Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

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

Prominent leaf morphological traits of mature trees to distinguish 14 poplar clones widely used in tree farming

Pedram Ghadiripour[1], Omid Esmailzadeh[*2], Rafátollah Ghasemi[3]

1. Research Expert, Research Division of Poplar and Fast-growing Trees, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: ghadiripour@rifr-ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modaeres, Nur, Iran. E-mail: oesmailzadeh@modares.ac.ir
3. Senior Research Expert, Research Division of Poplar and Fast-growing Trees, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: ghassemi@rifr-ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.25.2022
Revised: 07.23.2022
Accepted: 07.16.2022

Keywords:
Clone,
Crown area,
Leaf,
Morphology,
Poplar

ABSTRACT

Background and Objectives: *Populus spp.* have a wide distribution with a great morphological variation in the world. The leaf heterophilic is a remarkable characteristic among the genus of this species, which makes it difficult of recognizing a clone from another. Having knowledge on leaf morphological traits would help to separate the poplar species planted in the northern Iran. This study aimed at identifying these morphological traits. The correlation between leaf morphological and the growth traits in mature trees could also be useful in assessing tree growth. Thus, investigating correlations between leaf morphology and growth traits of mature trees was considered as a minor objective for the present study.

Materials and Methods: In this study, 14 clones of four species including *P. nigra* (42.78, 62.154, 63.135, betulifolia), *P. alba* (20.45, 44.13), *P. deltoids* (63.8, 69.55, 92.258, marquette), and *P. euramericana* (154, 214, costanzo, vernirubensis), which are planted more than other species, especially in the northern half of the county were selected from the poplar clone's collection of Alborz research station in Karaj county. In this collection center, 9 individuals of each genotype were planted with the aim of genetic perseverance. Three of nine individuals of each clone were randomly selected and after leaf sampling at a height of 3-8 m from seven-year-old trees, 12 morphological traits were measured. Diameter at breast height, total tree height and tree crown radius at four cardinal directions were measured in the late growing season to determine correlation coefficient between the mature tree growth and leaf morphological traits. We used the Principal Component Analysis (PCA) with two methods of calculating correlation and multiple regression analysis between leaf traits and principal axes and the nested design of experiments to determine the most effective traits on the separation of colons. Finally, mean values of morphological traits were compared using Dunnett's T3 test.

Results: According to the clustering results, *P. nigra*, *P. alba*, and two of *P. deltoids* (63.8, 92.258) clones were placed separately in three groups. The four *P. euramericana* clones in addition to marquette and 69.55 from *P. deltoids* constituted another group. Leaf length, leaf area, maximum width of the leaf, leaf dry weight and petiole length were determined to be the most effective morphological traits among the clones studied. Crown area was the only growth trait that had a positive significant correlation

with leaf morphological traits, such that with increasing crown area over leaf length, maximum leaf width, petiole length, leaf thicket and surface area, and dry weight increased.

Conclusion: Regarding leaf heterophilic and high similarity of leaves in poplar genius, five key traits of length, area, maximum width, dry weight, and petiole length were recognized for the separation of the 14 clones. Based to the results of this study, it is inferred that the crown area affects leaf dimension more than diameter at breast height and total tree height. Therefore, leaf morphological traits cannot be the sole criterion for evaluating diameter and height growth of mature poplars.

Cite this article: Ghadiripour, Pedram, Esmailzadeh, Omid, Ghasemi, Rafátollah. 2022. Prominent leaf morphological traits of mature trees to distinguish 14 poplar clones widely used in tree farming. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (2), 77-94.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2022.20121.1967
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

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

ویژگی‌های شاخص ریخت‌شناسی برگ درختان بالغ جهت تشخیص ۱۴ کلن صنوبر پرکاربرد در زراعت چوب

پدرام غدیری‌پور[۱]، امید اسماعیل‌زاده*[۲]، رفعت‌اله قاسمی[۳]

۱. کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ghadiripour@rifr-ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: oesmailzadeh@modares.ac.ir

۳. مربی پژوهشی، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ghassemi@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی:
برگ،
ریخت‌شناسی،
صنوبر،
کلن،
مساحت تاج

چکیده

سابقه و هدف: جنس صنوبر از درختانی است که گستردگی زیادی در مناطق مختلف جهان داشته و از تنوع ریخت‌شناسی زیادی برخوردار است. یکی از مشخصات گونه‌های مختلف صنوبر وجود ناجوربرگی در آن‌هاست. به همین علت گاهی تشخیص کلن‌های مختلف یک‌گونه از همدیگر دشوار می‌شود. در نیمه شمالی کشور کلن‌های مشخصی از جنس صنوبر کاشته می‌شوند که شناخت صفات ریخت‌شناسی برگ شاخص آن‌ها می‌تواند به تشخیص آن‌ها از یکدیگر کمک نماید. شناسایی این صفات مهم‌ترین هدف اجرای این پژوهش بوده است. از طرفی همبستگی میان صفات ریخت‌شناسی برگ با صفات رویشی درختان بالغ ممکن است سبب معرفی صفات ریخت‌شناسی برگ شود که به‌وسیله آن‌ها ارزیابی رویش درخت میسر گردد؛ بنابراین به‌عنوان هدف فرعی، مطالعه همبستگی صفات ریخت‌شناسی برگ با مشخصه‌های رویشی درختان بالغ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۱۴ کلن از ۴ گونه نیگرا (۴۲/۷۸، ۶۲/۱۵۴، ۶۳/۱۳۵، betulifolia)، کبوده (۲۰/۴۵، ۴۴/۱۳)، دلتوییدس (۶۳/۸، ۶۹/۵۵، ۹۲/۲۵۸، marquette) و اورامریکن (۱۵۴، ۲۱۴، costanzo، vernirubensis) که به‌خصوص در نیمه شمالی کشور بیش از سایر گونه‌ها کاشته می‌شوند از محل کلکسیون کلن‌های مختلف صنوبر در ایستگاه تحقیقاتی البرز مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در کرج انتخاب شد. در این کلکسیون با هدف حفظ ذخایر ژنتیکی، ۹ پایه از هر ژنوتیپ کاشته شده است. به‌منظور مطالعه صفات ریخت‌شناسی برگ سه‌پایه از مجموع نه پایه کاشته‌شده به‌صورت تصادفی انتخاب شد و پس از نمونه‌برداری برگ از ارتفاع ۳ تا ۸ متری درختان هفت‌ساله، ۱۲ صفت ریخت‌شناسی در

آن‌ها اندازه‌گیری شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی همبستگی میان صفات ریخت‌شناسی برگ با رویش درخت بالغ، در اواخر فصل رویش در مورد همان سه‌پایه مربوط به هر کلن، قطر برابر سینه، ارتفاع کل درخت و شعاع تاج در چهار جهت جغرافیایی اصلی ثبت گردید و سپس سطح تاج‌پوشش محاسبه شد. جهت تحلیل داده‌ها با ترکیب نتایج تحلیل خوشه‌ای با تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (با دو روش محاسبه همبستگی صفات با مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه صفت‌های برگ با محورهای اصلی) و هم‌چنین طرح آشیانه‌ای اقدام به تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر در تفکیک کلن‌ها از یکدیگر گردید. در انتها این صفات مهم در بین گروه‌های مختلف حاصل از خوشه‌بندی با استفاده از آزمون دانت تی ۳ مورد مقایسه قرار گرفتند تا صحت نتایج مورد تأیید قرار گیرد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تحلیل خوشه‌ای، کلن‌های کبوده و نیگرا و هم‌چنین دو کلن دلتوییدس ٦٣/٨ و ٩٢/٢٥٨ هر یک به‌طور جداگانه در یک گروه و چهار کلن اورآمریکن همراه با کلن‌های دلتوییدس marquette و ٦٩/٥٥ در گروه دیگر جای گرفتند. پنج صفت طول برگ، سطح برگ، حداکثر پهنای برگ، وزن خشک برگ و طول دمبرگ به‌عنوان اثرگذارترین مشخصه‌های شکل‌شناسی تعیین شدند که با استفاده از این صفت‌ها می‌توان کلن‌های مورد مطالعه را از همدیگر تفکیک نمود. مساحت تاج نیز تنها صفت رویشی بود که همبستگی معنی‌دار مثبتی با صفات ریخت‌شناسی برگ داشت به‌طوری‌که با افزایش مساحت تاج بر طول برگ، حداکثر پهنای برگ، طول دمبرگ، ضخامت برگ و سطح برگ و وزن خشک برگ افزوده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به ناجوربرگی جنس صنوبر و شباهت زیاد برگ کلن‌ها در گونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، پنج صفت کلیدی برگ شامل طول، سطح، حداکثر پهنا و وزن خشک برگ همراه با طول دمبرگ صفات شاخص در تشخیص ١٤ کلن مورد مطالعه می‌باشند؛ بنابراین با اندازه‌گیری این صفات می‌توان کلن‌های کاشته‌شده در زمین‌های کشاورزی مردم را تا حد زیادی شناسایی نمود. طبق نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که سطح تاج بیش از رویش قطری و ارتفاعی بر ابعاد برگ اثرگذار است. ازاین‌رو دست‌کم در مورد کلن‌های مورد بررسی در این پژوهش، صفات ریخت‌شناسی برگ نمی‌تواند معیاری جهت ارزیابی رشد قطری و ارتفاعی درختان بالغ صنوبر باشد.

استناد: غدیری‌پور، پدرام، اسماعیل‌زاده، امید، قاسمی، رفعت‌اله (۱۴۰۱). ویژگی‌های شاخص ریخت‌شناسی برگ درختان بالغ جهت تشخیص ۱۴ کلن صنوبر پرکاربرد در زراعت چوب. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۹ (۲)، ۷۷-۹۴.
DOI: 10.22069/JWFST.2022.20121.1967

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

مقدمه

گونه‌های جنس صنوبر (*Populus* spp.) در عرض‌های جغرافیایی معتدل، منابع جنگلی جذاب و ارزشمندی را برای صنایع کاغذسازی و تولید زیست‌توده تشکیل می‌دهند (۱ و ۲). این جنس، با حدود ۳۰ گونه که به‌طور گسترده‌ای در نیمکره شمالی و در عرض‌های معتدل پراکنده است ازنظر ژنتیکی، ریخت‌شناسی و اکولوژیکی متنوع می‌باشد (۳). در بررسی صفات ریخت‌شناسی درختان، برگ‌ها از مهم‌ترین اندام‌ها به شمار می‌روند (٤). صفات برگ می‌توانند به‌واسطه مکانیسم‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی یا توسعه‌ای شایستگی (fitness) درخت را تحت‌تأثیر قرار دهد (٥). برخی از پژوهش‌گران (٦، ۷ و ۸) معتقدند که تحمل به تنش خشکی از طریق اصلاح صفات مورفولوژیک و مورفوفیزیولوژیک امکان‌پذیر است؛ پس ارزیابی صفات ریخت‌شناسی در شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط محیطی یک منطقه می‌تواند مؤثر باشد. این اندام در بررسی تنوع ژنتیکی صنوبرها نیز مورد استفاده بوده است (۹، ۱۰ و ۱۱). تعدادی از پژوهش‌گران از ویژگی‌های برگ به‌منظور تفکیک ژنتیکی گونه‌های یک جنس گیاهی استفاده کرده‌اند (۱۲ و ۱۳). گونه‌های صنوبر تنوع زیادی در ویژگی‌های برگ از خود نشان می‌دهند (١٤ و ١٥). ازاین‌رو برخی پژوهش‌گران ویژگی‌های برگ را به‌دلیل سادگی و ارزان بودن در مطالعات تنوع ژنتیکی مورد استفاده قرار داده و نسبت به سایر روش‌ها از این نظر ارجح دانسته‌اند (١٥). کاسلا و سلمنس (۲۰۰۲) گزارش نمودند که در کلن‌های *Populus trichocarpa* Torr. & Gray × *Populus deltoides* Bartr. & Marsh (Hoo) و *Populus trichocarpa* Torr. & Gray (Fri)، وزن خشک برگ در واحد سطح آن با افزایش نور از حدود ٥٦ گرم بر مترمربع در پایین تاج تا ١٦٢ گرم در مترمربع در بالای تاج زیاد می‌شود (١٦)؛ بنابراین صفات ریخت‌شناسی برگ علاوه بر تفاوت‌های ژنتیکی می‌توانند در مواردی نشانگر شرایط محیطی نیز باشند. علی‌محمدی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی‌های ریخت‌شناسی، صفات متعددی از برگ را در گونه *P. nigra* مورد مطالعه قرار داده و تنوع زیادی را در بین ۱۲ نمونه مورد بررسی مشاهده نمودند. این پژوهش‌گران با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و با اتکا بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ توانستند توده‌های دو استان مختلف را از هم تفکیک کنند (۱۷). به‌عبارت‌دیگر تنوع موجود در ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ می‌تواند در ارزیابی کلن‌های مختلف گونه‌های صنوبر با اهداف اصلاحی به کار گرفته شود. درمجموع بررسی ویژگی‌های برگ در صنوبرها علاوه بر آن‌که به تفکیک کلن‌های مختلف در بین یک‌گونه کمک می‌کند، می‌تواند در برآورد تولید و رویش درختان نیز مؤثر واقع شود. با توجه به این مسأله، پژوهش حاضر به هدف طبقه‌بندی کلن‌های صنوبر اورامریکن (*Populus* × *euramericana*)، دلتوییدس (*Populus deltoides*)، نیگرا (*Populus nigra*) و کبوده (*Populus alba*) از نظر صفات ریخت‌شناسی برگ و هم‌چنین بررسی نوع و شدت ارتباط صفات رویشی (قطر برابر سینه، ارتفاع کل و مساحت تاج) درختان بالغ با صفات ریخت‌شناسی برگ آن‌ها در شرایط اقلیمی کرج و در محل کلکسیون کلن‌های مختلف در ایستگاه تحقیقاتی البرز مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محل انجام این تحقیق ایستگاه تحقیقات البرز می‌باشد که در جنوب شهر کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤٨ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥٠ درجه و ٥٤ دقیقه شرقی و ارتفاع از

سطح دریای ۱۳۰۰ متر واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه در این ناحیه ۲۳۰ میلی‌متر، حداقل مطلق درجه حرارت ۲۱/۷- درجه سانتی‌گراد، حداکثر مطلق درجه حرارت ٤١ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد است. ضریب خشکی ۹/۵ (طبق رابطه دومارتن) بوده و طبقه آب و هوایی نیمه‌خشک می‌باشد. خاک ایستگاه از رسوبات آبرفتی شنی رسی با عمق متوسط ۷۰ سانتی‌متر تشکیل شده و به‌طورکلی خاک سبکی است. pH آن برابر ۸/۳ و فاقد شوری، گچ و آهک می‌باشد (۱۸).

روش پژوهش: برای انجام این بررسی ١٤ کلن شامل چهار کلن *Populus deltoides*، چهار کلن *P. nigra*، چهار کلن *P. euramericana* و دو کلن *P. alba* از کلکسیون پایه‌های مادری صنوبر در ایستگاه تحقیقاتی البرز مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انتخاب شد (جدول ۱). این کلکسیون شامل ۱۰۰ کلن از گونه‌های مختلف صنوبر می‌باشد که در سال ۱۳۸۸ با کاشت ۹ پایه از هر کلن احداث شده است. از هر کلن ۳ پایه به‌صورت تصادفی انتخاب و در اواسط فصل رویش سال ۱۳۹۵ صفات ریخت‌شناسی کلن‌ها شامل طول برگ، حداکثر پهنای برگ، فاصله بن برگ تا محل حداکثر پهنا بر روی برگ، سطح برگ، ضخامت برگ، طول دمبرگ، زاویه نوک برگ، زاویه قاعده برگ در محل اتصال به دمبرگ، زاویه بین رگبرگ اصلی و دومین رگبرگ فرعی، وزن تر برگ و وزن خشک آن با استفاده از روش اسلایخن (۱۹) و دستورالعمل ملی آزمون‌های تمایز، یکنواختی و پایداری در صنوبر (۲۰) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. به‌این‌ترتیب که از هر پایه پنج برگ (۳ پایه × ۵ برگ= ۱۵ برگ در مورد هر کلن) و مجموعاً ۲۱۰ برگ در جهت جنوبی و در ارتفاع میانی درخت (بین ۳ تا ۸ متر از سطح زمین) جمع‌آوری شد و سپس صفات ذکرشده در بالا ثبت گردید. سطح ویژه برگ (۲۱) و درصد ماده خشک نیز با استفاده از روابط ۱ و ۲ به شرح زیر محاسبه شدند:

$$SLA = \frac{LA}{DW} \qquad (۱)$$

$$DM\% = \frac{DW}{WM} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، SLA سطح ویژه برگ (سانتی‌مترمربع بر گرم)، LA سطح برگ (سانتی‌مترمربع)، DW وزن خشک برگ (گرم)، DM% درصد ماده خشک، WM وزن تر برگ (گرم).

هم‌چنین در اواخر فصل رویش در مورد سه‌پایه مربوط به هر کلن که نمونه‌گیری از برگ آن‌ها انجام شده بود، قطر برابر سینه، ارتفاع کل درخت و شعاع تاج در هریک از جهت‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی ثبت گردید و درنهایت بر مبنای میانگین شعاع، قطر تاج محاسبه شد. لازم به ذکر است فاصله کاشت درختان به شکلی بود که در زمان اندازه‌گیری شعاع تاج، تداخل و رقابت نوری میان تاج پایه‌های مختلف وجود نداشت.

به‌منظور تحلیل داده‌ها نخست صفات ریخت‌شناسی برگ با استفاده از تحلیل خوشه‌ای بر مبنای فاصله اقلیدسی برای محاسبه تشابه و روش واردز (۲۲) طبقه‌بندی شدند. سپس در قالب طرح آزمایش‌های آشیانه‌ای (Fully nested) و با کمک نرم‌افزار Minitab، ویژگی‌های ریخت‌شناسی برگ‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برمبنای درصد تبیین واریانس، مهم‌ترین صفات ریخت‌شناسی برگ تعیین گردیدند. علاوه بر این با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، به دو طریق محاسبه همبستگی صفات با مؤلفه‌های اصلی (۲۳ و ٢٤) و رگرسیون چندگانه صفت‌های برگ با محورهای اصلی (envi-fit) (۲۵) با استفاده از نرم‌افزارهای PC-Ord و R مهم‌ترین

صفات ریخت‌شناسی برگ در تفکیک کلن‌ها تعیین گردیدند. در انتها میانگین صفات ریخت‌شناسی در گروه‌های حاصل از تحلیل خوشه‌ای با استفاده از آزمون دانت تی ۳ مورد مقایسه قرار گرفتند تا صحت نتایج حاصل از سه روش تأیید شود. در انتها به‌منظور بررسی نوع ارتباط میان صفات رویشی درختان بالغ (قطر برابر سینه، ارتفاع کل و مساحت تاج) با صفات ریخت‌شناسی برگ، ضریب همبستگی دوگانه پیرسون محاسبه شد.

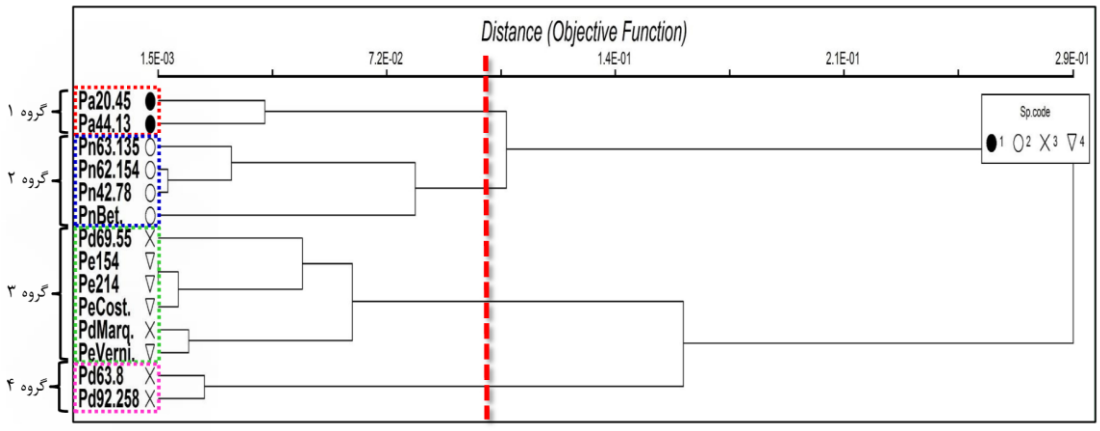
جدول ۱- فهرست کلن‌های مورد مطالعه در کلکسیون ارقام صنوبر ایستگاه تحقیقات البرز (مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور).

Table 1. List of the clones studied from the collection of poplar in Alborz research station of Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR).

نام کلن Clone name	علامت اختصاری Abbreviation sign	نام کلن Clone name	علامت اختصاری Abbreviation sign
Populus alba 20.45	P.a. 20.45	*P. euramericana* 214	P.e. 214
P. alba 44.13	P.a. 44.13	*P. euramericana* costanzo	P.e. Cost.
P. deltoides 63.8	P.d. 63.8	*P. euramericana* vernirubensis	P.e. Verni.
P. deltoides 69.55	P.d. 69.55	*P. nigra* 42.78	P.n. 42.78
P. deltoides 92.258	P.d. 92.258	*P. nigra* 62.154	P.n. 62.154
P. deltoides Marquette	P.d. Marq.	*P. nigra* 63.135	P.n. 63.135
P. euramericana 154	P.e. 154	*P. nigra* betulifolia	P.n. Bet.

نتایج و بحث

با کمک تحلیل خوشه‌ای و به‌طور تجربی (۲۶) چهار گروه تفکیک گردید؛ به‌این‌ترتیب که کلن‌های کبوده و نیگرا هر یک به‌طور کامل در یک گروه (گروه‌های ۱ و ۲) و کلن‌های اورامریکن به همراه دو کلن دلتوییدس در گروه ۳ و دو کلن دلتوییدس باقی‌مانده در گروه ٤ جای گرفتند (شکل ۱).



شکل ۱- نتایج خوشه‌بندی کلن‌های صنوبر بر مبنای صفت‌های ریخت‌شناسی برگ.

Figure 1. Results of cluster analyses based on leaf morphological traits.

در تحلیل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، محورهای اول و دوم به دلیل آن‌که درمجموع ۷۱/۳۳ درصد از تغییرات را تبیین نمودند به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته شدند. سپس مهم‌ترین صفات برگ با روش محاسبه همبستگی صفت‌ها با محورها، طول برگ، حداکثر پهنای برگ، طول دمبرگ، زاویه‌های نوک و بن برگ، زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی، سطح ویژه و سطح برگ، وزن خشک و درصد ماده خشک (جدول‌های ۲ و ۵) و با استفاده از رگرسیون چندگانه صفت‌ها با محورهای اصلی، مشخصه‌های طول برگ، سطح برگ، حداکثر پهنای برگ، وزن خشک برگ و طول دمبرگ تعیین گردید (جدول‌های ۳ و ۵، شکل ۲) که با توجه به‌دقت بیش‌تر روش اخیر و همپوشانی نتایج آن با روش اول، این پنج صفت به‌عنوان اثرگذارترین صفات در تفکیک کلن‌ها از یکدیگر در نظر گرفته و با استفاده از آن‌ها کلید شناسایی ۱٤ کلن مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۳). مقایسه میانگین‌های پنج مشخصه برگ مورد اشاره و انطباق نتایج آن با تحلیل خوشه‌بندی، صحت نتایج را بیش‌ازپیش تأیید می‌کند (جدول‌های ٤ و ۵).

جدول ۲- همبستگی صفات برگ با مؤلفه‌های اصلی.

Table 2. Correlation coefficients of leaf morphological traits with main axes.

مؤلفه اصلی دوم Axis 2	مؤلفه اصلی اول Axis 1	علامت اختصاری Abbreviation sign	صفت Trait
0.092^{ns}	-0.958**	LL	طول برگ (میلی‌متر) Leaf Length (mm)
-0.042^{ns}	-0.973**	MLW	حداکثر پهنای برگ (میلی‌متر) Maximum leaf width (mm)
-0.504^{ns}	0.227^{ns}	BtMW	فاصله بین بن برگ تا حداکثر پهنای برگ (میلی‌متر) Distance between the base to the maximum width of leaf (mm)
-0.298^{ns}	-0.910**	PL	طول دمبرگ (میلی‌متر) Petiole length (mm)
-0.493^{ns}	-0.468^{ns}	TL	ضخامت برگ (میلی‌متر) Leaf thickness (mm)
-0.583*	-0.402^{ns}	LAiA	زاویه نوک برگ (درجه) Leaf apex angle (Degree)
-0.351^{ns}	-0.549*	LBA	زاویه بُن برگ (درجه) Leaf base angle (Degree)
0.378^{ns}	-0.625*	SVtMA	زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی (درجه) Angle of the second vein with midrib (Degree)
-0.099^{ns}	-0.965**	LA	سطح برگ (میلی‌متر مربع) Leaf Area (mm^2)
-0.256^{ns}	-0.935**	DW	وزن خشک (گرم) Dry weight (gr)
0.853**	-0.012^{ns}	SLA	سطح ویژه برگ (سانتی‌مترمربع بر گرم) Specific leaf area (cm^2gr^{-1})
-0.623*	0.485^{ns}	DM	ماده خشک برگ (درصد) Dry mass (%)

**، * و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

**, * and ^{ns} indicate a significant difference at 99%, 95% level and no significant difference, respectively

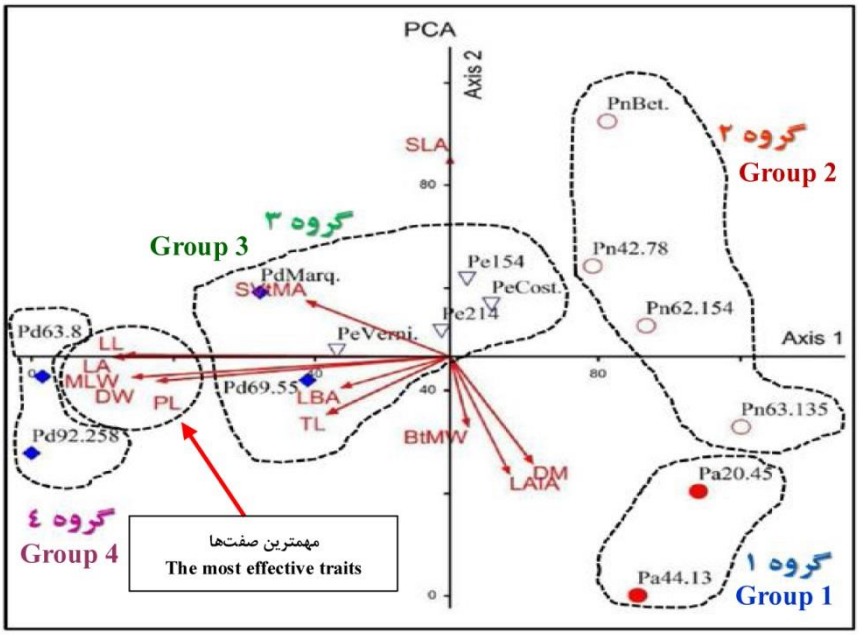
جدول ۳- نتایج رگرسیون چندگانه صفت‌های برگ با دو مؤلفه اصلی (**Envi-fit**).

Table 3. Results of multiple regression for the leaf morphological traits with the two main axes (Envi-fit).

معنی‌داری P-value	ضریب تبیین R^2	مؤلفه اصلی ۲ Axis 2	مؤلفه اصلی ۱ Axis 1	صفت Trait
0.012*	0.903	0.255	0.967	LL (mm)
0.012*	0.913	0.124	0.992	MLW (mm)
0.480^{ns}	0.438	-0.977	-0.211	BtMW (mm)
0.012*	0.966	-0.211	0.978	PL (mm)
0.636^{ns}	0.435	-0.317	0.948	TL (mm)
0.144^{ns}	0.673	-0.897	-0.442	LAiA (Degree)
0.840^{ns}	0.381	-0.500	0.866	LBA (Degree)
0.060^{ns}	0.597	0.701	0.713	SVtMA (Degree)
0.012*	0.935	0.098	0.995	LA (mm^2)
0.012*	0.911	-0.099	0.995	DW (gr)
0.096^{ns}	0.601	0.984	-0.180	SLA (cm^2gr^{-1})
0.360^{ns}	0.501	-0.842	-0.540	DM (%)

* و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

* and ^{ns} indicates significant differences at 95% and no significant difference, respectively



شکل ۲- تلفیق نتایج خوشه‌بندی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی نمودار دوپلاتی.

Figure 2. Combination of the results of clustering analysis and PCA on biplot diagram.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس طرح آشیانه‌ای در مورد تفاوت‌های صفات برگ.

Table 4. Results of nested design ANOVA for the leaf morphological traits.

صفت Trait	منابع تغییرات Sources of variations	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	درصد تبیین واریانس Percentages of the variance components
طول برگ (LL)	کلن (Clone)	3451.9	11.69	0.000**	64.6
	درخت (Tree)	295.4	4.19	0.000**	13.8
	خطا (Error)	70.5			21.6
حداکثر پهنای برگ (MLW)	کلن (Clone)	5783.1	13.95	0.000**	71.9
	درخت (Tree)	414.5	5.79	0.000**	13.8
	خطا (Error)	71.6			14.4
فاصله بن تا حداکثر پهنای برگ (BtMW)	کلن (Clone)	111.6	2.91	0.009**	23.6
	درخت (Tree)	38.4	3.78	0.000**	27.3
	خطا (Error)	10.1			49.1
زاویه نوک برگ (LAiA)	کلن (Clone)	0.173	23.8	0.000**	82.3
	درخت (Tree)	0.007	6.3	0.000**	9.1
	خطا (Error)	0.001			8.6
زاویه بن برگ (LBA)	کلن (Clone)	0.036	5.7	0.000**	52.6
	درخت (Tree)	0.006	9.9	0.000**	30.4
	خطا (Error)	0.001			17.0
زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی (SVtMA)	کلن (Clone)	0.029	7.7	0.000**	56.6
	درخت (Tree)	0.004	5.6	0.000**	20.8
	خطا (Error)	0.001			22.7
سطح برگ (LA)	کلن (Clone)	0.196	14.4	0.000**	72.0
	درخت (Tree)	0.014	5.4	0.000**	13.1
	خطا (Error)	0.003			15.0
وزن خشک (DW)	کلن (Clone)	0.011	11.9	0.000**	70.5
	درخت (Tree)	0.001	7.7	0.000**	16.9
	خطا (Error)	0.000			12.6
سطح ویژه برگ (SLA)	کلن (Clone)	4519.5	5.7	0.000**	50.7
	درخت (Tree)	793.4	7.6	0.000**	28.1
	خطا (Error)	104.0			21.2

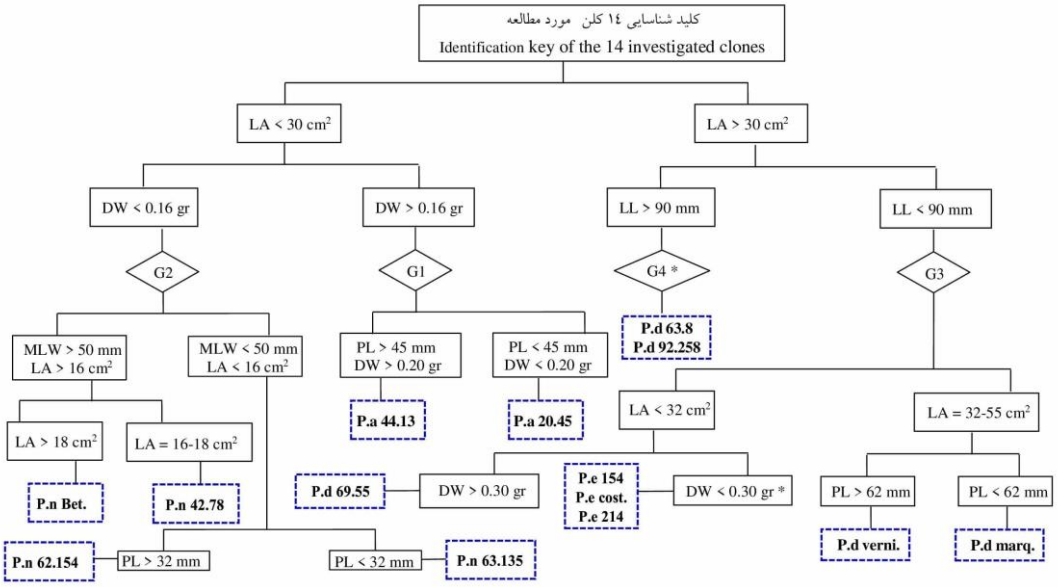
ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

صفت Trait	منابع تغییرات Sources of variations	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	درصد تبیین واریانس Percentages of the variance components
ماده خشک (DM)	کلن (Clone)	133.6	2.3	0.031*	7.0
	درخت (Tree)	57.8	0.9	0.670^{ns}	0.0
	خطا (Error)	67.1			93.0
طول دمبرگ (PL)	کلن (Clone)	3967.1	7.66	0.000**	60.2
	درخت (Tree)	518.1	8.55	0.000**	24.0
	خطا (Error)	60.6			15.9
ضخامت برگ (TL)	کلن (Clone)	0.0002	5.1	0.000**	47.9
	درخت (Tree)	0.0000	8.2	0.000**	30.8
	خطا (Error)	0.0000			21.3

در مورد تمام صفت‌ها درجه آزادی برای کلن، درخت و خطا به ترتیب ۱۳، ۲۸ و ۱٦۸ می‌باشد؛ **، * و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

Degree of freedom for clone, tree and error are 13, 28 and 168, respectively; **, * and ^{ns} indicate a significant difference at 99%, 95% level and no significant difference, respectively



شکل ۳- کلید شناسایی ١٤ کلن مورد مطالعه بر مبنای پنج صفت طول برگ، سطح برگ، حداکثر پهنای برگ، وزن خشک برگ و طول دمبرگ.

*** تشخیص این کلن‌ها صرفاً با صفت‌های ریخت‌شناسی برگ ممکن نیست؛ G= گروه حاصل از تحلیل خوشه‌ای**

Figure 3. Identification key of the 14 investigated clones based on the five leaf traits of length, area, maximum width, and dry weight besides petiole length.

*** Identification of these clones is impossible only based on leaf morphological traits; G= Groups resulted from cluster analysis**

جدول ۵- مقایسه میانگین مقادیر مهم‌ترین صفت‌های ریخت‌شناسی برگ تعیین‌شده با سه روش محاسبه همبستگی صفات با مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون چندگانه صفت‌های برگ با محورهای اصلی (envi-fit) و محاسبه درصد تبیین واریانس طرح آشیانه‌ای در گروه‌های مختلف حاصل از روش خوشه‌بندی.

Table 5. The comparison of the most important leaf morphological traits calculated by three methods of PCA, Envi-fit, and estimation of the variance percentages components in fully nested design experiments among the groups resulted by clustering analyses.

روش تعیین مهم‌ترین صفت‌های ریخت‌شناسی برگ Method of determining the important leaf morphological traits		محاسبه همبستگی صفات با مؤلفه‌های اصلی (PCA) محاسبه درصد تبیین واریانس طرح آشیانه‌ای Estimation of the percentages variance components in fully nested design روش رگرسیون چندگانه صفت‌های برگ با محورهای اصلی (envi-fit)										صفاتی که در هیچ‌یک از روش‌ها به‌عنوان صفات مهم طبقه‌بندی نشدند The traits considered as unimportant in all methods
گروه‌های تحلیل خوشه‌ای	کلن	LL (mm)	LA (mm^2)	MLW (mm)	DW (gr)	PL (mm)	LAiA (Degree)	LBA (Degree)	SVtMA (Degree)	SLA (cm^2gr^{-1})	DM (%)	BtMW (mm)	TL (mm)
Cluster Group	Clone												
1	P.a 20.45	56.08 ^{gh}	1876 ^{d}	52.12 ^{def}	0.17 ^{fg}	38.55 ^{def}	163.4 ^{a}	193.9 ^{ab}	40.2 ^{cd}	118.6 ^{bcd}	38.0 ^{a}	21.36 ^{cd}	0.13 ^{d}
1	P.a 44.13	57.81 ^{fgh}	1965 ^{d}	50.95 ^{ef}	0.23 ^{def}	53.46 ^{bc}	87.9 ^{b}	172.5 ^{b}	34.0 ^{d}	87.8 ^{f}	36.3 ^{ab}	26.15 ^{abc}	0.16 ^{ab}
2	P.n 63.135	49.81 ^{h}	1286 ^{e}	47.07 ^{f}	0.15 ^{g}	28.29 ^{f}	42.0 ^{c}	105.4 ^{d}	34.1 ^{d}	92.7 ^{f}	35.0 ^{abc}	19.33 ^{de}	0.17 ^{a}
2	P.n 62.154	65.50 ^{defg}	1548 ^{de}	47.40 ^{ef}	0.15 ^{fg}	37.19 ^{ef}	26.6 ^{e}	111.1 ^{d}	42.3 ^{c}	110.5 ^{cde}	35.3 ^{ab}	18.51 ^{de}	0.13 ^{cd}
2	P.n 42.78	65.46 ^{defg}	1785 ^{de}	50.68 ^{ef}	0.14 ^{g}	28.71 ^{f}	34.1 ^{cd}	147.0 ^{c}	53.0 ^{b}	132.4 ^{bc}	33.6 ^{abcd}	18.65 ^{de}	0.15 ^{b}
2	P.n Bet.	63.50 ^{efg}	1863 ^{d}	53.43 ^{de}	0.13 ^{g}	32.12 ^{f}	32.9 ^{de}	144.9 ^{c}	49.5 ^{b}	152.0 ^{a}	27.6 ^{d}	18.37 ^{de}	0.12 ^{d}
3	P.d 69.55	68.87 ^{de}	3131 ^{c}	70.23 ^{bc}	0.31 ^{cd}	58.05 ^{ab}	39.0 ^{cd}	223.1 ^{a}	71.6 ^{a}	100.3 ^{ef}	34.1 ^{abcd}	14.91 ^{e}	0.16 ^{ab}
3	P.d Marq.	87.41 ^{ab}	4938 ^{ab}	88.07 ^{ab}	0.39 ^{bc}	59.86 ^{ab}	27.4 ^{de}	155.0 ^{bc}	48.5 ^{bc}	126.1 ^{abc}	29.9 ^{bcd}	19.03 ^{de}	0.15 ^{b}
3	P.e Verni.	83.17 ^{bc}	3606 ^{bc}	74.61 ^{bc}	0.31 ^{cde}	66.42 ^{ab}	29.0 ^{de}	158.9 ^{bc}	50.1 ^{b}	121.4 ^{bc}	31.8 ^{abcd}	22.46 ^{abcd}	0.15 ^{b}
3	P.e 154	71.66 ^{cd}	2738 ^{c}	63.60 ^{cd}	0.22 ^{cdef}	49.24 ^{bcd}	31.9 ^{de}	127.7 ^{cd}	59.0 ^{ab}	128.1 ^{bc}	35.4 ^{ab}	16.99 ^{e}	0.15 ^{b}
3	P.e Cost.	68.43 ^{de}	2808 ^{c}	70.91 ^{bc}	0.23 ^{def}	44.29 ^{cde}	31.3 ^{de}	127.0 ^{cd}	48.9 ^{bc}	129.5 ^{bc}	32.8 ^{abcd}	21.75 ^{bcd}	0.15 ^{b}
3	P.e 214	74.85 ^{bcd}	2771 ^{c}	65.61 ^{cd}	0.25 ^{cdef}	47.51 ^{bcde}	33.9 ^{cde}	157.9 ^{bc}	54.2 ^{b}	118.3 ^{bcd}	33.8 ^{abcd}	19.35 ^{de}	0.14 ^{bc}
4	P.d 63.8	98.79 ^{ab}	6763 ^{a}	103.25 ^{a}	0.59 ^{ab}	77.89 ^{a}	36.6 ^{cd}	217.3 ^{ab}	55.0 ^{b}	123.3 ^{abc}	28.2 ^{cd}	20.83 ^{d}	0.16 ^{ab}
4	P.d 92.258	99.88 ^{a}	6924 ^{a}	105.05 ^{a}	0.70 ^{a}	75.27 ^{a}	30.8 ^{de}	174.9 ^{ab}	56.2 ^{ab}	100.7 ^{def}	33.9 ^{abcd}	17.70 ^{de}	0.18 ^{a}

حروف مشابه در جدول بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد

Similar letters indicate no significant difference at 95% level

تعیین صفات مهم به‌منظور تفکیک کلن‌های مختلف، اهمیت زیادی در اصلاح گونه‌های مختلف صنوبر دارد. سعیدی و آزادفر (۲۰۱۱)، طول دمبرگ را بیش‌تر از ۵۰ درصد تحت‌تأثیر ژنتیک پایه‌ها ارزیابی نمودند و این صفت را همراه با هفت صفت ریخت‌شناسی و آناتومیکی دیگر در تفکیک گونه‌های صنوبر اورآمریکان (*P. euramericana*) و دلتوییدس (*P. deltoides*) موفق دانستند (۱۵). طاوسی‌راد و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور تشخیص خانواده‌های حاصل از دورگ‌گیری میان‌پایه‌های پده (*P. euphratica*) و کبوده (*P. alba*) در نهال‌های دوساله، صفات مختلفی ازجمله طول برگ را مؤثر ارزیابی نمودند (۲۷). در پژوهش‌های انجام‌شده در شرایط نسبتاً یکسان نهالستان بر روی خصوصیات رویشی و ریخت‌شناسی قلمه‌های ریشه‌دار پده (*P. euphratica*) با مبادی جغرافیایی مختلف (۲۸ و ۲۹)، دورگ‌های صنوبر کبوده و پده (۳۰) و هم‌چنین صفات ریخت‌شناسی برگ قلمه‌های ریشه‌دار سفیدپلت (*P. caspica*) با مبدأ جغرافیایی متفاوت در سال اول رویش (۳۱)، صفات مختلفی ازجمله طول برگ، حداکثر پهنای برگ، طول دمبرگ، ضخامت برگ، سطح برگ و سطح ویژه برگ به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر در تفکیک ژنوتیپ‌ها گزارش شده‌اند که تا حد زیادی با نتایج این پژوهش منطبق است؛ بنابراین با توجه به شباهت نتایج این پژوهش با مطالعات مذکور، می‌توان گفت که به‌احتمال‌زیاد پنج صفت مورد اشاره در تشخیص کلن‌ها در جنس صنوبر مفید بوده و می‌توان از آن‌ها برای تشخیص کلن‌ها از یکدیگر و هم‌چنین مقایسه نسل‌های بعدی با پایه‌های مادری خود در آزمایش‌ها نتایج پایه‌های بذرده گونه‌های مختلف صنوبر استفاده نمود. بااین‌حال ترسیم کلید شناسایی نشان داد که تشخیص برخی کلن‌های دلتوییدس و هم‌چنین اورآمریکن از یکدیگر (*P. deltoides* 63.8 و P.d 92.258 در گروه ٤ و کلن‌های *P. euramericana* 154، P.e 214 و P.e costanzo در گروه ۳) با اتکای صرف به صفات ریخت‌شناسی برگ دشوار است و لازم است مشخصه‌های دیگری مانند شکل تنه و پوست درخت و هم‌چنین فرم تاج نیز در تفکیک آن‌ها مورد نظر قرار گیرد (شکل ۳).

از صفت‌های مؤثر در تفکیک کلن‌های مورد بررسی در این پژوهش سطح ویژه برگ و سطح برگ می‌باشند. مطالعه تنوع ویژگی‌های برگ سه گونه صنوبر توسط اسدی و همکاران (۲۰۰٤) نشان داد که برخی از صفات برگ ارتباط زیادی با تولید دارند و می‌توان از آن در گزینش غیرمستقیم استفاده نمود (۹). به‌عنوان‌مثال سرعت فتوسنتز با سطح ویژه برگ و محتوای نیتروژن آن مرتبط است (۳۲). هم‌چنین سطح برگ کل همبستگی زیادی با زیست‌توده کل داشته و می‌تواند به‌عنوان تعیین‌کننده تولید در صنوبرها مورد توجه قرار گیرد (۳۳، ۳٤، ۳۵ و ۳٦). به‌طورکلی می‌توان گفت که برای تولید، سطح برگ و سطح ویژه برگ نسبت به صفات مربوط به رویش برگ، شاخص‌های بهتری می‌باشند (۳۷). نتایج مطالعه علی‌محمدی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در صنوبر نیگرا (*P. nigra*) مجموع سطح برگ با ارتفاع درخت همبستگی مثبت زیادی دارد (۳۸). در این پژوهش، احتمالاً به دلیل آن‌که کلن‌های مورد بررسی از گونه‌های مختلف بودند، برخلاف مطالعات مورد اشاره، محاسبه ضرایب همبستگی دوگانه پیرسون نشان داد که به‌جز صفات ضخامت برگ، زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی و زاویه نوک برگ، سایر صفات ریخت‌شناسی با مشخصه‌های رویشی قطر برابر سینه و ارتفاع کل هیچ همبستگی معنی‌داری نداشتند. برعکس صفات ریخت‌شناسی مربوط به ابعاد (طول برگ، حداکثر پهنای برگ، طول دمبرگ، ضخامت، سطح) و وزن خشک برگ به همراه زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی، با سطح تاج‌پوشش همبستگی مثبت معنی‌دار داشت (جدول ٦). این بدان معناست که به‌طورکلی با افزایش مساحت تاج در کلن‌های مورد مطالعه بر ابعاد و وزن برگ افزوده می‌شود. مساحت تاج‌پوشش درواقع نمودی از زاویه

شاخه است. به‌عبارت‌دیگر در شرایط محیطی و در مورد درختان هم‌سن، هرچه زاویه شاخه بازتر باشد، مساحت تصویر تاج نیز بیش‌تر خواهد بود. به اعتقاد بسیاری از پژوهش‌گران، توارث‌پذیری صفت زاویه شاخه بالاست (۳۹، ٤٠، ٤١ و ٤٢) و تأثیر محیط در بروز این صفت کم است (٤٣). به‌ویژه در جنس صنوبر، ژنوتیپ تأثیر مهمی در معماری تاج گیاه دارد (٤٤). برخی مطالعات در محیط‌های یکسان واقع در مناطق استوایی مرطوب، نشان داده‌اند که جای‌گذاری برگ و زاویه‌ی شاخه در کارایی جذب نور بسیار اثرگذار هستند (٤٥، ٤٦، ٤٧). ازاین‌رو استنباط می‌شود که در تاج‌های بازتر که از سطح بیش‌تری هم برخوردارند، گیاه برای افزایش کارایی فتوسنتز و جذب بیش‌تر و بهتر نور خورشید بر ابعاد و وزن خشک برگ می‌افزاید و در مقابل در تاج‌های بسته با کاهش ابعاد برگ و احتمالاً افزایش تعداد برگ به قابلیت خود در به دام انداختن نور اضافه می‌نماید. به‌بیان‌دیگر هرچند به نظر می‌رسد تصویر افقی تاج و به‌تبع آن زاویه شاخه بیش‌تر به سازگاری درخت با شرایط محیطی موطن اصلی آن بازمی‌گردد که جنبه ژنتیکی یافته است اما درخت با تغییر در صفات ریخت‌شناسی برگ خود میان زاویه شاخه و کارایی بهینه فتوسنتز در راستای افزایش مطلوب تولید تعادل ایجاد می‌نماید. زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی بیش‌تر یک صفت ژنتیکی است (۱۹) و ازآنجایی‌که در کلن‌های تاج‌دار (به‌طور مشخص صنوبرهای اورآمریکن و دلتوییدس) عموماً رقم این صفت بیش‌تر است (جدول ٦)، با سطح تاج همبستگی مثبت نشان داده است.

صفات زاویه رگبرگ دوم با رگبرگ اصلی و زاویه نوک برگ به نظر می‌رسند بیش‌تر تحت‌تأثیر ساختار ژنتیکی باشند تا شرایط محیطی و به همین دلیل این دو صفت در تفکیک کلن‌های مختلف صنوبر به کار گرفته می‌شوند (۱۹)؛ بنابراین باوجود همبستگی معنی‌دار منفی میان این دو صفت با قطر برابر سینه، نمی‌توان لزوماً قطر برابر سینه را با صفات مذکور مرتبط دانست و برای تفسیر این نتیجه به مطالعات بیش‌تری نیاز است.

جدول ٦- ضرایب همبستگی پیرسون میان صفات رویشی درخت و ریخت‌شناسی برگ در ١٤ کلن مورد مطالعه.

Table 6. Pearson correlation coefficient between the tree growth and leaf morphological traits for the 14 investigated clones.

مساحت تصویر افقی تاج (مترمربع) Crown Horizontal Projection Area (m^2)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارتفاع کل (متر) Total Tree Height (m)	صفت Trait
0.376^{*}	-0.075^{ns}	-0.147^{ns}	LL (mm)
0.537^{**}	-0.154^{ns}	-0.211^{ns}	MLW (mm)
-0.03^{ns}	-0.308^{*}	-0.235^{ns}	BtMW (mm)
0.510^{**}	-0.205^{ns}	-0.260^{ns}	PL (mm)
0.413^{**}	-0.273^{ns}	-0.308*	TL (mm)
-0.037^{ns}	-0.360^{*}	-0.209^{ns}	LAiA (Degree)
0.285^{ns}	-0.285^{ns}	-0.125^{ns}	LBA (Degree)
0.315^{*}	0.005^{ns}	-0.008^{ns}	SVtMA (Degree)
0.491^{**}	-0.163^{ns}	-0.171^{ns}	LA (mm^2)
0.538^{**}	-0.160^{ns}	-0.206^{ns}	DW (gr)
-0.189^{ns}	0.121^{ns}	0.273^{ns}	SLA (cm^2gr^{-1})
-0.094^{ns}	-0.093^{ns}	-0.222^{ns}	DM (%)

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

**, * and ns indicate a significant difference at 99%, 95% level and no significant difference, respectively

نتیجه‌گیری

با توجه به ناجوربرگی جنس صنوبر و شباهت زیاد برگ کلن‌ها در گونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، پنج صفت کلیدی برگ شامل طول، سطح، حداکثر پهنا و وزن خشک همراه با طول دمبرگ به‌عنوان صفات شاخص در تشخیص ١٤ کلن مورد مطالعه تعیین شدند؛ بنابراین با اندازه‌گیری این صفات می‌توان کلن‌های کاشته‌شده در زمین‌های کشاورزی توسط مردم را تا حد زیادی شناسایی نمود. هرچند تفکیک کلن‌های دلتوییدس *P. deltoides* 63.8 و P.d 92.258 و کلن‌های اورآمریکن *P. euramericana* 154، P.e 214 و P.e costanzo صرفاً با مشخصه‌های ریخت‌شناسی مذکور امکان‌پذیر نشد و بنابراین لازم است که صفات دیگری نیز علاوه بر ریخت‌شناسی برگ در تشخیص آن‌ها از یکدیگر مورد توجه قرار گیرند. هم‌چنین طبق نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که سطح تاج بیش از رویش قطری و ارتفاعی بر ابعاد برگ اثرگذار است. ازاین‌رو دست‌کم در مورد کلن‌های مورد بررسی در این پژوهش، صفات ریخت‌شناسی برگ نمی‌تواند معیاری جهت ارزیابی رشد قطری و ارتفاعی درختان بالغ صنوبر باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از آقای دکتر محسن کلاگری، رئیس بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور که امکان انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند و همین‌طور آقای مسعود جلیلیان به دلیل همکاری در انجام آماربرداری این پژوهش کمال امتنان را دارند.

منابع

1.Dillen, S.Y., El Kasmioui, O., Marron, N., Calfapietra, C., and Ceulemans, R. 2011. Poplar. P 275-300. In: N.G. Halford and A. Karp (eds). Energy Crops. RSC Publishing. Cambridge. UK.
2.Karp, A., and Shield, I. 2008. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. The New Phytologist. 179: 15-32.
3.Eckenwalder, J.E. 1996. Systematics and evolution of *Populus*. P 7-32. In: R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, P.E. Heilman and T.M. Hinckley (eds). Biology of *Populus* and Its Implications for Management and Conservation. NRC Research Press. Ottawa. Ontario. Canada.
4.Wang, Y.F., Ferguson, K.D., Zetter, R., Denk, T., and Garfi, G. 2001. Leaf architecture and epidermal characters in *Zelkova*, *Ulmaceae*. Botanical J. of the Linnean Society. 136: 255-265.
5.Donovan, L.A., Maherali, H., Caruso, C.M., Huber, H., and de Kroon, H. 2011. The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. Trends in Ecology & Evolution (Personal edition). 26: 2. 88-95.
6.Ledent, J.F., and Moss, D.N. 1979. Relation of morphological characters and shoot yield in wheat. Crop science. 19: 445-451.
7.Quarrie, S.A., Stojanovic, J., and Pekic, S. 1999. Improving drought tolerance in small-grain cereals: A case study, progress and prospects. Plant Growth Regulation. 29: 1-21.
8.Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regulation. 20: 157-166.
9.Asadi, F., Mirzaei-Nadoshan, H., Modirrahmati, A., and Naderi-Shahab, M.A. 2004. Using of morphological markers in *Populus* colons differentiation. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 12: 267-300. (In Persian)
10.Barnes, B.V. 1975. Phenotypic variation of trembling aspen in western North America. Forest Science. 21: 319-328.
11.Homaie, M., Mirzaie-Nodoushan, H., Asadicorom, F., Bakhshi-Khaniki, Gh.R., and Calagari, M. 2014. Evaluation of half-sib progenies and

their parents of *Populus euphratica* based on their morphologic and micro-morphologic traits. Iranian J. of Forest and Poplar Research, 21: 4. 768-779. (In Persian)

12. Harris, P.J.C., Pasiecznik, N.M., Smith, S.J., Billington, J.M., and Ramirez, L. 2003. Differentiation of *Prosopis juliflora* and *P. pallida* using foliar characters and ploidy. Forest Ecology and Management. 180: 153-164.
13. Phipps, J.B., and Muniyama, M. 1980. A taxonomic revision of *crataegus* (*Rosaceae*) in Ontario. Canadian J. of Botany. 58: 1621-1699.
14. 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: 103-116.
15. Saeedi, Z., and Azadfar, D. 2011. Leaf morphological diversity in three different Poplar clones. 19: 104-118. (In Persian)
16. Casella, E., and Ceulemans, R. 2002. Spatial distribution of leaf morphological and physiological characteristics in relation to local radiation regime within the canopies of 3-year-old *Populus* clones in coppice culture. Tree Physiology. 22: 18. 1277-1288.
17. Alimohammadi, A., Asadi, F., Adeli, E., Tabaei-Aghdaei, S.R., and Mataji, A. 2009. Using morphological traits for identification of *Populus nigra* stands in Kermanshah and Zanjan provinces of Iran. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 17: 369-381. (In Persian)
18. Ghasemi, R., and Modirrahmati, A.R. 2003. Investigation on adaptability and wood production of different poplar clones (closed crown) in Karaj city. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 11: 3. 359-390. (In Persian)
19. Slycken, J.V. 1995. Plant descriptor for *Populus nigra*. p. 13-24. In: *Populus nigra* Network. Report of the second meeting. 10-12 Sep. 1995, Casale Monferrado. Italy. IPGRI.
20. Ghasemi, R., Kavand, A., and Calagari, M. 2011. National guideline for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability in poplar. Seed and Plant Certification and Registration Institute publications, Karaj, 44p. (In Persian)
21. Arias, D. 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assement of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costarica. Forest Ecology and Management. 247: 85-193.
22. Douaihy, B., Sobierajska, K., Jasińska, A.K., Boratyńska, K., Ok, T., Romo, A., Machon, N., Didukh, Y., Dagher-Kharrat, M.B., and Boratyński, A. 2012. Morphological versus molecular markers to describe variability in *juniperus excelsa* subsp. *excelsa* (cupressaceae). AoB PLANTS. 12: 1. 1-14.
23. Lin, C.T., Li, C.F., Zelený, D., Chytrý, M., Nakamura, Y., Chen, M.Y., Chen, T.Y., Hsia, Y.J., Hsieh, C.F., Liu, H.Y., Wang, J.C., Yang, S.Z., Yeh, C.L., and Chiou, C.R. 2012. Classification of the high-mountain coniferous forests in Taiwan. Folia Geobotanica. 47: 373-401.
24. Xu, X.L., Ma, K.M., Fu, B.J., Song, C.J., and Liu, W. 2008. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. Catena. 75: 138-145.
25. Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Michin, P.R., ÓHara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., and Wagner, H. 2016. vegan: Community Ecology Package.
26. McNab, W.H., Browning, S.A., Simon, S.A., and Fouts. P.E. 1999. An unconventional approach to ecosystem unit classification in western North Carolina, USA. Forest Ecology and Management. 114: 405-420.
27. Tavousi Rad, F., Ghamari-Zare, A., Mirzaie-Nodoushan, H., and Usefifard, M. 2017. Evaluation of poplar inter-specific progenies based on their morphologic and micromorphologic traits. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 24: 4. 676-686. (In Persian)
28. Ghadiripour, P., Calagari, M., and Saleheh-Shushtari, M.H. 2015. Study of growth and morphological characteristics of Euphrates poplar (*Populus euphratica*)

provenances at experimental nursery of Khuzestan province. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 23: 1. 154-166. (In Persian)

29. Hesami, S.M., Calagari, M., and Ghorbani-e-Kahrizsangi, M. 2019. Study of growth and morphological characteristics of Euphrates poplar (*Populus euphratica* Oliv.) provenances in Shahid Fozveh experimental nursery. Forest Research and Development, 5: 3. 483-496. (In Persian)
30. Ghadiripour, P., Calagari, M., Saleheh-Shushtari, M.H., and Esmailzadeh, O. 2016. Study of growth and morphological characteristics of euphrate poplar and white poplar hybrids at selection nurseries of Khouzestan province. J. of Forest and Wood Products. 69: 1. 73-85. (In Persian)
31. Ghadiripour, P., Akbarinia, M., Asadi, F., Esmailzadeh, O., and Ghamari-Zare, A. 2021. Comparison of growth and morphological traits among rooted cuttings of *Populus caspica* Bornm. Provenances. Iranian J. of Forest and Poplar Research. 29: 1. 27-40. (In Persian)
32. McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E., and Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. Trends in Ecology and Evolution. 21: 4. 178-185.
33. Ceulemans, R., Impens, I., Lemeur, R., Moermans, R., and Samsuddin, Z. 1978. Water movement in the soil-poplar-atmosphere system. II. Comparative study of transpiration regulations during water stress situations in four different poplar clones. Oecologia Plantarium. 13: 139-146.
34. Ceulemans, R., Stettler, R.F., Hinckley, T.M., Isebrands, J.G., and Heilman, P.E. 1990. Crown architecture of *Populus* clones as determined by branch orientation and branch characteristics. Tree Physiology. 7: 157-167.
35. Ferris, R., Sabatti, M., Miglietta, F., Mills, R.F., and Taylor, G. 2001. Leaf area is stimulated in *Populus* by CO_2 enrichment (POPFACE), through increased cell expansion and production. Plant Cell Environ. 24: 305-315.
36. Gardner, S.D.L., Taylor, G., and Bosac, C. 1995. Leaf growth of hybrid poplar following exposure to elevated CO_2. New Phytologist. 131: 81-90.
37. Marron, N., Villar, M., Dreyer, E., Delay, D., Boudouresque, E., Petit, J.M., Delmotte, F.M., Guehl, J.M., and Brignolas, F. 2005. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 *Populus deltoides* × *Populus nigra* clones. Tree Physiology. 25: 425-435.
38. Alimohammadi, A., Asadi, F., Adeli, E., and Tabaei-Aghdaei, S.R. 2015. Evaluation of growth and morphological parameters in two Poplar species (*P. nigra* L. & *P. alba* L.) to tree growth reveal traits related to productivity (Case study in Kermanshah, Zanjan and Esfahan provinces). Ecology of Iranian Forests. 3: 5. 31-41. (In Persian)
39. Högberg, K.A., and Danell, Ö. 1989. Estimation of genetic parameters and selection gain in a Norway spruce clone trial. P 232-244. In: L.-G Stener and M. Werner (eds). Norway spruce: provenances, breeding and genetic conservation. Uppsala. Institute for Forest Improvement. Report 11.
40. Karlsson, B., and Danell, O. 1989. Genetic parameters, predicted breeding values and potential selection gains for clones in a Norway spruce seed-orchard. P 90-112. In: L.-G Stener. and M. Werner (eds). Norway spruce: provenances, breeding and genetic conservation. Uppsala. Institute for Forest Improvement. Report 11.
41. Vestøl, G.I., Colin, F., and Loubère, M., 1999. Influence of progeny and initial stand density on the relationship between diameter at breast height and knot diameter of Picea abies. Scandinavian J. of Forest Research. 14: 5. 470-480.
42. Zobel, B.J., and van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer Verlag, Berlin, 363p.
43. Gapare, W.J., Ivković, M., Dillon, S.K., Chen, F., Evans, R., and Wu, H.X. 2012. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus radiata* D. Don. "Eldridge collection" in Australia 2:

Wood properties. Tree Genetics and Genomes. 8: 4. 895-910.
44. Maiti, R., Rodriguez, H.G.M., Kumari, A., and Díaz, J.C.G. 2015. Perspectives of branching pattern and branching density in 30 woody trees and shrubs in Tamulipan thornscrub, northeast of Mexico. Forest Research. 4: 4.
45. Ackerly, D.D., and Bazzaz, F.A. 1995. Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. Ecology. 76: 1134-1146.
46. Chazdon, R.L. 1985. Leaf display, canopy structure, and light interception of two understory palm species. American J. of Botany. 72: 1493-1502.
47. Pearcy, R.W., and Yang, W. 1996. A three-dimensional crown architecture model for assessment of light capture and carbon gain by understory plants. Oecologia. 108: 1-12.