نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۶۳ تا ۹۴

تعیین شاخص‌های مناسب برای ارزیابی تحمل خشکی در دو گونه علف باغ (*Dactylis glomerata*) و علف پشمکی (*Bromus inermis*)

فاطمه سعیدنیا[1*]، محمد مهدی مجیدی[2] و آقافخر میرلوحی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰)

چکیده

خشکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده بقاء، رشد و تولید گیاهان در بسیاری از مناطق جهان است. این مطالعه به‌منظور بررسی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های بازترکیب دو گونه علف باغ و علف پشمکی بر اساس ارزیابی کلونی و شاخص‌های تحمل تنش اجرا شد. در این مطالعه، تعداد ۳۶ ژنوتیپ منتخب از جوامع حاصل از پلی‌کراس در هر یک از دو گونه علف باغ و علف پشمکی در شرایط بدون تنش (نرمال؛ ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از عمق توسعه ریشه) و تنش رطوبتی (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی از عمق توسعه ریشه) طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ از نظر صفات فنولوژیک، زراعی و مورفولوژیک در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان ارزیابی شدند. به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های مذکور، پنج شاخص تحمل و حساسیت به تنش شامل: شاخص‌های تحمل تنش (TOL و STI)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) بر پایه عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) محاسبه شدند. در هر دو گونه برای اکثر صفات مورد مطالعه و شاخص‌های مورد بررسی تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. در گونه علف باغ، ضریب تنوع ژنتیکی از ۴/۳۱ تا ۲۳/۴ درصد در شرایط بدون تنش، و از ۱/۳۱ تا ۲۱/۳ درصد در شرایط تنش متغیر بود. در گونه علف پشمکی، دامنه ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط بدون تنش از ۲/۰۵ تا ۲۱/۴ درصد و در شرایط تنش از ۱/۶۶ تا ۲۴/۶ درصد بود؛ که نشان‌دهنده پتانسیل بالا برای بهبود این صفات از طریق انتخاب هدفمند در برنامه‌های اصلاحی است. تنش خشکی آثار منفی بر اکثر صفات مورد مطالعه داشت و تنوع ژنتیکی تمامی صفات مورد مطالعه، به‌جز روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده‌افشانی، درصد ماده خشک چین اول و درصد ماده خشک چین دوم در گونه علف باغ و درصد ماده خشک چین اول و درصد ماده خشک چین سوم در گونه علف پشمکی، را کاهش داد. مقدار این کاهش برای عملکرد علوفه خشک چین‌های اول، دوم و سوم در گونه علف باغ به‌ترتیب برابر با ۴۷/۵، ۶۷/۳ و ۶۶/۶ درصد و در گونه علف پشمکی به‌ترتیب برابر با ۳۷/۳، ۴۹/۵ و ۴۹/۴ درصد بود. وراثت‌پذیری پایین عملکرد علوفه (به‌ترتیب ۲۴/۷، ۱۳/۵ و ۲۵/۹ درصد برای عملکرد علوفه چین‌های اول تا سوم در گونه علف باغ و ۵۹/۵، ۴۵/۹ و ۵۹/۴ درصد برای عملکرد علوفه چین‌های اول تا سوم در گونه علف پشمکی) نشان‌دهنده این است که انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد علوفه برای بهبود این صفت مؤثر نیست و باید از انتخاب غیرمستقیم بر اساس اجزای عملکرد که وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی دارند و از همبستگی بالایی با عملکرد علوفه برخوردار هستند (یعنی ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته و قطر یقه در هر دو گونه مورد مطالعه)، بهره جست. شاخص‌های MP، GMP و STI در هر دو گونه مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد علوفه (به‌ترتیب ۰/۹۲، ۰/۷۵ و ۰/۷۵ در شرایط نرمال و ۰/۶۱، ۰/۸۱ و ۰/۷۷ در شرایط تنش در گونه علف باغ؛ ۰/۹۵، ۰/۹۲ و ۰/۸۸ در شرایط نرمال و ۰/۹۱، ۰/۹۵ و ۰/۹۵ در شرایط تنش در گونه علف پشمکی) داشتند. بنابراین این سه شاخص به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به خشکی در علف باغ و علف پشمکی شناخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های تحمل و

حساسیت به تنش ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۴ در گونه علف باغ و ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۳۲ در گونه علف پشمکی به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد علوفه و تحمل تنش شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان والدین برتر برای ایجاد جمعیت‌های ژنتیکی جهت بهبود عملکرد علوفه و تحمل تنش و ایجاد رقم‌های مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بروموس، تنش رطوبتی، داکتی‌لیس، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

۱. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران و دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استاد ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: f.saeidnia@areeo.ac.ir

مقدمه

ایران یکی از مهمترین مراکز تنوع گیاهان علوفه‌ای است و از پتانسیل بالایی برای تولید و توسعه سطح زیر کشت این گیاهان برخوردار است (۱۸). گراس‌ها از مهمترین گیاهان علوفه‌ای- مرتعی هستند که به لحاظ تولید علوفه، حفاظت و جلوگیری از فرسایش خاک اهمیت زیادی دارند (۲۹). علف باغ (*Dactylis glomerata* L.) و علف پشمکی (*Bromus inermis* Leyss) از مهمترین گراس‌های چند ساله مراتع ایران هستند که با وجود سهم زیادی که در تولید علوفه مرتعی دارند، کمتر در برنامه‌های به‌نژادی مطالعه شده‌اند (۲۸ و ۳۰). علف باغ از مهمترین گراس‌های چند ساله است که به‌طور طبیعی در مراتع و چراگاه‌های شمال و غرب ایران می‌روید. در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای خاص نواحی گرمسیری، به شرایط خشک متحمل‌تر است و به همین دلیل از آن در مراتع و رویشگاه‌های طبیعی برای تولید علوفه استفاده می‌شود، با این حال کشت آن به‌صورت زراعی در ایران رایج نیست (۲۷). علف پشمکی یک گونه چند ساله با طول عمر زیاد است که به‌دلیل سیستم ریشه‌ای کاملاً توسعه یافته به دماهای بالا و خشکی شدید مقاوم است. این گونه نیز از نظر کیفیت علوفه با علف باغ تقریباً مشابه است. وجود این ویژگی‌ها این گیاه را برای احیاء مراتع کشور، احداث چراگاه و تولید علوفه مناسب ساخته است (۲۵).

خشکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی و از محدود کننده‌ترین فاکتورهای رشد و تولید گیاهان علوفه‌ای و زراعی است که سبب نامساعد شدن شرایط رشد و توسعه گیاه می‌شود و تمام جنبه‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و متابولیک گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۳). طبق سناریوهای جهانی تغییر اقلیم، پیش‌بینی می‌شود که شدت و گسترش تنش خشکی افزایش یابد و انتظار می‌رود این وضعیت در مناطق مستعد خشکسالی طی چند دهه آینده بدتر شود (۳۴). از این رو نیاز به اصلاح ارقامی که از سازگاری بالا و نیاز آبی پایینی برخوردار باشند، به شدت احساس می‌شود.

اصلاح برای تحمل خشکی به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی گیاهان مختلف، همواره با مشکلات خاص خود مواجه بوده است که از بزرگترین آنها پیچیدگی صفت تحمل تنش و عدم وجود معیارها و روش‌های مؤثر برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل است. پتانسیل عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی معیار مناسبی برای تحمل تنش محسوب نمی‌شود؛ بلکه بررسی عملکرد نسبی در شرایط تنش و عدم تنش به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، انتخاب ژنوتیپ برای اصلاح در محیط خشک و شناخت مکانیسم‌های تحمل خشکی بکار گرفته می‌شود (۹). عده‌ای از محققین اعتقاد به انتخاب تحت شرایط مطلوب دارند و عده‌ای نیز انتخاب تحت شرایط تنش را پیشنهاد کرده‌اند. درحالی‌که عده زیادی از محققین اعتقاد به انتخاب در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارند. بلوم (۴) اظهار داشت که حساسیت به خشکی یک ژنوتیپ بهتر است به‌عنوان تابعی از کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی اندازه‌گیری شود. این انتخاب با تعدادی شاخص انتخاب، انجام می‌شود که بر اساس یک سری روابط ریاضی که بین شرایط تنش و عدم تنش برقرار می‌شود، محاسبه می‌شوند (۲۵). یک شاخص مؤثر و کارا در شناسایی ارقام متحمل به خشکی باید دارای خصوصیاتی از جمله تنوع ژنتیکی زیاد برای صفت مورد نظر، روش اندازه‌گیری سریع و ساده به‌منظور ارزیابی تعداد زیادی ژنوتیپ و همبستگی زیاد با عملکرد باشد (۲۲). شاخص‌های متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت عملکرد آنها در محیط‌های تنش و عدم تنش پیشنهاد شده است که بر مبنای آنها ژنوتیپ‌های دارای وضعیت یکنواخت در شرایط تنش و عدم تنش شناسایی می‌شوند. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index; SSI) بر اساس روش فیشر و مورر (۱۱)؛ شاخص‌های تحمل به تنش (Tolerance index; TOL) و میانگین حسابی (Mean productivity; MP) بر اساس روش روزیل و هامبلین (۲۴) و شاخص میانگین هندسی تولید (Geometric mean productivity; GMP) و تحمل به تنش

(Stress tolerance index; STI) بر اساس روش فرناندز (۱۰).

کشور ما علی‌رغم تنوع اقلیمی وسیع هنوز در زمره کشورهای وارد کننده علوفه و مواد پروتئینی است و وقوع خشکسالی‌های متناوب و تبعات ناشی از آن (نظیر فشار بر مراتع و افزایش شدت تخریب آنها) نیز بر مشکل کمبود علوفه می‌افزاید (۲۵). به‌عنوان مثال، در سال ۱۴۰۰ به‌منظور رفع مشکل کمبود علوفه ۲۳ میلیون و ۴۰۰ هزار تن نهاده دامی وارد کشور شده که این میزان واردات حدود ۸ میلیارد دلار برای کشور هزینه داشته است. میزان واردات علوفه در سال ۱۴۰۱، ۱۳ میلیون و ۱۳۷ هزار تن گزارش شده است که نسبت به سال گذشته حدود ۴۴ درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از علوفه کشور از مراتع تأمین می‌شود، عدم وجود مدیریت صحیح در مراتع، چرای بی‌رویه و تبدیل مراتع به دیمزارها باعث تشدید این مسئله شده و وقوع خشکسالی‌های متناوب نیز بر مشکل کمبود علوفه می‌افزاید. گزارشات حاکی از آن است که در سال ۱۴۰۰ حدود ۱۰/۵ میلیون تن علوفه در مراتع کشور تولید شده است که این میزان در سال ۱۴۰۱ با کاهش ۳۰ درصدی بارندگی در کشور به ۷/۶ میلیون تن رسیده است.

علیرغم اهمیت تنوع ژنتیکی در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی تاکنون مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و گزینش ژنوتیپ از جوامع پلی‌کراس دو گونه علف باغ و علف پشمکی از طریق ارزیابی کلونی در شرایط تنش خشکی انجام نشده است. از طرف دیگر به‌دلیل پیچیده بودن صفت تحمل خشکی و عدم وجود معیارهای مناسب گزینش، شاخص‌های مختلفی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد بررسی ارتباط بین این شاخص‌ها و عملکرد علوفه در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل و پرتولید مؤثر است. لذا این مطالعه به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های انتخابی در دو گونه به تنش خشکی و بهره‌گیری از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل برای مطالعات آتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف آباد که در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است، انجام شد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶۳۰ متر بوده و طبق طبقه‌بندی کوپن (Koppen) دارای اقلیم نیمه‌خشک و خنک و تابستان‌های خشک است (۲۵). براساس داده‌های هواشناسی چهل ساله، میزان بارندگی و متوسط دمای سالیانه آن به‌ترتیب ۱۴۰/۵ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سلسیوس است. متوسط دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه اجرای آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ در جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش به شرح جدول ۲ آورده شده است.

در گونه‌های علوفه‌ای مرتعی علف باغ و علف پشمکی، مطالعه اولیه‌ای طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ با جمع‌آوری تعداد ۲۰ جمعیت از این دو گونه از مناطق مختلف جغرافیایی ایران توسط تیم تحقیقاتی گراس‌های علوفه‌ای دانشگاه صنعتی اصفهان و ارزیابی آن‌ها آغاز شد. تعدادی ژنوتیپ خارجی نیز توسط مؤسسه Agrobotany مجارستان تأمین شد و در کنار ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده از کشور ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بررسی حاکی از وجود تنوع بالا بین و درون جمعیت‌های مورد بررسی بود (۱۹ و ۲۰). از درون جوامع مذکور تعداد ۲۵ ژنوتیپ (تک بوته) در هر یک از دو گونه، براساس تاریخ رسیدگی، عملکرد علوفه و سایر صفات زراعی مؤثر بر عملکرد علوفه شناسایی و مبنای مطالعات بعدی قرار گرفت. این ژنوتیپ‌ها پس از بررسی بیشتر صفات موفولوژیک و زراعی طی دو سال ارزیابی کلونی در خزانه پلی‌کراس تلاقی داده شدند و بدین ترتیب ۲۵ فامیل نیمه‌خواهری به‌دست آمد. سپس فامیل‌های نیمه‌خواهری حاصل در اسفند ماه ۱۳۸۹ با استفاده از آزمایش کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه

جدول ۱. متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) و میزان بارندگی ماهانه (میلی‌متر) منطقه اجرای آزمایش طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۲.

ماه	سال ۱۳۹۲		سال ۱۳۹۳		سال ۱۳۹۴	
	دما (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	دما (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	دما (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)
ژانویه	۶/۴۰	۱/۷۰	۳/۱۰	۳۶/۱	۷/۸۰	۱۵/۰
فوریه	۹/۵۰	۱/۴۰	۵/۶۰	۸/۰۰	۹/۴۰	۱۴/۷
مارس	۱۴/۰	۱۲/۶	۱۲/۰	۶۶/۵	۱۱/۶	۳۸/۷
آوریل	۱۷/۰	۲۹/۳	۱۸/۵	۱۵/۲	۱۹/۱	۳/۹۰
می	۲۱/۶	۴۱/۵	۲۳/۱	۱۸/۴	۲۴/۱	۴/۸۰
ژوئن	۲۹/۶	۰/۰۰	۲۹/۵	۰/۰۰	۳۱/۰	۰/۰۰
ژوئیه	۳۳/۲	۰/۰۰	۳۲/۳	۰/۰۰	۳۰/۶	۵/۴۰
اوت	۳۰/۵	۰/۰۰	۳۰/۵	۳/۰۰	۲۹/۹	۰/۰۰
سپتامبر	۲۶/۸	۰/۰۰	۲۷/۲	۰/۰۰	۲۴/۵	۰/۷۰
اکتبر	۱۹/۲	۰/۱۰	۱۹/۱	۹/۱۰	۲۰/۸	۱۴/۷
نوامبر	۱۱/۷	۳۶/۰	۹/۷۰	۳۷/۹	۱۱/۳	۰/۰۰
دسامبر	۶/۱۰	۰/۵۰	۷/۵۰	۰/۷۰	۵/۳۰	۱۷/۹

جدول ۲. خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

مشخصه	مقدار / نوع
بافت خاک	لومی رسی
جرم مخصوص ظاهری	۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب
اسیدیته خاک	۷/۵
هدایت الکتریکی خاک	۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر
ظرفیت زراعی خاک	۲۳ درصد وزنی
ظرفیت پژمردگی خاک	۱۰ درصد وزنی
محتوی کربن آلی	۶/۳ گرم بر کیلوگرم
محتوی نیتروژن	۶۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم
محتوی فسفر	۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم
محتوی پتاسیم	۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

آموزشی- پژوهشی لورک کشت و در شرایط عدم تنش و تنش خشکی بررسی شدند (۱، ۲، ۱۶ و ۱۷). در سال ۱۳۹۱ به‌منظور اجرای پژوهش فعلی، تعداد ۳۶ ژنوتیپ از داخل فامیل‌های نیمه‌خواهری هر کدام از گونه‌های علف باغ و علف پشمکی کشت شده در اسفند ماه ۱۳۸۹ به‌صورت تصادفی انتخاب شدند (جدول ۳). سپس هر یک از ژنوتیپ‌ها از طریق تقسیم بوته کلون شده (یعنی تقسیم یک بوته به تعداد زیادی قلمه)، و به‌منظور انجام پلی‌کراس و تشکیل فامیل‌های نیمه‌خواهری به‌صورت ایزوله در یک طرح بلوک کامل تصادفی در ۱۲ تکرار در سال ۱۳۹۱ کشت شدند. فاصله بوته‌ها روی ردیف و

جدول ۳. منشأ ۳۶ ژنوتیپ علف باغ و ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی مورد بررسی در مطالعه کنونی

ژنوتیپ‌های علف باغ	کد جمعیت	منشأ	ژنوتیپ‌های علف پشمکی	کد جمعیت	منشأ
۱	4000/31	اصفهان- نجف آباد	۱	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۲	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۳	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳	2000/50	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۴	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۴	2000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۵	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۵	2000/T-9	همدان
۶	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۶	2000/T-9	همدان
۷	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۷	2000/24	همدان
۸	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۸	2000/T-9	خارجی- مجارستان
۹	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۹	2000/2-18	خارجی- مجارستان
۱۰	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۱۰	2000/2-18	خارجی- مجارستان
۱۱	4000/44	سمنان	۱۱	RCAT042134	خارجی- مجارستان
۱۲	4000/44	سمنان	۱۲	RCAT042134	خارجی- مجارستان
۱۳	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۱۳	RCAT064839	خارجی- مجارستان
۱۴	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۱۴	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۱۵	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۱۵	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۱۶	RCAT041111	خارجی- مجارستان	۱۶	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۱۷	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۱۷	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۱۸	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۱۸	2000/T-9	همدان
۱۹	4000/44	سمنان	۱۹	2000/18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۲۰	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۰	2000/18	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۲۱	4000/44	سمنان	۲۱	RCAT041861	خارجی- مجارستان
۲۲	4000/44	سمنان	۲۲	2000/40	اصفهان- سمیرم
۲۳	4000/25	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۳	2000/4	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۲۴	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۴	-	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان
۲۵	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۵	RCAT042133	خارجی- مجارستان
۲۶	RCAT041050	خارجی- مجارستان	۲۶	RCAT042133	خارجی- مجارستان
۲۷	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۷	2000/10	کردستان
۲۸	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۲۸	RCAT041861	خارجی- مجارستان
۲۹	4000/29	خارجی- هلند	۲۹	2000/10	کردستان
۳۰	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳۰	RCAT064835	خارجی- مجارستان
۳۱	4000/29	خارجی- هلند	۳۱	RCAT064835	خارجی- مجارستان
۳۲	4000/24	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳۲	RCAT064835	خارجی- مجارستان
۳۳	RCAT041050	خارجی- مجارستان	۳۳	RCAT064835	خارجی- مجارستان
۳۴	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳۴	RCAT064837	خارجی- مجارستان
۳۵	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳۵	RCAT064837	خارجی- مجارستان
۳۶	4000/2	مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی شهید فرزه اصفهان	۳۶	RCAT064837	خارجی- مجارستان

بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور تهیه بستر کاشت، زمین محل آزمایش (که قبل از اجرای آزمایش زیر کشت گونه علوفه‌ای مرتعی فسکیوی بلند و بخشی از آن نیز آیش بوده است) در پاییز شخم و قبل از کاشت چند بار دیسک زده شد و کرت‌بندی صورت گرفت. میزان کود مصرفی طبق نتایج آزمایش خاک مزرعه آزمایشی بر اساس ۱۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. تمام کود فسفاته قبل از کاشت و کود اوره در دو نوبت پس از برداشت اول (اواخر خرداد ماه) و دوم (اواخر مرداد ماه) در هر سال به زمین داده شد. عملیات داشت شامل آبیاری، کوددهی و وجین دستی در طی فصل رشد به‌طور مرتب انجام گرفت. به‌منظور استقرار گیاهان در مزرعه، در سال اول هیچ‌گونه محدویت آبیاری‌ای اعمال نشد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی خاک صورت گرفت. از سال دوم به بعد شش تکرار به محیط تنش خشکی و شش تکرار به محیط عدم تنش (رژیم آبیاری متداول) اختصاص یافت.

نحوه اعمال تنش خشکی به این صورت بود که تا زمان گلدهی میزان آبیاری و تعداد دفعات آن در هر دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش، یکسان بود ولی از مرحله گلدهی به بعد، در شرایط رطوبتی عدم تنش، هیچ‌گونه محدودیت آبیاری‌ای اعمال نشد و زمانی آبیاری انجام شد که رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی رسید و در محیط رطوبتی تنش آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی خاک انجام شد. در زمان شروع اعمال تیمارهای تنش، رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (عمق‌های صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شده و مقدار آب آبیاری برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی مزرعه تعیین و سپس در هر دو رژیم رطوبتی اعمال شد. برای تعیین زمان آبیاری دوم و بعد در هر تیمار به‌منظور کاهش تعداد نمونه‌گیری رطوبت خاک، از روش پیش‌بینی با استفاده از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق تجمعی استفاده شد. به‌طوری‌که پس از هر آبیاری مقدار تجمعی تبخیر و تعرق (Crop Evapotranspiration; ETc) با استفاده از رابطه فائو–پنمن– مانتیث (۳) با اعمال ضریب گیاهی علف باغ و علف پشمکی طی دوره رشد محاسبه شده و زمانی که مقدار تبخیر و تعرق تجمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (I_d) در تیمار مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (I_d) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_d = (FC - PWP) \times MAD \times D \times B \qquad (۱)$$

I_d: عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)؛ FC (Field Capacity): رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)؛ PWP (Permanent Wilting Point): رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)؛ D: عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر)؛ B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ MAD (Management Allowed Depletion) ضریب مدیریت مزرعه برای محیط بدون تنش برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش برابر با ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. برای اطمینان از عدم اعمال تنش در تیمار شاهد و اطمینان از وجود تنش در تیمار تنش، قبل از آبیاری با استفاده از اوگر، از دو نقطه در هر تیمار در عمق توسعه ریشه (عمق‌های صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) نمونه خاک تهیه و برای تعیین میزان رطوبت به آزمایشگاه منتقل شد و رطوبت اندازه‌گیری شده خاک در عمق توسعه ریشه با مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری هر تیمار (θ_{irri}) مقایسه شد (۵). مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θ_{irri}) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\theta_{irri} = \theta_{fc} - \left[\left(\theta_{fc} - \theta_{pwp}\right) \times MAD\right] \qquad (۲)$$

بنا براین زمان آبیاری برای تیمارهای مختلف متفاوت بود؛ لیکن برای ایجاد شرایط تنش در تیمار تنش، مقدار آبی که به تیمارهای مختلف در یک دوره آبیاری داده می‌شد، یکسان و برابر با کمبود آب خاک تا حد FC در تیمار عدم تنش بود که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I = \left(FC - \theta_{irri}\right) \times D \times B \quad (۳)$$

در رابطه فوق θ_{irri} متوسط رطوبت وزنی خاک در عمق توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری در تیمار عدم تنش (درصد)، I عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، FC رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، PWP رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)، D عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر)، و B چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به کرت‌ها از کنتور استفاده شد. حجم کل آب مصرفی در طی آزمایش در هر سال، در محیط عدم تنش برابر با ۱۰۴۲۴۷۰۰۰ میلی‌متر و در محیط تنش برابر با ۵۲۱۲۴۰۰۰ میلی‌متر بود. مقدار آب داده شده به هر کرت در هر دور آبیاری نیز حدود ۳۳۴۱۲۵ میلی‌متر بود.

در سال استقرار گیاهان (۱۳۹۱) هیچ‌گونه صفتی مورد ارزیابی قرار نگرفت. از سال دوم به بعد (۱۳۹۴-۱۳۹۲) مجموعه‌ای از صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و زراعی به‌صورت تک بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند. تعداد روز تا خوشه‌دهی و گرده‌افشانی به‌ترتیب بر اساس تعداد روز از اول اسفند تا ظهور سه خوشه در هر بوته و ظاهر شدن پرچم‌ها در سه خوشه از هر بوته اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته (سانتی‌متر) با اندازه‌گیری ارتفاع بلندترین ساقه پس از پایان گرده‌افشانی در هر بوته به‌دست آمد. معمولاً گراس‌ها از اواسط پاییز که چین سوم علوفه آنها برداشت می‌شود، به حالت رکود در می‌آیند و هیچ‌گونه رشدی ندارند. با شروع اسفند ماه و گرم شدن هوا مجدداً شروع به رشد می‌کنند. به همین دلیل اندازه‌گیری روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی از اول اسفند ماه انجام می‌شود. علاوه بر این، صفات تعداد کل ساقه (مجموع تعداد ساقه‌های بارور و غیربارور)، عملکرد علوفه خشک (گرم)، درصد ماده خشک علوفه و قطر یقه (سانتی‌متر) پس از پایان گرده‌افشانی اندازه‌گیری شدند. صفت عملکرد علوفه خشک با اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن نمونه‌های تازه در دمای ۸۰-۷۵ درجه سلسیوس در آون آزمایشگاهی استاندارد دیجیتال مدل HY4247، به‌صورت تک بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد ماده خشک علوفه از نسبت وزن خشک علوفه به وزن تازه علوفه ضرب در عدد ۱۰۰ به‌دست آمد. سپس به‌منظور غربالگری و گزینش برای تحمل خشکی، مجموعه‌ای از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محاسبه شدند. این شاخص‌ها عبارتند از:

$$SSI = \frac{\left[1-\left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)\right]}{SI} \quad \text{(Fischer and Mourer, 1978)} \quad (۴)$$

$$SI = 1 - \frac{Y_{ms}}{Y_{mp}}$$

$$TOL = Y_p - Y_s \quad \text{(Rossielle and Hamblin, 1983)} \quad (۵)$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad \text{(Rossielle and Hamblin, 1983)} \quad (۶)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad \text{(Fernandez, 1992)} \quad (۷)$$

$$STI = \left[\frac{\left(Y_p \times Y_s\right)}{\left(Y_{mp}\right)^2}\right] \quad \text{(Fernandez, 1992)} \quad (۸)$$

در روابط فوق، Yp عملکرد هر ژنوتیپ در محیط شاهد (عدم تنش)، Ys عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش، Ymp میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط شاهد (عدم تنش) و Yms میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، است.

قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمالیته جهت بررسی توزیع داده‌ها انجام شد و به‌منظور تعیین یکنواختی واریانس خطا از آزمون بارتلت استفاده شد. برای برآورد سطوح تنوع ژنتیکی، ضریب تنوع فنوتیپی (phenotypic coefficient of variation) و ضریب تنوع ژنتیکی (genetic coefficient of variation) به‌ترتیب با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند (۹):

$$PCV = (\sigma_p / \mu)\, 100 \quad (۹)$$

$$GCV = (\sigma_g / \mu)\, 100 \quad (۱۰)$$

که در این معادلات، PCV ضریب تنوع فنوتیپی، GCV ضریب تنوع ژنتیکی، σ_p ریشه دوم واریانس فنوتیپی، σ_g ریشه دوم واریانس ژنتیکی، و μ میانگین فنوتیپی است. توارث‌پذیری عمومی طبق فرمول زیر محاسبه شد (۲۱):

$$h_b^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{ge}^2}{e} + \frac{\sigma_{gy}^2}{y} + \frac{\sigma_{gey}^2}{ey} + \frac{\sigma_\delta^2}{re} + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{rey}} \quad (۱۱)$$

که در این رابطه h^2_b توارث‌پذیری عمومی، σ^2_g واریانس ژنوتیپی، σ^2_{gy} واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، $\sigma^2_{g\epsilon y}$ واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و سال، σ^2_δ و σ^2_ϵ به‌ترتیب واریانس خطا و واریانس باقیمانده هستند. درحالی‌که g، e، y و r به‌ترتیب تعداد ژنوتیپ‌ها، محیط‌های مورد مطالعه، سال‌ها و تکرارها را نشان می‌دهند. علاوه براین، توارث‌پذیری عمومی به‌صورت جداگانه برای محیط‌های عدم تنش و تنش نیز طبق فرمول زیر محاسبه شد (۲۱):

$$h^2_b = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_g + \frac{\sigma^2_{gy}}{y} + \frac{\sigma^2_{gr}}{r} + \frac{\sigma^2_\epsilon}{ry}} \qquad (۱۲)$$

تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل تجزیه واریانس (براساس طرح کرت‌های خرد شده در زمان) و مقایسه میانگین‌ها (به روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد) به کمک نرم‌افزار SAS 9.4 و داده‌پردازی و ترسیم جدول‌ها به کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت. در تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح کرت‌های خرد شده در زمان، محیط‌های رطوبتی به‌عنوان کرت اصلی و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. به‌علاوه، اثر محیط رطوبتی و ژنوتیپ ثابت، و اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد. برای ترسیم بای‌پلات‌ها از نرم‌افزار Statgraphics 19 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک برای دو گونه علف باغ و علف پشمکی به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در هر دو گونه مورد بررسی محیط رطوبتی بر روی تمامی صفات تأثیر بسیار معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) داشته است (جداول‌های ۴ و ۵). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی هر دو گونه از نظر تمامی صفات تفاوت بسیار معنی‌داری وجود داشت ($P < ۰/۰۱$)، که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های منتخب از نظر صفات مورد مطالعه است و می‌تواند در بهبود انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مؤثر باشد. اثر سال نیز برای تمامی صفات هر دو گونه معنی‌دار بود. اثرات متقابل بسیار معنی‌دار ژنوتیپ × محیط رطوبتی برای تمام صفات، به‌جز روز تا خوشه‌دهی و درصد ماده خشک چین سوم، در هر دو گونه مورد بررسی نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های رطوبتی متفاوت بوده است. اثر متقابل سال × محیط رطوبتی برای ارتفاع رشد مجدد چین دوم در گونه علف باغ و عملکرد علوفه خشک چین اول در گونه علف پشمکی معنی‌دار نبود، درحالی‌که برای سایر صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول‌های ۴ و ۵).

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش دو گونه علف باغ و علف پشمکی به‌ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در هر دو گونه مورد بررسی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر همه شاخص‌های محاسبه شده در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند (جدول‌های ۶ و ۷). اثر سال برای تمام شاخص‌ها به جز SSI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ × سال در گونه علف باغ برای MP، GMP و STI تفاوت معنی‌داری نشان داد که بیانگر این است که ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای این شاخص‌ها در طی سه سال آزمایش واکنش متفاوتی نشان داده‌اند (جدول ۶). اما در گونه علف پشمکی این اثر برای هیچ یک از شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد که بیانگر این است که ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای این شاخص‌ها در طی سه سال آزمایش واکنش یکسانی داشته‌اند (جدول ۷). مشابه با نتایج این مطالعه، پیرنجم الدین و همکاران (۲۳) در فسکیوی بلند و طالب و همکاران (۳۴) در هفت گونه گراس تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها برای شاخص‌های تحمل مورد مطالعه، گزارش کردند.

آمار توصیفی صفات مورد مطالعه شامل میانگین، دامنه تغییرات، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی به تفکیک محیط عدم تنش و تنش خشکی در جدول‌های ۸ و ۹ آورده شده است. به‌جز صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده‌افشانی و درصد ماده خشک علوفه در

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ تحت دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی در سه سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

صفات/منابع تغییر	محیط رطوبتی	تکرار (محیط رطوبتی)	ژنوتیپ	ژنوتیپ × محیط رطوبتی	ژنوتیپ × تکرار (محیط رطوبتی)	سال	سال × محیط رطوبتی	ژنوتیپ × سال	ژنوتیپ × سال × محیط رطوبتی	خطا
درجه آزادی	۱	۱۰	۳۵	۳۵	۳۵۰	۲	۲	۷۰	۷۰	۷۰۰
تعداد روز تا خوشه‌دهی	۵۷۸۷**	۱۰۵۳**	۱۲۸۳**	۶۳/۹$^{n.s}$	۷۷/۶$^{n.s}$	۳۸۶۷**	۲۷۲۴**	۴۹۹**	۸۳/۶$^{n.s}$	۶۹/۰
تعداد روز تا گردافشانی	۳۵۸**	۴۹۴**	۱۰۲۸**	۶۰/۶**	۵۱/۵**	۱۹۲۱۹**	۲۰۸۵**	۲۰۷**	۵۳/۷**	۳۶/۰
ارتفاع بوته	۱۴۸۰۸۷**	۸۸۵**	۱۶۶۰**	۲۲۸**	۱۸۸**	۴۸۵۰۸**	۴۴۶۵۶**	۳۶۲**	۱۱۶*	۸۷/۲
تعداد ساقه در بوته	۶۰۱۵۲۰**	۲۱۱۱۰**	۱۳۹۸۲**	۳۴۹۱**	۱۴۴۷**	۸۰۶۴۴۷**	۱۹۵۶۸۸**	۴۱۷۰**	۱۷۲۰**	۷۲۶
عملکرد علوفه خشک چین اول	۱۶۶۹۰۲۷**	۱۱۳۷۵**	۱۵۷۲۶**	۹۲۹۸**	۳۹۹۲**	۷۶۰۹۱۹**	۷۴۱۶۸**	۴۴۲۹**	۱۸۸۷$^{n.s}$	۱۵۹۷
درصد ماده خشک چین اول	۶۸۶۵**	۲۰۱**	۲۱۹**	۳۲/۴*	۲۳/۱$^{n.s}$	۹۹۱۹**	۱۳۱۴**	۶۰/۳**	۳۲/۴**	۲۰/۸
قطر یقه چین اول	۳۸۸۹**	۲۹۳**	۷۴/۸**	۳۲/۸**	۲۰/۵**	۶۲۲۶**	۵۵۶**	۱۱/۹**	۴/۲۳$^{n.s}$	۳/۶۳
ارتفاع رشد مجدد چین اول	۴۷۶۴۳**	۹۱۷**	۲۹۵**	۱۲۰**	۴۶/۱**	۶۲۶۳**	۳۲۴۷**	۵۱/۵**	۲۷/۴**	۱۱/۸
عملکرد علوفه خشک چین دوم	۱۳۰۱۹۳**	۴۰۰۶**	۱۰۶۲**	۷۵۰**	۲۷۳**	۹۲۲۳**	۱۸۵۵۹**	۴۲۸**	۲۵۹**	۱۲۳
درصد ماده خشک چین دوم	۴۷۰**	۱۴۵**	۵۶/۵**	۱۲/۱$^{n.s}$	۱۴/۵**	۹۰۴**	۶۰۱**	۲۷/۸**	۱۵/۸**	۱۰/۵
قطر یقه چین دوم	۳۲۳۳**	۱۶۱**	۶۹/۲**	۲۰/۴**	۱۶/۶**	۵۳/۵**	۳۳۵**	۱۳/۸**	۵/۸۸**	۲/۹۷
ارتفاع رشد مجدد چین دوم	۲۰۸۳۹**	۸۹۸**	۲۹۹**	۹۸/۲**	۳۸/۸**	۴۵/۴*	۱۱/۹$^{n.s}$	۲۱/۴**	۱۰/۴$^{n.s}$	۹/۰۸
عملکرد علوفه خشک چین سوم	۱۴۵۰۱۰**	۵۵۹۳**	۱۶۱۴**	۱۲۰۲**	۴۳۱**	۳۰۲۷۶**	۱۱۶۷۹**	۳۱۹**	۳۲۵**	۱۶۳
درصد ماده خشک چین سوم	۳۲۹۹**	۴۰/۰**	۴۳/۷**	۱۶/۹*	۱۲/۴$^{n.s}$	۶۵۴**	۱۵۷۸**	۱۴/۳$^{n.s}$	۱۴/۵$^{n.s}$	۱۰/۸
قطر یقه چین سوم	۹۰۰۰**	۵۸۱**	۹۷/۰**	۳۸/۲**	۱۸/۷**	۱۳۴۰**	۳۷۴۷**	۲۱/۰**	۹/۲۴*	۶/۲۳

n.s * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک در ۳۶ ژنوتیپ علف بشمکی تحت دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی در سه سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

صفات/ منابع تغییر	محیط رطوبتی	تکرار (محیط رطوبتی)	ژنوتیپ	ژنوتیپ × محیط رطوبتی	ژنوتیپ × تکرار (محیط رطوبتی)	سال	سال × محیط رطوبتی	ژنوتیپ × سال	ژنوتیپ × سال × محیط رطوبتی	خطا
درجه آزادی	۱	۱۰	۳۵	۳۵	۳۵۰	۲	۲	۷۰	۷۰	۷۰۰
تعداد روز تا خوشه‌دهی	۴۷۷**	۷۵/۵**	۶۷۴**	۱۴/۴ns	۱۹/۱*	۴۹۲۷**	۶۲۲**	۱۵۰**	۱۳/۰ns	۱۵/۵
تعداد روز تا گرده‌افشانی	۷۱۳**	۴۳/۳**	۴۴۵**	۱۵/۳**	۱۱/۳**	۳۳۶۷۵**	۷۱۶**	۱۳۶**	۹/۰۴ns	۸/۲۳
ارتفاع بوته	۷۵۷۲۸**	۲۱۹۷**	۱۷۳۷**	۲۱۸**	۹۷/۶**	۷۳۵۹۳**	۱۲۷۸۸**	۲۰۱**	۸۴/۴**	۳۵/۹
تعداد ساقه در بوته	۱۹۰۸۸۴**	۲۶۵۶*	۳۶۶۸۳**	۲۹۹۰**	۲۹۵۴**	۲۴۸۶۰۸۴**	۳۱۹۸۱**	۸۸۷۵**	۱۵۸۵*	۱۱۸۶
عملکرد علوفه خشک چین اول	۱۵۷۲۴۵۴**	۱۸۵۷۵**	۳۸۸۵۵**	۷۴۵۱**	۵۸۷۸**	۱۰۱۳۶۱۷**	۷۳۴۵۹**	۱۰۲۵۰**	۱۹۷۴**	۱۲۰۴
درصد ماده خشک چین اول	۹۷۲۳**	۶۴/۷**	۱۴۳**	۳۴/۷**	۲۰/۵**	۱۹۴۱۳**	۶۳۶۶**	۲۸/۸**	۲۴/۸**	۱۵/۸
قطر یقه چین اول	۳۷۸۶**	۲۸/۶**	۳۵۸**	۳۰/۹**	۲۰/۹**	۴۱۳۳**	۵۴۹**	۸/۴۵**	۲/۸۴ns	۳/۳۰
ارتفاع رشد مجدد چین اول	۱۴۰۶۶**	۹۴/۳**	۲۲۸**	۳۳/۴**	۱۹/۶**	۱۸۶۱۶**	۲۸۵۶**	۴۶/۵**	۱۱/۴**	۶/۶۵
عملکرد علوفه خشک چین دوم	۱۲۲۷۱۷**	۱۴۸۰**	۱۷۵۶**	۳۷۵**	۳۲۹**	۶۳۴۵۶**	۲۳۳۳۳**	۶۹۹**	۱۲۴ns	۹۵/۵
درصد ماده خشک چین دوم	۱۵/۳ns	۳۶۷**	۸۲/۰**	۲۸/۸**	۱۵/۳ns	۸۰۹۱**	۲۸۸۳**	۲۴/۵**	۱۵/۵ns	۱۳/۱
قطر یقه چین دوم	۳۵۹۵**	۴۹/۲**	۲۵۳**	۲۵/۷**	۱۸/۴**	۵۷/۲**	۱۶۵**	۵/۴۲**	۳/۷۲ns	۲/۶۳
ارتفاع رشد مجدد چین دوم	۵۷۰۱**	۱۱۴**	۲۶۱**	۲۷/۸**	۲۰/۲**	۵۳۷**	۶۵۰/۴**	۱۶/۳**	۸/۳۸ns	۵/۳۵
عملکرد علوفه خشک چین سوم	۱۰۴۱۰۱**	۱۰۰۶**	۱۴۳۷**	۳۹۶**	۳۱۰**	۳۳۱۰۹**	۱۳۴۸۹**	۲۷۰**	۱۴ns	۹۴/۸
درصد ماده خشک چین سوم	۶۷/۱**	۹۵/۳**	۱۸/۸**	۸/۹۵ns	۸/۰۹ns	۷۲/۲**	۱۶۵**	۱۲/۰*	۸/۱۴ns	۷/۳۶
قطر یقه چین سوم	۸۰۷۸**	۳۳/۲**	۲۱۷**	۲۷/۱**	۱۹/۰**	۸۸۷**	۳۰/۶**	۱۴/۲**	۶/۵۰ns	۴/۶۸

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۶. تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ در سه سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص‌ها						
		YP	YS	TOL	MP	GMP	STI	SSI
سال	۲	۸۶۳۵۷**	۷۴۲۲۳**	۱۳۶۶۰**	۷۰۶۶۷**	۷۴۳۸۰**	۳/۵۰**	۳/۰۳$^{n.s}$
تکرار (سال)	۱۵	۳۲۱۷**	۳۰۶۶**	۵۱۴۸**	۱۶۱۵**	۲۰۱۴**	۰/۷۰**	۳/۱۷**
ژنوتیپ	۳۵	۶۹۸۴**	۲۰۵۳**	۷۱۳۶**	۲۵۴۶**	۱۹۹۷**	۰/۶۱**	۳/۴۹**
ژنوتیپ × سال	۷۰	۱۱۹۰$^{n.s}$	۶۸۹$^{n.s}$	۱۳۵۲$^{n.s}$	۶۰۴**	۵۷۳**	۰/۱۹**	۱/۲۴$^{n.s}$
خطا	۵۲۵	۱۰۱۸	۵۶۱	۱۷۹۹	۳۶۳	۳۲۳	۰/۱۲	۱/۴۶

n.s و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۷. تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی در سه سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص‌ها						
		YP	YS	TOL	MP	GMP	STI	SSI
سال	۲	۱۴۹۸۸۸**	۳۴۵۰۷**	۵۰۸۱۸**	۷۹۵۸۰**	۶۶۱۵۲**	۱/۳۱**	۰/۴۳$^{n.s}$
تکرار (سال)	۱۵	۵۳۹۶**	۱۶۸۹**	۴۵۷۹**	۲۳۹۰**	۱۹۴۲**	۰/۷۴**	۲/۶۲*
ژنوتیپ	۳۵	۸۱۶۹**	۴۵۹۹**	۳۴۷۴**	۵۵۳۳**	۵۳۵۶**	۱/۹۷**	۲/۱۴*
ژنوتیپ × سال	۷۰	۱۱۰۶$^{n.s}$	۴۵۷$^{n.s}$	۸۸۸$^{n.s}$	۵۵۸$^{n.s}$	۵۰۴$^{n.s}$	۰/۲۰$^{n.s}$	۱/۰۲$^{n.s}$
خطا	۵۲۵	۱۰۳۱	۴۷۴	۱۲۲۸	۴۴۶	۴۵۳	۰/۱۸	۱/۳۶

n.s، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

گونه علف باغ و درصد ماده خشک علوفه در گونه علف پشمکی، میانگین تمام صفات در اثر تنش خشکی کاهش نشان دادند. در هر دو گونه مورد مطالعه دامنه تغییرات صفات در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی دارای طیف نسبتاً وسیعی بود که نشان‌دهنده تنوع بالا از نظر صفات مورد نظر در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. به‌طورکلی در هر دو گونه مورد بررسی دامنه تغییرات اکثر صفات در شرایط تنش خشکی کمتر بود. به‌عنوان نمونه، در گونه علف باغ صفت عملکرد علوفه خشک چین اول در شرایط عدم تنش دارای دامنه تغییرات بین ۲۵ تا ۵۱۶ گرم و در شرایط تنش خشکی دارای دامنه تغییرات ۱۵ تا ۲۶۹ گرم بود. در گونه علف پشمکی دامنه تغییرات صفت عملکرد علوفه خشک چین اول در شرایط عدم تنش بین ۱۵ تا ۷۴۱ گرم و در شرایط تنش ۱۸ تا ۴۷۷ گرم بود. همچنین ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای بیشتر صفات در شرایط تنش نسبت به محیط عدم تنش کمتر بود که نشان‌دهنده این است که تنش خشکی دامنه تغییرات و تنوع اکثر صفات را کاهش داده است. در هر دو گونه صفات عملکرد علوفه و تعداد ساقه بیشترین ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۸ و ۹). کمترین میزان ضریب تغییرات فنوتیپی در گونه علف باغ مربوط به صفات روز تا گرده‌افشانی و درصد ماده خشک علوفه بود. از نظر ضریب تنوع ژنتیکی نیز صفات روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده‌افشانی و درصد ماده خشک علوفه دارای کمترین مقادیر بودند (جدول ۸). درحالی‌که در گونه علف پشمکی کمترین میزان ضرایب

جدول ۸ آمار توصیفی و برآورد ضرایب تنوع فنوتیپی، ژنتیکی و وراثت‌پذیری عمومی صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی

صفات	میانگین		حداقل		حداکثر		ضریب تنوع فنوتیپی (٪)		ضریب تنوع ژنتیکی (٪)		وراثت‌پذیری عمومی (٪)	
	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	کل
تعداد روز تا خوشه‌دهی	۵۸/۵	۶۲/۴	۲۲/۰	۳۳/۰	۱۲۰	۱۱۷	۸/۹۲	۹/۱۰	۴/۳۹	۶/۴۶	۷۴/۳	۷۳/۱
تعداد روز تا گرده‌افشانی	۸۲/۲	۸۲/۸	۵۱/۰	۶۱/۰	۱۱۶	۱۱۷	۶/۰۵	۵/۴۹	۴/۳۱	۳/۹۳	۸۲/۸	۸۱/۱
ارتفاع بوته (cm)	۸۵/۲	۶۴/۳	۲۰/۰	۱۵/۰	۱۳۱	۱۱۵	۸/۷۶	۱۱/۳	۷/۳۱	۸/۷۷	۷۳/۲	۷۲/۳
تعداد ساقه در بوته	۹۵/۷	۴۹/۲	۲۱/۰	۱۱/۰	۳۳۱	۲۲۳	۳۰/۶	۳۲/۴	۲۰/۹	۲۱/۳	۶۱/۳	۵۹/۳
عملکرد علوفه خشک چین اول (g/plant)	۱۵۵	۸۱/۳	۲۵/۰	۱۵/۰	۵۱۶	۲۶۹	۲۲/۲	۲۳/۶	۱۷/۱	۱۷/۵	۲۹/۲	۲۸/۰
درصد ماده خشک چین اول	۴۱/۴	۴۶/۲	۲۱/۲	۲۴/۶	۶۱/۲	۶۹/۳	۶/۹۱	۵/۵۹	۵/۷۲	۴/۲۱	۷۶/۱	۷۴/۶
قطر یقه چین اول (cm)	۲۰/۲	۱۶/۸	۴/۶۷	۲/۳۳	۳۵/۰	۲۹/۷	۸/۹۸	۱۰/۱	۷/۰۲	۶/۹۷	۵۱/۰	۴۷/۳
ارتفاع رشد مجدد چین اول (cm)	۳۲/۲	۱۹/۷	۱۹/۰	۱۶/۰	۶۷/۰	۴۰/۰	۱۳/۴	۱۴/۳	۱۲/۲	۱۱/۷	۵۵/۳	۵۲/۵
عملکرد علوفه خشک چین دوم (g/plant)	۳۷/۲	۱۲/۲	۲۰/۰	۱۲/۰	۱۸۸	۴۵/۰	۳۰/۲	۲۲/۸	۲۱/۹	۱۵/۸	۱۷/۶	۱۵/۵
درصد ماده خشک چین دوم	۳۰/۶	۳۱/۶	۲۰/۰	۲۰/۰	۴۷/۸	۴۷/۴	۴/۷۶	۴/۲۲	۶/۳۵	۱/۳۱	۶۲/۱	۵۹/۶
قطر یقه چین دوم (cm)	۲۲/۱	۱۸/۲	۶/۰۰	۳/۳۳	۳۱/۷	۲۷/۷	۸/۷۱	۸/۳۴	۷/۳۱	۴/۹۸	۶۳/۱	۶۲/۳
ارتفاع رشد مجدد چین دوم (cm)	۳۰/۶	۲۰/۵	۱۸/۰	۱۳/۰	۶۵/۰	۴۴/۰	۱۳/۶	۱۲/۹	۱۲/۳	۱۱/۰	۶۸/۳	۶۶/۳
عملکرد علوفه خشک چین سوم (g/plant)	۴۷/۶	۱۵/۹	۳۰/۰	۱۰/۰	۲۳۳	۱۰۲	۲۸/۵	۲۸/۶	۲۳/۵	۱۶/۹	۲۹/۶	۳۱/۸
درصد ماده خشک چین سوم	۲۸/۳	۳۴/۰	۱۹/۴	۱۶/۷	۴۶/۴	۴۸/۶	۴/۸۱	۳/۹۲	۶/۱۰	۲/۶۹	۶۷/۸	۶۵/۵
قطر یقه چین سوم (cm)	۲۳/۳	۱۶/۹	۷/۳۳	۲/۳۳	۳۴/۰	۳۱/۰	۸/۸۳	۱۰/۱	۷/۶۱	۶/۰۱	۵۲/۰	۵۰/۸

جدول ۹. آمار توصیفی و برآورد ضرایب تنوع فنوتیپی، ژنتیکی و وراثت‌پذیری عمومی صفات زراعی، مورفولوژیک و فنولوژیک در ۳۶ ژنوتیپ علف بشمکی در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی

صفات	میانگین		حداقل		حداکثر		ضریب تنوع فنوتیپی (٪)		ضریب تنوع ژنتیکی (٪)		وراثت‌پذیری عمومی (٪)	
	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش
تعداد روز تا خوشه‌دهی	۵۷/۴	۵۶/۲	۲۸/۰	۳۶/۰	۸۱/۰	۹۹/۰	۷/۵۱	۷/۹۱	۶/۵۸	۶/۷۹	۷۹/۸	۷۴/۷
تعداد روز تا گرده‌افشانی	۸۴/۸	۸۳/۳	۶۴/۰	۶۳/۰	۱۱۷	۱۱۷	۴/۲۵	۴/۲۸	۳/۵۶	۳/۴۲	۷۷/۱	۴۱/۱
ارتفاع بوته (cm)	۸۶/۸	۷۱/۴	۳۰/۰	۳۳/۰	۱۳۰	۱۱۴	۷/۱۲	۱۱/۷	۵/۹۷	۱۰/۷	۸۶/۷	۸۴/۳
تعداد ساقه در بوته	۱۳۴	۱۱۶	۱۱/۰	۱۱/۰	۴۶۹	۴۶۹	۲۶/۹	۲۶/۶	۲۱/۴	۲۱/۶	۷۵/۹	۷۳/۶
عملکرد علوفه خشک چین اول (g/plant)	۱۹۲	۱۲۰	۱۵/۳	۱۸/۰	۷۴۱	۴۷۷	۲۲/۷	۲۸/۹	۱۸/۵	۲۴/۶	۷۲/۴	۶۶/۳
درصد ماده خشک چین اول	۴۴/۲	۴۹/۹	۲۱/۴	۲۱/۰	۶۳/۶	۷۸/۷	۴/۱۰	۵/۱۹	۲/۸۱	۴/۴۶	۷۳/۷	۴۷/۰
قطر یقه چین اول (cm)	۲۴/۶	۲۱/۲	۸/۶۷	۸/۳۳	۴۴/۷	۴۱/۷	۱۴/۷	۱۳/۸	۱۳/۹	۱۲/۸	۸۹/۶	۸۵/۷
ارتفاع رشد مجدد چین اول (cm)	۲۸/۳	۲۱/۶	۱۰/۰	۱۹/۰	۶۰/۰	۴۲/۰	۹/۶۱	۱۲/۴	۷/۴۴	۱۰/۸	۸۶/۵	۷۹/۹
عملکرد علوفه خشک چین دوم (g/plant)	۳۹/۶	۲۰/۰	۲۲/۰	۴/۰۰	۱۷۵	۷۷/۰	۲۴/۵	۲۴/۵	۱۸/۱	۱۷/۴	۵۴/۲	۴۵/۹
درصد ماده خشک چین دوم	۳۷/۲	۳۶/۹	۲۰/۶	۲۰/۰	۵۸/۳	۶۶/۷	۴/۵۸	۴/۴۷	۳/۰۳	۲/۳۹	۵۸/۵	۵۲/۰
قطر یقه چین دوم (cm)	۲۵/۹	۲۱/۸	۱۲/۷	۱۹/۷	۴۲/۰	۴۳/۷	۱۲/۰	۱۱/۲	۱۱/۱	۱۰/۲	۸۶/۷	۸۲/۲
ارتفاع رشد مجدد چین دوم (cm)	۲۶/۸	۲۱/۷	۱۲/۰	۲۲/۰	۵۸/۰	۴۲/۰	۱۱/۴	۱۲/۱	۱۰/۲	۱۱/۰	۸۲/۲	۸۰/۷
عملکرد علوفه خشک چین سوم (g/plant)	۴۴/۷	۲۲/۶	۲۵/۰	۱۱/۰	۱۵۳	۸۸/۰	۱۹/۱	۲۵/۵	۱۴/۵	۲۱/۳	۷۰/۲	۶۷/۹
درصد ماده خشک چین سوم	۳۲/۲	۳۲/۷	۲۰/۶	۲۰/۸	۴۹/۶	۵۰/۰	۲/۹۱	۳/۳۷	۲/۰۵	۱/۶۶	۴۹/۷	۴۴/۰
قطر یقه چین سوم (cm)	۲۶/۸	۲۰/۷	۱۲/۳	۵/۳۳	۴۳/۰	۳۹/۳	۱۰/۷	۱۱/۳	۹/۷۸	۹/۶۸	۸۷/۷	۸۵/۹

تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی مربوط به صفات روز تا گرده‌افشانی و درصد ماده خشک علوفه بود (جدول ۹). در مطالعه بر روی فسکیوی بلند، ابراهیمیان و همکاران (۶) ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی بالایی برای صفات عملکرد علوفه و تعداد ساقه گزارش کردند. به‌طورکلی از تنوع ژنتیکی بالای موجود در صفات مختلف می‌توان در طراحی و اجرای برنامه‌های اصلاحی پیشرفته‌تر استفاده کرد (۲۶).

ضرایب تنوع فنوتیپی برای تمامی صفات مورد مطالعه از ضرایب تنوع ژنتیکی بزرگتر بودند. در گونه علف باغ، ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط عدم تنش از ۴/۳۱ برای صفت روز تا گرده‌افشانی تا ۲۳/۴ برای صفت درصد ماده خشک چین سوم و در شرایط تنش از ۱/۳۱ برای صفت درصد ماده خشک چین دوم تا ۲۱/۳ برای تعداد ساقه متغیر بود. در گونه علف پشمکی، ضریب تنوع ژنتیکی در شرایط عدم تنش دامنه‌ای از ۲/۰۵ برای صفت درصد ماده خشک چین سوم تا ۲۱/۴ برای تعداد ساقه و در شرایط تنش دامنه‌ای بین ۱/۶۶ برای صفت درصد ماده خشک چین سوم تا ۲۴/۶ برای صفت عملکرد علوفه خشک چین اول نشان داد. مقادیر بالای ضریب تنوع ژنتیکی برای یک صفت نشان‌دهنده امکان بهبود آن صفت در برنامه‌های اصلاحی است. در گونه علف باغ، ضریب تنوع فنوتیپی در شرایط عدم تنش دامنه‌ای از ۴/۷۶ برای صفت درصد ماده خشک چین دوم تا ۳۰/۶ برای تعداد ساقه و در شرایط تنش از ۳/۹۲ برای درصد ماده خشک چین سوم تا ۳۲/۴ برای صفت تعداد ساقه مشاهده شد. در گونه علف پشمکی، ضریب تنوع فنوتیپی در شرایط عدم تنش از ۲/۹۱ برای درصد ماده خشک چین سوم تا ۲۶/۹ برای صفت تعداد ساقه و در شرایط تنش از ۳/۳۷ برای صفت درصد ماده خشک چین سوم تا ۲۸/۹ برای عملکرد علوفه خشک چین اول متغیر بود. تفاوت‌های کوچک بین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی نشان‌دهنده اثر کم محیط بر روی صفات است. کمترین تفاوت بین این دو ضریب در گونه علف باغ برای صفات درصد ماده خشک چین اول، درصد ماده خشک چین سوم و قطر یقه چین سوم، و در گونه علف پشمکی برای صفات روز تا گرده‌افشانی، درصد ماده خشک چین اول، قطر یقه چین اول و قطر یقه چین دوم مشاهده شد که بیانگر این است که با انتخاب برای این صفات در برنامه‌های اصلاحی بازدهی بیشتری حاصل می‌شود.

ابطحی و همکاران (۲) در مطالعه‌ای بر روی علف پشمکی، تفاوت بین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی را در صفات فنولوژیک پایین‌تر از عملکرد و اجزای عملکرد علوفه گزارش کردند. ابطحی و همکاران (۱) گزارش کردند که به‌جز برای محتوی کارتنوئید و کلروفیل a واریانس و ضریب تنوع ژنتیکی برای صفات مورد بررسی تحت شرایط نرمال بزرگ‌تر از شرایط تنش خشکی بود. بلوم (۴) معتقد است که واریانس ژنتیکی و وراثت‌پذیری برای عملکرد در شرایط نرمال و تنش محیطی متفاوت است و نسبت پیشرفت ژنتیکی به‌وسیله انتخاب در این دو شرایط محیطی برابر نیست.

تخمین وراثت‌پذیری و عمل ژن صفات مختلف واریانس ژنتیکی در دسترس را نشان می‌دهد و به‌منظور تولید واریته‌های جدید ضروری است. وراثت‌پذیری برای یک صفت محاسبه پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار آن صفت را امکان‌پذیر می‌سازد و بدین ترتیب، اساس برنامه‌های اصلاحی مؤثر در جهت دستیابی به حداکثر پیشرفت ژنتیکی را مهیا می‌سازد (۳۲). در بین صفات مورد مطالعه صفات روز تا گرده‌افشانی، درصد ماده خشک علوفه چین اول، روز تا خوشه‌دهی و ارتفاع بوته در گونه علف باغ و قطر یقه، ارتفاع بوته، روز تا خوشه‌دهی، درصد ماده خشک چین اول و تعداد ساقه در گونه علف پشمکی بیشترین مقادیر وراثت‌پذیری عمومی کل را به خود اختصاص دادند. عملکرد علوفه خشک چین اول، عملکرد علوفه خشک چین دوم و عملکرد علوفه خشک چین سوم و قطر یقه چین اول در گونه علف باغ و صفات درصد ماده خشک چین سوم و عملکرد علوفه خشک چین دوم در گونه علف پشمکی کمترین مقادیر وراثت‌پذیری عمومی کل را دارا بودند (جدول‌های ۸ و ۹)، که بیانگر این است که بروز این صفات تا حدود زیادی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد و احتمالاً سودمندی

انتخاب غیرمستقیم از طریق اجزای عملکرد دارای وراثت‌پذیری بالا بیشتر خواهد بود. بلوم (۴) گزارش کرد که انتخاب غیرمستقیم بوسیله اجزای عملکرد و سایر صفات می‌تواند مؤثرتر از انتخاب مستقیم برای عملکرد باشد؛ مشروط بر آن که وراثت‌پذیری آن صفات بیشتر از وراثت‌پذیری عملکرد باشد و همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند. بنابراین تعیین ارتباط بین عملکرد و صفات وابسته به آن می‌تواند به انتخاب غیرمستقیم تحت شرایط نرمال و تنش خشکی کمک کند. ابراهیمیان و همکاران (۷) در بررسی خود بر روی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند وراثت‌پذیری صفات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد علوفه را بیشتر از وراثت‌پذیری عملکرد ماده خشک گزارش کردند. پیرنجم الدین و همکاران (۲۳) در بررسی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند، میزان وراثت‌پذیری را برای عملکرد ماده خشک ۴۶ تا ۵۰ درصد گزارش کردند.

نتایج مقایسه میانگین در دو گونه مورد مطالعه نشان داد که تنش خشکی میانگین تمامی صفات به‌جز روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده‌افشانی، درصد ماده خشک چین اول و درصد ماده خشک چین دوم در گونه علف باغ، و صفات درصد ماده خشک چین اول و درصد ماده خشک چین سوم در گونه علف پشمکی را در هر دو گونه کاهش داد (جدول‌های ۸ و ۹). در اکثر گراس‌ها کاهش بخش هوایی یک سازوکار مناسب برای سازگاری با تنش خشکی است (۱۲ و ۱۴). کاهش صفاتی مانند عملکرد علوفه و اجزای عملکرد در اثر تنش خشکی به کاهش در فتوسنتز، فشار آماس، رشد سلولی، و کاهش سطح یا لوله‌ای شدن برگ و همچنین تولید و افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن نسبت داده شده است (۲۵). ابراهیمیان و همکاران (۸) در بررسی ۷۵ ژنوتیپ فسکیوی بلند کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند و تنوع ژنتیکی بالایی را برای تحمل به خشکی در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده کردند.

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های گونه علف باغ برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که در سال اول بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک محیط عدم تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲ و ۲۷ تعلق داشت (جدول ۱۰). در سال دوم، ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر این صفت را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۱). در سال سوم، ژنوتیپ‌های ۲۴ و ۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر این صفت را داشتند (جدول ۱۲). از نظر عملکرد علوفه خشک محیط تنش، در سال اول بیشترین و کمترین میانگین به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۷ و ۲۷ مشاهده شد. در سال دوم، بیشترین و کمترین میانگین صفت ذکر شده به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۳ و ۱ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۷ و ۳۶ تعلق داشت (جدول‌های ۱۰ تا ۱۲). در گونه علف پشمکی، در سال اول ژنوتیپ‌های ۲ و ۳۴ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک محیط عدم تنش را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۳). در سال دوم، ژنوتیپ‌های ۳۲ و ۲۱، و در سال سوم، ژنوتیپ‌های ۳۲ و ۱۰ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر این صفت را نشان دادند (جدول‌های ۱۴ و ۱۵). از نظر عملکرد علوفه خشک محیط تنش، در سال اول ژنوتیپ‌های ۸ و ۲۹ به‌ترتیب بیشترین و کمترین میانگین را داشتند. در سال دوم، ژنوتیپ‌های ۸ و ۲۶ و در سال سوم نیز ژنوتیپ‌های ۸ و ۲۶ به‌ترتیب بیشترین و کمترین میانگین صفت ذکر شده را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵).

در گونه علف باغ، ژنوتیپ‌های ۷، ۲۷، ۱۳، ۳۲ و ۱۴ به‌ترتیب کمترین مقادیر SSI را در سال اول به خود اختصاص دادند (جدول ۱۰). کمترین مقادیر SSI در سال دوم به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۳، ۱۳، ۱، ۱۴ و ۲۷ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۳۱، ۱۳، ۱۴، ۲۰ و ۳ تعلق داشت (جدول‌های ۱۱ و ۱۲). در گونه علف پشمکی، کمترین مقادیر SSI، در سال اول به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۲۶، ۳۴، ۱۵، ۱۸ و ۲۷، در سال دوم به ژنوتیپ‌های ۳۴، ۶، ۱۳، ۳۶ و ۸ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۳۴، ۲۰، ۱۳، ۷ و ۲۷ تعلق داشت (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵). بنابراین، ژنوتیپ‌های ۳۴ و ۱۳ بر اساس این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شدند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ ارزیابی شده در سال ۱۳۹۲

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۵۰/۴	۲۹/۳	۲۱/۲	۳۹/۸	۳۷/۴	۰/۳۰	۱/۰۲
۲	۱۰۴/۵	۲۶/۶	۷۷/۹	۶۵/۶	۴۹/۹	۰/۵۸	۱/۷۲
۳	۶۴/۳	۴۶/۷	۱۷/۸	۵۵/۶	۵۲/۵	۰/۵۹	۰/۵۴
۴	۵۸/۰	۳۹/۲	۱۸/۸	۴۸/۶	۴۴/۸	۰/۵۱	۰/۶۹
۵	۸۳/۳	۵۶/۱	۲۷/۳	۶۹/۷	۶۷/۲	۰/۹۳	۰/۷۷
۶	۶۴/۲	۵۲/۲	۱۲/۰	۵۸/۲	۵۶/۷	۰/۶۶	۰/۲۶
۷	۸۲/۷	۷۹/۷	۳/۰۰	۸۱/۲	۷۸/۴	۱/۳۴	−۱/۱۱
۸	۸۹/۰	۷۶/۳	۱۲/۷	۸۲/۶	۸۱/۵	۱/۳۱	۰/۲۶
۹	۶۴/۹	۴۲/۴	۲۲/۵	۵۳/۷	۵۰/۰	۰/۵۰	۰/۳۹
۱۰	۷۳/۴	۵۷/۸	۲۱/۶	۶۸/۴	۶۴/۸	۰/۹۳	۰/۷۵
۱۱	۶۰/۰	۳۲/۳	۲۷/۸	۴۶/۲	۴۲/۸	۰/۴۱	۱/۲۱
۱۲	۸۴/۳	۳۰/۳	۵۴/۰	۵۷/۳	۴۷/۴	۰/۴۶	۱/۳۸
۱۳	۵۰/۸	۴۸/۱	۶/۰۰	۵۱/۱	۴۹/۴	۰/۴۹	−۰/۲۷
۱۴	۷۷/۵	۷۰/۰	۷/۵۰	۷۳/۷	۷۱/۹	۱/۰۹	۰/۲۳
۱۵	۸۵/۷	۲۸/۵	۵۷/۲	۵۷/۱	۴۴/۰	۰/۴۳	۰/۵۳
۱۶	۷۳/۷	۴۰/۸	۳۲/۸	۵۷/۳	۵۱/۵	۰/۵۶	۰/۸۶
۱۷	۴۸/۷	۲۶/۹	۲۱/۹	۳۷/۸	۳۴/۶	۰/۲۹	۱/۲۰
۱۸	۶۲/۵	۴۳/۴	۲۲/۴	۵۱/۳	۴۸/۹	۰/۴۷	۰/۷۳
۱۹	۴۴/۴	۲۸/۷	۱۹/۷	۳۸/۵	۳۶/۲	۰/۲۶	۰/۸۴
۲۰	۵۸/۴	۳۴/۰	۲۴/۴	۴۶/۲	۴۳/۷	۰/۴۵	۱/۰۳
۲۱	۷۱/۵	۳۹/۱	۳۲/۸	۵۵/۵	۴۷/۵	۰/۴۶	۰/۵۸
۲۲	۸۰/۵	۳۱/۰	۵۴/۵	۵۳/۰	۴۴/۷	۰/۴۰	۱/۶۳
۲۳	۵۴/۴	۳۸/۰	۱۴/۹	۴۵/۴	۴۳/۸	۰/۳۸	۰/۵۰
۲۴	۹۰/۳	۳۳/۴	۶۸/۸	۶۷/۹	۵۵/۶	۰/۶۶	۱/۵۴
۲۵	۸۵/۳	۵۷/۳	۲۸/۰	۷۱/۳	۶۸/۲	۰/۹۸	۰/۷۷
۲۶	۸۰/۸	۵۱/۳	۲۹/۶	۶۶/۰	۵۸/۸	۰/۷۷	۰/۹۳
۲۷	۲۱/۲	۲۴/۴	−۴/۵۰	۲۵/۴	۲۳/۹	۰/۱۴	−۰/۹۸
۲۸	۷۹/۳	۴۰/۱	۳۹/۲	۵۹/۷	۵۵/۶	۰/۶۲	۱/۱۷
۲۹	۸۹/۹	۴۰/۰	۴۹/۹	۶۵/۰	۵۷/۲	۰/۷۰	۱/۲۸
۳۰	۸۲/۹	۲۸/۷	۵۴/۲	۵۵/۸	۴۵/۹	۰/۴۴	۱/۲۹
۳۱	۷۷/۶	۴۲/۷	۳۴/۹	۶۰/۱	۵۱/۲	۰/۵۹	۰/۷۳
۳۲	۷۱/۰	۵۷/۷	۱۳/۳	۶۴/۳	۶۰/۹	۰/۸۰	−۰/۱۱
۳۳	۹۷/۱	۴۸/۸	۵۰/۵	۷۴/۱	۶۸/۲	۰/۹۲	۱/۱۳
۳۴	۴۹/۲	۲۷/۵	۲۱/۷	۳۸/۳	۳۶/۰	۰/۲۶	۰/۹۸
۳۵	۹۹/۸	۴۱/۵	۵۸/۳	۷۰/۷	۵۷/۶	۰/۷۰	۱/۱۲
۳۶	۶۹/۹	۳۱/۹	۳۸/۰	۵۰/۹	۴۵/۴	۰/۴۱	۱/۱۳
LSD (α=۰/۰۵)	۳۱/۱	۲۱/۵	۴۰/۸	۱۷/۷	۱۸/۰	۰/۴۳	۱/۴۳

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۱۱. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ ارزیابی شده در سال ۱۳۹۳

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۴۵/۶	۳۳/۴	۷/۱۰	۳۶/۹	۳۵/۵	۰/۱۳	-۰/۶۰
۲	۱۲۱	۴۶/۷	۹۱/۵	۹۲/۵	۷۱/۰	۰/۵۰	۱/۲۲
۳	۸۹/۱	۱۴۲	-۵۵/۸	۱۱۴	۱۰۳	۱/۰۲	-۲/۷۹
۴	۱۲۹	۹۰/۳	۳۹/۴	۱۱۰	۱۰۱	۱/۰۴	۰/۵۹
۵	۱۱۶	۶۵/۳	۵۶/۰	۹۳/۳	۸۶/۲	۰/۷۰	۰/۹۱
۶	۱۱۲	۸۴/۸	۲۸/۱	۹۸/۹	۹۴/۶	۰/۸۳	۰/۴۶
۷	۱۲۵	۶۵/۳	۶۰/۱	۹۵/۴	۸۸/۰	۰/۷۴	۱/۰۴
۸	۱۰۶	۶۶/۱	۴۰/۰	۸۶/۱	۷۷/۸	۰/۵۹	۰/۶۱
۹	۱۰۳	۵۹/۸	۴۳/۵	۸۱/۵	۷۱/۰	۰/۴۹	۰/۷۷
۱۰	۱۱۵	۸۳/۵	۲۲/۷	۱۰۴	۹۹/۰	۱/۰۹	-۰/۳۳
۱۱	۹۵/۵	۵۷/۰	۳۸/۵	۷۶/۲	۶۷/۷	۰/۵۰	۰/۹۸
۱۲	۹۷/۵	۵۴/۳	۴۳/۲	۷۵/۹	۷۱/۶	۰/۴۸	۱/۰۳
۱۳	۶۹/۳	۶۴/۵	۵/۷۳	۶۷/۴	۶۳/۷	۰/۴۰	-۱/۰۰
۱۴	۸۴/۲	۷۸/۴	۵/۷۵	۸۱/۳	۷۶/۶	۰/۵۹	-۰/۵۶
۱۵	۷۰/۵	۵۰/۴	۲۰/۱	۶۰/۵	۵۷/۶	۰/۳۵	۰/۱۷
۱۶	۱۱۴	۵۴/۱	۶۰/۲	۸۴/۲	۷۷/۷	۰/۵۸	۱/۳۰
۱۷	۱۲۱	۵۴/۵	۷۲/۷	۹۰/۹	۸۱/۵	۰/۶۳	۱/۳۰
۱۸	۹۴/۵	۴۲/۷	۴۶/۹	۷۱/۰	۶۲/۶	۰/۴۱	۰/۶۷
۱۹	۱۰۵	۴۶/۵	۶۶/۰	۷۹/۵	۷۰/۷	۰/۴۶	۱/۳۵
۲۰	۶۶/۴	۶۴/۸	۱/۵۳	۶۵/۶	۶۴/۲	۰/۳۸	-۰/۲۱
۲۱	۱۲۷	۷۲/۳	۶۴/۸	۱۰۴	۹۸/۹	۰/۹۰	۱/۱۲
۲۲	۱۳۰	۶۴/۶	۶۵/۵	۹۷/۵	۸۶/۰	۰/۸۱	۱/۳۰
۲۳	۹۴/۶	۶۰/۷	۳۲/۹	۷۸/۱	۷۵/۴	۰/۵۳	۰/۶۵
۲۴	۱۴۹	۵۴/۲	۹۹/۷	۱۰۴	۹۰/۰	۰/۷۶	۱/۵۳
۲۵	۱۲۹	۷۹/۸	۴۹/۸	۱۰۴	۹۹/۶	۰/۹۵	۰/۸۵
۲۶	۹۷/۹	۴۹/۸	۴۸/۱	۷۳/۹	۵۹/۴	۰/۳۸	۰/۵۶
۲۷	۶۲/۴	۴۳/۳	۶/۹۲	۴۶/۸	۴۵/۱	۰/۲۱	-۰/۴۱
۲۸	۹۸/۳	۶۶/۷	۳۱/۶	۸۲/۵	۸۰/۶	۰/۶۱	۰/۷۳
۲۹	۱۲۳	۵۹/۵	۶۴/۱	۹۱/۶	۸۳/۲	۰/۶۵	۱/۱۳
۳۰	۱۵۳	۶۲/۲	۹۱/۲	۱۰۷	۹۶/۱	۰/۸۵	۱/۴۲
۳۱	۸۳/۵	۷۹/۵	-۵/۴۶	۸۶/۲	۶۷/۲	۰/۴۲	۱/۲۰
۳۲	۱۱۴	۶۲/۶	۵۱/۶	۸۸/۴	۸۲/۵	۰/۶۴	۱/۰۲
۳۳	۱۱۵	۴۹/۲	۶۶/۶	۸۲/۵	۶۶/۱	۰/۴۷	۱/۱۵
۳۴	۵۷/۵	۳۸/۲	۱۹/۳	۴۷/۸	۴۳/۸	۰/۱۹	۰/۳۵
۳۵	۱۶۲	۴۹/۷	۱۰۵	۱۰۲	۸۴/۵	۰/۷۲	۱/۶۰
۳۶	۹۰/۴	۵۸/۳	۳۱/۵	۷۴/۰	۶۹/۹	۰/۴۷	۰/۶۸
LSD (α=۰/۰۵)	۴۳/۱	۳۸/۴	۶۲/۷	۲۶/۷	۲۶/۴	۰/۴۱	۱/۷۷

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۱۲. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ ارزیابی شده در سال ۱۳۹۴

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۲۴/۳	۱۷/۵	۷/۰۷	۲۱/۰	۲۰/۵	۰/۱۱	۰/۳۹
۲	۷۰/۲	۱۵/۰	۵۵/۱	۴۲/۶	۳۱/۴	۰/۲۷	۱/۱۵
۳	۵۹/۹	۳۶/۴	۱۵/۱	۴۴/۰	۴۰/۲	۰/۳۹	۰/۳۸
۴	۸۶/۲	۳۹/۶	۴۲/۸	۶۱/۰	۵۳/۸	۰/۷۰	۰/۷۴
۵	۷۱/۱	۳۳/۹	۴۴/۱	۵۵/۹	۴۹/۶	۰/۵۹	۰/۸۵
۶	۸۳/۸	۱۹/۸	۶۴/۰	۵۱/۸	۳۶/۵	۰/۳۱	۱/۰۴
۷	۹۹/۶	۳۹/۹	۵۹/۷	۶۹/۷	۶۰/۳	۰/۸۲	۰/۸۳
۸	۴۶/۲	۸/۰۸	۳۸/۱	۲۷/۲	۱۷/۶	۰/۰۸	۱/۱۹
۹	۷۹/۷	۲۷/۶	۵۰/۱	۵۲/۶	۴۴/۲	۰/۴۶	۰/۹۶
۱۰	۶۶/۳	۳۷/۰	۲۳/۵	۵۵/۴	۵۲/۶	۰/۸۶	۰/۷۲
۱۱	۵۵/۷	۷/۷۸	۳۴/۲	۲۴/۹	۱۶/۰	۰/۰۶	۰/۹۸
۱۲	۷۸/۳	۲۴/۹	۵۳/۴	۵۱/۶	۴۰/۶	۰/۴۱	۰/۹۵
۱۳	۴۵/۹	۳۶/۴	۹/۵۷	۴۱/۲	۳۹/۴	۰/۳۶	۰/۰۱
۱۴	۶۲/۸	۳۷/۵	۲۵/۳	۵۰/۱	۴۲/۶	۰/۴۵	۰/۰۴
۱۵	۳۴/۳	۹/۸۰	۲۶/۳	۲۲/۹	۱۶/۲	۰/۰۷	۰/۹۶
۱۶	۶۵/۴	۲۱/۲	۴۴/۲	۴۳/۳	۳۴/۷	۰/۳۱	۱/۰۱
۱۷	۹۳/۶	۲۳/۶	۷۴/۷	۶۱/۰	۴۴/۷	۰/۴۶	۱/۰۳
۱۸	۶۸/۵	۱۲/۰	۵۵/۶	۴۰/۷	۲۳/۴	۰/۱۳	۰/۷۴
۱۹	۹۲/۹	۳۵/۳	۶۴/۹	۶۷/۷	۵۶/۶	۰/۸۰	۰/۹۲
۲۰	۲۵/۹	۲۵/۶	۰/۴۲	۲۵/۸	۲۵/۱	۰/۱۵	۰/۰۳
۲۱	۷۸/۶	۲۴/۳	۵۹/۹	۵۴/۳	۴۲/۲	۰/۴۴	۱/۰۳
۲۲	۷۲/۹	۱۳/۶	۶۴/۶	۴۰/۶	۲۴/۰	۰/۱۳	۱/۳۱
۲۳	۵۶/۴	۲۳/۱	۴۲/۵	۴۴/۳	۳۷/۵	۰/۳۲	۰/۹۴
۲۴	۱۱۶	۱۹/۱	۱۰۴	۷۱/۳	۴۵/۴	۰/۴۶	۱/۲۲
۲۵	۸۲/۸	۳۸/۶	۴۴/۲	۶۰/۷	۵۴/۹	۰/۶۸	۰/۷۶
۲۶	۷۳/۳	۲۰/۷	۵۲/۶	۴۷/۰	۳۷/۹	۰/۳۷	۱/۰۹
۲۷	۴۲/۱	۱۹/۱	۱۱/۶	۲۴/۹	۲۳/۷	۰/۱۳	۰/۴۲
۲۸	۳۷/۷	۱۰/۹	۲۶/۸	۲۴/۳	۱۹/۸	۰/۱۰	۱/۰۹
۲۹	۷۶/۶	۱۰/۸	۶۳/۷	۴۲/۶	۲۶/۹	۰/۱۷	۱/۲۶
۳۰	۹۸/۳	۲۷/۶	۷۰/۷	۶۲/۹	۴۹/۰	۰/۵۵	۱/۰۱
۳۱	۴۶/۸	۱۱/۶	۴۱/۷	۳۳/۵	۲۲/۱	۰/۱۴	−۰/۰۵
۳۲	۷۲/۴	۳۱/۷	۴۰/۶	۵۲/۱	۴۵/۵	۰/۵۲	۰/۸۰
۳۳	۸۳/۲	۲۱/۶	۶۱/۶	۵۲/۴	۴۱/۱	۰/۴۲	۱/۱۲
۳۴	۳۶/۲	۸/۵۷	۲۸/۲	۲۲/۷	۱۵/۹	۰/۰۷	۱/۰۷
۳۵	۱۱۴	۱۴/۶	۱۱۵	۷۲/۴	۴۰/۰	۰/۵۰	۱/۲۷
۳۶	۴۰/۸	۶/۱۷	۳۵/۱	۲۳/۷	۱۵/۴	۰/۰۵	۱/۲۶
LSD (α=۰/۰۵)	۳۳/۹	۱۳/۵	۳۶/۲	۱۹/۶	۱۴/۹	۰/۳۱	۰/۵۹

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۱۳. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی ارزیابی شده در سال ۱۳۹۲

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۱۱۴	۹۴/۹	۱۹/۷	۱۰۴	۹۷/۹	۱/۴۰	۰/۸۶
۲	۱۳۶	۵۳/۷	۸۳/۲	۹۵/۳	۸۴/۷	۱/۱۳	۱/۹۷
۳	۷۱/۹	۶۳/۲	۸/۷۵	۶۷/۵	۶۴/۷	۰/۶۶	۰/۷۷
۴	۸۳/۵	۶۵/۳	۱۸/۲	۷۴/۴	۷۱/۸	۰/۷۵	۰/۱۷
۵	۱۰۸	۶۵/۴	۴۳/۲	۸۷/۰	۸۰/۴	۰/۹۴	۱/۰۷
۶	۶۷/۷	۴۳/۹	۲۳/۷	۵۵/۸	۵۳/۹	۰/۴۳	۱/۱۲
۷	۹۱/۴	۶۵/۶	۲۵/۸	۷۸/۵	۷۵/۳	۱/۰۲	۰/۴۶
۸	۱۲۲	۱۱۲	۹/۹۲	۱۱۷	۱۱۶/۷	۲/۰۳	۰/۲۸
۹	۷۸/۱	۵۶/۲	۲۱/۹	۶۷/۱	۶۵/۳	۰/۶۶	۰/۸۶
۱۰	۴۹/۸	۳۹/۱	۱۰/۷	۴۴/۵	۳۹/۴	۰/۲۳	۱/۳۷
۱۱	۱۲۷	۷۹/۹	۴۷/۹	۱۰۳	۱۰۰	۱/۵۱	۱/۱۱
۱۲	۷۸/۴	۵۴/۵	۲۳/۹	۶۶/۵	۶۵/۰	۰/۶۲	۰/۹۳
۱۳	۱۰۲	۹۹/۱	۳/۸۳	۱۰۱	۱۰۰	۱/۶۲	۰/۱۷
۱۴	۶۹/۵	۵۱/۴	۱۸/۱	۶۰/۵	۵۳/۹	۰/۴۶	۱/۴۹
۱۵	۵۴/۹	۴۹/۷	۵/۱۹	۵۲/۳	۵۰/۸	۰/۴۲	-۰/۲۲
۱۶	۱۰۶	۵۵/۵	۵۰/۷	۸۰/۹	۷۰/۵	۰/۷۸	۱/۱۰
۱۷	۷۶/۶	۴۹/۲	۲۷/۴	۶۲/۹	۶۰/۰	۰/۵۵	۱/۰۷
۱۸	۸۷/۲	۵۶/۰	۳۱/۲	۷۱/۶	۶۶/۶	۰/۶۹	-۰/۱۳
۱۹	۷۵/۰	۴۶/۷	۲۸/۳	۶۰/۹	۵۵/۱	۰/۵۴	۰/۷۳
۲۰	۸۷/۲	۵۴/۰	۳۳/۲	۷۰/۶	۶۸/۰	۰/۶۸	۱/۲۲
۲۱	۴۷/۲	۳۴/۶	۱۲/۶	۴۰/۹	۳۷/۰	۰/۲۲	۰/۸۱
۲۲	۸۰/۳	۳۸/۲	۴۲/۲	۵۹/۳	۵۲/۵	۰/۴۲	۱/۲۷
۲۳	۸۲/۵	۴۱/۳	۴۱/۳	۶۱/۹	۵۷/۹	۰/۴۹	۱/۶۳
۲۴	۷۴/۹	۵۱/۱	۲۳/۸	۶۳/۰	۶۱/۰	۰/۵۶	۰/۹۷
۲۵	۹۲/۱	۷۹/۰	۱۳/۱	۸۵/۵	۸۴/۵	۱/۰۵	۰/۳۱
۲۶	۴۷/۷	۳۵/۴	۱۲/۳	۴۱/۵	۳۹/۲	۰/۲۵	-۰/۹۱
۲۷	۸۸/۱	۷۳/۲	۱۴/۹	۸۰/۶	۷۷/۲	۰/۸۸	۰/۱۵
۲۸	۸۷/۳	۵۳/۱	۳۴/۲	۷۰/۲	۶۷/۴	۰/۷۳	۱/۰۷
۲۹	۵۴/۵	۳۳/۳	۲۱/۲	۴۳/۹	۴۱/۰	۰/۲۸	۱/۳۴
۳۰	۶۹/۲	۴۱/۷	۲۷/۵	۵۵/۴	۵۰/۶	۰/۳۸	۰/۳۷
۳۱	۶۴/۹	۴۶/۰	۱۸/۹	۵۵/۵	۵۳/۹	۰/۴۵	۰/۵۷
۳۲	۱۱۴	۷۲/۹	۴۱/۲	۹۳/۵	۸۹/۷	۱/۲۲	۱/۱۶
۳۳	۸۷/۱	۵۵/۷	۳۱/۳	۷۱/۴	۶۹/۱	۰/۷۱	۱/۰۹
۳۴	۴۶/۴	۴۳/۰	۳/۳۹	۴۴/۷	۴۳/۰	۰/۲۷	-۰/۶۴
۳۵	۸۵/۰	۴۵/۶	۳۹/۴	۶۵/۳	۶۰/۴	۰/۵۷	۰/۵۹
۳۶	۱۱۵	۸۵/۲	۳۰/۰	۱۰۰	۹۶/۰	۱/۴۰	۰/۷۱
LSD (α=۰/۰۵)	۳۶/۳	۲۶/۶	۴۲/۳	۲۳/۸	۲۴/۳	۰/۵۳	۱/۸۱

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۱۴. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی ارزیابی شده در سال ۱۳۹۳

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۱۵۱	۹۹/۱	۵۱/۹	۱۲۵	۱۲۰	۰/۹۷	۰/۷۰
۲	۱۵۱	۷۲/۳	۷۸/۵	۱۱۱	۱۰۳	۰/۷۰	۱/۱۶
۳	۱۱۰	۶۴/۶	۴۵/۹	۸۷/۵	۸۳/۴	۰/۴۷	۰/۹۱
۴	۱۳۷	۶۸/۳	۶۹/۱	۱۰۲	۹۵/۳	۰/۵۹	۱/۰۸
۵	۱۵۹	۸۲/۳	۷۶/۷	۱۲۰	۱۱۳	۰/۸۸	۱/۰۹
۶	۸۳/۹	۶۹/۶	۱۴/۳	۷۶/۷	۷۴/۸	۰/۳۸	−۰/۰۷
۷	۱۴۸	۹۲/۸	۵۵/۶	۱۲۰	۱۱۴	۰/۹۲	۰/۶۸
۸	۱۷۸	۱۳۳	۴۴/۱	۱۵۶	۱۵۲	۱/۶۷	۰/۴۳
۹	۱۳۷	۷۱/۶	۶۵/۴	۱۰۴	۹۷/۹	۰/۶۷	۱/۰۸
۱۰	۷۷/۸	۵۴/۱	۲۳/۷	۶۵/۹	۶۴/۲	۰/۲۸	۰/۶۸
۱۱	۱۴۷	۸۴/۹	۶۲/۱	۱۱۵	۱۰۶	۰/۸۴	۰/۵۴
۱۲	۱۳۹	۶۴/۲	۷۴/۴	۱۰۱	۹۳/۵	۰/۵۸	۱/۱۶
۱۳	۱۱۷	۱۰۹	۷/۷	۱۱۳	۱۱۲	۰/۹۱	۰/۰۳
۱۴	۱۲۱	۶۹/۴	۵۱/۹	۹۵/۴	۸۶/۲	۰/۴۹	۰/۶۱
۱۵	۸۸/۹	۴۶/۱	۴۲/۸	۶۷/۵	۶۲/۳	۰/۲۷	۰/۸۹
۱۶	۱۳۲	۵۴/۹	۷۷/۱	۹۳/۵	۸۲/۲	۰/۴۸	۱/۳۳
۱۷	۱۳۲	۷۱/۹	۶۰/۴	۱۰۲	۹۶/۵	۰/۶۱	۱/۰۰
۱۸	۱۰۸	۴۴/۴	۶۳/۷	۷۶/۳	۶۶/۱	۰/۳۰	۱/۱۸
۱۹	۱۰۸	۶۸/۳	۳۹/۶	۸۸/۲	۸۴/۳	۰/۵۰	۰/۶۲
۲۰	۱۳۸	۷۴/۶	۶۳/۶	۱۰۶	۱۰۰	۰/۷۱	۱/۰۴
۲۱	۶۱/۸	۴۰/۶	۲۱/۳	۵۱/۲	۴۸/۳	۰/۱۶	۰/۵۰
۲۲	۱۵۰	۵۴/۰	۹۵/۷	۱۰۱	۸۷/۵	۰/۵۰	۱/۳۵
۲۳	۱۱۰	۵۶/۷	۵۳/۱	۸۳/۳	۷۸/۴	۰/۴۱	۱/۰۹
۲۴	۱۲۳	۷۲/۸	۴۹/۷	۹۷/۶	۹۲/۵	۰/۶۰	۰/۸۵
۲۵	۱۴۳	۱۰۴	۳۹/۱	۱۲۴	۱۲۲	۰/۹۹	۰/۵۹
۲۶	۷۴/۹	۳۷/۹	۳۷/۱	۵۶/۴	۵۲/۹	۰/۲۱	۱/۰۳
۲۷	۱۱۰	۷۲/۰	۳۸/۰	۹۱/۰	۸۶/۳	۰/۵۴	۰/۶۶
۲۸	۱۲۵	۵۸/۴	۶۶/۷	۹۱/۸	۸۴/۴	۰/۵۰	۱/۱۲
۲۹	۱۴۴	۶۲/۱	۸۱/۸	۱۰۳	۹۱/۴	۰/۵۹	۱/۳۰
۳۰	۱۴۸	۶۳/۰	۸۵/۶	۱۰۵	۹۳/۰	۰/۶۱	۱/۲۵
۳۱	۱۰۵	۴۷/۶	۵۷/۲	۷۶/۲	۶۸/۱	۰/۳۱	۱/۱۹
۳۲	۱۸۴	۸۸/۵	۹۶/۰	۱۳۶	۱۲۲	۱/۰۷	۱/۰۵
۳۳	۱۰۹	۶۲/۲	۴۷/۰	۸۵/۷	۸۱/۶	۰/۴۷	۰/۸۹
۳۴	۸۲/۸	۶۰/۶	۲۲/۲	۷۱/۷	۶۷/۴	۰/۳۱	−۰/۲۲
۳۵	۱۱۴	۴۷/۹	۶۶/۴	۸۱/۰	۷۲/۵	۰/۳۷	۱/۳۶
۳۶	۱۱۶	۸۲/۵	۳۴/۱	۹۹/۵	۹۴/۰	۰/۵۸	۰/۰۴
LSD (α=۰/۰۵)	۴۳/۱	۲۸/۰	۴۶/۲	۲۸/۱	۲۸/۲	۰/۴۳	۱/۰۱

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

جدول ۱۵. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی ارزیابی شده در سال ۱۳۹۴

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
۱	۹۰/۹	۶۴/۴	۲۶/۴	۷۷/۷	۷۵/۱	۱/۰۴	۰/۶۰
۲	۷۶/۱	۴۴/۸	۳۱/۳	۶۰/۵	۵۷/۵	۰/۶۱	۰/۹۴
۳	۵۱/۱	۲۷/۲	۲۳/۹	۳۹/۲	۳۶/۰	۰/۲۵	۰/۹۵
۴	۸۲/۹	۴۰/۶	۴۲/۳	۶۱/۷	۵۷/۱	۰/۵۹	۱/۲۱
۵	۸۷/۸	۵۳/۲	۳۴/۶	۷۰/۵	۶۸/۲	۰/۹۴	۰/۹۸
۶	۶۳/۵	۴۳/۳	۲۰/۲	۵۳/۴	۵۱/۷	۰/۵۱	۰/۶۶
۷	۸۶/۲	۵۶/۷	۲۹/۵	۷۱/۵	۶۵/۹	۰/۹۱	۰/۲۲
۸	۱۱۵	۷۵/۸	۳۹/۳	۹۵/۵	۹۲/۷	۱/۶۳	۰/۷۵
۹	۹۹/۲	۴۹/۳	۴۹/۹	۷۴/۳	۶۸/۸	۰/۹۷	۱/۲۶
۱۰	۴۰/۵	۲۸/۸	۱۱/۷	۳۴/۶	۳۲/۷	۰/۲۱	۰/۶۱
۱۱	۹۱/۷	۵۲/۸	۳۸/۹	۷۲/۲	۶۸/۲	۱/۰۳	۱/۱۴
۱۲	۶۹/۰	۵۳/۴	۱۵/۶	۶۱/۲	۵۹/۶	۰/۶۶	۰/۴۴
۱۳	۷۳/۶	۴۹/۱	۲۴/۵	۶۱/۴	۵۸/۱	۰/۶۸	۰/۲۲
۱۴	۷۶/۲	۴۳/۳	۳۲/۹	۵۹/۸	۵۵/۱	۰/۵۹	۰/۸۸
۱۵	۵۹/۴	۳۷/۴	۲۲/۱	۴۸/۴	۴۵/۸	۰/۳۹	۰/۵۶
۱۶	۷۹/۶	۴۰/۷	۳۸/۹	۶۰/۱	۵۶/۰	۰/۵۸	۱/۱۶
۱۷	۶۵/۵	۳۷/۶	۲۷/۹	۵۱/۵	۴۹/۰	۰/۴۶	۱/۰۷
۱۸	۶۵/۲	۳۰/۸	۳۴/۴	۴۸/۰	۴۴/۰	۰/۳۸	۱/۲۲
۱۹	۹۲/۷	۵۱/۸	۴۰/۹	۷۲/۳	۶۸/۵	۰/۹۰	۱/۰۰
۲۰	۷۷/۱	۵۱/۲	۲۵/۹	۶۴/۱	۶۱/۵	۰/۷۹	۰/۱۴
۲۱	۴۱/۵	۲۶/۶	۱۴/۹	۳۴/۱	۳۲/۴	۰/۲۰	۰/۷۷
۲۲	۷۴/۶	۳۵/۴	۳۸/۸	۵۴/۸	۵۰/۱	۰/۴۸	۱/۲۵
۲۳	۶۳/۱	۳۸/۰	۲۵/۱	۵۰/۶	۴۸/۳	۰/۴۶	۰/۹۶
۲۴	۷۱/۵	۴۸/۷	۲۲/۸	۶۰/۱	۵۸/۳	۰/۶۵	۰/۶۲
۲۵	۹۳/۰	۶۰/۱	۳۲/۹	۷۶/۶	۷۴/۱	۱/۰۱	۰/۸۵
۲۶	۶۰/۹	۲۳/۰	۳۷/۹	۴۲/۰	۳۷/۰	۰/۳۰	۱/۴۷
۲۷	۷۳/۴	۵۳/۹	۱۹/۶	۶۳/۷	۶۱/۰	۰/۷۴	۰/۲۴
۲۸	۶۸/۵	۳۶/۹	۳۱/۶	۵۲/۷	۴۹/۰	۰/۵۳	۰/۵۱
۲۹	۱۰۰	۴۴/۲	۵۶/۷	۷۲/۵	۶۴/۶	۰/۷۹	۱/۲۸
۳۰	۹۲/۵	۴۸/۶	۴۳/۹	۷۰/۵	۶۶/۵	۰/۸۳	۱/۲۰
۳۱	۵۹/۲	۳۲/۵	۱۹/۱	۴۲/۰	۴۰/۲	۰/۳۰	۰/۸۵
۳۲	۱۲۲	۶۹/۳	۵۳/۰	۹۵/۸	۹۰/۱	۱/۶۴	۰/۹۹
۳۳	۴۷/۷	۳۴/۳	۱۳/۴	۴۱/۰	۳۹/۹	۰/۳۰	۰/۵۰
۳۴	۴۵/۰	۴۳/۳	۱/۷۲	۴۴/۱	۴۳/۱	۰/۳۶	−۰/۲۵
۳۵	۵۱/۸	۳۳/۱	۱۸/۷	۴۲/۴	۴۰/۶	۰/۳۳	۰/۹۳
۳۶	۶۹/۳	۳۷/۰	۳۲/۳	۵۳/۲	۴۹/۵	۰/۴۶	۱/۰۰
LSD (α=۰/۰۵)	۲۹/۰	۱۸/۸	۲۹/۲	۱۹/۶	۱۹/۴	۰/۴۹	۱/۰۲

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

مقدار بالای شاخص تحمل (TOL) نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کم TOL مطلوب است. در علف باغ، کمترین مقادیر این شاخص در سال اول به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۷، ۲۷، ۱۳، ۱۴ و ۶، در سال دوم به ژنوتیپ‌های ۲۰، ۳۱، ۱۳، ۱۴ و ۲۷ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱، ۱۳، ۲۷ و ۳ تعلق داشت (جدول‌های ۱۰ تا ۱۲). بنابراین بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۴ و ۲۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. در علف پشمکی، کمترین مقادیر شاخص TOL در سال اول به ژنوتیپ‌های ۳۴، ۱۳، ۱۵، ۳ و ۸، در سال دوم به ژنوتیپ‌های ۱۳، ۶، ۲۱، ۳۴ و ۱۰ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۳۴، ۱۰، ۳۳، ۲۱ و ۱۲ تعلق داشت (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵). بنابراین بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۳۴، ۱۳ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند.

تحمل از دیدگاه اکولوژی و اصلاح نباتات متفاوت است؛ به‌طوری که از نظر اصلاح نباتات اگر چه توانایی حفظ بقاء و واکنش‌پذیری کم در هنگام وقوع تنش اهمیت دارد، عملکرد مطلوب معیار اصلی انتخاب است. شاخص SSI دارای محدودیت‌هایی در بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به شرایط تنش است، زیرا این شاخص براساس کاهش کمتر عملکرد در محیط‌های تنش در مقایسه با محیط‌های بدون تنش بوده و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط را در نظر نمی‌گیرد (۱۰). شاخص TOL نیز به نوعی بیانگر تغییر حاصل از اعمال تنش می‌باشد؛ به عبارت دیگر ارقامی که دارای شاخص TOL کمتری هستند، در محیط تنش تغییر کمتری از خود نشان می‌دهند و لذا متحمل‌تر هستند. با این حال تنها پایین بودن مقادیر شاخص‌های SSI و TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ممکن است ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که دارای حساسیت پایین به خشکی بوده ولی از عملکرد پایین در هر دو شرایط نیز برخوردار هستند (۸). از طرف دیگر ممکن است ژنوتیپ‌هایی دارای حساسیت بالا به خشکی بوده، ولی به علت عملکرد بالا در شرایط عدم تنش، با وجود کاهش عملکرد زیاد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، همچنان در شرایط تنش، دارای بیشترین عملکرد باشند. لذا این شاخص نیز پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط را در نظر نمی‌گیرد. سورنینیا و همکاران (۳۱) گزارش کردند که بر اساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد پایین انتخاب می‌شوند و بهتر است از این شاخص در حذف ارقام حساس استفاده شود. ابراهیمیان و همکاران (۸) نیز گزارش کردند که شاخص‌های SSI و TOL قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا در فسکیوی بلند نیستند، اما بر اساس شاخص‌های GMP و STI می‌توان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش را شناسایی کرد. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که شاخص‌های SSI و TOL ارقام را فقط بر مبنای تحمل و حساسیت به تنش محیطی و بدون توجه به عملکرد آنها طبقه‌بندی می‌کنند.

بالاترین مقادیر شاخص تحمل به تنش (STI) گونه علف باغ در سال اول به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۷، ۸، ۱۴، ۲۵ و ۱۰، در سال دوم در ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۳، ۲۵ و ۲۱ و در سال سوم در ژنوتیپ‌های ۱۰، ۷، ۱۹، ۴ و ۲۵ مشاهده شد (جدول‌های ۱۰ تا ۱۲). بنابراین بر مبنای این شاخص ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. در گونه علف پشمکی، بالاترین مقادیر این شاخص در سال اول به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۸، ۱۳، ۱۱، ۱ و ۳۶، در سال دوم در ژنوتیپ‌های ۸، ۳۲، ۲۵، ۱ و ۷ و در سال سوم در ژنوتیپ‌های ۳۲، ۸، ۱، ۱۱ و ۲۵ مشاهده شد (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵). بنابراین بر مبنای این شاخص ژنوتیپ‌های ۱، ۸ و ۳۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. در شاخص تحمل به تنش (STI) عملکرد هر ژنوتیپ با متوسط عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تصحیح می‌شود و مقادیر بالای STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیشتر تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر است. بنابراین، بر مبنای این شاخص ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل بیشتر تنش انتخاب می‌شوند. بر اساس نظر اکثر پژوهشگران (۸، ۱۳ و ۲۳) شاخص STI بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های دارای

عملکرد بالا در شرایط عدم تنش و تنش است و ارقام منتخب براساس این شاخص متحمل هستند.

شاخص‌های MP و GMP به‌ترتیب بر اساس میانگین حسابی و هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شوند و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی براساس مقادیر بالای این دو شاخص صورت می‌گیرد. بالاترین مقادیر شاخص MP در گونه علف باغ در سال اول به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۸، ۷، ۳۳، ۱۴ و ۲۵، در سال دوم به ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۳۰، ۲۵ و ۲۱ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۳۵، ۲۴، ۷، ۱۹ و ۳۰ تعلق داشت (جدول‌های ۱۰ تا ۱۲). در علف پشمکی، بالاترین مقادیر این شاخص در سال اول به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های ۸، ۱، ۱۱، ۱۳ و ۳۶، در سال دوم به ژنوتیپ‌های ۸، ۳۲، ۱، ۲۵ و ۷ و در سال سوم به ژنوتیپ‌های ۳۲، ۸، ۱، ۲۵ و ۹ تعلق داشت (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵). استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط (MP) اغلب منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط عادی ولی تحمل کم نسبت به تنش می‌شود (۱۳). شاخص MP زمانی مناسب است که شدت تنش زیاد نباشد و اختلاف بین عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش کم باشد.

شاخص GMP توسط فرناندز (۱۰) پیشنهاد شد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای انتخاب ارقام متحمل باشد. در علف باغ بالاترین مقادیر شاخص GMP در سال اول به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۸، ۷، ۱۴، ۲۵ و ۳۳، در سال دوم در ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۲۵، ۱۰ و ۲۱، و در سال سوم در ژنوتیپ‌های ۷، ۱۹، ۲۵، ۴ و ۱۰ مشاهده شد (جدول‌های ۱۰ تا ۱۲). در علف پشمکی بالاترین مقادیر این شاخص در سال اول به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۸، ۱۳، ۱۱، ۱ و ۳۶، در سال دوم در ژنوتیپ‌های ۸، ۳۲، ۲۵، ۱ و ۷ و در سال سوم در ژنوتیپ‌های ۸، ۳۲، ۱، ۲۵ و ۹ مشاهده شد (جدول‌های ۱۳ تا ۱۵). در مجموع، بر اساس نتایج، در گونه علف باغ ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰، ۱۳ و ۱۴ و در گونه علف پشمکی ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۳ و ۳۲ به‌دلیل داشتن مقادیر نسبتاً بالای MP، GMP و STI و مقادیر نسبتاً پایین SSI و TOL به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند.

مقادیر همبستگی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با صفات مختلف در دو گونه مورد بررسی در جدول‌های ۱۶ و ۱۷ ارائه شده است. در گونه علف باغ عملکرد علوفه خشک در شرایط عدم تنش (Yp) با تمام شاخص‌ها همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت؛ درحالی‌که در شرایط تنش (Ys) با شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۱۶). در گونه علف پشمکی نیز عملکرد علوفه خشک در شرایط عدم تنش (Yp) با تمام شاخص‌ها و در شرایط تنش (Ys) با شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۱۷). به‌منظور انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی، محققین از همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد در محیط تنش و عدم تنش استفاده کرده‌اند (۸ و ۳۱). بر طبق نتایج فرناندز (۱۰) شاخص‌هایی که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشته باشند، به‌عنوان شاخص برتر معرفی می‌شوند. بنابراین در گونه‌های علف باغ و علف پشمکی، شاخص‌های MP، GMP و STI به دلیل دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط عدم تنش و تنش به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای تخمین پایداری و عملکرد و درنهایت دستیابی به ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به تنش در هر دو محیط شناخته شدند (جدول‌های ۱۶ و ۱۷). گزارش‌های زیادی حاکی از انتخاب شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش وجود دارد (۸، ۱۳، ۱۵ و ۲۳).

بعلاوه، در گونه علف باغ شاخص‌های MP، GMP و STI با صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه، عملکرد علوفه خشک چین‌های اول تا سوم، قطر یقه چین‌های اول تا سوم و ارتفاع رشد مجدد چین‌های اول و دوم، و در گونه علف پشمکی با صفات تعداد ساقه، عملکرد علوفه خشک در چین‌های اول تا سوم و قطر یقه چین‌های اول تا سوم، همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند (جدول‌های ۱۶ و ۱۷).

جدول ۱۶. ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد علوفه در ۳۶ ژنوتیپ علف باغ طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۲.

صفات و شاخص‌ها	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
روز تا خوشه‌دهی	-۰/۲۸	-۰/۲۶	-۰/۲۳	-۰/۰۹	-۰/۳۰	-۰/۱۱	-۰/۲۵
روز تا گرده‌افشانی	-۰/۳۲	-۰/۳۰	-۰/۲۳	-۰/۱۳	-۰/۳۲	-۰/۱۲	-۰/۳۰
ارتفاع بوته	۰/۵۲**	۰/۴۵**	۰/۱۰	۰/۴۱*	۰/۳۴*	-۰/۰۴	۰/۵۰**
تعداد ساقه در بوته	۰/۵۱**	۰/۴۳**	-۰/۰۷	۰/۵۶**	۰/۲۴	-۰/۳۰	۰/۴۹**
عملکرد علوفه خشک چین اول	۰/۸۱**	۰/۶۹**	-۰/۱۱	۰/۸۵**	۰/۳۷*	-۰/۳۲	۰/۷۸**
درصد ماده خشک چین اول	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۲۳	-۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۰۴
قطر یقه چین اول	۰/۵۷**	۰/۴۴**	-۰/۰۵	۰/۵۷**	۰/۳۰	-۰/۲۰	۰/۵۵**
ارتفاع رشد مجدد چین اول	۰/۲۸	۰/۲۲	-۰/۰۸	۰/۳۴*	۰/۱۲	-۰/۲۸	۰/۲۸
عملکرد علوفه خشک چین دوم	۰/۶۰**	۰/۴۸**	-۰/۰۳	۰/۵۸**	۰/۲۷	-۰/۲۸	۰/۶۲**
درصد ماده خشک چین دوم	۰/۱۳	۰/۱۲	-۰/۱۶	۰/۲۸	-۰/۰۳	-۰/۱۲	۰/۱۱
قطر یقه چین دوم	۰/۵۷**	۰/۴۶**	-۰/۰۲	۰/۵۶**	۰/۳۰	-۰/۲۱	۰/۵۴**
ارتفاع رشد مجدد چین دوم	۰/۴۲*	۰/۳۳*	-۰/۱۴	۰/۵۰**	۰/۱۴	-۰/۳۹*	۰/۴۴**
عملکرد علوفه خشک چین سوم	۰/۴۳**	۰/۲۷	-۰/۳۰	۰/۵۸**	۰/۰۱	-۰/۵۰**	۰/۴۸**
درصد ماده خشک چین سوم	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۱۶	-۰/۰۸	۰/۲۲
قطر یقه چین سوم	۰/۵۸**	۰/۴۴**	-۰/۲۰	۰/۷۱**	۰/۱۹	-۰/۴۴**	۰/۵۶**
Yp	۱	۰/۲۷	۰/۸۷**	۰/۹۲**	۰/۷۵**	۰/۷۵**	۰/۴۶**
Ys		۱	-۰/۱۹	۰/۶۱**	۰/۸۱**	۰/۷۷**	-۰/۲۳
TOL			۱	۰/۶۵**	۰/۳۸*	۰/۴۰*	۰/۵۹**
MP				۱	۰/۹۴**	۰/۹۳**	۰/۳۰
GMP					۱	۰/۹۸**	۰/۱۹
STI						۱	۰/۲۱
SSI							۱

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility index.

به‌منظور مطالعه همزمان روابط بین صفات فنولوژیک، مورفولوژیک، زراعی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هر دو گونه مورد بررسی استفاده شد. در گونه علف باغ، در شرایط عدم تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، بیش از ۷۰ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل ۱a). مؤلفه اول ۵۰/۵ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی همبستگی منفی، و با صفات عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت داشت و بنابراین، این مؤلفه "پتانسیل تولید علوفه" نامیده شد. مؤلفه دوم ۱۹/۷ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالا با درصد ماده خشک علوفه و همبستگی منفی با صفات فنولوژیک روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی داشت، بنابراین این مؤلفه "عامل فنولوژیک" نامیده شد.

جدول ۱۷. ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد علوفه در ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۲.

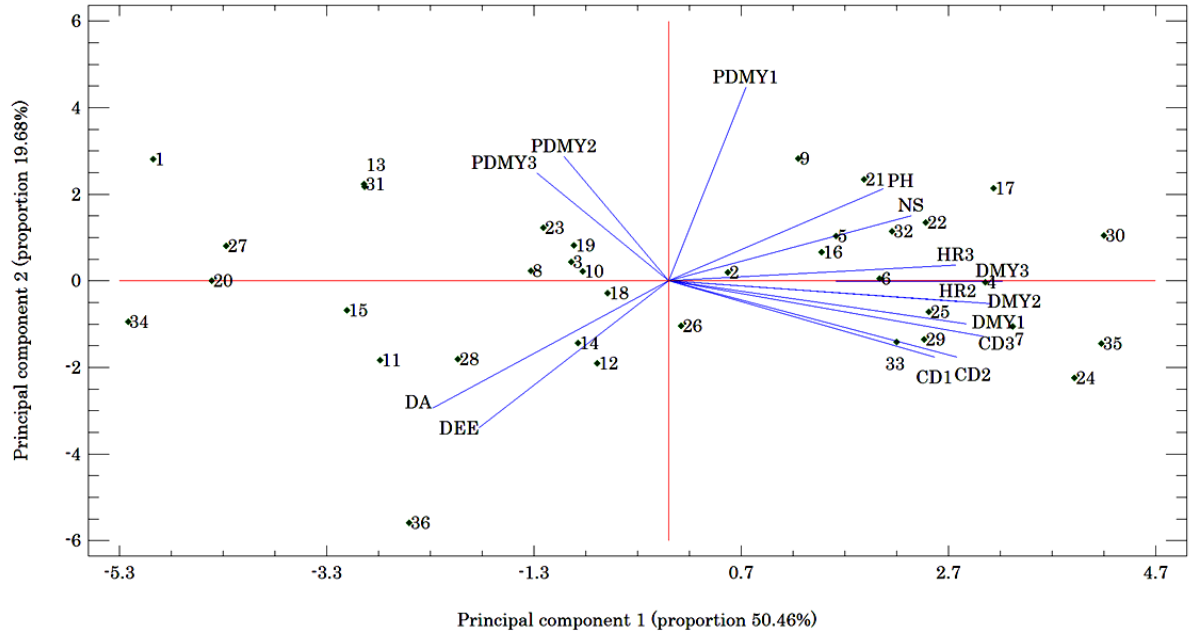
صفات و شاخص‌ها	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
روز تا خوشه‌دهی	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۲	−۰/۰۲	۰/۱۷
روز تا گرده‌افشانی	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۲۶	−۰/۰۹	۰/۲۴
ارتفاع بوته	۰/۲۴	۰/۲۱	−۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۵	−۰/۱۳	۰/۲۱
تعداد ساقه در بوته	۰/۷۱**	۰/۶۸**	۰/۱۱	۰/۷۳**	۰/۵۷**	−۰/۰۹	۰/۷۴**
عملکرد علوفه خشک چین اول	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۰۹	۰/۹۸**	۰/۷۳**	−۰/۳۳*	۰/۹۱**
درصد ماده خشک چین اول	−۰/۴۰*	−۰/۴۱*	−۰/۲۸	−۰/۳۴*	−۰/۴۲*	−۰/۱۲	−۰/۳۶*
قطر یقه چین اول	۰/۷۴**	۰/۷۱**	۰/۰۶	۰/۷۹**	۰/۵۸**	−۰/۳۲	۰/۷۴**
ارتفاع رشد مجدد چین اول	۰/۱۰	۰/۰۶	−۰/۲۱	۰/۱۷	−۰/۰۲	−۰/۲۱	۰/۰۹
عملکرد علوفه خشک چین دوم	۰/۷۵**	۰/۷۲**	۰/۱۶	۰/۷۵**	۰/۶۲**	−۰/۲۴	۰/۷۰**
درصد ماده خشک چین دوم	−۰/۱۱	−۰/۰۹	۰/۰۶	−۰/۱۴	−۰/۰۵	−۰/۱۳	−۰/۱۶
قطر یقه چین دوم	۰/۸۲**	۰/۷۹**	۰/۱۳	۰/۸۵**	۰/۶۷**	−۰/۲۶	۰/۸۳**
ارتفاع رشد مجدد چین دوم	۰/۰۶	۰/۰۲	−۰/۲۲	۰/۱۳	−۰/۰۵	−۰/۲۳	۰/۰۵
عملکرد علوفه خشک چین سوم	۰/۸۴**	۰/۸۱**	۰/۱۴	۰/۸۸**	۰/۶۹**	−۰/۲۹	۰/۸۶**
درصد ماده خشک چین سوم	−۰/۰۴	−۰/۰۵	−۰/۰۷	−۰/۰۲	−۰/۰۶	−۰/۰۹	−۰/۰۷
قطر یقه چین سوم	۰/۸۵**	۰/۸۲**	۰/۱۵	۰/۸۸**	۰/۷۰**	−۰/۲۸	۰/۸۳**
Yp	۱	۰/۷۵**	۰/۶۷**	۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۵۳**
Ys		۱	۰/۰۱	۰/۹۱**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۰۲
TOL			۱	۰/۴۱*	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۷۷**
MP				۱	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۰/۳۳*
GMP					۱	۰/۹۸**	۰/۲۸
STI						۱	۰/۲۰
SSI							۱

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

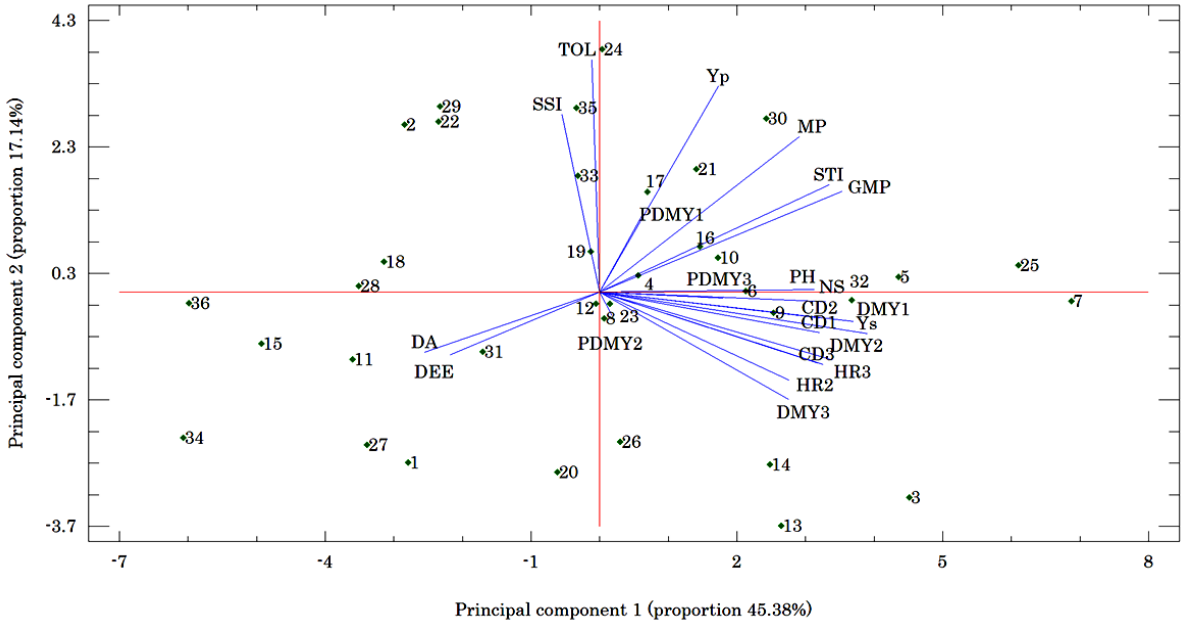
YP: yield of genotypes under normal environment; YS: yield of genotypes under drought stress environment; TOL: tolerance index; MP: mean productivity index; GMP: geometric mean productivity index; STI: stress tolerance index; SSI: stress susceptibility

انتخاب بر مبنای مقادیر بالای دو مؤلفه منجر به گزینش ژنوتیپ‌های زودرسی خواهد شد که از توان تولید علوفه بالایی برخوردار هستند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۳، ۱۷، ۲۴، ۳۱ و ۳۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های زودرس و دارای توان بالای تولید علوفه انتخاب می‌شوند. ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۳ و ۲۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های نسبتاً دیررس و دارای تولید کم علوفه معرفی می‌شوند.

در شرایط تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، بیش از ۶۲ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل 1b). مؤلفه اول ۴۵/۴ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی همبستگی منفی، و با صفات عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت داشت. با توجه به بالاتر بودن ضرایب مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل تنش، این مؤلفه "پتانسیل تولید و تحمل تنش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۱۷/۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و از آنجایی که با شاخص‌های حساسیت به تنش شامل TOL و SSI همبستگی مثبت داشت، بنابراین این

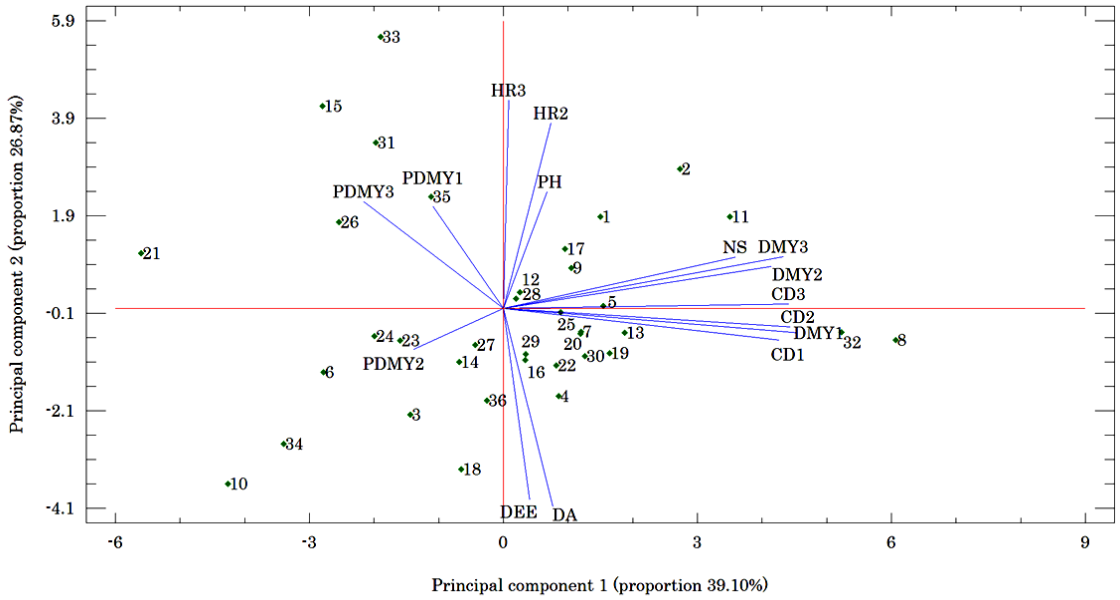


(a)

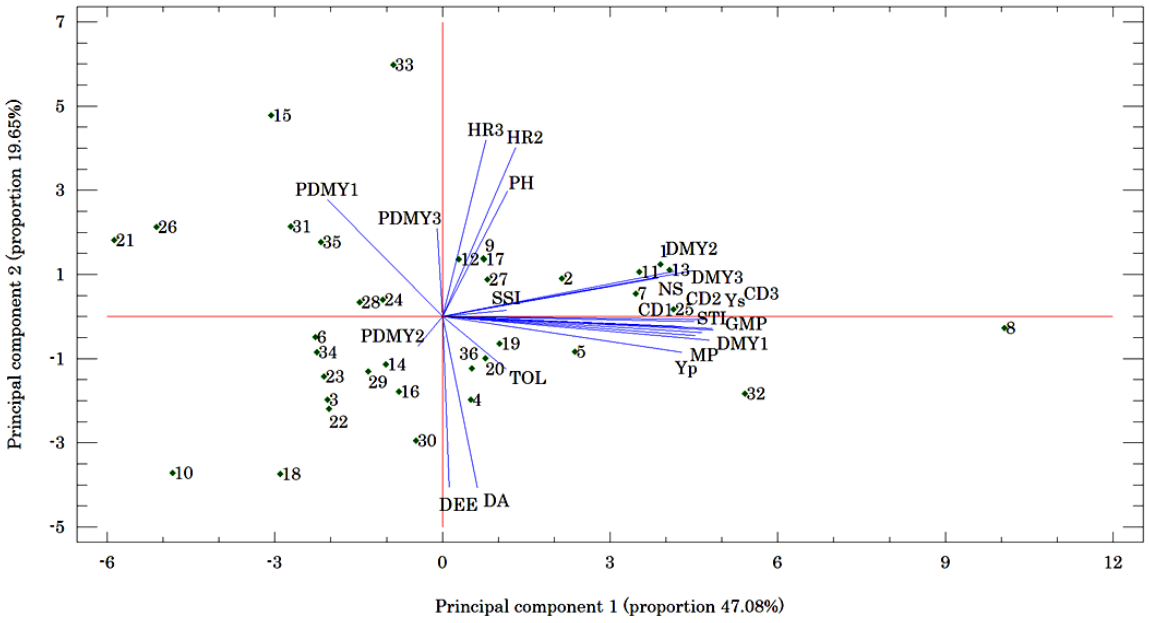


(b)

شکل ۱. نمودار حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات فنولوژیک، زراعی، مورفولوژیک و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در a) ۳۶ ژنوتیپ علف باغ در شرایط عدم تنش؛ b) ۳۶ ژنوتیپ علف باغ در شرایط تنش خشکی؛ c) ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی در شرایط عدم تنش؛ و d) ۳۶ ژنوتیپ علف پشمکی در شرایط تنش خشکی در سال‌های ۹۴-۱۳۹۲. DE: روز تا خوشه‌دهی؛ DA: روز تا گرده‌افشانی؛ PH: ارتفاع بوته؛ NS: تعداد ساقه در بوته؛ DMY1, 2, 3: عملکرد علوفه خشک چین‌های اول، دوم، و سوم؛ PDMY1, 2, 3: درصد ماده خشک چین‌های اول، دوم و سوم؛ CD1,2, 3: قطر یقه چین‌های اول، دوم و سوم؛ HR2, 3: ارتفاع رشد مجدد چین‌های اول و دوم؛ Yp: عملکرد علوفه خشک در محیط عدم تنش؛ Ys: عملکرد علوفه خشک در محیط تنش؛ TOL: شاخص تحمل به تنش؛ MP: شاخص میانگین حسابی؛ GMP: شاخص میانگین هندسی تولید؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش.



(c)



(d)

ادامه شکل ۱.

مؤلفه "عامل حساسیت به تنش" نامیده شد. انتخاب بر مبنای مقادیر بالای مؤلفه اول و مقادیر پایین مؤلفه دوم منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس، دارای پتانسیل بالای عملکرد و متحمل به تنش خواهد شد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۵، ۷، ۹، ۲۵ و ۳۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های زودرس، متحمل به خشکی و دارای پتانسیل بالای تولید علوفه انتخاب می‌شوند. ژنوتیپ‌های ۲۰، ۲۴، ۲۶ و ۳۵ دیررس، حساس به تنش و دارای عملکرد پایین هستند.

در گونه علف پشمکی و در شرایط عدم تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۶۶ درصد از کل تغییرات

را توجیه نمودند (شکل 1c). مؤلفه اول ۳۹/۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت داشت، لذا این مؤلفه "پتانسیل تولید علوفه" نامیده شد. مؤلفه دوم ۲۶/۹ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالا با صفات ارتفاع بوته و همبستگی منفی با صفات فنولوژیک داشت. بنابراین، این مؤلفه با نام "عامل فنولوژیک" نام‌گذاری شد.

انتخاب بر اساس مقادیر بالای دو مؤلفه، منجر به گزینش ژنوتیپ‌های زودرسی خواهد شد که پتانسیل عملکرد در آنها بالاست. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۱، ۱۵ و ۳۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب زودرس و دارای پتانسیل بالای عملکرد انتخاب می‌شوند و ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ ژنوتیپ‌های دیررس دارای پتانسیل عملکرد نسبتاً پایین هستند.

در شرایط تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بالاتر از یک، ۶۶/۷ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل 1d). مؤلفه اول ۴۷/۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش MP، GMP و STI همبستگی مثبت داشت. بنابراین، این مؤلفه "پتانسیل تولید و تحمل تنش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۱۹/۶ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالا با صفات ارتفاع بوته و درصد ماده خشک علوفه و همبستگی منفی با صفات فنولوژیک داشت. بنابراین، این مؤلفه با نام "عامل فنولوژیک" نام‌گذاری شد. انتخاب ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بالایی از مؤلفه اول و دوم را دارند، حداکثر کارایی را خواهد داشت. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۳۱ و ۳۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های زودرس، متحمل به تنش خشکی و دارای پتانسیل بالای عملکرد انتخاب می‌شوند. ژنوتیپ‌های ۹، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۴، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های دیررس، دارای عملکرد پایین و حساس به تنش معرفی می‌شوند.

در نمایش گرافیکی بای‌پلات‌های دو گونه علف باغ و علف پشمکی با توجه به زاویه بردارهای مربوط به شاخص‌ها با سایر صفات، شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت نشان دادند (شکل ۱). بنابراین نتایج حاصل از بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی شاخص‌ها و عملکرد، تأیید کننده نتایج حاصل از همبستگی شاخص‌ها و صفات می‌باشد، و شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انتخاب می‌شوند. در هر دو گونه مورد بررسی صفات روز تا خوشه‌دهی و روز تا گرده‌افشانی در هر دو شرایط تنش و عدم تنش با عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل تنش همبستگی منفی دارند، که بیانگر آن است که هر چه ژنوتیپ زودرس‌تر باشد تولید علوفه و تحمل تنش بیشتری خواهد داشت. توزیع ژنوتیپ‌ها در بای پلات‌ها بیانگر تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ تحمل به تنش خشکی است.

نتیجه‌گیری کلی

در هر دو گونه علف باغ و علف پشمکی تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفات و شاخص‌های مورد بررسی وجود داشت که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی، به‌ویژه ایجاد ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود. تنش رطوبتی بر روی اکثر صفات مورد مطالعه تأثیر بسیار معنی‌داری داشت و میانگین صفات را کاهش داد. وراثت‌پذیری پایین عملکرد علوفه نشان‌دهنده این است که انتخاب غیرمستقیم بر اساس اجزای عملکرد که وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی دارند و از همبستگی بالایی با عملکرد علوفه برخوردار هستند، مؤثر است. شاخص‌های MP، GMP و STI در هر دو گونه مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد علوفه داشتند. بنابراین این سه شاخص به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی در علف باغ و علف پشمکی شناخته شدند. در هر دو گونه و در هر دو محیط عدم تنش و تنش خشکی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد علوفه و تحمل تنش بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان والدین برتر برای ایجاد جمعیت‌های ژنتیکی، به‌منظور بهبود عملکرد علوفه و تحمل تنش و ایجاد واریته‌های مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند. هر دو گونه مورد مطالعه از سازگاری و پایداری مناسبی در شرایط آب و هوایی ایران برخوردار هستند و می‌توان به‌منظور حفظ و احیای مراتع از آنها سود جست. از نظر تحمل خشکی و تولید علوفه نیز هر دو گونه وضعیت نسبتاً مطلوبی نشان دادند، اما به‌نظر می‌رسد که گونه علف پشمکی از تحمل خشکی بالاتری برخوردار است که این امر می‌تواند به‌دلیل سیستم ریشه‌ای و ریزوم‌های بسیار قوی در این گونه باشد.

منابع مورد استفاده

1. Abtahi, M., M. M. Majidi, B. Hoseini, A. Mirlohi, B. Araghi and N. Hughes. 2018. Genetic variation in an orchardgrass population promises successful direct or indirect selection of superior drought tolerant genotypes. *Plant Breeding* 137(6): 928-935.
2. Abtahi, M., M. M. Majidi, F. Saeidnia, S. Bahrami and A. Mirlohi. 2019. Genetic and physiological aspects of drought tolerance in smooth bromegrass. *Crop Science* 59(6): 2601-2607.
3. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56: 41-51.
4. Blum, A. 2011. Plant Breeding For Water-Limited Environments. Springer, New York.
5. Clarke Topp, C., G. W. Parkin and T. P. A. Ferre. 2008. Soil water content. pp. 939-961, In: M. R. Carter, E. G. Gregorich (eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science, Pinawa.
6. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2012. Genotypic variation and selection of traits related to forage yield in tall fescue under irrigated and drought stress environments. *Grass and Forage Science* 68: 59-71.
7. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and A. Noroozi. 2013. Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica* 190: 401-414.
8. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Gheysari. 2012. Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop & Pasture Science* 63: 360-369.
9. Falconer, D. S. and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Longman, Harlow, UK.
10. Fernandez, G. C. I. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Tainan,Taiwan. pp. 257-270.
11. Fischer, R. A. and R. Mourer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar I: grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
12. Gazanchian, A., M. Hajheidari, N. A. Khosh Kholgh Sima and G. H. Salkadeh. 2007. Proteom response of *Elymus elongatum* to sever water stress and recovery. *Journal of Experimental Botany* 58: 291-300.
13. Irani, S., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2015. Half-sib matting and genetic analysis of agronomic, morphological and physiological traits in Sainfoin under non-stressed versus water-deficit conditions. *Crop Science* 55: 123-135.
14. Karcher, D., M. Richardson and J. Landreth. 2007. Drought tolerance of tall fescue and bluegrass cultivars. *Ark. Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series* 557: 17-20.
15. Khayatnezhad, M. and R. Gholamin. 2010. Investigation and selection drought indexes stress for corn genotypes. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 9(1): 22-26.
16. Majidi, M. M., S. Bahrami, M. Abtahi, A. Mirlohi and B. Araghi. 2016. Genetic analysis of seed-related traits in smooth bromegrass under well-watered and water-stressed conditions. *Grass and Forage Science* 72(1): 163-173.
17. Majidi, M. M., B. Hosseini, M. Abtahi, A. Mirlohi and B. Araghi. 2015. Genetic analysis of seed related traits in orchardgrass (*Dactylis glomerata*) under normal and drought stress conditions. *Euphytica* 203: 409-420.
18. Mirlohi, A., M. M. Majidi and M. Esmaeilzadeh Moghaddam. 2013. Principles of Plant Breeding. Arkan Danesh, Isfahan.
19. Mohammadi, R., M. Khayam Nekouei, A. Mirlohi and Kh. Razmjoo. 2006. Study of genetic variation in *Bromus inermis* Leyss. populations. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 14(3): 138-147. (In Farsi).
20. Mohammadi, R., M. Khayam Nekouei, A. Mirlohi and Kh. Razmjoo. 2008. Investigation of genetic variation in *Dactylis glomerata* L. populations. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 16(1): 14-26. (In Farsi).
21. Nguyen, H. T. and D. A. Sleper. 1983. Theory and application of half-sib matting in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genet*ics 64: 187-196.

22. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi. Gh. Saeidi. M. Gheysari. V. Nourbakhsh and Z. Radan. 2017. Genetic analysis of root and physiological traits of tall fescue in association with drought stress conditions. *Euphytica* 213: 135.
23. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi, M. H. Taleb and S. A. M. Mirmohammady Maibody. 2021. Half-sib mating for inheritance analysis of post-drought recovery and productivity related traits in tall fescue *Agronomy Journal* 113(3): 2314-2320.
24. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
25. Saeidnia, F., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2023a. Evaluation of genetic variation and simultaneous selection for seed and forage yield in selected genotypes of *Dactylis glomerata* and *Bromus inermis*. *Journal of Crop Production and Processing* 13(2): 33-56. (In Farsi).
26. Saeidnia, F., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2023b. Effects of long-term drought stress and variation in traits related to post-drought recovery, persistence, and summer dormancy in two species of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) and smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.). *Journal of Soil and Plant Interactions* 14(2): 61-79. (In Farsi).
27. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi, M. R. Dehghani and B. Hosseini. 2021. Yield stability of contrasting orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) genotypes over the years and water regimes. *Euphytica* 217: 136.
28. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi, S. Spanani, Z. Karami and M. Abdollahi Bakhtiari. 2020. A genetic view on the role of prolonged drought stress and mating systems on post-drought recovery, persistence and drought memory of orchardgrass (*Dactylis glomerat*a L.). *Euphytica* 216: 91.
29. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi and S. Bahrami. 2019. Inheritance and combining ability of persistence and drought recovery in smooth bromegrass (*Bromus inermis* L.). *Euphytica* 215: 177.
30. Saeidnia, F., M. M. Majidi, S. Spanani, M. Abdollahi Bakhtiari, Z. Karami and N. Hughes. 2020. Genotypic-specific responses caused by prolonged drought stress in smooth bromegrass (*Bromus inermis*): Interactions with mating systems. *Plant Breeding* 139: 1029-1041.
31. Soorninia, F., M. Toorchi, M. Norouzi and M. R. Shakiba. 2012. Evaluation of sunflower inbred lines under drought stress. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 2: 70-76.
32. Spanani, S., M. M. Majidi and N. Hughes. 2018. Genetics of inbreeding effects in smooth bromegrass. *Crop Science* 58: 1899-1906.
33. Taleb, M. H., M. M. Majidi, S. A. M. Mirmohammady Maibody and F. Pirnajmedin. 2021. Variation in persistency, post drought recovery and root characteristics in a tall fescue germplasm under interactive effects of exogenously applied salicylic acid and water stress. *Plant Breeding* 140: 678-692.
34. Taleb, M. H., M. M. Majidi, F. Pirnajmedin and S. A. M. Mirmohammady Maibody. 2023. Plant functional trait responses to cope with drought in seven cool-season grasses. *Scientific Reports* 13: 5285.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 1, Spring 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Determination of the Suitable Indices for the Evaluation of Drought Tolerance in Two Species of Orchardgrass (*Dactylis glomerata*) and Smooth Bromegrass (*Bromus inermis*)

F. Saeidnia[1*], M. M. Majidi[2] and A. Mirlohi[2]

(Received: November 14-2023; Accepted: January 10-2024)

Abstract

Drought is one of the most important abiotic stresses limiting the survival, growth, and productivity of plants in many regions of the world. This study was conducted to evaluate drought tolerance of the recombinant genotypes of two species of orchardgrass and smooth bromegrass based on clonal evaluation and stress tolerance indices. In this study, 36 genotypes selected from polycross populations of both species of orchardgrass and smooth bromegrass were evaluated in terms of phenological, agronomic and morphological traits under normal (50% water depletion from the root zone depth) and drought-stressed (90% water depletion from the root zone depth) conditions during 2013 to 2015 at the Research Farm of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. To evaluate drought tolerance of the mentioned genotypes, five drought tolerance and susceptibility indices including stress tolerance indices (TOL and STI), mean productivity index (MP), geometric mean productivity (GMP) and stress sensitivity index (SSI) were calculated based on forage yield under drought stress (Ys) and non- stress (Yp) conditions. In both species, high genetic variation was observed among genotypes in terms of most of the studied traits and indices. In orchardgrass, the genetic coefficient of variation varied from 4.31% to 23.5% under normal condition, and from 1.31% to 21.3% under drought stress condition. In smooth bromegrass, the range of genetic coefficient of variation was variable from 2.05-21.4% under normal condition and 1.66-24.6% under drought stress condition. This indicated a high potential for improving these traits through targeted selection in breeding programs of the two species. Drought stress significantly affected most of the studied traits and reduced the genetic variability of traits except for days to ear emergence, days to pollination, percentage of dry matter yield of cut 1, and percentage of dry matter yield of cut 2 in orchardgrass, and percentage of dry matter yield of cut 1 and percentage of dry matter yield of cut 3 in smooth bromegrass. The amount of this reduction for dry matter yield of cuts 1, 2 and 3 was 47.5, 67.3, and 66.6 percent, respectively, in orchardgrass, and 37.4, 49.5, and 49.4 percent, respectively, in smooth bromegrass. Low heritability for forage yield (24.7, 13.5, and 25.9 percent for dry matter yield of cut 1, dry matter yield of cut 2, and dry matter yield of cut 3, respectively, in orchardgrass, and 59.5, 45.9, and 59.4 percent for dry matter yield of cut 1, dry matter yield of cut 2, and dry matter yield of cut 3, respectively, in smooth bromegrass) suggested that direct selection based on forage yield is not effective for the improvement of this trait. Though, indirect selection based on components of forage yield which have high heritability and high correlation with yield (i.e. plant height, stems/plant, and crown diameter in both species), would be more effective. In both species, selection indices of MP, GMP, and STI had a positive and significant correlation with forage yield (0.92, 0.75, and 0.75, respectively, under normal condition, and 0.61, 0.81, and 0.77, respectively, under drought-stressed condition, in orchardgrass; and 0.95, 0.92, and 0.88, respectively, under normal condition, and 0.91, 0.95, and 0.95, respectivel, under drought-stressed condition, in smooth bromegrass). Therefore, these indices were identified as desirable ones in the selection of drought tolerant cultivars in orchardgrass and smooth bromegrass. Based on the results of principal component analysis and drought tolerance and susceptibility indices, the genotypes of 13 and 14 in orchardgrass, and 13 and 32 in smooth bromegrass were identified as superior genotypes in terms of forage yield and drought tolerance. These genotypes can be used as superior parents for the development of genetic populations to improve forage yield and stress tolerance and create synthetic cultivars.

Keywords: Bromus; Moisture stress; Dactylis; Stress tolerance and Susceptibility indices

1. Assistant Professor, Agricultural and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran and former Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: f.saeidnia@areeo.ac.ir