Urmia University

Forest Research and Development

Vol. 12, Issue 1, 2026, 1-19

Research Paper

Effect of canopy gaps on the radial growth of trees crown of the Hyrcanian natural forest stands using digital aerial camera images

Omid Amiri Karbandy[1], Shaban Shataee Jouibary[*,2] and Mohammad Hassan Naseri[3]

1- MSc Student in Forest Science and Engineering-Forest Management, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (omid.amiri_s02@gau.ac.ir)
2,*- (Corresponding author) Professor, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (shataee@gau.ac.ir)
3- Ph.D. in Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (mh.naseri@gau.ac.ir)

Received: 24 July 2025 Revised: 20 October 2025 Accepted: 26 October 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Forest canopy gaps play a crucial role in regulating the structure and dynamics of forest ecosystems. By altering light patterns, moisture levels, and spatial competition, these gaps can directly influence the crown growth of adjacent trees. Since gaps are decisive factors in regulating the spatial and light dynamics of the forest, obtaining precise information regarding their status and analyzing their impact on canopy growth is a key pillar in planning and implementing sustainable forest management strategies. Such data can be utilized in formulating management policies, restoring stand structures, and optimizing harvest intensity. Therefore, this study investigated the impact of canopy gaps on crown expansion, specifically the radial crown growth of trees adjacent to gaps compared to those not adjacent to gaps. The research was conducted in sections of both managed and unmanaged natural stands within the Shast-Kalateh Research and Educational Forest in Gorgan, utilizing UltraCam digital aerial imagery from 2011 and 2016.

Material and Methods: For this purpose, the expansion and growth status of tree crowns surrounding gaps, as well as those of non-adjacent trees, were analyzed for the periods of 2011 and 2016 using UltraCam-D digital aerial imagery. Precise georeferencing and the generation of high-spatial-resolution digital orthophotomosaics were performed for both periods. Subsequently, 20 canopy gaps with appropriate distribution and varying sizes, small (20–150 m²), medium (150–300 m²), and large (greater than 300 m²), were selected from the 2011 and 2016 orthophotomosaics (identifying gaps common to both periods). The crown extent of trees adjacent and non-adjacent to these gaps was then delineated via visual interpretation for both periods, and their areas were calculated. To test data normality and compare the crown area growth (for both adjacent and non-adjacent trees) over the study period, the Kolmogorov-Smirnov normality test and paired t-tests were employed. Furthermore, an independent t-test was used to compare the difference in crown growth rates between trees adjacent to gaps and those not adjacent to them.

Results: Descriptive statistics of the crown extent for trees surrounding the selected gaps revealed that in 2016 compared to 2011, both adjacent and non-adjacent trees exhibited significant increases in minimum, maximum, and mean crown areas. The results of the paired t-test indicated that the radial growth of trees adjacent to gaps (mean = 20.811 m²) and non-adjacent trees (mean = 14.703

m²) over the five-year period was significant at a 99% confidence level. Furthermore, the independent t-test used to compare the radial crown growth between the two groups showed that the difference in mean radial growth for trees adjacent to gaps versus non-adjacent ones was statistically significant at the 99% confidence level. Trees proximal to gaps exhibited higher radial growth rates during the study period (2011–2016). Additionally, the average annual growth was estimated at 4.16 m² for adjacent trees and 2.94 m² for non-adjacent trees.

Conclusion: This research demonstrates that forest canopy gaps, by increasing sunlight penetration to the lower strata, improve photosynthetic conditions and consequently enhance the crown growth of adjacent trees. The comparison between trees adjacent to gaps and those located in dense stands without gaps revealed significant differences in radial crown growth patterns and light productivity. These findings highlight the importance of gaps in regulating spatial competition and promoting the structural dynamics of forests. Moreover, the utilization of high-resolution aerial imagery, such as UltraCam, enables the precise monitoring of tree crown structural changes across broad temporal and spatial scales, serving as an effective tool for analyzing ecological trends and evaluating forest stand responses to management interventions. Such data can play a pivotal role in designing sustainable forest resource management strategies and optimizing managerial decision-making.

Keywords: Canopy cover, Gap-adjacent trees, Hyrcanian forests, Phototropic crown growth.

How to Cite This Article: Amiri Karbandy, O., Shataee Jouibary, Sh., and Naseri, M. H. (2026). Effect of canopy gaps on the radial growth of trees crown of the Hyrcanian natural forest stands using digital aerial camera images. Forest Research and Development, 12(1), 1-19. DOI: 10.30466/jfrd.2025.56388.1769

Copyright ©2024 Amiri Karbandy et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International 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.

پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۲، شماره ۱، صفحه ۱۹-۱، (۱۴۰۵)

https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.56407.1771
https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1405.12.1.1.7

مقالهٔ پژوهشی

بررسی اثر روشنه‌ها بر رویش شعاعی تاج درختان توده‌های طبیعی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از تصاویر دوربین رقومی هوایی

امید امیری کاربندی[۱]، شعبان شتایی جویباری*[۲] و محمدحسن ناصری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل-مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (omid.amiri_s02@gau.ac.ir)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده علوم‌جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (shataee@gau.ac.ir)

۳- دکتری علوم و مهندسی جنگل-مدیریت جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (mh.naseri@gau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۴

چکیده

مقدمه و هدف: روشنه‌های تاج‌پوشش جنگلی، نقش مهمی در تنظیم ساختار و پویایی بوم‌سازگان‌های جنگلی ایفا می‌کنند. این روشنه‌ها با تغییر در الگوهای نور، رطوبت و رقابت فضایی، می‌توانند به‌طور مستقیم بر رشد تاجی درختان مجاور تأثیرگذار باشند. از آنجا که روشنه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم پویایی فضایی و نوری جنگل دارند، کسب اطلاعات دقیق از وضعیت آنها و تحلیل اثراتشان بر رویش تاج‌پوشش درختان، به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی در برنامه‌ریزی و اجرای راهبردهای مدیریت پایدار جنگل‌ها، اهمیت ویژه‌ای دارد. چنین اطلاعاتی می‌تواند در تدوین سیاست‌های مدیریتی، بازسازی ساختار توده‌ها و بهینه‌سازی شدت برداشت در جنگل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، در این پژوهش، تأثیر روشنه‌های تاج پوشش درختان بر مقدار رویش گسترهٔ تاج به‌صورت رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه‌ها در مقایسه با رویش تاجی درختان غیر مجاور روشنه‌ها در بخشی از توده‌های طبیعی مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده جنگل آموزشی و پژوهشی شصت کلاته گرگان و با استفاده از تصاویر هوایی رقومی UltraCam مربوط به‌سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، وضعیت گسترش و رویش تاج درختان اطراف روشنه‌ها و درختان غیرمجاور روشنه‌ها در دو بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ با استفاده از تصاویر دوربین هوایی رقومی UltraCam-D مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. زمین مرجع‌سازی دقیق تصاویر و تهیه ارتوفتوموزاییک رقومی با دقت مکانی بالا در هر دو دوره انجام شد. در گام بعد، ۲۰ روشنه تاج پوشش با پراکنش مناسب و با ابعاد کوچک (۱۵۰-۲۰ مترمربع)، متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع) و بزرگ (بزرگتر از ۳۰۰ مترمربع)، از

روی تصویر ارتوفتوموزاییک سال ۱۳۹۰ و سال ۱۳۹۵ انتخاب شد (این روشنه‌ها در هر دو دوره مشترک بودند). سپس گسترهٔ تاج درختان واقع در مجاورت و غیرمجاور روشنه‌ها در هر دو دوره با تفسیر چشمی برداشت و مساحت آنها محاسبه شد. برای آزمایش نرمال بودن داده‌ها و مقایسه مقدار رویش مساحت تاج پوشش درختان (مجاور و غیر مجاور روشنه) در طول دو دوره موردبررسی از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و از آزمون t جفتی استفاده شد و همچنین برای مقایسه تفاوت بین مقدار رویش تاج درختان مجاور روشنه و غیر مجاور آن از آزمون t مستقل استفاده شد.

یافته‌ها: آمار توصیفی وضعیت گسترهٔ تاج درختان اطراف روشنه‌های منتخب نشان داد که در دورهٔ ۱۳۹۵ نسبت به ۱۳۹۰، هم درختان مجاور روشنه و هم درختان غیر مجاور روشنه افزایش قابل‌توجهی در کمینه، بیشینه و میانگین گستره تاج داشته‌اند. نتایج بررسی معنی‌داری اثرات روشنه بر رویش تاج پوشش درختان با استفاده از آزمون t جفتی بیانگر آن بود که مقدار رویش شعاعی درختان مجاور روشنه با میانگین ۲۰/۸۱۱ مترمربع و درختان غیرمجاور با روشنه با میانگین ۱٤/۷۰۳ مترمربع در طی پنج سال و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. همچنین بررسی معنی‌داری و مقایسهٔ میان مقدار رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه و غیر مجاور آن با استفاده از آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت میانگین رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه نسبت به درختان غیر مجاور با آن، از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است و درختان نزدیک به روشنه، از مقدار رویش شعاعی بیشتری در دوره زمانی مورد بررسی (۱۳۹۵–۱۳۹۰) برخوردار هستند. همچنین، متوسط رشد سالانه به‌ترتیب برای درختان مجاور و غیرمجاور برابر با ٤/١٦ و ۲/۹٤ مترمربع برآورد شد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که روشنه‌های تاج‌پوشش جنگلی، به‌واسطهٔ افزایش نفوذ نور خورشید به لایه‌های زیرین، موجب بهبود شرایط فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد تاجی درختان مجاور می‌شوند. مقایسه بین درختان مجاور روشنه‌ها و درختان واقع در توده‌های متراکم بدون روشنه، بیانگر تفاوت معنی‌دار در الگوی رویش شعاعی تاج و بهره‌وری نوری بود. این یافته‌ها اهمیت روشنه‌ها را در تنظیم رقابت فضایی و ارتقای پویایی ساختاری جنگل‌ها برجسته می‌سازد. افزون بر این، بهره‌گیری از تصاویر هوایی با وضوح بالا مانند UltraCam، امکان پایش دقیق تغییرات ساختار تاج درختان را در مقیاس‌های زمانی و مکانی گسترده فراهم کرده و ابزار مؤثری برای تحلیل روندهای بوم‌شناسی و ارزیابی پاسخ توده‌های جنگلی به مداخلات مدیریتی محسوب می‌شود. چنین داده‌هایی می‌توانند در طراحی راهبردهای مبتنی بر مدیریت پایدار منابع جنگلی و بهینه‌سازی تصمیمات مدیریتی نقش کلیدی ایفا کنند.

واژه‌های کلیدی: تاج پوشش، درختان مجاور روشنه، جنگل‌های هیرکانی، رویش نوری تاج.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳۲۳۱۵۱۷

مقدمه

جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران، یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی در سطح جهانی به‌شمار می‌روند (Hosseini, 2019). این جنگل‌ها به دلیل داشتن تنوع زیستی غنی و ویژگی‌های زیست‌محیطی منحصربه‌فرد، به‌عنوان منبعی حیاتی برای حفظ بوم‌سازگان و پایداری محیط‌زیست منطقه شناخته می‌شوند (Asadolahi et al., 2017). علاوه بر اهمیت زیست‌محیطی، این جنگل‌ها نقش‌های اقتصادی و اجتماعی بالایی دارند (Hedayati Kaliji et al., 2025) و از این‌رو، نیاز به پژوهش و تحلیل‌های دقیق‌تری دربارهٔ ویژگی‌های آنها ضروری است (Zarandian et al., 2016; Goushehgir et al., 2022).

یکی از عواملی که می‌تواند به‌طور مستقیم بر رشد و توسعه درختان تأثیر بگذارد، روشنه‌ها هستند (Lile et al. 2009). روشنه‌ها به نواحی اطلاق می‌شود که درختان به دلایل مختلفی مانند آتش‌سوزی، طوفان، آفات و بیماری یا بهره‌برداری جنگلی از بین رفته یا کاهش یافته‌اند (Mohabbati et al., 2024) و سبب به‌وجود آمدن مناطقی باز در جنگل شده‌اند (Watt, 1947). این مناطق معمولاً دارای نور زیاد، دما و رطوبت متغیر و نوسانات شدید اقلیمی هستند که می‌توانند بر رشد درختان تأثیر زیادی بگذارند (Denslow et al., 1998; Waez-Mousavi et al., 2012; Parhizkar et al., 2023).

یکی از اثرات عمده روشنه‌ها، تغییر در ساختار تاج درختان است (Zhao et al., 2015). تاج درخت به بخش بالایی درخت گفته می‌شود که شامل برگ‌ها، شاخه‌ها و دیگر اندام‌های فتوسنتزی و مهم‌ترین عامل در فرآیند فتوسنتز و تبادل گازی است (Echereme Chidi et al., 2015). تغییرات در ساختار تاج درختان می‌تواند نشان‌دهندهٔ تغییرات عمده‌ای در سلامت و رشد درختان باشد (Wang, 1988; Echereme Chidi et al., 2015). تاج درختان، به‌ویژه در مناطق روشنه، به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و میکروکلیمایی قرار می‌گیرد (Collins and Pickett, 1987). به‌عبارت دیگر، وقتی درختان در نزدیکی روشنه‌ها رشد می‌کنند، شرایط زیست‌محیطی و نور بیشتری را دریافت می‌کنند که ممکن است منجر به رشد سریع‌تر یا کاهش کیفیت رشد تاج شود (York et al., 2010; Stenberg et al., 1994).

گسترش تاج درختان در محیط‌های طبیعی می‌تواند تحت تأثیر بسیاری از عوامل مانند رقابت برای منابع، شدت تابش نور، تغییرات رطوبت و دما و وضعیت خاک قرار گیرد (Binkley et al., 2013; Kozlowski, 1949; Echereme Chidi et al., 2015). درختانی که در نزدیکی روشنه‌ها قرار دارند، به دلیل دریافت بیشتر نور خورشید و تغییرات ریزاقلیمی، رشد بیشتری نسبت به درختانی که زیر سایه درختان بزرگ‌تر هستند، دارند (Canham, 1988; Poulson and Platt, 1989; Zhao et al., 2015). بررسی‌های متعددی به تأثیر روشنه‌ها بر رشد دیگر قسمت‌های درختان و توده‌های جنگلی پرداخته‌اند که می‌توان به بررسی‌های Sefidi et al. (2011)، Pourbabaei et al. (2013) و Amini et al. (2023) در بررسی اثر روشنه بر زادآوری و تنوع گونه‌ای در جنگل‌های هیرکانی اشاره کرد؛ اما به‌طور مستقیم و دقیق بررسی‌های معدودی در مورد اثر روشنه‌ها بر رشد شعاعی تاج درختان انجام شده است. به‌عنوان مثال، Zhao et al. (2015) در جنگل‌های نوئل آسپراتا چین با هدف بررسی تأثیر شدت تنک‌کردن مبتنی بر روشنه، رشد شعاعی (تنه و شاخه‌ها) درختان لبه‌ی روشنه‌ها را با طبقات تاجی متفاوت بررسی کردند. پژوهشگران در این پژوهش برای برداشت داده‌ها از روش‌های میدانی استفاده کردند و بیان داشتند که هرچه اندازه مساحت روشنه‌ها بیشتر باشد مقدار رشد شعاعی

تاج افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، Sterck (1999) توسعهٔ تاج دو گونه Dicorynia و *Vouacapoua* موجود در آشکوب‌های زیرین و در روشنه‌ها را در جنگل‌های بارانی مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که وجود روشنه سبب افزایش جذب نور در دو گونه مورد بررسی می‌شود و سبب ایجاد تاج گسترده‌تری در آنها می‌شود. در پژوهش دیگری Pretzsch (2021)، با هدف بررسی تأثیر ساختار تاج و ساقه بر رشد درختان در پاسخ به ناهمگنی‌های ساختاری (مانند روشنه‌ها) در جنگل‌های معتدل اروپا (آلمان) با بهره‌گیری از روش‌های میدانی به پژوهش پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که درختان با تاج بزرگ و پهن‌تر، رشد شعاعی بالاتری در شرایط نور فراوان دارند. همچنین نتایج پژوهش‌های دیگری در این زمینه، مانند بررسی‌های Runkle (1982) و Vepakomma et al. (2011)، نشان داد که واکنش رشد درختان به وجود روشنه‌ها، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عواملی مانند اندازهٔ روشنه، طبقات تاجی درختان و شرایط اقلیمی مانند دما و شدت نور قرار دارد.

با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در گذشته و حتی در دهه‌های اخیر اندازه‌گیری سطوح تاج درختان به‌صورت میدانی و با استفاده از تکنیک‌های سنتی انجام می‌شد؛ که متعاقباً نتایج استفاده از این روش‌ها (روش‌های میدانی و زمینی) هرچند که از دقت بالایی برخوردار است اما همچنان هزینهٔ زیاد و سرعت کم در اراضی وسیع را برای پژوهشگران دربرداشته است. از این‌رو، با پیشرفت‌های فناوری در زمینهٔ سنجش از دور و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، امکان پایش دقیق تغییرات ساختاری جنگل فراهم شده است.

استفاده از داده‌های سنجش از دور با توان تفکیک مکانی بالا برای تهیه نقشه‌های دقیق روشنه‌ها و مشخصات کمی تاج درختان و روشنه‌ها مورد پژوهش قرار گرفته است. به‌عنوان مثال Song et al. (2010) با هدف برآورد اندازه تاج درختان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا Ikonos و QuickBird در جنگل‌های اوهایو و Duke در شمال کارولینا پرداختند. در این پژوهش از مدلسازی آماری بر پایهٔ نسبت واریانس تصاویر Ikonos و QuickBird در دو تفکیک مکانی برای تخمین قطر تاج درختان استفاده شد و نتایج آنها نشان داد که مدل‌های پیشنهادی عملکرد مناسبی در برآورد اندازه تاج ارائه می‌دهند. در پژوهشی دیگر Popescu et al. (2009) به بررسی کاربرد داده‌های لیزر اسکنر هوایی و مقایسه آن با تصاویر نوری برای اندازه‌گیری مستقیم قطر تاج درختان و تأثیر این اندازه‌گیری در بهبود برآورد حجم و زی‌توده جنگل در ویرجینیا پرداختند. پژوهشگران با استفاده از پردازش سه‌بعدی داده‌های لیدار و تلفیق آن با داده‌های نوری چندطیفی، تاج هر درخت را به‌صورت جداگانه شناسایی کردند و سپس به کمک فیلتر بیشینه محلی و برازش چندجمله‌ای درجه چهارم، قطر تاج درختان را محاسبه کردند. در پژوهشی دیگر Nelson (1997)، با هدف بررسی تأثیر فرضیات مربوط به شکل تاج درختان بر برآورد ارتفاع پوشش جنگلی و شاخص‌های مرتبط مانند مساحت قاعده، حجم چوب در کاستاریکا پرداختند. آنها با استفاده از داده‌های لیزری هوابرد همراه با داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده مدل‌های سه‌بعدی تاج درختان با فرضیات مختلف را شبیه‌سازی کرد و بیان داشت که شکل‌های متفاوت تاج می‌توانند به‌طور قابل توجهی ارتفاع پوشش جنگلی را تغییر دهند و این تغییرات درنهایت بر تخمین مساحت قاعده و حجم تأثیر می‌گذارد. همچنین Araujo et al. (2020) با استفاده از تصاویر پهپاد و داده‌های زمینی ۲۰ ساله، به‌بررسی مقدار رویش قطری و ارتباط آن با تاج پوشش درختان در جنگل‌های آمازون پرداختند و بیان کردند

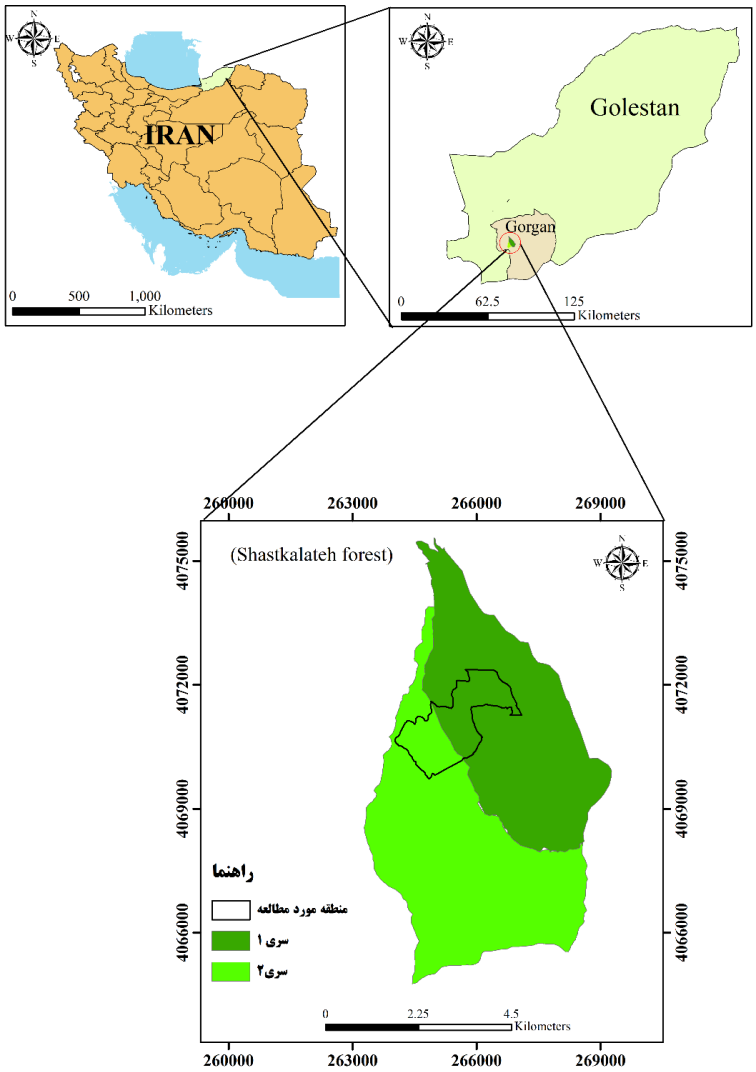
که مقدار رشد قطری درختان در آشکوب بالا دو برابر رشد درختان زیرآشکوب است. همچنین بیان داشتند که نرخ رشد تاج‌پوشش درختان آشکوب بالا، ارتباطی با قطر برابرسینه آنها ندارد. در پژوهش‌های Amini et al. (2023)، Khalili et al. (2023) و Naseri et al. (2025) نیز قابلیت استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای پهپاد در شناسایی روشنه‌ها و تاج‌پوشش درختان به‌اثبات رسیده است. به‌طورکلی، با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، استفاده از منابع سنجش از دوری عملکرد مثبتی در بررسی و شناسایی شاخص‌های مختلف جنگل مانند تاج پوشش، رشد درختان و غیره دارد.

با توجه به موارد بیان‌شده، روشنه‌های طبیعی و غیرطبیعی تاج پوشش اثرات قابل‌توجهی بر رشد و پویایی درختان جنگلی دارد. برای اثبات این موضوع، جمع‌آوری داده‌ها عموماً با روش‌های سنتی و با حضور در عرصه‌های جنگلی انجام می‌شود که می‌تواند در مناطق با وسعت زیاد چالش‌برانگیز باشد. اگرچه بررسی‌های کتابخانه‌ای متعددی در رابطه با اندازه‌گیری مقدار رشد تاج پوشش درختان با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام شده است، اما بررسی مقدار رویش افقی تاج‌پوشش مجاور و غیرمجاور روشنه مورد بررسی قرار نگرفته است و دارای ابهام است. از این‌رو، در این پژوهش با استفاده از تصاویر هوایی رقومی التراکم مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ رویش‌های افقی تاج‌پوشش درختان مجاور روشنه‌ها و تاج پوشش غیرمجاور روشنه‌ها در بخشی از جنگل‌های انبوه پهن‌برگ هیرکانی واقع در شصت کلاته استان گلستان در توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. سؤال اصلی این پژوهش این است که آیا روشنه‌های تاج‌پوشش توده‌ها اثر معنی‌داری بر رشد شعاعی و رویش افقی تاج درختان مجاور روشنه‌ها، نسبت به رشد تاج درختان غیرمجاور با روشنه‌ها دارند یا خیر.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد پژوهش (شکل ۱) شامل پارسل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۲۱ سری یک (توده مدیریت‌شده) و پارسل‌های چهار، پنج و هفت سری دو (توده مدیریت‌نشده) جنگل شصت کلاته (طرح دکتر بهرام نیا گرگان) با مساحت کلی ۳۴۵/۰۴ هکتار، در حوزهٔ آبخیز ۸۵ و در قسمت جنوب غربی شهرستان گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقهٔ شمالی واقع شده است. کمینه ارتفاع از سطح دریای منطقه ۳۱۳ متر و بیشینه ارتفاع آن ۶۹۷ متر می‌باشد. سری یک جنگل شصت کلاته از سال ۱۳۵۵ تحت طرح جنگلداری دانه‌زاد ناهمسال و شیوهٔ جنگلشناسی تک‌گزینی قرار گرفته است؛ اما سری دو آن بدون اجرای طرح جنگلداری است. گونه‌های غالب درختی منطقهٔ مورد بررسی شامل *Fagus orientalis* Lipsky، *Carpinus betulus* L.، *Acer velutinum* Boiss.، *Parrotia persica* و *Quercus castaneifolia* است. جهت عمومی دامنه در این منطقه شمال غربی بوده و از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، دارای اقلیم مرطوب معتدل با میانگین بارش سالانه‌ی ۶۴۹ میلی‌متر است (Seyed Mousavi et al. 2024).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد بررسی در سری یک و دو جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام نیا، شصت کلاته استان گلستان

Figure 1. Location of the study area in series one and two of Dr. Bahram Nia, ShastKalateh Educational and Research Forest, Golestan

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam مربوط به سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ که به‌ترتیب توسط شرکت رایان نقشه (Mohammadi et al (2017) و سازمان نقشه‌برداری ایران که در شرایط پایدار آب و هوایی برداشت شده بودند، استفاده شد. به‌طورکلی، این نوع از تصاویر رقومی هوایی اطلاعات زیادی در رابطه با پوشش گیاهی و شرایط محیطی و ماهیت پدیده‌ها ارائه می‌کنند و می‌توانند با وضوح بسیار بالا در تفسیر، تجزیه‌وتحلیل و پایش پدیده‌ها مورد استفاده قرار گیرند. جدول ۱ مشخصات مربوط به تصاویر رقومی هوایی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam مورد استفاده در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

Table 1. Specifications of UltraCam aerial digital images of 2011 and 2016

۱۳۹۵ 2016	۱۳۹۰ 2011	شاخص Parameter
UltraCam-D	UltraCam-D	دوربین رقومی Digital Camera
هواپیما Aircraft	هواپیما Aircraft	سکو Platform
13	15	قدرت تفکیک مکانی (سانتی‌متر) Spatial Resolution (cm)
8	12	قدرت تفکیک رادیومتریک (بیت) Radiometric Resolution (bit)
4	4	تعداد باند Number of Bands
آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک Blue, Green, Red, NIR	آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک Blue, Green, Red, NIR	نام باندها Band Names

روش بررسی

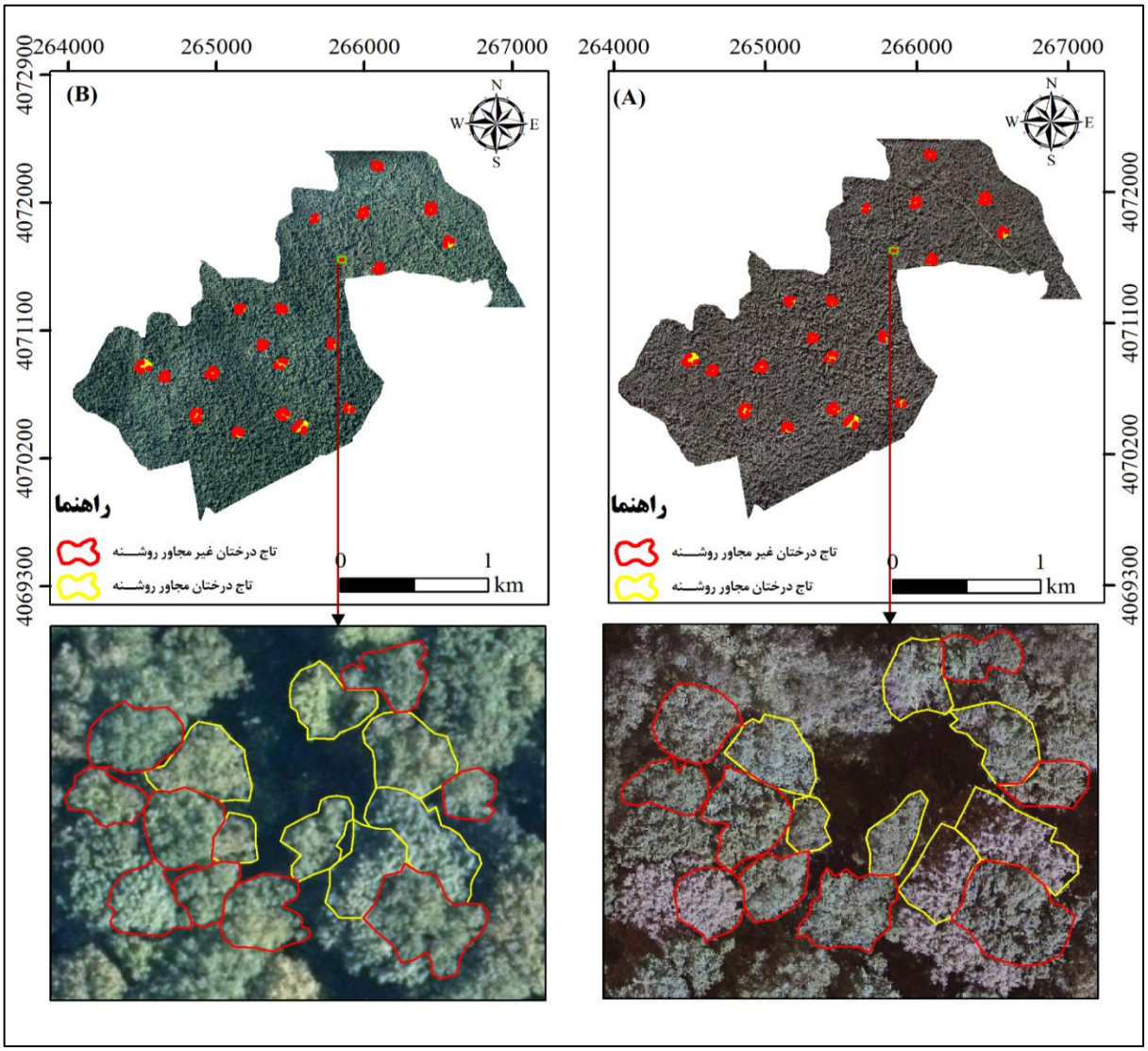
تهیه و پردازش داده‌ها

تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam سال ۱۳۹۵ از سازمان نقشه‌برداری به‌صورت مجموعهٔ باندی (باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک) اخذ شد. با توجه به یکپارچه (موزاییک) نبودن و همچنین برای تطابق هندسی و زمین مرجع‌سازی، تصاویر سال ۱۳۹۵ با استفاده از تصاویر رقومی هوایی زمین مرجع شده ارتوی دقیق سال ۱۳۹۰ Mohammadi et al (2017) در نرم‌افزار Agisoft Metashape professional، زمین مرجع و ارتوفتوموزاییک محدوده موردبررسی تهیه شد. برای این منظور، از مدل رقومی توپوگرافی سطح زمین (DTM) تهیه شده توسط داده‌های لیدار در پژوهش Mohammadi et al.(2017) نیز برای تصحیحات ارتفاعی (و همچنین استخراج نقاط Z کنترل زمینی) تصویر سال ۱۳۹۵ استفاده شد. تصویر رقومی هوایی UltraCam سال ۱۳۹۵ با ٤٠ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب در منطقهٔ شناسایی و با استفاده از موقعیت دقیق نقاط از تصویر سال ۱۳۹۰ و موقعیت ارتفاعی آنها از مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از داده‌های لیدار، زمین مرجع شد.

تهیه نقشه محدوده تاج درختان مجاور و غیرمجاور روشنه‌های انتخابی

در این راستا، پس از اعمال پیش‌پردازش‌ها در نرم‌افزار ArcGIS10.8، ابتدا ۲۰ روشنه به‌صورت انتخابی با توزیع و پراکنش مناسب در سطح دو توده مدیریت‌شده و نشده که در هر دو دوره زمانی وجود داشتند انتخاب و کدگذاری شدند. همچنین روشنه‌ها طوری انتخاب شدند که از نظر اندازه، روشنه‌های با اندازهٔ کوچک (۲۰-۱۵۰ مترمربع)، متوسط (۳۰۰-۱۵۰ مترمربع) و بزرگ (بزرگتر از ۳۰۰ مترمربع) را شامل شوند. سپس تاج درختان ثابت و سرپا در هر دو تصویر سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به‌صورت دو ردیف و بدون درنظر گرفتن مرز مشخص (ردیف اول: درختان مجاور روشنه (درختانی که تاج آنها در تماس با روشنه هستند)، ردیف دوم: درختان غیرمجاور روشنه (درختانی که تاج آنها در تماس با روشنه نیستند و در پشت و چسبیده به درختان مجاور روشنه قرار دارند) به‌صورت فایل‌های پلیگونی

با تفسیر بصری دقیق برداشت شدند (شکل ۲). سپس تاج‌های درختان مجاور و غیر مجاور برای هر روشنه نیز به‌طور جدا، در جدول اطلاعات کدگذاری شدند. در این بررسی درختان غیرمجاور روشنه‌ها دقیقاً چسبیده به درختان مجاور با روشنه‌ها انتخاب و محدوده تاج آنها برداشت شدند تا درختان مورد بررسی از شرایط بوم‌شناسی مشابهی برخوردار باشند و تفاوت‌های مربوط به نوع گونه‌های درختی به کمینه برسد. در کل تعداد ۱۹۲ تاج در مجاورت روشنه‌های انتخابی و تعداد ۲۳۸ تاج درختان غیرمجاور روشنه‌ها برداشت و ترسیم شد. در مرحلهٔ بعد مساحت‌های تمام تاج‌های برداشت‌شده اندازه‌گیری و برای مقایسه مقدار رشد دو ردیف آماده انجام آزمون‌های تفاوت معنی‌داری شدند.



شکل ۲- توزیع مکانی روشنه‌های مورد بررسی و برداشت تاج درختان در اطراف روشنه و درختان پشتی آنها بر روی تصویر دوربین رقومی هوایی سال ۱۳۹۰ (A) و تصویر رقومی هوایی سال ۱۳۹۵ (B)

Figure 2. Spatial distribution of the studied gaps and tree crown removal around the gaps and their supporting trees on (A): Digital aerial image from 2016, (B): Digital aerial image from 2011

آزمون‌های آماری

پس از استخراج مساحت تاج پوشش درختان در دو موقعیت مجاور و غیرمجاور روشنه‌ها برای کنترل ساختار وابستگی داده‌ها در سطح روشنه‌ها، میانگین رشد تاج درختان مجاور و غیرمجاور برای هر روشنه محاسبه شد و این میانگین‌ها به‌عنوان واحد آماری مستقل در آزمون‌های آماری مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف استفاده شد. برای بررسی معنی‌داری تفاوت در مقدار رویش تاج پوشش درختان مجاور و غیرمجاور روشنه‌ها طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، از آزمون t زوجی در نرم‌افزار RStudio بهره گرفته شد.

در مرحلهٔ بعد، با محاسبه تفاضل مساحت تاج پوشش درختان در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰، مقدار رشد هر تاج برای درختان مجاور و غیرمجاور روشنه به‌دست آمد. سپس برای هر روشنه، میانگین رشد تاج درختان مجاور و غیرمجاور روشنه محاسبه شد. مجدداً آزمون کولموگروف–اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن توزیع این داده‌ها اجرا شد. درنهایت، برای تعیین معنی‌داری تفاوت رشد تاج بین درختان مجاور و غیرمجاور روشنه (بر اساس میانگین‌های به‌دست‌آمده از تفاضل مساحت‌ها)، آزمون t مستقل به‌کار گرفته شد.

نتایج

زمین مرجع‌سازی تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam سال ۱۳۹۵

جدول ۲ نتایج دقت زمین مرجع‌سازی تصاویر دوربین رقومی هوایی سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تصویر مورد نظر با مقدار خطای ۲/۵۳ متر و بر مبنای تصویر UltraCam سال ۱۳۹۰ زمین‌مرجع از نوع ارتو شد.

جدول ۲- نتایج حاصل از زمین مرجع‌سازی تصاویر رقومی هوایی سال ۱۳۹۵ بر مبنای تصویر رقومی هوایی سال ۱۳۹۰

Table 3. Results from georeferencing the 2016 image based on the 2011 digital aerial image

تعداد نقاط Number of points	کمینه باقی‌مانده (متر) Minimum residual (m)	بیشینه باقی‌مانده (متر) Maximum residual (m)	مقدار خطای کل (متر) Total error (m)
40	0.36	4.52	2.53

آمار توصیفی وضعیت گسترهٔ تاج درختان اطراف روشنه‌های منتخب نشان داد که در دوره‌ی ۱۳۹۵ نسبت به ۱۳۹۰، هم درختان مجاور روشنه و هم درختان غیرمجاور روشنه افزایش قابل‌توجهی در کمینه، بیشینه و میانگین گستره تاج داشته‌اند (جدول ۳). با این حال، درختان مجاور روشنه نه‌تنها از نظر میانگین رشد تاج بلکه از نظر بیشینهٔ وسعت تاج نیز افزایش بیشتری را تجربه کرده‌اند.

جدول ۳- وضعیت اندازه مساحت گسترهٔ تاج درختان مجاور و غیر مجاور روشنه‌های منتخب در طی دو دوره

Table 3. Crown area of gap-adjacent and non-gap-adjacent trees during two time periods

سال Year	گروه درختان Tree group	کمینه مساحت تاج گروه (مترمربع) Minimum group crown area (m²)	بیشینه مساحت تاج گروه (مترمربع) Maximum group crown area (m²)	میانگین مساحت تاج گروه (مترمربع) Mean group crown area (m²)
۱۳۹۰ 2011	مجاور روشنه Gap-adjacent trees	35.07	135.56	77.82
	غیرمجاور با روشنه Non-gap-adjacent trees	37.26	108.58	68.16
۱۳۹۵ 2016	مجاور روشنه Gap-adjacent trees	49.11	170.01	98.63
	غیرمجاور با روشنه Non-gap-adjacent trees	48.10	124.53	82.87

بررسی نرمال بودن داده‌ها

بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای گروه‌های مربوط به مساحت تاج درختان مجاور و غیرمجاور روشنه برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۰ و همچنین مقدار رویش شعاعی تاج درختان در این دو دوره (تفاضل مقدار رویش درختان مجاور و غیر مجاور در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ٤) با توجه به نتایج به‌دست آمده، تمام گروه‌های موردبررسی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. از این‌رو، داده‌های مورد بررسی در این پژوهش از توزیع نرمال پیروی می‌کنند (تائید فرض H0).

جدول ٤- نتایج بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

Table 4. Results of the Kolmogorov-Smirnov test assessing data normality

گروه Group	آزمون کولموگروف-اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test	
	آماره Statistic	*p*-value
درختان مجاور روشنه (سال ۱۳۹۰) Gap-adjacent trees (2011)	0.136	0.803*
درختان مجاور روشنه (سال ۱۳۹۵) Gap-adjacent trees (2016)	0.113	0.933*
درختان غیرمجاور روشنه (سال ۱۳۹۰) Non-gap-adjacent trees (2011)	0.122	0.891*
درختان غیرمجاور روشنه (سال ۱۳۹۵) Non-adjacent trees of gap (2016)	0.139	0.781*

* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

* Significant at the 95% confidence level.

ادامهٔ جدول ٤.

Vontinued Table 4.

گروه Group	آزمون کولموگروف–اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test	
	آماره Statistic	*p*-value
رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ Radial crown growth of gap-adjacent trees (2011-2016)	0.108	0.952*
رویش شعاعی تاج درختان غیرمجاور روشنه از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ Radial crown growth of non-gap-adjacent trees (2011-2016)	0.187	0.429*

* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

* Significant at the 95% confidence level.

بررسی معنی‌داری اثرات روشنه بر رویش تاج پوشش درختان

بررسی معنی‌داری مقدار رویش شعاعی تاج درختان مجاور و غیر مجاور روشنه در دورهٔ زمانی پنج ساله (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) با استفاده از آزمون آماری t جفتی انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار رویش شعاعی درختان مجاور روشنه با میانگین ۲۰/۸۱۱ مترمربع و درختان غیرمجاور با روشنه با میانگین ۱٤/۷۰۳ مترمربع در طی پنج سال در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج بررسی معنی‌داری مقدار رویش شعاعی تاج درختان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ با استفاده از آزمون t جفتی

Table 5. Results of the paired t-test assessing the significance of radial crown growth in trees from 2011 to 2016

گروه درختان Tree group	میانگین رشد شعاعی تاج (مترمربع) Mean radial crown growth (m^2)	آزمون t جفتی Paired t-test		
		آماره t t-statistic	درجه آزادی df	*p*-value
درختان مجاور روشنه Gap-adjacent trees	20.811	11.650	19	0.00**
درختان غیرمجاور روشنه Non-gap-adjacent trees	14.703	10.4763	19	0.00**

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

** Significant at the 99% confidence level

بررسی معنی‌داری و مقایسه رویش شعاعی تاج درختان مجاور و غیرمجاور با روشنه

بررسی معنی‌داری و مقایسه میان مقدار رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه و غیرمجاور آن با استفاده از آزمون t مستقل انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تفاوت میانگین رویش شعاعی تاج درختان مجاور روشنه نسبت به درختان غیرمجاور با آن، از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است (جدول ٦). از این‌رو، درختان نزدیک به روشنه، از مقدار رویش

شعاعی بیشتری در دوره زمانی موردبررسی (۱۳۹۵-۱۳۹۰) برخوردار بوده‌اند.

جدول ٦- نتایج بررسی معنی‌داری مقدار رشد تاج درختان مجاور و غیر مجاور روشنه با استفاده از آزمون آماری t مستقل در بازهٔ زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۰

Table 6. Results of the Independent t-test assessing the significant differences of canopy growth between adjacent and non-adjacent trees to canopy gaps during the period of 2011-2016

مقایسه Comparison	آزمون t مستقل Independent t-test		
	آماره t t-statistic	درجه آزادی df	*p*-value
رشد مجاور و غیرمجاور تاج درختان با روشنه Crown growth of adjacent vs. non-adjacent trees to canopy gaps	2.688	38	0.01**

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

** Significant at the 99% confidence level

بررسی مقدار رشد تاج درختان

بررسی مقدار رویش تاج درختان نشان داد که درختان مجاور روشنه‌ها رویش شعاعی بیشتری نسبت به درختان غیرمجاور روشنه داشته‌اند، به‌طوری‌که میانگین رویش درختان مجاور در طی پنج سال ۲۰/۸۱۱ مترمربع و میانگین رویش تاج درختان غیرمجاور ۱٤/۷۰۳ بوده است. همچنین درختان مجاور و غیرمجاور روشنه به‌ترتیب دارای میانگین رویش سالانه ٤/۱٦ و ۲/۹٤ مترمربع بودند (جدول ۷).

جدول ۷- میانگین رشد تاج درختان در طول دورهٔ زمانی (پنج‌ساله) و متوسط رشد به ازای هر سال

Table 7. Mean radial crown growth area over a 5-year period and average annual growth

گروه Group	میانگین مساحت رویش شعاعی تاج درختان در طول پنج سال (مترمربع) Total radial crown growth area over 5 years (m^2)	متوسط مساحت رویش تاج به ازای هر سال (مترمربع) Average annual crown growth Area (m^2/year)
درختان مجاور روشنه Gap-adjacent trees	20.811	4.16
درختان غیرمجاور روشنه Non-gap-adjacent trees	14.703	2.94

بحث

در این پژوهش با بهره‌گیری از قابلیت تصاویر هوایی رقومی با قدرت تفکیک مکانی بالا (UltraCam)، امکان استخراج دقیق مرزهای تاج پوشش و شناسایی روشنه‌ها را در مقیاس مورد نظر فراهم کرد. یافته‌های کمی این پژوهش به‌وضوح حاکی از آن بود که وجود روشنه‌ها، محرک قدرتمندی برای افزایش رشد شعاعی تاج درختان مجاور در جنگل‌های هیرکانی است. این نتیجه با مبانی بوم‌شناسی به‌طور کامل همخوانی دارد؛ چرا که روشنه‌ها با ایجاد فضای رشد فیزیکی و مهم‌تر از آن،

بهبود شرایط نوری، رقابت برای این منابع حیاتی را کاهش داده و فرصت توسعه‌ی تاج را برای درختان پیرامونی فراهم می‌کنند.

آزمون t جفتی برای مقایسه تغییرات مساحت تاج درختان در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۹ درصد نشان داد؛ یعنی رشد شعاعی تاج درختان در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول افزایش قابل‌توجهی یافته است. این نتیجه، تأثیر روشنه‌های جنگلی را بر تحریک رشد تاج تأیید می‌کند. یافته‌های مشابهی در بررسی‌های پیشین بر روی گونه‌های مخروطی گزارش شد؛ برای مثال Zhao et al. (2015)، نشان دادند که شدت هرس به‌طور مستقیم بر رشد شعاعی تاج درختان کناره‌های روشنه مؤثر است و افزایش نور در روشنه‌ها منجر به رشد سریع‌تر تاج می‌شود. همچنین York et al. (2010) در بررسی خود روی گونه Sequoiadendron giganteum مشاهده کردند که ایجاد روشنه‌های بزرگ، رشد شعاعی تاج را به‌طور معنادار افزایش می‌دهد.

آزمون t مستقل نیز تفاوت معناداری را بین رشد تاج درختان نزدیک به روشنه (درختان مجاور) و دور از روشنه (درختان غیرمجاور) نشان داد. میانگین رشد تاج در ردیف اول از ردیف دوم بیشتر بود؛ بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که درختان برخوردار از تابش مستقیم و شدت نور بیشتر (ردیف اول) رشد تاجی قابل‌توجهی نسبت به درختان با فاصلهٔ بیشتر از روشنه دارند. یافتهٔ این پژوهش با نتایج Denslow et al. (1998) در جنگل‌های گرمسیری مطابقت دارد، آنها نشان داده‌اند که اندازهٔ روشنه، تأثیر بسزایی بر فرآیندهای زیر و بالای خاک (مانند تأمین عناصر غذایی و رطوبت) دارد؛ بنابراین، رشد شعاعی تاج در مجاورت روشنه نه تنها ناشی از افزایش نور، بلکه نتیجه‌ی تعامل مثبت چندین متغیر بوم‌شناسی است. همچنین Vepakomma et al. (2011) با استفاده از داده‌های لیدار چندزمانه دریافتند که روشنه می‌تواند هم رشد عمودی و هم شعاعی تاج را در گونه‌های مختلف افزایش دهد، با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

بررسی میانگین رشد تاج درختان مجاور و غیر مجاور روشنه نشان داد که درختان مجاور روشنه، رشد تاجی بیشتری نسبت به درختان واقع در فاصله دورتر از روشنه‌ها داشته‌اند. به‌طور مشخص، میانگین کل رشد تاج درختان مجاور روشنه (ردیف اول) برابر با ۲۰/۸۱۱ مترمربع بود، درحالی‌که این مقدار برای درختان غیرمجاور روشنه (ردیف دوم) تنها ۱٤/۷۰۳ مترمربع به‌دست آمد. این تفاوت معنی‌دار می‌تواند بیانگر تأثیر مثبت روشنه‌ها باشد؛ به‌گونه‌ای که درختان در مجاورت روشنه‌ها رشد بیشتری نسبت به درختان دورتر از آنها دارند. افزون بر آن، محاسبه متوسط رشد سالانه نیز این تفاوت را تأیید می‌کند؛ به‌طوری‌که رشد سالانه تاج درختان مجاور برابر با ۱٤/۱٦ مترمربع و برای درختان غیرمجاور ۲/۹٤ مترمربع در سال برآورد شد. این اختلاف رشدی در هر سال نشان‌دهنده آن است که شرایط محیطی فراهم‌شده در حاشیهٔ روشنه، مانند دسترسی بیشتر به نور و کاهش رقابت نوری و فضایی، نقش مهمی در افزایش سرعت رشد تاج ایفا می‌کنند. یافته‌های حاضر با نتایج گزارش‌شده توسط Yang et al. (2023) هم‌راستا است که در پژوهش خود بر روی جنگل‌های صنوبر در منطقهٔ سایهانبا چین نشان دادند که بازیابی طبیعی و رشد درختان جوان در حاشیه روشنه‌ها به‌مراتب بیشتر از نواحی مرکزی یا دور از روشنه بوده است. همچنین در پژوهشی مروری که توسط Muscolo et al. (2014) بر نقش شکاف‌های تاج پوشش جنگلی انجام شد، گزارش شد که درختان واقع

در حاشیه روشنه‌ها دارای رشد سریع‌تر و توسعهٔ تاج بیشتر در مقایسه با درختان در مناطق بسته جنگل هستند که عمدتاً ناشی از دسترسی بهتر به نور و کاهش رقابت در این نواحی بود.

نکتهٔ قابل‌توجه در داده‌های این پژوهش، مقادیر منفی رشد (کاهش مساحت تاج‌پوشش) در برخی از نمونه‌های مربوط به تاج پوشش درختان بود. با توجه به بررسی دفترچه طرح جنگلداری مربوط به سال‌های موردبررسی در منطقهٔ مورد پژوهش، عواملی مانند آفات و بیماری‌ها، بادهای شدید، صاعقه یا برخی از دخالت‌های انسانی سبب خشک‌شدن و یا حذف قسمت‌هایی از تاج پوشش درختان در منطقهٔ مورد بررسی شده است؛ که می‌توان دلیل کاهش مساحت تاج‌پوشش درختان در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ را این عوامل دانست. Pretzsch (2021) در بررسی اثر ساختار تنه و تاج بر رشد درختان نشان داده است که تنش‌های محیطی و خسارت فیزیکی تاج می‌تواند منجر به کاهش رشد تاج شود. از سوی دیگر، Zarandian et al. (2016) به وضوح نقش مخرب فعالیت‌های انسانی بر خدمات بوم‌سازگانی جنگل‌های هیرکانی را بیان کرده‌اند که این موضوع می‌تواند به‌عنوان عاملی مهم در کاهش رشد تاج برخی درختان تفسیر شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تأثیر روشنه‌ها بر رشد شعاعی و افقی تاج درختان جنگل‌های هیرکانی (رویش نوری گستره تاج) با استفاده از تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam در دو دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در چند پارسل از توده‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده طرح‌های جنگلداری در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت کلاته گرگان صرف‌نظر از عامل ایجاد روشنه و صرف نظر از نوع گونه به‌صورت دقیق بررسی شد. تحلیل آماری نشان داد که درختان مجاور روشنه‌ها رشد تاجی معنی‌داری نسبت به درختان غیرمجاور دارند. این افزایش رشد تاج به‌طور مستقیم به بهبود شرایط نوری، کاهش رقابت بین درختان و فراهم شدن فضای فیزیکی بیشتر برای گسترش تاج مرتبط است. چنین یافته‌هایی مؤید آن است که گشایش روشنه‌ها به مقدار قابل‌قبول و کنترل‌شده می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر در بهبود ساختار فضایی و پویایی توده‌های جنگلی در کنار دیگر اثرات، مانند فراهم‌آوری شرایط نوری برای رشد و نمو زادآوری باشد. در عین حال، مشاهدهٔ کاهش رشد در برخی درختان نشان می‌دهد که عوامل دیگری مانند عدم فراهم شدن شرایط توسعهٔ گسترهٔ تاج ناشی از عوامل مختلف نیز می‌توانند بر پویایی تاج درختان اثرگذار باشند. این موضوع بیانگر پیچیدگی روابط بوم‌شناسی درون جنگل‌های طبیعی است که نیازمند تحلیل‌های چندعاملی و دقیق‌تری برای درک عمیق‌تر این پدیده‌ها است. نکته قابل بیان دیگر این هست که در این پژوهش بررسی‌ها بدون توجه به نوع گونه وسرشت نوری گونه‌ها انجام شده است. اگرچه تنوع گونه‌ای درختان اطراف روشنه‌ها در این بررسی بسیار محدود بوده و گونه‌های مورد بررسی از نظر سرشت نوری نیز تقریبا در یک طیف مشابه (نیمه‌نورپسند) قرار داشته‌اند. به‌طورکلی، سرشت نوری گونه‌ها می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در پاسخ به تغییرات نوری ناشی از روشنه داشته باشد، به‌ویژه در گونه‌های نورپسند که ممکن است رشد تاج آنها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش نور قرار گیرد که در بررسی‌های بعدی برای دقیق‌تر شدن صحت می‌تواند با یکدیگر مقایسه شود. همچنین استفاده از تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا، مانند تصاویر دوربین رقومی هوایی UltraCam، امکان رصد تغییرات ساختار تاج درختان را در مقیاس‌های زمانی و مکانی وسیع فراهم می‌آورد، بدون آنکه نیاز به حضور فیزیکی و پرهزینه در

عرصه‌های جنگلی باشد. این فناوری‌ها به‌عنوان ابزاری کارآمد و غیرمخرب، چشم‌اندازی دقیق از وضعیت پوشش تاج، تراکم، سلامت درختان و حتی تأثیر عملیات مدیریتی مانند ایجاد روشنه را فراهم می‌سازند و در مسیر دستیابی به مدیریت پایدار جنگل نقش کلیدی ایفا می‌کنند. لازم به ذکر است که در استفاده از تصاویر نوری در بررسی تأثیر روشنه‌های بر مقدار رشد شعاعی تاج‌پوشش درختان، با توجه به ماهیت این تصاویر، امکان بررسی‌های مربوط به رشد تاج‌پوشش درختان زیرآشکوب فراهم ناست. از این‌رو، نیاز است تا با توجه به ساختار جنگل، از داده‌های سنجش از دور دیگری مانند داده‌های لیدار و رادار استفاده به‌صورت جداگانه و یا تلفیق آنها با داده‌های نوری، برای بررسی‌های جامع‌تر استفاده کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آینده، سرشت نوری درختان برای بررسی‌های دقیق‌تر اثر روشنه بر رویش شعاعی تاج پوشش درختان در نظر گرفته شود.

References

Amini, Sh.; Moayeri, M. H.; Shataee Jouibary, Sh.; Rahmani, R. Geometric indices and regeneration species diversity in natural and man-made canopy gaps. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* **2023**, *28* (1), 1–20. (In Persian)

Araujo, R. F.; Chambers, J. Q.; Celes, C. H. S.; Muller-Landau, H. C.; Santos, A. P. F. D.; Emmert, F.; Ribeiro, G. H.; Gimenez, B. O.; Lima, A. J.; Campos, M. A.; Higuchi, N. Integrating high-resolution drone imagery and forest inventory to distinguish canopy and understory trees and quantify their contributions to forest structure and dynamics. *PLoS One* **2020**, *15* (12), e0243079.

Asadolahi, Z.; Salmanmahiny, A.; Sakieh, Y. Hyrcanian forests conservation based on the ecosystem services approach. *Environmental Earth Sciences* **2017**, *76*, 1–18.

Binkley, D.; Campoe, O. C.; Gspaltl, M.; Forrester, D. I. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management* **2013**, *288*, 5–13.

Canham, C. D. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: Response to canopy gaps. *Ecology* **1988**, *69* (3), 786–795.

Collins, B. S.; Pickett, S. T. A. Influence of canopy opening on the environment and herb layer in a northern hardwoods forest. *Vegetatio* **1987**, *70* (1), 3–10.

Denslow, J. S.; Ellison, A. M.; Sanford, R. E. Treefall gap size effects on above- and below-ground processes in a tropical wet forest. *Journal of Ecology* **1998**, *86* (4), 597–609.

Echereme Chidi, B.; Mbaekwe Ebenezer, I.; Ekwealor Kenneth, U. Tree crown architecture: Approach to tree form, structure and performance: A review. *International Journal of Scientific and Research Publications* **2015**, *5* (9), 1–6.

Goushehgir, Z.; Feghhi, J.; Innes, J. L. Challenges facing the improvement of forest management in the Hyrcanian forests of Iran. *Forests* **2022**, *13* (12), 2180.

Hedayati Kaliji, S.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Amiri, M. Current and future distribution modeling of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Hyrcanian forests. *Forest Research and Development* **2025**, *10* (4), 527–543. (In Persian)

Hosseini, S. M. Outstanding universal values of the Hyrcanian Forest, the newest Iranian property, are inscribed in UNESCO's World Heritage List. *Tourism Research* **2019**, *1* (3), 1–17. (In Persian)

Khalili, Z.; Fallah, A.; Shataee, S. Canopy gap delineation using UAV data in coniferous forests (Case study: Arab Dagh Region in Golestan Province). *Ecology of Iranian Forest* **2023**, *11* (21), 24–39. (In Persian)

Kozlowski, T. T. Light and water in relation to the growth and competition of Piedmont forest tree species. *Ecological Monographs* **1949**, *19* (3), 207–231.

Lile, J. A.; Kelly, T. H.; Pinsky, D. J.; Hays, L. R. Substitution profile of Δ9-tetrahydrocannabinol, triazolam, hydromorphone, and methylphenidate in humans discriminating Δ9-tetrahydrocannabinol. *Psychopharmacology* **2009**, *203*, 241–250.

Mohabbati, F.; Eshaghi Rad, J.; Pahrizkar, P. The effect of gap size on herbaceous biodiversity and soil properties in the beech forest with different management background in Mazandran and Guilan provinces. *Forest Research and Development* **2024**, *10* (3), 343–361. (In Persian)

Mohammadi, J.; Shataee, S.; Namiranian, M.; Næsset, E. Modeling biophysical properties of broad-leaved stands in the Hyrcanian forests of Iran using fused airborne laser scanner data and UltraCam-D images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2017**, *61*, 32–45.

Muscolo, A.; Bagnato, S.; Sidari, M.; Mercurio, R. A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research* **2014**, *25* (4), 725–736.

Naseri, M. H.; Fassnacht, F. E.; Shataee, Sh. Upscaling UAV and LiDAR derived forest gap area and edge length extractions using radar and optical Sentinel images. *International Journal of Remote Sensing* **2025**, *46* (10), 3913–3943.

Nelson, R. Modeling forest canopy heights: The effects of canopy shape. *Remote Sensing of Environment* **1997**, *60* (3), 327–334.

Parhizkar, P.; Eshaghi Rad, J.; Ghorbani, H. The diversity indices of herbaceous species in the unmanaged and man-made forest gaps. *Forest Research and Development* **2024**, *9* (4), 499–514. (In Persian)

Popescu, S. C.; Wynne, R. H.; Nelson, R. F. Measuring individual tree crown diameter with LiDAR and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. *Canadian Journal of Remote Sensing* **2003**, *29* (5), 564–577.

Poulson, T. L.; Platt, W. J. Gap light regimes influence canopy tree diversity. *Ecology* **1989**, *70* (3), 553–555.

Pourbabaei, H.; Haddadi-Moghaddam, H. R.; Begyom-Faghir, M.; Abedi, T. The influence of gap size on plant species diversity and composition in beech (*Fagus orientalis*) forests, Ramsar, Mazandaran Province, North of Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* **2013**, *14* (2), 89–94.

Pretzsch, H. Tree growth as affected by stem and crown structure. *Trees* **2021**, *35* (3), 947–960.

Runkle, J. R. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology* **1982**, *63* (5), 1533–1546.

Sefidi, K.; Mohadjer, M. R. M.; Mosandl, R.; Copenheaver, C. A. Canopy gaps and regeneration in old-growth oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, northern Iran. *Forest Ecology and Management* **2011**, *262* (6), 1094–1099.

Seyed Mousavi, S. Z.; Mohammadi, J.; Darvishzadeh, R.; Shataee, S.; Rahmani, R.; Gorbani, K. The effect of physiographic factors on the leaf area index in the broadleaf forests of Golestan Province. *Journal of Wood & Forest Science and Technology* **2024**, *31* (1), 95–120. (In Persian)

Song, C.; Dickinson, M. B.; Su, L.; Zhang, S.; Yaussey, D. Estimating average tree crown size using spatial information from Ikonos and QuickBird images: Across-sensor and across-site comparisons. *Remote Sensing of Environment* **2010**, *114* (5), 1099–1107.

Stenberg, P.; Kuuluvainen, T.; Kellomäki, S.; Grace, J. C.; Jokela, E. J.; Gholz, H. L. Crown structure, light interception, and productivity of pine trees and stands. *Ecological Bulletins* **1994**, *43*, 20–34.

Sterck, F. J. Crown development in tropical rainforest trees in gaps and the understorey. *Plant Ecology* **1999**, *143*, 89–98.

Valladares, F.; Niinemets, Ü. The architecture of plant crowns: From design rules to light capture and performance. In *Functional Plant Ecology*; CRC Press: Boca Raton, FL, 2007; pp 101–150.

Vepakomma, U.; St-Onge, B.; Kneeshaw, D. Response of a boreal forest to canopy opening: Assessing vertical and lateral tree growth with multi-temporal LiDAR data. *Ecological Applications* **2011**, *21* (1), 99–121.

Waez-Mousavi, S. M.; Habashi, H.; Sajedi, T. The effect of forest treefall gap on humus forms in a mixed *Fagus orientalis* Lipsky (Oriental Beech) forest. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry* **2012**, *54* (1), 1–9.

Wang, Y. *Crown Structure, Radiation Absorption, Photosynthesis, and Transpiration*; Ph.D. Thesis, Edinburgh University: Edinburgh, UK, 1988.

Watt, A. S. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology* **1947**, *35* (1/2), 1–22.

Yang, X.; Li, J.; Fan, N.; Wang, Y.; Zhang, Z. Effects of gap size on natural regeneration in *Picea asperata* forests of northern China. *Forests* **2023**, *14* (10), 2102.

York, R. A.; Fuchs, D.; Battles, J. J.; Stephens, S. L. Radial growth responses to gap creation in large, old *Sequoiadendron giganteum*. *Applied Vegetation Science* **2010**, *13* (4), 498–509.

Zarandian, A.; Baral, H.; Yavari, A. R.; Jafari, H. R.; Stork, N. E.; Ling, M. A.; Amirnejad, H. Anthropogenic decline of ecosystem services threatens the integrity of the unique Hyrcanian (Caspian) forests in northern Iran. *Forests* **2016**, *7* (3), 51.

Zhao, Q.; Pang, X.; Bao, W.; He, Q. Effects of gap-model thinning intensity on the radial growth of gap-edge trees with distinct crown classes in a spruce plantation. *Trees* **2015**, *29*, 1861–1870.