

Changes in the geometrical morphology of *Fagus orientalis* leaves in the altitudinal gradients

Akram Haghghat Doust^{*1}, Davood Azadfar², Bahman Shahriyari³

1. Corresponding Author, Ph.D. Student in Biology Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: haghghatdoust.a@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: azadfar.d@gmail.com
3. M.Sc. Graduate in Biology Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: bahman.shahriyar@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 11.08.2022

Revised: 01.28.2023

Accepted: 02.20.2023

Keywords:

Effective traits,

Morphological analysis,

Population segregation

ABSTRACT

Background and objectives: One of the oldest methods of classifying and identifying different plant species is the use of morphological traits. Among the morphological characteristics, leaves are very important due to photosynthesis and carbon capture. Morphometric analysis is usually performed by two traditional and geometric methods. Studies of the morphological changes of plants in Iran are often based on the traditional method and the geometric morphometry method has been used for animal species. This study aims to investigate the changes in the geometrical morphology of *Fagus orientalis* leaves at different altitudes and to compare its results with the traditional morphological changes.

Materials and methods: In this study, the natural population of *Fagus orientalis* was sampled in four altitudinal stations. In the traditional morphological method, 40 trees were selected, while in the geometric morphology method, 10 trees were selected at each gradient, and 1 leaf was selected from each direction. In the traditional method, morphological traits include lamina length, lamina width, lamina area, lamina perimeter, shape factor, and length-to-width ratio measured with a leaf area meter device. In the geometrical method, the collected leaf samples were dried and then digitally stored with a scanner in the form of an image, hence, eight morphological traits were used to investigate the morphological changes of eastern beech leaves at different altitudes. Data analysis was done with a multiway analysis of variance and Duncan's test.

Results: The results showed that altitude is one of the important factors in the formation of leaf morphology in eastern beech. Trees that grow at high altitudes generally have smaller leaves which show higher adaptability to environmental conditions at each height level. The characteristics of the beginning of the petiole, the end of the petiole, the last vein on the left side, the widest leaf width from the left side, the widest leaf width from the right side in geometric morphology and the characteristics of the perimeter and area in traditional morphology were introduced as the most effective traits in the separation of populations.

Conclusion: In this study, it was found that populations of different altitudes were separated in both traditional and geometric morphological methods, and it was shown that the two traditional and geometric methods

did not work in the same way between samples. The grouping of most populations in geometrical morphology analysis shows the efficiency and accuracy of this method in the separation of populations. Using the new method, the geometric information of morphological differences can be displayed in different images and graphs, which can highlight the differences in populations and increase the interpretability of results. Determining the most effective traits in the separation of populations indicates the ability of the geometric method to define different and more detailed traits.

Cite this article: Haghight Doust, Akram, Azadfar, Davood, Shahriyari, Bahman. 2023. Changes in the geometrical morphology of *Fagus orientalis* leaves in the altitudinal gradients. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (1), 45-65.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20740.1990

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در گرادیان ارتفاع از سطح دریا

اکرم حقیقت‌دوست^{۱*}، داوود آزادفر^۲، بهمن شهریار^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: haghighatdoust.a@gmail.com
۲. دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: azadford@gmail.com
۳. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم زیستی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: bahman.shahryar@gmail.com

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|---|
| نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی | سابقه و هدف: یکی از قدیمی‌ترین روش‌های طبقه‌بندی و شناسایی گونه‌های مختلف گیاهی، استفاده از صفات ریخت‌شناسی است. از میان مشخصه‌های ریخت‌شناسی، برگ‌ها به دلیل فتوسنتز و کربن‌گیری دارای اهمیت بسیاری هستند. تحلیل‌های ریخت‌شناسی معمولاً به دو روش سنتی و هندسی انجام می‌گیرد. تاکنون مطالعات بررسی تغییرات ریخت‌شناسی گیاهان در ایران به روش سنتی بوده است و استفاده از ریخت‌شناسی هندسی برای گونه‌های جانوری استفاده شده است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در ارتفاعات مختلف و مقایسه نتایج آن با تغییرات ریخت‌شناسی سنتی می‌باشد. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷ | |
| تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱ | |
| واژه‌های کلیدی: تحلیل ریخت‌شناسی، تفکیک جمعیت، صفات مؤثر | مواد و روش: در این پژوهش از جمعیت طبیعی راش شرقی در چهار ایستگاه ارتفاعی نمونه‌برداری شد. در مطالعه ریخت‌شناسی سنتی ۴۰ درخت و در ریخت‌شناسی هندسی ۱۰ درخت در هر ارتفاع انتخاب و از هر جهت تاج درخت ۱ برگ انتخاب گردید. در مطالعه سنتی صفات ریخت‌شناسی شامل طول پهنک، عرض پهنک، مساحت پهنک، محیط پهنک، ضریب شکل برگ و نسبت طول به عرض با دستگاه اندازه‌گیری Leaf Area Meter اندازه‌گیری گردید. در مطالعه هندسی نیز، نمونه برگ‌های جمع‌آوری شده خشک و سپس به‌صورت دیجیتالی با اسکنر به شکل تصویر ذخیره شد؛ و از ۸ صفت مورفولوژیکی برگ که به‌صورت لندمارک بر روی تصاویر اسکن شده قرار گرفتند برای ارزیابی تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در ارتفاعات مختلف استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس چندطرفه و آزمون دانکن انجام شد. |
| | یافته‌ها: نتایج نشان داد که ارتفاع یکی از عوامل مهم شکل‌گیری ریخت‌شناسی برگ در راش شرقی است. درختانی که در ارتفاعات رشد می‌کنند، عموماً دارای برگ‌های کوچک‌تر هستند که |

نشان‌دهنده سازش راش شرقی با شرایط محیطی در هر طبقه ارتفاعی می‌باشد. صفات ابتدای دمبرگ، انتهای دمبرگ، آخرین رگبرگ سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت راست در ریخت‌شناسی هندسی و صفات محیط و مساحت در ریخت‌شناسی سنتی مؤثرترین صفات در تفکیک جمعیت‌ها معرفی شدند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه مشخص شد جمعیت‌های ارتفاعات مختلف در هر دو روش ریخت‌شناسی هندسی و سنتی از هم تفکیک شدند و نشان داده شد که دو روش سنتی و هندسی تقریباً به‌طور کامل بین نمونه‌ها یکسان عمل نمی‌کند. گروه‌بندی بیش‌تر جمعیت‌ها در ریخت‌شناسی هندسی نشان‌دهنده کارایی و دقت بیش‌تر این روش در تفکیک جمعیت‌ها است. با استفاده از این روش مدرن، اطلاعات هندسی در مورد تفاوت‌های ریختی را می‌توان در تصاویر و نمودارهای مختلف نمایش داد، در نتیجه تفاوت‌ها در جمعیت‌ها برجسته شده و قابلیت تفسیر نتایج افزایش می‌یابد. تعیین مؤثرترین صفات در تفکیک جمعیت‌ها نیز نشان‌دهنده قابلیت روش هندسی در تعریف صفات متفاوت‌تر و با جزئیات بیش‌تر است.

استناد: حقیقت‌دوست، اکرم، آزادفر، داوود، شهریاری، بهمن (۱۴۰۲). تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در گرادیان ارتفاع از سطح دریا. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۰ (۱)، ۴۵-۶۵.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20740.1990



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مطالعه جمعیت‌های گیاهی نشان می‌دهد که گیاهان در شرایط اکولوژیکی مختلف در صفات ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی و مولکولی (DNA) خود تنوع ایجاد می‌کنند (۱، ۲). یکی از قدیمی‌ترین روش‌های طبقه‌بندی و شناسایی گونه‌های مختلف گیاهی، استفاده از صفات ریخت‌شناسی است (۳). صفات ریخت‌شناسی در ظاهر افراد قابل‌تشخیص هستند و عمدتاً توسط یک ژن کنترل می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان نشانگرهای ژنتیکی مورد استفاده قرار بگیرند (۴). از میان مشخصه‌های ریخت‌شناسی، برگ‌ها به دلیل رشد، فتوسنتز و کربن‌گیری از اهمیت بسیاری برخوردار هستند (۵). ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ‌ها عملکرد آن‌ها و تفاوت‌های مورفولوژیکی بین گونه‌ها را نشان می‌دهند (۶) و به همین دلیل مطالعات طبقه‌بندی سیستماتیک گیاهی به ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ بستگی دارد (۷). خصوصیات ریختی برگ اکثر گیاهان به ارتفاع، نور، بارش، اشعه UV، باد، فشار هوا و غیره پاسخ داده و مناسب با آن‌ها سازگار می‌شوند (۸). تغییرات ارتفاعی خود شامل تغییر در بسیاری از عوامل مانند دمای هوا، رطوبت، گرما و تابش نور خورشید، عمق خاک و سرعت باد می‌باشد (۹، ۱۰) که باعث بروز تنش‌های محیطی از جمله تابش شدید نور خورشید، وزش باد زیاد و کمبود مواد مغذی خاک می‌شود (۱۱، ۱۲) و نتیجه آن تغییر در اندازه برگ (کاهش طول، قطر ساقه، سطح برگ و سطح ویژه برگ و افزایش ضخامت برگ، همراه با افزایش ارتفاع) می‌باشد (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷). هم‌چنین در صفات ریخت‌شناسی برگ‌ها با توجه به موقعیت برگ در تاج‌پوشش (شمال، جنوب، شرق و غرب) تنوع و تغییر ایجاد می‌شود (۱۸) به‌دلیل این‌که در جهت‌های متفاوت، تغییراتی که در شدت نور و دما به وجود می‌آید می‌تواند بر ریخت‌شناسی و

فیزیولوژی برگ درختان اثرگذار باشد (۱۹) در پژوهش‌ها مشخص شده برگ‌هایی که مستقیماً در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند معمولاً از نظر اندازه کوچک‌تر از برگ‌های داخل تاج پوشش می‌شوند. این تنوع ریختی به‌عنوان پاسخ پلاستیکی برگ‌ها و سازگاری آن‌ها به شرایط محیطی مختلف در داخل تاج پوشش رخ می‌دهد و اهمیت نقش آن‌ها را در بقای گونه‌های درختی در شرایط محیطی جهانی نمی‌توان انکار کرد (۲۰). تغییر در شرایط فیزیکی محیط (مانند ارتفاع)، می‌تواند فشارهای انتخاب طبیعی متنوعی را روی گیاهان در فاصله چند صد متری از هم ایجاد کند و باعث ایجاد تفاوت‌های فنولوژیکی و تمایز ژنتیکی در میان جمعیت‌های محلی گیاهان شود (۲۱)؛ بنابراین درک تغییرات ایجاد شده در صفات برگ ضروری بوده (۲۲) و کمک فراوانی به پیش‌بینی پاسخ گیاهان به تغییرات آب و هوایی می‌کند (۲۳) به همین جهت مورد توجه فیزیولوژیست‌های گیاهی، بوم‌شناسان و دیرینه گیاه‌شناسان قرار می‌گیرد.

ستاریان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که تفکیک دو جمعیت بلوط بلندمازو (*Q. castaneifolia*) و بلوط اوری (*Q. macronthera*) از طریق صفات مورفولوژیک برگ است؛ و صفات طول برگ، حداکثر پهنای برگ، عمق سینوس زیرلوب حداکثر و فاصله قاعده برگ تا حداکثر عرض از مهم‌ترین صفات تشخیصی بین این دو جمعیت است؛ و هم‌چنین گزارش دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا برگ‌های بلندمازو کوچک‌تر می‌شود (۲۴). محبی بیجارپس و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود بیان کردند که برخی صفات برگ راش شرقی (*Fagus orientalis*) مانند طول برگ، شاخص سطح برگ، وزن ویژه برگ با افزایش ارتفاع کاهش و صفات دیگر از جمله طول دم‌برگ، شاخص دم‌برگ،

داشتند (۱۵). آدامیدیس و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خود تحت عنوان تغییرات صفات مورفولوژیکی برگ راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) در امتداد یک گرادیان ارتفاعی بیان کردند که با افزایش ارتفاع، شکل برگ درختان، پهنای و طول کم‌تری به خود می‌گیرند (۱۸).

تحلیل‌های ریخت‌سنجی معمولاً به دو روش سنتی^۱ و هندسی^۲ انجام می‌گیرد، در روش سنتی محدودیت‌هایی مثل دقت پایین وقت‌گیر بودن و ارائه جداول عددی برای تفسیر، ایجاد مشکل می‌کند، اما در ریخت‌شناسی هندسی این محدودیت‌ها برطرف شده است. در ریخت‌شناسی هندسی تعدادی نقاط بر روی نمونه موردنظر تعیین می‌شود و اختلاف‌ها و تغییرات شکلی موجود بین نمونه‌ها بررسی می‌گردد. مزیت این روش حفظ موقعیت هندسی نقاط تعیین‌شده و ارائه نتایج به صورت تصاویر گرافیکی می‌باشد، تاکنون مطالعات انجام‌شده برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی گیاهان در ایران به روش سنتی بوده است و استفاده از ریخت‌سنجی هندسی برای گونه‌های جانوری استفاده شده است (۳۲)، در حالیکه در مطالعات خارج از ایران افزایش استفاده از این روش نشانه موفقیت‌آمیز بودن آن بوده است. گیاه‌شناسان این روش را به‌خوبی به رسمیت شناخته و در کارهای تاکسونومی از آن استفاده کرده‌اند به‌طوری‌که با استفاده از تنوع شکلی برگ با روش لندمارک توانسته‌اند بعضی از گونه‌ها و هیبریدهایشان را تفکیک کنند.

ویسکوزی و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه‌ای با هدف مطالعه مورفولوژی برگ بر اساس ریخت‌سنجی هندسی و بررسی روابط ریخت‌سنجی بین چهار گونه بلوط اروپایی (*Quercus Robur*)، بیان کردند که

سطح برگ، سطح ویژه برگ، محتوای آب نسبی با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد (۲۵). محمدی‌ازنی و مرادی (۲۰۱۸) گزارش دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا صفات مورفولوژیکی در توده‌های پامچال شرقی (*Dionysia revolute*) کاهش می‌یابد (۲۶). نتایج مطالعات انجام‌شده توسط اکبریان و همکاران (۲۰۱۱) پیرامون تغییرات ارتفاع بر روی مورفولوژی برگ توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata*)، کاهش قابل‌توجهی در پهنای برگ با افزایش ارتفاع را نشان داد (۲۷). چاپلاق پریداری و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی خود در ارتفاعات جنگل هیرکانی بیان کردند که با افزایش ارتفاع پهنای برگ در توده‌های ممرز (*Carpinus betulus*) کاهش می‌یابد (۲۸).

رویر و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه دو گونه افرای قرمز (*Acer rubrum*) و بلوط سیاه کالیفرنیا (*Quercus kelloggii*) مشاهده کردند که با افزایش ارتفاع، برگ بلوط‌ها کوچک‌تر می‌شود (۲۹). زوو و همکاران (۲۰۲۰) تأثیرات تغییرات ارتفاعی بر صفات مورفولوژیکی لاله واژگون (*Fritillaria unibracteata*) را مورد بررسی قرار دادند و گزارش دادند که ارتفاع گیاه و سطح تک‌برگ با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد (۳۰). باتسیوس و همکاران (۲۰۲۱) الگوی تنوع در صفات مورفولوژیکی برگ راش شرقی (*Fagus orientalis*) و اروپایی (*Fagus sylvatica*) را بررسی کردند و بیان کردند که برگ‌هایی که در سایه و به دور از نور خورشید هستند بزرگ‌تر و گردتر از برگ‌های تحت تابش نور خورشید بودند (۳۱). پاندی و همکاران (۲۰۲۱) تغییر در ویژگی‌های ریخت‌شناسی خرزه هندی (*Rhododendron lepidotum*) در امتداد شیب‌های ارتفاعی در نپال هیمالیا را مورد بررسی قرار دادند، تمام خصوصیات ریخت‌شناسی اندازه‌گیری‌شده بالاترین مقدار خود را در کم‌ترین ارتفاع و بالعکس

1- Traditional

2- Geometric

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی واقع در استان گلستان، در جنگل‌های کردکوی به مساحت کل ۱۳۶۶۹/۳ هکتار در فاصله ۵ کیلومتری کردکوی می‌باشد. جنگل کردکوی از ارتفاع ۱۰۰ متری الی ۲۶۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). تیپ آن راش - ممرز با وضعیت تجدید حیات متوسط که موجودی در هکتار آن ۳۱۶/۵ مترمکعب است (۳۷).

نمونه‌برداری: در این پژوهش از جمعیت طبیعی *Fagus orientalis* در جنگل‌های کردکوی در چهار ایستگاه ارتفاعی (۶۰۰-۵۰۰، ۱۲۰۰-۱۱۰۰، ۱۷۰۰-۱۸۰۰ و ۲۲۰۰-۲۱۰۰ ارتفاع از سطح دریا) در طول یک خط ارتفاعی با جهت ثابت نمونه‌برداری شد.

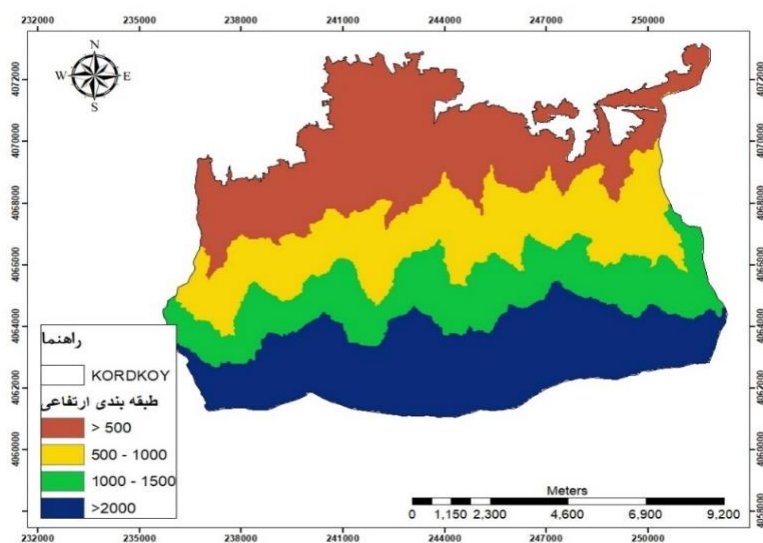
به‌منظور مطالعه ریخت‌شناسی سنتی در بهار ۱۴۰۰، ۴۰ درخت بالغ، سالم و هم‌قطر در هر ارتفاع انتخاب و از هر درخت در هر جهت تاج (شمال، جنوب، شرق و غرب) ۱ برگ انتخاب گردید.

جهت مطالعه ریخت‌شناسی هندسی، ۱۰ درخت بالغ، سالم و هم‌قطر در هر ارتفاع به‌صورت تصادفی از بین درختان مورد مطالعه در روش ریخت‌شناسی سنتی انتخاب و از هر درخت در هر جهت تاج (شمال، جنوب، شرق، غرب) ۱ برگ انتخاب و جمع‌آوری شد. در طول مدت نمونه‌برداری تلاش گردید از برگ‌های سالم و فاقد علائم رشد غیرعادی، آسیب مکانیکی، آلودگی پاتوژن و حشره استفاده شود.

روش‌های ریخت‌سنجی هندسی نشان می‌دهد می‌تواند با تجزیه و تحلیل شکل برگ به‌تنهایی و بدون اندازه‌گیری، تمایز واضحی را بین گونه‌ها ایجاد کند (۳۳). سیلوا و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه تغییرات هندسی شکل تیغه برگ در جمعیت‌های *Montrichardia linifera* بیان کردند که شخصیت‌های مورفوتیپ‌های دو گونه متغیر بودند و تنها تا حدی تحت تأثیر اثرات آلومتریکی قرار می‌گرفتند (۳۴). لیوو و همکاران (۲۰۱۸) در نتیجه، تجزیه و تحلیل تغییرات هندسی برگ در دو گونه بلوط نشان دادند که به‌وضوح برگ‌های *Q. dentata* و *Q. aliena* را از نظر مورفولوژیکی می‌توان جداسازی کرد (۳۵).

راش شرقی (*Fagus orientalis*) یکی از گونه‌های درختی مهم و صنعتی جنگل‌های شمال ایران است. این گونه مقاوم در برابر سایه با پتانسیل رقابتی بالا در جنگل‌های شمال ایران از غرب (آستارا، استان گیلان، مرز جمهوری آذربایجان) تا شرق (دره زیارت، استان گلستان) گسترش یافته است. راش از ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۲۰۰ متری از سطح دریا جاهایی که رطوبت هوا زیاد است و در اکثر فصول سال به‌ویژه در فصل رشد پوشیده از مه است به‌صورت جامعه خالص راشستان یا آمیخته با درخت ممرز و یا سایر درختان (افرا، نمدار و غیره) مشاهده می‌شود، از نظر صنعتی نیز راش با ارزش‌ترین درخت توده‌های جنگلی و صنعتی‌ترین چوب جنگل‌های شمال کشور محسوب می‌شود (۳۶).

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در ارتفاعات مختلف و مقایسه نتایج آن با تغییرات ریخت‌شناسی سنتی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱- طبقه‌بندی ارتفاعی طرح جنگلداری کردکوی.

Figure 1. Altitudinal classification of Kordkoy forestry plan.

لندمارک با استفاده از نرم‌افزار Tpsdig2 بر روی تصاویر اسکن شده قرار داده شد. لیست لندمارک‌های تعریف‌شده و موقعیت هر یک از آنها به ترتیب در شکل ۲ و جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ترتیب لندمارک‌گذاری در یک‌جهت برای تمام برگ‌های اسکن شده انجام گردید.

داده‌های حاصل شکل برگ جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه واریانس پروکراست و آنالیز چندمتغیره تابع تشخیص (DFA) توسط نرم‌افزار MorphoJ مورد تحلیل قرار گرفتند؛ سپس تفاوت بین مناطق از نظر صفت‌های مورد مطالعه با تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه چندگانه دانکن هم‌چنین تعیین مؤثرترین صفات به کمک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) صورت گرفت.

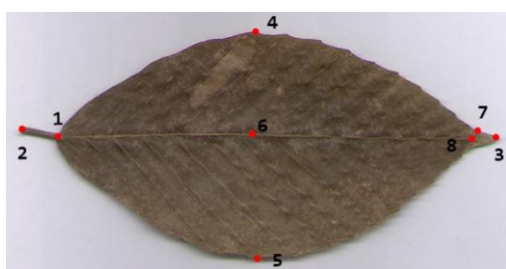
اندازه‌گیری‌های مورفولوژی: در مطالعه سنتی صفات ریخت‌شناسی شامل طول پهنک (LL)، عرض پهنک (WW)، مساحت پهنک (LA)، محیط پهنک (LP)، ضریب شکل برگ (SF) و نسبت طول به عرض (LW) با دستگاه اندازه‌گیری Leaf Area Meter (سطح برگ‌سنج) با دقت صدم میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس چندطرفه و از آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS و Excel استفاده شد.

در مطالعه هندسی، نمونه برگ‌های جمع‌آوری‌شده خشک و سپس به صورت دیجیتالی با اسکنر مدل HP Scanjet 4670 اسکن به شکل تصویر ذخیره شد. از ۸ صفت مورفولوژیکی برگ برای ارزیابی تغییرات ریخت‌شناسی هندسی برگ راش شرقی در ارتفاعات مختلف استفاده گردید که به صورت

جدول ۱- لیست لندمارک‌های تعریف‌شده برای ریخت‌شناسی هندسی برگ درختان راش.

Table 1. List of landmarks defined for geometric morphology of *Fagus orientalis* tree leaves.

| | |
|---|--|
| 1 | ابتدای دمبرگ The beginning of petiole |
| 2 | انتهای دمبرگ The end of petiole |
| 3 | نوک برگ The tip of leaf |
| 4 | بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ The widest leaf width from the left side |
| 5 | بیش‌ترین پهناى برگ از سمت راست The widest leaf width from the right side |
| 6 | محل اتصال بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ و راست برگ با رگبرگ اصلی The intersection of blade widest width with middle vein |
| 7 | آخرین رگبرگ از سمت چپ برگ The last vein from the left side of the leaf |
| 8 | محل اتصال آخرین رگبرگ فرعی سمت چپ با رگبرگ میانی The intersection of last left secondary vein with main vein |



شکل ۲- قرار دادن لندمارک‌های تعریف‌شده بر روی تصاویر اسکن شده با استفاده از نرم‌افزار Tpsdig2.

۱: ابتدای دمبرگ / ۲: انتهای دمبرگ / ۳: نوک برگ / ۴: بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ / ۵: بیش‌ترین پهناى برگ از سمت راست / ۶: محل اتصال بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ و راست برگ با رگبرگ اصلی / ۷: آخرین رگبرگ از سمت چپ برگ / ۸: محل اتصال آخرین رگبرگ فرعی سمت چپ با رگبرگ میانی

Figure 2. Placing defined landmarks on scanned images using Tpsdig2 software.

1. The beginning of petiole / 2. The end of petiole / 3. The tip of leaf / 4. The widest width on left side of leaf / 5. The widest width on right side of leaf / 6. The intersection of blade widest width with middle vein / 7. The last vein from the left side of the leaf / 8. The intersection of last left secondary vein with main vein

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین طول برگ درختان راش در طبقه ۱۲۰۰-۱۱۰۰ و پس‌از آن در ارتفاع ۱۸۰۰-۱۷۰۰ می‌باشد، هم‌چنین در ارتفاع ۶۰۰-۵۰۰ و ۲۲۰۰-۲۱۰۰ کم‌ترین مقدار طول برگ مشاهده شد (شکل ۳).

نتایج

ریخت‌شناسی سنتی: نتایج تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی مورد مطالعه برگ بین چهار ایستگاه ارتفاعی مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۹ درصد نشان داد (جدول ۲).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار ضریب شکل برگ در ارتفاع ۲۲۰۰-۲۱۰۰ و کم‌ترین ضریب شکل برگ در ارتفاع ۱۸۰۰-۱۷۰۰ مشاهده گردید (شکل ۷).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کم‌ترین نسبت طول به عرض برگ در ارتفاع ۱۸۰۰-۱۷۰۰ بوده است (شکل ۸).

در ریخت‌شناسی سستی، محیط و مساحت مؤثرترین صفات در تفکیک جمعیت معرفی شدند (شکل‌های ۵ و ۶). نتایج آنالیز خوشه‌ای برگ درختان راش در ارتفاعات مختلف با استفاده از روش ward و بر اساس مربع فاصله اقلیدسی انجام گرفت. بر این اساس برگ درختان در ارتفاعات مختلف تشکیل سه خوشه می‌دهند، به‌گونه‌ای که درختان ارتفاع ۶۰۰-۵۰۰ و ۲۲۰۰-۲۱۰۰ (اعداد ۴ و ۱) در خوشه یک، درختان ارتفاع ۱۸۰۰-۱۷۰۰ (عدد ۲) در خوشه دوم و درختان ارتفاع ۱۲۰۰-۱۱۰۰ (عدد ۳) در خوشه سوم تفکیک شدند (شکل ۹).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین عرض برگ درختان راش نشان می‌دهد که در ارتفاع ۱۲۰۰-۱۱۰۰ و ۱۸۰۰-۱۷۰۰ دارای بیش‌ترین مقدار عرض برگ راش می‌باشند و در ارتفاع ۲۲۰۰-۲۱۰۰ کم‌ترین عرض برگ مشاهده شد (شکل ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های محیط برگ راش نشان می‌دهد که بیش‌ترین محیط برگ در ارتفاع ۱۸۰۰-۱۷۰۰ و پس‌از آن در ارتفاع ۱۲۰۰-۱۱۰۰ و ۶۰۰-۵۰۰ مشاهده شده است، هم‌چنین در ارتفاع ۲۲۰۰-۲۱۰۰ کم‌ترین محیط برگ درختان راش دیده شده است (شکل ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های مساحت برگ درختان راش نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت برگ در ارتفاع ۱۲۰۰-۱۱۰۰ و پس‌از آن در ارتفاعات ۱۸۰۰-۱۷۰۰ و ۶۰۰-۵۰۰ به مشاهده شد. هم‌چنین در ارتفاع ۲۲۰۰-۲۱۰۰ که بالاترین ارتفاع است کم‌ترین مساحت برگ مشاهده شده است (شکل ۶).

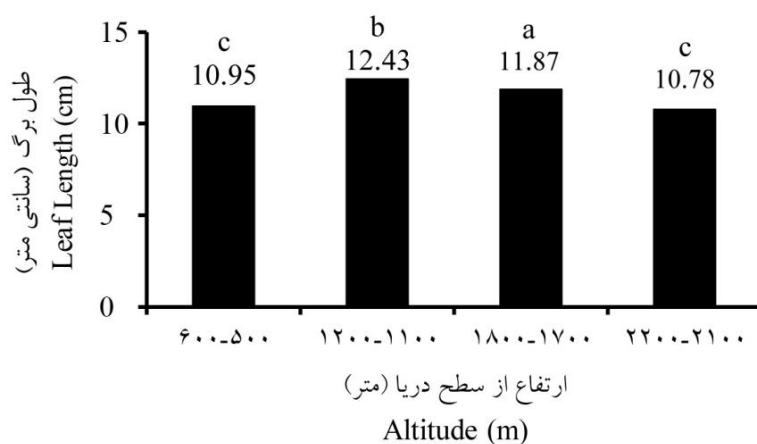
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک برگ راش شرقی در منطقه مورد مطالعه (طول پهنک (LL)، عرض پهنک (WW)، محیط پهنک (LP)، مساحت پهنک (LA) و ضریب شکل برگ (SF)، نسبت طول به عرض (LW)).

Table 2. Analysis of variance of the morphological traits of *Fagus orientalis* leaves in study area (lamina length (LL), lamina width (LW), lamina perimeter (LP), lamina area (LA), Shape factor (SF), Length to width ratio (LW)).

| سطح معنی‌داری sig | F | منبع تغییرات Source |
|----------------------|----------|------------------------|
| 0.000 | 43.507** | LL |
| 0.000 | 27.463** | WW |
| 0.000 | 27.648** | LP |
| 0.000 | 31.005** | LA |
| 0.000 | 4.737** | SF |
| 0.000 | 7.469** | LW |

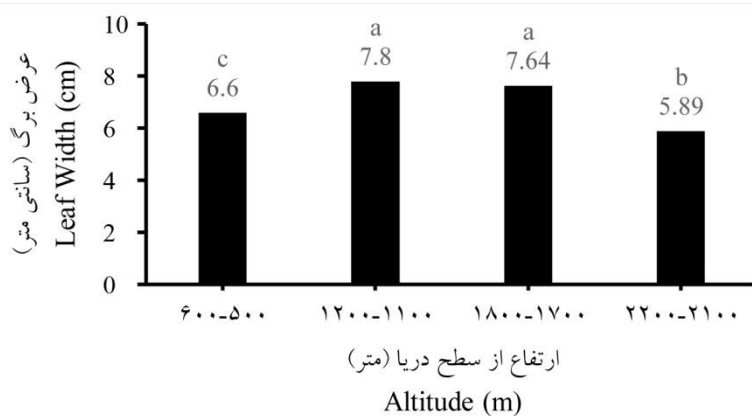
** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

** Significant at the 99% probability level



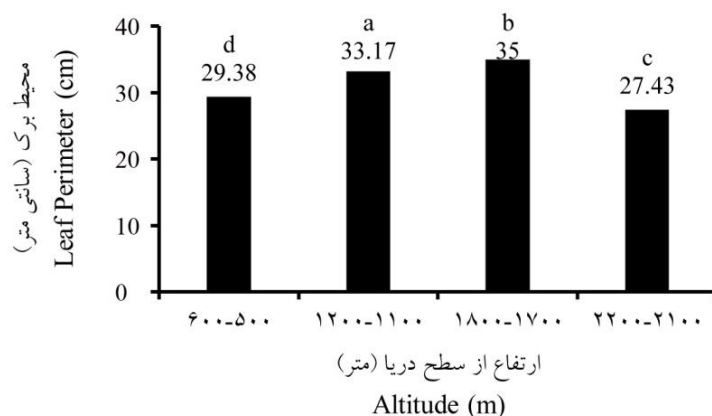
شکل ۳- طول برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 3. Leaf length in different height.



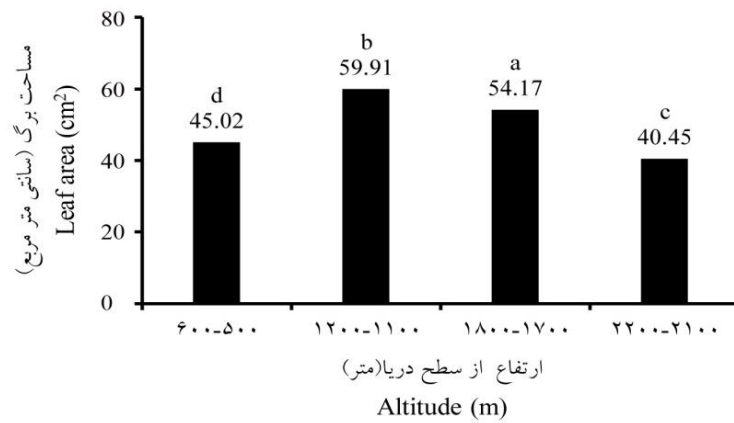
شکل ۴- عرض برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 4. Leaf width in different heights.



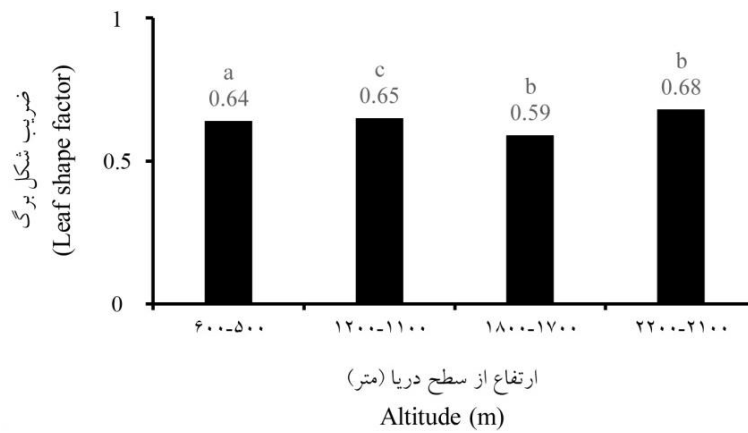
شکل ۵- محیط برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 5. Leaf perimeter in different heights.



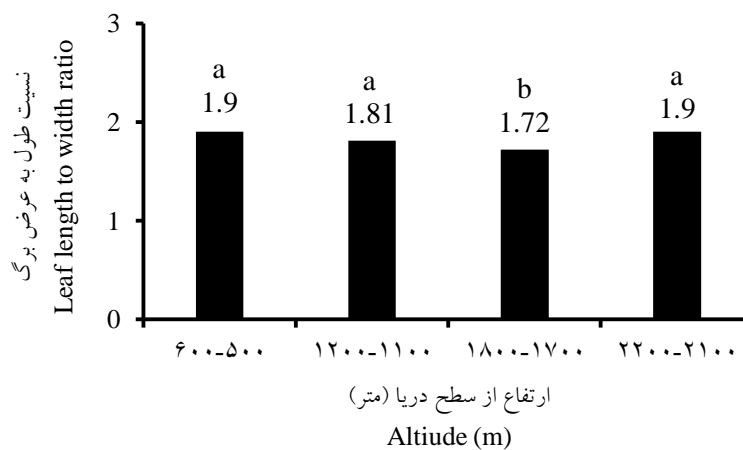
شکل ۶- مساحت برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 6. Leaf area in different heights.



شکل ۷- ضریب شکل برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 7. Leaf shape factor at different heights.

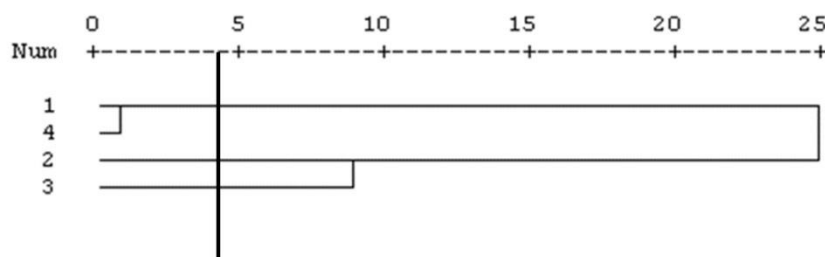


شکل ۸- نسبت طول به عرض برگ در ارتفاعات مختلف.

Figure 8. Leaf length to width ratio at different heights.

** حروف لاتین کوچک مشابه معرف عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

** Similar small Latin letters indicate the absence of significant difference between the means at the 5% probability level



شکل ۹- تفکیک جمعیت‌های راش شرقی در ارتفاع‌های مختلف از سطح دریا.
Figure 9. Separation of *Fagus orientalis* populations at different heights above sea level.

1: ارتفاع از سطح دریا 2100-2200، 2: ارتفاع از سطح دریا 1700-1800، 3: ارتفاع از سطح دریا 1100-1200،
 4: ارتفاع از سطح دریا 500-600

تفاوت هستند. نمودار wireframe میانگین شکل برگ‌های ایستگاه‌های ارتفاعی دوبه‌دو نشان داده شده‌اند (شکل ۱۰). با توجه به شکل‌های گرافیکی مشخص شده است که برگ‌های ارتفاع ۲۱۰۰-۲۲۰۰ نسبت به ارتفاع ۱۱۰۰-۱۲۰۰، کشیده‌تر و کوچک‌تر و باریک‌تر (مربوط به جابجایی لندمارک‌های شماره ۲، ۳، ۴ و ۵) هستند (شکل ۱۰e)؛ و نمودار wireframe ارتفاع ۱۷۰۰-۱۸۰۰ و ۲۱۰۰-۲۲۰۰ نشان می‌دهد که برگ‌های ارتفاع ۲۱۰۰-۲۲۰۰ کوچک‌تر و باریک‌تر (مربوط به جابه‌جایی لندمارک‌های شماره ۱، ۲ و ۳) هستند (شکل ۱۰f).

ریخت‌شناسی هندسی: نتایج تجزیه واریانس لندمارک‌های برگ‌های مناطق مورد مطالعه با تجزیه واریانس ANOVA تفاوت معنی‌داری ($P < 0/0001$) را بین چهار ایستگاه ارتفاعی نشان داد (جدول ۳). نتایج فاصله ماهالونوبیس بر اساس تحلیل کانونی (CVA) و آزمون فواصل جفتی (Permutation) در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس این نتیجه، برگ‌های همه مناطق به لحاظ شکلی باهم تفاوت معنی‌داری داشته به‌طوری‌که برگ‌ها در ارتفاعات ۱۱۰۰-۱۲۰۰ و ۲۱۰۰-۲۲۰۰ دارای بیش‌ترین تفاوت (فاصله) و ارتفاعات ۱۷۰۰-۱۸۰۰ و ۲۱۰۰-۲۲۰۰ کم‌ترین

جدول ۳- تجزیه واریانس ANOVA اندازه برگ در چهار ایستگاه ارتفاعی مورد مطالعه.

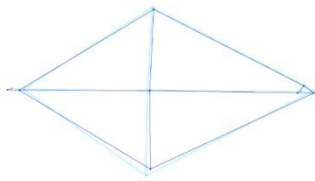
Table 3. ANOVA variance analysis of leaf size in four studied altitude stations.

| سطح معنی‌داری sig | F | میانگین مربعات MS | درجه آزادی df | مجموع مربعات SS | عامل تأثیرگذار Effect |
|-------------------|------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| 0.0001> | 6.78 | 0.0030492576 | 36 | 0.10977327 | تکی Individual |
| | | 0.0004495286 | 1872 | 0.84151762 | باقی مانده Residual |

جدول ۴- فواصل Mahalanobis بین ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 4. Mahalanobis distances between studied stations.

| ارتفاع Height | 1700 - 1800 | 1100 - 1200 | 500 - 600 |
|---------------|-------------|-------------|-----------|
| 1100 - 1200 | - | - | 1.5061** |
| 1700 - 1800 | - | 1.8931** | 2.2719** |
| 2100 - 2200 | 1.3842** | 2.6527** | 2.4529** |



شکل ۱۰a

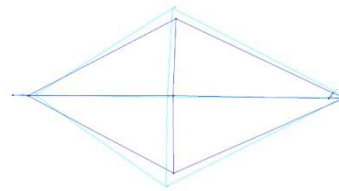
— ارتفاع 1100 - 1200

— ارتفاع 500 - 600

Figure 10 a

— Height 1100 – 1200

— Height 500 – 600



شکل ۱۰b

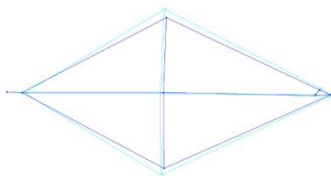
— ارتفاع 1700 - 1800

— ارتفاع 500 - 600

Figure 10 b

— Height 1700 – 1800

— Height 500 – 600



شکل ۱۰c

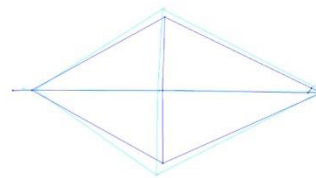
— ارتفاع 500 - 600

— ارتفاع 2100 - 2200

Figure 10 c

— Height 500 – 600

— Height 2100 – 2200



شکل ۱۰d

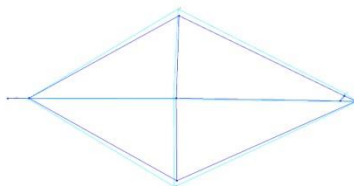
— ارتفاع 1700 - 1800

— ارتفاع 1100 - 1200

Figure 10 d

— Height 1700 – 1800

— Height 1100 – 1200



شکل ۱۰e

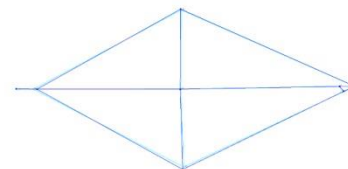
— ارتفاع 1100 - 1200

— ارتفاع 2100 - 2200

Figure 10 e

— Height 1100 – 1200

— Height 2100 – 2200



شکل ۱۰f

— ارتفاع 2100 - 2200

— ارتفاع 1700 - 1800

Figure 10 f

— Height 2100 – 2200

— Height 1700 – 1800

شکل ۱۰- مقایسه شکل برگ ارتفاعات مختلف در قالب گراف Wireframe.

Figure 10. Comparison of the leaf shape of different heights in wireframe graph form.

بیش‌ترین پهناى برگ از سمت راست (X_5) و در مؤلفه سوم، صفت بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ (X_4) به‌عنوان مؤثرترین صفات معرفی شدند (جدول ۶). هم‌چنین رج‌بندی مناطق چهارگانه براساس مؤلفه‌های اول و دوم و سوم نشان داد که به لحاظ صفات ریخت‌شناسی برگ، جمعیت راش شرقی به چهار گروه تفکیک می‌شوند (شکل ۱۱).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات هندسی برگ نیز نشان داد که سه مؤلفه اول به ترتیب با 47.756% ، 20.422% و 17.235% درصد و در مجموع 85% درصد واریانس را به خود اختصاص می‌دهند (جدول ۵) به‌طوری‌که در مؤلفه اول، صفات ابتدای دم‌برگ (Y_1) انتهای دم‌برگ (Y_2) آخرین رگ‌برگ سمت چپ (Y_7) در مؤلفه دوم، صفات بیش‌ترین پهناى برگ از سمت چپ (Y_4) و

جدول ۵- تجزیه مؤلفه‌های اصلی صفات هندسی برگ.

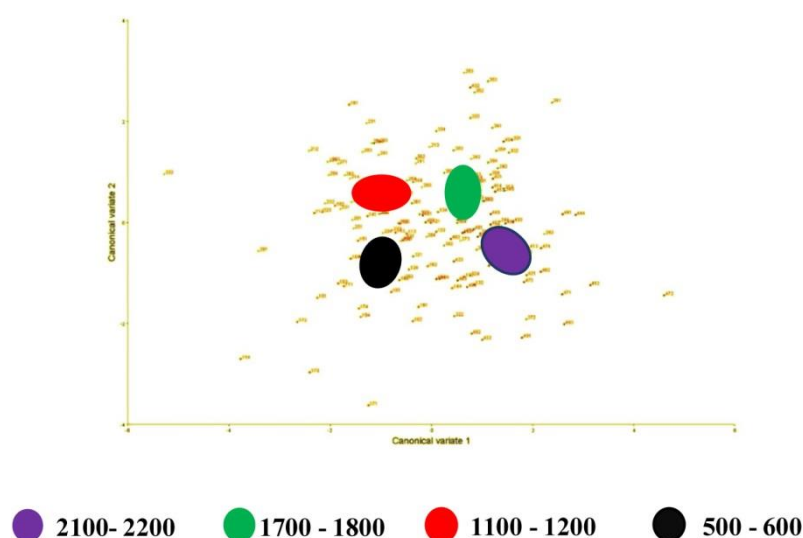
Table 5. Analysis of the main components of leaf morphological traits.

| تجمعی Cumulative% | واریانس Variance% | مقادیر ویژه Eigenvalues | |
|----------------------|----------------------|----------------------------|---|
| 47.756 | 47.756 | 0.00285725 | 1 |
| 68.179 | 20.422 | 0.00122186 | 2 |
| 85.414 | 17.235 | 0.00103115 | 3 |
| 93.124 | 7.71 | 0.00046131 | 4 |

جدول ۶- تعیین مؤثرترین صفات با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCI).

Table 6. Determining the most defining characteristics by analyzing the main components.

| PC 3 | PC 2 | PC 1 | |
|-----------|-----------|----------|-------|
| -0.1333 | -0.09146 | 0.014183 | X_1 |
| -0.02899 | 0.040386 | 0.336803 | Y_1 |
| -0.19021 | -0.13022 | 0.011386 | X_2 |
| -0.12529 | 0.133381 | 0.398062 | Y_2 |
| -0.19246 | -0.17472 | 0.013033 | X_3 |
| 0.106481 | 0.113168 | 0.173001 | Y_3 |
| 0.848391 | -0.12164 | -0.09272 | X_4 |
| 0.130924 | 0.372788 | -0.43696 | Y_4 |
| -0.1039 | 0.774065 | 0.045317 | X_5 |
| -0.22896 | -0.2686 | -0.45387 | Y_5 |
| 0.065816 | 0.088081 | 0.009931 | X_6 |
| -0.08002 | 0.020988 | -0.44517 | Y_6 |
| -0.13829 | -0.20312 | -0.00907 | X_7 |
| 0.08744 | -0.81849 | 0.217912 | Y_7 |
| -0.156049 | -0.140993 | 0.007938 | X_8 |
| 0.1 | -0.103931 | 0.210221 | Y_8 |



شکل ۱۱- تفکیک جمعیت‌های راش شرقی.

Figure 11. Separation of *Fagus orientalis* populations.

است و از طریق کنترل عوامل اکولوژیک مانند بارندگی، دمای محیط، نور، عمق خاک و سرعت باد (۳۲) تأثیرات متفاوتی بر جمعیت‌های راش شرقی (*Fagus orientalis*) گذاشته است. درختانی که در ارتفاعات رشد می‌کنند، عموماً دارای برگ‌هایی با طول، عرض، محیط و مساحت کوچک‌تر هستند. وجود این ارتباط منفی ارتفاعی با اندازه برگ در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۱۸، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۴۱) همان‌طور که در گزارش‌های علمی نیز بیان شده که درختان در ارتفاعات بالاتر برگ‌های کوچک‌تر (۲۸)، ضخیم‌تر و رشد کم‌تر دارند (۴۲). هم‌چنین رابطه منفی بین ارتفاع از سطح دریا با طول برگ برای راش شرقی (*Fagus orientalis*) می‌تواند نشان‌دهنده سازش این‌گونه با شرایط محیطی در هر طبقه ارتفاعی باشد به‌طورکلی، محیط‌های مختلف که نشان‌دهنده ریزاقلیم‌های مختلف است که بر تنوع ویژگی‌های کمی برگ تأثیر می‌گذارد (۳۵، ۴۳). همان‌طور که اشاره شد تاکنون مطالعات انجام‌شده در بررسی تغییرات مورفولوژیکی گیاهان در ایران به

بحث

مطالعه و پژوهش پیرامون عوامل اثرگذار بر پراکنش و خصوصیات کمی و کیفی گونه‌ها، به شناخت صحیح جنگل و مدیریت بهتر آن کمک می‌کند. عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و جهت دامنه) به همراه عوامل اکولوژیک (مانند طول و عرض جغرافیایی) در شکل‌گیری، پراکنش، پایداری جوامع گیاهی و خصوصیات ریختی درختان تأثیرگذار می‌باشد و مورد توجه برای مطالعه توسط پژوهش‌گران قرار گرفته‌اند (۳۸، ۳۹). از آنجایی‌که ارتفاع با تغییر در دما و در دسترس بودن آب در ارتباط است، تغییر اندازه و شکل برگ با تغییر ارتفاع می‌تواند سازگاری اکولوژیکی را بیان کند (۱۱) و به افراد اجازه می‌دهد تا با عوامل محیطی مرتبط با شیب ارتفاعی کنار بیایند. شکل برگ عمدتاً از نظر ژنتیکی ثابت است اما تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد (۴۰) نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ارتفاع یکی از عوامل مهم شکل‌گیری برگ در راش شرقی (*Fagus orientalis*)

روش سنتی بوده است و پژوهش حاضر اولین مطالعه بررسی این تغییرات به روش هندسی و مقایسه این دو روش بوده است. در این مطالعه مشخص شد که دو روش سنتی و هندسی تقریباً به‌طور کامل بین نمونه‌ها یکسان عمل نمی‌کنند. در روش سنتی برای تعیین الگوی تنوع در داخل و بین گونه‌ها از اندازه‌گیری‌های خطی مانند طول، عرض و غیره استفاده می‌شود به‌عبارت‌دیگر در این مطالعات تغییرات شکل یا مطالعات آلومتری با تغییر اندازه بررسی می‌شود (۴۴)

با این حال، روش‌های ریخت‌شناسی سنتی برای تجزیه و تحلیل شکل مؤثر نیستند و امکان نمایش گرافیکی قابل تفسیر را نمی‌دهند. ولی ریخت‌شناسی هندسی مبتنی بر لندمارک‌هایی است که بر روی محلی از نمونه که ارزش ریخت‌شناسی دارد قرار می‌گیرد و تلاش شده در این روش اثرات اندازه‌گیری حذف شود و از نمایش‌های گرافیکی (دوبعدی یا سه‌بعدی) برای مقایسه و یافتن تفاوت‌ها استفاده شود. با استفاده از این روش مدرن، اطلاعات هندسی در مورد تفاوت‌های ریختی را می‌توان در تصاویر و نمودارهای مختلف نمایش داد، در نتیجه تفاوت‌ها در جمعیت‌ها برجسته شده و قابلیت تفسیر نتایج افزایش می‌یابد (۴۵).

در این مطالعه جمعیت‌های ارتفاعات مختلف در هر دو روش ریخت‌شناسی هندسی و سنتی از هم تفکیک شدند؛ اما با توجه به گروه‌بندی بیش‌تر جمعیت‌ها در ریخت‌شناسی هندسی می‌توان بیان داشت که این روش کارایی و دقت بیش‌تری در تفکیک جمعیت‌ها داشته است، هم‌چنین صفات ابتدای دم‌برگ، انتهای دم‌برگ، آخرین رگبرگ سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت راست به‌عنوان مؤثرترین صفات در تفکیک جمعیت‌ها در ریخت‌شناسی هندسی و صفات محیط و مساحت به مؤثرترین در تفکیک جمعیت‌های

راش شرقی در ریخت‌شناسی سنتی معرفی شدند که نشان‌دهنده قابلیت روش هندسی در تعریف صفات متفاوت‌تر و با جزئیات بیش‌تر است. برخی از پژوهش‌گران استفاده از طیف وسیع‌تری از صفات، از جمله کرکی بودن برگ، شکل برگ پایه، تعداد لوب‌ها و تعداد رگبرگ‌های ثانویه را ضروری بیان می‌کنند (۴۶، ۴۷).

پژوهش‌های متعددی کارایی خوب صفات مورفولوژیک را در تفکیک جمعیت‌های مختلف گونه‌های پهن‌برگ نشان داده‌اند (۴۸) در پژوهشی که بر روی ویژگی‌های برگ بلوط دارمازو (*Quercus infectoria*) انجام شده، صفت سطح برگ جز تأثیرگذارترین صفات بیان شده است (۴۹). در مطالعه تنوع مورفولوژیک برگ دو گونه بلندمازو (*Q. infectoria*) و اوری (*Q. macranthera*) در طول یک گرادیان ارتفاعی، اثرگذارترین صفات طول برگ، حداکثر پهنای برگ، عمق سینوس زیر لوب حداکثر و فاصله قاعده برگ تا حداکثر عرض معرفی شدند (۲۴). در مطالعه دیگر که از نشانگر مورفولوژیک برگ بر روی تنوع گونه صنوبر لرزان (*Populus tremula*) استفاده شد صفات عرض برگ، تعداد دندان، زاویه پایه و نسبت طول برگ به طول دم‌برگ را به‌عنوان مؤثرترین صفات در تفکیک معرفی شدند (۵۰). هم‌چنین برای دو گونه شاه بلوط (*Castanea sativa*) و (*Alnus subcordata*) طول دم‌برگ تأثیرگذارترین صفت بیان شد (۲۷، ۵۱) بنابراین مشاهده می‌گردد که در تفکیک جمعیت‌های گونه‌های مختلف، صفات مؤثر متفاوت می‌باشند؛ و هر گونه الگوی خاصی در شکل‌پذیری برگ نشان می‌دهد و بهتر است که مطالعات بر گونه‌های مختلف در ارتفاعات متفاوت انجام گیرد.

عدم یکسان بودن کامل دو روش سنتی و هندسی را می‌توانیم به علت تفاوت در ماهیت و مکانیزم

روش سنتی بوده است و پژوهش حاضر اولین مطالعه بررسی این تغییرات به روش هندسی و مقایسه این دو روش بوده است. در این مطالعه مشخص شد که دو روش سنتی و هندسی تقریباً به‌طور کامل بین نمونه‌ها یکسان عمل نمی‌کنند. در روش سنتی برای تعیین الگوی تنوع در داخل و بین گونه‌ها از اندازه‌گیری‌های خطی مانند طول، عرض و غیره استفاده می‌شود به‌عبارت‌دیگر در این مطالعات تغییرات شکل یا مطالعات آلومتری با تغییر اندازه بررسی می‌شود (۴۴)

با این حال، روش‌های ریخت‌شناسی سنتی برای تجزیه و تحلیل شکل مؤثر نیستند و امکان نمایش گرافیکی قابل تفسیر را نمی‌دهند. ولی ریخت‌شناسی هندسی مبتنی بر لندمارک‌هایی است که بر روی محلی از نمونه که ارزش ریخت‌شناسی دارد قرار می‌گیرد و تلاش شده در این روش اثرات اندازه‌گیری حذف شود و از نمایش‌های گرافیکی (دوبعدی یا سه‌بعدی) برای مقایسه و یافتن تفاوت‌ها استفاده شود. با استفاده از این روش مدرن، اطلاعات هندسی در مورد تفاوت‌های ریختی را می‌توان در تصاویر و نمودارهای مختلف نمایش داد، در نتیجه تفاوت‌ها در جمعیت‌ها برجسته شده و قابلیت تفسیر نتایج افزایش می‌یابد (۴۵).

در این مطالعه جمعیت‌های ارتفاعات مختلف در هر دو روش ریخت‌شناسی هندسی و سنتی از هم تفکیک شدند؛ اما با توجه به گروه‌بندی بیش‌تر جمعیت‌ها در ریخت‌شناسی هندسی می‌توان بیان داشت که این روش کارایی و دقت بیش‌تری در تفکیک جمعیت‌ها داشته است، هم‌چنین صفات ابتدای دم‌برگ، انتهای دم‌برگ، آخرین رگبرگ سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت چپ، بیش‌ترین پهنای برگ از سمت راست به‌عنوان مؤثرترین صفات در تفکیک جمعیت‌ها در ریخت‌شناسی هندسی و صفات محیط و مساحت به مؤثرترین در تفکیک جمعیت‌های

می‌توان گفت که تکامل طبیعی کار تفکیک جمعیت‌ها را به خوبی انجام داده است و این یعنی مقاومت گونه نسبت به شرایط محیطی در سطح مناسبی می‌باشد. هر دو روش سنتی و هندسی معتبر و شناخته شده می‌باشند، اما توجه به نتایج این نشان می‌دهد که ریخت‌شناسی هندسی با قدرت تفکیک بالاتر توانسته جمعیت‌ها را از هم تفکیک کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دکتر هاشم حبشی و دکتر سید محمد واعظ موسوی، اعضای هیئت علمی محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به علت مشارکت مفید در این مطالعه تشکر می‌کنند.

تحلیل آن‌ها بیان کنیم. در ریخت‌شناسی هندسی با حفظ تفاوت شکل‌ها قدرت آماری افزایش می‌یابد (۵۲) پیشنهاد می‌شود در مطالعات دیگر در جمعیت‌های مختلف از روش ریخت‌شناسی هندسی برای سایر گونه‌ها استفاده شود و تلاش گردد که درصد اختلاف دو روش سنتی و هندسی مورد مطالعه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج این پژوهش و پژوهش‌های دیگر تعیین‌کننده این مطلب است که تغییر در شرایط اکولوژیک، باعث تحت‌تأثیر قرار گرفتن صفات ریخت‌شناسی گیاهان می‌شود. با توجه به نتایج و تفکیک جمعیت راش شرقی در ارتفاعات متفاوت

منابع

1. Linhart, Y.B., and Grant, M.C. 1996. Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. Annual Review of Ecology and Systematics. 27: 237-277.
2. Turesson, G. 1981. The genotypical response of the plant species to the habitat. Hereditas. 3: 211-350.
3. Neophytou, C., Palli, G., Dounavi, A., and Aravanopoulos, F.A. 2007. Morphological differentiation and hybridization between *Quercus alnifolia* Poech and *Quercus coccifera* L. (*Fagaceae*) in Cyprus. sue Genetica. 56: 6. 271-277.
4. Alipour, M., Abdollahi, H., Ghasemi, A., Abdosi, V., and Akramian, M. 2011. Evaluation of genetic diversity of some quince cultivars (*Cydonia oblonga* Mill.) grown in Esfahan by using morphological traits. In Proceeding of the 7th Horticultural Sciences Congress of Iran, Esfahan. (In Persian)
5. Espahbodi, K., Mirzaei, N.H., Tabari, M., Akbarinia, M., and Dehghani, S.Y. 2006. Investigation of genetic variation of wild service (*Sorbus torminalis* (L) Crantz), using morphological analysis of fruits and leaves. J. of Research and Construction. 72: 44-57. (In Persian)
6. Himanen, K., Adem, G.D., and Van Lijsebettens, M. 2007. Genetic and epigenetic control of leaf size and shape. J. of Plant Developmental Biology. 1: 226-238.
7. Chitwood, D.H., Ranjan, A., Martinez, C.C., Headland, L.R., Thiem, T., Kumar, R., Covington, M.F., Hatcher, T., Naylor, D.T., Zimmerman, S., Downs, N., Raymundo, N., Buckler, E.S., Maloof, J.N., Aradhya, M., Prins, B., Li, L., Myles, S., and Sinha, N.R. 2014. A modern ampelography: A genetic basis for leaf shape and venation patterning in grape. Plant Physiology. 164: 1. 259-272.
8. Kolodziejek, J., and Michlewso, S. 2015. Effect of soil moisture on morpho-anatomical leaf traits of *Ranunculus acris* (*Ranunculaceae*). Polish Journal of Ecology. 63: 3. 400-413.
9. Soethe, N., Lehmann, J., and Engels, C. 2008. Nutrient availability at different altitudes in a tropical montane forest in Ecuador. J. of Tropical Ecology. 24: 397-406.

10. Xu, M., Ma, L., Jia, Y., and Liu, M. 2017. Integrating the effects of latitude and altitude on the spatial differentiation of plant community diversity in a mountainous ecosystem in China. *PLoS One*. 12: 1-18.
11. Hovenden, M.J., and Vander Schoor, J.K. 2004. Nature vs nurture in the leaf morphology of Southern beech, *Nothofagus cunninghamii* (*Nothofagaceae*). *New Phytologist*. 161: 585-594.
12. Thomas, S.C. 2011. Genetic vs. phenotypic responses of trees to altitude. *Tree Physiology*. 31: 11. 1161-1163.
13. Körner, C. 2012. Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits. Springer Science & Business Media. 28p.
14. Körner, C., Neumayer, M., Menendez-Riedl, S.P., and Smeets-Scheel, A. 1989. Functional morphology of mountain plants. *Flora*. 182: 5. 353-383.
15. Pandey, M., Pathak, M.L., and Shrestha, B.B. 2021. Morphological and wood anatomical traits of *Rhododendron lepidotum* Wall ex G. Don along the elevation gradients in Nepal Himalayas. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 53: 1. 35-47.
16. Roderick, M.L., Berry, S.L., and Noble, I.R. 2000. A framework for understanding the relationship between environment and vegetation based on the surface area to volume ratio of leaves. *Functional Ecology*. 14: 4. 423-437.
17. Zhang, L., Luo, T., Liu, X., and Wang, Y. 2012. Altitudinal variation in leaf construction cost and energy content of *Bergenia purpurascens*. *Acta Oecologica*. 43: 72-79.
18. Adamidis, G.C., Varsamis, G., Tsiripidis, I., Dimitrakopoulos, P.G., and Papageorgiou, A.C. 2021. Patterns of leaf morphological traits of Beech (*Fagus sylvatica* L.) along an Altitudinal Gradient. *Forests*. 12: 10. 1297.
19. Bodor, P., Baranyai, L., Parrag, V., and Bisztray, G. 2014. Effect of row orientation and elevation on leaf morphology of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv Furmint. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 10: 1. 53-69.
20. Zunzunegui, M., Díaz Barradas, M.C., Ain-Lhout, F., Alvarez-Cansino, L., Esquivias, M.P., and García Novo, F. 2011. Seasonal physiological plasticity and recovery capacity after summer stress in Mediterranean scrub communities. *Plant Ecology*. 212: 1. 127-142.
21. Premoli, A.C., Raffaele, E., and Mathiasen, P. 2007. Morphological and phenological differences in *Nothofagus pumilio* from contrasting elevations: evidence from a common garden. *Austral Ecology*. 32: 5. 515-523.
22. Akinlabi, A.A., Jimoh, M.A., and Saheed, S.A. 2014. Effects of altitudinal gradients on morpho anatomical characters of *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson. *J. of Research in Sciences*. 2: 150-156.
23. Körner, C. 2007. The use of altitude ecological research. *Trends in ecology and evolution*, 22: 11. 569-574.
24. Sattarian, A., Zarafshar, M., and Babaie Sustani, F. 2011. Leaf morphological variability between natural populations of *Quercus castaneifolia* and *Q. macronthera* in Caspian forest. *J. of Taxonomy and Biosystematic*. 3: 6. 25-34. (In Persian)
25. Mohebi Bijarpasi, M., Rostami Shahraji, T., and Samizadeh Lahij, H. 2018. Changes in leaf morphological characteristics of *Fagus orientalis* Lipsky along altitudinal gradients (Case study: Gilan forests, Masal). *J. of Forest Research and Development*. 5: 1. 27-40. (In Persian)
26. Mohammadi Azni, M., and Moradi, H., 2018. Evaluation of morphological and biochemical traits of wild primrose (*Dionysia revolute*) populations in northern Iran under the influence of ecological factor of altitude. *J. of Environmental physiology of the plant*. 15: 59. 89-98 (In Persian)
27. Akbarian, M.R., Tabari, M., Akbarinia, M., Zarafshar, M., Meave, J.A., Yousefzadeh, H., and Sattarian, A. 2011. Effects of elevational gradient on leaf and stomatal morphology of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) in the Hyrcanian forest, Iran. *Folia Oecologica*. 38: 1. 203-224.

28. Paridari, I.C., Jalali, S.G., Sonboli, A., Zarafshar, M., and Bruschi, P. 2013. Leaf macro- and micro-morphological altitudinal variability of *Carpinus betulus* in the Hyrcanian forest (Iran). *J. of Forestry Research*. 24: 2. 301-307. (In Persian)
29. Royer, D.L., McElwain, J.C., Adams, J.M., and Wilf, P. 2008. Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*. *New Phytologist*. 179: 3. 808-817.
30. Xu, B., Wang, J.N., and Shi, F.S. 2020. Impacts of ontogenetic and altitudinal changes on morphological traits and biomass allocation patterns of *Fritillaria unibracteata*. *J. of Mountain Science*. 17: 1. 83-94.
31. Boutsios, S., Vidalis, A., Adamidis, G.C., Hatziskakis, S., Varsamis, G., Tsiripidis, I., and Papageorgiou, A.C. 2021. Diversity in the shade and light leaf morphology in Beech populations of south Rodopi Mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 91: 1. 53-61.
32. Khoshnamvand, H., Malekian, M., and Keivany, Y. 2017. Feasibility of using geometric morphometrics on larvae of Loristan newt for population identifications. *J. of Biology of Iran*. 32: 1. 11-21. (In Persian)
33. Viscosi, V., Lepais, O., Gerber, S., and Fortini, P. 2009. Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems*. 143: 3. 564-574.
34. Silva, M.F.S., De Andrade, I.M., and Mayo, S.J. 2012. Geometric morphometrics of leaf blade shape in *Montrichardia linifera* (Araceae) populations from the Rio Parnaíba Delta, north-east Brazil. *Botanical J. of the Linnean Society*. 170: 4. 554-572.
35. Liu, Y., Li, Y., Song, J., Zhang, R., Yan, Y., Wang, Y., and Du, F.K. 2018. Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Annals of Forest Science*. 75: 4. 1-12.
36. Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., and Pourhashemi, M. 2014. *Forests of Iran: A treasure from the past, a hope for the future*. Springer Dordrecht Heidelberg. New York London. 43p.
37. Kordkoy management of forestry project. 2008. *Forests, Range and Watershed Organization*. 249p.
38. Atashgahi, Z., Ejtehad, H., and Zare, H. 2009. Study of floristics, life form, and chorology of plants in the east of Dodangeh forests, Mazandaran province, Iran. *Iranian J. of Biology*. 22: 2. 193-203. (In Persian)
39. Bayat, M.F. 2000. Surveying of the relationship between vegetation cover and some environmental variables (altitude, aspect, and slope). *Pajouheshva-Sazandegi*, 4: 45. 24-27. (In Persian)
40. Gratani, L., Covone, F., and Larcher, W. 2006. Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the Mediterranean maquis. *Trees*. 20: 5. 549-558.
41. Hatziskakis, S., Tsiripidis, I., and Papageorgiou, A.C. 2011. Leaf morphological variation in beech (*Fagus sylvatica* L.) populations in Greece and its relation to their post-glacial origin. *Botanical J. of the Linnean Society*. 165: 422-436.
42. Petit, R.J., Duminil, J., Fineschi, S., Hampe, A., Salvini, D., and Vendramin, G.G. 2005. Comparative organization of chloroplast, mitochondrial and nuclear diversity in plant populations. *Molecular Ecology*. 14: 689-701.
43. Valladares, F., Skillman, J.B., and Pearcy, R.W. 2002. Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures: a case of morphological compensation. *American J. of Botany*. 89: 8. 1275-1284.
44. Schreck, C.B., and Moyle, P.B. 1990. *Methods for fish biology*. American fisheries Society. Bethesda, Maryland, USA. *The European anchovy, Engraulis encrasicolus*. *Fisheries Research*. 42: 229-243.

45. Rohlf, F.J. 2010. tpsDig, digitize landmarks and outlines, ver. 2.16. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, NJ. Life. 35p.
46. Bruschi, P., Vendramin, G.G., Bussotti, F., and Grossoni, P. 2000. Morphological and molecular differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in northern and central Italy. *Annals of Botany*. 85: 3. 325-333.
47. Kremer, A., Dupouey, L.J., Deans, J.D., Cottrell, J., Csaikl, U., and Finkeldey, R. 2002. Leaf morphological variation in mixed oak stands (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) in stable western European population. *Ann Sci Forest*. 59: 777-787.
48. Jafari Sayadi, M.H., Marvi Mohajer, M.R., Mozaffari, J., and Sobhani, H. 2006. Morphological leaf characteristics of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in Iranian population. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 14: 1. 1-19. (In Persian)
49. Kaffash, S.H., Bakhshi Khaniki, G.H., and Yusefi, B. 2008. Investigation of leaf morphological characteristics of *Quercus infectoria* Oliv. (Aleppo Oak) in Kurdistan forests. *J. of Pajouhesh and Sazandegi*, 79: 135-144. (In Persian)
50. Marron, N., Dillen, S.Y., and Ceulemans, R. 2007. Evaluation of leaf traits for indirect selection of high-yielding poplar hybrids. *Environmental and Experimental Botany*. 61: 2. 103-116.
51. Zarafshar, M., Akbarinia, M., Bruschi, P., Hosseiny, S.M., Yousefzadeh, H., Taieby, M., Sattarian, A. 2010. Phenotypic variation in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) natural populations in Hyrcanian forest (north of Iran), revealed by leaf morphometrics. *Folia Oecologica*. 37: 1. 113-121.
52. Rohlf, F.J. 1993. Relative warp analysis and an example of its application to mosquito wings. In: Marcus, L.F., Bello, E., Garcia-Valdecasas, V., eds. *Contributions to morphometrics*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales Press. 272p.

