 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)

نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌های زمینی

در سال ۱۳۹۹، پس از شناسایی اولیه منطقه به‌روش منظم با شروع تصادفی، ۱۰۲ قطعه نمونه دایره‌ای شکل با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع با شبکه آماربرداری (۱۵۰×۲۰۰ 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) 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)

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

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

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

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

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

که در آن: LAI_t شاخص سطح برگ برای هر گونه در قطعه نمونه، WD_t^{sam} وزن خشک لاشبرگ هر گونه در هر تله‌برگ یا قطعه نمونه در هر رویشگاه و SLA_t سطح برگ ویژه برای هر گونه در هر منطقه هستند. GA سطح زمین (۳۶۰۰ cm² = ۶۰×۶۰) است. شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه نمونه نیز از رابطه ۴ محاسبه شد:

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

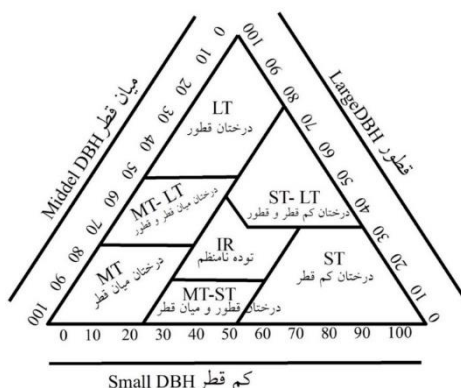
که در آن: LAI_t شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه نمونه و LAI_{ti} شاخص سطح برگ برای هر گونه در قطعه نمونه هستند.

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 قطعات نمونه 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



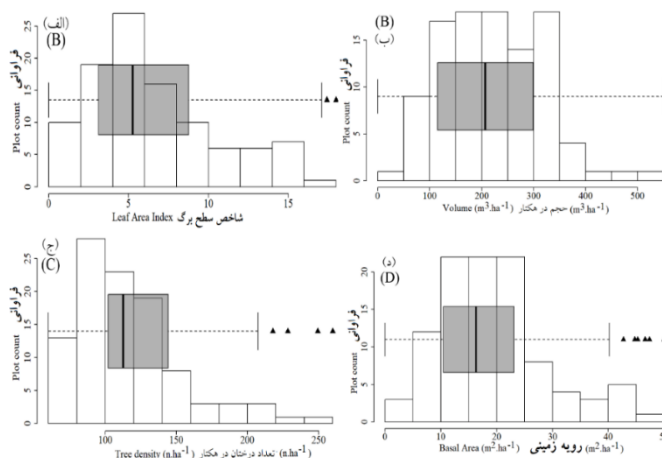
شکل ۲- تقسیم‌بندی مثلث ساختار جنگل LT: درختان طبقه قطور. ST-LT: درختان طبقه‌های کم قطر و قطور. MT-LT: درختان طبقه‌های میان قطر و قطور. IR: توده نامنظم. ST: درختان طبقه‌های کم قطر. MT: درختان طبقه میان قطر و میان قطر و میان قطر. MT-S: درختان طبقه میان قطر و میان قطر و میان قطر. LT: درختان طبقه‌های کم قطر و قطور. MT-LT: درختان طبقه‌های میان قطر و میان قطر 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)

۱) برای مرحله اوج $۷/۰۷۹$ ، $۲۱۸/۳$ ($m^3 \cdot ha^{-1}$)، $۱۲۳/۰۱$ ($m^2 \cdot ha^{-1}$) و $۱۹/۲۶$ ($n \cdot ha^{-1}$) و برای مرحله تخریب $۵/۸۵$ ، ۲۹۰ ($m^3 \cdot ha^{-1}$)، $۱۰۲/۸۶$ ($m^2 \cdot ha^{-1}$) و $۱۹/۶۸$ ($n \cdot ha^{-1}$) 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.

نتایج و بحث

ابتدا برای محاسبه شاخص سطح برگ، به محاسبه سطح ویژه برگ نیاز است. سطح ویژه برگ برای همه گونه‌ها در رویشگاه شصت کلاته 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، معمولاً 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، انجلی، 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 به ترتیب $۱۸۲/۴$ ، $۶/۰۹$ ($m^3 \cdot ha^{-1}$)، $۱۲۶/۶۷$ ($m^2 \cdot ha^{-1}$) و $۱۹/۱۹$ ($n \cdot ha^{-1}$)



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).

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 (m³.ha⁻¹), and basal area (m².ha⁻¹) separated by species at different developmental stages

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

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 (m³.ha⁻¹), basal area (m².ha⁻¹), and species at different developmental stages using Duncan's test

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

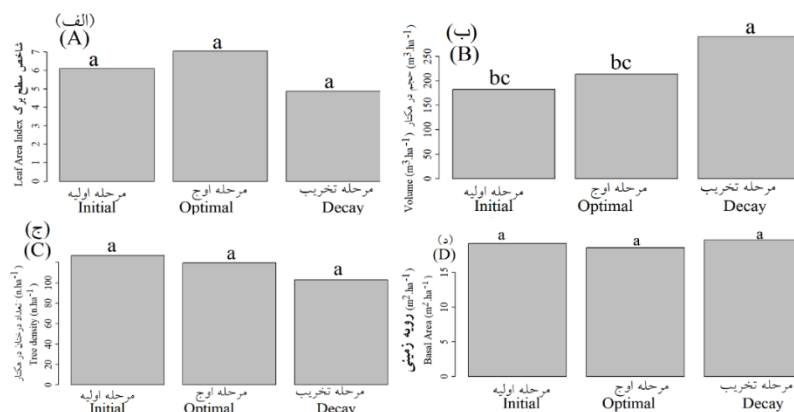
سطح معنی‌داری Significance	مقدار f	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation	عامل Agent
0.158 ^{ns}	1.882	2690.610	5381.221	2	بین گروه‌ها Between Groups	تعداد درختان در هکتار Tree density (n.ha ⁻¹)
		1429.859	141556.03	99	داخل گروه‌ها Within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

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

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ ns غیر معنی‌دار

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.

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 (Amini et al., Parhizkar et al., 2010) مطابقت ندارد. این عدم تطابق می‌تواند به عواملی مانند

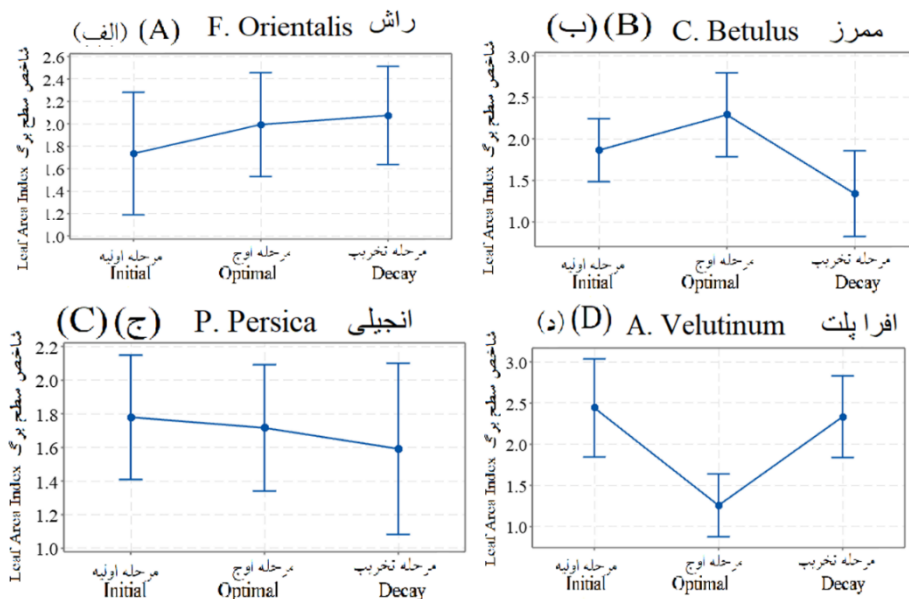


شکل ۴- شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در مراحل مختلف تحولی در جنگل‌های شصت کلانه گرگان
Figure 4. The leaf area index and quantitative forest characteristics at different stages of development in the forests of Shasat Kalateh, Gorgan

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 به دلیل رقابت و قرارگرفتن این گونه در زیر آشکوب می‌تواند مرتبط باشد.

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



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

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 بازبانی عملکرد اکوسیستم و کاهش اثرات تغییر اقلیم شوند.

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 دوچندان می‌شود. همچنین، مراحل تحولی توده نیز تحت تاثیر تعاملاتی بین دینامیک جمعیت، مکانیسم‌های آشفتنگی 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

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]

- 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., & Alibabae 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]

- 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.