

جداسازی جمعیت‌های برودار (*Quercus brantii*) با استفاده از شاخص‌های کلان‌شکلی برگ

پروانه عباسی^۱، علی سلطانی^{۲*} و ایرج هاشم‌زاده سقرلو^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
^۲ استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
^۳ استادیار گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۱)

چکیده

در این تحقیق ۳۷ جمعیت درختان برودار (*Quercus brantii*) در استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، لرستان و چهارمحال و بختیاری انتخاب شدند. سپس نمونه‌های برگ از جهات مختلف تاج درختان تک‌تنه (با ریخت دانه‌زاد) برداشت شدند. ابعاد نسبی و شاخص‌های مختلفی از برگ شامل نسبت طول به عرض پهنک برگ، نسبت طول پهنک به طول دم‌برگ، تعداد دندان‌ها، تعداد رگ‌برگ‌ها، زاویه بیرونی‌ترین دندان پهنک برگ، و نیز شاخص ابداعی جدیدی به نام شاخص دندان‌های محاسبه شدند. نتایج تحلیل واریانس آشیانه‌ای، مؤید الگوی یکسان تغییر شکل برگ‌های گونه برودار در دامنه مطالعات این تحقیق از تفاوت بیشتر در گروه‌های بزرگ‌تر (اجتماعات مختلف) به سمت تفاوت کمتر در گروه‌های کوچک‌تر (جمعیت درخت و محل قرارگیری برگ داخل تاج) است. خوشه‌بندی جمعیت‌ها با استفاده از شاخص‌های برگ، نشان داد که اجتماع بلوط زاگرس جنوبی، کاملاً از سه اجتماع دیگر این گونه متمایز است (درصد تفاوت تا ۵۰ درصد) و شاخص‌های متمایزکننده به خصوص شاخص تعداد و شکل دندان‌های حاشیه برگ، عامل اصلی این تمایز هستند. روش تحقیق و استفاده از شاخص‌های برگ مناسب به کاررفته در این تحقیق، با در نظر داشتن دو عامل شکل‌پذیری فنوتیپی و ارث‌پذیری، نیاز به بازنگری دوباره در رده‌بندی کمپلکس این گونه با در نظر گرفتن تئوری جدایی جغرافیایی را مطرح می‌کند. عامل اصلی این جدایی به جز تغییرات عرض جغرافیایی (بیش از ۸۰ درصد توضیح داده شده توسط شاخص دندان‌های)، تغییرات ارتفاع از سطح دریاست.

واژه‌های کلیدی: برودار، تنوع داخل‌گونه‌ای، ریخت‌شناسی برگ، زاگرس، شکل‌پذیری فنوتیپی.

مقدمه و هدف

امروزه محرز شده که بخش بزرگی از رفتار و شکل یک گیاه، وابسته به آن قسمت از کدهای ژنتیکی است که بر اثر تغییرات محیطی خاص بروز می‌کنند و این بروز ژنی به نسل آینده نیز انتقال می‌یابد (شکل‌پذیری فنوتیپی^۱). این توانایی از یک سو قدرت زیاد گونه‌زایی گیاهان عالی در کوتاه‌مدت را توضیح می‌دهد و از سوی دیگر می‌تواند اشتراک فنوتیپی و فیلوژنی جمعیت‌های جدا از یکدیگر یک گونه را توجیه کند (Hamrick, 2004). از طرف دیگر، ضعف اصلی طبقه‌بندی گیاهی یا تشخیص گونه‌های جدید به روش‌های فیلوژنی مولکولی، فرض هم‌تبار بودن^۲ کلادهای جدا شده است، پیش‌فرضی که نمی‌تواند برای بسیاری از گونه‌های درختان جنگلی که سطح هیبریداسیون بالایی دارند مصداق داشته باشد (Wu, 2001). لذا روش‌های مولکولی برای این دسته از گیاهان که بیش از اندازه حساسند، ممکن است نتایج کاملاً متفاوتی را به‌واسطه تفاوت روش‌های نمونه‌گیری گوناگون تا در نظرگیری قطعات متفاوتی از توالی ژنی برای تحلیل نتایج، نشان دهند. برخلاف صفات پیوسته مانند مقاومت به تنش‌ها و عملکرد که در بین افراد یک جمعیت ممکن است متفاوت باشد، فرض بر این است که با استفاده از صفات ناپیوسته (خصوصیات شکلی) می‌توان جمعیت‌های مختلف را از هم جدا کرد. از میان این صفات، شکل اندام فتوسنتزکننده (برگ) بیشتر از عوامل ژنتیکی اثر می‌پذیرد و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Stojkovic, 1991). طبیعی است که این سخن به معنی در نظرگیری ابعاد مطلق برگ به‌عنوان شاخص جداکننده جمعیت‌ها نیست. برای مثال کاملاً روشن است که درختان و شاخه‌هایی که رطوبت کمتری در دسترس دارند، برگ‌های کوچک‌تری تولید می‌کنند.

جنس بلوط (*Quercus*)، انتخابی عالی برای مطالعات مورفولوژی برگ و استفاده از این اطلاعات برای جداسازی جمعیت‌هاست، گسترش وسیع این جنس در سراسر نیمکره شمالی، قابلیت سازگاری با شرایط مختلف محیط و از همه مهم‌تر سطح بالای هیبریداسیون بین گونه‌های مختلف این جنس (تسهیل‌شده توسط گرده‌افشانی با باد و سطح دیکوگامی بالا)، سبب تغییرات شکلی چشمگیر در برگ‌های گونه‌های این جنس شده است (Borazan and Babac, 2003) به‌طوری‌که در میان تمام گیاهان عالی، جنس بلوط، از گسترده‌ترین دامنه‌های تغییرات شکلی برگ در بین گونه‌ها، اجتماعات، جمعیت‌ها، بین درختان و حتی در میان شاخ و برگ یک درخت برخوردار است. این تغییرات شکلی برگ به حدی است که در برخی گونه‌های این جنس در سنبل و فصول مختلف رویشی نیز گزارش شده است (Blue and Jensen, 1988; Bruschi et al., 2003). با استفاده از تفاوت‌های ریختی برگ درختان جنس بلوط، احتمال وجود گونه‌های بینابینی مستند شده است (ستاریان و همکاران، ۱۳۹۰). گزارش‌هایی از این دست نشان می‌دهند که نه تنها برگ‌ها را می‌توان آینه برآورکننده تمام هم‌کنش‌های بروز ژنی بلوط‌ها در نظر گرفت، بلکه هنگام استفاده از خصوصیات شکلی برگ درختان این جنس برای جداسازی جمعیت‌ها و گونه‌ها، باید محتاط بود، چرا که گونه‌های این جنس توانایی زیادی برای سازگاری با شرایط محیط توسط تغییرات شکلی برگ نشان داده‌اند.

برودار (*Quercus brantii* Lindl.) اصلی‌ترین گونه درختی در جنگل‌های زاگرس است که پراکنش آن از کوه‌های مرکزی آناتولی شروع می‌شود و با گذشتن از شمال سوریه و عراق و با طول قریب به ۲۰۰۰ کیلومتر تمام بلندی‌های زاگرس را می‌پوشاند (Govaerts and Frodin, 1998). این گونه از انعطاف‌پذیری اکولوژیکی زیادی برخوردار است، به-

¹ Phenotypic plasticity² Monophyly

فاصله افقی بیش از ۵۰ کیلومتر از یکدیگر به عنوان نواحی دارای جمعیت‌های اکوتیپ بالقوه در نظر گرفته شود. محل قرارگیری این اجتماعات جمعیتی نسبت به یکدیگر را ملاک قرار می‌دهیم و آنها را در این تحقیق «اجتماع»‌های شمالی، شرقی، غربی و جنوبی می‌نامیم (شکل ۱).

پس از شناسایی منطقه، ۳۷ منطقه جنگلی گسسته (با فاصله دست کم ۱۰ کیلومتر از یکدیگر) انتخاب و «جمعیت» خوانده شدند (شکل ۱ و جدول ۱). این جمعیت‌ها دارای خصوصیات مشترکی بودند که عبارت است از: ۱- درختان مستقر در آنها به‌طور خالص (<۹۰٪) از گونه برودار بودند (پایه‌ای برودار در نظر گرفته شد که میوه فندقه پیاله‌دار تولید می‌کرد و برگ‌های تخم مرغی دنداندار غیر کاغذی با کرک‌های فراوان و ستاره‌ای داشت)؛ ۲- برای استنتاج ساده‌تر، تمام جمعیت‌ها در دامنه‌های شمالی (شمال غرب تا شمال شرق) قرار داشتند؛ ۳- اندازه جمعیت کمتر از یک هکتار نبود؛ ۴- جمعیت‌های انتخاب شدند که دارای تعداد زیادی درخت تک‌تنه با اندازه‌های قطر برابر سینه بالا بودند.

در نام‌گذاری جمعیت‌ها از اختصارات ابتدای نام لاتین استان محل استقرار آنها استفاده شد. تمام جمعیت‌های استان کردستان در اجتماع شمالی، لرستان در اجتماع شرقی، ایلام در اجتماع غربی و بختیاری در اجتماع جنوبی قرار گرفتند. دو جمعیت از استان کرمانشاه (Ker01, Ker02) در اجتماع شمالی و دو جمعیت (Ker03, Ker04) در اجتماع غربی قرار گرفتند (شکل ۱). طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای مرکز هر جمعیت، و نیز نام نزدیک‌ترین محل به هر یک در جدول ۱ آمده است.

طوری که در خاک‌ها و شرایط مختلف فیزیوگرافی به راحتی مستقر می‌شود و دامنه پراکنش آن مانند سایر گونه‌های درختی ناحیه، محدودیت چندانی ندارد (یزدیان، ۱۳۷۹) پراکنش این گونه در ایران در زاگرس از سردشت در آذربایجان غربی تا فیروز آباد فارس است. تغییرات شکلی زیادی در پایه‌های این گونه بلوط دیده می‌شود، به طوری که احتمال وجود زیرگونه‌ها و حتی گونه‌های دیگری در توده‌های جنگلی برودار مطرح شده است. این تنوع شکل به حدی بوده است که گاهی این گونه تحت نام‌های علمی دیگر طبقه‌بندی شده یا زیرگونه‌ای از گونه‌های دیگر بلوط قلمداد شده است (Panahi et al., 2012; Djavanichir Khoie, 1967; Qahraman, 1996). از این رو با توجه به گستره طولانی جنگل‌های برودار، هدف این تحقیق این است که، با ملاک قرار دادن شکل برگ درختان به عنوان اندامی که بیشترین تاثیرپذیری را از محتوای ژنتیکی گیاه می‌پذیرد و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، با فرض جدافتادگی جغرافیایی به عنوان یکی از عوامل اصلی گونه‌زایی در برودار، تنوع داخل گونه‌ای این گونه در رویشگاه‌های زاگرس تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق تمام جنگل‌های زاگرس شمالی، از حوالی عرض جغرافیایی ۳۶ درجه از مجاور مرز ایران و عراق و استان‌های کردستان تا شمال کرمانشاه و نیز بخش اعظم جنگل‌های شرقی و غربی زاگرس (از پایین عرض جغرافیایی ۳۴/۵ درجه) در استان‌های کرمانشاه، لرستان و ایلام و جنگل‌های زاگرس مرکزی (از پایین عرض جغرافیایی ۳۲/۵ درجه) در استان چهارمحال و بختیاری را شامل می‌شود. گستردگی رویشگاه و گسستگی آن سبب شد تا چهار ناحیه با



شکل ۱- محل ۳۷ جمعیت بلوط غرب انتخاب شده در این تحقیق، بیضی‌های محیط‌کننده این جمعیت‌ها را به ترتیب قرارگیری در مدار جغرافیایی حدود ۳۶ درجه، اجتماع شمالی؛ در حوالی مدار ۳۴ درجه، اجتماعات شرقی و غربی؛ و در مدار جغرافیایی حدود ۳۲ درجه، اجتماع جنوبی نامیده شدند.

جدول ۱- نام محلی، درجه مختصات جغرافیایی (X و Y) و ارتفاع از سطح دریا (ASL) به متر برای مراکز جمعیت‌های جنگلی برودار موضوع تحقیق. (Kor: کردستان، Ker: کرمانشاه، Lor: لرستان، Bak: چهارمحال و بختیاری).

اجتماع	جمعیت	نام محلی	Y	X	ASL	جمعیت	نام محلی	Y	X	ASL
Kor	Kor01	آبشار گوپله - جاده مریوان سقر	۳۶/۰۴	۴۶/۳۲	۱۵۲۳	Kor04	هورامان - دزلی	۳۵/۴۱	۴۶/۲۷	۱۲۸۸
	Kor02	روستای ویله - مریوان	۳۵/۶۰	۴۶/۳۱	۱۴۹۶	Ker01	پاوه	۳۵/۰۷	۴۶/۳۳	۱۴۹۷
	Kor03	مریوان	۳۵/۵۵	۴۶/۱۵	۱۴۱۸	Ker02	جوانرود	۳۴/۸۸	۴۶/۵۸	۱۶۱۹
Ila	Ila01	آسمان آباد - صیدنظری	۳۳/۷۹	۴۶/۵۳	۱۰۸۸	Ila04	جعفرآباد - فرودگاه ایلام	۳۳/۵۴	۴۶/۴۸	۱۳۲۳
	Ila02	سرآبله	۳۳/۷۱	۴۶/۵۲	۱۳۲۳	Ker03	کرند غرب - سرپل ذهاب	۳۴/۳۶	۴۶/۱۱	۱۴۳۹
	Ila03	ایلام	۳۳/۶۳	۴۶/۴۵	۱۵۵۸	Ker04	اسلام آباد	۳۴/۱۸	۴۶/۳۶	۱۵۲۴
Lor	Lor01	دو راهی الشتر - نورآباد	۳۳/۷۶	۴۸/۲۰	۱۵۶۵	Lor08	ویسیان	۳۳/۴۹	۴۷/۹۵	۹۹۰
	Lor02	ایوان دره - جاده خرم‌آباد الشتر	۳۳/۶۸	۴۸/۲۶	۱۶۰۲	Lor09	جاده خرم‌آباد - پل دختر ۱	۳۳/۳۰	۴۷/۸۱	۷۷۵
	Lor03	گردنه یافته-جاده خرم‌آباد کوه‌دشت	۳۳/۵۲	۴۸/۱۸	۱۲۸۵	Lor10	جاده خرم‌آباد - پل دختر ۲	۳۳/۲۳	۴۷/۷۰	۸۱۰
	Lor04	سفیدکوه - سراب دوره	۳۳/۵۷	۴۸/۰۲	۱۱۳۳	Lor11	جاده خرم‌آباد - زال ۱	۳۳/۲۶	۴۸/۲۲	۱۶۳۲
	Lor05	مخمل‌کوه - خرم‌آباد	۳۳/۵۹	۴۸/۳۰	۱۳۳۵	Lor12	جاده خرم‌آباد - زال ۲	۳۳/۰۸	۴۸/۲۲	۱۷۳۲
	Lor06	چم‌تنگله - الشتر	۳۳/۷۵	۴۸/۰۳	۱۴۱۷	Lor13	جاده خرم‌آباد - زال ۳	۳۲/۹۶	۴۸/۱۳	۶۷۹
	Lor07	سه راه خرم‌آباد - زال - پل دختر	۳۳/۴۳	۴۸/۲۱	۱۱۷۳					
Bak	Bak01	مورز	۳۲/۱۵	۵۰/۱۱	۱۵۲۲	Bak07	دهدز - سه راه چیکو	۳۱/۵۶	۵۰/۶۸	۱۵۱۵
	Bak02	تلورد	۳۲/۲۰	۵۰/۰۵	۱۶۱۰	Bak08	منج - بیدله	۳۱/۵۷	۵۰/۵۶	۱۲۷۰
	Bak03	دهناش	۳۲/۲۵	۴۹/۹۸	۱۸۵۴	Bak09	لردگان	۳۱/۵۳	۵۰/۸۵	۱۵۴۹
	Bak04	ناغان	۳۱/۸۳	۵۰/۸۵	۲۲۱۲	Bak10	آتشگاه	۳۱/۲۰	۵۱/۱۰	۱۸۵۰
	Bak05	دوپلان	۳۱/۹۰	۵۰/۶۳	۱۸۸۰	Bak11	آلونی - برجویی	۳۱/۶۳	۵۱/۰۱	۲۱۲۷
	Bak06	هلن	۳۱/۷۰	۵۰/۴۶	۱۷۵۲	Bak12	مال خلیفه	۳۱/۳۰	۵۱/۳۱	۱۹۱۳

عبارت است از نسبت بین مساحت بیضی پوشاننده کل برگ ($L \times W \times \pi \div 4$) به مساحت واقعی برگ (سانتی متر مربع) (شکل ۲). مقدار شاخص دندان‌های نه تنها برآیند تأثیرات ناشی از تعداد دندان‌هاست، بلکه از عمق نسبی دندان‌ها نیز اثر می‌پذیرد.

برای تعیین تغییرات درون و برون گروهی جمعیت‌های بلوط غرب واقع در هر اجتماع، درختان قرار گرفته در هر جمعیت و در نهایت محل قرارگیری برگ‌ها، از واریانس اندازه‌گیری‌های انجام گرفته، در قالب یک طرح آشیانه‌ای کامل استفاده شد؛ به-این‌صورت که اجتماع جمعیت‌ها پلات اصلی و جمعیت، درخت و محل قرارگیری برگ‌ها به‌ترتیب پلات‌های فرعی در داخل یکدیگر در نظر گرفته شدند. در صورت به‌دست آمدن تفاوت معنی‌دار با اطمینان ۹۵٪، میانگین جوامع توسط آزمون Tukey مقایسه شد. میانگین سی‌وشش ساله بارندگی و متوسط دمای سالیانه مرکز هر جمعیت با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی محلی و داده‌های اقلیم‌شناسی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای سازمان هوافضای ملی آمریکا (NASA) خریداری شده به‌صورت بسته فایل گوگل ارث محاسبه شد. سپس ضریب همبستگی پیرسون بین تمام اندازه‌ها و ابعاد اندازه‌گیری‌شده از برگ درختان، و مختصات جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین بارندگی و دمای سالیانه محل سنجیده شد. برآیندی از مقدار شکل‌پذیری فنوتیپی (PI) هر یک از ویژگی‌های برگ (A) در سطح جمعیت، توسط رابطه اصلاح‌شده^۱ Richardson *et al.* (2001) محاسبه شد (رابطه ۱).

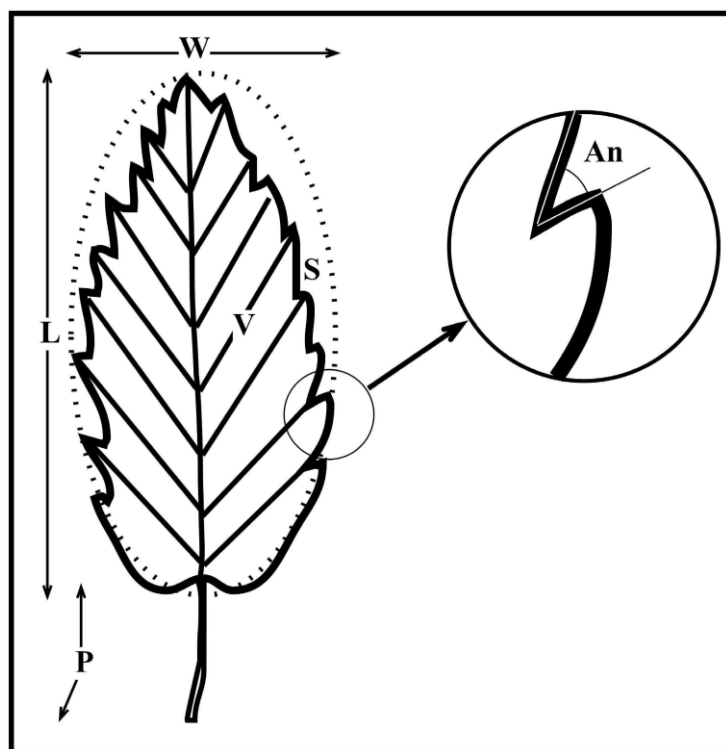
$$PI = \frac{\text{Min}(un\bar{A} + us\bar{A}) + \text{Min}(dn\bar{A} + ds\bar{A})}{2 \times \text{Max}A} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه \bar{A} ، Min و Max به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین شاخص و توابع کمینه و بیشینه و un ، us ، dn و ds نشان‌دهنده محل قرارگیری برگ هستند.

در هر جمعیت، چهار درخت برودار با قطر تنه بیش از ۳۰ سانتی‌متر، که سالم، دارای تاج متقارن و بدون وجود علائم بیماری، شکستگی و ناهنجاری بودند، انتخاب شدند. برای تصادفی کردن انتخاب، از هر ربع (قطعه یک‌چهارم) منطقه‌ای که جمعیت مستقر شده بود، یک درخت انتخاب شد. سپس تاج هر درخت به چهار قسمت فرضی تقسیم شد. این قسمت‌ها براساس قرارگیری شاخه‌ها در نیمه بالایی (u)، پایینی (d)، شمالی (n) و جنوبی (s) تاج درخت نام‌گذاری شدند. به این صورت که dn : شاخ و برگ‌های قرار گرفته در نیمه پایینی و شمالی تاج درخت؛ ds : در نیمه پایینی و جنوبی تاج درخت؛ un : در نیمه بالایی و شمالی تاج درخت؛ us : در نیمه بالایی و جنوبی تاج درخت، بودند. با استفاده از قیچی دسته‌بلند مخصوص هرس تاج، از هر یک از این قسمت‌های فرضی چهار برگ سالم به‌صورت تصادفی انتخاب شدند.

پس از قراردادن مقیاس مدرج در پس‌زمینه تصویر، از برگ‌ها در محل، عکس‌برداری شد. سپس با استفاده از افزونه Analysis در نرم‌افزار Adobe Photoshop و ملاک قرار دادن اندازه مقیاس، اندازه‌ها و ابعاد مختلف برگ به دست آمد که عبارت بودند از: طول پهنک برگ، عرض پهنک برگ، طول دم‌برگ با دقت میلی‌متر، تعداد دندان‌های نیمه راست برگ، تعداد رگ‌برگ‌های نیمه راست برگ، زاویه بین راستای بیرونی‌ترین دندان نیمه راست برگ و راستای دندان بالایی آن (شکل ۲). مساحت برگ‌ها نیز بر اساس واحد پیکسل به‌دست آمد و با استفاده از مقیاس سطح، به سانتی‌متر مربع تبدیل شد. از آنجا که در مقایسه شکلی نمی‌توان تفاوت بین اندازه‌های مطلق اندام‌ها را ملاک قرار داد، در این تحقیق به‌جای آنها از نسبت بین طول به عرض پهنک (L/W)، نسبت بین طول پهنک برگ و دم‌برگ (L/P) و شاخص دندان‌های^۱ در محاسبات استفاده شد. شاخص اخیر برای دخیل کردن فرم و شکل برگ ابداع شد که

¹ Serration index



شکل ۲- اندازه‌ها و ابعاد اندازه‌گیری شده در هر برگ

طول پهنک (L)، عرض پهنک (W)، طول دم‌برگ (P)، تعداد دندان‌های سمت راست برگ (S)، تعداد رگبرگ‌های سمت راست برگ (V)، زاویه خارجی‌ترین دندان سمت راست برگ (An)، مساحت لوزی با ابعاد طول و عرض برگ (نقطه‌چین) برای محاسبه شاخص دندان‌های

نتایج

تحلیل واریانس اندازه شاخص‌های استفاده‌شده در قالب طرح کرت‌های خردشده نشان داد که برخلاف متغیرهای اجتماع، جمعیت و درخت که حداقل با استفاده از سه شاخص، تفاوت معنی‌داری نشان دادند، مکان قرارگیری برگ بر روی تاج، عامل ایجادکننده تغییر در شاخص‌های اندازه‌گیری شده نبود (جدول ۲). این جدول نشان‌دهنده کاهش اختلاف بارز در اندازه تمام شاخص‌ها با کاهش اندازه واحدهای مقایسه از اجتماع، به محل قرارگیری برگ است. تنها نسبت طول به عرض پهنک است که دارای تفاوت معنی‌دار داخل درختی است. شاخص دندان‌های ابداع‌شده در این تحقیق، با کمترین درصد خطا، بیشترین توان را در توضیح تفاوت بین جمعیت و اجتماع جنگل‌های برودار داشت (جدول ۳). این جدول همچنین نشان می‌دهد که با وجود استفاده از

همچنین با در نظر گرفتن جمعیت به عنوان پرووانس، اثرپذیری پرووانس (h_p^2) برای هر یک از اندازه‌های برگ، با استفاده از رابطه اصلاح‌شده Burley et al. (1976)، در سطح جمعیت محاسبه شد:

$$h_p^2 = \sigma_{prov}^2 / (\sigma_{prov}^2 + \sigma_E^2)$$

در این رابطه: σ_{prov}^2 واریانس هر یک از اندازه‌های برگ در جمعیت و σ_E^2 واریانس میانگین مربعات به‌دست‌آمده از تحلیل واریانس آشیانه‌ای منتسب به هر یک از خصوصیات برگ است. در نهایت تحلیل خوشه‌بندی با استفاده از شاخص‌های شکلی معنی‌دار شده در تحلیل واریانس، در مورد جمعیت‌ها به روش پیوند کامل^۱ انجام گرفت. فاصله‌ها به روش اقلیدسی از یکدیگر جدا شدند.

^۱ Complete linkage method

نسبت اندازه‌های برگ به‌جای استفاده مستقیم از اندازه‌ها، شاخص‌های نسبت طول پهنک به عرض پهنک و طول دمبرگ، با سطح احتمال خطای کمتر از ۱۰ درصد، کمترین توان را در توضیح تفاوت‌های احتمالی بین جمعیت‌ها داشتند.

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن اجتماع، جمعیت، درخت و مکان قرارگیری برگ بر روی تاج، به ترتیب به عنوان پلات‌های اصلی تا فرعی (توضیح اختصارهای شاخص‌ها در شکل ۲ آمده است).

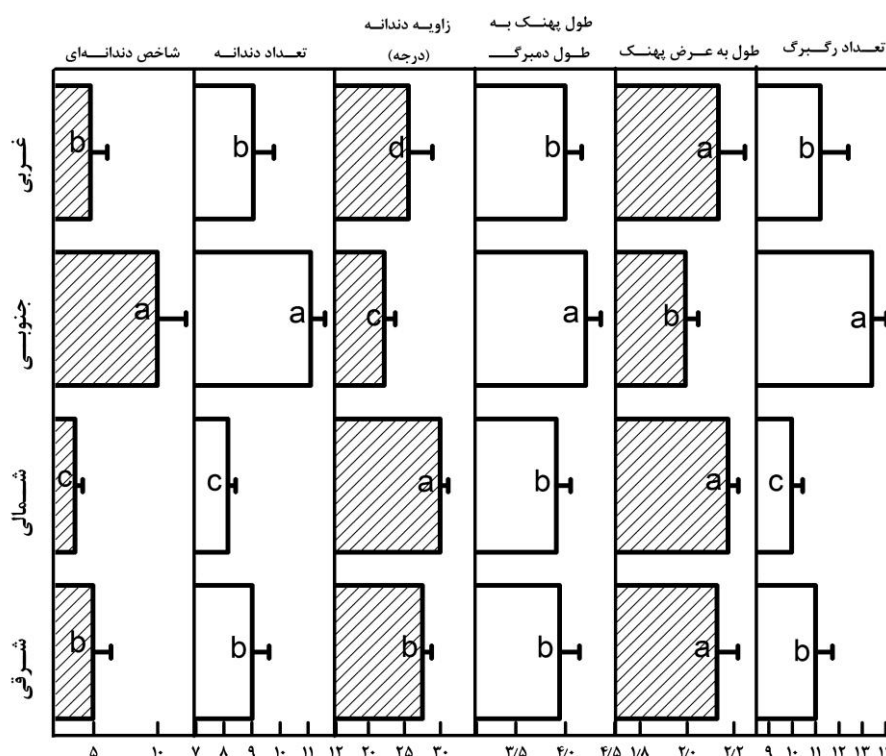
مکان برگ (جمعیت رویشگاه درخت) (۴۴۴)	درخت (جمعیت اجتماع) (۱۱۱)			جمعیت (اجتماع) (۳۳)			اجتماع (۳)			منبع تغییرات (درجه آزادی)
	P	F	MS	P	F	MS	P	F	MS	
	P	F	MS	P	F	MS	P	F	MS	شاخص
	۰/۷۳۴	۰/۹۵	۰/۲۴	۰/۰۲۷	۱/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۲۱	۱/۲۲	۰/۳۹	L/W
	۰/۵۷۵	۰/۹۸	۰/۵۰	۰/۸۹۱	۰/۸۲	۰/۴۱	۰/۰۰۰	۴/۶۵	۱/۹۳	L/P
	۰/۹۰۰	۰/۹۰	۲/۲۰	۰/۴۷۵	۱/۰۰	۲/۲	۰/۰۰۰	۹/۰۶	۲۰/۰۴	V
	۰/۷۷۳	۰/۹۴	۳/۳۶	۰/۰۸۹	۱/۲۱	۴/۰۸	۰/۰۰۰	۹/۰۱	۳۶/۷۸	S
	۰/۹۵۷	۰/۸۸	۹/۵۹	۰/۰۰۰	۱/۷۱	۱۶/۴۱	۰/۰۰۰	۱۲/۶۵	۲۰۷/۵۰	An
	۰/۱۰۹	۱/۹۱	۲/۰۹	۰/۰۰۰	۱/۷۷	۳/۷۰	۰/۰۰۰	۴۶/۷۴	۱۷۲/۹۸	شاخص دندانهای

جدول ۳- سهم هریک از مؤلفه‌های ایجادکننده تغییر در شاخص‌های اندازه‌گیری شده (درصد) در قالب طرح کرت‌های خردشده

شاخص دندانهای	زاویه بیرونی‌ترین دندان پهنک	تعداد دندان	تعداد رگبرگ‌ها	طول پهنک به طول دمبرگ	طول به عرض پهنک	اجتماع
۶۵/۸۰	۴۳/۰۸	۳۴/۸۵	۳۸/۳۴	۳/۲۳	۲/۳۲	اجتماع
۱۹/۲۴	۱۱/۸۴	۸/۰۸	۶/۳۲	۴/۲۸	۰/۴۱	جمعیت
۰/۷۳	۱/۶۹	۰/۷۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۱/۸۳	درخت
۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	مکان برگ
۱۳/۹۰	۴۳/۴۰	۵۶/۳۶	۵۵/۳۲	۹۲/۴۹	۹۵/۴۴	خطا

جنوبی بسته‌ترین زوایای دندان‌های برگ و در نتیجه بیشترین مقادیر شاخص دندان‌های را نشان دادند. همچنین این اجتماع کوتاه‌ترین دمبرگ‌ها، فراخ‌ترین پهنک‌ها و بیشترین تعداد رگبرگ و دندان را به خود اختصاص داد (شکل ۳).

نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های تحت مطالعه برای چهار اجتماع جدا از یکدیگر نشان‌دهنده بیشترین تفاوت تمام شاخص‌ها بین دو اجتماع جنوبی و شمالی بودند که بیشترین فاصله جغرافیایی را از یکدیگر دارند. جمعیت‌های قرارگرفته در اجتماع



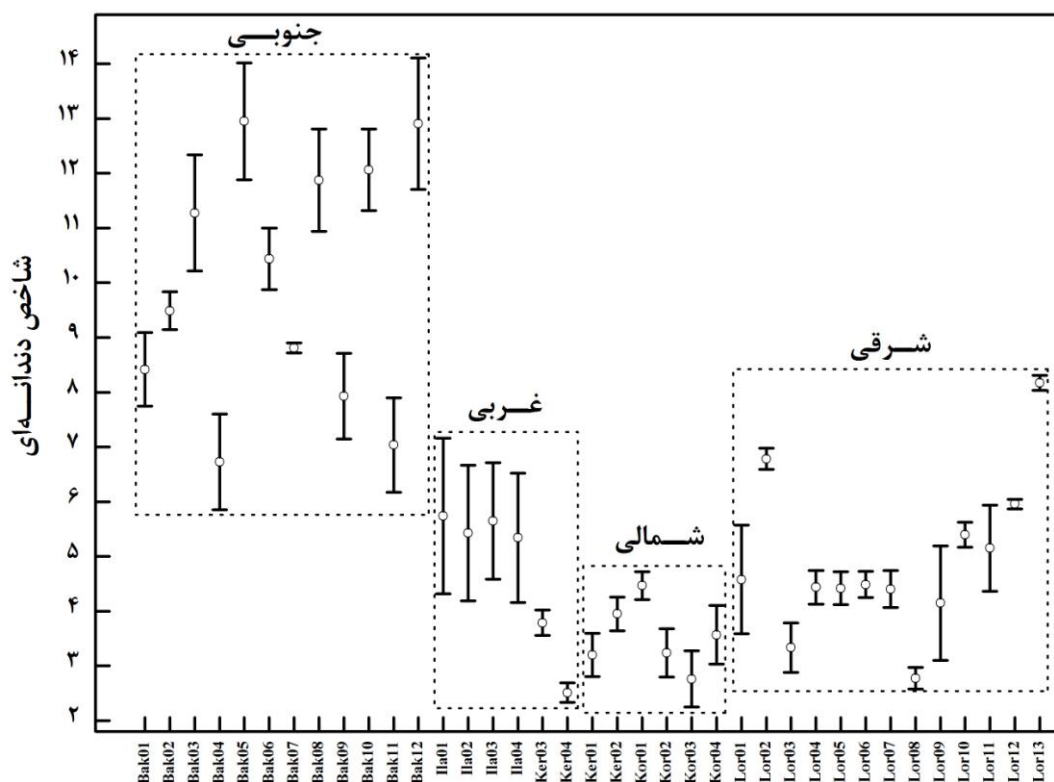
شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های برگ‌ی اندازه‌گیری شده در سطح اجتماع جنگل‌های بلوط به وسیله آزمون Tukey (حروف لاتین مشترک برای هر شاخص، نشانه عدم تفاوت معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ و میله‌های خطا، انحراف معیار هستند)

می‌گیرند (شکل ۴). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به جز دو جمعیت Bak07 و Bak02 که دارای انحراف از معیار کمتر از یک هستند، مقادیر انحراف بالاتر از یک از اختصاص‌های جمعیت‌های برودار استان‌های چهارمحال و بختیاری و ایلام است.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که نه تنها با تغییر عرض جغرافیایی، شاهد تغییر یکنواخت شاخص‌های برگ‌ی مورد آزمایش بودیم، بلکه بدون در نظر گیری شاخص نسبت طول پهنک به طول دمبرگ، همبستگی معنی‌داری نیز بین اندازه این شاخص‌ها و ارتفاع از سطح دریا مشاهده شد. برگ‌های به‌دست‌آمده از جمعیت‌های برودار قرار گرفته در ارتفاع از سطح دریا و عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر (نه الزاماً در اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر)، دندانه‌ها و رگبرگ‌های بیشتر و زاویه دندانه‌های بسته‌تری (تندتر) داشتند (جدول ۴).

همان‌طور که از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) و مقایسه میانگین شاخص‌ها (شکل ۳) بر می‌آید، خصوصیات دندانه‌ها بیش از اندازه‌های نسبی برگ، سبب تفکیک جمعیت‌های درختان برودار بوده‌اند؛ و از آنجا که شاخص دندانه‌ای بیش از دیگر شاخص‌های برگ‌ی می‌تواند جمعیت‌های برودار را از یکدیگر جدا کند (جدول ۳)، برای تفکیک بصری وضعیت جمعیت‌های درختان تحت مطالعه حاضر، میانگین و دامنه تغییرات (انحراف معیار) شاخص دندانه‌ای این جمعیت‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.

با وجود تعداد زیاد جمعیت‌های انتخاب‌شده، تغییرات شکلی شاخص دندانه‌ای در اجتماع جنوبی به‌وضوح بیشتر از سه اجتماع دیگر است. دامنه شاخص دندانه‌ای در جمعیت‌های Lor13 و Lor2 کاملاً از محدوده اجتماع شرقی بیرون هستند و به‌ترتیب در داخل جوامع جنوبی و غربی/جنوبی قرار



شکل ۴- میانگین و دامنه (انحراف معیار) شاخص دندانهای جمعیت‌های برودار این مطالعه، دسته‌بندی شده براساس اجتماع

جدول ۴- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای محیطی و خصوصیات ریختی اندازه‌گیری شده در این مطالعه (تنها مقادیر ضریب محاسبه شده در سطح اطمینان بالای ۹۵٪ نشان داده شده‌اند و مقادیر کمتر با nc مشخص شده‌اند)

شاخص	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	میانگین بارندگی سالیانه	میانگین دمای سالیانه
طول به عرض پهنک	۰/۶۸	-۰/۴۱	nc	nc
طول پهنک به طول دم‌برگ	-۰/۵۸	nc	nc	nc
تعداد رگبرگ‌ها	-۰/۸۸	۰/۴۲	nc	nc
تعداد دندان	-۰/۸۵	۰/۴۲	nc	nc
زاویه بیرونی‌ترین دندان	۰/۸۳	-۰/۴۲	nc	nc
شاخص دندانهای	-۰/۸۱	۰/۴۲	nc	nc

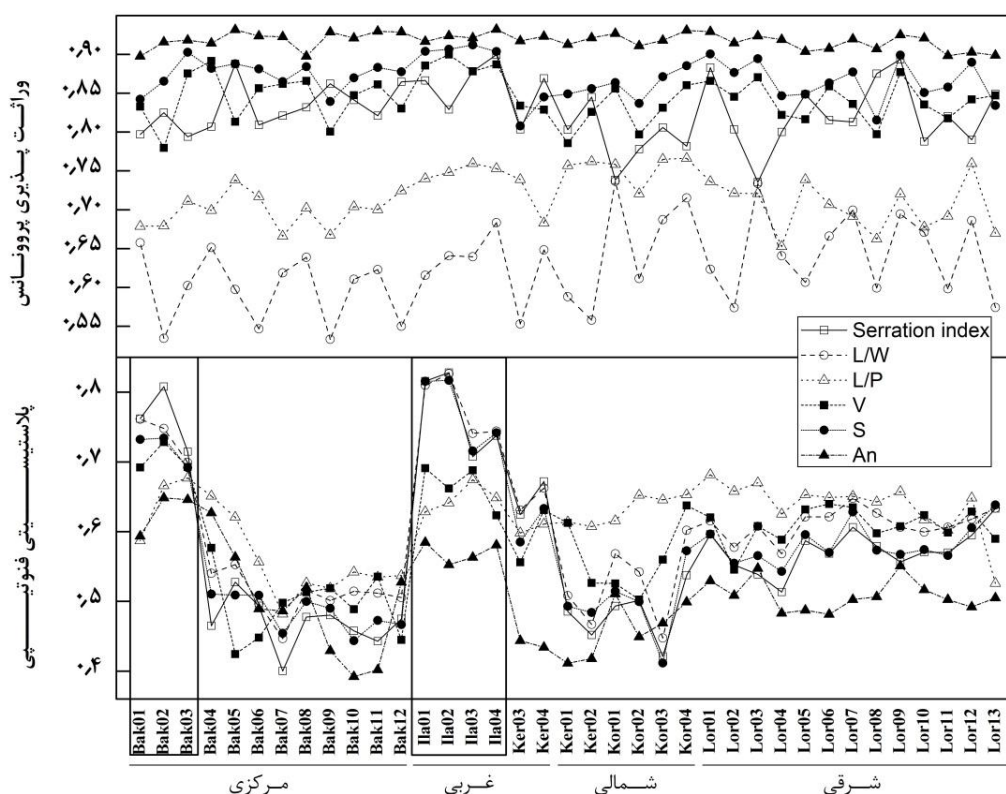
دندانه‌های برگ، بیشترین مقدار وراثت‌پذیری (بیش از ۹۰٪) را به خود اختصاص داد، و سه شاخص تعداد دندان و رگبرگ و شاخص دندانهای (بیش از ۸۰٪) در مکان بعدی قرار دارند. نسبت‌های اندازه‌های برگ، بیشترین تغییرات را از محیط اطراف می‌گیرند و نتایج نشان می‌دهد که آنها، عامل اصلی تطابق برگ با

اگر جمعیت‌های برودار را به‌عنوان پروناس در نظر بگیریم، خصوصیات دندان‌ها و رگبرگ‌های برگ برودار بیشترین و نسبت‌های اندازه برگ کمترین مقادیر وراثت‌پذیری را نشان دادند. هرچه وراثت‌پذیری بیشتر می‌شود، تفاوت این مقدار نیز از جمعیتی به جمعیت دیگر کمتر تغییر می‌کند. زاویه

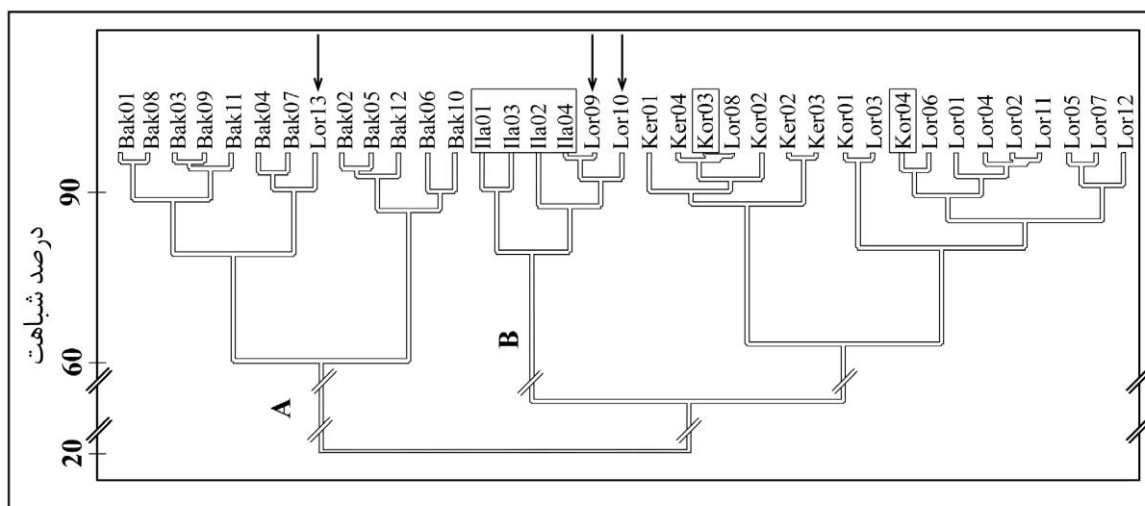
سه جمعیت Lor10, Lor09, Lor13 (مشخص شده با پیکان در شکل ۶) که در منتهالیه جنوب و جنوب غربی اجتماع شرقی (در استان لرستان) قرار دارند، تمام جمعیت‌های قرار گرفته در اجتماع جنوبی با درصد شباهت نزدیک ۶۰٪ (شاخه A در شکل ۶) و همگی جمعیت‌های قرار گرفته در استان ایلام (اجتماع غربی - مشخص شده در داخل چهارگوش) نیز با درصد شباهت نزدیک ۴۵٪ در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (شاخه B در شکل ۶). به جز این، پیوستگی جمعیت‌های شرقی با اجتماع شمالی به‌طور کامل آشکار است (شکل ۶).

شرایط تنش‌های زیستی هستند (شکل ۵). همان شکل نشان می‌دهد که فاصله شاخص‌های اندازه‌گیری شده از نظر شکل پذیری فنوتیپی چندان زیاد نیست، در ضمن هیچ یک از شاخص‌ها در تمام جمعیت‌ها از برتری غالب برخوردار نبوده‌اند. جمعیت‌های شمال شرق استان چهارمحال و بختیاری و استان ایلام دارای پلاستیسیته شاخص دندان‌های بیش از ۰/۷ هستند.

تحلیل خوشه‌ای با استفاده از خصوصیات شکلی معنی دار شده در تحلیل واریانس (همه شاخص‌ها به جز نسبت طول به عرض پهنک) نشان داد که به جز



شکل ۵- مقادیر وراثت پذیری و شکل پذیری فنوتیپی شاخص‌های برگی اندازه‌گیری شده به تفکیک جمعیت خطوط پیونددهنده نقاط جمعیت‌ها صرفاً به‌منظور تفکیک سطوح هستند. شکل پذیری فنوتیپی جمعیت‌های با شاخص دندان‌های بالای ۰/۷ تفکیک شده‌اند.



شکل ۶- تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های برودار به روش پیوند کامل و اندازه‌گیری اقلیدسی فاصله‌ها، با استفاده از شاخص‌های برگ‌گی

بحث

ابتکاری که در این تحقیق به کار برده شد آن بود که برخلاف بیشتر مطالعات پیشین، از شاخص‌های برگ‌گی تأثیرپذیر از شرایط اقلیمی و خاکی استفاده نشد. در صورت استفاده از مثلاً شاخص‌های برگ‌گی غیرنسی مانند طول و عرض پهنک، نتایج متفاوت با نتایج کنونی به دست می‌آید. از این رو اطمینان از قدرت تفکیک‌کنندگی و صحت پارامترهای اندازه‌گیری، هر چند به قیمت کاهش تعداد آنها در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت.

با وجود وسعت جغرافیایی شایان توجه جنگل‌های برودار (بیش از اغلب بلوط‌های اروپا و آمریکای مرکزی)، تحقیقات کمی در خصوص تنوع کلان‌شکلی برگ این گونه انجام گرفته است (مشایخی و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر گستردگی پراکنش و تنوع رویشگاه (اقلیم، خاک و توپوگرافی) ترکیب این گونه با *Q. libani*, *Q. pubescens*, *Q. infectoria* و حتی *Q. petraea*, *Q. ithaburensis* و *Q. robur* در جنگل‌های مناطق شمالی زاگرس و جنوب شرق آناتولی (Atalay and Efe, 2010)، سبب تغییرات شکلی زیادی در برگ درختان و میوه این گونه شده

است (ثابتی، ۱۳۷۳). محققان مختلف بر اساس نمونه‌های خاصی که به دست آورده‌اند، نام‌های متفاوتی برای این گونه قائل شده‌اند یا زیرگونه‌های مختلفی برای آن در نظر گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به *Q. persica* با پنج و *Q. brantii* با هشت واریته جداشده توسط Qahraman (1996) و تا هفت گونه و پنج واریته تفکیک‌شده توسط Djavanchir Khoie (1967) به صورت کمپلکس *Brantii* اشاره کرد. در حقیقت این تحقیق نیز نشان داد که تفاوت‌های شکلی در مورد خصوصیات مربوط به دندان‌های بودن حاشیه برگ، حتی در سطح درختان یک توده جنگلی برودار نیز ممکن است معنی‌دار باشند، از این رو در صورت تغییر سطح مطالعه به خصوصیات مربوط به شکل دندان‌های برگ و نیز جمع‌آوری و مقایسه نمونه‌های بیشتر، برای واریته و زیرگونه‌های جدید ممکن است نامگذاری‌های جدید گیرد یا همانند تحقیق Panahi et al. (2012) که تفاوت شکلی گونه‌های مختلف کمپلکس *Brantii* را به روش‌های میکروسکوپی سنجید، تعداد گونه‌های کمپلکس ممکن است کاسته شود.

نتایج نشان داد با وجود انتخاب پایه‌های تک‌تنه قطور، تغییر معنی‌داری در مشخصه‌های شکلی برگ در

توده‌های جنگلی گونه برودار بیشتر می‌شود، تفاوت شکلی برگ (به‌خصوص در خصوصیات دندان‌ها) افزایش می‌یابد (جدول ۲)، که ممکن است نشانهٔ جداافتادگی جغرافیایی به‌عنوان عامل اصلی تفرق ژنتیکی در این گونه باشد. در تایید این نتیجه اولاً می‌توان به کنار هم قرارگرفتن تقریبی جمعیت‌های برودار در این تحقیق، بر اساس اجتماعی که آنها به آن تعلق دارند اشاره کرد (شکل ۶) و ثانیاً این نکته که بیشترین فاصلهٔ ریختی از نظر شاخص‌های برگ‌ی دندان و رگبرگ بین دو اجتماع شمالی و جنوبی است (شکل ۳). پیوستگی توده‌های برودار به جنگل‌های بلوط خاورمیانه و اروپا و عدم پیشروی آنها به‌سمت شرق، خود به خود این نتیجه را متباین می‌کند که جدایی جغرافیایی از شمال غرب به جنوب شرق عمل می‌کند. همراهی دیگر گونه‌هایی بلوط همچون *Q. libani* و *Q. infectoria* در مناطق شمالی زاگرس سبب کاهش تعداد دندان و رگبرگ و باز شدن زاویهٔ برگ این درختان شده است، ضمن اینکه همبستگی منفی زاویه و تعداد دندان و تعداد رگبرگ با عرض جغرافیایی به‌طور اخص، بسیار قوی است. دورگه شدن در محیط وحشی در بین گونه‌های خانوادهٔ راش و به‌ویژه جنس بلوط مسبوق به سابقه است و گزارش‌های متعددی از این موارد منتشر شده است (Ishida *et al.*, 2003; Schnitzler *et al.*, 2004; Tovar-Sanchez and Oyama, 2006; Yarnes *et al.*, 2008). کندی حرکت گونه‌زایی نیز به واسطهٔ وراثت‌پذیری پروونانس زیاد این شاخص‌ها در این مسیر جغرافیایی بالا قابل درک است. مثال‌های کلاسیک گونه‌زایی بطئی در درختان به‌واسطهٔ جدایی جغرافیایی، نوتوفاگوس‌های قاره‌های جنوبی کرهٔ زمین و راش‌های آمریکایی و ژاپنی هستند (Taylor *et al.*, 2009).

شاخص دندان‌های که در این تحقیق ابداع شد نشان داد که می‌تواند با کمترین خطا، در حد بالایی توضیح دهندهٔ تفاوت شکلی برگ‌های مختلف درختان برودار در سطح جمعیت و حتی درخت باشد، به‌طوری‌که

داخل درخت، آن‌طور که در گونه‌های بلوط آمریکایی گزارش شده است (Blue and Jensen, 1988)، دیده نشد (جدول ۱). تفاوت جوانی/ بلوغ ژنتیکی^۱ در اندام یک گیاه و واکنش‌های رشدی متفاوت به تفاوت‌های نوری، دمایی و حتی وزش باد، عواملی هستند که معمولاً برای تفاوت‌های شکلی برگ در شاخه‌های مختلف یک درخت برشمرده می‌شوند. نبود تفاوت در خصوصیات شکلی برگ در داخل تاج درختان این تحقیق، را می‌توان ثبات ژنتیکی و عدم واکنش رشدی کوتاه‌مدت به شرایط محیطی در داخل درختان این گونه قلمداد کرد. تأییدکننده این مطلب، وراثت‌پذیری پروونانس بیشتر از ۸۰٪ برای اغلب صفات مربوط به دندان و رگبرگ است (شکل ۵)، که به‌معنی سهم زیاد این صفات هنگامی که در قالب الگوی تغییرات جمعیتی بررسی می‌شوند، است (Bruschi *et al.*, 2003). با تأیید ثبات خصوصیات لوب و دندان‌های حاشیهٔ برگ در سطح فرد، ابزاری قوی در اختیار تاکسونومیست‌ها قرار می‌گیرد. مثلاً مدت‌هاست که نشان داده شده خصوصیت لوب‌دار بودن برگ‌های پنبه، عامل تشخیص رقم‌ها و زیرگونه‌های آن است (Peebles and Kearney, 1928). در بین درختان جنگلی نیز ثبات تعداد دندان و رگبرگ و میزان لوب‌دار بودن از اصلی‌ترین خصوصیات وابسته به گونه تلقی شده است (Baker-Brosch and Peet, 1997; Siso *et al.*, 2001) و این خصوصیات برگ برخلاف ویژگی‌های کمی، در دامنه‌های وسیعی از شرایط محیطی تغییر نمی‌کنند و تحت تاثیر رشد^۲ گیاه قرار نمی‌گیرند (Nelson and Dengler, 1997; Royer *et al.*, 2008). وجه تمایز گونه‌های جنس راش نیز در تعداد رگبرگ‌های برگ‌های آنهاست، به‌طوری‌که گونه‌های بینابینی تعداد رگبرگ‌های بینابینی دارند (Denk, 1999).

نتایج نشان دادند که هرچه فاصلهٔ جغرافیایی

¹ Cone of juvenility

² Ontogeny

نتیجه این تحقیق نشان داد که فاصله جغرافیایی ایجادشده بین جمعیت‌های برودار، عمدتاً در مسیر دره‌های اصلی زاگرس است و می‌توان زیرگونه، واریته یا اکوتیپ‌های بیشتری را از کمپلکس *brantii* با حرکت در این راستا یافت. تغییر در جمعیت‌های اولیه، یا استقرار جمعیت‌های جدید برودار در زاگرس از سرزمین کردستان (شمال) به سمت جنوب شرق (لرستان) و با تأخیر زمانی یا همزمان از سمت شرق به سوی غرب (ایلام و جنوب کرمانشاه) رخ داده است. سپس این مسیر از معبر قرارگرفته بین دره‌های استپی جنوب لرستان و دشت گرم خوزستان، از شمال به جنوب زاگرس ادامه یافته است. به‌نظر می‌رسد حرکت این گونه در مسیر اخیر، در فرصت زمانی بیشتری انجام گرفته است، زیرا تفاوت برگ درختان اجتماع جنوبی این تحقیق کاملاً بیش از سه اجتماع دیگر بوده است.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر علیرضا داودیان برای مشورت‌های علمی و در اختیار گذاشتن ابزار اندازه‌گیری اعلام می‌دارند.

منابع

ثابتی، حبیب‌الله، ۱۳۷۳. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات دانشگاه یزد، ۸۰۶ ص.
ستاریان، علی؛ مهرداد زرافشان و فریبا بابایی سوستانی، ۱۳۹۰. تنوع ریختی برگ بین جمعیت‌های طبیعی بلندمازو (*Q. castaneifolia*) و اوری (*Q. macranthera*) در جنگل‌های خزری، تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۳(۶): ۲۵-۳۴.
یزدیان، فرشاد، ۱۳۷۹. تعیین گسترشگاه جنگلهای بلوط در ایران. دانشنامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، ۴۰۵ ص.

سهم جوامع مختلف ایجادکننده تغییر در این شاخص به بیش از ۶۵ درصد می‌رسد، که نسبت بالایی است. مثلاً تفکیک‌کننده‌ترین شاخص‌ها در گونه‌های بلوط مکزیکی کمتر از نیمی از تفاوت‌ها را توضیح داده‌اند (González-Rodríguez and Oyama, 2005). با فرض درستی تئوری اثرگذاری جدایی جغرافیایی، شاخص دندان‌های برگ برای ارزیابی تغییرات شکل‌پذیری فنوتیپی در این تحقیق نیز قوی عمل کرده است. این نتایج نشان داد که سه جمعیت بلوط منطقه بازفت (Bak01-03) و چهار جمعیت منطقه ایلام (Ila01-03) دارای شکل‌پذیری فنوتیپی بالای ۰/۷ برای شاخص دندان‌های بودند. این مشابهت، در همین اندازه، قبلاً در جمعیت‌های *Q. petraea* گزارش شده بود (Bruschi et al., 2003). تغییرات آشکار عرض جغرافیایی و با درجه کمتر ارتفاع از سطح دریا در جمعیت‌های این گونه و نیز قرارگیری آنها در مسیر دره‌های جنوب شرقی به شمال غربی (زردکوه - کوه کینو - کبیرکوه) ممکن است سبب یکسانی بروز ژنی یکسان در برگ این جمعیت‌ها باشد. قرارگیری سه جمعیت که در همین مسیر قرار دارند: Lor13، درخوشه جمعیت‌های جنوبی و Lor09 و Lor10 درخوشه جمعیت‌های غربی (مشخص شده با پیکان در شکل ۶) را می‌توان در همین قالب مطرح کرد.

نتیجه‌گیری

حاشیه فلات ایران آخرین سرحد پراکنش بلوط‌های خزان‌کننده قرار گرفته در زیرجنس‌های *Quercus* و *Cerris* در شرق خاورمیانه است و بین توده‌های کمابیش خالص برودار در رشته‌کوه زاگرس و جنگل‌های مخلوط بلوط‌های همیشه‌سبز کشمیر و هیمالیا فاصله جغرافیایی بیش از دوهزار کیلومتری وجود دارد. با در نظر داشتن زوال تدریجی و کاهش سطح جنگل‌های زاگرس در هزاره اخیر و نیز تغییرات ریختی برگ برودار به‌عنوان مبنای تفکیک جمعیت‌ها،

- Atalay, I. and R. Efe, 2010. Structural and distributional evaluation of forest ecosystems in Turkey, *Journal of environmental biology*, 31(1-2): 61-70.
- Baker-Brosh, K.F. and R.K. Peet, 1997. The ecological significance of lobed and toothed leaves in temperate forest trees, *Ecology*, 78(4): 1250-1255.
- Blue, M.P. and R.J. Jensen, 1988. Positional and Seasonal Variation in Oak (*Quercus*; Fagaceae) Leaf Morphology, *American Journal of Botany*, 75(7): 939-947.
- Borazan, A. and M.T. Babac, 2003. Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bolu, Turkey, *Annals Botanici Fennici*, 40(4): 233-242.
- Bruschi, P., P. Grossoni and F. Bussotti, 2003. Within- and among-tree variation in leaf morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl, natural populations, *Trees*, 17(2): 164-172.
- Burley, J., P.J. Wood and P.G. Adlard, 1976. A Manual on Species and Provenance Research with Particular Reference to the Tropics, State Mutual Book and Periodical Service, 226 pp.
- Denk, T., 1999. The taxonomy of *Fagus* in western Eurasia, 1: *Fagus sylvatica* subsp. *orientalis* (= *F. orientalis*), *Feddes Repertorium*, 110(3-4): 177-200.
- Djavanchir-Khoie, K., 1967. Les chênes de l'Iran, Université, Faculté des Sciences, 221 pp.
- González-Rodríguez, A. and K. Oyama, 2005. Leaf morphometric variation in *Quercus affinis* and *Q. laurina* (Fagaceae), two hybridizing Mexican red oaks, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 147(4): 427-435.
- Govaerts, R. and D.G. Frodin, 1998. World checklist and bibliography of Fagales: Betulaceae, Corylaceae, Fagaceae and Ticodendraceae, Royal Botanic Gardens - Kew, 34 pp.
- Hamrick, J.L., 2004. Response of forest trees to global environmental changes, *Forest Ecology and Management*, 197(1-3): 323-335.
- Ishida, T.A., K. Hattori, H. Sato, and M.T. Kimura, 2003. Differentiation and hybridization between *Quercus crispula* and *Q. dentata* (Fagaceae): Insights from morphological traits, amplified fragment length polymorphism markers, and leaf miner composition, *American Journal of Botany*, 90(5): 769-776.
- NASA. <http://disc.gsfc.nasa.gov>
- Nelson, T. and N. Dengler, 1997. Leaf vascular pattern formation, *The Plant Cell*, 9(7): 1121-1135.
- Panahi, P., Z. Jamzad, M.R. Pourmajidian, A. Fallah, M. Pourhashemi, and H. Sohrabi, 2012. Taxonomic revision of the *Quercus brantii* complex (Fagaceae) in Iran with emphasis on leaf and pollen micromorphology, *Acta botanica Hungarica*, 54: 354-375.
- Peebles, R.H. and T.H. Kearney, 1928. Mendelian Inheritance of Leaf Shape in Cotton, *Journal of Heredity*, 19(5): 235-238.
- Qahraman, A., 1996. Code général des familles et genres de la flore de l'Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, 368 pp.
- Richardson, A.D., P.M.S. Ashton, G.P. Berlyn, M.E. McGroddy and I.R. Cameron, 2001. Within-crown foliar plasticity of western hemlock, *Tsuga heterophylla*, in relation to stand age, *Annals of Botany*, 88(6): 1007-1015.
- Royer, D.L., J.C. McElwain, J.M. Adams and P. Wilf, 2008. Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*, *New Phytologist*, 179(3): 808-817.
- Schnitzler, J.P., R. Steinbrecher, I. Zimmer, D. Steigner and M. Fladung, 2004. Hybridization of European oaks (*Quercus ilex* x *Q. robur*) results in a mixed isoprenoid emitter type, *Plant Cell and Environment*, 27(5): 585-593.
- Siso, S., J.J. Camarero and E. Gil-Pelegrin, 2001. Relationship between hydraulic resistance and leaf morphology in broadleaf *Quercus* species: a new interpretation of leaf lobation, *Trees Structure and Function*, 15(6): 341-345.

Stojkovic, M., 1991. Variability and heritability of leaf flushing in *Quercus robur*, Glasnik za Sumske Pokuse, 27: 227-259.

Taylor, E.L., T.N. Taylor and M. Krings, 2009. Paleobotany: The biology and evolution of fossil plants, Academic Press, 1254 pp.

Tovar-Sanchez, E. and K. Oyama, 2006. Community structure of canopy arthropods associated to *Quercus crassifolia* × *Quercus crassipes* complex, *Oikos*, 112(2): 370-381.

Wu, C.I., 2001. The genic view of the process of speciation, *Journal of Evolutionary Biology*, 14(6): 851-865.

Yarnes, C.T., W.J. Boecklen, K. Tuominen and J.P. Salminen, 2008. Hybridization affects seasonal variation of phytochemical phenotypes in an oak hybrid complex (*Quercus gambelii* × *Quercus grisea*), *International Journal of Plant Sciences*, 169(4): 567-578.

Separation of Brant's oak (*Quercus brantii*) populations using macro-morphologic leaf indices

P. Abbasi¹, A. Soltani^{2*}, and I. Hashemzadeh Segherloo³

¹M.Sc. Student, Department of Forest Science, ShahreKord University, I. R. Iran

²Assistant Prof., Department of Forest Science, ShahreKord University, I. R. Iran

³Assistant Prof., Department of Fishery and Environmental Science, ShahreKord University, I. R. Iran

(Received: 2 February 2013, Accepted: 1 January 2014)

Abstract

Leaf samples were collected from 37 populations of Brant's oak (*Quercus brantii*) high forests across Zagros in five provinces of Iran. The samples were subsequently labeled based on their maternal trees' communities and populations, and the crown position, which leaves were located. For each leaf, lamina length to width and lamina to petiole length ratios as well as the number of veins and marginal teeth, a new invented leaf index called "serration index" and the angle between the outmost marginal tooth direction and leaf blade edge were measured. A fully nested ANOVA analysis showed that a steady pattern of decline exists in all leaf indices from community (high differences) to crown position (no difference). Sharp differences detected based on the leaf indices related to marginal teeth and veins. Using the leaf indices following clustering the populations, the results showed an up to 50% variation between southern and northern Brant's oak populations. Considering two factors of heritability and phenotypic plasticity through proper research methodology, the results suggest a revising in botanical classification of the Brant's oak taxa based on the samples collected in agreement with latitude as well as altitude alterations.

Keywords: Brant's oak, Leaf morphology, Phenotypic plasticity, Within species variation, Zagros.