Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Comparison of leaf area index and quantitative characteristics of forest stands structure in managed and unmanaged forest stands in ShastKalateh forests of Gorgan

Yaser Mohammadi[1], Jahangir Mohammadi[*2], Hamid Reza Riyahi Bakhtiyari[3], Shaban Shataee Jouibary[4], Ramin Rahmani[5]

1. Ph.D. Student of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mohammadiyaser71@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: hriyahi@sku.ac.ir
4. Professor, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shataee@gau.ac.ir
5. Professor, Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rahmani@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.03.2025
Revised: 02.15.2025
Accepted: 02.20.2025

Keywords:
Forest management,
Hyrcanian forests,
Leaf area index,
Tree density,
Volume

ABSTRACT

Background and Objectives: Understanding how forest management practices and harvesting influence the leaf area index (LAI), and comparing these effects to unmanaged stands, provides critical insights for informed decision-making, sustainable forest management, and future planning. This study aimed to assess and compare the LAI, volume, tree density, and basal area in managed and unmanaged stands, both overall and by species, within the uneven-aged broad-leaved forests of ShastKalateh.

Materials and Methods: The study was conducted in management districts 1 (managed stand) and 2 (unmanaged stand) of Dr. BahramNia's forestry plan. A systematic sampling approach was employed using a 200×150 m grid. Data on diameter at breast height (DBH), species type, and tree height were collected for each sample plot. Additionally, a 60×60×20 cm leaf litter trap was installed in each plot. Leaves were collected monthly over one year and analyzed in the laboratory to determine specific leaf area and dry weight per species. The LAI was calculated for each species and aggregated for all species within each plot. Volume per ha, tree density per ha, and basal area per ha were also calculated. An independent t-test was used to compare these metrics between managed and unmanaged stands.

Results: Descriptive statistics revealed that the overall LAI was higher in the managed stand (6.63) compared to the unmanaged stand (6.03). Species-specific LAI values in the managed stand were 1.76 for *F. orientalis* Lipsky, 2.01 for *C. betulus* L., 1.87 for *P. persica* and 1.63 for *A. velutinum* Boiss. In contrast, the unmanaged stand recorded values of 2.41, 1.44, 1.38, and 1.16, respectively. The independent t-test indicated a statistically significant difference in the overall LAI between managed and unmanaged stands at a 95% confidence level ($P<0.05$). However, no significant differences were observed in standing volume, tree density, or

basal area between the two stand types (P>0.05). Species-level analysis showed significant differences in LAI for *F. orientalis* Lipsky, *C. betulus* L., and *P. persica* between managed and unmanaged stands (P<0.05), but no significant difference was found for *A. velutinum* Boiss (P>0.05).

Conclusion: The findings demonstrate that forest management and harvesting significantly influence the LAI. Implementing suitable management practices and precise harvesting techniques can enhance the LAI, thereby improving forest productivity, carbon storage, and photosynthetic capacity.

Cite this article: Mohammadi, Yaser, Mohammadi, Jahangir, Riyahi Bakhtiyari, Hamid Reza, Shataee Jouibary, Shaban, Rahmani, Ramin. 2025. Comparison of leaf area index and quantitative characteristics of forest stands structure in managed and unmanaged forest stands in ShastKalateh forests of Gorgan. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (4), 63-79.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2025.23156.2088
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

مقایسه شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در توده‌های جنگلی مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان

یاسر محمدی[۱]، جهانگیر محمدی*[۲]، حمیدرضا ریاحی بختیاری[۳]، شعبان شتایی جویباری[٤]، رامین رحمانی[٥]

۱. دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mohammadiyaser71@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir
۳. استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: hriyahi@sku.ac.ir
٤. استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shataee@gau.ac.ir
٥. استاد گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rahmani@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۱۰/۱٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۲/۰۲

واژه‌های کلیدی:
تعداد در هکتار،
جنگل‌های هیرکانی،
حجم در هکتار،
شاخص سطح برگ،
مدیریت جنگل

چکیده

سابقه و هدف: آگاهی از تغییرات شاخص سطح برگ در اثر مدیریت جنگل و بهره‌برداری و مقایسه آن با توده‌های مدیریت نشده، اطلاعات باارزشی از توده‌های جنگلی را به ما خواهد داد که جهت تصمیم‌گیری صحیح در برنامه‌ریزی‌های آینده توده‌های جنگلی و مدیریت پایدار جنگل لازم و ضروری می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، تعداد در هکتار و رویه زمینی در هکتار در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده برای کل و به تفکیک گونه در توده‌های ناهمسال پهن‌برگ جنگل‌های شصت‌کلاته در یک شرایط رویشگاهی تقریباً مشابه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در بخشی از سری یک (توده مدیریت‌شده) و بخشی از سری دو (توده مدیریت نشده) در طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا واقع شده است. شبکه نمونه‌برداری به روش منظم-تصادفی با شبکه ۲۰۰×۱۵۰ متر بر روی زمین پیاده و در هر قطعه نمونه اطلاعات قطر برابرسینه، نوع گونه و ارتفاع برخی از درختان برداشت شد. سپس در هر قطعه نمونه یک تله لاشبرگ به ابعاد ٦۰×٦۰ سانتی‌متر و با عمق ۲۰ سانتی‌متر نصب و هر ماه یک‌بار از زمان نصب به‌مدت یک سال برگ‌های آن جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد و پس از محاسبه سطح ویژه برگ و وزن خشک برگ‌ها در تله به تفکیک گونه، شاخص سطح برگ به تفکیک گونه و سپس برای کل گونه‌ها در هر قطعه نمونه محاسبه گردید. هم‌چنین مشخصه‌های حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار نیز برای هر قطعه نمونه محاسبه گردید. سپس شاخص سطح برگ کل دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده به

تفکیک گونه‌ها، حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از آزمون t مستقل مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی نشان داد که شاخص سطح برگ در توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده به ترتیب ٦/٦٣ و ٦/٠٣ حاصل شد که میزان این شاخص در توده مدیریت‌شده نسبت به توده مدیریت‌نشده بیش‌تر بود. هم‌چنین میانگین شاخص سطح برگ به تفکیک گونه برای راش، ممرز، انجیلی و افرا پلت در توده مدیریت‌شده به ترتیب ١/٧٦، ٢/٠١، ١/٨٧ و ١/٦٣ و برای توده مدیریت‌نشده به ترتیب ٢/٤١، ١/٤٤، ١/٣٨ و ١/١٦ برآورد شد. نتایج آزمون t مستقل نشان داد که بین میانگین شاخص سطح برگ در کل دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در سطح احتمال ٩٥ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P.value<٠/٠٥). اما تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ٩٥ درصد بین مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده وجود ندارد (P.value>٠/٠٥). هم‌چنین نتایج نشان داد که بین شاخص سطح برگ گونه‌های انجیلی، ممرز و راش در دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در سطح احتمال ٩٥ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد اما تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ٩٥ درصد بین شاخص سطح برگ افرا پلت در دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده وجود ندارد (P.value>٠/٠٥).

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدیریت جنگل و بهره‌برداری تأثیر معنی‌داری بر روی شاخص سطح برگ دارد. بنابراین با مدیریت صحیح و بهره‌برداری دقیق می‌توان شاخص سطح برگ را افزایش داد و افزایش شاخص سطح برگ نیز باعث افزایش تولید، ذخیره کربن و فتوسنتز می‌شود.

استناد: محمدی، یاسر، محمدی، جهانگیر، ریاحی بختیاری، حمیدرضا، شتایی جویباری، شعبان، رحمانی، رامین (١۴٠٣). مقایسه شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در توده‌های جنگلی مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ٣١ (۴)، ٧٩-۶٣.
DOI: 10.22069/JWFST.2025.23156.2088

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

جنگل‌های پهن‌برگ شمال ایران به‌عنوان بخش مهمی از منابع طبیعی تجدیدشونده و یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی جنگلی کشور هستند که با توجه به افزایش جمعیت و به همراه آن افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و تخریب منابع طبیعی، از نظر وضعیت تنوع گونه‌ای و انقراض گونه‌ها دارای وضعیت نگران‌کننده‌ای می‌باشد (۱ و ۲). هم‌چنین به‌عنوان مهم‌ترین و باارزش‌ترین زیست‌بوم‌های جنگلی کشور و تنها منبع تولید چوب کشور و منبع درآمد اصلی طرح‌های جنگل‌کاری، بهره‌برداری و برداشت چوب درختان هستند. پژوهش و بررسی توده‌های مدیریت‌نشده این امکان را فراهم می‌سازد تا عوامل مؤثر و مطلوب موجود در رویشگاه را شناخته و از آن برای هدایت توده‌های مورد بهره‌برداری استفاده گردد (۳).

مدیریت صحیح و پایدار برای حفظ و ارتقاء کمیت و کیفیت جنگل‌ها بسیار ضروری است. برای تحقق مدیریت در جنگل، منابع و اراضی جنگل باید به ترتیبی مدیریت شوند که از جنبه اکولوژیک همیشه زنده و پایدار باشند و بتوانند نیازهای اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیک، فرهنگی و روحی نسل‌های فعلی و آینده را پاسخ دهند. تمام این ارزش‌ها در صورتی به‌طور کامل تحقق خواهد یافت که جنگل به‌صورت طبیعی و پایدار مدیریت شود (٤). برای توسعه مدیریت جنگل شناخت توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده که در طرح‌های جنگل‌داری قرار گرفته‌اند ضروری به‌نظر می‌رسد (۵). به همین دلیل جنگل‌های مدیریت‌نشده بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند. متأسفانه به دلیل دخالت‌ها و بهره‌برداری‌های بی‌رویه، بیش‌تر جنگل‌های بکر دنیا از بین رفته و یا در معرض نابودی هستند ولی خوشبختانه توده‌های جنگلی مدیریت‌نشده و یا به‌عبارتی کم‌تر دست‌خورده در جنگل‌های شمال ایران وجود دارند که بعضاً به‌عنوان قطعات شاهد در طرح‌های جنگل‌داری در نظر گرفته می‌شوند. ازاین‌رو استفاده مطلوب و اصولی از این منابع در معرض تخریب، اهمیت فراوانی دارد (٦). لازمه حفظ این جنگل‌ها داشتن یک برنامه مدون و صحیح مدیریتی می‌باشد و هرگونه برنامه‌ریزی و سیاست غلط در این رابطه می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری را متوجه حیات جنگل نماید. با توجه به این‌که بهترین شیوه برای مدیریت جنگل در راستای جنگل‌شناسی همگام با طبیعت، پیروی از طبیعت و الهام گرفتن از آن می‌باشد پس آگاهی از شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی و کیفی ساختار (حجم، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار و میانگین ارتفاع) جنگل‌های مدیریت‌نشده و مقایسه آن با جنگل‌های مدیریت‌شده از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند ما را در مدیریت پایدار جنگل‌ها یاری نماید. در مورد مقایسه مشخصه‌های کمی ساختار توده‌های مدیریت‌نشده مانند ذخیره کربن، تنوع گونه‌ای، حجم سرپا، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی با توده‌های مدیریت‌شده مطالعات زیادی انجام شده است (۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨). اما در مورد مقایسه شاخص سطح برگ توده‌های مدیریت‌نشده با توده‌های مدیریت‌شده مطالعات کمی انجام شده است (۱۹، ۲۰، ۲۱). برزین و همکاران (۲۰۱۸) مشخصه‌های کمی و کیفی ساختار توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در طرح جنگلداری لوه و طرح جنگلداری خاندوشان را با هم مورد مقایسه قراردادند. نتایج نشان داد که بین دو توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده از نظر تعداد، رویه زمینی و حجم سرپا درختان در هکتار تفاوت معنی‌داری در

سطح احتمال ۹۵ درصد وجود دارد. تعداد درختان در توده مدیریت‌شده نسبت به توده مدیریت‌نشده بیش‌تر است ولی رویه زمینی و حجم سرپا درختان در هکتار در توده مدیریت‌نشده بیش‌تر از توده مدیریت‌شده می‌باشد. مصلحی و همکاران (۲۰۲۰) شاخص سطح برگ، زی‌توده و سطح ویژه درختان چندل در جنگل‌های مانگرو سیریک در استان هرمزگان را مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد میانگین زی‌توده خشک، سطح ویژه و شاخص سطح برگ به ترتیب ۳/۳۳ کیلوگرم در هر درخت، ۳۹/۷٤ سانتی‌مترمربع در هر درخت و ۷/۰٦ بود. موسوی و همکاران (۲۰۲٤) اثر مشخصه‌های کمی ساختار توده‌های جنگلی بر روی شاخص سطح برگ در جنگل‌های هیرکانی، استان گلستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سه مشخصه کمی حجم تاج در هکتار، میانگین ارتفاع و حجم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر روی تغییرات شاخص سطح برگ دارند و این سه مشخصه بهتر می‌تواند شاخص سطح برگ را تبیین کنند. چائوهان و همکاران (۲۰۰۸) در هند نشان داد که توده‌های مدیریت‌نشده دارای تنوع گونه‌ای بالاتری نسبت به توده‌های مدیریت‌شده هستند. نلسون و همکاران (۲۰۱۵) در ایالات‌متحده آمریکا اثر ترکیب (سوزنی‌برگ، پهن‌برگ و آمیخته) و شدت تنک کردن (کم، متوسط و زیاد) را بر روی شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که میزان شاخص سطح برگ در توده‌های مدیریت‌شده با تنک کردن کم و متوسط در یک دوره ۷ ساله به‌ترتیب ۲٤۲ و ۳۱۸ درصد افزایش یافت اما توده مدیریت‌نشده ۱۲۳ درصد افزایش‌یافته بود. یانگ و همکاران (۲۰۱۷) در جنگل‌های آمریکا نتیجه گرفتند که با افزایش حجم در هکتار و رویه زمینی میزان شاخص سطح برگ نیز افزایش پیدا می‌کند. اوهاراباتلس و همکاران (۲۰۲۰) میزان شاخص سطح برگ را در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در توده سوزنی‌برگ آمیخته سیرا نوادا کالیفرنیا مورد مقایسه قرار دادند و نتایج این پژوهش نشان داد مدیریت جنگل باعث تغییر در تراکم و ترکیب توده و درنتیجه تغییر در شاخص سطح برگ می‌گردد.

شاخص سطح برگ یک کمیت بدون واحد است و به‌عنوان سطح کل یک‌طرف برگ درختان در واحد سطح زمین تعریف شده است (۲۲). این شاخص از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی است که اطلاعات زیادی در ارتباط با پویایی جنگل، میزان فتوسنتز، تبخیر و تعرق، حاصلخیزی رویشگاه‌ها، تولید خالص اولیه، ضریب تبادل انرژی و کربن بین پوشش گیاهی و جو در اختیار مدیران، برنامه‌ریزان و پژوهش‌گران قرار می‌دهد (۲۲، ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲٦). بین حاصلخیزی خاک، شاخص سطح برگ، رویش درختان و میزان زی‌توده رابطه مستقیمی وجود دارد. افزایش شاخص سطح برگ نشان‌دهنده افزایش حاصلخیزی خاک، رویش و میزان زی‌توده می‌شود (۲۷). شاخص سطح برگ برای ارزیابی تولیدات و کیفیت توده تأثیر فراوانی دارد.

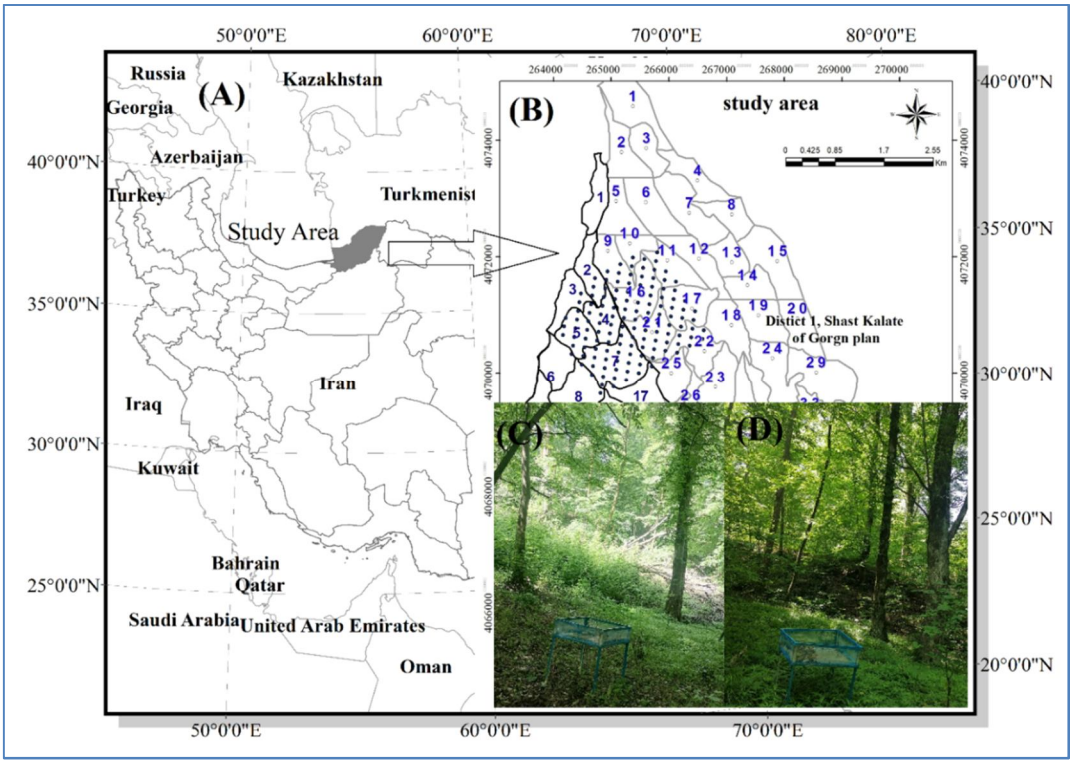
روش‌های برآورد و اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به دو دسته کلی روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم (جمع‌آوری برگ با استفاده از تله لاشبرگ) دقیق‌ترین و بااطمینان‌ترین راه برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ است (۲۸). روش‌های غیرمستقیم مانند ابزارهای اپتیکی، داده‌های سنجش از دوری و استفاده از دوربین‌های عکس‌برداری با لنز چشم ماهی می‌توان نام برد (۹). در رابطه با تعیین شاخص سطح برگ در توده‌های جنگلی در

داخل و خارج از کشور مطالعاتی از جمله (۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳) انجام شده است که میزان شاخص سطح برگ را بین ۰/۵۸ تا ۷/۷ به دست آوردند.

با توجه به بررسی سوابق پژوهش، مشخص شد که در زمینه مقایسه شاخص سطح برگ بین توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده مطالعات کمی انجام شده است و بیش‌تر مطالعات جهت تبیین تفاوت بین توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده از نظر مشخصه‌های کمی ساختار در رویشگاه‌های مختلف و زمان‌های مختلف انجام شده است. جهت بررسی تأثیر مدیریت جنگل، توده‌هایی که دارای طرح جنگلداری نبودند و هیچ‌گونه عملیات و بهره‌برداری در آن‌ها انجام نشده است و دارای ساختار کم‌وبیش طبیعی هستند جهت مقایسه با توده‌های مدیریت‌شده دارای اهمیت بالایی هستند. بنابراین هدف از این مقاله مقایسه شاخص سطح برگ کل و به تفکیک گونه و همین‌طور مشخصه‌های حجم در هکتار، تعداد در هکتار و رویه زمینی در هکتار توده‌های مدیریت‌شده و توده‌های مدیریت‌نشده در شرایط رویشگاهی تقریباً مشابه در جنگل‌های سری ۱ (توده مدیریت‌شده) و سری ۲ (توده مدیریت‌نشده) طرح جنگلداری شصت‌کلاته گرگان است.

روش تحقیق

منطقه پژوهش: منطقه موردمطالعه در بخشی از سری یک توده مدیریت‌شده در پارسل‌های ۲۱ و ۱۶ و بخش از سری دو مدیریت‌نشده در محدوده پارسل‌های ٤، ٥ و ٧ طرح جنگلداری (شصت‌کلاته گرگان) در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب‌شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ٢٤ دقیقه تا ٥٤ درجه و ٢٥ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ٣٦ درجه و ٣٨ دقیقه تا ٣٦ درجه و ٤٢ دقیقه شمالی می‌باشد. سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا قبل از سال ١٣٤٧ تحت پوشش هیچ طرح جنگلداری قرار نداشته و بهره‌برداری علمی در آن صورت نگرفته است و در سال ۱۳۵۵ توسط مدرسین دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و کارشناسان وقت و با همکاری کارشناسان FAO طرح جنگلداری تهیه و در سال ۱۳۵۹ به اجرا درآمده و تا سال ۱۳۹۵ اجرای طرح تعطیلی بهره‌برداری ادامه داشت؛ اما جنگل‌های سری ۲ تاکنون در قالب طرح جنگلداری تحت مدیریت قرار نگرفته و هیچ‌گونه طرح یا برنامه مدون برای مناطق مذکور تهیه و تدوین نگردیده است. جهت عمومی دامنه منطقه مورد مطالعه شمال‌غربی است و منطقه مورد مطالعه بر اساس ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه، از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی متوسط سالیانه ٦٤٩ میلی‌متر که بین ٥٢٨ تا ٨١٧ میلی‌متر متغیر است. متوسط درجه حرارت سالیانه ١٥/٤ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی سالیانه ٦٣/٢ درصد، میانگین وزنی متوسط تبخیر و تعرق سالیانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌متر و فصل رویش حدود ۱۰ ماه می‌باشد (٣٤).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان (A)، منطقه مورد مطالعه در طرح جنگلداری شصت‌کلاته گرگان (B)، تله لاشبرگ در توده‌های جنگلی (C) و (D).

Figure 1. Location of Iran and Golestan Province (A), ShastKalateh Study area (B), litter traps in forest stands (C) and (D).

نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده: ابتدا با شناسایی اولیه منطقه به روش منظم تصادفی، ۱۰۲ قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع، طبق الگوی سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور (۲۰۰×۱۵۰ متر) بر روی زمین پیاده و در هر قطعه‌نمونه اطلاعات قطر برابر سینه با استفاده از دستگاه کالیپر، نوع گونه و ارتفاع برخی از درختان با استفاده از دستگاه ورتکس لیزر (Vertex Laser VL402) برداشت و موقعیت مکانی قطعات نمونه با استفاده از دستگاه DGPS تفاضلی ثبت شد. سپس در مرکز هر قطعه‌نمونه یک تله لاشبرگ با ابعاد ٦۰×٦۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر جهت جمع‌آوری برگ نصب و هر ماه یک‌بار از زمان نصب به مدت یکسال برگ‌های آن جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۳٤ تله در سری مدیریت‌نشده (طبیعی) و تعداد ٦۸ تله در سری مدیریت‌شده و در مجموع تعداد ۱۰۲ تله نصب شد.

اندازه‌گیری سطح ویژه برگ[1] (SLA) و اندازه‌گیری شاخص سطح برگ: برای محاسبه سطح ویژه برگ، از تمامی گونه‌های درختی موجود در منطقه موردمطالعه، به روش تصادفی ۳۰ درخت از هرگونه، برای هرگونه در ٤ جهت جغرافیایی و در هر جهت ۵ برگ انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای هرگونه درختی در منطقه مورد مطالعه به تعداد ٦۰۰ برگ جمع‌آوری شد. در رویشگاه مورد مطالعه ٤ گونه درختی حضور داشت که در مجموع ۲٤۰۰ نمونه برگ آنالیز و اسکن شد (۳۵). وزن‌تر با استفاده از ترازوی الکترونیکی (۰/۰۱ ± گرم)، با دقت بالا اندازه‌گیری شد. سپس سطح برگ با استفاده اسکنر hp

1- Specific leaf area

با وضوح ۱۲۰۰ dpi اسکن شدند. مساحت هر برگ با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد. برگ‌ها پس از اندازه‌گیری مساحت در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت در آون خشک شدند و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی الکترونیکی (۰/۰۱ ± گرم) اندازه‌گیری شد. در ادامه سطح ویژه برگ از تقسیم مساحت هر برگ به وزن خشک آن محاسبه و سپس سطح ویژه برگ برای هر درخت (t) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (٣٦، ٣٧ و ٣٨).

$$SLA_t = \frac{LA_t^{sam}}{WD_t^{sam}} \quad (1)$$

که، SLA_t سطح برگ ویژه برای هرگونه درخت بر حسب سانتی‌مترمربع بر گرم است، LA_t^{sam} مساحت هر برگ نمونه از هرگونه در هر رویشگاه بر حسب سانتی‌مترمربع است و WD_t^{sam} وزن خشک هر برگ نمونه بر حسب گرم است (رابطه ۲).

$$SLA_t = \frac{\sum SLA_t}{n} \quad (2)$$

سپس برای هر قطعه‌نمونه، میزان شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$LAI_t = WD_t^{sam} \times \frac{SLA_t}{GA} \quad (3)$$

که، LAI_t شاخص سطح برگ برای هرگونه درخت در قطعه‌نمونه است، WD_t^{sam} وزن خشک لاشبرگ هر گونه درخت در هر تله برگ در هر رویشگاه است و SLA_t سطح برگ ویژه برای هر گونه درخت در هر منطقه است. GA سطح زمین ($٦٠\times٦٠=٣٦٠٠cm^2$) است. شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه‌نمونه نیز از رابطه زیر محاسبه شد (رابطه ٤):

$$LAI_t = \sum_{i=1}^{n} LAI_{ti} \quad (4)$$

که، LAI_t شاخص سطح برگ کل برای هر قطعه‌نمونه است و LAI_{ti} شاخص سطح برگ برای هر گونه در قطعه‌نمونه است.

جهت محاسبه حجم درختان از معادلات آلومتریک تهیه‌شده برای گونه‌های غالب در این منطقه موردمطالعه استفاده گردید و ابتدا حجم تک‌تک درختان و سپس میزان حجم، تعداد درختان و رویه زمینی در قطعات نمونه محاسبه و سپس به هکتار تبدیل شد (۳۹ و ٤٠).

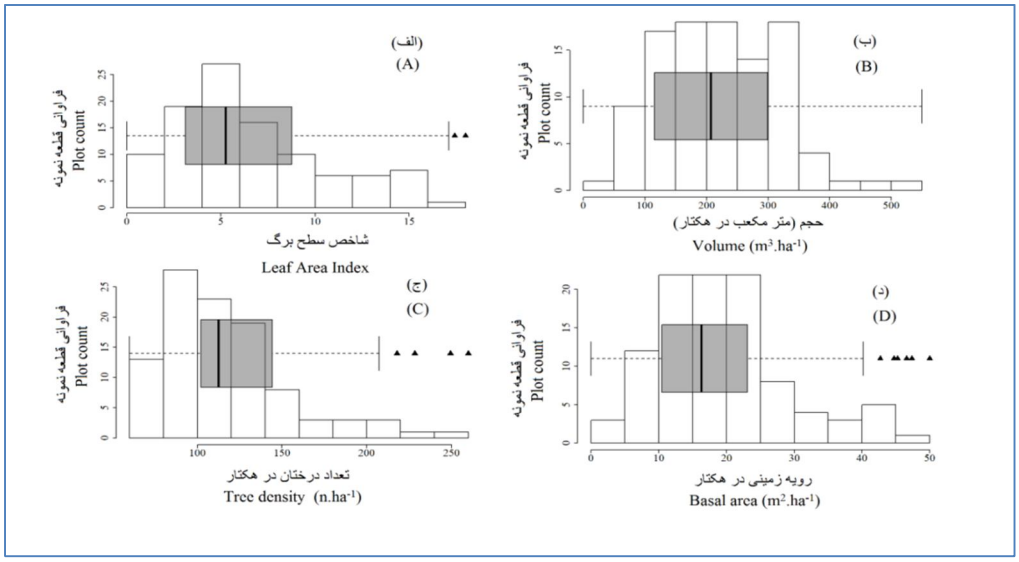
نتایج

مقایسه شاخص سطح برگ و مشخصه‌های کمی جنگل در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در رویشگاه شصت‌کلاته استان گلستان: نتایج آماره‌های توصیفی حاصل از اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار برای توده مدیریت‌شده به‌ترتیب ٦/٦٣٦، ($m^3.ha^{-1}$) ٢١٨، ($n.ha^{-1}$) ١٢٣/٨٢ و ($m^2.ha^{-1}$) ١٩/٩٨ به‌دست آمد و برای توده مدیریت‌نشده به‌ترتیب ٦/٣٩٣، ($m^3.ha^{-1}$) ٢٣٢/٤، ($n.ha^{-1}$) ١١٤/٧١ و ($m^2.ha^{-1}$) ١٧/٩٦ به دست آمد (جدول ۱). هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین شاخص سطح برگ در توده مدیریت‌شده مربوط به گونه ممرز (۲/۰۱٥٦) و در توده مدیریت‌نشده مربوط به گونه راش (۲/٤١٣٢) می‌باشد (شکل ۱، جدول ۱). نتایج حاصل از نرمال بودن شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نشان داد که به‌احتمال ۹٥ درصد شاخص سطح برگ، حجم در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار از توزیع نرمال پیروی می‌کنند (P.value>۰/۰٥) (شکل ۲).

جدول ۱- نتایج آماره‌های توصیفی شاخص سطح برگ و مشخصه‌های تعداد درختان در هکتار، حجم در هکتار و رویه زمینی در هکتار و شاخص سطح برگ گونه‌های ممرز، راش، انجیلی و افرا پلت در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده.

Table 1. Results of descriptive statistics of leaf area index and characteristics of Tree density ($n.ha^{-1}$), volume ($m^3.ha^{-1}$) and Basal area ($m^2.ha^{-1}$) and leaf area index of *C. betulus* L, *F. Oreintalis* Lipsky, *P. persica* and *A. Velutinum* Boiss species in managed and unmanaged stands.

انحراف از معیار Std. D	میانگین Mean	حداکثر Max.	حداقل Min.	مشخصه مورد بررسی Parameters	توده Stand
3.833	6.636	16.430	1.164	شاخص سطح برگ LAI	مدیریت‌شده Managed stands
95.6	218.0	477.9	37.9	حجم در هکتار Volume ($m^3.ha^{-1}$)	
41.07	123.82	250.0	60.0	تعداد درختان در هکتار Tree density ($n.ha^{-1}$)	
10.59	19.98	46.81	3.46	رویه زمینی در هکتار Basal area ($m^2.ha^{-1}$)	
1.08408	1.8702	5.11	0.55	انجیلی *P. persica*	
1.34005	2.0156	5.83	0.46	ممرز *C. betulus* L	
1.03968	1.7672	4.62	0.43	راش *F.oreintalis* Lipsky	
0.90224	1.1661	3.74	0.55	افرا پلت *A. velutinum* Boiss	
4.138	6.393	14.941	1.392	شاخص سطح برگ LAI	مدیریت‌نشده Unmanaged stands
105.3	232.4	518.7	58.3	حجم در هکتار Volume ($m^3.ha^{-1}$)	
105.3	114.71	250.0	60.0	تعداد درختان در هکتار Tree density ($n.ha^{-1}$)	
7.18	17.96	33.59	4.58	رویه زمینی در هکتار Basal area ($m^2.ha^{-1}$)	
1.10538	1.3878	4.12	0.06	انجیلی *P. persica*	
0.86223	1.4412	3.39	0.09	ممرز *C. betulus* L	
1.29575	2.4132	3.59	1.58	راش *F.oreintalis* Lipsky	
1.21372	1.6383	2.11	0.72	افرا پلت *A. velutinum* Boiss	



شکل ۲- هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای شاخص سطح برگ (الف)، حجم در هکتار (ب)، تعداد درختان در هکتار (ج) و رویه زمینی در هکتار (د).

Figure 2. Histogram and box plot of leaf area index (a), volume ($m^3.ha^{-1}$) (b), Tree density ($n.ha^{-1}$) (c), and Basal area ($m^2.ha^{-1}$) (d).

نتایج مقایسه شاخص کل سطح برگ توده مدیریت‌شده با توده مدیریت‌نشده با استفاده از آزمون تی مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین شاخص سطح برگ کل توده مدیریت‌شده با توده مدیریت‌نشده وجود داشت (P.value<۰/۰۵) (جدول ۲ و شکل ۳).

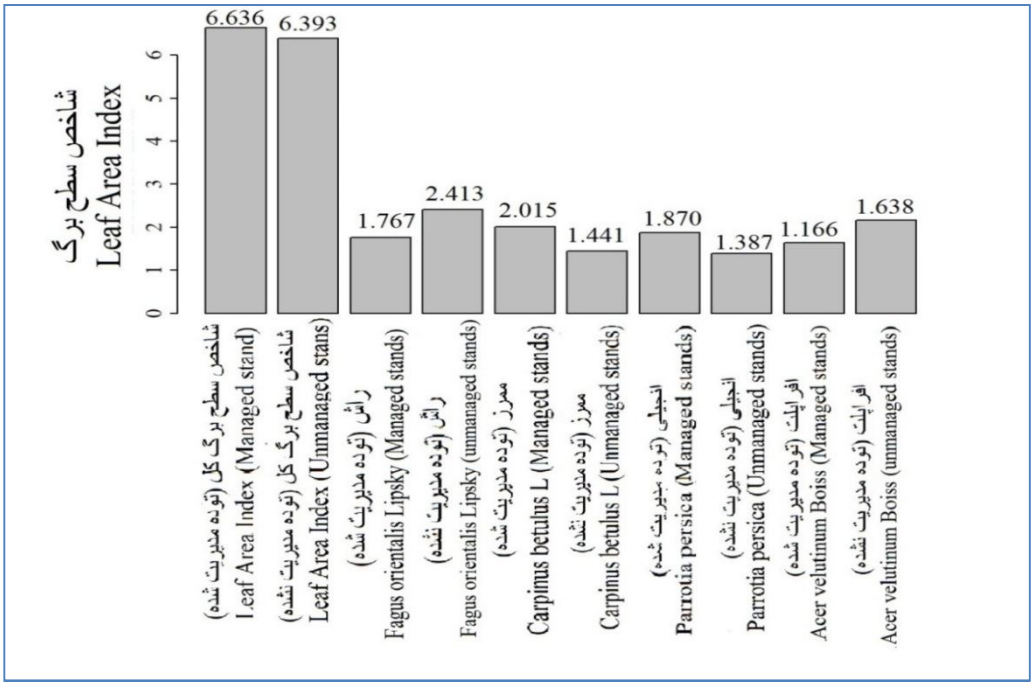
جدول ۲- نتایج مقایسه شاخص سطح برگ و مشخصه‌های تعداد در هکتار، حجم در هکتار و رویه زمینی در هکتار و گونه‌های ممرز، راش، انجیلی و افرا پلت در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده با استفاده از آزمون t مستقل.

Table 2. Results of comparison of leaf area index and characteristics Tree density ($n.ha^{-1}$), volume ($m^3.ha^{-1}$) and Basal area ($m^2.ha^{-1}$) and species of *C. betulus* L, *F. Oreintalis* Lipsky, *P. persica* and *A. Velutinum* Boiss in managed and unmanaged stands using independent t-test.

سطح معنی‌داری Sig.	درجه آزادی df	آماره t t. statistics	مشخصه مورد بررسی Parameters
0.03916*	68.316	2.1029	شاخص سطح برگ LAI
0.4288^{ns}	62.281	-0.79641	حجم در هکتار Volume ($m^3.ha^{-1}$)
0.5632^{ns}	83.763	0.58019	تعداد درختان در هکتار Tree density ($n.ha^{-1}$)
0.3564^{ns}	92.406	0.92682	رویه زمینی در هکتار Basal area ($m^2.ha^{-1}$)
0.02173*	67.973	2.3491	ممرز *C. betulus* L
0.04124*	31.343	-2.027	راش *F. oreintalis* Lipsky
0.03467*	54.170	1.9466	انجیلی *P. persica*
0.1515^{ns}	22.23	-1.4852	افرا پلت *A. velutinum* Boiss

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ^{ns}عدم معنی‌داری

* Significant at the 95% probability level, ^{ns} non-significant



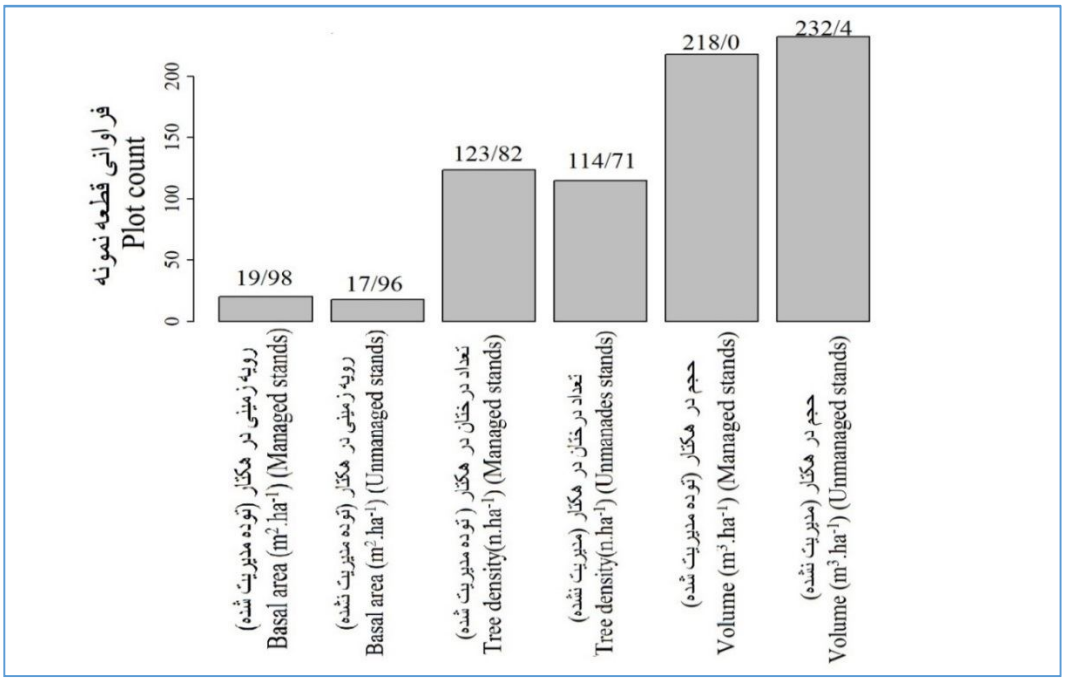
شکل ۳- میزان شاخص سطح برگ کل و گونه‌های موجود در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان.

Figure 3. Total leaf area index and species present in managed and unmanaged stands in ShastKalateh forests of Gorgan.

نتایج حاصل از مقایسه مشخصه‌های حجم در هکتار، تعداد در هکتار و رویه زمینی توده مدیریت‌شده با توده مدیریت‌نشده با استفاده از آزمون تی مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین مشخصه‌های کمی ساختار توده مدیریت‌شده با مدیریت نشده وجود ندارد (P-value>۰/۰۵) (جدول ۲) که با نتایج نلسون و همکاران (۲۰۱۵)، اوهاراباتلس (۲۰۲۰) و تبرک و همکاران (۲۰۲٤) بیان کردند مدیریت توده‌های جنگلی باعث تغییر در تعداد درختان در هکتار و در نتیجه آن تغییر در شاخص سطح برگ خواهد شد و این تغییر معنی‌دار می‌باشد مطابقت دارد.

مطابق با نتایج انیسی و همکاران (۲۰۰۹)، حسن‌زاد ناورودی و همکاران (۲۰۰۹) و محمدی و همکاران (۲۰۱٤) تعداد درختان در هکتار توده مدیریت‌شده با توده مدیریت‌نشده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد ندارد. که به دلیل اجرای شیوه جنگل‌شناسی همگام با طبیعت در توده‌های مدیریت‌شده و علاوه بر آن حدود ٦ سال اجرای طرح تنفس و عدم بهره‌برداری می‌باشد. علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار تعداد درختان در هکتار بین توده مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده، میانگین تعداد درختان در هکتار توده مدیریت‌شده ۱۲۳/۸ (تعداد درختان در هکتار) بیش‌تر از توده مدیریت‌نشده ۱۱٤/۷۱ (تعداد درختان در هکتار) می‌باشد که به بهره‌برداری و مدیریت و شیوه جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت برمی‌گردد. در اثر نشانه‌گذاری و قطع درختان انتخاب‌شده و ایجاد فضا برای رشد زادآوری و گونه‌های پیشگام در توده مدیریت‌شده باعث افزایش تعداد درختان در هکتار بیش‌تر و در نتیجه آن افزایش تراکم تاج پوشش و افزایش شاخص سطح برگ شود. که با نتایج (جک و بانگ، ۱۹۹۱؛ ترند و همکاران، ۲۰۰٤؛ داکی و همکاران، ۲۰۰۵؛ مک‌داول و همکاران، ۲۰۰۷؛ نلسون و همکاران، ۲۰۱۵؛ اوهاراباتکس،

۲۰۲۰؛ تپریک و همکاران، ۲۰۲٤) مطابقت دارد که بیان کردند با افزایش تعداد درختان در هکتار شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد. بهره‌برداری و مهیا کردن فضا برای رشد گروه‌های زادآوری باعث افزایش تعداد درختان در هکتار در توده مدیریت‌شده، شده است و بنابراین هرچه تعداد درختان در هکتار بیش‌تر، میزان تراکم تاج پوشش نیز بیش‌تر و در نتیجه شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد (شکل ٤).



شکل ٤- میزان مشخصه‌های کمی جنگل در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده در جنگل‌های شصت‌کلاته گرگان.

Figure 4. Quantitative forest characteristics in managed and unmanaged stands in the ShastKalateh forests of Gorgan.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای در مورد مقایسه شاخص سطح برگ در توده مدیریت‌شده با مدیریت نشده انجام نشده است و در دنیا خیلی کم انجام شده است و بیش‌تر مطالعات انجام شده در مورد مقایسه مشخصه‌های کمی حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار، رویه زمینی در هکتار و شاخص‌های تنوع گونه‌ای انجام شده بود و هم‌چنین با توجه به اهمیت شاخص سطح برگ در مطالعات اثرات تغییر اقلیم و فرسایش جهانی، فرآیندهای اکوسیستم، پویایی جنگل و تولید خالص اولیه جنگل و همین‌طور ارتباط مستقیم شاخص سطح برگ با مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار، پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه شاخص سطح برگ کل و به تفکیک گونه توده مدیریت‌شده با توده مدیریت‌نشده و هم‌چنین مقایسه مشخصه‌های حجم سرپا در هکتار، تعداد درختان در هکتار و رویه زمینی در هکتار در توده مدیریت‌شده با مدیریت‌نشده انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه و مقایسه آن با سایر مطالعات، درنهایت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که انجام بهره‌برداری و مدیریت جنگل به شیوه تک‌گزینی با استفاده از نشانه‌گذاری و قطع درختان باعث ایجاد فضا برای رشد گروه‌های زادآوری و افزایش تعداد درختان در هکتار به‌ویژه گونه‌های ممرز و انجیلی

می‌شود و در نتیجه آن تراکم تاج‌پوشش افزایش و سپس میزان شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد و نتایج این پژوهش نیز تفاوت معنی‌داری شاخص سطح برگ را بین دو توده نشان داد و هم‌چنین میزان شاخص سطح برگ در توده مدیریت‌شده نسبت به توده مدیریت‌نشده بیش‌تر می‌باشد که نشان از افزایش تولید ناخالص اولیه می‌باشد. علاوه بر آن با اعمال شیوه جنگل‌شناسی و بهره‌برداری باعث افزایش منابع قابل‌دسترس اشکوب بالا و همین‌طور افزایش ورود نور به آشکوب میانی و زیرین خواهد شد که باعث ایجاد شرایط بهتر برای زادآوری و افزایش تعداد درختان در هکتار و تراکم تاج‌پوشش و همین‌طور رویش آشکوب زیرین و میانی و در نتیجه آن تغییر در شاخص سطح برگ و افزایش تولید خواهد شد.

در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدیریت توده‌های جنگلی نه‌تنها باعث حفظ موجودی سرپا شده است بلکه باعث افزایش شاخص سطح برگ و تولید جنگل نیز شده است که نشان‌دهنده ضرورت مدیریت توده‌های جنگلی می‌باشد. بنابراین آگاهی از شاخص سطح برگ و سایر مشخصه‌های کمی ساختار توده‌های مدیریت‌نشده مانند حجم سرپا و غیره به‌عنوان الگوی طبیعی مناسب در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و پایدار توده جنگلی و اصلاح تفاوت‌های حداقل به وجود آمده بین دو توده لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های تکمیلی در زمینه مقایسه شاخص سطح برگ توده‌های مدیریت‌شده با مدیریت‌نشده در سایر رویشگاه‌ها انجام شود.

منابع

1. Ejtehadi, H., Sepehry, A., & Akkafi, H. R. (2009). Methods of measuring biodiversity. Ferdowsi university of Mashhad press. 228p. [In Persian]
2. Pourbabaei, H., & Dado, Kh. (2006). Species diversity of woody plants in the district No. 1 forests, Kelardasht, Mazandaran province. *Iranian Journal of Biology*, 18 (4), 307-322. [In Persian]
3. Korpel, S. (1982). Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest an example of natural forests of Slovia, Zvolen-Czechoslovakia, 23p.
4. Anissi, I., KiaDaliri, H., Akhavan, R., & Babaei Kafaki, S. (2010). Impact of management on quantitative and qualitative characteristics of forest in comparison to unmanaged forest (Case study: Golband region). *Iranian journal of forest and poplar research*, 17 (4), 615-626.
5. Olesk, A., Praks, J., Antropov, O., Zalite, K., Arumäe, T., & Voormansik, K. (2016). Interferometric SAR coherence models for characterization of hemiboreal forests using TanDEM-X data. *Remote Sensing*. 8 (9), 700.
6. Rahmani, R., Ghorbani, S., Painter & Zargzan, M. (2013). Measurement and modeling of litter weight and leaf area index by allometric method in a Beech-Hornbeam forest, high altitude of Hyrcanian forests of Iran. *Scientific-Research Quarterly Journal of Forest and Spruce Research in Iran*. 22 (4), 687-701.
7. Angres, V. A., Messier, Ch., Beaaudet, M., & Leduc, A. (2005). Comparing composition and structure in old-growth and harvested (selection and diameter limit cuts) northern hardwood stands in Quebec. Forest Ecology and Management. 217, 275-293.
8. Amiri, M., Dargahi, D., Azadfar, D., & Habashi, H. (2018). Comparison of the composition and structure of exploited natural stands in Loh Gorgan forests, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15 (6), 63-54.
9. Anissi, I., Kia-Daliri, H., Akhavan, R., & Babaei Kafaki, S. (2010). Impact of management on quantitative and qualitative characteristics of forest in comparison to unmanaged forest (Case study: Golband

region). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 17 (4), 615-626.
10. Hassan Navrodi, A. (2009). Basics of Forestry, Haqshana Rasht Publications. 248p.
11. Mohammadi, J., Shataee, Sh., & Namiranian, M. (2014). Comparison of quantitative and qualitative characteristics of forest structure in naturally managed and unmanaged forest stands (Case study: Shast Kalate forests of Gorgan). Gorgan, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 21 (1), 65-83. [In Persian]
12. Chauhan, D. S., Dhanai, C. S., Singh, B., Chauhan, S., Todaria N. P., & Khalid, M. A. (2008). Regeneration and tree diversity in natural and planted forests in a Terai-Bhabhar forest in Katarniaghat Wildlife Sanctuary, India. *Tropical Ecology*. 49 (1), 53-67.
13. Sitzia, T., Trentanovi, G., Dainese, M., Gobbo, G., Lingua, E., & Sommacal, M. (2012). Stand structure and plant species diversity in managed and abandoned silver fir mature.
14. Rutten, G., Ensslin, A., Hemp, A., & Fischer, M. (2015). Forest structure and composition of previously selectively logged and non-logged montane forests at Mt. Kilimanjaro. *Forest Ecology and Management*. 337 (1), 61-66.
15. Barzin, M., Mohammadi, J., Shataee, S., & Mosavinejad, S. E. (2017). Comparison of quantitative and qualitative characteristics of the structure of managed and unmanaged stands (case study: Loh forestry project and Khandoshan forestry project). *Journal of Research in Wood and Forest Science and Technology*. 24, 4.
16. Baran, J., Pielech, R., Kauzal, P., Kukla, W., & Bodziarczyk, J. (2020). Influence of forest management on stand structure in ravine forests. *Forest Ecology and Management*. 463, 118018.
17. Mohammadnezhad-Kiasari, S., Sagheb-Talebi, K. H., Rahmani, R., & Ghelichnia, H. (2023). Comparison of plant diversity between managed and unmanaged forests in Haftkhal, Mazandaran Province, North of Iran. *Asian Journal of Forestry*. 7, 2.
18. Langridge, J., Delabye, S., Gilg, O., Paillet, Y., Reyjol, Y., Sordello, R., Touroult, J., & Gosselin, F. (2023). Biodiversity responses to forest management abandonment in boreal and temperate forest ecosystems: A meta-analysis reveals an interactive effect of time since abandonment and climate. *Biological Conservation*. p. 110296.
19. Nelson, A. S., Wagner, R. G., Weiskittel, A. R., & Saunders, M. R., (2015). Effects of species composition, management intensity, and shade tolerance on vertical distribution of leaf area index in juvenile stands in Maine, USA. *European Journal of Forest Research*, 134, 281-291.
20. Young, B. D., D'Amato, A. W., Kern, C. C., Kastendick, D. N., & Palik, B. J. (2017). Seven decades of change in forest structure and composition in Pinus resinosa forests in northern Minnesota, USA: Comparing managed and unmanaged conditions. *Forest Ecology and Management*. 395, 92-103.
21. O'Hara, K. L., & Battles, J. J. (2020). Variation in leaf area index in complex mixed-conifer forests in California's Sierra Nevada: implications for stocking control. Forestry: An *International Journal of Forest Research*. 93 (5), 641-651.
22. Kuuluvainen, T., Pentinen, A., Leinonen, K., & Nygren, M. (1996). Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: An example from Boreal Spruce forest in southern Finland, *Silva Fennica*. 30 (2-3), 315-328.
23. Korpel, S. (1982). Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest an example of natural forests of Slovia, Zvolen-Czechoslovakia. 23p.
24. Dagestani, M. (2018). The application of remote sensing in the forest, the first regional geomatic conference. pp. 4-8.

25. Hassanzad Navrodi, A. (2009). Basics of Forestry, Haqshana Rasht Publications. 248p.
26. Amiri, M., Dargahi, D., Azadfar, D., & Habashi, H. (2018). A. Comparison of the composition and structure of exploited natural stands in Loh Gorgan forests, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15 (6), 63-54.
27. Sarikhani, N. (2018). Forest exploitation, Tehran University Press, 728p.
28. Amiri, M. (2008). Comparison of condition (quantity and quality) and structure of natural and managed stands of Oak (*Quercus castaneifolia*) in Loveh forest. M.Sc. thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 72p.
29. Rahmani, R., Ghorbani, S., & Painter Zargzan, M. (2014). Measurement and modeling of litter weight and leaf area index by allometric method in a Beech-Hornbeam forest, high altitude of Hyrcanian forests of Iran. *Scientific-Research Quarterly Journal of Forest and Spruce Research in Iran*. 22 (4), 687-701.
30. Ruhi Moghadam, A. (2015). Investigating the relationship between LAI and soil carbon deposition in pure and mixed stands of oak planted (case study: Chamestan plain forests). *Natural Ecosystems of Iran*, 5 (4), 11-22.
31. Boram, K., Jihyeon, J., Hyun, S. K., & Myong, J. Y. (2016). Estimation of specific leaf area index using direct method by leaf Litter in Gwangneung, Mt. Taewha, and Mt. Gariwang. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 18 (1), 1-15.
32. Moslehi, M., Yaqubzadeh, M., Bijni, A., & Ahmadi, A. (2020). Measurement and estimation of leaf area index, Z-mass, and specific area of Chandel trees in Sirik mangrove forests. *Iranian Forestry Journal, Iranian Forestry Association*. 12 (3), 421-434.
33. Nagai, S., Ayumi, K., Tomonori, S., Atsuko, S., Trofim, C. M., Aleksandr, N., Yumiko, M., Hideki, K., & Shunsuke, T. (2020). Direct measurement of leaf area index in a deciduous needle-leaf forest, eastern Siberia. *Journal homepage*: **http://www.elsevier.com/ locate/polar.**
34. Doktor Bahramnia forestry plan management. (2009). Forest science faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Recourses, 478p.
35. Bradshaw, J. D., Rice, M. E., & Hill, J. H. J. J. O. T. K. E. S. (2007). Digital analysis of leaf surface area: effects of shape, resolution, and size. 80 (40), 339-347.
36. Waring, R. H. (1983). Estimating forest growth and efficiency in relation to the canopy leaf area. *Advances in Ecological Research*. 13, 327-354.
37. Chason, J., Baldocchi, D., & Hutson, M. (1991). A comparison of direct and indirect methods for estimating forest leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology*. 57, 107-28.
38. Eermak, J. (1998). Leaf distribution in large trees and stands of the floodplain forest in southern Moravia. *Tree Physiology*. 18, 727-737.
39. Masoudi, N., & Mohammadi, J. (2011). Estimation of beech and hornbeam tree heights using non-linear mixed-effects models. Forest and Wood Products, *Journal of Natural Resources of Iran*. 74 (4), 433-443.
40. Ghaderi, P., Mohammadi, J., Shataee, Sh., Rahmani, R., & Kariminijad, N. (2012). The efficiency of nonlinear mixed effects models in determining diameter-height equations of plot and evangelical maple trees. *Iranian Forest Journal, Iranian Forestry Association*. 14 (4), 473-4.
41. Jack, S. B., & Long, J. N. (1991). Response of leaf area index to density for two contrasting tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 21 (12), 1760-1764.
42. Turner, M. G., Tinker, D. B., Romme, W. H., Kashian, D. M., & Litton, C. M. (2004). Landscape patterns of sapling density, leaf area, and aboveground net primary production in postfire lodgepole

pine forests, Yellowstone National Park (USA). *Ecosystems*. 7, 751-775.

43. Ducey, M. J., Innes, J. C., Gove, J. H., Leak, W. B., & Barrett, J. P. (2005). Size density metrics, leaf area, and productivity in eastern white pine. *Canadian Journal of Forest Research*. 35 (10), 2469-2478.
44. McDowell, N. G., Adams, H. D., Bailey, J. D., & Kolb, T. E. (2007). The role of stand density on growth efficiency, leaf area index, and resin flow in southwestern ponderosa pine forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 37 (2), 343-355.
45. Petrík, P., Fleischer Jr, P., Tomes, J., Pichler, V., & Fleischer Sr, P. (2024). Post-windthrow differences of carbon and water fluxes between managed and unmanaged Norway spruce stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 355, 110102.
46. Mousavi, Z., Mohammadi, J., Darvishzadeh, R., Shataee, Sh., Rahmani, R., & Qorbani, Kh. (2024). The effect of changes in quantitative characteristics of forest stand structure on leaf area index in Hyrcanian forests, Golestan province. *Forest Ecology of Iran.* 12, 2.