University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Assessment of canopy cover changes in the northern and southern Zagros forests (Case study: Kurdistan and Chaharmahal and Bakhtiari provinces)

Yaghoub Iranmanesh[1] | Mehdi Pourhashemi[2] | Hassan Jahanbazi Goujani[3] | Maziar Haidari[4] | Behrouz Fani[5] | Mohammad Kazem Parsapour[6] | Touraj Mokhtarpour[7]

1. Corresponding Author, Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: iranmanesh@areeo.ac.ir
2. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agriculture, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: pourhashemi@rifr-ac.ir
3. Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: jahanbazy_hassan@areeo.ac.ir
4. Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Sanandaj, Iran. Email: m.haidari@areeo.ac.ir
5. Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Sanandaj, Iran. Email: zanafani@areeo.ac.ir
6. Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: m.parsapour@modares.ac.ir
7. Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: mokhtarpour@areeo.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 30 January 2024
Revised: 29 April 2024
Accepted: 02 July 2024
Published online: 10 September 2024

Keywords:
Canopy imaging,
Growth form,
Leaf area index,
Zagros ecosystem.

ABSTRACT

The Zagros forests, being the largest and most important forest ecosystems in the country, provide valuable ecosystem services. The percentage of forest canopy cover, a crucial component of forest statistics, has a strong relationship with ecohydrological processes and plays a vital role in forest inventory programs. In this study, changes in canopy cover percentage were examined in sample plots located in the provinces of Kurdistan (Dulehnaw, Gharan, Belveh, and Saraki) and Chaharmahal and Bakhtiari (Gelsefid, Rahimabad, Gardaneh Cheri, and Mavarz), representing the northern and southern Zagros forests, respectively. Each plot underwent a comprehensive measurement process, including the assessment of species composition, growth form, and average crown diameter. Static images of tree canopies were captured in 2021 and 2022 to analyze changes in canopy cover. The analysis revealed statistically significant differences in canopy cover between provinces. Significant differences in canopy cover changes were observed in the Dulehnaw, Gharan, and Rahimabad forest stands over the two years, but no significant statistical differences were found in the Saraki, Belveh, Gardaneh Cheri, Mavarz, and Gelsefid stands. Furthermore, in both provinces, the highest increase in canopy cover percentage was recorded in the southern direction, with values of 7.46% and 3.97%, respectively. Detailed and comprehensive analyses of the canopy cover index, particularly in the Zagros region, are crucial for effective management planning in forest ecosystems. The two-year variations in this index provide valuable insights into the influence of vegetation type, structure, and ecological conditions on canopy dynamics, serving as a gateway for energy to plants.

Cite this article: Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H., Haidari, M., Fani, B., Parsapour, M.K., Mokhtarpour, T. (2024). Assessment of canopy cover changes in the northern and southern Zagros forests (Case Study: Kurdistan and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces). *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (2), 139-152. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371768.1282

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371768.1282

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

ارزیابی تغییرات تاج‌پوشش در جنگل‌های زاگرس شمالی و جنوبی (مطالعهٔ موردی: استان‌های کردستان و چهارمحال و بختیاری)

یعقوب ایران‌منش[۱] | مهدی پورهاشمی[۲] | حسن جهانبازی گوجانی[۳] | مازیار حیدری[۴] | بهروز فانی[۵] | محمدکاظم پارساپور[۶] | تورج مختارپور[۷]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: iranmanesh@areeo.ac.ir

۲. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: pourhashemi@rifr-ac.ir

۳. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد ایران. رایانامه: jahanbazy_hassan@areeo.ac.ir

۴. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: m.haidari@areeo.ac.ir

۵. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: zanafani@areeo.ac.ir

۶. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: m.parsapour@modares.ac.ir

۷. بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: mokhtarpour@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

کلیدواژه:
اکوسیستم زاگرس،
تصویربرداری تاج،
شاخص سطح برگ،
فرم رویشی.

چکیده

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان گسترده‌ترین و مهم‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور خدمات اکوسیستمی ارزشمندی دارند. اندازه‌گیری درصد تاج‌پوشش جنگل به‌عنوان یک بخش مهم از آمار جنگل مطرح است. تاج‌پوشش جنگل ارتباط قوی با فرآیندهای اکوهیدرولوژیک داشته و نقش مهمی در برنامه‌های سنجش موجودی جنگل دارد. در این پژوهش، تغییرات درصد تاج‌پوشش در قطعه‌نمونه‌های ثابت واقع در استان‌های کردستان (دولاناو، گاران، بلوه و سارەکی) و چهارمحال و بختیاری (گل‌سفید، رحیم‌آباد، گردنهٔ چری و مورز) به‌ترتیب به‌عنوان نمایندهٔ جنگل‌های زاگرس شمالی و جنوبی مورد بررسی قرار گرفتند. در هر استان چهار قطعه‌نمونه انتخاب شدند. در هر قطعه‌نمونه یک هکتاری، نوع و فراوانی گونه‌ها، مبدأ و قطر متوسط تاج اندازه‌گیری شد. سپس، تصاویر ثابت از تاج درختان در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ برداشت شد. بررسی تغییرات تاج‌پوشش در دو استان نشان از افزایش درصد تاج‌پوشش در سال‌های مورد بررسی داشت. در دو تودهٔ جنگلی دولەناو و گاران (کردستان) و رحیم‌آباد (چهارمحال و بختیاری)، تغییرات تاج‌پوشش در دو سال تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داد، اما در توده‌های جنگلی سارەکی و بلوه و گردنهٔ چری، مورز و گل‌سفید اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، در هر دو استان، بیشترین افزایش درصد تاج‌پوشش به‌ترتیب با مقادیر ۷/۴۶ و ۳/۹۷ مربوط به جهت جنوبی بود. با توجه به اهمیت شاخص تاج‌پوشش در اکوسیستم‌های جنگلی به‌ویژه زاگرس، تحلیل‌های دقیق و جامع این شاخص نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی ایفا خواهد کرد. نتایج تغییرات دوساله، اطلاعات کاربردی درخصوص اثر نوع و ساختار توده و شرایط اکولوژیک بر پویایی تاج‌پوشش به‌عنوان دروازهٔ ورودی انرژی به گیاه ارائه می‌دهد.

استناد: ایران‌منش، یعقوب؛ پورهاشمی، مهدی؛ جهانبازی گوجانی، حسن؛ حیدری، مازیار؛ فانی، بهروز؛ پارساپور، محمدکاظم؛ مختارپور، تورج (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات تاج‌پوشش در جنگل‌های زاگرس شمالی و جنوبی (مطالعهٔ موردی: استان‌های کردستان و چهارمحال و بختیاری). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۲)، ۱۵۲-۱۳۹. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371768.1282

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.371768.1282

۱. مقدمه

جنگل‌های ناحیهٔ رویشی زاگرس با مساحتی در حدود پنج میلیون هکتار به‌عنوان گسترده‌ترین و مهم‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور محسوب می‌شوند و خدمات اکوسیستمی (غیرتجاری) ارزشمندی ازجمله حفظ تنوع زیستی، حفاظت منابع آبی و تعدیل آب و هوا دارند [۱]. این منطقهٔ رویشی ارزشمند در حال حاضر با فشارهای طبیعی و انسانی متعددی ازجمله بهره‌برداری نامتعارف توسط جوامع محلی بهره‌بردار روبه‌رو است که در حال حاضر به‌عنوان کانون بحران محیط‌زیستی شناخته می‌شوند و تغییرات کمی و کیفی زیادی ناشی از این مسئله در این ناحیهٔ رویشی صورت گرفته است. این ناحیه براساس پراکنش گونه‌های اصلی دربرگیرندهٔ آن به دو بخش زاگرس شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی می‌شود [۲]. جنگل‌های استان کردستان مساحتی نزدیک به ۹ درصد سطح استان (حدود ۲۵۶۰۰۰ هکتار) را شامل می‌شوند و گونه‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، وی‌ول (*Q. libani* Oliv.) و مازودار (*Q. infectoria* Oliv.) گونه‌های جنگلی غالب آن هستند [۳]. مساحت جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری نیز حدود ۳۰۷ هزار هکتار است که ۹۸ درصد پوشش عمدهٔ جنگلی آن را بلوط ایرانی تشکیل می‌دهد. بنه، کلخونگ، کیکم، زالزالک، نارون، داغداغان، زبان‌گنجشک و گونه‌های مختلف بادام از دیگر گونه‌های جنگلی این استان به‌شمار می‌روند.

تاج‌پوشش جنگل، عبارت است از نسبت سطح زمین جنگل (که توسط تصویر عمودی تاج‌های درختان پوشانده شده است) [۴]. اندازه‌گیری درصد تاج‌پوشش جنگل به‌عنوان یک بخش مهم از آمار جنگل مطرح است. تاج‌پوشش جنگل ارتباط قوی با فرآیندهای اکوهیدرولوژیکی داشته [۳، ۴] و نقش مهمی در برنامه‌های سنجش موجودی جنگل دارد [۵]. به‌عنوان نمونه، تاج‌پوشش جنگل در ارزیابی سلامت جنگل، مطالعات رشد و بقای جوانه‌ها، نشانگر تنوع گونه‌ها در اکوسیستم‌های جنگلی، حیات وحش و خطر آتش‌سوزی بکار رفته است [۵، ۶]. تاج‌پوشش در ارزیابی خرداقلیم بوم‌سازگان جنگلی، تشخیص گونه‌های گیاهی و نیز در برآورد متغیرهای کاربردی جنگل مانند شاخص سطح برگ از اهمیت زیادی برخوردار است [۹-۷]. تعریف بین‌المللی جنگل نیز براساس تاج‌پوشش است. سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) جنگل را به‌عنوان زمینی با حداقل نیم هکتار با تاج‌پوشش بیشتر از ۱۰ درصد و ارتفاع درخت حداقل پنج‌متر تعریف کرده است.

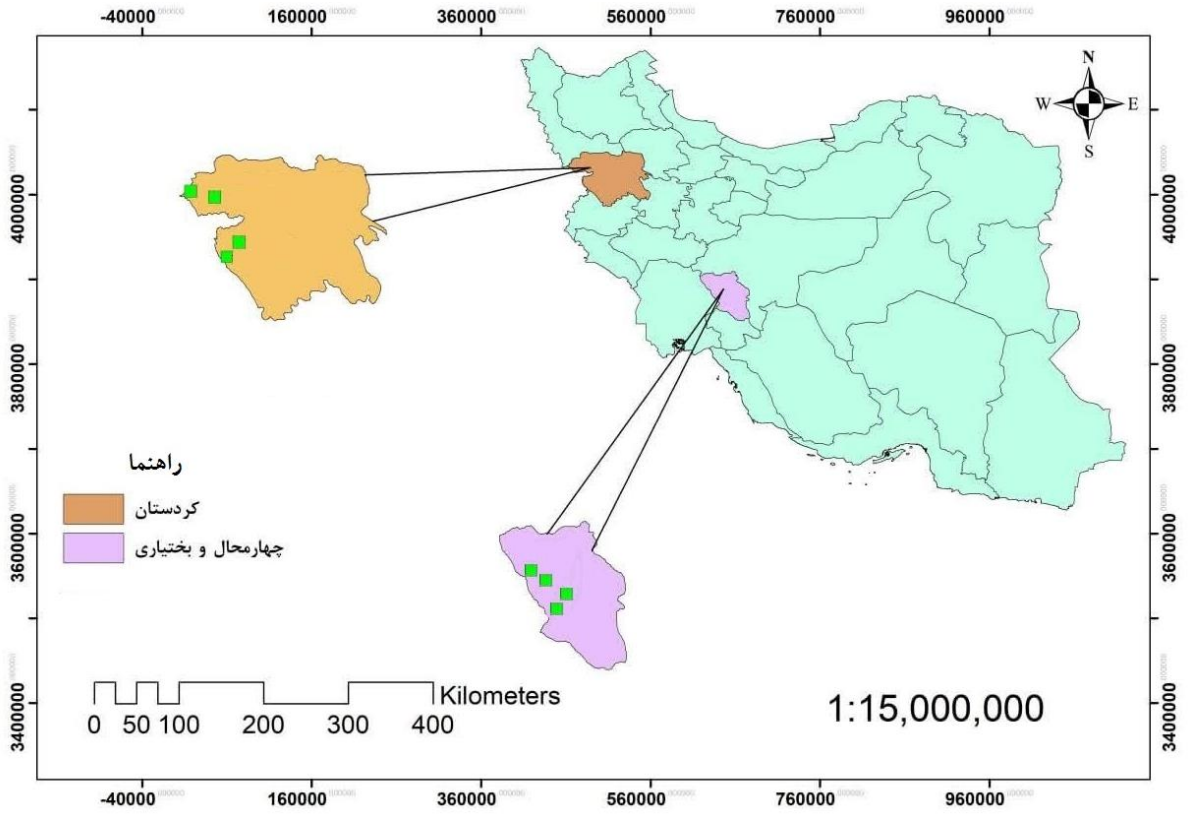
بررسی تغییرات تاج‌پوشش و شاخص سطح برگ درختان جنگلی در تعدادی از مطالعات انجام شده است. در مطالعهٔ شاخص تراکم تاج‌پوشش در جنگل‌های ایلام مشخص شد که شاخص تراکم تاج با میزان خشکیدگی نزدیک‌ترین رابطه را دارد و بر این اساس، کمترین میزان خشکیدگی در تاج‌های بسته مشاهده شد [۱۰]. در پژوهش دیگری، مقدار سطح برگ گونهٔ کیکم (*Acer monspessulanum*) در جنگل‌های قلعه‌گل استان لرستان، ۰/۸۶۸ مترمربع در هکتار برآورد شد. همچنین مشخص شد که جهت‌های جغرافیایی مختلف در تعیین مقادیر میانگین سطح برگ تأثیر معنی‌داری نداشتند [۱۱]. در اغلب مطالعات، بررسی درصد تاج‌پوشش، ارزیابی تاج‌پوشش با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور مانند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و لیدار انجام شده‌اند [۱۲]. روش عکسبرداری از زیر تاج درختان در جهت‌های مختلف، ازجمله روش‌های کم‌هزینه و قابل اجرا در جنگل است که در کنار کارایی زیاد، روش استفادهٔ آسانی دارد. بدین‌منظور، در پژوهشی، تاج‌پوشش درختان با استفاده از دوربین‌های دیجیتال در جنگلی در شرق فنلاند اندازه‌گیری شد و نتایج، نشان از دقت زیاد عکسبرداری زمینی از زیر تاج درختان داشت [۷]. در بررسی دیگری، از این تکنیک در اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در جهت‌های مختلف تاج درختان استفاده شد و نتایج نشان داد دقت این روش در اندازه‌گیری شاخص سطح برگ قابل قبول است [۱۳]. در مطالعه‌ای دیگر در چین، کارایی این روش در جهت‌های مختلف تاج گونهٔ *Larix principis-rupprechtii* بررسی شد. نتایج نشان داد که روش عکسبرداری زمینی از تاج درختان دقت زیادی دارد [۱۴]. براساس بررسی پژوهش‌های انجام شده در کشور، به‌ویژه ناحیهٔ رویشی زاگرس، تاکنون در زمینهٔ بررسی تغییر ابعاد و درصد تاج‌پوشش درختان پژوهشی انجام نشده است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی تاج‌پوشش در جنگل‌های زاگرس، قطعات نمونه‌ای در دو استان کردستان (به‌عنوان نمایندهٔ زاگرس شمالی) و چهارمحال و بختیاری (به‌عنوان نمایندهٔ زاگرس جنوبی) انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. هدف از پژوهش حاضر، برداشت تصاویر ثابت از تاج درختان در جنگل‌های این استان‌ها در سال‌های مختلف به‌منظور بررسی تغییرات رخداده در تاج‌پوشش توده بود. بررسی ابعاد ساختاری در کوتاه‌مدت با توجه به کندرشد بودن گونه‌های جنگلی زاگرس ازجمله بلوط امکان‌پذیر نیست و بررسی تغییرات تاج‌پوشش می‌تواند تغییرات و

تحولات رویشی درختان را در کوتاه‌مدت بهتر نشان دهد. زاگرس شمالی و جنوبی از نظر اقلیم و شرایط رویشی، تنوع قابل توجهی دارند. این تنوع اقلیمی بر الگوهای بارش، تبخیر و تعرق و در نهایت بر رشد و عملکرد گونه‌های جنگلی تأثیر می‌گذارد. همچنین، بلوط ایرانی گونهٔ غالب در هر دو استان است، اما شرایط اقلیمی مختلف می‌تواند بر ویژگی‌های رشد، تولید مثل و تاج‌پوشش این گونه تأثیر بگذارد. مقایسهٔ این دو استان، می‌تواند به ارزیابی روند تغییرات تاج‌پوشش جنگل‌ها در شرایط رویشگاهی مختلف و تدوین برنامه‌های مدیریتی مناسب برای هر منطقه کمک کند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مناطق موردمطالعه

این پژوهش در دو استان کردستان و چهارمحال و بختیاری به‌ترتیب در زاگرس شمالی و جنوبی انجام شد. در ابتدا، در هر استان چهار قطعه‌نمونهٔ یک‌هکتاری مربعی‌شکل با ساختار و فرم‌های رویشی متفاوت درنظر گرفته شد که عبارتند از: دوله‌ناو و گاران در شهرستان مریوان و بلوه و ساره‌کی در شهرستان بانه (استان کردستان) و گل‌سفید و رحیم‌آباد در شهرستان کیار و گردنهٔ چری و مورز در شهرستان کوهرنگ (استان چهارمحال و بختیاری) (شکل ۱). میانگین بارش سالانه در شهرستان‌های مریوان و بانه استان کردستان به‌ترتیب ۸۲۴ و ۷۶۸ میلی‌متر و در شهرستان‌های کیار و کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری به‌ترتیب ۵۳۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر است. مشخصات کلی قطعه‌نمونه‌ها به‌تفکیک در جدول یک ذکر شده است.



شکل ۱. موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در استان‌های موردمطالعه

جدول ۱. مشخصات کلی قطعه‌نمونه‌ها در استان‌های موردمطالعه

استان	قطعه‌نمونه	ویژگی‌های فیزیوگرافی				
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط شیب (درصد)	جهت غالب	ارتفاع از سطح دریا (متر)
کردستان	بلوه	۵۸۶۷۷۴	۳۹۸۵۳۴۵	۱۰	شمالی	۱۴۵۰
	ساره‌کی	۵۵۸۱۵۱	۳۹۹۰۴۸۶	۵۰	شمال غربی	۱۴۰۰
	دوله‌ناو	۶۰۴۹۵۸	۳۹۱۶۳۱۲	۴۵	غربی	۱۴۵۰
	گاران	۶۱۸۴۰۴	۳۹۳۴۲۷۴	۴۰	شمالی	۱۴۰۰
چهارمحال و بختیاری	گردنهٔ چری	۴۱۹۱۸۲	۳۵۵۶۳۳۷	۳۰	جنوبی	۲۲۸۵
	مورز	۴۱۸۰۳۹	۳۵۵۷۹۲۵	۲۰	جنوبی	۱۸۷۳
	رحیم‌آباد	۴۵۹۸۳۷	۳۵۲۷۵۰۷	۲۵	شمالی	۱۸۵۳
	گل‌سفید	۴۶۳۸۴۳	۳۵۳۰۱۶۲	۲۰	جنوبی	۱۷۶۴

۲-۲. روش پژوهش

در هر قطعه‌نمونهٔ یک‌هکتاری (۱۰۰×۱۰۰ متر)، نوع و فراوانی گونه‌ها، مبدأ و قطر متوسط تاج اندازه‌گیری شد. به‌منظور مقایسهٔ رویش و گسترش تاج درختان، مقایسه‌ها با اندازه‌گیری تاج درختان صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری تاج‌پوشش در هر قطعه‌نمونه، پنج درخت در هر قطعه‌نمونه که نمایندهٔ توده و از گونه‌های اصلی موجود در قطعه‌نمونه بودند، انتخاب شدند. هدف از این کار، برداشت تصاویر ثابت از تاج درختان در سال‌های مختلف پژوهش (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) به‌منظور بررسی تغییرات رخ داده در تاج پوشش توده بر مبنای درختان معرف بود. بنابراین، اساس این روش، ایجاد نقاط کاملاً ثابت برای برداشت فریم‌های مشخص از تاج درختان در سال‌های مختلف بود. بدین‌منظور، برای هر درخت، چهار پایهٔ فلزی ثابت از جنس فولاد با ارتفاع مناسب تهیه شد. این پایه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده بودند که در برابر باد و بارش‌های شدید مقاوم باشند. پایه‌های فلزی در چهار جهت اصلی زیر تاج درخت قرار داده شدند. برای اطمینان از ثبات پایه‌ها، از بتن برای تثبیت آنها در زمین استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، صفحهٔ متحرکی از جنس آلومینیوم با ابعاد مناسب تهیه و در مرکز این صفحه، حفره‌ای برای قرارگیری دوربین تعبیه شد. دوربین تلفن همراه (سامسونگ S8+) به‌همراه گیرهٔ مخصوص، روی صفحه متحرک نصب شد. با استفاده از دوربین نصب‌شده روی صفحهٔ متحرک، از زیر تاج درختان در سال‌های مختلف عکسبرداری شد. برای حصول تصاویر باکیفیت، عکسبرداری در شرایط نوری مناسب و در زمان مشخصی از روز انجام شد (شکل ۲). با مشخص کردن نشانه‌روی تنهٔ درخت و استفاده از جهت‌نمای لیزری نقاط برداشت تصویر از تاج درخت کاملاً ثابت شدند تا تصاویر برداشت شده از تاج درختان، فریم‌های یکسانی را در سال‌های مختلف شامل شوند و بدین‌صورت مقایسهٔ تصاویر تاج و تغییرات تاج‌پوشش در سال‌های مختلف انجام شد (شکل ۳). تلفن همراه مورد استفاده در این پژوهش، در دو سال متوالی ثابت بوده و تغییرات تاج‌پوشش با دقت بالایی به ثبت رسیدند.

شکل ۲. نصب پایه‌های ثابت برای استقرار دوربین در زیر تاج درخت (راست)
و نصب صفحهٔ متحرک و تنظیم محل قرارگیری آن به کمک نور لیزر و نشانه‌روی تنه درخت (چپ)

شکل ۳. تهیهٔ تصویر از زیر تاج درختان نمونه

اندازه‌گیری و تحلیل تغییرات تاج‌پوشش با استفاده از نرم‌افزار MIP Cloud انجام شد. این نرم‌افزار برای آنالیز تصاویر میکروسکوپی و ماکروسکوپی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نسخهٔ مورد استفاده در این پژوهش، MIP Cloud4 student بود. با دوگانه‌سازی کردن تصاویر به دو رنگ مجزا و قابلیت تنظیم این دو رنگ با استفاده از منوهای کشویی، درصد خطا در تصویر کاهش یافت و درصد تاج‌پوشش درخت به‌درستی و با کمترین خطا اندازه‌گیری شد. با توجه به ثابت بودن مکان تصویربرداری در دو سال متوالی و محاسبهٔ تاج‌پوشش به درصد، تغییرات عدسی تصویربرداری نمی‌تواند خطایی ایجاد کرده و اعتبار زیادی به داده‌های نرم‌افزار می‌دهد.

۲-۳. تحلیل داده‌ها

داده‌ها در نرم‌افزار Excel به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شدند. برای تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ داده‌ها، ابتدا نرمال بودن آنها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون تست شد. از آزمون t غیروابسته و جفتی برای مقایسات زوجی تغییرات تاج‌پوشش در توده‌های موردمطالعه در دو استان در سال‌های مختلف استفاده شد. برای بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر تاج‌پوشش در ارتباط با جهت‌های جغرافیایی مختلف و تغییرات تاج‌پوشش در قطعه‌نمونه‌ها و جهت‌های جغرافیایی از تجزیه واریانس یک‌طرفه و دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسهٔ چندگانهٔ میانگین‌ها بکار گرفته شد. تمام تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بستهٔ نرم‌افزاری SPSS نسخهٔ ۲۷ انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش

۱-۳. ویژگی‌های ساختاری توده‌های موردمطالعه

ویژگی‌های ساختاری توده‌های موردمطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. تراکم (تعداد در هکتار) درختان در استان کردستان بیشتر (به‌طور میانگین ۶۰۷ اصله در هکتار) از استان چهارمحال و بختیاری (به‌طور میانگین ۱۰۲ اصله در هکتار) بود. همچنین، بیشترین و کمترین درصد تاج‌پوشش در استان کردستان به‌ترتیب در قطعه‌نمونهٔ بلوه (۹۰ درصد) و قطعه‌نمونهٔ ساره‌کی (۳۰ درصد) و در استان چهارمحال و بختیاری در قطعه‌نمونهٔ گردنهٔ چری (۵۵ درصد) و رحیم‌آباد (۲۵ درصد) ثبت شد. فرم کلی رویشی در بیشتر قطعه‌نمونه‌های جنگلی استان کردستان، شاخه‌زاد بود (به‌جز قطعه‌نمونهٔ ساره‌کی که دانه و شاخه‌زاد بود) و در قطعه‌نمونه‌های جنگلی مورز و گل‌سفید استان چهارمحال و بختیاری از نوع شاخه‌زاد، گردنهٔ چری از نوع دانه و شاخه‌زاد و رحیم‌آباد از نوع دانه‌زاد بود (جدول ۲). میانگین قطر متوسط تاج نیز در استان کردستان ۳/۲۱ متر و در استان چهارمحال و بختیاری ۶/۶۰ متر محاسبه شد.

جدول ۲. ویژگی‌های ساختاری توده‌های موردمطالعه در استان‌های کردستان و چهارمحال و بختیاری

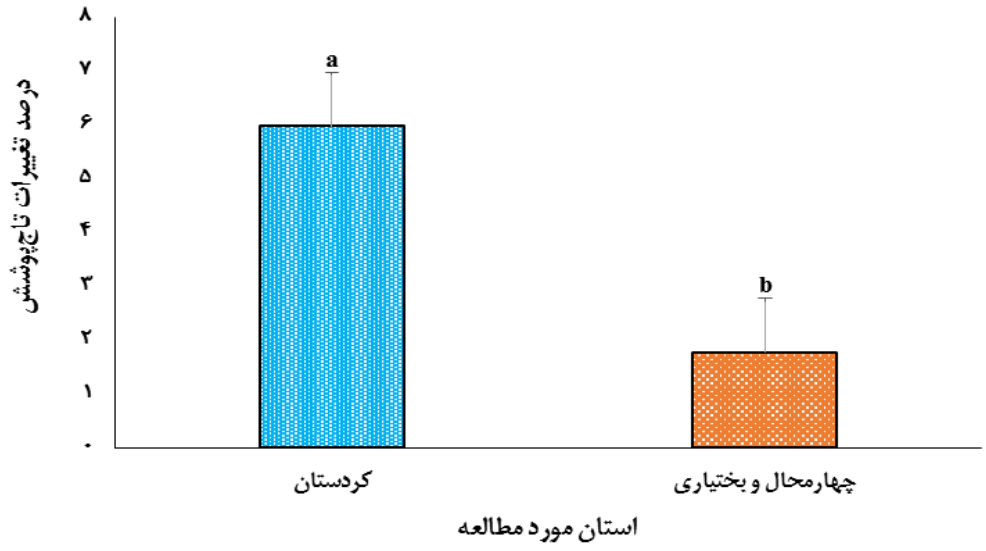
استان	قطعه‌نمونه	تراکم (تعداد در هکتار)	تاج‌پوشش (درصد)	فرم رویشی	قطر متوسط تاج (متر)
کردستان	بلوه	۷۴۷	۹۰	شاخه‌زاد	۳/۹
	ساره‌کی	۲۷۷	۳۰	دانه و شاخه‌زاد	۴/۳۵
	دوله‌ناو	۵۵۲	۳۸	شاخه‌زاد همسال کم‌قطر	۲/۵
	گاران	۸۵۲	۵۱	شاخه‌زاد ناهمسال کم‌قطر	۲/۱
چهارمحال و بختیاری	گردنهٔ چری	۲۲۹	۵۵	دانه و شاخه‌زاد	۵/۳
	مورز	۶۹	۳۳	شاخه‌زاد	۷/۱
	رحیم‌آباد	۳۳	۲۴	دانه‌زاد	۸/۹
	گل‌سفید	۷۶	۲۵	شاخه‌زاد	۵/۱۱

۳-۲. تغییرات تاج‌پوشش

بررسی تغییرات تاج‌پوشش در دو استان کردستان و چهارمحال و بختیاری نشان از تفاوت آماری معنی‌داری (۰/۰۰۵) بین آنها داشت. قطعه‌نمونه‌های استان کردستان درصد تغییرات بیشتری (۵/۹۸۸ درصد) را نسبت به قطعه‌نمونه‌های استان چهارمحال و بختیاری (۱/۷۸۱ درصد) نشان دادند (جدول ۳ و شکل ۴).

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین درصد تغییرات تاج‌پوشش در دو استان کردستان و چهارمحال و بختیاری

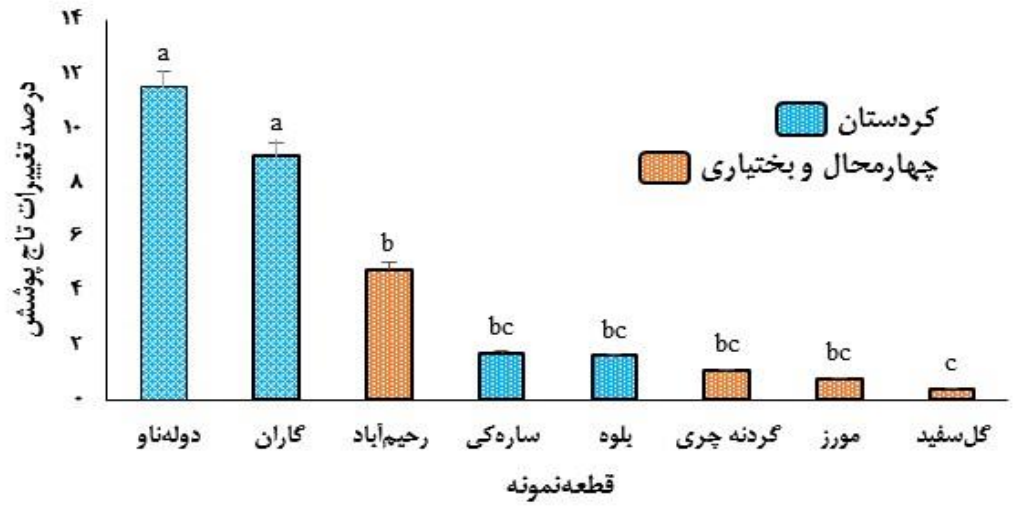
استان	درصد تغییرات تاج‌پوشش	اشتباه معیار	درجه آزادی	F- value	معنی‌داری
کردستان	۵/۹۸۸	±۰/۹۰۹	۱۵۸	۷/۹۵۰	۰/۰۰۵
چهارمحال و بختیاری	۱/۷۸۱	±۰/۵۶۱			



شکل ٤. درصد تغییرات تاج‌پوشش در جهت‌های جغرافیایی مختلف در دو استان موردمطالعه (درصدهای با حروف متفاوت، تفاوت آماری معنی‌دار دارند)

۳-۳. مقایسهٔ تغییرات تاج‌پوشش بین قطعه‌نمونه‌ها

نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین تاج‌پوشش درختان رویشگاه‌های موردمطالعه در دو استان کردستان و چهارمحال و بختیاری در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان داد که به‌طور کلی درصد تاج‌پوشش درختان از سال ۱۴۰۰ به ۱۴۰۱ افزایش یافته است. بیشترین و کمترین درصد افزایش تاج‌پوشش درختان در استان کردستان به‌ترتیب در توده‌های جنگلی دوله‌ناو (۱۱/۵۶ درصد) و بلوه (۱/۶۲ درصد) مشاهده شد (شکل ۵). این مقادیر برای استان چهارمحال و بختیاری به‌ترتیب در تودهٔ جنگلی رحیم‌آباد (۴/۸۳ درصد) و گل‌سفید (۰/۴۲ درصد) به‌دست آمدند (شکل ۵).

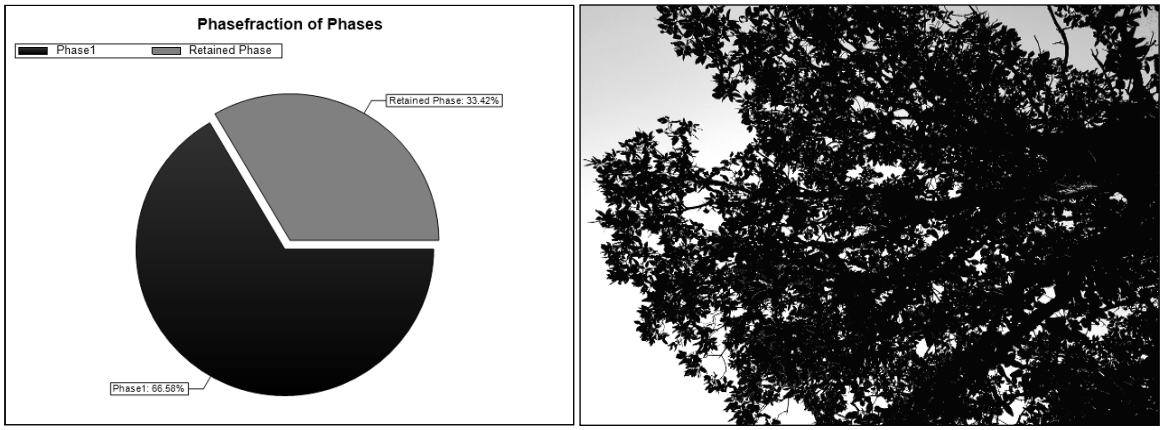


شکل ۵. درصد تغییرات تاج‌پوشش در توده‌های جنگلی موردمطالعه (درصدهای دارای حروف مشابه تفاوت آماری معنی‌داری ندارند)

شکل ۶، تغییرات درصد تاج‌پوشش در جهت شرق تاج یک درخت در قطعه‌نمونه رحیم‌آباد و جهت شمال تاج یک درخت در قطعه‌نمونهٔ گل‌سفید بین سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ و افزایش سطح اتفاق افتاده را نشان می‌دهد.

شکل ٦. مقایسهٔ تغییرات درصد تاج‌پوشش در جهت شرق تاج یک درخت در قطعه‌نمونهٔ رحیم‌آباد (بالا)
و جهت شمال تاج یک درخت در قطعه‌نمونهٔ گل‌سفید (پایین) بین سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱، استان چهارمحال و بختیاری

شکل ۷، نتایج تغییرات تاج‌پوشش حاصل از نرم‌افزار MIP Cloud را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، درصد فضای خالی بین تاج‌پوشش حذف شده و فقط سطح اشغال شده توسط برگ درختان اندازه‌گیری شده است. تصاویر خروجی از این نرم‌افزار با دقت زیادی، اندازهٔ تاج‌پوشش درختان مورد بررسی را در جهت‌های مختلف نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷. اندازه‌گیری و تحلیل تغییرات تاج‌پوشش با استفاده از نرم‌افزار MIP Cloud

۳-۴. مقایسهٔ تغییرات تاج‌پوشش در دو سال مورد بررسی

مقایسهٔ زوجی میانگین تاج‌پوشش در استان کردستان در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشان از تفاوت آماری معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) در دو تودهٔ جنگلی دولەناو و گاران داشت، ولی دو تودهٔ جنگلی بلوه و سارەکی در دو سال پیاپی اختلاف آماری معنی‌داری را نشان ندادند. از سوی دیگر، مقایسهٔ میانگین تاج‌پوشش در قطعه‌نمونه‌های استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که در قطعه‌نمونهٔ رحیم‌آباد، میانگین تاج‌پوشش ۵ درخت شاهد بین سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ تفاوت معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان داد، به‌طوری‌که در این قطعه‌نمونه در سال ۱۴۰۱ میانگین تاج‌پوشش ۴/۸ درصد افزایش یافته بود. این در حالی است که در قطعه‌نمونه‌های گردنهٔ چری، مورز و گل‌سفید، به‌رغم افزایش حدود ۰/۵ تا یک درصدی تاج‌پوشش در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۴۰۰، تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشت (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسات زوجی تغییرات سطح تاج‌پوشش در قطعه‌نمونه‌های موردمطالعه در دو منطقهٔ رویشی در سال‌های مختلف

استان	قطعه‌نمونه	میانگین تاج‌پوشش (درصد)		درجه آزادی	معنی‌داری
		سال ۱٤۰۰	سال ۱٤۰۱		
کردستان	دولەناو	۴۷/۵۸ (±۲/۲۶)	۵۹/۱۴ (±۲/۴۳)	۱۹	**
	گاران	۵۲/۸۸ (±۳/۲۳)	۶۱/۹۰ (±۳/۴۹)	۱۹	**
	بلوه	۶۲/۸۸ (±۱/۰۸)	۶۴/۵۲ (±۱/۰۷)	۱۹	ns
	سارەکی	۶۸/۱۷ (±۱/۲۲)	۶۹/۹۲ (±۱/۲۱)	۱۹	ns
چهارمحال و بختیاری	گردنهٔ چری	۵۷/۵۶ (±۲/۸۸)	۵۸/۶۴ (±۳/۰۶)	۱۹	ns
	مورز	۵۸/۳۰ (±۲/۱۲)	۵۹/۱۰ (±۲/۲۱)	۱۹	ns
	رحیم‌آباد	۶۳/۵۷ (±۳/۴۳)	۶۸/۴۰ (±۳/۷۱)	۱۹	**
	گل‌سفید	۶۴/۰۴ (±۲/۴۱)	۶۴/۴۷ (±۲/۱۷)	۱۹	ns

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهندهٔ اشتباه معیار (standard error) است. ns بیانگر عدم معنی‌داری و ** بیانگر معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد است.

۳-۵. مقایسهٔ تغییرات تاج‌پوشش بین جهت‌های مختلف تاج

تجزیه واریانس میانگین قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی و جهت‌های مختلف تاج حاکی از وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار در ارتباط با درصد تغییرات سطح تاج‌پوشش داشت (جدول ۵). بیشترین درصد تغییرات تاج‌پوشش به توده‌های جنگلی استان کردستان تعلق داشت، در حالی‌که کمترین درصد تغییرات در توده‌های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری مشاهده شد. تجزیه واریانس مقایسهٔ تغییرات تاج‌پوشش در جهت‌های مختلف جغرافیایی تاج نشان داد که در استان چهارمحال و بختیاری این تفاوت معنی‌دار بوده، ولی در استان کردستان تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در هر دو استان، جهت جنوبی بیشترین افزایش تاج‌پوشش را به‌ترتیب با مقادیر ۷/۴۶ و ۳/۹۷ درصد نشان داد. جهت شرقی نیز کمترین تغییرات درصد تاج‌پوشش را در هر دو منطقه داشت، به‌طوری‌که در استان کردستان ۴/۴۵ درصد تغییرات و در استان چهارمحال و بختیاری تنها ۰/۰۱ درصد تغییرات را پوشش داد (شکل ۸).

جدول ۵. تجزیه واریانس منابع تغییرات (قطعه‌نمونه و جهت) و اثر متقابل بین آنها در دو استان موردمطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		کردستان	چهارمحال و بختیاری
قطعه‌نمونه	۳	۵۱۵/۱۹ **	۸۴/۱۹ *
جهت تاج	۳	۳۹/۷۶ ns	۷۳/۷۸ **
قطعه‌نمونه × جهت	۹	۵۷/۵۱ ns	۱۰/۵۲ ns
خطا	۶۴	۴۶/۵۴	۲۲/۲۵
کل	۸۰	–	–

ns بیانگر عدم معنی‌داری؛ * و ** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد هستند.

شکل ۸. درصد تغییرات تاج‌پوشش در جهت‌های جغرافیایی مختلف در دو استان مورد مطالعه

جدول ٦. تجزیه واریانس مقایسهٔ تغییرات تاج‌پوشش بین جهت‌های مختلف تاج در دو استان مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		کردستان	چهارمحال و بختیاری
جهت تاج	۳	۷/۹۵ ns	۱۴/۶۸ *

ns بیانگر عدم معنی‌داری و * بیانگر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد هستند.

۴. بحث

درصد تاج‌پوشش از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی است که بیشترین تأثیر را در تغییرات انرژی، آب و گاز دارد [۱۵]. در مناطق و اکوسیستم‌های جنگلی، تاج‌پوشش، عاملی مهم و متغیری کلیدی است که با بسیاری از فرایندهای فیزیکی، بیولوژیکی و فیزیولوژیکی جوامع گیاهی ارتباط دارد. این پارامتر، همبستگی زیادی با حاصلخیزی، رویش و محصول در جنگل دارد. همچنین، میان حاصلخیزی خاک، درصد تاج‌پوشش و شاخص سطح برگ، رویش درختان و مقدار زی‌توده رابطهٔ مستقیمی وجود دارد [۵، ۱۶، ۱۷]. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در استان کردستان در زاگرس شمالی، درصد تغییرات تاج‌پوشش در سال‌های مورد بررسی نسبت به استان چهارمحال و بختیاری در زاگرس جنوبی بیشتر بود، به‌طوری‌که در استان کردستان تغییرات اندازه تاج‌پوشش حدود ۶ درصد و در استان چهارمحال و بختیاری کمتر از ۲ درصد به‌دست آمد. این اختلاف سه‌برابری تغییرات را می‌توان به ویژگی‌های اکولوژیک مختلف رویشگاه‌های موردمطالعه نسبت داد. هر درجه افزایش عرض جغرافیایی، تقریباً معادل ۱۱۱ متر افزایش ارتفاع از سطح دریا است. با این حال، این رابطه خطی نیست و عوامل متعددی مانند توپوگرافی، می‌توانند بر ارتفاع واقعی از سطح دریا در هر نقطه تأثیر بگذارند [۱۸]. نتایج نشان داد که میانگین ارتفاع از سطح دریا در قطعات نمونه‌برداری شده در استان کردستان ۱۴۲۵ متر و در استان چهارمحال و بختیاری ۱۹۴۴ متر است. از سوی دیگر، میانگین بارندگی در زاگرس شمالی به‌مراتب بیشتر از زاگرس جنوبی است. تغییر ارتفاع از سطح دریا بر میزان بارندگی، شدت تشعشعات خورشیدی، تبخیر و تعرق تأثیر داشته و این عوامل به‌نوبهٔ خود بر نوع و تراکم پوشش‌های گیاهی تأثیر گذاشته و سبب کاهش رشد گیاهان می‌شوند [۱۹]. همان‌طور که اشاره شد، شاخص سطح برگ از متغیرهای بوم‌شناختی مهم است که ارتباط مستقیمی با تاج‌پوشش دارد. Flynn و همکاران (۲۰۲۲) [۲۰] بیان کرده‌اند که شاخص سطح برگ یک ورودی کلیدی در مدل‌های پویایی پوشش گیاهی جهانی است و تبخیر و تعرق، الگوهای فنولوژیکی و فتوسنتز تاج‌پوشش را تعیین می‌کند و به‌همین دلیل تغییرات سطح تاج، یک متغیر آب و هوایی ویژه محسوب می‌شود. در بررسی ارتباط بین شاخص سطح برگ جنگل‌های مانگرو و شرایط اقلیمی، ارتباط نزدیک و مثبت بین شاخص سطح برگ و شاخص استاندارد بارندگی گزارش شده است [۲۱]. همچنین، در بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا بر فتوسنتز و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک سه گونهٔ درختی بلوط، بنه و زالزالک در جنگل‌های استان ایلام ذکر شده که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، مقدار شاخص‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی در سه گونهٔ موردمطالعه کاهش یافته است [۱۹]. Madhumali و همکاران (۲۰۲۳) [۲۲] نیز بیان داشتند که شاخص سطح برگ با افزایش ارتفاع از سطح دریا رابطهٔ منفی دارد. مجموعه موارد فوق مؤید تفاوت قابل ملاحظه تغییرات تاج‌پوشش بین زاگرس شمالی و جنوبی است.

در میان توده‌های جنگلی موردمطالعه، دوله‌ناو و گاران در استان کردستان و رحیم‌آباد در چهارمحال و بختیاری بیشترین تغییرات تاج‌پوشش را داشتند. توده‌های گاران و دوله‌ناو نیز توده‌های شاخه‌زاد جوان هستند که می‌تواند به‌دلیل بسیار جوان بودن این توده‌ها، افزایش به‌نسبت قابل توجه سطح تاج در آنها اتفاق افتاده باشد. ضمن اینکه قطعه‌نمونهٔ گاران یک قطعه‌نمونهٔ قرق شده است و مدیریت قرق نقش خود را در پویایی تغییرات تاج‌پوشش به‌خوبی نشان داده است. امینی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی ارتباط ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی با ویژگی‌های برگ درختان در جنگل‌های زاگرس شمالی به این نتیجه دست یافتند که شاخص سطح برگ از ارتفاع پایین به سمت ارتفاعات بالا، کاهشی می‌شود [۲۳]. همچنین شاخص سطح برگ در جهت‌های شمالی و شمال شرقی بیشترین و در جهت جنوبی و جنوب غربی کمترین مقدار است. قرارگیری قطعه‌نمونهٔ رحیم‌آباد در دامنهٔ شمالی نیز علاوه بر موضوع ساختار رویشی آن، دلیل دیگری مبنی بر تغییرات بیشتر تاج‌پوشش آن نسبت به سایر قطعه‌نمونه‌ها در استان چهارمحال و بختیاری است که با تحقیقات امینی و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد [۲۳]. علاوه بر این، قطعه‌نمونهٔ رحیم‌آباد دارای فرم رویشی دانه‌زاد میان‌سال بوده و پایداری خاصی در این رویشگاه حاکم است که می‌تواند موجب تغییرات پایدار و بیشتر تاج‌پوشش شده باشد. همچنین، در پژوهشی دیگر نشان داده شد که برگ‌های بلندتر و ورقه‌ای با بیشترین مساحت برگ در مناطق با بارش کمتر، در جهت شمال‌غرب قرار داشتند [۲۴]. این موضوع بیانگر آن است که در جهت‌های شیب شمالی، تاج‌پوشش به‌طور معمول بیشتر از جهت‌های دیگر است. شاخص‌های سطح تاج یا تاج‌پوشش به عوامل مختلفی وابسته

هستند. در مقیاس جهانی این شاخص به تغییرات اقلیمی و ماهیت عملکردی گیاه مربوط می‌شود و در مقیاس محلی تحت تأثیر عوامل رویشگاهی مانند حاصلخیزی، سن پایه، شیوهٔ مدیریت، سابقهٔ اختلالات و آشفتگی‌های توده است [۲۵]. Eriksson و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی روش‌های برآورد شاخص سطح برگ در توده‌های جنگلی خزان کننده بیان داشتند که موقعیت قرارگیری برگ در قسمت‌های مختلف تاج بر مقدار سطح برگ ویژه تأثیر دارد [۲۶]. Madhumali و همکاران (۲۰۲۳) نیز به این نتیجه دست یافتند که مقدار تراکم تاج در جهت‌های مختلف تاج به‌دلیل تفاوت در دریافت نور متفاوت است [۲۲]. آرایش تک‌درختان، تفاوت در مورفولوژی گونه‌ها، در دسترس بودن نور و مواد مغذی خاک و بسیاری از عوامل دیگر ساختار تاج‌پوشش را تعیین می‌کند [۲۷]. همچنین، پناهی و همکاران (۲۰۱۳) نیز سطح ویژهٔ برگ‌های سایه‌ای و برگ‌های نوری را در سه گونهٔ بلوط مقایسه نمودند و اختلاف آماری معنی‌دار در این متغیر گزارش و ذکر کردند که دلیل اصلی این امر تفاوت مقدار نور دریافت شده از محیط است [۲۸]. در پژوهش حاضر نیز بیشترین تغییرات سطح تاج در قسمت جنوبی تاج اتفاق افتاده بود. دریافت نور در بخش جنوبی تاج نیز می‌تواند یکی از دلایل این موضوع باشد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیریت منابع جنگلی نیاز به داشتن اطلاعات کمی و کیفی در مورد پارامترهای آگاهی‌بخش از توان تولید زی‌توده ازجمله شاخص سطح برگ و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طی زمان است. نتایج این پژوهش بیانگر وضعیت حاکم بر توده‌های جنگلی زاگرس از نظر وضعیت ورودی انرژی به اکوسیستم دارد. درمجموع تغییرات دو ساله در مقدار تاج‌پوشش در همهٔ مناطق مورد بررسی به‌ویژه توده‌های مورد مطالعه در زاگرس جنوبی ناچیز بود. این موضوع بیانگرشرایط سخت رویشگاهی، فشارهای محیطی و دخالت‌های غیرطبیعی در اکوسیستم جنگلی ازجمله زاگرس جنوبی دارد، چراکه اندازهٔ شاخص سطح برگ علاوه بر ژنتیک به عوامل محیطی رویشگاه نیز بستگی دارد [۲۹]. نتایج حاصل از بررسی تغییرات اقلیمی در منطقهٔ مورد بررسی نیز مؤید این موضوع است، چنانچه طی سالیان اخیر به‌ویژه سه سال گذشته اکوسیستم منطقه با کاهش بارش و رطوبت و افزایش دما مواجه بوده است. بررسی تغییرات تاج‌پوشش در دوره‌های زمانی طولانی‌تر و نیز انجام مطالعات مشابه در سایر اکوسیستم‌های جنگلی ایران می‌تواند بینش ارزشمندی در مورد تأثیر عوامل مختلف مانند تغییرات آب و هوایی، مدیریت جنگل و آفات و بیماری‌ها بر پویایی تاج‌پوشش ارائه دهد.

۶. منابع

[1] Talebi, K.S., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran. A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer, 152 p.

[2] Jazirehei, M.H., & Ebrahimi, R.M. (2003). Silviculture in Zagros. University of Tehran. 560 p. (In Persian)

[3] Pourhashemi, M. (2015). Structural characteristics of oak coppice stands of Marivan Forests. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(5), 766-776. (In Persian)

[4] Jennings, S.B., Brown, N.D., & Sheil, D. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*, 72(1), 59-74.

[5] Nasiri, V., Darvishsefat, A.A., Arefi, H., Griess, V.C., Sadeghi, S.M.M., & Borz, S.A. (2022). Modeling forest canopy cover: a synergistic use of Sentinel-2, aerial photogrammetry data, and machine learning. *Remote Sensing*, 14(6), 1453.

[6] Huang, X., Wu, W., Shen, T., Xie, L., Qin, Y., Peng, S., Zhou, X., Fu, X., Li, J., Zhang, Z., & Zhang, M. (2021). Estimating forest canopy cover by multiscale remote sensing in northeast Jiangxi, China. *Land*, 10(4), 433.

[7] Anttila, P. (2005). Assessment of manual and automated methods for updating stand-level forest inventories based on aerial photography. *Dissertationes Forestales*, 9, 1-42.

[8] Korhonen, L., Korhonen, K.T., Rautiainen, M., & Stenberg, P. (2006). Estimation of forest canopy cover: a comparison of field measurement techniques. *Silva Fennica* 40(4), 577–588.

[9] Chopping, M., Moisen, G.G., Su, L., Laliberte, A., Rango, A., Martonchik, J.V., & Peters, D.P. (2008). Large area mapping of southwestern forest crown cover, canopy height, and biomass using the NASA Multiangle Imaging Spectro-Radiometer. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2051-2063.

[10] Hosseinzadeh, J., & Pourhashemi, M. (2015). An investigation on the relationship between crown Indices and the severity of oak forests decline in Ilam. *Iranian Journal of Forest*, 7(1), 57-66 (In Persian).

[11] Khalili Ardali, Z., Mirazadi, Z., & Mansuor Samaie, R. (2019). Estimation of biomass, carbon sequestration and leaf area of Acer monspessulanum in Middle-Zagros, case study: Ghaleh Gol forests in Lorestan province. *Forest Research and Development*, 5(2), 245-257 (In Persian).

[12] Torresan, C., Carotenuto, F., Chiavetta, U., Miglietta, F., Zaldei, A., & Gioli, B. (2020). Individual tree crown segmentation in two-layered dense mixed forests from UAV LiDAR data. *Drones*, 4(2): 10.

[13] Zou, J., Zhuang, Y., Chianucci, F., Mai, C., Lin, W., Leng, P., Luo, S., & Yan, B. (2018). Comparison of seven inversion models for estimating plant and woody area indices of leaf-on and leaf-off forest canopy using explicit 3D forest scenes. *Remote Sensing*, 10(8), 1297.

[14] Zou, J., Hou, W., Chen, L., Wang, Q., Zhong, P., Zuo, Y., Luo, S., & Leng, P. (2020). Evaluating the impact of sampling schemes on leaf area index measurements from digital hemispherical photography in Larix principis-rupprechtii forest plots. *Forest Ecosystems*, 7(1), 1-18.

[15] Paletto, A., & Tosi, V. (2009). Forest canopy cover and canopy closure: comparison of assessment techniques. *European Journal of Forest Research*, 128, 265-272.

[16] Nowghani Leilakouhi, Z., Panahi, P., Torabian, Y., Pourhashemi, M., & Hashemi, S.A. (2016). Non-destructive leaf area estimation of indicator tree species of Hyrcanian collection, National Botanical Garden of Iran. *Applied Biology*, 29(1), 175-190 (In Persian).

[17] Fatehi, P., Miri, N., Darvishsefat, A., Pir Bavaghar, M., & Homolová, L. (2023). Modeling Zagros forests leaf area index using Sentinel-2 image and Gaussian Processes Regression. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research.* (*In Press*). (In Persian)

[18] Arora, K. (2021). Geodesy, figure of the earth. In *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* (pp. 423-426). Cham: Springer International Publishing.

[19] Parvizi, A., Hatamnia, A. A., Mohammadkhani, N., & Naji, H.R. (2021). Effect of altitude on photosynthesis rate and some physiological indices from three species of *Quercuis brantii*, *Pistacia atlantica*, *Crataegus pontica* in Ilam province forests. *Journal of Plant Process and Function*, 10(45), 57-70 (In Persian)

[20] Flynn, W.R.M., Owen, H.J.F., Grieve, S. W.D., & Lines, E.R. (2022). Quantifying vegetation indices using TLS: methodological complexities and ecological insights from a Mediterranean forest. *EGUsphere*, pp. 1-21.

[21] Makumbura, R.K., & Rathnayake, U. (2022). Variation of Leaf Area Index (LAI) under Changing Climate: Kadolkele Mangrove Forest, Sri Lanka. *Advances in Meteorology*, 2022(1), 9693303.

[22] Madhumali, R.M.C., Wahala, W.M.P.S.B., Sanjeewani, H.K.N., Samarasinghe, D.P., & De Costa, W.A.J.M. (2023). Influence of Geographical Aspect and Topography on Canopy Openness in Tropical Rainforests of Sri Lanka along an Altitudinal Gradient. *bioRxiv*, pp. 2023-07.

[23] Amini, S., Seyedi, N., Fatehi, P., & Pir Bavaghar, M. (2022). Assessment of elevation and geographical aspect variability on leaf characteristics of trees in the North Zagros forests. *Forest Research and Development*, 8(4), 355-369. (In Persian)

[24] Alcántara-Ayala, O., Oyama, K., Ríos-Muñoz, C.A., Rivas, G., Ramirez-Barahona, S., & Luna-Vega, I. (2020). Morphological variation of leaf traits in the Ternstroemia lineata species complex (Ericales: Penthaphylacaceae) in response to geographic and climatic variation. *PeerJ*, 8, e8307.

[25] Parker, G.G. (2020). Tamm review: Leaf Area Index (LAI) is both a determinant and a consequence of important processes in vegetation canopies. *Forest Ecology and Management*, 477, 118496.

[26] Eriksson, H., Eklundh, L., Hall, K., & Lindroth, A. (2005). Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129(1-2), 27-37.

[27] Smith, M. L., Anderson, J., & Fladeland, M. (2008). Forest canopy structural properties. *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring: A Landscape-Scale Approach*, pp. 179-196.

[28] Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hasaninejad, M. (2013). Comparison of specific leaf area in three native oaks of Zagros in national botanical garden of Iran. *Ecology of Iranian Forest*, 1(2), 12-26. (In Persian).

[29] Roberts, S.D., Dean, T.J., & Evans, D.L. (2003). Family influences on leaf area estimates derived from crown and tree dimensions in *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management*, 172(2-3), 261-270.