



Research Article

The Relationship between Biodiversity and the Aboveground Biomass of Woody Plants Across Climatic Regions and Elevational Gradients (Case Study: Forests of Ilam Province)

Fatemeh Gol-Mohammadi¹, Abdolali Karamshahi² , Mehdi Heydari³, and Reza Omidipour⁴

1- Ph.D. Student, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, (Corresponding author: a.karamshahi@mail.ilam.ac.ir)

3- Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

4- Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received: 01 June, 2025

Revised: 15 September, 2025

Accepted: 30 October, 2025

Extended Abstract

Background: The Zagros forests, one of the most vital ecosystems in Iran, play a crucial role in climate regulation, biodiversity conservation, and the provision of ecosystem services. However, anthropogenic activities and climate change have increasingly threatened these forests, leading to declines in aboveground biomass and species diversity. Biodiversity is a key characteristic of forest ecosystems and significantly contributes to maintaining ecosystem functions, such as aboveground biomass production. Nevertheless, the influence of topographic factors—particularly elevation—on mediating the relationship between biodiversity and ecosystem function across different climatic regions of the Zagros forests remains insufficiently studied. This study aims to investigate the relationship between biodiversity indices (diversity, richness, and evenness) and aboveground biomass through a comparative analysis across various climatic regions, assessing how biodiversity–ecosystem function relationships change along an elevational gradient in Ilam Province.

Methods: Areas with distinct climatic conditions, semi-humid cold (Manesht-Qalarang) and semi-arid cold (Kabir-Kuh), were selected to achieve the study objectives. Study sites were chosen based on their climatic, topographic, and vegetation characteristics to evaluate the influence of these factors on species diversity and ecosystem function. In each region, four transects were established along a 300-meter elevational gradient, with sampling points set at 100-meter intervals. Along these transects, 30×30 meter plots were established systematically and randomly. Data on woody species, including species identity, diameter at breast height (DBH), total height, and crown diameters, were collected within each plot. Biodiversity indices, Shannon and Simpson diversity indices, species richness indices (Margalef and Menhinick), and evenness index (Pielou), were calculated using PAST software. Aboveground biomass was estimated using species-specific allometric equations. For statistical analysis, t-tests were used to compare biodiversity indices between two climatic regions. Simple linear regression models were applied to examine the relationships between aboveground biomass (dependent variable) and biodiversity indices (independent variables), as well as the relationships between biodiversity indices and elevation. Additionally, Principal Component Analysis (PCA) was performed to assess the degree of separation between two regions based on biodiversity indices. All data were standardized prior to PCA, and variables with correlation coefficients above 0.7 were excluded to avoid multicollinearity. PCA was conducted using R software with the “FactoMineR” and “factoextra” packages.

Results: The results showed that aboveground biomass (AGB) was significantly higher in the semi-humid cold region ($2,973.18 \pm 278.57$ kg/ha) than in the semi-arid cold region ($1,948.25 \pm 158.34$ kg/ha). This substantial difference is likely due to more favorable climatic conditions in the semi-humid region, which support a longer growing season and enhanced tree growth. In contrast, species diversity indices were higher in the semi-arid region (Kabir-Kuh) than in the semi-humid region (Manesht–Qalarang). This pattern may be attributed to the presence of drought-tolerant species, reduced competition, and higher ecological niche differentiation under stressful environmental conditions. These findings are consistent with ecological theories, such



as the Intermediate Disturbance Hypothesis and the Dynamic Equilibrium Model, both of which propose that moderate levels of stress can enhance species diversity. Regression analyses revealed a negative relationship between elevation and AGB in the semi-humid region ($R^2 = -0.368$), likely due to the reduced abundance of dominant species, such as Persian oak (*Quercus brantii* L.) at higher altitudes, as well as the adverse effects of elevation on temperature, precipitation, and vegetation structure. Regarding the relationship between biodiversity indices and AGB, Menhinick's richness index showed a significant correlation with biomass in the semi-humid region, while other indices, such as Shannon-Wiener and Pielou's evenness, did not. Conversely, Pielou's evenness index exhibited the strongest explanatory power for AGB in the semi-arid region, with other diversity indices also significantly correlated with biomass. These differences likely reflect variations in vegetation structure, climatic conditions, and forest degradation levels between the two zones. Under stress conditions, limited resources and harsh environmental factors often lead to the dominance of low-performing species, reducing ecosystem function and biomass. Thus, a negative correlation between diversity indices and biomass is expected in semi-arid climates. In the semi-humid region, only species richness showed a negative correlation with biomass, possibly due to intensified interspecific competition and functional redundancy among species. PCA results confirmed a clear separation between the two climatic regions based on biomass and biodiversity components. The semi-humid region was characterized by higher biomass and crown cover, whereas the semi-arid region exhibited greater species diversity and richness. These findings indicate that forest management should be tailored to the climatic conditions of each region. In arid and semi-arid areas, in particular, the conservation and development of drought-resistant species, along with soil moisture management, can help enhance biomass stability and species diversity.

Conclusion: This study underscores the significant influence of climate and elevation on biodiversity patterns and aboveground biomass in the Zagros forests. The results indicate that intense interspecific competition may result in higher biomass but lower species diversity in more humid climates. Conversely, semi-arid environments tend to support greater biodiversity, albeit with lower biomass accumulation. These findings highlight the necessity of developing sustainable forest management strategies that are tailored to the ecological variability of different regions. Specifically, biodiversity conservation efforts should be prioritized in semi-arid areas, where species richness and ecological niche differentiation are more pronounced, while carbon storage initiatives can be more effectively targeted in semi-humid regions with higher biomass potential. Implementing management practices that consider local climatic and topographic conditions is essential for preserving the ecological integrity and functional resilience of the Zagros forest ecosystem.

Keywords: Aboveground biomass, Climate change, Species diversity, Topography, Zagros

How to Cite This Article: Gol-Mohammadi, F., Karamshahi, A., Heydari, M., & Omidipour, R. (2026). The Relationship between Biodiversity and the Aboveground Biomass of Woody Plants Across Climatic Regions and Elevational Gradients (Case Study: Forests of Ilam Province). *Ecol Iran For*, 14(1), 3-15. DOI: 10.61882/ifej.2026.588



مقاله پژوهشی

ارتباط بین تنوع زیستی و زی توده روزمینی گیاهان چوبی در طول مناطق اقلیمی و گرادیان ارتفاعی (مطالعه موردی: جنگل‌های استان ایلام)

فاطمه گل محمدی^۱، عبدالعلی کرمشاهی^{۲*}، مهدی حیدری^۳ و رضا امیدی پور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، (نویسنده مسؤل: a.karamshahi@mail.ilam.ac.ir)

۳- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

صفحه ۳ تا ۱۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های ایران، نقش کلیدی را در تعدیل آب و هوا، حفاظت از تنوع زیستی و ارائه خدمات بوم‌سازگانی ایفا می‌کنند. با این حال، عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی، این جنگل‌ها را با تهدیداتی مانند کاهش زی توده و تنوع گونه‌ی مواجه کرده‌اند. تنوع زیستی از مهم‌ترین ویژگی‌های بوم‌سازگان‌های جنگلی است و نقش مهمی در پایداری و حفاظت از کارکردهای بوم‌سازگانی از قبیل زی توده روزمینی دارد. هر چند که نقش عوامل توپوگرافی به‌ویژه ارتفاع از سطح دریا در مناطق اقلیمی بر ارتباط بین تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم در جنگل‌های زاگرس به‌خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین شاخص‌های تنوع زیستی (تنوع، غنا، یکنواختی) و زی توده روزمینی، تلاش دارد تا با طراحی مطالعه مشابه در مناطق اقلیمی مختلف، ارتباط بین شاخص‌های تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم در طول گرادیان ارتفاعی در استان ایلام را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور دستیابی به اهداف مطالعه، مناطقی با اقلیم متفاوت (نیمه‌مرطوب سرد؛ مانشت‌قلارنگ؛ نیمه‌خشک سرد؛ کبیرکوه) انتخاب شدند. مناطق مورد مطالعه با توجه به ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی انتخاب شدند تا تأثیر این عوامل بر تنوع گونه‌ای و کارکرد اکوسیستم ارزیابی شود. در هر منطقه در امتداد گرادیان ارتفاعی ۳۰۰ متری، ۴ ترانسکت با فاصله ۱۰۰ متر پیاده و قطعات نمونه با ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر به‌صورت تصادفی سیستماتیک روی ترانسکت‌ها پیاده شدند. داده‌های مربوط به گونه‌های چوبی از قبیل نوع گونه، قطر برابر سینه، ارتفاع کل و قطر بزرگ و کوچک تاج ثبت شدند. برای ارزیابی تنوع زیستی، شاخص‌های تنوع (شانون-وینر، سیمپسون)، غنا (مارگالف، منهنیک) و یکنواختی (پایلو) با استفاده از نرم‌افزار PAST محاسبه گردیدند. زی توده روزمینی با استفاده از معادلات زیست‌سنجی به تفکیک گونه‌های گیاهی موجود در نمونه‌برداری برآورد شد. برای مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی در دو منطقه اقلیمی از آزمون t مستقل، به‌منظور بررسی رابطه بین زی توده (متغیر وابسته) و شاخص‌های تنوع زیستی (متغیر مستقل)، و همچنین بررسی رابطه بین شاخص‌های تنوع زیستی و ارتفاع از سطح دریا نیز از رگرسیون خطی ساده (Simple Linear Regression) استفاده شد. در نهایت، برای بررسی میزان تفکیک‌پذیری مناطق اقلیمی بر اساس شاخص‌های تنوع از آزمون آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده گردید. پیش از این آنالیز، ابتدا همه داده‌ها استاندارد شدند. همچنین، متغیرهای با همبستگی بیش از ۰/۷ پیش از آزمون حذف شدند. آزمون PCA در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته‌های آماری FactoMineR و factoextra انجام شد.

یافته‌ها: زی توده روزمینی در منطقه نیمه‌مرطوب سرد ($277/57 \pm 2973/18$ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه نیمه‌خشک سرد ($158/337 \pm 1948/248$ کیلوگرم در هکتار) بود؛ این تفاوت قابل توجه احتمالاً ناشی از شرایط اقلیمی مساعدتر، دوره رشد طولانی‌تر و در نتیجه رشد بهتر درختان در اقلیم مرطوب‌تر است. در مقابل، میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای در اقلیم نیمه‌خشک (کبیرکوه) بیش از منطقه نیمه‌مرطوب (مانشت-قلارنگ) بود، که این پدیده می‌تواند به حضور گونه‌های مقاوم به خشکی، رقابت کمتر و تمایز آشیان‌های بوم‌شناختی در شرایط تنش محیطی نسبت داده شود. این نتایج با فرضیات اکولوژیکی مانند فرضیه آشفتنی متوسط و مدل تعادل پویا (وجود تنوع بیشتر در محیط‌های با تنش) همخوانی دارند. بررسی ارتباط رگرسیونی بین ارتفاع از سطح دریا و زی توده نشان داد که در منطقه نیمه‌مرطوب، زی توده با افزایش ارتفاع کاهش یافت ($R^2 = -0.368$). این روند ممکن است به دلیل کاهش تراکم گونه‌های غالب مانند بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L.) در ارتفاعات بالاتر و اثرات منفی ارتفاع بر دما، بارندگی و ساختار پوشش گیاهی باشد. بررسی رابطه بین شاخص‌های تنوع و زی توده نشان داد که در منطقه نیمه‌مرطوب سرد، غنای منهنیک رابطه معنی‌داری با زی توده داشت، در حالی که شاخص‌های دیگر مانند شانون-وینر و یکنواختی پایلو رابطه معنی‌داری نداشتند. در مقابل، در منطقه نیمه‌خشک کبیرکوه، شاخص یکنواختی پایلو بیشترین توان تبیین زی توده را داشت و شاخص‌های تنوع رابطه معنی‌داری با زی توده نشان دادند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از ساختار متفاوت پوشش گیاهی، تفاوت‌های اقلیمی و درجه تخریب در دو منطقه باشند. در شرایط تنش‌زا، کاهش منابع و سختی شرایط باعث ورود گونه‌های کم‌بازده می‌شود که منجر به کاهش کارکرد اکوسیستم و زی توده می‌گردد. در نتیجه، در اقلیم نیمه‌خشک، رابطه منفی شاخص‌های تنوع با زی توده قابل انتظار است، در حالی که در اقلیم نیمه‌مرطوب، تنها غنای گونه‌ای با زی توده رابطه منفی داشت که به رقابت شدید بین گونه‌ها و همپوشانی عملکردی آن‌ها نسبت داده می‌شود. در تحلیل PCA، تفکیک دو منطقه بر اساس محورهای زی توده و تنوع تأیید شد. منطقه نیمه‌مرطوب با زی توده و تاج‌پوشش بالاتر، و منطقه نیمه‌خشک با تنوع و غنای بیشتر مشخص شدند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که مدیریت جنگل باید متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه انجام شود به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک، حفاظت و توسعه گونه‌های مقاوم به خشکی و مدیریت رطوبت خاک می‌تواند به افزایش پایداری زی توده و تنوع گونه‌ای کمک کنند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که اقلیم و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان عوامل کلیدی، تأثیر قابل توجهی بر الگوهای تنوع زیستی گیاهان چوبی و زی توده در جنگل‌های زاگرس داشتند. نتایج حاکی از آن هستند که در اقلیم‌های مرطوب‌تر، رقابت بین گونه‌ها منجر به زی توده بالاتر اما تنوع کمتر می‌شود. در حالی که در مناطق نیمه‌خشک، تنوع بالاتر با کاهش زی توده همراه است. این یافته‌ها بر ضرورت توجه به مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس با توجه به تفاوت‌های بوم‌شناختی این مناطق، حفظ تنوع زیستی در مناطق نیمه‌خشک، افزایش ذخیره کربن در مناطق نیمه‌مرطوب و نیاز به مدیریت تفکیک‌شده بر اساس شرایط اقلیمی تأکید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، تنوع گونه‌ای، توپوگرافی، زاگرس، زی توده روزمینی

مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین بوم‌سازگان‌های زمین نقش اساسی را در حفظ تعادل آب و هوایی و تنوع زیستی ایفا می‌کنند. این اکوسیستم‌ها با جذب دی‌اکسید کربن و ذخیره آن در زی توده به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند (Mäkelä *et al.*, 2023). همچنین، تنوع زیستی غنی جنگل‌ها نه تنها موجب پایداری اکوسیستم می‌شود (Brockerhoff *et al.*, 2017)، بلکه ظرفیت ذخیره کربن را نیز افزایش می‌دهد. تنوع زیستی گیاهی در هر اکوسیستم به‌طور مستقیم تحت تأثیر ترکیب گونه‌ای و ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی آن است، عاملی که نقش کلیدی را در پایداری اکوسیستم در برابر تغییرات محیطی و زیستی ایفا می‌کند (Bijani-Nejad *et al.*, 2024). مدیریت پایدار جنگل‌ها می‌تواند اهداف حفاظت از تنوع زیستی و افزایش زی توده را تحقق بخشد (Sabatini *et al.*, 2019). در مقابل تخریب جنگل‌ها منجر به از دست رفتن تنوع زیستی می‌شود و این امر بر خدمات اکوسیستمی تأثیر منفی دارد (Anderegg *et al.*, 2020). جنگل‌های زاگرس یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین رویشگاه‌های جنگلی ایران محسوب می‌شوند و به‌عنوان منبعی بی‌نظیر پشتیبان تنوع زیستی و خدمات مختلف اکوسیستمی هستند (Sagheb Talebi *et al.*, 2014). با این حال، عوامل مختلفی از جمله دخالت‌های انسانی، چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری ناپایدار از چوب و محصولات فرعی جنگلی، زراعت در زیر اشکوب و وقوع مکرر آتش‌سوزی‌ها موجب کاهش تنوع زیستی و ناپایداری یا کاهش خدمات اکوسیستمی در این جنگل‌ها شده‌اند (Heydari *et al.*, 2023; Hosseini, 2024).

در این میان، دو شاخص کلیدی زیستی و زی توده به‌عنوان معیارهای سلامت جنگل مطرح هستند که تحت تأثیر عوامل محیطی مانند اقلیم و ارتفاع از سطح دریا قرار می‌گیرند (Chapin *et al.*, 2002). قنبری و اسماعیلی (Ghanbari & Esmaili, 2023) به بررسی اثر شیب و ارتفاع از سطح دریا بر تنوع گونه‌ای درختان در جنگل‌های ارسباران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان دادند که از نظر آماری ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری روی شاخص‌های تنوع زیستی نداشت. نتایج مطالعه بازیار و همکاران (Bazyar *et al.*, 2013) در جنگل‌های زاگرس نشان دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا تنوع کاهش یافت. تحقیقات دیگر نیز نشان دادند که گرادبان ارتفاعی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های جنگل داشت (Körner, 2007). میرهاشمی و همکاران (Mirhashemi *et al.*, 2020) در مطالعه‌ای به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا بر تنوع گونه‌های علفی پرداختند که نتایج نشان داد ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر تنوع و غنای گونه‌های علفی داشت. به‌طور معمول، بیشترین تنوع زیستی در ارتفاعات متوسط مشاهده می‌شود. در حالی که زی توده ممکن است با افزایش ارتفاع، روند صعودی داشته باشد (Mannan *et al.*, 2019). این الگوها ناشی از تعامل پیچیده بین عوامل محیطی مانند دما، بارندگی و رطوبت خاک است (Walther *et al.*, 2002). برای مثال، در مناطق مرطوب و معتدل، شرایط برای رشد گیاهان و تنوع گونه‌ای مطلوب‌تر است، در حالی که در مناطق خشک،

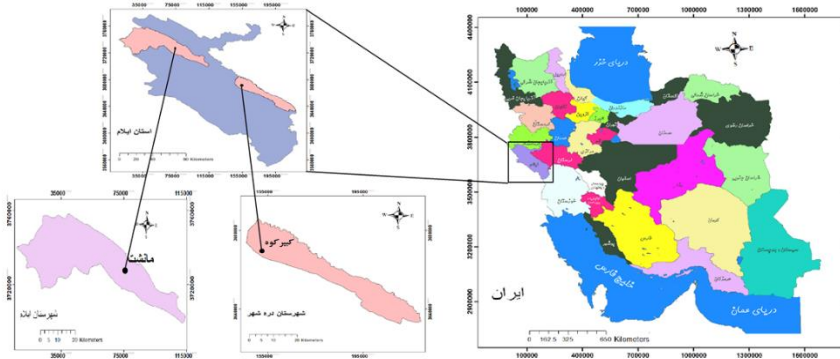
تنش آبی محدودیت ایجاد می‌کند (Allen *et al.*, 2010). با توجه به وابستگی ارتباط بین تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم به شرایط اقلیمی (Omidipour *et al.*, 2021)، مطالعه این روابط در جنگل‌های زاگرس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چنین پژوهش‌هایی می‌توانند به مدیریت پایدار این اکوسیستم‌های ارزشمند و حفظ خدمات آن‌ها در برابر تغییرات اقلیمی کمک کنند. با توجه به نقش حیاتی جنگل‌های زاگرس در حفظ تنوع زیستی، و همچنین تهدیدهای فزاینده ناشی از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بررسی الگوهای تغییرپذیری تنوع زیستی و زی توده در گرادبان‌های محیطی مختلف این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. چنین مطالعاتی می‌توانند به درک بهتر مکانیسم‌های حاکم بر پویایی این اکوسیستم‌ها کمک کنند و مبنای علمی مناسبی را برای تدوین راهبردهای مدیریت پایدار جنگل ارائه دهد. به همین دلیل تحقیق حاضر در صدد است تا با طراحی مطالعه مشابه در دو منطقه اقلیمی متفاوت، ارتباط بین شاخص‌های تنوع زیستی و کارکرد اکوسیستم را مورد بررسی قرار دهد. به عبارتی، تحقیق حاضر در پی پاسخ به سوالات زیر است: (۱) آیا تغییر در نوع اقلیم می‌تواند موجب ایجاد اختلاف معنی‌دار در تنوع زیستی و تولید زی توده روزمینی شود؟ (۲) آیا با تغییر ارتفاع شاخص‌های تنوع زیستی و زی توده روزمینی تغییر می‌کنند؟ (۳) آیا ارتباط بین ارتفاع از سطح دریا و شاخص‌های تنوع زیستی و زی توده روزمینی در مناطق اقلیمی مختلف تفاوت دارد؟

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شامل دو منطقه حفاظت‌شده مانشت-قلارنگ و منطقه کبیرکوه هستند. منطقه حفاظت‌شده مانشت-قلارنگ با وسعتی بالغ بر ۳۳۰۰۰ هکتار، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱) و ارتفاع آن بین ۱۱۰۵ تا ۲۶۵۰ متر متغیر است. اقلیم آن طبق طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌مرطوب سرد، با میانگین بارندگی ۵۵۰ میلی‌متر و دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است (Mirzaei, 2019). گونه غالب در این منطقه بلوط ایرانی (*Q. brantii* var *persica*) است و ۲۳۱ گونه گیاهی متعلق به ۱۵۶ جنس و ۵۲ تیره وجود دارند، که ۳۵ گونه آن به تک لپه‌ای‌ها و ۱۹۶ گونه به دولپه‌ای‌ها تعلق دارند (Darvishnia *et al.*, 2012). منطقه حفاظت‌شده کبیرکوه با مساحت حدود ۱۷۹۰۰۰ هکتار، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از حدود ۸۰۰ متر تا ۲۷۹۰ متر متغیر است. اقلیم آن نیمه‌خشک سرد با میانگین بارندگی ۳۹۹/۵ میلی‌متر و دمای سالیانه ۲۱/۲ درجه سانتی‌گراد است (Miri, 2023). گونه غالب این منطقه نیز بلوط ایرانی (*Q. brantii* var *persica*) است. اسامی گونه‌های چوبی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده‌اند. پوشش گیاهی منطقه شامل ۲۱۸ گونه گیاهی متعلق

به ۱۵۱ جنس و ۶۰ تیره است، که دو گونه آن سرخس، ۱۸۲ گونه نهان‌دانه دولپه‌ای و ۳۴ گونه نهان‌دانه تک‌لپه‌ای هستند.



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان ایلام
Figure 1. The location of the study areas in Ilam Province

جدول ۱- فهرست گونه‌های چوبی شناسایی شده به همراه نام فارسی و علمی، تیره، و فرم رویشی
Table 1. The List of Identified Woody Plant Species with Scientific and Persian Names, Family, and Growth Form

کبیرکوه Kabir-Kouh	مانشت-قارلنگ Manesht-Qalarng	فرم رویشی Growth Form	تیره Family	اسم علمی Scientific Name	اسم فارسی Persian Name	ردیف No
✓	✓	درختی Tree	Fagaceae	<i>Quercus Brantii</i> Lindll. Var. <i>Persica</i> (Jaun. & Spach) Zohary	بلوط ایرانی	1
✓	✓	درختی Tree	Anacardiaceae	<i>Pistacia atlantica</i> Desf	بنه	2
✓	✓	درختی Tree	Aceraceae	<i>Acer monspessulanum</i> L.	کیکم	3
-	✓	درختی Tree	Ulmaceae	<i>Celtis Caucasica</i> Willd.	داغداغان	4
✓	✓	درختچه‌ای Shrub	Caprifoliaceae	<i>Lonicera nummularifolia</i> Jaub. & Spach.	شن	5
✓	✓	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Amygdalus reuteri</i> Boiss.	ارجن	6
✓	✓	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Ceratagus Puntica</i> C. Koch.	زالزالک	7
-	✓	درختچه‌ای Shrub	Thymelaeaceae	<i>Daphne mucronata</i> Royle.	دافنه	8
✓	-	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Amygdalus</i>	بادام بی‌برگ	9
✓	✓	درختچه‌ای Shrub	Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.	گون	10
✓	✓	درختچه‌ای Shrub	Rosaceae	<i>Prunus avium</i>	گیلاس وحشی	11

جمع‌آوری داده‌ها

برای انجام این پژوهش، دو منطقه حفاظت‌شده مانشت-قارلنگ و کبیرکوه به‌عنوان ایستگاه مطالعاتی انتخاب شدند. در هر منطقه در امتداد گرادیان ارتفاعی ۳۰۰ متری، چهار ترانسکت با فاصله ۱۰۰ متر پیاده شدند. قطعات نمونه با ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر به‌صورت تصادفی سیستماتیک روی ترانسکت‌ها پیاده گردیدند (Akbari & Kalbi, 2019). در ترسیم ترانسکت به‌عنوان خط مبنا که در راستای گرادیان ارتفاعی از سطح دریا است، به‌گونه‌ای عمل شد که خط مبنا ضمن پوشش دادن تغییرات ارتفاع از سطح دریا، تغییرات تپ‌های جنگلی منطقه و بخش عمده‌ای از تغییرات فیزیوگرافی منطقه را پوشش دهد. خط مبنا با استفاده از قطب‌نما و دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در سطح منطقه پیاده شد. دامنه ارتفاعی در منطقه مانشت-قارلنگ از ۱۸۲۰ متر تا ۲۰۷۰

متر و در منطقه کبیرکوه از ۱۱۰۰ تا ۱۴۵۰ متر بود. نمونه‌برداری از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد انجام، و برداشت اطلاعات از گونه‌های درختی و درختچه‌ای در قطعات نمونه و اطلاعات مربوط به نوع گونه، ارتفاع کل، قطر بزرگ و کوچک تاج و قطر برابر سینه درختان با قطر برابر سینه بیش از ۵ سانتی‌متر برداشت شد (Valipour et al., 2013). علاوه بر این، اطلاعات رویشگاهی (ارتفاع، شیب، جهت دامنه) بر اساس موقعیت قطعه نمونه در نرم‌افزار GIS محاسبه شد. لازم به ذکر است که با توجه به پیچیدگی و توپوگرافی موجود در منطقه، برای افزایش دقت اطلاعات توپوگرافی، ابتدا موقعیت هر چهار گوشه قطعه نمونه در زمان نمونه‌برداری تهیه و سپس اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی به‌دست‌آمده از نقشه DEM با دقت ۱۲/۵ متر ماهواره آوس پالسا برای هر چهار نقطه میانگین‌گیری شده تا میزان خطای مطالعه کاهش یابد.

شاخص های تنوع گونه ای

پس از جمع آوری داده ها، مقادیر شاخص های تنوع گونه ای، غنا و یکنواختی در سطح قطعات نمونه با استفاده از اطلاعات برداشتی و در قالب نرم افزار PAST محاسبه گردیدند. در این مطالعه، اندازه گیری تنوع گونه ای بر اساس شاخص های تنوع شانون-وینر و سیمپسون، غنای گونه ای بر اساس شاخص های

غنای مارگالف و غنای منهینیک و یکنواختی نیز با استفاده از شاخص یکنواختی پایلو (طبق رابطه های جدول ۲) محاسبه شدند. در روابط ذیل: P_i نسبت کل نمونه هایی که در آن گونه نام وجود دارد، S تعداد گونه ها، H' شاخص تنوع گونه ای شانون-وینر، n تعداد افراد هر یک از گونه ها و N تعداد افراد کل گونه ها هستند.

جدول ۲- شاخص های مورد استفاده برای اندازه گیری تنوع گونه ای و رابطه آن ها

Table 2. The indices used for measuring taxonomic diversity and their relationships

فرمول Formula	منبع Source	شاخص ها Indices
$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$	(Shannon & Weaver, 1949)	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
$1 - D = \left(\sum_{i=1}^s P_i \right)^2$	(Simpson, 1949)	تنوع سیمپسون Simpson diversity
$R_1 = \frac{s-1}{\ln(n)}$	(Margalef, 1973)	غنای مارگالف Margalef richness
$R_2 = \frac{s}{\sqrt{n}}$	(Menhinick, 1964)	غنای منهینیک Menhinick richness
$J = \frac{H'}{\ln s}$	(Pielou, 1966)	یکنواختی پایلو Pielou's evenness

مورد مطالعه از آزمون کلوگروف اسمیرنوف و برای مقایسه شاخص های تنوع، غنا و یکنواختی گونه ای در دو منطقه اقلیمی از آزمون t مستقل، برای بررسی رابطه بین زی توده (متغیر وابسته) و شاخص های تنوع (متغیر مستقل)، از رگرسیون خطی ساده (Simple Linear Regression) استفاده شد. همچنین، به منظور بررسی رابطه بین شاخص های تنوع زیستی و ارتفاع از سطح دریا نیز از رگرسیون خطی ساده استفاده گردید. در نهایت، به منظور بررسی میزان تفکیک پذیری مناطق اقلیمی بر اساس شاخص های تنوع از آزمون تجزیه مؤلفه های اصلی (PCA) استفاده شد. پیش از این آنالیز، ابتدا همه داده ها استاندارد شدند. به علاوه متغیرهای با همبستگی بیش از ۰/۷ پیش از آزمون حذف شدند. آزمون PCA در نرم افزار R و با استفاده از بسته های آماری FactoMineR و factoextra انجام شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین زی توده روزمینی و شاخص های تنوع بین دو اقلیم نیمه مرطوب سرد (مانشت-قلارنگ) و نیمه خشک سرد (کبیرکوه)

نتایج آزمون t نشان دادند که دو منطقه اقلیمی مانشت-قلارنگ و کبیرکوه از نظر زی توده روزمینی اختلاف معنی داری داشتند ($P < 0.05$) (جدول ۳). مقایسه میانگین این ویژگی ها بین دو منطقه اقلیمی نشان داد که زی توده روزمینی در منطقه حفاظت شده مانشت-قلارنگ $278/57 \text{ kg/ha} \pm$ (۲۹۷۳/۱۸) به صورت معنی داری بیش از مقدار زی توده در منطقه کبیرکوه $158/337 \text{ kg/ha} \pm$ (۱۹۴۸/۲۴۸) بود. این نتیجه با یافته های پیشین در مورد تأثیر رطوبت و بارش بر رشد گیاهان و افزایش تراکم پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش زی توده هم راستا است (Qian et al., 2024; Yao et al., 2022; Zhang et al., 2022). این امر به دلیل طولانی تر بودن دوره رشد، تخییر و تعرق کمتر و توان بالاتر گونه های غالب در بهره برداری از منابع آب در این مناطق است (Martins et al., 2012). در مقابل در مناطق خشک تر، گیاهان برای مقابله با

اندازه گیری زی توده روزمینی

در این تحقیق، برای اندازه گیری کارکرد بوم سازگان از اندازه گیری زی توده استفاده شد. زی توده روزمینی یکی از مهم ترین شاخص های کارکرد اکوسیستم است و در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار می گیرد (Chen et al., 2023; Zhang et al., 2025). با توجه به سختی در اندازه گیری زی توده روزمینی و همچنین اهمیت حفاظت از گونه های درختی، برای برآورد زی توده از روابط زیست سنجی استفاده شد. محاسبه زی توده بلوط بر اساس معادلات زیست سنجی موجود برای درختان بلوط ایرانی دانه زاد (رابطه ۱) و شاخه زاد (رابطه ۲)، زی توده بنه بر اساس معادلات زیست سنجی پیشنهادی برای درختان بنه (رابطه ۳) و برای سایر گونه ها از معادله جهانی (رابطه ۴) انجام شد (Sohrabi et al., 2012; Iranmanesh et al., 2014; Chave et al., 2014).

$$Y = 0.188 \times X^{3.228} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Y = 2.534 \times X^{2.383} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Y = 0.635 \times X^{2.786} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Y = 0.635 \times X^{2.786} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$AGB = \text{Exp}(-1.803 - 0.976(EF) + 0.976 \times \ln(\rho) + 2.673 \times \ln(DBH) - 0.0299 \times (\ln(DBH))^2)$$

در معادله های ۱، ۲ و ۳، X : قطر تاج بر حسب متر و Y : زی توده روزمینی بر حسب کیلوگرم هستند. در معادله ۴، AGB : زی توده روزمینی بر حسب تن در هکتار، Exp تابع نمایی که بر عکس لگاریتم طبیعی است، \ln لگاریتم طبیعی، ρ وزن مخصوص چوب بر حسب گرم بر متر مکعب، DBH قطر برابر سینه درختان، و EF استرس محیطی هستند. برای مناطق مورد مطالعه ۲/۰۸۶ محاسبه شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع آوری داده ها، مقادیر شاخص های تنوع گونه ای، غنا و یکنواختی در سطح قطعات نمونه به وسیله نرم افزار PAST محاسبه شدند. جهت بررسی نرمال بودن داده ها در دو منطقه

2012). در حالی که در اقلیم‌های مرطوب‌تر به دلیل گسترگی بیشتر آشیان‌های بوم‌شناختی، گونه‌های گیاهی وارد تقابلاتی از قبیل رقابت می‌شوند و ممکن است در این شرایط برخی از آن‌ها از ترکیب گیاهی منطقه حذف شوند (Omidipour *et al.*, 2021). فرضیات بوم‌شناختی از قبیل فرضیه آشفتگی متوسط^۱ نیز بیان می‌کنند که در مناطق دارای وجود استرس، مقدار تنوع زیستی، نسبت به مناطق فاقد استرس و دارای شرایط محیطی مناسب‌تر، تنوع زیستی بیشتر خواهد بود (Erfanzadeh *et al.*, 2015). در نهایت، نبود تفاوت معنی‌دار در شاخص یکنواختی ممکن است به اثر متعادل‌کننده دما و بارندگی و همچنین حضور گونه‌های غالب با الگوی توزیع مشابه در دو منطقه باشد (da Silva *et al.*, 2014; Yao *et al.*, 2022).

تنش‌های محیطی، زی‌توده بیشتری را به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند که موجب کاهش زی‌توده روزمینی می‌شود (Li *et al.*, 2021; Ursino, 2009). همچنین نتایج نشان دادند که بین دو منطقه تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های تنوع شانون-وینر، تنوع سیمپسون، غنای مارگالف و غنای منهنیک وجود داشت ($P < 0.05$). اما شاخص یکنواختی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳) به طوری که علی‌رغم زی‌توده کمتر، در منطقه نیمه‌خشک تنوع و غنای گونه‌ای بالاتری مشاهده شد، پدیده‌ای که به حضور گونه‌های مقاوم به خشکی، رقابت کمتر و تمایز آشیان‌های بوم‌شناختی در شرایط تنش نسبت داده می‌شود (Grytnes & McCain, 2007). در مناطق نیمه‌خشک، محدودیت منجر به همزیستی گونه‌های بیشتری می‌شود و تنوع را افزایش می‌دهد (Maestre *et al.*, 2007).

جدول ۳- مقایسه میانگین زی‌توده و شاخص‌های تنوع بین دو منطقه حفاظت شده مانشت-قلارنگ و کبیرکوه با استفاده از آزمون t مستقل
Table 3. The comparison of mean biomass and diversity indices between the two protected areas, Manesht-Qalarang and Kabir-Kouh, using an independent t-test.

معنی‌داری Sig	t-value	میانگین ± اشتباه معیار Mean ± Std. Error	مناطق Region	متغیر Variable
0.002**	-3.19	1948.248±158.337 ^b 2973.18±277.57 ^a	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	زی‌توده روزمینی (کیلوگرم در هکتار) Aboveground biomass (Kg/ha)
0.007**	2.78	0.901±0.04 ^a 0.658±0.075 ^b	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
0.005**	2.94	0.462±0.025 ^a 0.327±0.038 ^b	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	تنوع سیمپسون Simpson diversity
0.045*	2.05	1.028±0.042 ^a 0.852±0.074 ^b	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	غنای مارگالف Margalef richness
0.024*	2.13	0.746±0.03 ^a 0.617±0.047 ^b	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	غنای منهنیک Menhinhck richness
0.196 ^{ns}	1.3	0.54±0.022 ^a 0.50±0.023 ^b	کبیرکوه Kabir-Kouh مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	یکنواختی پیلو Pielou's evenness

***, **, * and ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری. حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۵ هستند.
***, **, * and ns: respectively, significant differences at the probability levels of 0.01 and 0.05 and non-significance. Different letters indicate significant differences at $P < 0.05$.

افزایش زی‌توده و پوشش گیاهی با کاهش تنوع و یکنواختی گونه‌ها همراه است، که ممکن است ناشی از رقابت شدیدتر گونه‌های غالب در اکوسیستم‌های نیمه‌مرطوب باشد (Qian *et al.*, 2024; Yao *et al.*, 2022). بر اساس این تحلیل دو منطقه اقلیمی مورد مطالعه در راستای محور اول و دوم PCA تفکیک شدند. تفکیک مناطق بیانگر آن است که منطقه مانشت-قلارنگ (نیمه‌مرطوب سرد) با زی‌توده و تاج‌پوشش بالاتر و ارتفاع بیشتر مشخص می‌شود، در حالی که منطقه کبیرکوه (نیمه‌خشک سرد) دارای تنوع، غنا و یکنواختی بالاتری است، اما زی‌توده و تاج‌پوشش کمتری دارد (شکل ۲). این الگو با نتایج تحقیقات قبلی مطابقت دارد که در اقلیم‌های خشک‌تر،

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

نتایج PCA نشان دادند که محور اول و دوم تحلیل مؤلفه‌های اصلی به ترتیب ۴۵/۷ و ۲۲/۱ درصد واریانس را تبیین کردند. نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای مورد بررسی نشان دادند که محور اول با زی‌توده روزمینی ($R = 0.84$)، تاج‌پوشش ($P < 0.001$)، تاج‌پوشش ($R = 0.73$, $P < 0.001$) و ارتفاع از سطح دریا ($R = 0.48$, $P < 0.001$) همبستگی مثبت و با تنوع شانون ($R = -0.805$, $P < 0.001$)، یکنواختی ($R = -0.55$, $P < 0.001$) و غنای گونه‌ای ($R = -0.57$, $P < 0.001$) همبستگی منفی داشت. همچنین، محور دوم با شاخص‌های تنوع، غنا، یکنواختی و زی‌توده همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۴). این یافته‌ها نشان می‌دهند که

¹ In Intermediate disturbance hypothesis

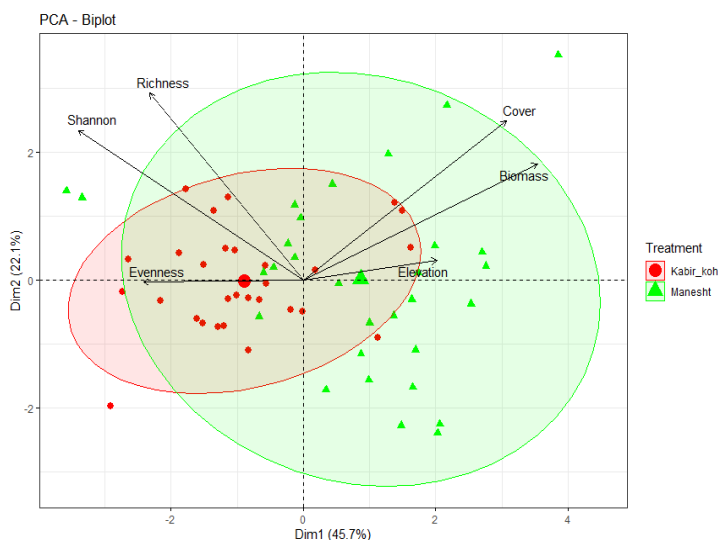
در مقابل، منطقه کبیرکوه میزان زی توده و تاج پوشش گونه‌های چوبی کمتر و تنوع، غنا و یکنواختی بیشتری داشت (شکل ۲). نبود تفکیک‌پذیری قوی بر اساس شاخص‌های ترکیبی تنوع نشان می‌دهد که تفاوت‌های ساختاری گونه‌ها در دو منطقه بیشتر از تغییرات کلی در تنوع است (da Silva *et al.*, 2014).

محدودیت منابع باعث افزایش تنوع گونه‌ای و کاهش زی توده می‌شود (Jie *et al.*, 2010; Yao *et al.*, 2022). به‌علاوه، بر اساس نتایج آزمون PCA، تفکیک مشخصی بین دو منطقه بر اساس شاخص‌های تنوع گونه‌ای وجود ندارد. به‌طوری که منطقه مانشت و قلا رنگ بیانگر زی توده و سطح تاج پوشش بیشتر بود و میانگین ارتفاع از سطح دریای بالاتری را نشان داد.

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین محورهای اول و دوم PCA و ویژگی‌های مورد بررسی

Table 4. Pearson's correlation between the first and second PCA axes and the studied traits

محور دوم Axis 2 of PCA			محور اول Axis 1 of PCA		
P-value	همبستگی Correlation	شاخص Index	P-value	همبستگی Correlation	شاخص Index
0.000	0.69	غنا Richness	0.000	0.837	زی توده روزمینی Aboveground Biomass
0.000	0.59	تاج پوشش Crown canopy	0.000	-0.805	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
0.000	0.55	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity	0.000	0.726	تاج پوشش Crown canopy
0.000	0.43	زی توده روزمینی Aboveground Biomass	0.000	-0.572	یکنواختی پیلو Pielou evenness
			0.000	-0.55	غنا Richness
			0.000	0.48	ارتفاع Elevation

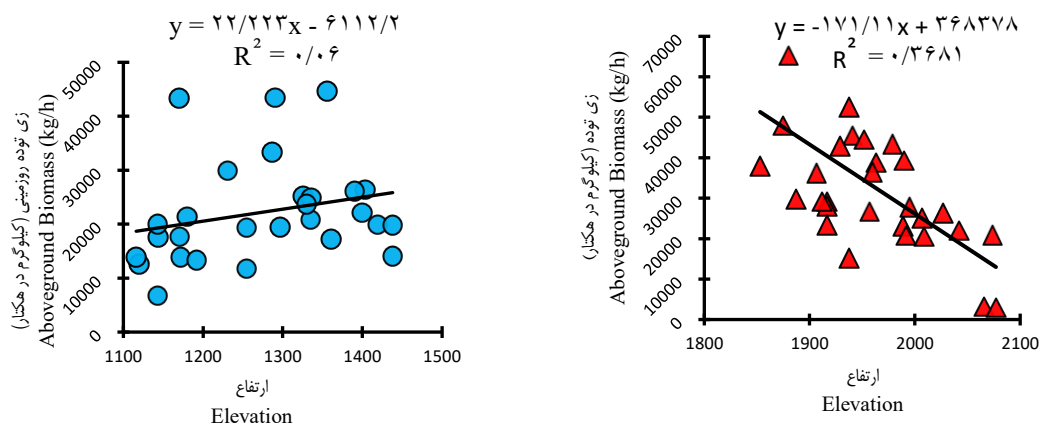


شکل ۲- پراکنش قطعات نمونه در طول محورهای اول و دوم PCA
Figure 2. Distribution of sample plots along the first and second PCA axes

بر دما، بارندگی و ساختار پوشش گیاهی است (Karami *et al.*, 2022; Su *et al.*, 2023). اگرچه ارتفاع به‌طور مستقیم عامل اصلی این تغییرات نیست، اما از طریق تغییر شرایط اقلیمی و ترکیب گونه‌ای، به‌ویژه در جنگل‌های با تاج متراکم، می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر زی توده داشته باشد (Su *et al.*, 2023). در مقابل، در بوم‌سازگان نیمه‌خشک، رابطه معنی‌داری میان ارتفاع و زی توده دیده نشد، زیرا در این مناطق متغیرهای اقلیمی نظیر بارندگی و دما نقش غالب‌تری دارند و عوامل توپوگرافی مانند ارتفاع تأثیر مستقیم ندارند (Kaveh *et al.*, 2022). در این شرایط، تنش آبی محدودکننده اصلی رشد است و ارتفاع فقط از طریق اثر غیر مستقیم بر الگوهای بارش و دما ممکن است تأثیرگذار باشد.

رابطه بین زی توده و ارتفاع از سطح دریا

نتایج نشان داد که الگوی تغییرات زی توده تابع نوع اقلیم بود. بر اساس نتایج، در منطقه مانشت-قلا رنگ یک ارتباط منفی و معنی‌دار ($R^2 = -0.368$, $P < 0.001$) بین ارتفاع از سطح دریا و زی توده وجود داشت درحالی که در منطقه کبیرکوه، ارتباط معنی‌داری بین زی توده و ارتفاع وجود نداشت (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های پردل و همکاران و مطلق و همکاران (Pordel *et al.*, 2024; Motlagh *et al.*, 2018) که گزارش کرده‌اند در جنگل‌های نواحی مرطوب و کوهستانی، افزایش ارتفاع معمولاً منجر به کاهش زی توده می‌شود، هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی، کاهش زی توده در مناطق نیمه‌مرطوب سرد، به‌دلیل کاهش فراوانی گونه‌های غالب مانند بلوط و تأثیر ارتفاع



شکل ۳- ارتباط بین زی‌توده روزمینی و ارتفاع از سطح دریا در مناطق مانشت-قلارنگ (راست) و کبیرکوه (چپ)
Figure 3: The relationship between aboveground biomass and elevation in the Manesht-Qalarang (right) and Kabir-Kouh (left) regions

گونه‌های محلی، ساختار متفاوت پوشش گیاهی، اقلیم، توپوگرافی و درجه‌ی تخریب در دو منطقه دلایل احتمالی برای این تفاوت‌ها هستند (Partel et al., 2007). در شرایط تنش‌زا مانند اقلیم‌های نیمه‌خشک، کاهش منابع و سختی شرایط باعث ورود گونه‌های کم‌بازده می‌شوند که عملکرد اکوسیستم را کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2025; Grime, 1973; Tilman, 1997). بنا بر این، رابطه منفی و معنی‌دار بین تنوع و زی‌توده در کبیرکوه قابل انتظار است. در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب مانند مانشت-قلارنگ، تنها غنای گونه‌ای با زی‌توده رابطه منفی و معنی‌دار داشت و شاخص‌های ترکیبی تنوع (شانون-وینر و یکنواختی) بی‌تأثیر بودند، که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کارکرد اکوسیستم (زی‌توده) از برخی گونه‌های خاص است. به عبارتی، حجم عمده منطقه تابعی از حضور و فراوانی گونه بلوط است و با افزایش غنا و حضور گونه‌های جدید افزایش چشم‌گیری در زی‌توده مشاهده می‌شود (Hooper et al., 2005; Loreau & Hector, 2001; wang et al., 2023).

رابطه بین زی‌توده و شاخص‌های تنوع گونه‌های چوبی
در بررسی نتایج رگرسیون بین زی‌توده و شاخص‌های تنوع در دو منطقه مانشت-قلارنگ و کبیرکوه، تفاوت‌هایی در میزان قدرت تبیین و معنی‌داری روابط مشاهده شدند که در منطقه مانشت-قلارنگ غنای منهینیک ($R^2 = 0.32$) مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر زی‌توده بود. در حالی که در منطقه کبیرکوه، بیشترین مقدار ضریب تعیین (R^2) مربوط به شاخص یکنواختی پیلو ($R^2 = 0.427$) بود که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین توزیع یکنواخت گونه‌ها و زی‌توده بود. به‌طور کلی، در منطقه کبیرکوه شاخص‌های تنوع و یکنواختی رابطه معنی‌داری با زی‌توده داشتند، اما در منطقه مانشت-قلارنگ، شاخص‌های غنا نقش پررنگ‌تری را ایفا کردند. همچنین، در منطقه مانشت-قلارنگ برخی شاخص‌ها مانند شانون-وینر ($R^2 = -0.0505$, $P = 0.25$) و یکنواختی پیلو ($R^2 = -0.0135$, $P = 0.59$) فاقد معنی‌داری آماری بودند، در حالی که همین شاخص‌ها در کبیرکوه روابط معنی‌داری با زی‌توده نشان دادند (جدول ۵).

جدول ۵- رگرسیون بین زی‌توده و شاخص‌های تنوع زیستی در دو منطقه حفاظت‌شده مانشت-قلارنگ و کبیرکوه

Table 5. Regression analysis between biomass and biodiversity indices in the two protected areas, Manesht-Qalarang and Kabir-Kouh

P-value	F	R ²	معادله رگرسیون Regression Equation	مناطق Region	متغیر Variable
0.000***	15.48	0.28	Y = -1228.1x + 3190.5	کبیرکوه (Kabir-Kouh)	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
0.25 ^{ns}	1.35	0.05	Y = -9255x + 39131	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.000***	15.52	0.31	Y = -38853x + 39622	کبیرکوه (Kabir-Kouh)	تنوع سیمپسون Simpson diversity
0.35 ^{ns}	0.9	0.03	Y = -15250x + 38032	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.009**	7.92	0.1	Y = -13846x + 35990	کبیرکوه Kabir-Kouh	غنای مارگالف Margalef richness
0.03*	5.01	0.15	Y = -16369x + 46993	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
1.59***	27.48	0.37	Y = -36698x + 49035	کبیرکوه Kabir-Kouh	غنای منهینیک Menhinhck richness
0.001**	12.84	0.32	Y = -37220x + 56025	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.000***	20.42	0.42	Y = -43712x + 47244	کبیرکوه Kabir-Kouh	یکنواختی پیلو Pielou's evenness
0.59 ^{ns}	0.29	0.01	Y = -8988.1x + 37018	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	

***, ** و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری.
***, ** and ns: respectively, significant differences at the probability levels of 0.01 and 0.05 and non-significance.

هیچ کدام از شاخص‌های تنوع زیستی با ارتفاع دارای رابطه‌ای معنی دار نبودند (جدول ۶). با افزایش ارتفاع از سطح دریا در منطقه نیمه مرطوب سرد، شاخص‌های تنوع زیستی افزایش یافتند که به دلیل بهبود شرایط دما و رطوبت و کاهش محدودیت بلوط در ارتفاعات بالاتر است (McCain & Grytnes, 2010). در منطقه نیمه خشک، ارتفاع تأثیر معنی داری بر شاخص‌های تنوع نداشت، چون عوامل اقلیمی مانند بارندگی نقش مهم‌تری دارند و نبود رطوبت کافی مانع افزایش تنوع با ارتفاع از سطح دریا می‌شود (Körner, 2007; Lomolino, 2001).

رابطه بین شاخص‌های تنوع و ارتفاع از سطح دریا
در بررسی نتایج رگرسیون بین ارتفاع از سطح دریا و شاخص‌های تنوع مشخص شد که در منطقه مانشت-قلارنگ شاخص‌های تنوع شانون-وینر ($R^2 = 0.266, P = 0.011$) و سیمپسون ($R^2 = 0.215, P = 0.028$) و شاخص‌های غنای مارگالف ($R^2 = 0.475, P < 0.001$) و منهینیک ($R^2 = 0.558, P < 0.001$) دارای رابطه معنی دار و مثبت بودند، اما شاخص یکنواختی رابطه آماری معنی دار با ارتفاع نشان نداد ($R^2 = 0.368, P = 0.09$). این نتیجه با نتایج مطالعه (Mirzaei & Karami, 2015) که بیان می‌کنند با افزایش ارتفاع تنوع کاهش می‌یابد، مغایرت دارد. در منطقه کبیرکوه،

جدول ۶- رگرسیون بین شاخص‌های تنوع زیستی و ارتفاع از سطح دریا در دو منطقه حفاظت شده مانشت-قلارنگ و کبیرکوه
Table 6. Regression analysis between biodiversity indices and elevation in the two protected areas, Manesht-Qalarang and Kabir-Kouh

P-value	F	R ²	معادله رگرسیون Regression Equation	مناطق Region	متغیر Variable
0.53 ^{ns}	0.39	0.014	Y = 0.0003x + 0.5593	کبیرکوه Kabir-Kouh	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
0.011*	7.39	0.26	Y = 0.0035x - 6.2688	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.51 ^{ns}	0.43	0.015	Y = 0.0002x + 0.2498	کبیرکوه Kabir-Kouh	تنوع سیمپسون Simpson diversity
0.028*	5.33	0.215	Y = 0.0016x - 2.8258	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.76 ^{ns}	0.09	0.003	Y = 0.0001x + 0.8894	کبیرکوه Kabir-Kouh	غنای مارگالف Margalef richness
0.000***	21.02	0.475	Y = 0.0047x + 8.3636	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.5 ^{ns}	0.46	0.016	Y = - 0.0002x + 1.0018	کبیرکوه Kabir-Kouh	غنای منهینیک Menhinck richness
0.000***	31.68	0.55	Y = - 0.0032x - 5.6587	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	
0.63 ^{ns}	0.23	0.000	Y = - 2E - 05x + 0.6085	کبیرکوه Kabir-Kouh	یکنواختی پیلو Pielou's evenness
0.09 ^{ns}	2.95	0.157	Y = 0.0014x - 2.391	مانشت - قلارنگ Manesht-Qalarang	

***, * و ns: به ترتیب اختلاف معنی دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی داری

**, * and ns: respectively, significant differences at the probability levels of 0.01 and 0.05 and non-significance

نداشت و عوامل محدود کننده اصلی رشد، مانند میزان بارش و تنش آبی، نقش غالب را ایفا می‌کنند. رابطه منفی شاخص‌های تنوع با زی توده در منطقه نیمه خشک نشان دهنده تضاد تنوع و بهره‌وری در شرایط تنش است، در حالی که در نیمه مرطوب فقط غنای گونه‌ای با زی توده رابطه منفی داشت که به رقابت گونه‌ها مربوط می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، شرایط محیطی بهتر (برای مثال منطقه مانشت-قلارنگ) الزاماً باعث افزایش تنوع زیستی نخواهند شد و این قبیل مناطق نیازمند استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب‌تر از قبیل کاشت گونه‌های بومی جهت افزایش تنوع زیستی هستند. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع تنوع افزایش خواهد یافت. به همین دلیل، مناطق دارای ارتفاع کمتر دارای اولویت حفاظت و اصلاح و احیاء بیشتری هستند.

نتیجه‌گیری کلی

جنگل‌های زاگرس به عنوان اکوسیستم‌های مهم ایران، نقش کلیدی در خدمات اکوسیستمی و حفظ تنوع زیستی دارند. این مطالعه رابطه بین زی توده روزمینی و شاخص‌های تنوع زیستی را در دو منطقه با اقلیم نیمه مرطوب سرد (مانشت و قلارنگ) و نیمه خشک سرد (کبیرکوه) بررسی کرد. نتایج نشان دادند که منطقه نیمه مرطوب دارای زی توده بالاتر اما تنوع گونه‌ای پایین‌تر بود که به شرایط محیطی مساعد و رقابت بیشتر گونه‌ها نسبت داده می‌شود. در مقابل، منطقه نیمه خشک با تنوع و غنای گونه‌ای بالاتر، زی توده کمتری داشت که احتمالاً ناشی از سازگاری گونه‌ها به خشکی و رقابت کمتر است. همچنین، در منطقه نیمه مرطوب افزایش ارتفاع با کاهش زی توده همراه بود، در حالی که در منطقه نیمه خشک ارتفاع تأثیر معنی داری

References

- Akbari, H., & Kalbi, S. (2019). Modeling the diversity of tree species in circular forest forests using GeoEye images (Case study: Sari Gardeshi Series). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 26(2), 51-62. [In Persian]
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., & Hogg, E. T. (2010). A global overview of drought and heat-induced

- tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684.
- Anderegg, W. R., Trugman, A. T., Badgley, G., Anderson, C. M., Bartuska, A., Ciais, P., Cullenward, D., Field, C. B., Freeman, J., & Goetz, S. J. (2020). Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, 368(6497), eaaz7005.
- Bazyar, M., Haidari, M., Shabaniyan, N., & Haidari, R. H. (2013). Impact of physiographical factors on the plant species diversity in the Northern Zagros Forest (Case study, Kurdistan Province, Marivan region). *Annals of Biological Research*, 4(1), 317-324.
- Bijani-Nejad, A., Fallah, A., Jalilvand, H., & Asadi, H. (2024). Evaluation of Understory Plant Species Biodiversity in Buaxus hyrcana Habitats within Hyrcanian Forests. *Ecology of Iranian Forest*, 12(2), 41-58. [In Persian]
- Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., Lyver, P. O. B., Meurisse, N., Oxbrough, A., & Taki, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035.
- Chapin III, F. S., Matson, P. A., & Mooney, H. A. (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., & Goodman, R. C. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190.
- Chen, X., Luo, M., & Larjavaara, M. (2023). Effects of climate and plant functional types on forest above-ground biomass accumulation. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 5.
- da Silva, F. K. G., de Faria Lopes, S., Lopez, L. C. S., de Melo, J. I. M., & Trovão, D. M. (2014). Patterns of species richness and conservation in the Caatinga along elevational gradients in a semiarid ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 110, 47–52.
- Darvishnia, H., Dehghani Kazemi, M., Forghani, A. H., & Kavyani Fard, A. A. (2012). Study and introducing of flora of the protected area of Manesht and Qalarang in Ilam province. *Taxonomic and Biosystematic*, 4(11), 14. <https://doi.org/20.1001.1.20088906.1391.4.11.6.747-60> [In Persian]
- Erfanzadeh, R., Omidipour, R., & Faramarzi, M. (2015). Variation of plant diversity components in different scales in relation to grazing and climatic conditions. *Plant Ecology & Diversity*, 8(4), 537–545.
- Ghanbari, S., & Esmaili, A. (2023). The Effect of Slope and Height above Sea Level on Tree Species Diversity in Arsbaran Forests. *Ecology of Iranian Forest*, 11(21), 111–119. <https://doi.org/10.61186/ifej.11.21.111> [In Persian]
- Grime, J. P. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242(5396), 344–347.
- Grytnes, J. A., & McCain, C. M. (2007). Elevational trends in biodiversity. *Encyclopedia of Biodiversity*, 2, 1–8.
- Heydari, M., Cheraghi, J., Omidipour, R., Rostaminia, M., Kooch, Y., Valkó, O., & Carcaillet, C. (2023). Tree dieback, woody plant diversity, and ecosystem driven by topography in semi-arid mountain forests: Implication for ecosystem management. *Journal of Environmental Management*, 339, 117892.
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., & Naeem, S. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35.
- Hosseini, A. (2024). Environmental Challenges Facing Zagros Forest. *Strategic Research Journal in Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(1), 35–50.
- Iranmanesh, Y., Saghibtalebi, K., Sohrabi, H., Jalali, S. G., & Hosseini, S. M. (2014). Biomass and carbon Stocks of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari Forests. *Iranin Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4), 14. [In Persian]
- Jie, C., Tian-Ming, H., Ji-Min, C., & Gao-Lin, W. (2010). Distribution of biomass and diversity of *Stipa bungeana* community to climatic factors in the Loess Plateau of northwestern China. *African Journal of Biotechnology*, 9(40), 6733-6739.
- Karami, M., Heydari, M., Sheykholeslami, A., Eshagh Nimvari, M., Omidipour, R., Yuan, Z., & Prevosto, B. (2022). Dieback intensity but not functional and taxonomic diversity indices predict forest productivity in different management conditions: Evidence from a semi-arid oak forest ecosystem. *Journal of Arid Land*, 14(2), 225–244.
- Kaveh, N., Ebrahimi, A., & Asadi, E. (2022). Environmental drivers of above-ground biomass in semi-arid rangelands. *The Rangeland Journal*, 44(3), 165–175.
- Körner, C. (2007) The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(11), 569–574.

- Li, X., Zuo, X., Yue, P., Zhao, X., Hu, Y., Guo, X., Guo, A., Xu, C., & Yu, Q. (2021). Drought of early time in growing season decreases community aboveground biomass, but increases belowground biomass in a desert steppe. *BMC Ecology and Evolution*, 21(1), 106.
- Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 3–13.
- Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412(6842), 72–76.
- Maestre, F. T., Quero, J. L., Gotelli, N. J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., García-Gómez, M., Bowker, M. A., Soliveres, S., & Escolar, C. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065), 214–218.
- Mäkelä, A., Minunno, F., Kujala, H., Kosenius, A.-K., Heikkinen, R. K., Junntila, V., Peltoniemi, M., & Forsius, M. (2023). Effect of forest management choices on carbon sequestration and biodiversity at national scale. *Ambio*, 52(11), 1737–1756.
- Mannan, A., Zhongke, F., Khan, T. U., Khan, M. A., & Badshah, M. T. (2019). Variation in tree biomass and carbon stocks with respect to altitudinal gradient in the Himalayan forests of Northern Pakistan. *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 4.
- Margalef, R. (1973). *Information theory in ecology*. Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. 1-36.
- Martins, F. d. S. R. V., Xaud, H. A. M., dos Santos, J. R., & Galvão, L. S. (2012). Effects of fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, 28(6), 591–601.
- McCain, C. M., & Grytnes, J. A. (2010). Elevational gradients in species richness. *Encyclopedia of Life Sciences*, 15, 1–10.
- Menhinick, E. F. (1964). A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology*, 45(4), 859–861.
- Miri, A. (2023). *Lichens Flostic Study of Darehshahr* [Masters thesis, Faculty of Basic Sciences Ilam University. [In Persian]
- Mirhashemi, H., Pourbabaei, H., & Mezbani, H. (2020). The effect of altitude on diversity and Species Importance Value (SIV) of herbaceous species in forests of Kabirkouh, Ilam. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 1025-1036. [In Persian]
- Mirzaei, J. (2019). Detailed Managemet plan of the manesht Ang Qalarang Protected Area 2, [In Persian]
- Mirzaei, J., & Karami, A. (2015). Plant diversity and richness in relation to environmental gradient in Zagros ecosystems, west of Iran. *Journal of Rangeland Science*, 5(4), 294-302.
- Motlagh, M. G., Kafaky, S. B., Mataji, A., & Akhavan, R. (2018). Estimating and mapping forest biomass using regression models and Spot-6 images (Case study: Hyrcanian forests of north of Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6), 352.
- Omidipour, R., Tahmasebi, P., Faizabadi, M. F., Faramarzi, M., & Ebrahimi, A. (2021). Does β diversity predict ecosystem productivity better than species diversity? *Ecological Indicators*, 122, 107212.
- Pärtel, M., Laanisto, L., & Zobel, M. (2007). Contrasting plant productivity–diversity relationships across latitude: the role of evolutionary history. *Ecology*, 88(5), 1091-1097.
- Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.
- Pordel, N., Hosseinzadeh, J., Heydari, M., & Omidipour, R. (2025). The biodiversity-ecosystem function puzzle: Untangling the roles of topography, canopy cover, and structural diversity in Zagros woodlands. *Science of The Total Environment*, 1001, 180497.
- Qian, J., Ye, M., Zhang, X., Li, M., Chen, W., Zeng, G., Che, J., & Lv, Y. (2024). Characteristics of grassland species diversity and soil physicochemical properties with elevation gradient in Burzin forest area. *Agriculture*, 14(7), 1176.
- Rezaei Angdehi, S. M., Fallah, A., Oladi, J., Latifi, H. (2020). Determination the Effect of Altitude Gradient on Quantitative Characteristics of Forest Stands (Case Study: District-3 of Sangdeh Forests). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 27(1), 1-16. [In Persian]
- Sabatini, F. M., de Andrade, R. B., Paillet, Y., Odor, P., Bouget, C., Campagnaro, T., Gosselin, F., Janssen, P., Mattioli, W., & Nascimbene, J. (2019). Trade-offs between carbon stocks and biodiversity in European temperate forests. *Global Change Biology*, 25(2), 536–548.
- Sagheb Talebi, K., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). A mathematical model of communication. *Urbana, IL: University of Illinois Press*, 11, 11–20.
- Simpson, E. H. (1949). Mesurment of Diversity. *Nature*, 163(4148), 688.
- Sohrabi, H., & Shirvani, A. (2012). Allometric equations for estimating standing biomass of Atlantic Pistache (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) in Khojir National Park. *Iranin Jornal of Forest*, 4(1), 10 [In Persian]

- Su, L., Heydari, M., Omidipour, R., Soheili, F., Cheraghi, J., Villa, P. M., & Prévosto, B. (2023). Stand structural diversity and elevation rather than functional diversity drive aboveground biomass in historically disturbed semiarid oak forests. *Forest Ecology and Management*, 543, 121139.
- Tilman, D. (1997). Community invasibility, recruitment, limitation and grassland biodiversity. *Ecology*, 78(1), 8192.
- Ursino, N. (2009). Above and below ground biomass patterns in arid lands. *Ecological Modelling*, 220(11), 1411–1418.
- Valipour, A., Namiranian, M., Ghazanfari, H., Heshmatol Vaezin, S. M., Lexer, M. J., & Plienger, T. (2013). Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(1), 30-47. [In Persian]
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395.
- Wang, Y., Song, Z., Zhang, X., & Wang, H. (2023). Effects of Tree Diversity, Functional Composition, and large trees on the Aboveground Biomass of an old-growth Subtropical Forest in Southern China. *Forests*, 14(5), 994.
- Yao, Z., Xin, Y., Yang, L., Zhao, L., & Ali, A. (2022). Precipitation and temperature regulate species diversity, plant coverage and aboveground biomass through opposing mechanisms in large-scale grasslands. *Frontiers in Plant Science*, 13, 999636.
- Zhang, Y., Wang, L., Jiang, J., Zhang, J., Zhang, Z., & Zhang, M. (2022). Application of soil quality index to determine the effects of different vegetation types on soil quality in the Yellow River Delta wetland. *Ecological Indicators*, 141, 109116.
- Zhang, L., Lei, S., Qian, R., Ochoa-Hueso, R., Wang, X., Wang, J., ... & Zhang, C. (2025). Plant and microbial β diversities are better predictors of ecosystem functioning than their α diversities, but aridity weakens these associations. *Plant and Soil*, 512(1), 441-460.