DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2026.4148

ارزیابی تنوع فنوتیپی بنه در استان کرمان برای تأسیس باغ بذر درختان مناطق خشک (مقالهٔ پژوهشی)

۱- داود درویشی زیدآبادی*، استادیار، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.
darvishi48@gmail.com
۲- محمد بیرانوند، استادیار، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵

چکیده

گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، درختی کلیدی در مناطق خشک ایران، با هدف حفاظت خاک و کنترل بیابان، نیازمند تولید نهال‌های با کیفیت ژنتیکی بالاست. این پژوهش با هدف ایجاد باغ بذر بنه، به ارزیابی بذرها و نهال‌های حاصل از ۵ تا ۱۱ پایه انتخابی در شش رویشگاه طبیعی استان کرمان شامل کوه میخ‌سفید سیرجان، دوراهی گوشک بافت، بنه‌آباد گوغر، جنگل سه‌چاه ده‌سرد، محمدآباد مسکون و دهبکری بم انجام شد. صفات مورفولوژیکی بذر و صفات رویشی نهال‌ها (ارتفاع، قطر طوقه، درصد جوانه‌زنی و زنده‌مانی) طی دو سال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس، وجود اختلاف معنی‌دار در تمامی صفات مورفولوژیک (مانند وزن هزار دانه و درصد پوکی) و عملکرد نهال‌ها را در سطح ۱ درصد تأیید کرد. بذور محمدآباد مسکون بیشترین درشتی و وزن را داشتند، درحالی‌که دهبکری بالاترین درصد زنده‌مانی و سه‌چاه بیشترین ارتفاع نهال را در طول دو سال ثبت کردند. الگوی رشد نهال‌ها نشان‌داد که نهال‌های سه‌چاه بلندترین و نهال‌های کوه میخ سفید، کوتاه‌ترین بودند. این تنوع ژنتیکی گسترده و تفاوت در عملکرد، بستری مناسب برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های برتر با قابلیت سازگاری بالا و صفات اقتصادی مطلوب فراهم می‌آورد. بر این اساس، توده‌های مناطق محمدآباد، سه‌چاه و بنه‌آباد به‌واسطه کیفیت مطلوب بذر و نهال، جهت عملیات جنگل‌کاری و احیای مناطق خشک توصیه می‌شوند؛ درحالیکه توده‌های دهبکری و میخ‌سفید به‌دلیل مقاومت فیزیولوژیک بالا، برای حفاظت خاک و مهار بیابان‌زایی در شرایط تنش‌های محیطی شدید، ارجحیت دارند.

واژگان کلیدی: ژنوتیپ‌های منتخب، اصلاح درختان جنگلی، تنوع ژنتیکی، تولید نهال.

مقدمه

تجدید حیات و احیای طبیعی گونه‌های درختی از شاخص‌های حیاتی برای پویایی و پایداری بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود [۱]. ناحیهٔ ایران-تورانی که بخش اعظم کشور را در بر می‌گیرد، زیستگاه گونه‌های مقاوم به خشکی نظیر بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) است که نقش‌های اکولوژیک و اقتصادی کلیدی ایفا می‌کند [۴]. بنه، به‌عنوان یک گونه درختی دوپایه و خزان‌کننده، به‌دلیل نورپسندی، سازگاری با خاک‌های سنگلاخی و مقاومت استثنایی در برابر خشکی، شوری و سرما، غالباً پوشش عمده جنگل‌های تنک جنوب غرب آسیا را تشکیل داده [۶] و با استقرار در مناطق حاشیه‌ای، سدی طبیعی در برابر بیابان‌زایی ایجاد می‌کند [۱۳]. با وجود این سازگاری‌های اکولوژیک، فرآیند زادآوری طبیعی بنه به‌دلیل عواملی چون دوپایه بودن و برداشت بی‌رویه با اختلال جدی مواجه است، لذا حفاظت و احیای فعال آن ضروری است [۷]. بنابراین، با توجه به پتانسیل بالای این

گونه در احیای جنگل‌های خشک، بررسی تنوع رویشگاهی بذر و مشخصات نهال‌های حاصل از آن‌ها برای توسعه راهبردهای مدیریتی پایدار جنگل و گزینش پایه‌های مادری برتر، امری حیاتی است.

اهمیت بوم‌شناختی این گونه در استان کرمان که دارای شرایط اقلیمی ویژه‌ای است، دوچندان می‌گردد [۴]. این استان با وسعتی در حدود ۱۷/۵ میلیون هکتار در پهنه فلات مرکزی ایران واقع شده است که از این میزان، بالغ بر ۱/۵ میلیون هکتار را عرصه‌های جنگلی تشکیل می‌دهند. این منطقه با چالش‌های زیست‌محیطی فزاینده‌ای مواجه است؛ به‌گونه‌ای که شناسایی ۲۹ کانون بحرانی فرسایش بادی با مساحتی در حدود ۶۴۳۹۴۳، صیانت و احیای پوشش‌گیاهی را به ضرورتی حیاتی در راستای پایداری بوم‌شناختی منطقه بدل کرده است (اداره کل حفاظت محیط زیست استان کرمان، ۱۳۹۵). علاوه‌بر خدمات اکوسیستمی، بنه گونه‌ای چندمنظوره است که محصولات فرعی آن نظیر صمغ (سقز) با کاربردهای صنعتی و دارویی، و همچنین بذر آن با مصارف خوراکی و دارویی (کاهش چربی خون)، ارزش اقتصادی بالایی دارند [۱۶]. تحقیقات نشان داده‌اند که با افزایش قطر تاج و تنه درختان، میزان تولید بذر افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که درختان کهنسال می‌توانند تا ۴۵ کیلوگرم بذر تولید کنند، هرچند که کیفیت و درصد بذر پر در طبقات قطری مختلف و رویشگاه‌های متفاوت، متغیر است [۱۴]. در پژوهشی دیگر، ارزیابی سه نسل متوالی از توده‌های سیاه‌تاغ در استان قم نشان‌داد که گزینش ژنوتیپ‌های برتر، موجب بهبود وراثت‌پذیری عمومی و افزایش پایداری صفات رویشی در نسل سوم شده است. این روندِ پایداری، احداث باغ بذر را به‌عنوان راهکاری کارآمد جهت ارتقای تنوع ژنتیکی و افزایش مقاومت بیولوژیک در برابر تنش‌هایی نظیر زردی و طغیان آفات در تاغزارهای دست‌کاشت تبیین می‌کند [۱۵]. بررسی تنوع ژنتیکی بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) نشان می‌دهد که صفاتی با وراثت‌پذیری بالا نظیر حجم و قطر یقه نهال‌ها، معیارهای کارآمدی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر محسوب می‌شوند. همچنین، سازگاری بالای توده‌های مناطق خشک در محیط‌های جدید، مؤید لزوم انتخاب بذر براساس تطابق اقلیمی به جای تأکید صرف بر بومی‌بودن بذور در پروژه‌های احیای جنگل است [۱۰].

با وجود اهمیت راهبردی این گونه، تکثیر و احیای جنگل‌های بنه با چالش‌های فیزیولوژیکی و فنی روبرو است [۱۴]. بذر به‌عنوان رکن اصلی موفقیت در طرح‌های توسعه جنگل، در گونه بنه دارای خواب‌های مکانیکی (پوسته سخت) و فیزیولوژیکی عمیق است که جوانه‌زنی را دشوار می‌سازد [۳]. از سوی دیگر، استفاده از بذور نامرغوب و بدون پشتوانه ژنتیکی در جنگل‌کاری‌ها، نه‌تنها منجر به هدررفت سرمایه می‌شود، بلکه به‌دلیل افزایش هم‌خونی و کاهش تنوع ژنتیکی، پایداری توده‌های دست‌کاشت را در برابر تنش‌های محیطی به خطر می‌اندازد [۱۹]. بنابراین، شناسایی و استفاده از بذوری که علاوه‌بر صفات فنوتیپی مطلوب، دارای قوه نامیه و درصد جوانه‌زنی بالا باشند، از ضروریات اجتناب‌ناپذیر برای برنامه‌ریزی جهت احیای رویشگاه‌های جنگلی است [۱۹].

تجربیات جهانی در کشورهایی اروپایی و چین و ژاپن نشان داده است که راهکار اصولی برای عبور از این چالش‌ها، گذار از جمع‌آوری سنتی بذر به سمت احداث باغ‌های بذر است [۵، ۱۲]. باغ‌های بذر با تمرکز بر ژنوتیپ‌های برتر و مدیریت گرده‌افشانی، ضمن جلوگیری از پسروی ژنتیکی، کیفیت بذر تولیدی را به‌طرز چشمگیری ارتقا می‌دهند؛ چنانکه مطالعات نشان داده‌اند نهال‌های حاصل از باغ‌های بذر در گونه‌هایی مانند کاج، رشد حجمی و ارتفاعی به مراتب بهتری نسبت‌به شاهد داشته‌اند [۱۷]. با این حال، علی‌رغم وجود سطح وسیعی از جنگل‌های بنه در ایران و پتانسیل افزایش سطح آن تا ۱۰ میلیون هکتار، تاکنون هیچ تجربه‌ای در خصوص احداث باغ بذر بنه در کشور عملیاتی نشده است [۲۱].

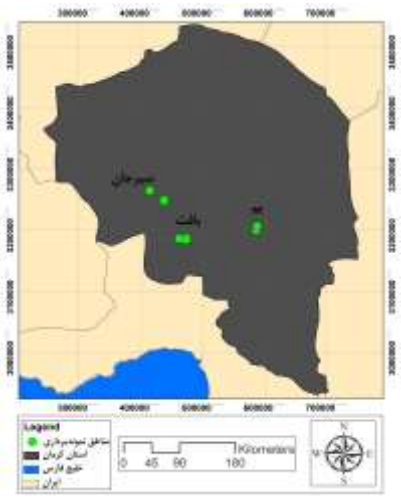
با توجه به اینکه بذر رکن اساسی و پیش‌نیاز موفقیت در هر طرح توسعه‌ای و جنگل‌کاری دست‌کاشت است و عدم استفاده از بذور مناسب منجر

به بی‌ثمر ماندن تلاش‌ها و هدررفت هزینه‌های هنگفت می‌شود، تأمین بذر با صفات فیزیولوژیکی مطلوب (نظیر قوه نامیه و درصد جوانه‌زنی بالا) جهت تولید نهال‌هایی با توانمندی ویژه، از ضروریات انکارناپذیر در احیای رویشگاه‌ها است [۸]. لذا، با در نظر گرفتن فقر پوشش جنگلی در استان کرمان و نیاز مبرم به تولید نهال‌های مقاوم و باکیفیت برای مقابله با چالش‌های محیطی چون ریزگردها و بیابان‌زایی، پژوهش حاضر با هدف رفع این خلاء علمی و اجرایی تدوین شده است. در این تحقیق، با تمرکز بر گونه ارزشمند بنه، تلاش می‌گردد تا از طریق اجرای توأم گزینش‌های عرصه‌ای، آزمون نتاج و انتخاب پایه‌های مادری برتر براساس معیارهای ژنتیکی و رویشی، گامی اساسی در جهت تأسیس باغ بذر نسل سومی برداشته شود. این اقدام نه‌تنها به حفظ ذخایر ژنتیکی کمک می‌کند، بلکه با تولید انبوه بذر اصلاح‌شده، سبب افزایش بازدهی طرح‌های جنگل‌کاری شده و در نهایت، بستری مطمئن برای بهره‌برداری اقتصادی پایدار از محصولات فرعی این گنجینه در نواحی رویشی ایران-تورانی فراهم خواهد ساخت.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه و روش نمونه‌برداری

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بیومتریک و تعیین پتانسیل کیفی بذور گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در استان کرمان، شش رویشگاه معرف شامل جنگل‌های سه‌چاه دهسرد (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۲۱۰)، بنه‌آباد گوغر بافت (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۴۰۳ متر)، کوه میخ‌سفید سیرجان (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۳۴۸ متر)، دوراهی گوشک بافت (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۱۸۳)، محمدآباد مسکون بم (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۰۲۵) و دهبکری بم (با میانگین ارتفاع از سطح دریا ۲۲۹۸) جهت انجام مطالعات میدانی انتخاب شدند (شکل ۱). عملیات نمونه‌برداری براساس استراتژی کاملاً تصادفی و با تمرکز بر تک‌درختان انجام پذیرفت. بدین‌صورت که با توجه به تراکم توده‌ها، از هر رویشگاه بین ۵ تا ۱۱ پایه مادری سالم و بالغ انتخاب و در مجموع از ۴۸ ژنوتیپ (پایه مادری) بذور کاملاً رسیده جمع‌آوری گردید. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و انجام عملیات بوجاری، شاخص‌های کمی و کیفی شامل ابعاد هندسی بذر (قطر بزرگ و کوچک) با استفاده از کولیس دیجیتال، وزن هزار دانه به‌عنوان معیاری از ذخیره غذایی بذر با ترازوی دقیق و همچنین درصد پوکی جهت تعیین کیفیت توده بذر برای هر تکرار اندازه‌گیری و ثبت شد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و پراکنش مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در استان کرمان.

روش‌های آزمایشگاهی

به‌منظور ارزیابی دقیق صفات کمی و کیفی بذور در شرایط آزمایشگاهی، ابتدا جهت تعیین درصد پوکی و سلامت فیزیکی، از روش استاندارد آزمون شناوری مبتنی‌بر تفاوت وزن مخصوص استفاده شد؛ بدین‌صورت که نمونه‌های تصادفی از هر پایه مادری در آب غوطه‌ور شده و بذور شناور (پوک) و ته‌نشین (پر) تفکیک و پس از شمارش، درصد پوکی نسبت‌به کل نمونه محاسبه گردید. در ادامه، جهت تعیین ویژگی‌های مورفومتریک، ابعاد هندسی بذر شامل قطر بزرگ و قطر کوچک با انتخاب تصادفی پنج بذر از هر ژنوتیپ و با استفاده از کولیس دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت شد. همچنین شاخص وزن هزار دانه (TSW) به‌عنوان پارامتری حیاتی در ارزیابی بنیه بذر، براساس روش‌های استاندارد بین‌المللی (مانند ISTA) از طریق شمارش سه تکرار ۱۰۰ تایی از بذور هر درخت و توزین آن‌ها با ترازوی آزمایشگاهی دقیق تعیین و با تعمیم میانگین وزن‌های حاصله به هزار دانه، محاسبه و گزارش شد [۲].

برای شکستن خواب بذر، تیمار سرمادهی مرطوب در شرایط کنترل‌شده اعمال گردید [۲]. کشت بذور با حفظ هویت ژنتیکی در قالب ۱۵ گلدان پلاستیکی برای هر ژنوتیپ (۴ بذر در هر گلدان) انجام شد و پس از حدود یک ماه و مشاهده سبز شدن بذور، فرآیند مقاوم‌سازی نهال‌ها طی دو مرحله شامل نگهداری دو ماهه در گلخانه و سپس دو ماه سازگاری در فضای باز (ایستگاه تحقیقاتی شهید زنده‌روح، مرکز تحقیقات استان کرمان) صورت پذیرفت. نهال‌های تولیدی پس از یک سال جهت توسعه سیستم ریشه به گلدان‌های بزرگتر منتقل شدند و داده‌های رویشی شامل قطر طوقه، ارتفاع و درصد زنده‌مانی طی دو سال متوالی ثبت گردید.

روش آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها بر پایه طرح کاملاً تصادفی (CRD) انجام شد، که در آن نمونه‌های برداشت‌شده از هر منطقه به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شدند. پیش از انجام تحلیل‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین (Levene) مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. جهت بررسی اثر مناطق مورد مطالعه بر ویژگی‌های خاک و پارامترهای رویشی نهال، از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون تعقیبی توکی در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت گرفته شد. همچنین، به‌منظور شناسایی الگوهای تغییرات و تعیین همبستگی بین متغیرها، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به‌کار رفت. تمامی محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۴.۵.۲) انجام شد.

نتایج

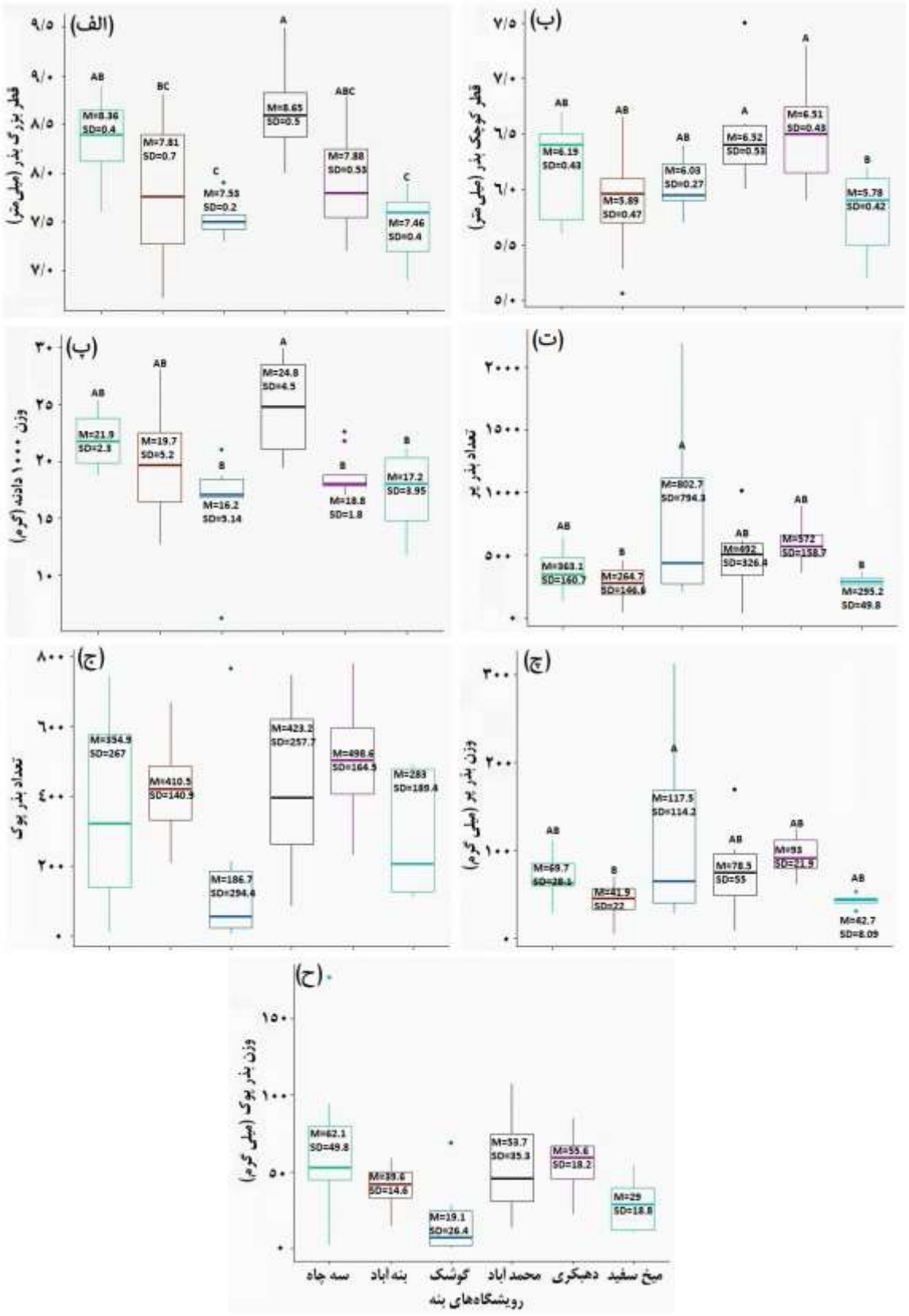
نتایج تفکیکی مشخصه‌های بذر و رویشگاه

نتایج حاصل از تحلیل آماری مقایسه مشخصه‌های بذر درخت بنه در مناطق مختلف (سه‌چاه، بنه‌آباد، گوشک، محمدآباد، دهبکری و میخ‌سفید) که در نمودارهای جعبه‌ای ارائه شده، نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار در اغلب صفات اندازه‌گیری شده است (جدول ۱ و شکل ۲). مقایسه میانگین قطر کوچک بذر در مناطق مختلف نشان‌داد بذرهای جمع‌آوری شده از منطقه محمدآباد مسکون دارای بیشترین مقدار قطر کوچک بذر بودند و بذور جمع‌آوری شده از منطقه کوه میخ‌سفید سیرجان دارای کمترین قطر کوچک بذر بودند (جدول ۱ و نمودارهای الف و ب شکل ۲). در ویژگی‌های مربوط به بذر، مناطق محمدآباد (میانگین وزن ۱۰۰۰ بذر: ۲۴/۸ گرم) و سه‌چاه و بنه‌آباد (۲۱/۹ و۱۹/۷ گرم) دارای سنگین‌ترین بذور بودند، در حالی که گوشک (میانگین ۱۶/۲ گرم) و میخ‌سفید (میانگین ۱۷/۲ گرم) سبک‌ترین بذور را داشتند (جدول ۱ و نمودار پ شکل ۲). همچنین، در صفات مربوط به تعداد بذر در کیلوگرم، منطقه میخ‌سفید با کمترین میانگین تفاوت معنی‌داری با سایر مناطق نشان‌داد که با وزن بالای

بذر در بنه‌آباد و سه‌چاه مطابقت دارد. به‌طور کلی، منطقه محمدآباد، بنه‌آباد و سه‌چاه با داشتن بالاترین میانگین وزن ۱۰۰۰ بذر و قطر بزرگ بذر، از نظر کیفی بذر برتر از مناطق دیگر به‌ویژه گوشک و میخ‌سفید محسوب می‌شوند (جدول ۱ و نمودارهای ج تا ح شکل ۲).

جدول ۱- تجزیهٔ واریانس مشخصه‌های ریختی بذر بنه در رویشگاه‌های مختلف آن

مشخصه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
قطر بزرگ بذز (میلی‌متر)	بین گروه‌ها	۷/۰۸	۵	۱/۴۱۶	۵/۴۷	۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۱۰/۸۷۳	۴۲	۰/۲۵۹		
	کل	۱۷/۹۵۳	۴۷			
قطر کوچک بذر (میلی‌متر)	بین گروه‌ها	۳/۶۲۴	۵	۰/۷۲۸	۳/۷۹۸	۰/۰۰۶
	درون گروه‌ها	۸/۰۵۷	۴۲	۰/۱۹۲		
	کل	۱۱/۶۹۹	۴۷			
وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)	بین گروه‌ها	۳۱۷/۱۵۳	۵	۶۳/۴۳۱	۴/۳۲۳	۰/۰۰۳
	درون گروه‌ها	۶۱۶/۳۰۴	۴۲	۱۴/۶۷۴		
	کل	۹۳۳/۴۵۸	۴۷			
تعداد بذر پر	بین گروه‌ها	۱۴۵۸۲۸۸/۷۸۳	۵	۲۹۱۶۵۷/۷۵۷	۲/۸	۰/۰۲۹
	درون گروه‌ها	۴۳۷۴۸۹۱/۱۳۳	۴۲	۱۰۴۱۶۴/۰۷۵		
	کل	۵۸۳۳۱۷۹/۹۱۷	۴۷			
تعداد بذر پوک	بین گروه‌ها	۴۵۲۸۹۹/۷	۵	۹۰۵۷۹/۹۴	۱/۹۰۲	۰/۱۱۴
	درون گروه‌ها	۲۰۰۰۵۱۴/۱۱۲	۴۲	۴۷۶۳۱/۲۸۸		
	کل	۲۴۵۳۴۱۳/۸۱۲	۴۷			
وزن بذر پر (میلی‌گرم)	بین گروه‌ها	۳۰۷۷۲/۷۲۸	۵	۶۱۵۴/۵۴۶	۲/۶۶۷	۰/۰۳۵
	درون گروه‌ها	۹۶۹۲۰/۵۱۷	۴۲	۲۳۰۷/۶۳۱		
	کل	۱۲۷۶۹۳/۲۴۵	۴۷			
وزن بذر پوک (میلی‌گرم)	بین گروه‌ها	۱۰۱۴۴/۵۵	۵	۲۰۲۸/۹۱	۲/۲۰۳	۰/۰۷۲
	درون گروه‌ها	۳۸۶۷۷/۳۴۲	۴۲	۹۲۰/۸۸۹		
	کل	۴۸۸۲۱/۸۹۲	۴۷			



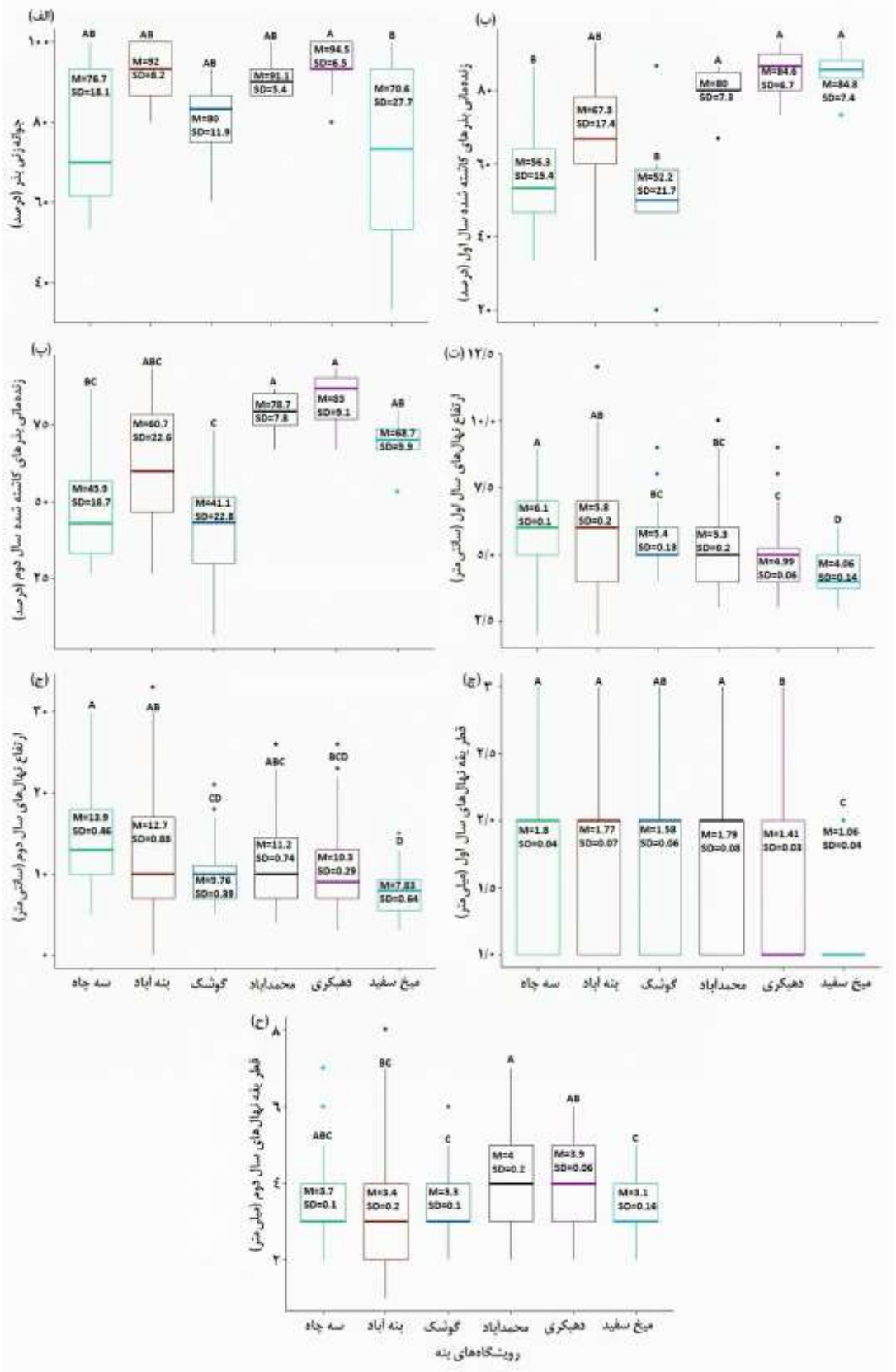
شکل ۲- مشخصه‌های ریختی بذرهای بنه در رویشگاه‌های مختلف آن. حروف بزرگ انگلیسی نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد براساس آزمون توکی است.

نتایج صفات جوانه‌زنی، زنده‌مانی و رویشی نهال

مقایسه عملکرد بذر و نهال در رویشگاه‌های مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار در تمامی صفات مورد مطالعه است (جدول ۲ و شکل ۳). درصد جوانه‌زنی در منطقه دهبکری با میانگین ۹۴/۵ درصد و بنه‌آباد با ۹۲ درصد و محمدآباد ۹۱ درصد بالاترین مقادیر را داشتند، در حالی که منطقه میخ‌سفید با ۷۰/۶ درصد کمترین میزان موفقیت در جوانه‌زنی را نشان‌داد (جدول ۲ و نمودار الف شکل ۳). با این حال، در شاخص زنده‌مانی نهال‌های سال اول، منطقه میخ‌سفید (۴۸/۴ درصد) در کنار دهبکری و محمدآباد در گروه برتر آماری قرار گرفت و منطقه گوشک با ۲۵/۲ درصد کمترین پایداری را داشت (نمودار ب شکل ۳). این الگوی زنده‌مانی در سال دوم نیز تداوم یافت؛ به‌طوری‌که دهبکری با ۸۳ درصد همچنان بیشترین زنده‌مانی را حفظ کرد، اما گوشک به ۴۱/۱ درصد کاهش یافت (نمودار پ شکل ۳). از نظر صفات رویشی، منطقه سه‌چاه بهترین عملکرد طولی را داشت و بیشترین ارتفاع نهال در سال اول (۶/۱ سانتی‌متر) و سال دوم (۱۳/۹ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد، در حالی که میخ‌سفید در هر دو سال کوتاه‌ترین نهال‌ها را تولید کرد (نمودارهای ت و ج شکل ۳). در بررسی قطر یقه، در سال اول مناطق سه‌چاه (۱/۸ میلی‌متر) و محمدآباد پیشتاز بودند (نمودار چ شکل ۳)، اما در سال دوم، منطقه محمدآباد با میانگین ۴ میلی‌متر به‌تنهایی بیشترین رشد قطری را ثبت کرد و میخ‌سفید همچنان با کمترین قطر (۳/۱ میلی‌متر) ضعیف‌ترین عملکرد رویشی را نشان‌داد (نمودار ح شکل ۳).

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس مشخصه‌های بذرها و نهال‌های بنه در رویشگاه‌های مختلف آن

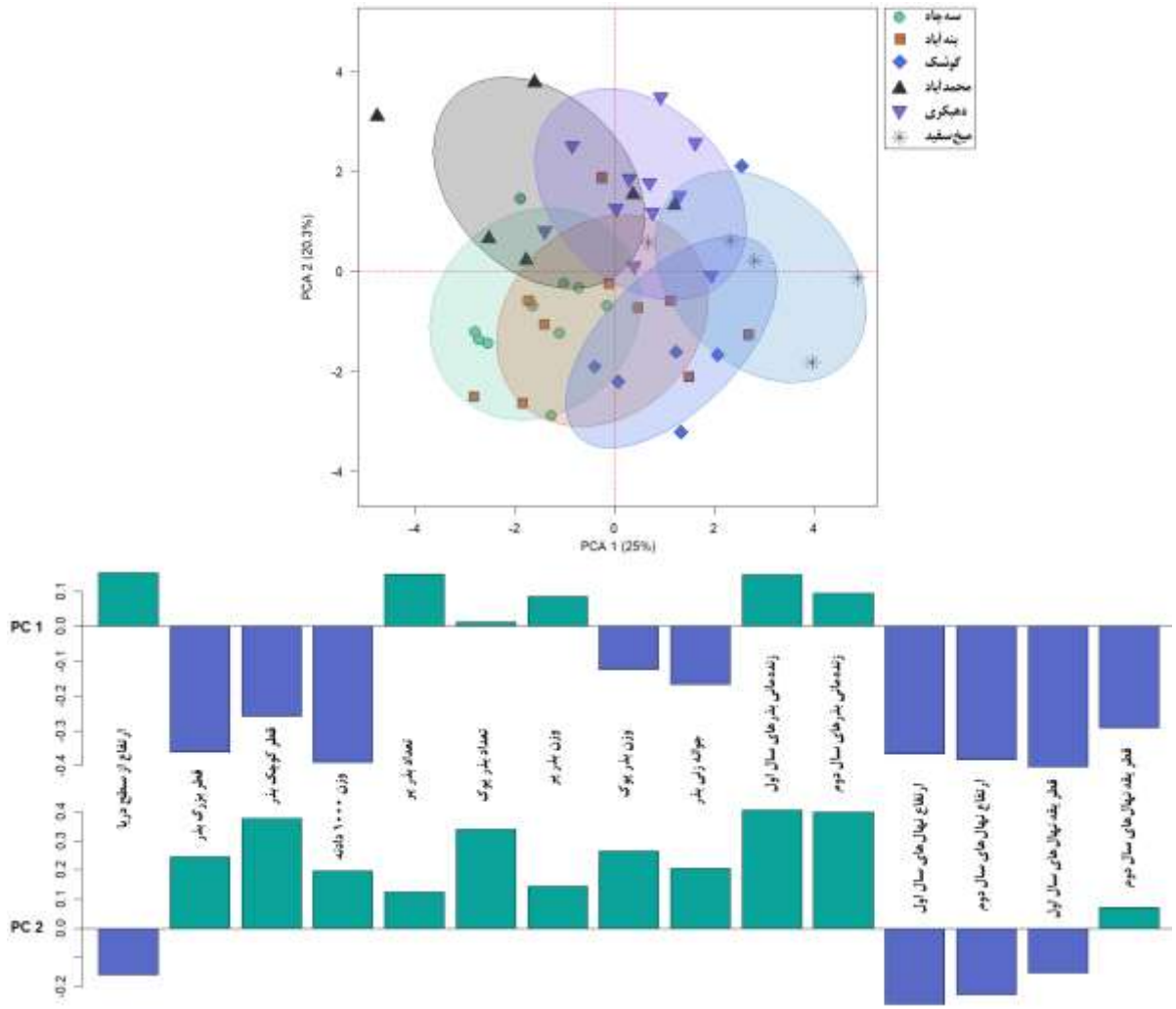
مشخصه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
جوانه‌زنی بذر	بین گروه‌ها	۳۵۷۶/۹۳	۵	۷۱۵/۳۸۶	۳/۷۹۳	۰/۰۰۶
	درون گروه‌ها	۷۹۲۱/۴۷	۴۲	۱۸۸/۶۰۶		
	کل	۱۱۴۹۸/۴	۴۷			
زنده‌مانی بذرهای سال اول	بین گروه‌ها	۷۹۴۸/۲۸	۵	۱۵۸۹/۶۵۶	۸/۲	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۸۱۴۲/۰۱	۴۲	۱۹۳/۸۵۷		
	کل	۱۶۰۹۰/۲۹	۴۷			
زنده‌مانی بذرهای سال دوم	بین گروه‌ها	۱۱۸۸۵/۲۲۶	۵	۲۳۷۷/۰۴۵	۸/۳۵۶	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۱۱۹۴۷/۹۴	۴۲	۲۸۴/۴۷۵		
	کل	۲۳۸۳۳/۱۶۷	۴۷			
ارتفاع نهال‌های سال اول	بین گروه‌ها	۱۹۵/۰۶۲	۵	۳۹/۰۱۲	۲۰/۷۱۵	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۱۲۴۴/۸۵۷	۶۶۱	۱/۸۸۳		
	کل	۱۴۳۹/۹۱۹	۶۶۶			
ارتفاع نهال‌های سال دوم	بین گروه‌ها	۱۹۰۱/۱۹	۵	۳۸۰/۲۳۸	۱۳/۸۱۵	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۱۶۸۴۴/۴۷۴	۶۱۲	۲۷/۵۲۴		
	کل	۱۸۷۴۵/۶۶۳	۶۱۷			
قطر یقه نهال‌های سال اول	بین گروه‌ها	۳۱/۰۵۶	۵	۶/۲۱۱	۱۸/۴۰۵	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۲۲۳/۰۶۴	۶۶۱	۰/۳۳۷		
	کل	۲۵۴/۱۲	۶۶۶			
قطر یقه نهال‌های سال دوم	بین گروه‌ها	۴۵/۹۴۴	۵	۹/۱۸۹	۷/۲۰۸	<۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۷۷۸/۹۳۱	۶۱۱	۱/۲۷۵		
	کل	۸۲۴/۸۷۵	۶۱۶			



شکل ۳- مشخصه‌های رویشی بذرها و نهال‌های بنه در رویشگاه‌های مختلف آن. حروف بزرگ انگلیسی نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد براساس آزمون توکی است.

تحلیل مولفه‌های اصلی

تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به‌منظور ارزیابی الگوهای تنوع و تفکیک شش منطقه (سه‌چاه، بنه‌آباد، گوشک، محمدآباد، دهبکری و میخ‌سفید) براساس ۱۲ مشخصه بذر و نهال درخت بنه (شکل ۴) انجام گرفت که دو مولفه‌ی اول بیش از ۴۵ درصد از کل واریانس موجود در داده‌ها را تبیین نمودند. نتایج نمودار پراکنش نشان‌داد که مناطق محمدآباد و میخ‌سفید تفکیک نسبی از سایر مناطق دارند، درحالیکه نمونه‌های گوشک، بنه‌آباد و سه‌چاه همپوشانی بالایی از نظر مشخصه‌های مورفولوژیک نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از شباهت‌های محیطی یا ژنتیکی باشد. تحلیل بارگذاری متغیرها مشخص کرد که مولفه‌ی اول عمدتاً معرف ویژگی‌های اندازه و وزن بذر و رشد نهال است و با ارتفاع از سطح دریا رابطه منفی دارد؛ به‌طوری‌که مشخصه‌های مربوط به رشد نهال در سال‌های اول و دوم (مانند ارتفاع و قطر یقه) با سمت منفی این محور همبستگی مثبت قوی نشان دادند. در نتیجه، مناطقی نظیر محمدآباد، سه‌چاه و بنه‌آباد که در بخش منفی این محور قرار گرفته‌اند، دارای وزن و ابعاد بذر بزرگتر و مشخصه‌های رویشی بهتر نهال‌ها هستند، درحالی‌که مناطق با امتیاز مثبت (مانند میخ‌سفید) ممکن‌است از نظر زنده‌مانی بذر وضعیت بهتری داشته باشند. این تفکیک‌ها در تعیین بهترین منابع بذر با صفات مطلوب برای برنامه‌های بذرگیری و احیاء جنگل‌های بنه بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۴- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) برای تفکیک شش منطقه (سه‌چاه، بنه‌آباد، گوشک، محمدآباد، دهبکری و میخ‌سفید) براساس مشخصه‌های بذر و نهال درخت بنه در استان کرمان. نمودار فوقانی، پراکنش امتیازات نمونه‌ها را براساس دو مولفه اول ۲۵ و ۲۰/۳ درصد نمایش می‌دهد. نمودار پایینی، سهم هر متغیر را در جهت‌گیری دو مولفه اصلی نشان می‌دهد.

بحث

تفکیک رویشگاهی براساس صفات مورفولوژیک بذر

نتایج تحلیل آماری، وجود تفاوت‌های معنی‌دار در تمامی صفات مورفولوژیک بذر و مشخصه‌های رویشگاهی میان جمعیت‌های شش‌گانه بنه در استان کرمان را تأیید می‌کند، که نشان‌دهنده تنوع درون‌گونه‌ای بالا متأثر از ترکیبی از عوامل ژنتیکی و شیب‌های اکولوژیکی است. به‌طور خاص، رویشگاه‌های محمدآباد (با میانگین وزن هزار بذر: ۲۴/۸ گرم) و سه‌چاه با تولید بذور درشت‌تر و سنگین‌تر، از نظر کیفیت ظاهری برتری داشتند؛ این امر با اصل پذیرفته‌شده‌ای در جنگل‌کاری مبنی‌بر تأمین ذخیره غذایی بیشتر توسط بذور سنگین‌تر برای رشد اولیه نهال مطابقت دارد [۲۰]. همچنین، همبستگی منفی مشاهده‌شده میان مولفه اول PCA (معرف اندازه و وزن بذر) و ارتفاع از سطح دریا، این فرضیه را تقویت می‌کند که مناطق با ارتفاع کمتر (مانند محمدآباد)، احتمالاً به‌دلیل برخورداری از طول دوره رشد فعال‌تر یا تنش کمتر، پتانسیل تولید بذور بزرگ‌تری را دارند [۱۸]. از منظر فیزیولوژیکی، تفاوت در درصد جوانه‌زنی در مناطق مختلف، علاوه‌بر عوامل کمی (مانند درصد پوکی که در این مطالعه به‌دلیل انتخاب پایه‌های برتر بالای ۵۰ درصد بود)، می‌تواند به تفاوت در خواب بذر (نیاز به سرمادهی) و ویژگی‌های پوسته سخت بذر (خواب مکانیکی) مرتبط باشد [۱۴]. در مجموع، برتری بذور منطقه محمدآباد مسکون از نظر درشتی و وزن، با توجه به کاربرد آن در صنایع غذایی و لزوم بازارپسندی محصول، این رویشگاه را به منبعی اولویت‌دار برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر جهت تأسیس باغ بذر تبدیل می‌کند، همان‌گونه که مطالعات قبلی نیز تفاوت‌های ریختی بذر را در مناطق دیگر زاگرس گزارش کرده‌اند [۱۴].

عملکرد در جوانه‌زنی و زنده‌مانی تحت کنترل ژنتیک-اکولوژی

تجزیه واریانس، وجود اختلاف معنی‌دار را میان جمعیت‌ها از نظر درصد جوانه‌زنی و زنده‌مانی اثبات کرد که حاکی از تفاوت‌های ژنتیکی-اکولوژیکی در شکستن خواب بذر است. ویژگی اصلی بذر بنه نیاز به دوره سرمادهی برای رفع خواب فیزیولوژیکی است؛ با این حال، تفاوت درصد جوانه‌زنی بین رویشگاه‌ها می‌تواند به عواملی نظیر درصد پوکی، فیزیولوژی جنین و به‌ویژه ضخامت پوسته سخت بذر (خواب مکانیکی) مرتبط باشد [۳]. در این راستا، بذور دهبکری بالاترین درصد جوانه‌زنی و زنده‌مانی را نشان دادند، لذا برای تکثیر آسان ارجح هستند، درحالیکه بذور محمدآباد مسکون با کمترین جوانه‌زنی، به تیمارهای قوی‌تری مانند تیمار توأم اسید-سرما، مشابه نتایج فیروزآباد نیاز دارند [۱۴]. نکته کلیدی در این پژوهش، مشاهده الگوی متضاد سازگاری است؛ جایی که منطقه میخ‌سفید با وجود کمترین جوانه‌زنی، بالاترین زنده‌مانی نهال‌های سال اول را ثبت کرد. این پدیده به‌عنوان یک راهبرد اکولوژیک تفسیر می‌شود که در شرایط محیطی سخت، با اعمال خواب عمیق‌تر، تنها به سازگارترین نهال‌ها اجازه ظهور می‌دهد تا نرخ بقای بلندمدت حفظ شود [۱۸]. این نتایج تأکید می‌کند که انتخاب منابع بذری، به‌ویژه برای مناطق پرخطر، باید بر مبنای زنده‌مانی نهال باشد تا صرفاً درصد جوانه‌زنی، زیرا نهالی با بقای بالا ارزش اکولوژیکی و اجرایی بیشتری را تضمین می‌کند [۸].

تفاوت‌های ژنوتیپی در صفات رویشی نهال‌ها

نتایج تحلیل صفات رویشی نهال‌ها، که در سال‌های اول و دوم مورد سنجش قرار گرفت، وجود تفاوت‌های ژنوتیپی آشکار در پتانسیل رشد نهال‌های بنه را اثبات می‌کند. منطقه سه‌چاه به‌طور پیوسته در هر دو سال، با تولید بلندترین نهال‌ها، برترین عملکرد را از نظر رشد طولی به ثبت رساند. در مقابل، نهال‌های حاصل از بذور میخ‌سفید در هر دو صفت ارتفاع و قطر طوقه،

ضعیف‌ترین عملکرد رویشی را نشان دادند. این تفاوت پایدار در نرخ رشد در یک محیط کشت یکنواخت (ایستگاه)، به‌وضوح مؤید این نکته است که خصوصیات رشدی نهال‌ها عمدتاً تحت کنترل عوامل ژنتیکی است تا عوامل صرفاً محیطی [۳، ۱۲]. با این حال، باید به الگوی متفاوت رشد قطری توجه نمود؛ در سال دوم، منطقه محمدآباد بهترین رشد قطری را کسب کرد، که نشان می‌دهد نهال‌های این منطقه پتانسیل بالایی در تولید توده چوبی و پایداری ساختاری دارند. نتایج اولیه حاصل از دو سال اول رویش نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مناطق سه‌چاه و محمدآباد در مراحل آغازین رشد، به‌ترتیب از نظر صفات ارتفاع و قطر یقه برتری نسبی داشته و می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های احتمالی برای برنامه‌های اصلاحی با هدف سرعت رشد اولیه مد نظر قرار گیرند.

تفکیک ژنتیکی-اکولوژیکی رویشگاه‌ها براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند آماری، ساختار تنوع موجود در داده‌ها را به خوبی تبیین نمود. تفکیک نسبی مناطق محمدآباد و میخ‌سفید از سایر مناطق در نمودار پراکنش، نشان‌دهنده الگوهای تغییرات ژنتیکی-اکولوژیکی متفاوت این دو جمعیت است. منطقه محمدآباد در سمت منفی مولفه‌ی اول (که با صفات بذر درشت و رشد رویشی قوی همبستگی مثبت دارد) قرار گرفت، درحالی‌که منطقه میخ‌سفید در سمت مثبت مولفه اول قرار گرفت و با زنده‌مانی بذر همبستگی بالاتری داشت. این امر مؤید آن است که مناطق کم‌ارتفاع و دارای شرایط مساعدتر (مانند محمدآباد) از لحاظ تولید کمی و رویشی برتر هستند، درحالی‌که مناطق پر تنش (مانند میخ‌سفید) صفات مربوط به سازگاری و مقاومت را تقویت کرده‌اند [۱۸]. همپوشانی بالای مناطق گوشک، بنه‌آباد و سه‌چاه نشان‌دهنده شباهت‌های بیشتر در رژیم‌های انتخاب طبیعی یا جریان‌های ژنی است [۳]. این تفکیک‌ها نه‌تنها برای درک ساختار جمعیت بنه حیاتی است، بلکه جهت تدوین یک برنامه بذرگیری براساس زون‌بندی اکولوژیک بسیار ضروری می‌باشد.

کاربرد عملی نتایج و لزوم تأسیس باغ بذر

یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که انتخاب پایه مادری برای تأسیس باغ بذر باید براساس صفات مورد نظر و هدف پروژه احیاء صورت گیرد. مناطقی نظیر محمدآباد، سه‌چاه و بنه‌آباد، به‌دلیل برخورداری از بذور بزرگ و نهال‌های با رشد رویشی قوی، نامزدهای اصلی برای تولید نهال‌های باکیفیت جهت اجرای پروژه‌های جنگل‌کاری با گونه‌های بومی، احیای زیست‌بوم‌های آسیب‌دیده و توسعه فضای سبز پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. با توجه به سازگاری بالای بنه با شرایط دشوار محیطی، بهره‌گیری از این توده‌ها می‌تواند در طرح‌های صیانت از ذخیره‌گاه‌های جنگلی و همچنین ارتقای توان تولید محصولات فرعی (مانند سقز و میوه بنه) نقش بسزایی ایفا کند[۱۴]. در مقابل، رویشگاه‌هایی مانند دهبکری و میخ‌سفید که زنده‌مانی بالاتری را در شرایط دشوار از خود نشان می‌دهند، برای پروژه‌های حفاظت خاک و کنترل بیابان در مناطق با تنش‌های محیطی شدیدتر (مانند حاشیه کویر) ارجحیت دارند [۹]. در نهایت، با توجه به تنوع ژنتیکی معنی‌دار شناسایی‌شده، می‌توان با گزینش بهترین پایه‌های منفرد از مناطق مختلف و انتقال آن‌ها به باغ بذر، به بهبود ژنتیکی عملکرد بنه دست یافت و ذخیره‌ای مطمئن و اصلاح‌شده برای احیای پایدار جنگل‌های بنه در استان کرمان و سایر رویشگاه‌های کشور فراهم نمود.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی و تفکیک ژنوتیپی شش جمعیت درخت بنه در استان کرمان، وجود تنوع درون‌گونه‌ای معنی‌دار در صفات مورفولوژیک بذر، عملکرد جوانه‌زنی، بقاء نهال و مشخصه‌های رویشی (ارتفاع و قطر طوقه) را به اثبات رساند. تحلیل‌های آماری نشان‌داد که رویشگاه‌ها براساس راهبردهای

سازگاری متفاوت تفکیک می‌شوند: جمعیت‌هایی نظیر محمدآباد (تولیدکننده درشت‌ترین بذور با وزن هزار دانه بالا) و سه‌چاه (با بیشترین سرعت رشد طولی نهال)، پتانسیل بالایی برای اهداف تولید اقتصادی-رویشی و تولید توده زیستی دارند؛ در مقابل، جمعیت‌هایی مانند دهبکری و میخ‌سفید که بالاترین نرخ بقاء نهال را در شرایط دشوار نشان دادند، برای پروژه‌های حفاظت ژنتیکی و احیاء در مناطق پرتنش ارجحیت دارند. این تفاوت آشکار در عملکرد، اهمیت حیاتی زون‌بندی اکولوژیک در برنامه‌های بذرگیری را برجسته می‌سازد. در نهایت، براساس تفکیک ژنوتیپی صورت‌گرفته، پیشنهاد می‌گردد جهت استقرار باغ‌های بذر، از پایه‌هایی با برتری در صفات رویشی (ارتفاع و قطر یقه) استفاده شود. این رویکرد ضمن حفظ پایداری ژنتیکی، می‌تواند منجر به تولید انبوه بذرهای سازگار و اصلاح‌شده جهت تأمین نیاز پروژه‌های احیای جنگل و توسعه فضای سبز در مناطق هدف گردد.

References

[1]. Aghajanlou, F., & Akbarzadeh, P. (2025). Analysis of forest cover structure and regeneration patterns of tree and shrub species in the Iran-Turanian ecosystem (Case study: Jaishabad Area, Tarom). *Forest and Wood Products*, *78*(3), 305-320. doi: 10.22059/jfwp.2025.397154.1350. [in Farsi]

[2]. Alemu, M. (2024). Farmers'perception and seed quality evaluation of wheat (*triticum aestivum* l.) in east arsi zone, ethiopia (Doctoral dissertation, Haramaya University).

[3]. Buiteveld, J., Wiersma, H., Paulo, M.J., Verbeek, I., & Copini, P. (2025). Growth, spring phenology and stem quality of four broadleaved species assessed in provenance trials in the Netherlands-Implications for seed sourcing. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 18(5): p.242.

[4]. Chonchepour, M., Matinizadeh, M., Bayranvand, M., Ravanbakhsh, H., Nouri, E., Pourmirzaei, A., & Darijani, F. (2025). Variability of soil chemical and biological properties in *Prunus scoparia* and *Pistacia atlantica* forest habitats in the Irano-Turanian floristic region. *Forest and Wood Products*, 78(3): 273-286. doi: 10.22059/jfwp.2025.399655.1362. [in Farsi]

[5]. Fischer, C. (2024). Seed Value Chain Analysis: Enhancing Culturally Meaningful Seed Access by Harmonizing Seed Companies, Seed Growers, and Farmers/Gardeners in the Northeastern United States. https://hdl.handle.net/20.500.14849/2839

[6]. Ghodsakhah Daraya, M., Hosseini, S.K., Taheri, K., Mirzaei, J., & Mezbani, A. (2012). Effect of morphological variables of *Pistacia atlantica* on gum and seed production. *Iranian Journal of Biology*, 25(2): 303. https://search.isc.ac/dl/search/defaultta.aspx?DTC=8&DC=636216 [in Farsi]

[7]. Gholomi, Sh., Hosseini, S.M., & Sayad, E. (2007). Effects of weed, sowing depth and sowing date on growth of *Pistatia atlantica* seedlings in nursery. *Pajouhesh & Sazandegi*, 75 (2): 71-80. https://sid.ir/paper/18892/en [in Farsi]

[8]. Hassan, M.K., Kataja, R. & Pappinen, A. (2024). State-of-the Art and Business Development of a Tree Seedling Nursery: A Guidebook on an Advanced Forest Nursery Management.

[9]. Islam, W., Zeng, F., Siddiqui, J. A., Zhihao, Z., Du, Y., Zhang, Y., ... & Khan, K. A. (2025). Combating desertification: comprehensive strategies, challenges, and future directions for sustainable solutions. *Biological Reviews*, *100*(4), 1594-1614. https://doi.org/10.1111/brv.70015

[10]. Karimi Hajipomagh, K., Zolfaghari, R., Fayyaz, P., & Alvaninejad, S. (2025). Assessing Genetic Diversity and Heritability in Growth Traits of Quercus Brantii from Different Provenances of Zagros Forests in Field Trials. *Ecology of Iranian Forest*, 13(1): 14-25. doi:10.61186/ifej.2024.565. [in Farsi]

[11]. Kawai, A. (2020). Understanding the diversity of seed saving practices in contemporary Japan (Doctoral dissertation, The Australian National University (Australia)).

[12]. Khurana, E.K.T.A., & Singh, J.S. (2001). Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental conservation*, 28(1): 39-52.

[13]. Nasirzadeh, A., Madaharefi, H., & Negahdari, H. (2009). Investigation of general combining ability of male and female trees of Pistacia atlantica for selecting the best parents for breeding purposes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 17(1): 122-131. [in Farsi]

[14]. Negahdarsaber, M.R., Fattahi, M., & Nasirzadeh, A. (2007). Physical characteristics and the best method of germination in *Pistacia atlantica*. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(1): 1-18. [in Farsi]

[15]. Pourmeidani, A., & Tavakoli Neko, H. (2025). Evaluation and comparison of the genotypes of Haloxylon aphyllum (Minkw.) Iljin in a seed garden over three consecutive generations. *Iranian Journal of Forest*, 17(1): 73-86. [in Farsi]

[16]. Saeb, M., Nazifi, Beizaee, A., Gheisari, H., & Jalaee J. (2008). Effect of Wild Pistachio Oil on Serum Leptin Concentration and Thyroid Hormones in the Male Rat. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 9 (4): 429-437. https://doi.org/10.5555/20093147011. [in Farsi]

[17]. Schneck, V., & Schneck, D. (2013). Management of seed orchards in Germany. In: Jansons, A., and Zvejniece, L., (Ed.s), Proceeding of the conference titled: Improving seed production from forest seed orchards in the Baltic Sea region countries – establishment, management, flowering stimulation and protection. Riga, Latvia.

[18]. Sorenson, Q.M., Young, D.J., & Latimer, A.M. (2025). Tree planting outcomes after severe wildfire depend on climate, competition, and priority. *Forest Ecology and Management*, 575:122346. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122346

[19]. Sukirti, C.S., Meena, R.K., Bhandari, M.S., Barthwal, S., & Thapliyal, M. (2025). Advanced Biotechnological Approaches for Seed Germplasm Conservation and Forest Genetic Resource Preservation. In Advances in Seed Quality Evaluation and Improvement. Singapore: Springer Nature Singapore. 405-429. https://doi.org/10.1007/978-981-96-5178-8_16

[20]. Thapliyal, M., Phular, K., Namitha, N.K., Rawat, S., & Chand, V.P. (2025). Forest Seed Technology: Seed Biology, Collection, Quality Evaluation, Storage and Certification. In Textbook of Forest Science (pp. 659-678). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8289-5_30

[21]. Zahedipour, H., Fattahi, M., Mirdavoodi Akhavan, H.R., Godarzi, G., & Azdoo, Z. (2005). Distribution of different species of Pistachio in Markazi Province of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *13*(1), 78-33. [in Farsi]

Assessment of Phenotypic Diversity in *Pistacia atlantica* Populations in Kerman Province for Establishing Arid Zone Seed Orchards (Research Paper)

1- Davoud Darvishi Zeidabadi*, Assistant Professor, Forest and Rangeland Research Department, Kerman Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.
darvishi48@gmail.com
2- Mohammad Beiranvand, Assistant Professor, Forest and Rangeland Research Department, Kerman Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

Received: 8 Dec. 2025
Accepted: 15 Jun. 2026

Abstract

Pistacia atlantica, a key species in Iran's arid regions, plays a crucial role in soil conservation and combating desertification, necessitating the production of seedlings with high genetic quality. Aimed at establishing a *P. atlantica* seed orchard, this study was designed to evaluate seeds and seedlings derived from 5 to 11 selected genotypes across six natural provenances in Kerman Province, including Mikh Sefid (Sirjan), Gushk (Baft), Baneh-Abad (Gugher), Seh-Chah Forest (Dehsard), Mohammad-Abad (Maskun), and Dehbakri (Bam). Seed morphological traits and seedling vegetative characteristics—specifically height, root collar diameter (RCD), germination percentage, and survival rate—were assessed over a two-year period. Analysis of variance (ANOVA) confirmed significant differences ($p < 0.01$) across all morphological traits (e.g., 1000-seed weight and percentage of empty seeds) and seedling performance metrics. Seeds from Mohammad-Abad exhibited the greatest size and weight. Meanwhile, the Dehbakri provenance recorded the highest survival rate, and Seh-Chah produced the tallest seedlings consistently over the two years. Growth pattern analysis indicated that seedlings from Seh-Chah were the tallest, whereas those from Mikh Sefid were the shortest. This extensive genetic diversity and variation in performance provide a robust framework for identifying and selecting superior genotypes characterized by high adaptability and desirable economic traits. Accordingly, the populations from Mohammadabad, Seh-Chah, and Baneh-Abad are recommended for afforestation and restoration of arid regions due to their high-quality seed and seedling production. Conversely, the Dehbakri and Mikh-Sefid populations are preferred for soil conservation and desertification control under severe environmental stress conditions, owing to their superior physiological resistance.

Keywords: Seed orchard, Selected genotypes, Forest tree improvement, Genetic diversity, Seedling production**.**