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، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
[۲]استادیار گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
[۳]استادیار گروه شیلات و محیط زیست، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی 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 دندانه‌ها، تعداد رگبرگ‌ها، زاویهٔ بیرونی‌ترین دندانهٔ پهنک برگ، و نیز شاخص ابداعی جدیدی به نام شاخص دندانه‌ای محاسبه شدند. نتایج تحلیل واریانس آشیانه‌ای، مؤید الگوی یکسان تغییر شکل برگ‌های گونهٔ برودار در دامنهٔ مطالعات این تحقیق از تفاوت بیشتر در گروه‌های بزرگ‌تر (اجتماعات مختلف) به‌سمت تفاوت کمتر در گروه‌های کوچک‌تر (جمعیت درخت و محل قرارگیری برگ داخل تاج) است. خوشه‌بندی جمعیت‌ها با استفاده از شاخص‌های برگی، نشان داد که اجتماع بلوط زاگرس جنوبی، کاملاً از سه اجتماع دیگر این گونه متمایز است (درصد تفاوت تا ۵۰ درصد) و شاخص‌های متمایزکننده به‌خصوص شاخص تعداد و شکل دندانه‌های حاشیهٔ برگ، عامل اصلی این تمایز هستند. روش تحقیق و استفاده از شاخص‌های برگی مناسب به‌کاررفته در این تحقیق، با در نظر داشتن دو عامل شکل‌پذیری فنوتیپی و ارث‌پذیری، نیاز به بازنگری دوباره در رده‌بندی کمپلکس این گونه با درنظر گرفتن تئوری جدایی جغرافیایی را مطرح می‌کند. عامل اصلی این جدایی به‌جز تغییرات عرض جغرافیایی (بیش از ۸۰ درصد توضیح‌داده‌شده توسط شاخص دندانه‌ای)، تغییرات ارتفاع از سطح دریاست.

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

* نویسندهٔ مسئول شماره تماس: ۰۹۳۸۰۴۰۹۱۰۰ ایمیل: ali.soltani@nres.sku.ac.ir

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[1]). 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[2] 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 به‌واسطهٔ تفاوت روش‌های نمونه‌گیری گوناگون تا درنظرگیری 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 جداکنندهٔ 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 نیمکرهٔ 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 سنین 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 نه‌تنها برگ‌ها را می‌توان آیینه برآورکنندهٔ 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 plasticity
[2] Monophyly

طوری که در خاک‌ها و شرایط مختلف فیزیوگرافی به‌راحتی مستقر می‌شود و دامنهٔ 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. تغیرات شکلی زیادی در پایه‌های این گونهٔ بلوط دیده می‌شود، به‌طوری که احتمال وجود زیرگونه‌ها و حتی گونه‌های دیگری در توده‌های جنگلی برودار مطرح شده است. این تنوع شکل به‌حدی 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; Djavanchir Khoie, 1967; Qahraman, 1996؛ ثابتی، ۱۳۷۳). ازاین‌رو با توجه به گسترهٔ طولانی جنگل‌های برودار، هدف این تحقیق این است که، با ملاک قرار دادن شکل برگ درختان به‌عنوان اندامی که بیشترین تاثیرپذیری را از محتوای ژنتیکی گیاه می‌پذیرد و کمتر تحت‌تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، با فرض جداافتادگی جغرافیایی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی گونه‌زایی در برودار، تنوع داخل‌گونه‌ای 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 فاصله افقی بیش از ۵۰ کیلومتر از یکدیگر به‌عنوان 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 منطقهٔ جنگلی گسسته (با فاصلهٔ دست‌کم 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 گونهٔ برودار بودند (پایه‌ای برودار درنظر گرفته شد که میوهٔ فندقهٔ پیاله‌دار تولید می‌کرد و برگ‌های تخم مرغی دندانه‌دار غیرکاغذی با کرک‌های فراوان و ستاره‌ای داشت)؛ ۲- برای استنتاج ساده‌تر، تمام جمعیت‌ها در دامنه‌های شمالی (شمال غرب تا شمال شرق) قرار داشتند؛ ۳- اندازهٔ جمعیت کمتر از یک هکتار نبود؛ ۴- جمعیت‌های انتخاب شدند که دارای تعداد زیادی درخت تک‌تنه با اندازه‌های قطربرابرسینهٔ 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.

شکل ۱- محل ۳۷ جمعیت بلوط غرب انتخاب‌شده در این تحقیق، بیضی‌های محیط‌کنندهٔ این جمعیت‌ها را به‌ترتیب 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، درجهٔ مختصات جغرافیایی (Yو X) 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
شمالی	Kor01	آبشار گویله - جاده مریوان سقز	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
غربی	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
شرقی	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 خرم آباد - پل دختر ۱	۳۳/۳۰	۴۷/۸۱	۷۷۵
	Lor03	گردنه یافته-جاده خرم‌آباد کوهدشت	۳۳/۵۲	۴۸/۱۸	۱۲۸۵	Lor10	جاده خرم آباد - پل دختر ۲	۳۳/۲۳	۴۷/۷۰	۸۱۰
	Lor04	سفیدکوه - سراب دوره	۳۳/۵۷	۴۸/۰۲	۱۱۳۳	Lor11	جاده خرم آباد - زال ۱	۳۳/۲۶	۴۸/۲۲	۱۶۳۲
	Lor05	مخمل‌کوه - خرم آباد	۳۳/۵۹	۴۸/۳۰	۱۳۳۵	Lor12	جاده خرم آباد - زال ۲	۳۳/۰۸	۴۸/۲۲	۱۷۳۲
	Lor06	چم‌تگله – الشتر	۳۳/۷۵	۴۸/۰۳	۱۴۱۷	Lor13	جاده خرم آباد - زال ۳	۳۲/۹۶	۴۸/۱۳	۶۷۹
	Lor07	سه راه خرم آباد - زال - پل‌دختر	۳۳/۴۳	۴۸/۲۱	۱۱۷۳					
جنوبی	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	۵۱/۲۱	۱۹۱۳

در هر جمعیت، چهار درخت برودار با قطر تنهٔ 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 (قطعهٔ 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 نیمهٔ بالایی (*u*)، پایینی (*d*)، شمالی (*n*) و جنوبی (*s*) تاج درخت نام‌گذاری شدند. به این صورت که *dn*: شاخ و برگ‌های قرار گرفته در نیمهٔ پایینی و شمالی تاج درخت؛ *ds*: در نیمهٔ پایینی و جنوبی تاج درخت؛ *un*: در نیمهٔ بالایی و شمالی تاج درخت؛ *us*: در نیمهٔ 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.

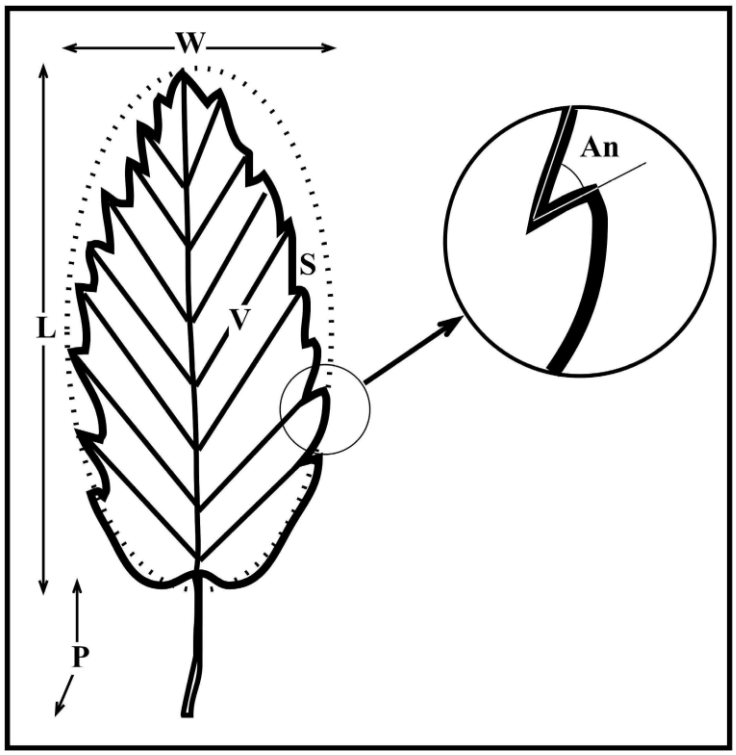
پس از قراردادن مقیاس مدرج در پس‌زمینهٔ تصویر، از برگ‌ها در محل، عکس‌برداری شد. سپس با استفاده از افزونهٔ Analysis در نرم‌افزار Adobe Photoshop و ملاک قرار دادن اندازهٔ مقیاس، اندازه‌ها و ابعاد مختلف برگ به دست آمد که عبارت بودند از: طول پهنک برگ، عرض پهنک برگ، طول دمبرگ با دقت میلی‌متر، تعداد دندانه‌های نیمهٔ راست برگ، تعداد رگبرگ‌های نیمهٔ راست برگ، زاویهٔ بین راستای بیرونی‌ترین دندانهٔ نیمهٔ راست برگ و راستای دندانهٔ 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 مقایسهٔ 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[1] در محاسبات استفاده شد. شاخص اخیر برای دخیل کردن فرم و شکل برگ ابداع شد که عبارت است از نسبت بین مساحت بیضی پوشانندهٔ کل برگ (L×W×π÷۴) به مساحت واقعی برگ (سانتی‌متر مربع) (شکل ۲). مقدار شاخص دندانه‌ای‌نه تنها برایند تأثیرات ناشی از تعداد دندانه‌هاست، بلکه از عمق نسبی دندانه‌ها نیز اثر می‌پذیرد.

برای تعیین تغییرات درون و برون‌گروهی جمعیت‌های بلوط غرب واقع در هر اجتماع، درختان قرارگرفته در هر جمعیت و در نهایت محل قرارگیری برگ‌ها، از واریانس اندازه‌گیری‌های انجام گرفته، در قالب یک طرح آشیانه‌ای کامل استفاده شد؛ به‌این‌صورت 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 سالهٔ بارندگی و متوسط دمای سالیانهٔ مرکز هرجمعیت 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 سالیانهٔ محل سنجیده شد. برایندی از مقدار شکل‌پذیری فنوتیپی (*Pl*) هر یک از ویژگی‌های برگ (*A*) در سطح جمعیت، توسط رابطه اصلاح‌شدهٔ Richardson *et al.* (2001) محاسبه شد (رابطهٔ ۱).

$$Pl = \frac{\mathrm{Min}(un\bar{A} + us\bar{A}) + \mathrm{Min}(dn\bar{A} + ds\bar{A})}{2 \times \mathrm{Max}A} \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

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

[1] Serration index



شکل۲- اندازه‌ها و ابعاد اندازه‌گیری شده در هربرگ

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

همچنین با درنظر گرفتن جمعیت به عنوان پرووننانس، ارث‌پذیری پرووننانس (h_p^2) برای هریک از اندازه‌های برگی، با استفاده از رابطه اصلاح‌شدهٔ 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 هریک 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، درمورد جمعیت‌ها به روش پیوند کامل[1] انجام گرفت. فاصله‌ها به روش اقلیدسی از یکدیگر جدا شدند.

نتایج

تحلیل واریانس اندازهٔ 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 ایجادکنندهٔ تغییر در شاخص‌های اندازه‌گیری شده نبود (جدول ۲).

این جدول نشان‌دهندهٔ کاهش اختلاف بارز در اندازهٔ 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

[1] Complete linkage method

نسبت اندازه‌های برگ به‌جای استفادهٔ 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.

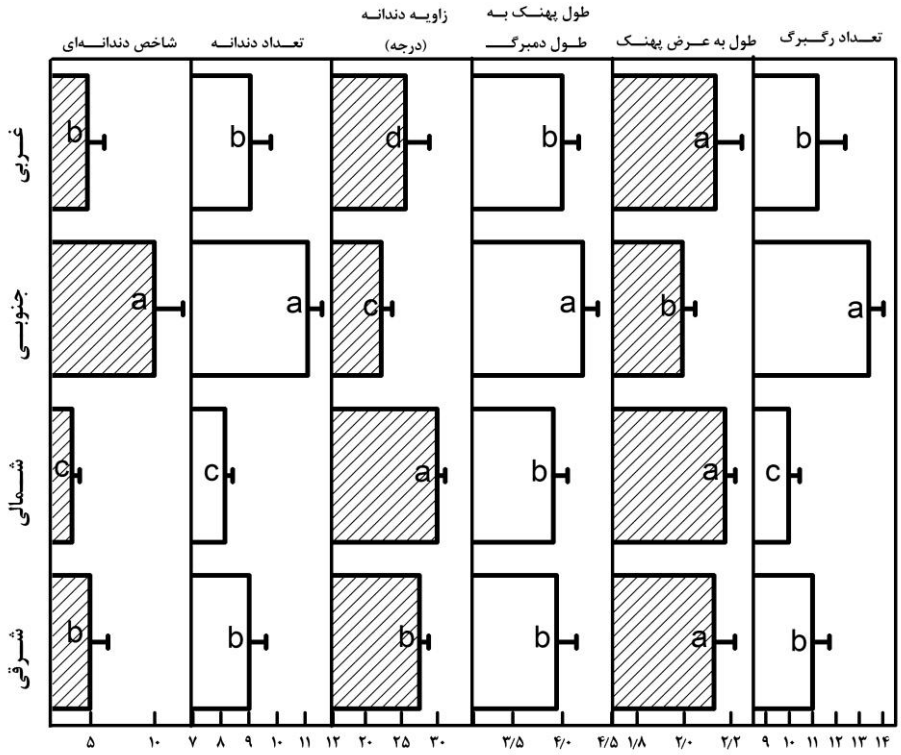
جدول۲- نتایج تحلیل واریانس مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده با در نظر گرفتن اجتماع، جمعیت، درخت و مکان قرارگیری برگ بر روی تاج، به‌ترتیب به عنوان پلات‌های اصلی تا فرعی (توضیح اختصارهای شاخص‌ها در شکل ۲ آمده است).

منبع تغییرات (درجهٔ آزادی)	اجتماع (۳)			جمعیت (اجتماع) (۳۳)			درخت (جمعیت اجتماع) (۱۱۱)			مکان برگ (جمعیت رویشگاه درخت) (۴۴۴)		
شاخص	MS	F	P	MS	F	P	MS	F	P	MS	F	P
L/W	۳/۹۶	۹/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۹	۱/۲۲	۰/۲۲۱	۰/۳۲	۱/۳۲	۰/۰۲۷	۰/۲۴	۰/۹۵	۰/۷۳۴
L/P	۱۲/۱۲	۶/۲۶	۰/۰۰۲	۱/۹۳	۴/۶۵	۰/۰۰۰	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۸۹۱	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۵۷۵
V	۹۷۸/۸۱	۴۸/۸۳	۰/۰۰۰	۲۰/۰۴	۹/۰۶	۰/۰۰۰	۲/۲	۱/۰۰	۰/۴۷۵	۲/۲۰	۰/۹۰	۰/۹۰۰
S	۱۲۸۶/۹۵	۳۴/۹۸	۰/۰۰۰	۳۶/۷۸	۹/۰۱	۰/۰۰۰	۴/۰۸	۱/۲۱	۰/۰۸۹	۳/۳۶	۰/۹۴	۰/۷۷۳
An	۶۳۷۱/۴۵	۳۰/۷۱	۰/۰۰۰	۲۰۷/۵۰	۱۲/۶۵	۰/۰۰۰	۱۶/۴۱	۱/۷۱	۰/۰۰۰	۹/۵۹	۰/۸۸	۰/۹۵۷
شاخص دندانه‌ای	۱۵۹۱۷/۶۶	۳۰/۶۷	۰/۰۰۰	۱۷۲/۹۸	۴۶/۷۴	۰/۰۰۰	۳/۷۰	۱/۷۷	۰/۰۰۰	۲/۰۹	۱/۹۱	۰/۱۰۹

جدول ۳- سهم هریک از مؤلفه‌های ایجادکنندهٔ تغییر در شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده (درصد) در قالب طرح کرت‌های خردشده

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

نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین شاخص‌های تحت مطالعه برای چهار اجتماع جدا از یکدیگر نشان‌دهندهٔ بیشترین تفاوت تمام شاخص‌ها بین دو اجتماع جنوبی و شمالی بودند که بیشترین فاصلهٔ جغرافیایی را از یکدیگر دارند. جمعیت‌های قرارگرفته در اجتماع جنوبی بسته‌ترین زوایای دندانهٔ برگ و در نتیجه بیشترین مقادیر شاخص دندانه‌ای را نشان دادند. همچنین این اجتماع کوتاه‌ترین دمبرگ‌ها، فراخ‌ترین پهنک‌ها و بیشترین تعداد رگبرگ و دندانه را به خود اختصاص داد (شکل ۳).

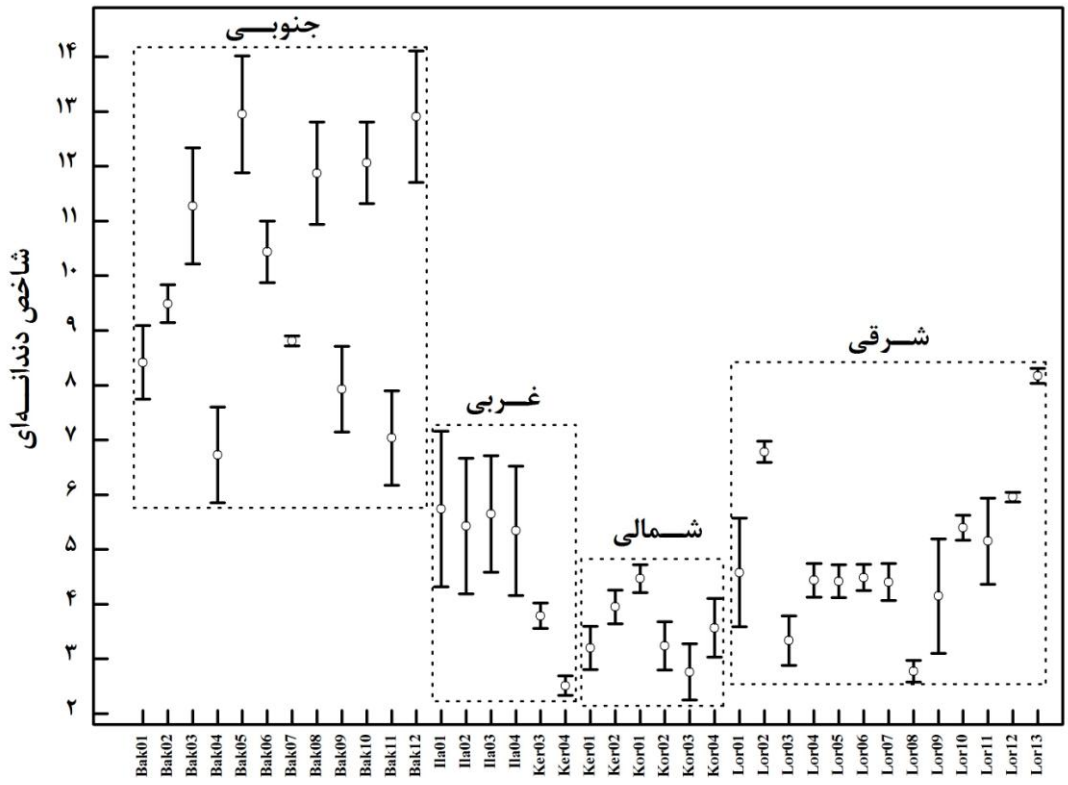


شکل ۳- مقایسهٔ میانگین شاخص‌های برگی اندازه‌گیری‌شده در سطح اجتماع جنگل‌های بلوط به‌وسیلهٔ آزمون Tukey (حروف لاتین مشترک برای هرشاخص، نشانهٔ عدم تفاوت معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ و میله‌های خطا، انحراف معیار هستند)

همان‌طور که از جدول تجزیهٔ واریانس (جدول ۲) و مقایسهٔ 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 مطالعهٔ حاضر، میانگین و دامنهٔ 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. دامنهٔ شاخص دندانه‌ای در جمعیت‌های Lor13 و Lor2 کاملاً از محدودهٔ اجتماع شرقی بیرون هستند و به‌ترتیب در داخل جوامع جنوبی و غربی/جنوبی قرار 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 درنظر گیری شاخص نسبت طول پهنک به طول دمبرگ، همبستگی معنی‌داری نیز بین اندازهٔ 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 اقالیم گرم‌تر و خشک‌تر)، دندانه‌ها و رگبرگ‌های بیشتر و زاویهٔ دندانه‌های بسته‌تری (تندتر) داشتند (جدول ۴).



شکل۴- میانگین و دامنهٔ (انحراف معیار) شاخص دندانه‌ای جمعیت‌های برودار این مطالعه، دسته‌بندی‌شده براساس اجتماع

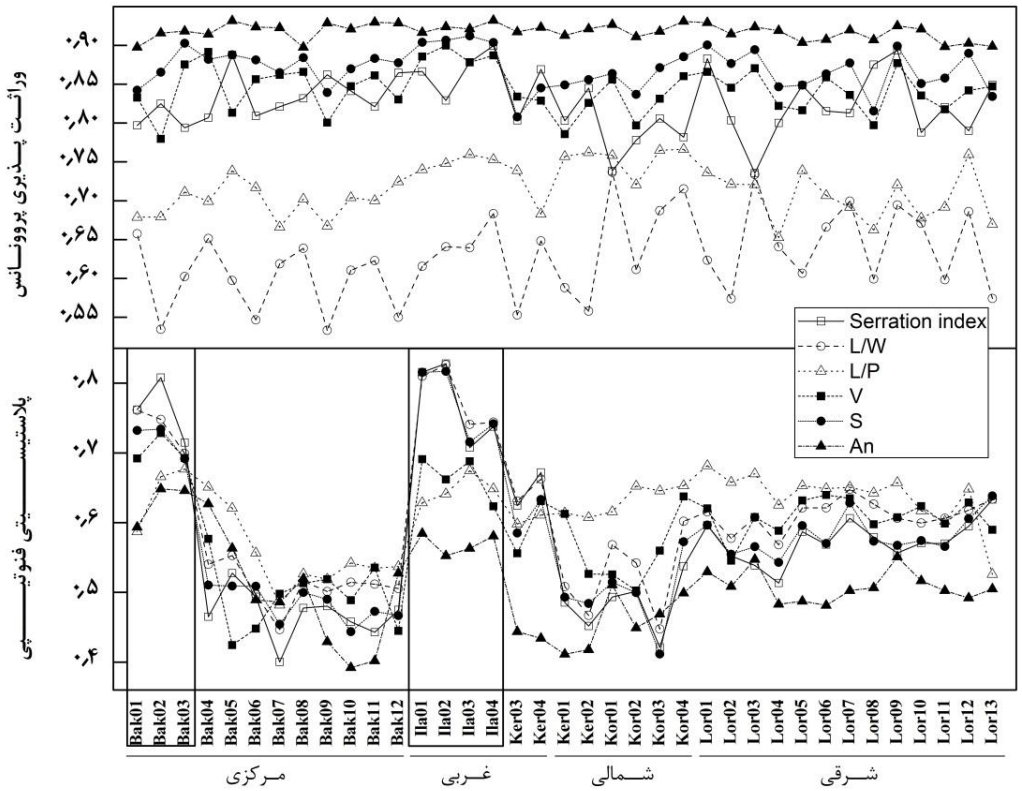
جدول ۴- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغییرهای محیطی و خصوصیات ریختی اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه
(تنها مقادیر ضریب محاسبه‌شده در سطح اطمینان بالای ۹۵٪ نشان داده شده‌اند و مقادیر کمتر با nc مشخص شده‌اند)

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 دندانه	-۰/۸۵	۰/۴۲	nc	nc
زاویهٔ بیرونی‌ترین دندانه	۰/۸۳	-۰/۴۲	nc	nc
شاخص دندانه‌ای	-۰/۸۱	۰/۴۲	nc	nc

اگر جمعیت‌های برودار را به‌عنوان پروویناس در نظر بگیریم، خصوصیات دندانه‌ها و رگبرگ‌های برگ برودار بیشترین و نسبت‌های اندازه برگ کمترین مقادیر وراثت پذیری را نشان دادند. هرچه وراثت‌پذیری بیشتر می‌شود، تفاوت این مقدار نیز از جمعیتی به جمعیت دیگر کمتر تغییر می‌کند. زاویهٔ دندانه‌های برگ، بیشترین مقدار وراثت‌پذیری (بیش از ۹۰٪) را به خود اختصاص داد، و سه شاخص تعداد دندانه 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

شرایط تنش‌های زیستی هستند (شکل ۵). همان شکل نشان می‌دهد که فاصلهٔ شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده 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 پلاستیسیتی شاخص دندانه‌ای بیش از ۰/۷ هستند.

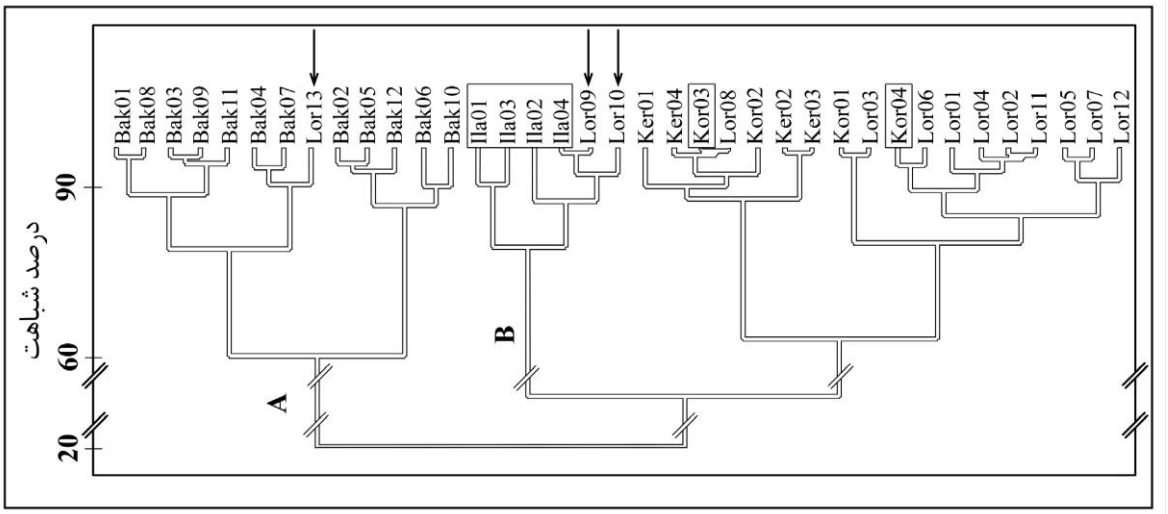
تحلیل خوشه‌ای با استفاده از خصوصیات شکلی معنی دار شده در تحلیل واریانس (همهٔ شاخص‌ها به جز نسبت طول به عرض پهنک) نشان داد که به جز سه جمعیت Lor13، Lor09 و Lor10 (مشخص‌شده با پیکان در شکل ۶) که در منتهاالیه جنوب و جنوب‌غربی اجتماع شرقی (در استان لرستان) قرار دارند، تمام جمعیت‌های قرارگرفته در اجتماع جنوبی با درصد شباهت نزدیک ۶۰٪ (شاخهٔ A در شکل ۶) و همگی جمعیت‌های قرارگرفته در استان ایلام (اجتماع غربی- مشخص شده در داخل چهارگوش) نیز با درصد شباهت نزدیک ۴۵٪ در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (شاخهٔ B در شکل ۶). به جز این، پیوستگی جمعیت‌های شرقی با اجتماع شمالی به‌طور کامل آشکار است (شکل ۶).



شکل ۵- مقادیر وراثت‌پذیری و شکل‌پذیری فنوتیپی شاخص‌های برگی اندازه‌گیری‌شده به تفکیک جمعیت

خطوط پیونددهندهٔ نقاط جمعیت‌ها صرفاً به‌منظور تفکیک سطوح هستند.

شکل‌پذیری فنوتیپی جمعیت‌های با شاخص دندانه‌ای بالای ۰/۷ تفکیک شده‌اند.



شکل ۶- تحلیل خوشه‌ای جمعیت‌های برودار به‌روش پیوند کامل و اندازه‌گیری اقلیدسی فاصله‌ها، با استفاده از شاخص‌های برگی

بحث

ابتکاری که در این تحقیق به‌کار برده شد آن بود که برخلاف بیشتر مطالعات پیشین، از شاخص‌های برگیِ تأثیرپذیر از شرایط اقلیمی و خاکی استفاده نشد. در صورت استفاده از مثلاً شاخص‌های برگی غیرنسبی مانند طول و عرض پهنک، نتایجی متفاوت با نتایج کنونی به‌دست می‌آمد. ازاین‌رو اطمینان از قدرت تفکیک‌کنندگی و صحت پارامترهای اندازه‌گیری، هر چند به قیمت کاهش تعداد آنها در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت.

باوجود وسعت جغرافیایی شایان توجه جنگل‌های برودار (بیش از اغلب بلوط‌های اروپا و آمریکای مرکزی)، تحقیقات کمی درخصوص 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. infectoria*، *Q. libani*، *Q. pubescens*، *Q. ithaburensis*، *Q. petraea* و حتی *Q. robur* در جنگل‌های مناطق شمالی زاگرس و جنوب شرق آناتولی (Atalay and Efe, 2010)، سبب تغییرات شکلی زیادی در برگ درختان و میوهٔ این گونه شده است (ثابتی، ۱۳۷۳). محققان مختلف بر اساس نمونه‌های خاصی که به‌دست 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 واریتهٔ جداشده توسط Qahraman (1996) و تا هفت گونه و پنج واریتهٔ تفکیک‌شده توسط Djavanchir Khoie (1967) به‌صورت کمپلکس Brantii اشاره کرد. در حقیقت این تحقیق نیز نشان داد که تفاوت‌های شکلی درمورد خصوصیات مربوط به دندانه‌ای بودن حاشیه برگ، حتی در سطح درختان یک توده جنگلی برودار نیز ممکن است معنی‌دار باشند، ازاین‌رو در صورت تغییر سطح مطالعه به خصوصیات مربوط به شکل دندانهٔ 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

داخل درخت، آن‌طور که در گونه‌های بلوط آمریکایی گزارش شده است (Blue and Jensen, 1988)، دیده نشد (جدول ۱). تفاوت جوانی/ بلوغ ژنتیکی[1] 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 پرووننانس بیشتر از ۸۰٪ برای اغلب صفات مربوط به دندانه 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 تایید ثبات خصوصیات لوب و دندانهٔ حاشیهٔ برگ در سطح فرد، ابزاری قوی دراختیار تاکسونومیست‌ها قرار می‌گیرد. مثلاً مدت‌هاست که نشان‌داده شده خصوصیت لوب‌دار بودن برگ‌های پنبه، عامل تشخیص رقم‌ها و زیرگونه‌های آن است (Peebles and Kearney, 1928). در بین درختان جنگلی نیز ثبات تعداد دندانه و رگبرگ و میزان لوبدار بودن از اصلی‌ترین خصوصیات وابسته به گونه تلقی شده است (Baker-Brosh 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[2] 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 توده‌های جنگلی گونه برودار بیشتر می‌شود، تفاوت شکلی برگ (به‌خصوص در خصوصیات دندانه‌ها) 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 دندانه 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. infectoria* و *Q. libani* در مناطق شمالی زاگرس سبب کاهش تعداد دندانه و رگبرگ و باز شدن زاویهٔ برگ این درختان شده است، ضمن اینکه همبستگی منفی زاویه و تعداد دندانه 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 پرووننانس 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

[1] Cone of juvenility
[2] Ontogeny

سهم جوامع مختلف ایجادکنندهٔ تغییر در این شاخص به بیش از ۶۵ درصد می‌رسد، که نسبت بالایی‌است. مثلاً تفکیک‌کننده‌ترین شاخص‌ها درگونه‌های 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 منطقهٔ بازفت (Bak01-03) و چهار جمعیت منطقهٔ 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 درجهٔ 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

حاشیهٔ فلات ایران آخرین سرحد پراکنش بلوط‌های خزان‌کنندهٔ قرارگرفته 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 فاصلهٔ جغرافیایی بیش از دوهزار کیلومتری وجود دارد. با درنظر داشتن زوال تدریجی و کاهش سطح جنگل‌های زاگرس در هزارهٔ اخیر و نیز تغییرات ریختی برگ برودار به‌عنوان مبنای تفکیک جمعیت‌ها، نتیجهٔ این تحقیق نشان داد که فاصلهٔ 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) به‌سمت 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 اختیارگذاشتن ابزار اندازه‌گیری اعلام می‌دارند.

منابع

ثابتی، حبیب‌الله، ۱۳۷۳. جنگل ها، 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): ۳۴-۲۵.

یزدیان، فرشاد، ۱۳۷۹. تعیین گسترشگاه جنگلهای بلوط در ایران. دانشنامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات، ۴۰۵ ص.

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 families 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* x *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. Abbasi [1], A. Soltani[2*], and I. Hashemzadeh Segherloo[3]

[1]M.Sc. Student, Department of Forest Science, ShahreKord University, I. R. Iran
[2]Assistant Prof., Department of Forest Science, ShahreKord University, I. R. Iran
[3]Assistant 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.

* Corresponding Author Tell: +98 938 040 910 Email: ali.soltani@nres.sku.ac.ir