مطالعه ویژگی‌های مرتبط با عملکرد، تحمل به خشکی، خواب تابستانه و برگشت‌پذیری پس از خشکی در چمانواش بلند

محمدهادی طالب[۱]، محمد مهدی مجیدی[۲*]، سید علی محمد میرمحمدی میبدی[۲] و فاطمه پیرنجم الدین[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۶)

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی آثار تنش خشکی بر صفات زراعی، بقا و برگشت‌پذیری پس از خشکی ژنوتیپ‌های چمانواش بلند در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف آباد انجام شد. در این مطالعه، ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند شامل سه گروه زودرس، میان‌رس و دیررس مورد بررسی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها تا دو سال پس از کشت (۹۶-۱۳۹۵) به‌طور کامل آبیاری شده و سپس در سال سوم و چهارم (۱۳۹۷-۹۸) تحت سه شرایط آبی نرمال (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی)، تنش خشکی متوسط (۷۰ درصد تخلیه رطوبتی) و تنش خشکی شدید (۹۰ درصد تخلیه رطوبتی) قرار گرفتند. صفات مورفولوژیک و عملکردی مورد بررسی قرار گرفتند. در تابستان سال چهارم (۱۳۹۸) پس از برداشت تابستانه، آبیاری در هر سه سطح تنش خشکی قبلی به مدت ۲ ماه قطع شد. سپس گیاهان به مدت شش هفته دوباره آبیاری و پس از رشد مجدد، صفات مرتبط با برگشت‌پذیری اندازه‌گیری شد. تنوع ژنتیکی بالایی در بین ژنوتیپ‌ها برای همه صفات اندازه‌گیری شده مشاهده شد. نتایج نشان داد که سطوح تنش خشکی اثر منفی بر مقدار عملکرد علوفه و اجزای عملکرد، برگشت‌پذیری و بقا داشت و سبب کاهش این صفات شد. تنش خشکی طولانی مدت روابط بین صفات مختلف را تغییر داد. همبستگی مثبت عملکرد علوفه و امتیاز برگشت‌پذیری با تحمل به خشکی نشان داد که این صفات می‌توانند به‌عنوان معیارهای انتخاب مناسب برای افزایش عملکرد علوفه و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده خواب تابستانه کم تا متوسط (خواب تابستانه ناقص) در این ژرم پلاسم بود. همبستگی منفی صفات عملکردی و تحمل به تنش با صفت روز تا برگشت‌پذیری تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، برگشت‌پذیری و بازیابی سریع‌تری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها خواهند داشت. نتایج نشان داد که برخی از ژنوتیپ‌های دیررس (مانند 3L، 18L و 11L) منابع ژنی ارزشمندی برای تولید علوفه هستند. ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی همراه با عملکرد مطلوب در هر سه گروه گلدهی با استفاده از روش بای پلات و تجزیه مؤلفه‌های اصلی مشخص شد. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند برای برنامه‌های اصلاحی در مطالعات آینده مفید باشند.

واژه‌های کلیدی: انتخاب، تنوع ژنتیکی، خصوصیات عملکردی، روابط بین صفات

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد ژنتیک و اصلاح نباتات و محقق پسا دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: majidi@iut.ac.ir

مقدمه

تغییرات آب و هوایی و گرمایش جهانی از عوامل مهم برای کاهش تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که به‌دلیل دوره‌های خشکی طولانی مدت ممکن است آثار مخرب آنها افزایش یابد (۱۹). پیش‌بینی می‌شود به‌دلیل گرم شدن کره زمین در مناطقی که طی چند دهه گذشته تحت خشکی شدید قرار گرفته‌اند، میزان و توزیع بارش‌ها وضعیت ناپایدارتری داشته باشند و نرخ مرگ و میر در گیاهان روند افزایشی پیدا کند (۱۳). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که باعث کاهش رشد، بهره‌وری و بقا در گیاهان می‌شود (۸). حدود یک سوم زمین‌های زیر کشت جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران قرار گرفته است (۵). یکی از راهکارهای اصلی برای کاهش اثرات منفی تنش آبی بر گیاهان، معرفی ارقام مقاوم به خشکی است (۳۶). برگشت‌پذیری پس از دوره شدید و طولانی خشکی و همچنین خواب تابستانه از دیگر مکانیسم‌های مقابله با خشکی هستند که مختص برخی گیاهان به ویژه گراس‌ها هستند. در بسیاری از مناطق، گراس‌ها منابع اصلی تولید علوفه برای صنعت دامپروری هستند و به‌عنوان مکملی ایمن در سیستم‌های کشاورزی جهت افزایش بهره‌وری و ثبات تولیدات حیوانی محسوب می‌شوند (۲۸). با توجه به این مزیت و سایر مزایایی که گراس‌های علوفه‌ای چند ساله در عرصه‌های مرتعی و کشاورزی دارند، می‌توانند جایگزین مناسبی برای گیاهان یک ساله در شرایط خشکی باشد.

چمانواش بلند یا فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) یکی از مهم‌ترین گراس‌های علوفه‌ای چند ساله، C_3 و آلوهگزاپلوئید ($2n=6x=42$) ($PPG_1G_1G_2G_2$) است و نقش مهمی در صنعت دام و توسعه پایدار در مراتع و چمنزارها در سراسر جهان دارد (۴۰). این گونه بومی اروپا، مدیترانه و برخی از مناطق ایران است و سازگاری بالایی به مناطقی با آب و هوای خنک دارد و به‌عنوان گیاه چند ساله فصل خنک شناخته می‌شود (۱۶ و ۲۹). چمانواش بلند از اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی عمده‌ای در مناطقی با محیط‌های خشک و تابستانی نیز برخوردار است (۹). این گیاه به‌طور عمده در مناطق مرکزی، غربی و شمالی ایران در مراتع طبیعی رشد می‌کند. چمانواش بلند به‌دلیل سیستم ریشه‌ای گسترده، پتانسیل تنظیم اسمزی در شرایط خشکی و تولید علوفه مناسب در مقایسه با سایر چمن‌های سردسیری کارایی بالاتری دارد (۲۳).

انتخاب ارقام متحمل به خشکی، گزینه اصلی برای کاهش آثار منفی کمبود آب بر گیاهان در مناطق تحت شرایط تنش خشکی است (۳۶). توصیه می‌شود، ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی بر اساس شاخص‌های خشکی دقیق و قابل اعتماد (مانند شاخص نمره تحمل به تنش، STS) که بر اساس مقدار عملکرد تحت شرایط تنش و عدم تنش اندازه‌گیری می‌شوند، انتخاب شوند (۱ و ۳۲). با این حال در گراس‌ها، برگشت‌پذیری و بهبود پس از خشکی همراه با بقای مناسب می‌تواند ملاک دیگری برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی به‌ویژه در طی بلند مدت باشد. برگشت‌پذیری و بهبود موفقیت آمیز پس از دوره خشکی منوط به ساز و کارهای مختلفی مانند استفاده از ذخایر کربوهیدرات گیاه، رشد مجدد بافت‌های زنده باقیمانده برای جبران خسارت ناشی از خشکی و تحریک ذخایر ریشه است (۷). از طرفی در شرایط خشکی طولانی مدت، انتخاب صفات مؤثر در توانایی برگشت‌پذیری و بهبود پس از خشکی ممکن است اهمیت اقتصادی بیشتری نسبت به انتخاب تنها برای افزایش رشد در دوره خشکی کوتاه مدت داشته باشد (۱۸). علاوه بر این، ویژگی دیگر مرتبط با بقا در گراس‌های چند ساله در شرایط تنش خشکی، الگوی رشد فصلی است. خواب تابستانه یکی از مهم‌ترین صفات مرتبط با اجتناب از خشکی در گراس‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که بقای تابستانه و برگشت‌پذیری پاییزه گراس‌ها را در این مناطق بهبود می‌بخشد (۳۱). گراس‌های دارای خواب تابستانه حتی تحت شرایط آبیاری کامل در تابستان، رشد را متوقف یا کاهش می‌دهند و اغلب در طی این مدت برگ‌های سبز خود را از دست می‌دهند. رشد مجدد در پاییز اتفاق می‌افتد

و تا اواخر بهار ادامه دارد (۲۲ و ۳۸). خواب تابستانه اغلب از طریق افزایش بقا در شرایط گرم و خشک و بهبود عملکرد در پاییز، دیرزیستی گراس‌ها را بهبود می‌بخشد (۳۴ و ۳۹). برخی مطالعات نشان می‌دهد که بقا و برگشت‌پذیری گراس‌ها پس از خشکی شدید و مکرر تابستانی با تحمل گیاه به شرایط کم آبی و خواب گیاه در طول تابستان مرتبط است (۲۱ و ۳۷). پیرنجمدین و همکاران (۲۵) در پژوهش خود بر روی صفات برگشت‌پذیری پس از خشکی و خواب تابستانه در گیاه *Dactylis glomerata* تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد علوفه، اجزای عملکرد و برگشت‌پذیری پس از خشکی را کاهش داد و خواب تابستانه با صفات برگشت‌پذیری رابطه معکوس داشت. همچنین سعیدنیا و همکاران (۳۳) نیز در گیاه *Dactylis glomerata* گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی خواب تابستانه با صفات برگشت‌پذیری رابطه معکوسی دارد ولی با صفات عملکردی رابطه خاصی ندارد. در پژوهش دیگر که به‌منظور بررسی ارتباط صفات عملکردی با تحمل به خشکی بر روی گیاه*Smooth bromegrass* تحت شرایط تنش خشکی انجام شد، گزارش شد که تنش خشکی صفات عملکردی را کاهش می‌دهد و بین صفات موروفولوژیک و با صفات عملکردی رابطه منفی وجود دارد (۳۲).

در گراس‌های چند ساله، عملکرد علوفه مناسب، خواب تابستانه، حفظ بقا و برگشت‌پذیری از مهم‌ترین ویژگی‌های زراعی در مناطق دارای خشکی‌های دوره‌ای تابستان است (۳). اما اطلاعات کمی در مورد خواب تابستانه، بقا و برگشت‌پذیری تحت شرایط تنش خشکی طولانی مدت در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند به‌ویژه با تأکید بر ژرم پلاسم داخلی در دسترس است. علاوه بر این، ارتباط صفات مهمی مانند عملکرد علوفه، خواب تابستانه و بقا تحت تنش خشکی طولانی مدت در این گراس با صفات برگشت‌پذیری پس از خشکی به درستی مورد بررسی قرار نگرفته است. از این رو این مطالعه با اهداف الف) ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های چمانواش بلند برای خواب تابستانه، بقا و برگشت‌پذیری پس از خشکی طولانی مدت در سه گروه رسیدگی متفاوت و ب) تعیین رابطه بین صفات مورفولوژیکی، تحمل به خشکی و برگشت‌پذیری پس از خشکی برای تعیین شاخص مناسبی از صفات و نهایتاً انتخاب ژنوتیپ‌های برتر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. خاک این منطقه لومی_ رسی (pH = ۷/۵) و با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب، هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و با عمق ۹۰ سانتی‌متر بود. میانگین بارندگی و دمای سالانه در این منطقه به‌ترتیب ۱۳۸ میلی‌متر و ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. رطوبت وزنی خاک در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب ۲۳ و ۱۰٪ بود. محتوی کربن آلی برابر با ۶/۳ گرم بر کیلوگرم و کل محتوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک به‌ترتیب ۵۶۷، ۲۶ و ۲۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بر پایه طبقه‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و خنک با تابستان‌های خشک است و از اواخر خرداد ماه تا اواسط مهرماه معمولاً بدون بارندگی است.

از یک جمعیت پلی‌کراس بر اساس صفات زراعی و مورفولوژیکی تعداد ۶۷ نتاج ژنوتیپ چمانواش بلند (*Festuca arundinacea*) و با سه تاریخ گلدهی متفاوت (زودرس با نماد E، میان‌رس با نماد M و دیررس با نماد L) انتخاب شدند (جدول ۱).

ژنوتیپ‌ها از نظر کلونی در گلخانه تکثیر و سپس در اواسط اسفند ۱۳۹۴ به مزرعه منتقل شدند. کلون‌ها در مزرعه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار نشا شدند. اولین آبیاری پس از کاشت به صورت غرقابی انجام شد و سپس برای انجام

جدول ۱. نام، وضعیت گلدهی و منشا ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند مورد ارزیابی در این آزمایش

زودرس (E)			میان‌رس (M)			دیررس (L)		
منشاء	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	منشاء	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	منشاء	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ
ایران، اصفهان	۱ زودرس	1E	ایران، اصفهان	۱ میان‌رس	1M	ایران، اصفهان	۳ دیررس	3L
ایران، اصفهان	۳ زودرس	3E	ایران، یاسوج	۲ میان‌رس	2M	ایران، اصفهان	۷ دیررس	7L
ایران، اصفهان	۴ زودرس	4E	ایران، اصفهان	۳ میان‌رس	3M	ایران، اصفهان	۸ دیررس	8L
ایران، اصفهان	۵ زودرس	5E	ایران، اصفهان	۴ میان‌رس	4M	ایران، اصفهان	۹ دیررس	9L
ایران، اصفهان	۶ زودرس	6E	ایران، اصفهان	۵ میان‌رس	5M	آمریکا، نیوجرسی	۱۰ دیررس	10L
ایران، اصفهان	۷ زودرس	7E	ایران، اصفهان	۶ میان‌رس	6M	مجارستان	۱۱ دیررس	11L
ایران، اصفهان	۸ زودرس	8E	ایران، اصفهان	۷ میان‌رس	7M	مجارستان	۱۲ دیررس	12L
ایران، اصفهان	۹ زودرس	9E	ایران، اصفهان	۸ میان‌رس	8M	مجارستان	۱۳ دیررس	13L
آمریکا، نیوجرسی	۱۰ زودرس	10E	ایران، اصفهان	۹ میان‌رس	9M	مجارستان	۱۴ دیررس	14L
مجارستان	۱۱ زودرس	11E	مجارستان	۱۱ میان‌رس	11M	ایران، اصفهان	۱۵ دیررس	15L
مجارستان	۱۲ زودرس	12E	مجارستان	۱۲ میان‌رس	12M	ایران، اصفهان	۱۶ دیررس	16L
مجارستان	۱۳ زودرس	13E	مجارستان	۱۳ میان‌رس	13M	ایران، اصفهان	۱۷ دیررس	17L
مجارستان	۱۴ زودرس	14E	مجارستان	۱۴ میان‌رس	14M	ایران، شاهرود	۱۸ دیررس	18L
ایران، اصفهان	۱۵ زودرس	15E	ایران، اصفهان	۱۵ میان‌رس	15M	ایران، شاهرود	۱۹ دیررس	19L
ایران، اصفهان	۱۶ زودرس	16E	ایران، اصفهان	۱۶ میان‌رس	16M	ایران، اصفهان	۲۱ دیررس	21L
ایران، اصفهان	۱۷ زودرس	17E	ایران، اصفهان	۱۷ میان‌رس	17M	لهستان	۲۲ دیررس	22L
ایران، شاهرود	۱۸ زودرس	18E	ایران، شاهرود	۱۸ میان‌رس	18M	لهستان	۲۳ دیررس	23L
ایران، شاهرود	۱۹ زودرس	19E	ایران، شاهرود	۱۹ میان‌رس	19M	ایران، شاهرود	۲۴ دیررس	24L
ایران، اصفهان	۲۰ زودرس	20E	ایران، اصفهان	۲۰ میان‌رس	20M	ایران، شاهرود	۲۵ دیررس	25L
ایران، اصفهان	۲۱ زودرس	21E	ایران، اصفهان	۲۱ میان‌رس	21M			
لهستان	۲۲ زودرس	22E	لهستان	۲۲ میان‌رس	22M			
لهستان	۲۳ زودرس	23E	لهستان	۲۳ میان‌رس	23M			
ایران، شاهرود	۲۴ زودرس	24E	ایران، شاهرود	۲۴ میان‌رس	24M			
ایران، شاهرود	۲۵ زودرس	25E	ایران، شاهرود	۲۵ میان‌رس	25M			

آبیاری در مراحل بعدی از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده شد. فاصله بین بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود و طی دو سال اول پس از کشت، کلیه تیمارها آبیاری کامل و تحت شرایط نرمال بررسی شدند (۱۳۹۵-۹۶). سپس در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ تنش خشکی در سه سطح (نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید) اعمال شد. برای اعمال تنش خشکی و تخمین مقدار نیاز آبی ژنوتیپ‌ها از داده‌های هواشناسی و رابطه فائو- پنمن مانتیث (۲) استفاده شد. تبخیر- تعرق گیاه چمانواش بلند به‌صورت روزانه با استفاده از داده‌های هواشناسی و ضریب گیاهی چمانواش بلند محاسبه شد. فاصله آبیاری (تعداد روزهای بین دو آبیاری) در طی فصل رشد متغیر بود، زیرا تبخیر و تعرق متغیر بود.

$$ETc = Kc \times ETo \times Kmc \qquad (۱)$$

ET_0: تبخیر- تعرق پتانسیل یا مرجع (بر اساس داده‌های هواشناسی به صورت روزانه) و K_C: ضریب گیاهی چمانواش بلند (۱۵)، K_{mc}: ضریب خرده اقلیم (۳۵) و ET_C: تبخیر- تعرق واقعی چمانواش بلند است. میزان ضریب خرده اقلیم در آزمایش مزرعه‌ای برای چمن بر اساس مطالعات قبلی برابر ۱/۱۵ در نظر

گرفته شد (۳۵). محیط‌های رطوبتی مورد استفاده در این مطالعه شامل محیط بدون تنش رطوبتی (نرمال) با اعمال ضریب MAD (متوسط کسری از کل آب در دسترس که می‌تواند از عمق توسعه ریشه تخلیه شود بدون اینکه به گیاه تنشی وارد شود) برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش رطوبتی متوسط و شدید با اعمال ضریب MAD برابر با ۷۰ و ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی بود (۲). به‌طوری که دور آبیاری برای تیمارها متفاوت ولی مقدار آب آبیاری برای تیمارهای آبی یکسان بود. دور آبیاری بر اساس مقدار تخلیه رطوبت از خاک بر اساس مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانتیث و ضریب گیاهی چمانواش بلند طی دوره رشد محاسبه شد. بطور متوسط در کل دوره، دور آبیاری تیمار شاهد ۵ روز، دور آبیاری تیمار تنش متوسط ۱۱ و دور آبیاری تیمار تنش شدید ۱۶ روز بود. البته این دور در ماه‌های مختلف سال و با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت بود. همچنین به‌منظور کنترل معادله فائو- پنمن- مانتیث برای تعیین زمان آبیاری، طی دوره رشد به‌طور تصادفی هر سه یا چهار روز یک‌بار رطوبت خاک از اعماق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد و با محاسبات انجام شده از طریق تبخیر و تعرق تطبیق داده شد. عمق آب آبیاری با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد.

$$I = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times D \times MAD \qquad (۲)$$

به‌طوری که I: عمق آب آبیاری، θ_{FC}: رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ_{PWP}: رطوبت حجمی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)، D: عمق فعال توسعه ریشه (cm) بود. MAD: متوسط کسری از کل آب در دسترس که می‌تواند از عمق توسعه ریشه تخلیه شود بدون اینکه به گیاه تنشی وارد شود که برای محیط نرمال، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد بود.

در اواخر خرداد ماه (۱۳۹۷-۹۸)، کلیه ژنوتیپ‌های چمانواش بلند به‌طور همزمان و جداگانه از ۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین به‌صورت دستی بریده شدند و وزن گیاهان اندازه‌گیری شد، سپس در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون قرار گرفتند و وزن خشک آنها (عملکرد بهاره) ثبت شد. همچنین صفات روز تا خوشه دهی و تعداد خوشه در بوته در چین بهاره برای دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شد. در اواخر مرداد ماه کلیه ژنوتیپ‌ها مطابق چین بهاره برداشت شدند و عملکرد تابستانه اندازه‌گیری شد. از مجموعه عملکرد بهاره و تابستانه مقدار عملکرد سالیانه بر حسب گرم در گیاه به‌دست آمد. صفات قطر طوقه و ارتفاع گیاه در هر دو چین بهاره و تابستانه با استفاده از روش پیرنجم الدین و همکاران (۲۵ و ۲۶) اندازه‌گیری شد. شاخص خواب تابستانه (S/SP) در طی دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بر اساس مقایسه عملکرد علوفه تابستانه هر ژنوتیپ با عملکرد بهاره همان ژنوتیپ و با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (۲۲).

(۳)

$$S/Sp=(100-\left[\frac{\text{Summer forage yield of each family or genotype}}{\text{Spring forage yield of each family or genotype}}\right]\times 100)/10$$

مقادیر شاخص خواب تابستانه از صفر تا ۱۰ متغیر است. صفر به معنای عدم وجود خواب تابستانه و ۱۰ به معنای وجود خواب تابستانه کامل و اعداد بین ۲ تا ۸ بیانگر خواب تابستانه ناقص است.

هشت شاخص انتخاب شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI) (۱۲)، میانگین بهره‌وری (MP) (۱۷)، تحمل (Tol) (۳۰)، شاخص تحمل به تنش (STI) (۱۱)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) (۲۷)، شاخص عملکرد (YI) (۱۴)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) (۶) و شاخص پاسخ به خشکی (DRI) (۴) برای هر ژنوتیپ بر اساس عملکرد علوفه خشک تحت شرایط نرمال و تنش خشکی متوسط و شدید طبق فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$SSI = \frac{1-(Ysi/Ypi)}{1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)} \qquad (۴)$$

$$MP = (Ypi + Ysi)/2 \qquad (۵)$$

$$TOL = Ypi + Ysi \qquad (۶)$$

$$STI = \frac{Ypi \times Ysi}{(\bar{Y}p)^2} \qquad (۷)$$

$$GMP = \sqrt{Ypi \times Ysi} \quad (۸)$$

$$YI = \frac{Ysi}{\bar{Y}s} \quad (۹)$$

$$YSI = \frac{Ysi}{Ypi} \quad (۱۰)$$

$$DRI = \frac{Ysi - \hat{Y}s}{SE} \quad (۱۱)$$

بر این اساس Ysi عملکرد ژنوتیپ iام تحت شرایط تنش خشکی است و Yp عملکرد ژنوتیپ iام در محیط نرمال است. $\overline{Y_p}$ و $\overline{Y_s}$ میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی متوسط و شدید هستند. Ŷs عملکرد بالقوه برآورد شده برای هر ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی است و SE خطای استاندارد عملکرد تخمینی ژنوتیپ‌ها است. Ŷs برای هر ژنوتیپ خاص از یک تحلیل رگرسیون چند متغیره بر اساس صفات مورد بررسی (معنی‌دار فقط برای عملکرد سالیانه) به شرح زیر برآورد شد:

$$\hat{Y}_S = a + bYp + cANFY \quad (۱۲)$$

که در آن ANFY عملکرد سالیانه است و a، b و c پارامترهای رگرسیون هستند که با حداقل روش مربع برآورد می‌شوند. شاخص ß عبارت است از ضریب رگرسیون خطی عملکرد علوفه هر ژنوتیپ در هر شرایط خاص محیطی نسبت به عملکرد متوسط همه ژنوتیپ‌ها در هر شرایط محیطی. سپس شاخص STS از طریق معادله زیر برآورد شد:

$$STS = MP + STI + GMP + YI + DRI + YSI - SSI - TOL - ß \quad (۱۳)$$

بر اساس معادلات تحمل به خشکی/ حساسیت، مقدار زیاد برای شاخص‌های STI، MP ، GMP، YI، DRI و YSI و مقدار کم برای SSI، TOL و ß نشان‌دهنده تحمل نسبتاً بالا به تنش خشکی است. بنابراین، شاخص‌های STI، MP، GMP، DRI، YI و YSI مثبت و شاخص‌های TOL، SSI و ß ضریب منفی می‌گیرند. برای تخمین دقیق‌تر معادله STS، تمام شاخص‌های معادله فوق به شرح زیر استاندارد شدند:

$$Zij = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (۱۴)$$

Zij نمره استاندارد ژنوتیپ j در نمایه i است، همچنین Xij داده ژنوتیپ j در نمایه i است و S_i نیز مقدار انحراف معیار همه ژنوتیپ‌ها است. پس از استاندارد سازی شاخص‌ها مقدار STS محاسبه شد. مقدار کم و زیاد STS به‌ترتیب نشان‌دهنده تحمل به خشکی کم و زیاد ژنوتیپ‌ها است (۱).

در سال چهارم آزمایش (۱۳۹۸)، پس از برداشت عملکرد تابستانه همه ژنوتیپ‌ها برای برگشت‌پذیری پس از خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، از اول شهریورماه به مدت ۶۰ روز آبیاری از همه محیط‌های رطوبتی برای اعمال خشکی شدید (تا خشک شدن کامل شاخ و برگ) قطع شد. پس از دو ماه قطع آبیاری، به مدت شش هفته آبیاری هفتگی برای کلیه تیمارهای مورد مطالعه اعمال شد. سپس صفات مربوط به برگشت‌پذیری پس از خشکی اندازه‌گیری شد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد علوفه خشک بعد از برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیری، امتیاز برگشت‌پذیری (به صورت چشمی در مقیاس ۹–صفر اندازه‌گیری شد، به‌طوری که برگ‌های سبز و کاملاً هیدراته نمره ۹ و برگ‌های قهوه‌ای یا خشک شده نمره صفر گرفتند) و روز تا برگشت‌پذیری (تعداد روز از زمان انجام آبیاری مجدد تا سبز شدن مجدد هر ژنوتیپ) بود. همچنین روند بقا در طی چهار سال (۱۳۹۵–۹۸) برای هر ژنوتیپ در هر تکرار به صورت درصدی از ژنوتیپ‌های زنده نسبت به ژنوتیپ‌های زنده مانده از سال قبل برآورد شد. این روند در طی چهار سال برای برداشت بهاره اندازه‌گیری شد.

از آزمون‌های Kolmogorov–Smirnov و Bartlett به‌ترتیب برای آزمون نرمال بودن دادها و همگنی واریانس استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین ژنوتیپ‌ها، سال و محیط‌های تنش خشکی بر اساس تجزیه واریانس مرکب در قالب اسپلیت

پلات در زمان استفاده شد، به‌طوری که تنش خشکی به‌عنوان محیط (به صورت مرکب) ژنوتیپ و سال به صورت اسپلیت پلات در زمان در مدل آماری قرار گرفت. از نرم افزار SAS 9.4 به‌منظور تجزیه آماری استفاده شد. اثر رژیم آبیاری ثابت و ژنوتیپ و سال به‌عنوان اثرات تصادفی در نظر گرفته شدند. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) با $P \leq 0.05$ برای مقایسه میانگین صفات استفاده شد. تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم بای پلات با استفاده از نرم افزار Statgraphics انجام شد.

نتایج و بحث

صفات زراعی و خواب تابستانه

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک (جدول ۲) نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد بهاره و تابستانه، عملکرد سالیانه، ارتفاع گیاه، قطر طوقه، تعداد خوشه در بوته، روز تا خوشه دهی و خواب تابستانه در سطح احتمال یک درصد داشت.

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌دار مشاهده شد که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی زیادی در بین آنها برای همه صفات عملکردی و مورفولوژیک است. تنوع بالا بر پتانسیل بالای ژرم‌پلاسم مورد مطالعه و امکان انتخاب ژنوتیپ‌ها با رویکردهای متفاوت علوفه‌ای و چمنی در سطوح مختلف تنش خشکی تأکید دارد. اثر برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط نیز برای همه صفات معنی‌دار بود که نشان‌دهنده عدم واکنش یکسان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های رطوبتی مختلف از نظر صفات عملکردی و مورفولوژیک بود (جدول ۲). اثر سال برای کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که به دلیل تفاوت در روند رشد برای سال سوم و چهارم پس از کشت است. اثر برهم‌کنش ژنوتیپ و سال نیز برای صفات عملکرد بهاره، تابستانه و سالیانه در سطح احتمال پنج درصد و برای صفات ارتفاع گیاه، قطر طوقه، تعداد خوشه در بوته، روز تا خوشه دهی و خواب تابستانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنادار شدن این اثر متقابل نشان می‌دهد که واکنش ژنوتیپ‌ها در بروز این صفات طی سال‌های سوم و چهارم متفاوت بوده است (جدول ۲). تجزیه واریانس نمره تحمل به تنش (STS) ژنوتیپ‌های چمنواش بلند برای دو تنش خشکی متوسط و شدید در جدول ۳ و نیز تجزیه واریانس صفات برگشت‌پذیری برای ژنوتیپ‌های چمنواش بلند تحت سه سطح تنش خشکی در جدول ۴ آورده شده است.

این نتایج نشان داد که دو تنش خشکی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند. همچنین بین ژنوتیپ‌ها تنوع بالایی برای نمره تحمل به تنش خشکی وجود داشت. اثر متقابل ژنوتیپ در تنش خشکی برای نمره تحمل به تنش نیز معنی‌دار شد که بیانگر این است که مقدار تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش خشکی متفاوت است.

نتایج مقایسه میانگین بین سطوح تنش خشکی (نرمال، تنش خشکی متوسط و شدید) برای صفات مورفولوژیک و نمره تحمل به تنش (STS) بین دو سطح تنش خشکی متوسط و شدید برای سه گروه ژنوتیپ زودرس، میان‌رس و دیررس چمنواش بلند در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در هر سه گروه رسیدگی، عملکرد علوفه به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافت، به‌طوری که مقدار کاهش عملکرد علوفه سالیانه برای تنش خشکی متوسط ۴۳٪/۳۷ و برای شرایط تنش خشکی شدید ۷۴/۸۰٪ نسبت به شرایط نرمال بود. مقدار کاهش عملکرد در سه گروه زودرس، دیررس و میانرس به‌ترتیب برابر با ۵۱٪، ۵۴٪ و ۵۴٪ در تنش خشکی متوسط و ۸۰٪، ۷۷٪ و ۸۰٪ در تنش خشکی شدید بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در هر سه گروه، عملکرد علوفه تابستانه از عملکرد علوفه بهاره، در هر سه سطح تنش خشکی، به‌طور قابل توجهی پایین‌تر بود (جدول ۵). به‌طور مشابه کاهش عملکرد تابستانه در مقایسه با عملکرد بهاره در برخی از گراس‌های سردسیری نیز گزارش شده است (۲۵، ۳۲ و ۳۴). نورتون و همکاران (۲۱) و والیر و نورتون (۳۸) گزارش کردند که گونه‌های گراس چند ساله با قابلیت خواب تابستانه در

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک برای ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند تحت سه تنش خشکی (نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید) طی دو سال (۹۸-۱۳۹۷)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد بهاره	عملکرد تابستانه	عملکرد سالیانه	ارتفاع گیاه	قطر طوقه	تعداد خوشه در بوته	روز تا خوشه دهی	خواب تابستانه
تنش خشکی	۲	۶۶۸۳۱۰۲**	۱۶۷۶۲۷۴**	۱۵۰۴۶۹۵۱**	۵۹۷۰۳**	۵۹۶۶**	۱۶۹۸۹۳**	۱۱۳۷۱**	۱۴/۵**
تکرار(تنش خشکی)	۳	۱۰۴۲	۶۸۰	۲۶۲۶	۳۴	۵۷/۸	۸۷۲	۱۶/۳	۰/۱۳
ژنوتیپ	۶۶	۶۵۰۲۲**	۱۴۰۳۷**	۱۳۴۸۳۴**	۵۸۶**	۸۷/۱**	۷۷۵**	۱۸۹**	۳/۴۵*
ژنوتیپ × تنش خشکی	۱۳۲	۲۰۳۹۶**	۶۰۹۳**	۴۶۱۴۱**	۲۰۹**	۲۰/۲**	۵۵۷**	۴۱/۳**	۲/۵۷**
ژنوتیپ × تکرار(تنش خشکی)	۱۹۸	۶۴۹	۲۱۹	۸۰۱	۲۱۴	۱۷/۷	۲۸۲	۱۲/۹	۰/۲۱
سال	۱	۲۴۲۳۲۰**	۱۲۱۴۸۴**	۷۰۷۵۵۰**	۱۰۰۳۸**	۲۲۰۰**	۲۱۴۷**	۳۱۱**	۹/۳۰**
سال × تنش خشکی	۲	۳۷۶۲۷**	۱۷۸۰۶**	۶۶۱۹ns	۴۳۰۸**	۳/۱۰ns	۴۹۶**	۱۴۵**	۱۰۷**
سال × ژنوتیپ	۶۶	۷۶۲۰*	۹۵۲*	۱۲۴۹۶*	۶۸**	۴/۰۰**	۱۰۵**	۱۴/۷**	۱/۷۸**
سال × ژنوتیپ × تنش خشکی	۱۳۲	۶۴۵۶ns	۷۵۱ns	۱۰۳۸۶ns	۵۳**	۲/۱۱**	۷۲**	۱۶/۹**	۲/۱۴**
خطا	۲۰۱	۴۹۹۵	۶۶۷	۸۶۵۹	۲۴	۱/۱۰	۲۹	۴/۷۰	۰/۱۷
ضریب تغییرات (CV)		۲۷	۲۴	۲۸	۱۷	۴/۳۰	۷	۶/۲۱	۱۸

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۳. تجزیه واریانس نمره تحمل به تنش (STS) برای ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند تحت دو تنش خشکی (متوسط و شدید)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		نمره تحمل به تنش (STS)
تنش خشکی	۱	۱۰۴۸**
تکرار (تنش خشکی)	۲	۰/۳۲
ژنوتیپ	۶۶	۵۹/۷**
ژنوتیپ × تنش خشکی	۶۶	۱۸/۸**
خطا	۱۳۲	۰/۷۸
ضریب تغییرات (CV)		۲۹/۲

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

مقایسه با دیگر گراس‌ها در فصول بهار و پاییز عملکرد بیشتری نسبت به فصل تابستان دارند و همین ویژگی موجب می‌شود که شانس بیشتری برای بقا در دوره‌های طولانی مدت خشکی داشته باشند. مقدار خواب تابستانه در گروه‌های زودرس و

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات برگشت‌پذیری پس از دو ماه خشکی (قطع آبیاری) برای ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند تحت سه سطح تنش خشکی (نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید) در سال ۱۳۹۸

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری	ارتفاع برگشت‌پذیری	قطر طوقه برگشت‌پذیری	امتیاز برگشت‌پذیری	روز تا برگشت‌پذیری	بقا
تنش خشکی	۲	۷۰۴۳۱**	۱۲۲۵**	۳۱۸۳**	۴۰۲**	۲۷۶**	۱۲۴۹۳**
تکرار (تنش خشکی)	۳	۶۸۰	۵/۶۰	۴۴/۱	۴/۱۰	۳/۱۲	۳۱/۳
ژنوتیپ	۶۶	۱۰۲۴**	۱۵/۲**	۵۰/۱**	۳/۱۲**	۵/۰۳**	۱۳۶۳**
ژنوتیپ × تنش خشکی	۱۳۲	۵۵۷*	۴/۶۱^{ns}	۱۲/۲^{ns}	۱/۳۱*	۲/۶۱**	۱۰۱۸**
خطا	۱۹۸	۴۱۴	۴/۸۰	۹/۸۰	۰/۹۰	۱/۵۴	۱۳/۳
ضریب تغییرات (CV)		۲۶	۱۵/۰	۱۱/۸	۲۵/۸	۱۱/۰	۴/۱

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

دیررس تحت تاثیر محیط تنش خشکی (تنش خشکی متوسط و شدید) نسبت به مقدار خواب تابستانه در محیط نرمال و در گروه میان‌رس مقدار خواب تابستانه تحت تاثیر محیط تنش خشکی متوسط نسبت به محیط نرمال بیشتر بود که دلیل آن احتمالا تاثیر شرایط تنش خشکی و القای خواب تابستانه بیشتر بر روی ژنوتیپ‌های این گیاه است. در مطالعه حاضر بر اساس دامنه شاخص خواب تابستانه، می‌توان خواب تابستانه کم تا متوسط (خواب تابستانه ناقص) را در این ژرم‌پلاسم پیش‌بینی کرد. صفات ارتفاع گیاه، قطر طوقه، تعداد خوشه در بوته و روز تا خوشه دهی در همه گروه‌های گلدهی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند، به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار این صفات در محیط نرمال و تنش خشکی شدید مشاهده شد (جدول ۵). مقدار نمره تحمل به تنش خشکی در هر سه گروه ژنوتیپ در تنش خشکی متوسط نسبت به تنش خشکی شدید بیشتر بود و بیشترین مقدار این شاخص مربوط به گروه زودرس و میان‌رس به‌ترتیب در تنش خشکی متوسط و شدید بود (جدول ۵).

نتایج شکل ۱ نشان داد که تحت شرایط نرمال مقدار عملکرد سالیانه ژنوتیپ‌های دیررس نسبت به ژنوتیپ‌های زودرس و میان‌رس بیشتر بود و تفاوتی بین ژنوتیپ‌های زودرس و میان‌رس از نظر این صفت وجود نداشت. تحت شرایط تنش خشکی متوسط و شدید، دو گروه زودرس و دیررس عملکرد مشابه‌ای داشتند و هر دو گروه با ژنوتیپ‌های میان‌رس تفاوت معنادار آماری داشتند (شکل ۱).

برگشت‌پذیری پس از خشکی

بهبود عملکرد و تحمل به خشکی گونه‌های گراس چند ساله در مناطقی با دوره خشکی طولانی مدت بسیار مهم است، اما مهم‌تر از آنها برگشت‌پذیری و توانایی بازیابی سریع بافت‌های گیاهی آسیب دیده و رشد مجدد بافت‌های جدید پس از تنش‌های خشکی طولانی مدت در مدیریت چمنزارها است (۷). تجزیه واریانس صفات برگشت‌پذیری پس از دو ماه قطع آبیاری در سال چهارم و بقا در همه محیط‌های رطوبتی در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که اثر سطوح تنش خشکی (نرمال و تنش خشکی متوسط و شدید) و ژنوتیپ برای همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (جدول ۴). این نتایج نشان داد که ژرم‌پلاسم مورد مطالعه دارای تنوع ژنوتیپی قابل توجهی برای

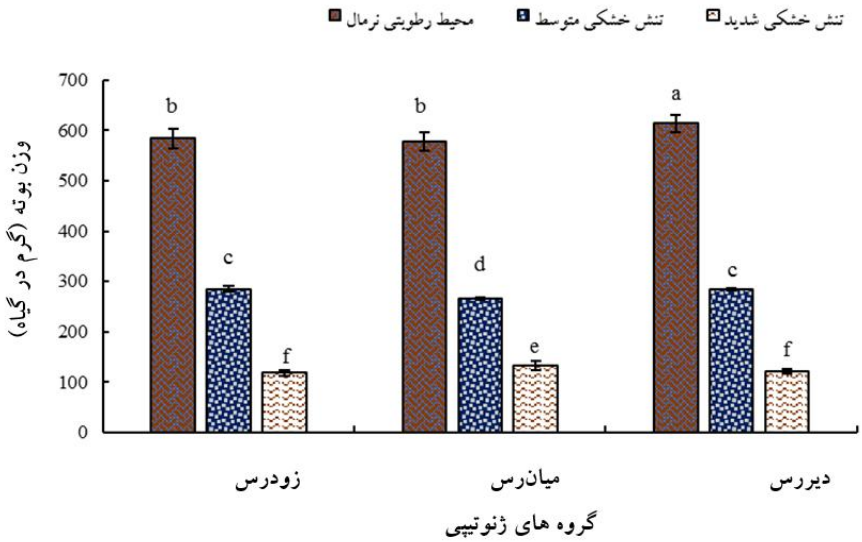
جدول ۵. مقایسه میانگین سطوح تنش خشکی (نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید) برای صفات مورفولوژیک و برگشت‌پذیری پس از دو ماه خشکی برای ۳ گروه ژنوتیپ زودرس، میان‌رس و دیررس چمانواش بلند

صفات عملکردی و مورفولوژیکی									
صفات	زودرس			میان‌رس			دیررس		
	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید
عملکرد بهاره (گرم در گیاه)	۳۹۲^{a}	۱۹۹^{b}	۸۱/۱^{c}	۳۹۳^{a}	۱۸۳^{b}	۹۰/۱^{c}	۴۰۹^{a}	۱۹۹^{b}	۸۴/۴^{c}
عملکرد تابستانه (گرم در گیاه)	۱۹۲^{a}	۸۶/۱^{b}	۳۶/۹^{c}	۱۸۵^{a}	۸۳/۱^{b}	۴۲/۵^{c}	۲۰۵^{a}	۸۵/۷^{b}	۳۷/۳^{c}
عملکرد سالیانه (گرم در گیاه)	۵۸۴^{a}	۲۸۵^{b}	۱۱۸^{c}	۵۷۸^{a}	۲۶۶^{b}	۱۳۲^{c}	۶۱۴^{a}	۲۸۴^{b}	۱۲۲^{c}
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	۸۵/۸^{a}	۶۷/۲^{b}	۵۴/۹^{c}	۸۲/۶^{a}	۶۶/۷^{b}	۵۵/۲^{c}	۸۸/۱^{a}	۷۲/۹^{b}	۵۶/۵^{c}
قطر طوقه (سانتی‌متر)	۲۹/۹^{a}	۲۵/۹^{b}	۲۱/۲^{c}	۳۱/۸^{a}	۲۵/۷^{b}	۲۱/۰^{c}	۳۲/۷^{a}	۲۷/۶^{b}	۲۲/۹^{c}
تعداد خوشه در بوته	۹۸/۴^{a}	۷۱/۲^{b}	۴۱/۸^{c}	۹۹/۳^{a}	۶۶/۸^{b}	۴۸/۸^{b}	۹۲/۴^{a}	۶۴/۳^{b}	۵۰/۸^{c}
روز تا خوشه دهی	۴۰/۷^{a}	۳۳/۴^{b}	۲۶/۴^{c}	۴۳/۵^{a}	۳۵/۷^{b}	۳۰/۲^{c}	۴۰/۵^{a}	۳۴/۴^{b}	۲۹/۶^{c}
خواب تابستانه	۵/۱۰^{b}	۵/۵۱^{a}	۵/۴۲^{a}	۵/۲۲^{a}	۵/۴۰^{a}	۵/۲۲^{a}	۵/۰۲^{c}	۵/۵۱^{a}	۵/۳۰^{b}
نمره تحمل به تنش (STS)	-	۲/۱۱^{a}	-۲/۸۲^{b}	-	۱/۱۰^{a}	-۱/۸۱^{a}	-	۰/۹۰^{a}	-۲/۸۰^{b}
صفات برگشت‌پذیری پس از خشکی									
صفات	زودرس			میان‌رس			دیررس		
	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید	نرمال	تنش خشکی متوسط	تنش خشکی شدید
عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری (گرم در گیاه)	۵۴/۲^{a}	۲۹/۲^{b}	۱۱/۰^{c}	۶۱/۲^{a}	۲۸/۹^{b}	۱۳/۱^{c}	۵۵/۷^{a}	۲۸/۹^{b}	۱۱/۰^{c}
ارتفاع برگشت‌پذیری (سانتی‌متر)	۱۷/۵^{a}	۱۳/۴^{b}	۱۱/۰^{c}	۱۶/۶^{a}	۱۳/۳^{b}	۱۱/۳^{c}	۱۸/۰^{a}	۱۵/۰^{b}	۱۱/۷^{c}
قطر طوقه برگشت‌پذیری (سانتی‌متر)	۲۹/۹^{a}	۲۵/۹^{b}	۲۱/۲^{c}	۳۱/۸^{a}	۲۵/۸^{b}	۲۱/۰^{c}	۳۲/۷^{a}	۲۷/۷^{b}	۲۲/۹^{c}
امتیاز برگشت‌پذیری (۹-۱)	۵/۶۰^{a}	۳/۷۱^{b}	۲/۲۱^{c}	۵/۶۰^{a}	۳/۶۳^{b}	۲/۲۰^{c}	۵/۸۱^{a}	۳/۷۰^{b}	۲/۳۰^{b}
روز تا برگشت‌پذیری	۱۰/۳^{b}	۱۱/۳^{ab}	۱۲/۳^{a}	۹/۴۰^{b}	۱۱/۶^{ab}	۱۲/۹^{a}	۹/۹۱^{b}	۱۱/۰^{b}	۱۳/۲^{a}
بقا (٪)	۹۵/۸^{a}	۸۹/۶^{b}	۸۱/۳^{c}	۹۷/۹^{a}	۸۷/۵^{b}	۷۷/۱^{c}	۹۵/۰^{a}	۹۷/۴^{a}	۷۳/۷^{b}

در هر سطح رطوبتی میانگین‌های که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند (بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد)

همه صفات مربوط به برگشت‌پذیری و بقا است که می‌تواند منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی متفاوت، برگشت‌پذیری پس از خشکی و بقای مناسب شود (جدول ۴). تجزیه واریانس نشان داد که صفات عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیری و امتیاز برگشت‌پذیری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار این صفات در تنش خشکی نرمال و کمترین مقدار در تنش خشکی شدید مشاهده شد (جدول ۵).

تحت شرایط نرمال ژنوتیپ‌های میان‌رس دارای بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک بعد از برگشت‌پذیری (۶۱/۲ گرم بر گیاه) و ژنوتیپ‌های زودرس (۵۴/۲ گرم بر گیاه) دارای



شکل ۱. وزن بوته سالیانه سه گروه چمانواش بلند بر اساس زمان گلدهی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی متوسط و شدید، تفاوت دو تیمار که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

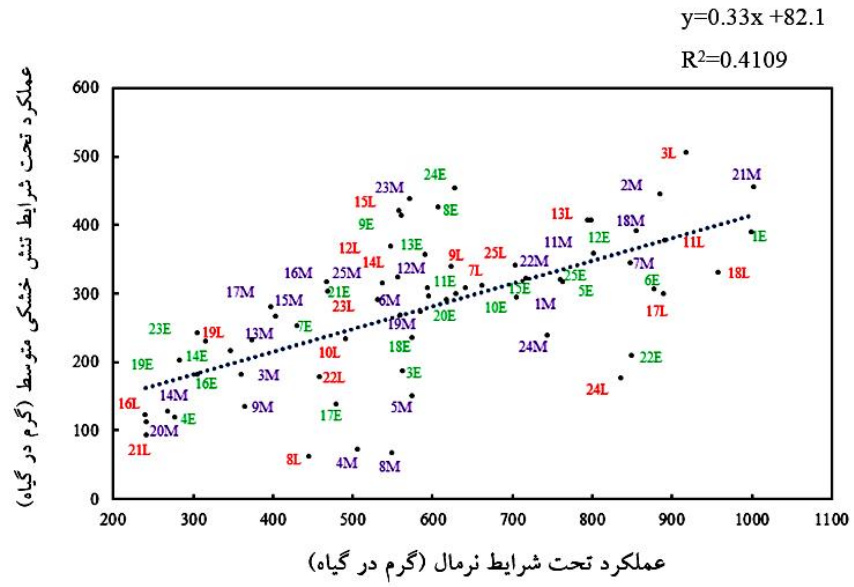
کمترین مقدار این صفت بودند (جدول ۵). نتایج آزمایش برگشت‌پذیری پس از خشکی نشان داد که مقدار همه صفات مربوط به برگشت‌پذیری پس از خشکی به جز صفت روز تا برگشت‌پذیری در محیط‌های تنش خشکی در مقایسه با محیط نرمال کاهش یافته است. از آنجا که کمبود آب در هر دو سال قبل از قطع آبیاری به‌طور یکسان اعمال می‌شد، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی طولانی مدت، برگشت‌پذیری ژنوتیپ‌های چمانواش بلند را کاهش داده است که می‌تواند ناشی از طوقه و حجم ریشه بزرگتر و نیز امکان ذخیره بیشتر مواد غذایی در ژنوتیپ‌های تحت تیمار نرمال باشد.

یافته‌های این مطالعه با نتایج سعیدنیا و همکاران (۳۳) در گیاه *Dactylis glomerata* مشابهت داشت. در مطالعه حاضر، ژنوتیپ‌های دیررس نسبت به ژنوتیپ‌های زودرس و میان‌رس امتیاز برگشت‌پذیری بیشتری داشتند. این برتری احتمالاً با توانایی آنها در دسترسی به آب و داشتن طوقه بزرگتر به‌همراه ذخیره بیشتر گیاهی مرتبط بود. به‌طور کلی، گلدهی زود هنگام باعث می‌شود که زمان موجود برای جذب کربن کاهش یافته و موجب فرار از تنش شده و قدرت به حداکثر رساندن پتانسیل محدود شود (۲۴). مقدار بقا در تیمارهای تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال در هر سه گروه ژنوتیپ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی طولانی مدت بقای گیاهان را کاهش می‌دهد. با این حال تنوع ژنتیکی بالایی در بین سه گروه ژنوتیپ با گلدهی متفاوت برای این صفات مشاهده شد. به نظر می‌رسد کاهش بقا به‌دلیل کم آبیاری می‌تواند با کاهش قطر طوقه گیاه و به تبع آن کاهش ذخایر گیاهی، کاهش تعداد خوشه و به‌طور کلی ضعف گیاه مرتبط باشد. با این حال، بقا در گونه‌های گیاهی بستگی به عواملی مانند نوع ژنوتیپ، مدیریت (به‌عنوان مثال کود، مدیریت چرا، کنترل علف‌های هرز و آفات و آبیاری) و عوامل محیطی (مانند بارندگی، نور، دما و نوع خاک) متفاوت خواهد بود (۱۰ و ۲۰)

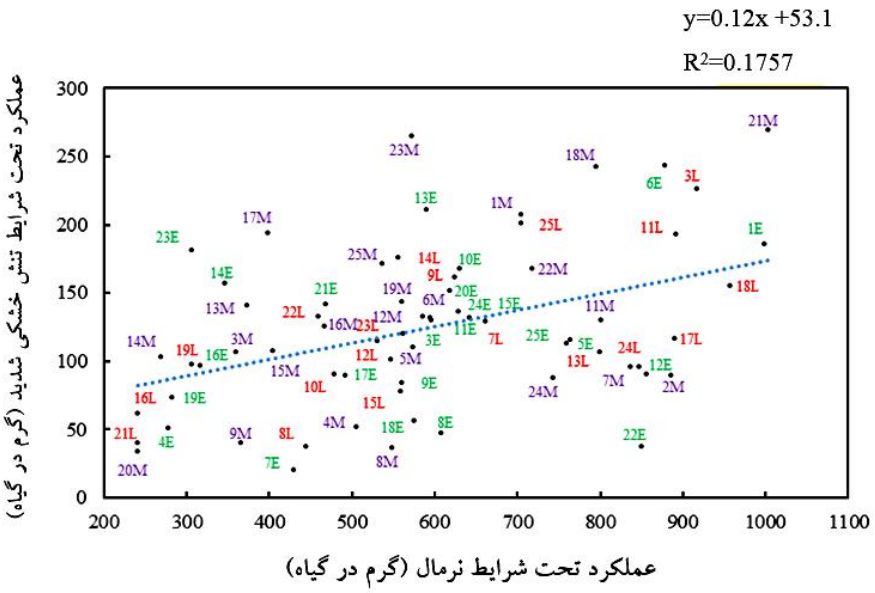
ارتباط بین صفات

اطلاعات مربوط به ارتباط صفات عملکردی و مورفولوژیک با برگشت‌پذیری پس از خشکی، بقا و تحمل به خشکی در گیاه چمانواش بلند بسیار محدود است. بای پلات عملکرد علوفه خشک سالیانه در شرایط نرمال در برابر تنش خشکی متوسط و شدید برای همه ژنوتیپ‌ها در شکل ۲ نشان داد که توزیع

الف) تنش خشکی متوسط



ب) تنش خشکی شدید

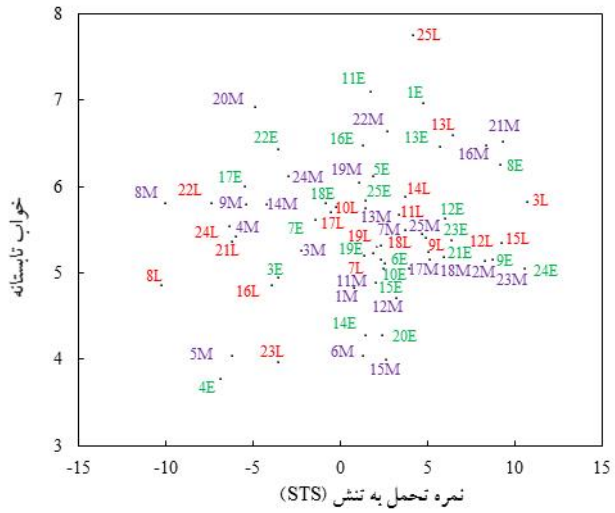


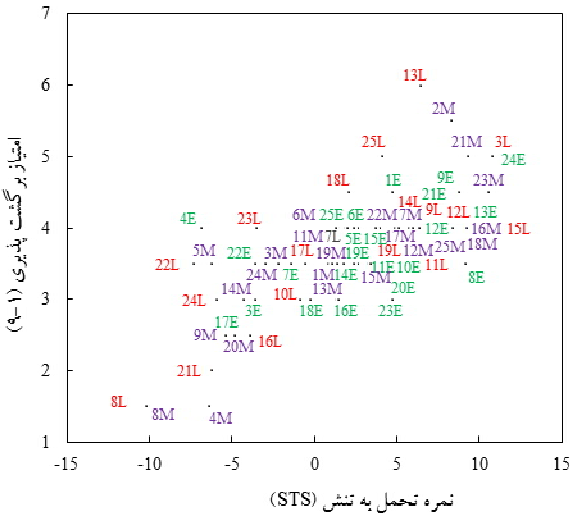
شکل ۲. رابطه بین عملکرد علوفه خشک سالیانه در شرایط نرمال و تنش خشکی متوسط و شدید برای ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند (الف). تنش خشکی متوسط و (ب). تنش خشکی شدید

ژنوتیپ‌ها برای گروه‌های مختلف گلدهی در هر دو شرایط تنش خشکی متفاوت است. در هر دو بای پلات، ژنوتیپ‌های 1E، 21M، 3L، 11L و 18L بیشترین و ژنوتیپ‌های 4E، 20M، 16L و 21L کمترین مقدار عملکرد را داشتند (شکل ۲).

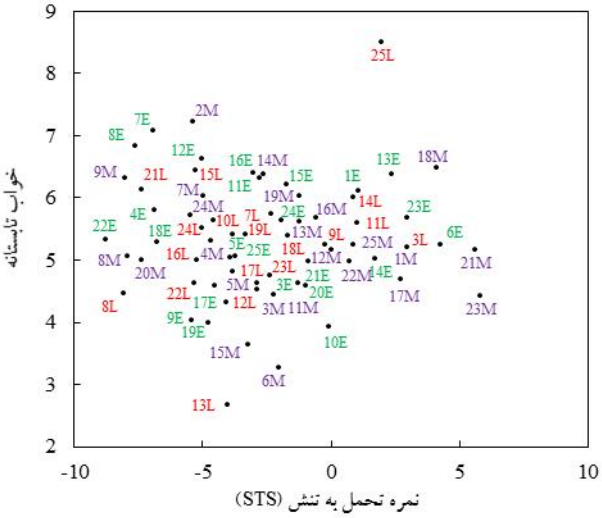
بای پلات نمره تحمل به تنش (STS) در برابر خواب تابستانه و امتیاز برگشت‌پذیری تحت شرایط تنش خشکی متوسط و شدید برای همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بای پلات STS در برابر خواب تابستانه نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی متوسط، گروه‌های گلدهی توزیع خاصی در کل بای پلات نداشتند و ژنوتیپ‌های 1E، 8E، 13E،

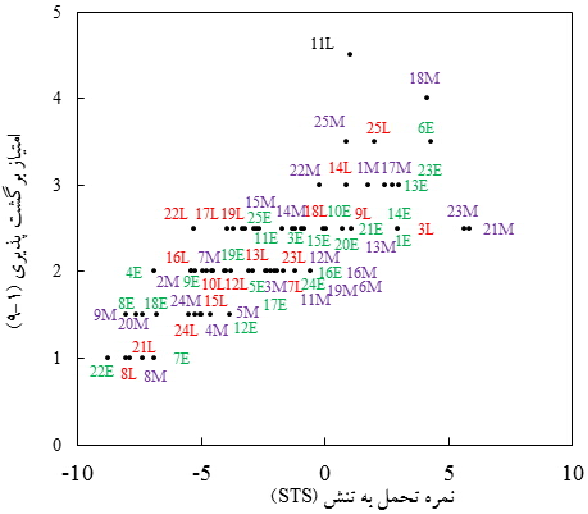
الف) تنش خشکی متوسط





ب) تنش خشکی شدید





شکل ۳. رابطه بین نمره تحمل به تنش (STS) و خواب تابستانه و امتیاز برگشت‌پذیری تحت شرایط تنش خشکی متوسط (الف) و شدید (ب)

16M، 21M و 13L بیشترین و ژنوتیپ‌های 4E، 13E و 5Mکمترین مقدار تحمل به تنش خشکی و خواب تابستانه را دارا بودند. تحت شرایط تنش خشکی شدید ژنوتیپ‌های 1E، 13E، 18M و 25L بیشترین و ژنوتیپ‌های 9E، 8L و 13L کمترین مقدار را داشتند.

نتایج بای پلات STS در برابر امتیاز برگشت‌پذیری تحت شرایط تنش خشکی متوسط نشان داد که ژنوتیپ‌های 24E، 2M، 21M، 3L و 13L بیشترین و ژنوتیپ‌های 8M و8L کمترین مقدار تحمل به تنش خشکی و امتیاز برگشت‌پذیری را داشتند. همچنین تحت شرایط تنش خشکی شدید ژنوتیپ‌های 6E و 18M بیشترین و ژنوتیپ‌های 22E، 8M، 8L و 21L کمترین مقدار تحمل به تنش خشکی و امتیاز برگشت‌پذیری را نشان دادند (شکل ۲). پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که اکوتیپ‌های زودرس علف باغ توانایی بیشتری برای زنده ماندن

از خشکسالی شدید را دارند (۳۴). مقادیر کمتر عملکرد علوفه خشک تابستانه در همه گروه‌های گلدهی می تواند خواب تابستانه کم تا متوسط در این ژرم‌پلاسم را پیشنهاد کند.

رابطه کلی بین صفات مختلف و ژنوتیپ‌ها برای ارزیابی پاسخ‌ها و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر تحت سه تیمار آبیاری با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴).

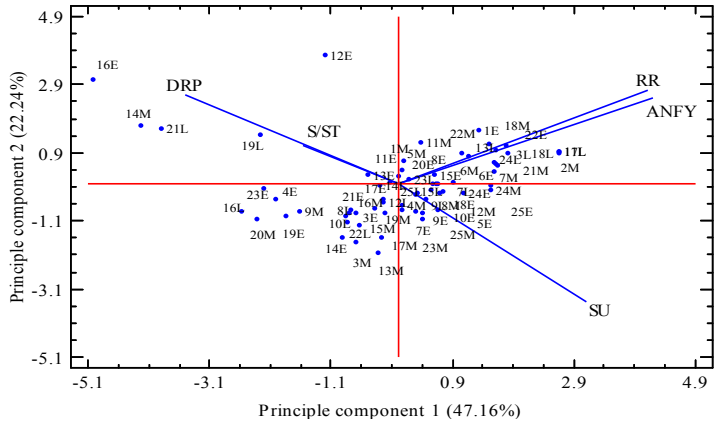
نتایج PCA نشان داد که دو مؤلفه اول (PC1 و PC2) به‌ترتیب بیش از ۶۹، ۸۱ و ۷۴ درصد از کل تغییرات ژنتیکی را تحت شرایط نرمال، تنش خشکی متوسط و شدید توجیه کردند (شکل ۴). بر اساس زاویه بین بردارها، ارتباط مثبتی بین صفات عملکرد علوفه خشک، امتیاز برگشت‌پذیری و نمره تحمل به تنش تحت هر سه تیمار آبیاری مشاهد شد (شکل ۴). این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های دارای امتیاز برگشت‌پذیری بالا می‌توانند از توانایی تحمل به خشکی و عملکرد علوفه خشک بالایی نیز برخوردار باشند. تحت شرایط تنش خشکی متوسط و شدید صفات عملکرد سالیانه و تحمل به تنش با صفت روز تا برگشت‌پذیری همبستگی منفی داشت. این رابطه نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، بازیابی و برگشت‌پذیری سریعتری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها خواهند داشت. بر اساس بای‌پلات PCA تحت دو سطح تنش خشکی متوسط و شدید، ژنوتیپ‌های 1E، 13E از گروه زودرس، 18M، 23M از گروه میان رس و 3L، 11L و 25L از گروه دیررس به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به خشکی، تولید علوفه و برگشت‌پذیری شناسایی شدند. از این رو می‌توان آنها را برای کشت در چمنزارها و تولید علوفه و حتی توسعه ارقام مصنوعی در مطالعات آینده به کار گرفت.

در هر سه محیط آبیاری امتیاز برگشت‌پذیری و عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری همبستگی بالایی با هم داشتند. بنابراین انتخاب بر اساس یکی از این صفات می‌تواند سبب بهبود دیگری گردد. بین بقا با روز تا برگشت‌پذیری در هر سه سطح تنش خشکی ارتباط منفی مشاهده شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها با قدرت بقا بیشتر مدت زمان کمتری برای بازیابی بافت‌های مرده و برگشت‌پذیری نیاز دارند. تحت شرایط نرمال صفات به سه گروه مجزا شامل: گروه اول شامل بقا (با PC1 بالا و PC2 پایین)، گروه دوم شامل صفات عملکردی و امتیاز برگشت‌پذیری (با PC1 بالا و PC2 بالا) و گروه سوم شامل خواب تابستانه و روز تا برگشت‌پذیری (PC1 پایین و PC2 بالا) تقسیم شدند. تحت این شرایط، انتخاب بر اساس PC1 بالا منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با تولید ماده خشک بیشتر، پایداری عملکرد به‌همراه برگشت‌پذیری بهتری خواهد شد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های 2M، 24M، 8L، 11L و 17L به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند (شکل ۴-الف). در مقابل ژنوتیپ‌های 12E، 21E، 19L و 23L دارای خواب تابستانه زیاد و عملکرد کم بودند.

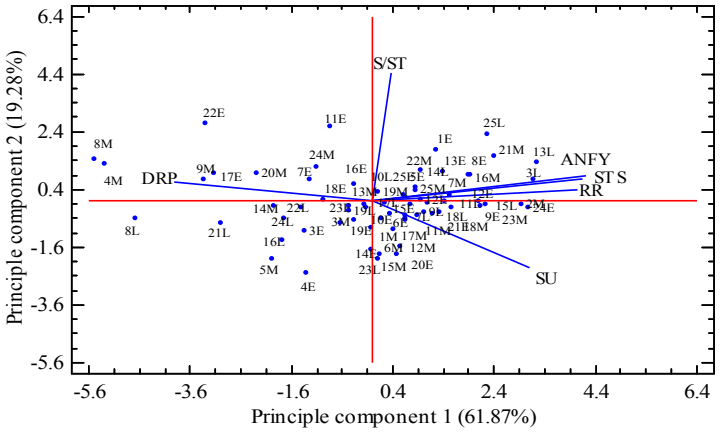
تحت شرایط تنش خشکی متوسط، PC1 با صفات بقا، امتیاز برگشت‌پذیری، عملکرد سالیانه و نمره تحمل به تنش ارتباط مثبت داشت و PC2 با خواب تابستانه و روز تا برگشت‌پذیری رابطه منفی داشت (شکل ۴-ب). انتخاب ژنوتیپ‌ها با PC1 و PC2 بالا منجر به بهبود عملکرد محصول، پایداری عملکرد و زنده ماندن بالا در شرایط تنش خشکی متوسط می‌شود. در این رابطه، ژنوتیپ‌های 9E، 24E، 2M، 23M و 3L با بقای مناسب و تولید بالا و تحمل به شرایط کم آبی، ژنوتیپ‌های برتر بودند. با این حال، ژنوتیپ‌های 4M، 8M، 9M و 8L پتانسیل کمی برای تولید علوفه داشتند و تحت این محیط به‌عنوان ژنوتیپ غیر متحمل به خشکی شناخته شدند (شکل ۴).

بر اساس توزیع ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر روی بای پلات PCA تحت شرایط تنش خشکی شدید، ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر، برگشت‌پذیری بهتر و تحمل به تنش خشکی بالاتر مشخص شدند. تحت شرایط تنش شدید خشکی، PC1 ارتباط نزدیک‌تری با صفات عملکرد سالیانه، امتیاز برگشت‌پذیری، بقا و تحمل به تنش خشکی داشت و PC2 با خواب تابستانه و روز تا برگشت‌پذیری ارتباط مثبت داشت. این در حالی بود که بقا با روز تا برگشت‌پذیری همبستگی منفی داشت. بر این اساس،

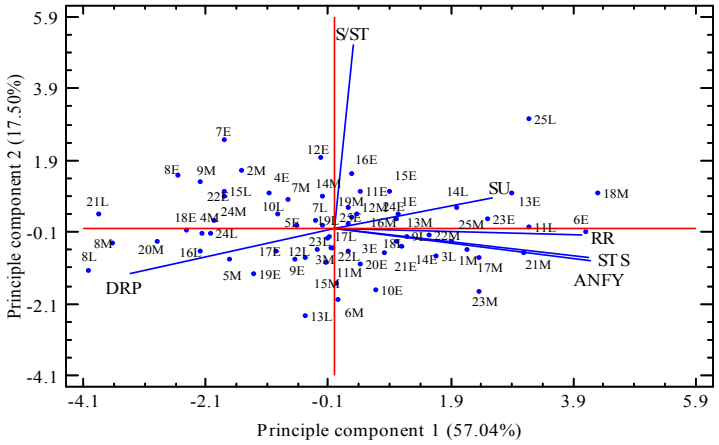
الف) شرایط نرمال



ب) تنش خشکی متوسط



پ) تنش خشکی شدید



شکل ۴. بای پلات صفات مورد بررسی در ۶۷ ژنوتیپ چمانواش بلند تحت سه سطح تنش خشکی مختلف نرمال (الف)، تنش خشکی متوسط (ب) و شدید (پ)

S/SP: خواب تابستانه، ANFY: عملکرد سالیانه، STS: نمره تحمل به تنش، SU: بقا، RR: امتیاز برگشت‌پذیری، DRP: روز تا برگشت‌پذیری

ژنوتیپ‌های 6E، 13E، 23E، 1M، 17M، 18M، 21M، 25M و 11L به‌عنوان نماینده هر یک از مجموعه‌های گلدهی به‌عنوان ژنوتیپ‌های ترجیحی و مناسب برای مناطق نیمه خشک و خشک شناخته شدند. همچنین تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای خواب تابستانه، خصوصیات برگشت‌پذیری و تحمل به شرایط خشکی در بین سه مجموعه گلدهی ژنوتیپ‌های چمانواش بلند مشاهده شد که بیانگر انتخاب مفید در این ژرم-پلاسم خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ‌های چمانواش بلند برای تحمل به خشکی، ویژگی‌های عملکردی و برگشت‌پذیری پس از خشکی در بین و درون گروه‌های گلدهی تحت شرایط نرمال و تنش خشکی مشاهده شد که این تنوع نشان‌دهنده پتانسیل بالای ژرم‌پلاسم مورد مطالعه برای بهبود این صفات از طریق انتخاب هدفمند در برنامه‌های اصلاح نژادی است. نتایج این مطالعه نشان داد که تنوع قابل توجهی برای صفات مورد بررسی بین سه گروه چمانواش بلند وجود دارد و بهتر است انتخاب بر اساس هدف مورد نظر و از ژنوتیپ‌های داخل هر گروه گلدهی صورت گیرد. نتایج نشان داد که اکثر ژنوتیپ‌ها با عملکرد علوفه بیشتر قادر به رشد مجدد و بهبود پس از تنش طولانی مدت خشکی هستند. بیشتر ژنوتیپ‌های دیررس از این نظر برتر بودند.

در محیط نرمال، خواب تابستانه با صفت روز تا برگشت‌پذیری ارتباط زیادی داشت، اما تحت تأثیر محیط‌های تنش خشکی این ارتباط کاهش یافت که نشان‌دهنده تاثیر محیط تنش بر روی این گیاه است. صفات مورفولوژی با صفات برگشت‌پذیری و بازیابی و عملکرد علوفه خشک به همراه نمره تحمل به تنش خشکی ارتباط داشت و می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس ویژگی‌های مورد مطالعه و با استفاده از روش PCA، ژنوتیپ‌های 1E، 9E، 13E، 24E، 2M، 18M، 21M، 3L، 8L، 11L و 17L به‌عنوان نماینده هر یک از گروه‌های گلدهی به عنوان ژنوتیپ پایدار و مقاوم به خشکی شناخته شدند که می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی آتی برای توسعه انواع مصنوعی، کشت در مراتع و چمنزارها و به‌عنوان خوراک در صنعت دام استفاده شوند. ژنوتیپ‌های 1E، 24E، 10E، 13E و 21E از گروه زودرس، 18M، 21M و 2M از گروه میان‌رس و 18L، 3L، 11L و 9L از گروه دیررس دارای عملکرد و تحمل به خشکی بالا و بقای مناسب بودند و برای تولید علوفه مناسب هستند در حالی که ژنوتیپ‌های 19E و 14E از گروه زودرس، ژنوتیپ‌های 3M، 15M و 16M از گروه میان‌رس و 19L از گروه دیررس دارای عملکرد پایین اما بقا، برگشت‌پذیری و خواب مناسب داشتند و مناسب برای کاشت در فضاهای سبز شهری و کشت چمنی بودند. تلاقی بین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به خشکی برای ایجاد نقشه و مطالعه ژنتیکی برای صفات مورفولوژی، برگشت‌پذیری و ویژگی‌های عملکردی در چمانواش بلند، جهت مطالعات آینده مفید خواهد بود.

منابع مورد استفاده

1. Abdolshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S. Pourseyedi and G. Mohamadi-Nejad. 2012. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 685-704.
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Penman-Monteith equation. pp. 20-47, Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
3. Annicchiarico, P., L. Pecetti, H. Bouzerzour, R. Kallida, A. Khedim, C. Porqueddu, N. M. Simões, F. Volaire and F. Lelièvre. 2011. Adaptation of contrasting cocksfoot plant types to agricultural environments across the

Mediterranean basin. *Environmental and Experimental Botany* 74: 82-89.
4. Bidinger, F. R., V. Mahalakshmi and G. D. P. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. I. Factors affecting yields under stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 37-48.
5. Blum, A. 2010. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer Science and Business Media. Springer-Verlag, New York.
6. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh Jr. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
7. Chai, Q., F. Jin, E. Merewitz and B. Hung. 2010. Growth and physiological traits associated with drought survival and post-drought recovery in perennial turfgrass species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135: 125-133.
8. Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogée, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, C. Bernhofer, A. Carrara and F. Chevallier. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533.
9. Coon, J. J., N. J. Lyon, E. J. Raynor, D. M. Debinski, J. R. Miller and W. H. Schacht. 2021. Using adaptive management to restore grasslands invaded by tall fescue (*Schedonorus arundinaceus*). *Rangeland Ecology and Management* 76: 84-94.
10. Cullen, B. R., D. F. Chapman and P. E. Quigley. 2005. Persistence of *Phalaris aquatica* in grazed pastures. Plant and tiller population characteristics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 41-48.
11. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua, Taiwan. Volume 1, pp. 257-270.
12. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
13. Fleta-Soriano, E. and S. Munne-Bosch. 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: A physiological perspective. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-6.
14. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campanile, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of plant science* 77: 523-531.
15. Gheysari, M., S. M. Mirlatifi, M. Bannayan, M. Homaee and G. Hoogenboom. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management* 96: 809-821.
16. Gibson, D. J. and J. A. Newman. 2001. *Festuca arundinacea* Schreber (F. elatior L. ssp. arundinacea (Schreber) Hackel). *Journal of Ecology* 89: 304-324.
17. Hossain, A. B. S., R. G. Sears, T. S. Cox and G. M. Paulsen. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science* 30: 622-627.
18. Huang, B. and Z. Wang. 2005. Physiological recovery of *Kentucky bluegrass* from drought stress. *International Turfgrass Society Research Journal* 10: 867-873.
19. IPCC. 2014. Climatic change 2014. Impacts, adaptation, and vulnerability. 5th Assessment Report (AR5), Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
20. Nie, Z. N., S. Miller, G. A. Moore, B. F. Hackney, S. P. Boschma, K. F. M. Reed, M. Mitchell, T. O. Albertsen, S. Clark, A. D. Craig and G. Kearney. 2008. Field evaluation of perennial grasses and herbs in southern Australia. 2. Persistence, root characteristics and summer activity. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 424-435.
21. Norton, M. R., F. Volaire and F. Lelièvre. 2006. Summer dormancy in *Festuca arundinacea* Schreb.; the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 57: 1267-1277.
22. Norton, M. R., F. Volaire, S. Fukai and F. Lelievre. 2008. Measurement of summer dormancy in temperate perennial pasture grasses. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 498-509.
23. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi, G. 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: 1-16.
24. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi, G. Saeidi, M. Gheysari, F. Volaire, P. Barre, A. H. Osivand and D. Sarfaraz. 2017. Persistence, recovery and root traits of tall fescue genotypes with different flowering date under prolonged water stress. *Euphytica* 213: 1-15.
25. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi, F. Saeidnia, B. Hoseini, A. F. Mirlohi and M. Abdolahi. 2018. Genetics of post-drought recovery, persistence and summer dormancy in orchardgrass (*Dactylis glomerata*). *Crop and Pasture Science* 69: 1140-1149.
26. Pirnajmedin, F., M. M. Majidi, H. Taleb, G. Saeidi and S. Shojaiefar. 2020. Genotypic-specific response to exogenous applied salicylic acid in tall fescue under different irrigation conditions. *Crop Science* 60: 1123-1130.

27. Ramirez-Vallejo, P. and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
28. Raynor, E. J., D. A. McGranahan, J. R. Miller, D. M. Debinski, W. H. Schacht and D. M. Engle. 2021. Moderate grazer density stabilizes forage availability more than patch burning in low-stature grassland. *Land* 10: 1-11.
29. Rechinger, K. H. 1963. Gramineae. pp. 120-131, In: N. L. Bor (ed.), Flora Iranica. Akademische Druck und Verlagsanstalt, Graz.
30. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 943-946.
31. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi and B. Ahmadi. 2018. Physiological responses of drought tolerance in orchardgrass (*Dactylis glomerata*) in association with persistence and summer dormancy. *Crop and Pasture Science* 69: 515-526.
32. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Manafi. 2017. Productivity, persistence and traits related to drought tolerance in *smooth bromegrass*. *Plant Breeding* 136: 270-278.
33. 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 glomerata* L.). *Euphytica* 216: 1-17.
34. Shaimi, N., R. Kallida, F. Volaire, N. Saidi and C. A. Faiz. 2009. Summer dormancy and drought survival of Moroccan ecotypes of orchardgrass. *Crop Science* 49: 1416-1424.
35. Shojaei, P., M. Gheysari, H. Nouri, B. Myers and H. Esmaeili. 2018. Water requirements of urban landscape plants in an arid environment: The example of a botanic garden and a forest park. *Ecological engineering* 123: 43-53.
36. Tester, M. and P. Langridge. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327: 818-822.
37. Volaire, F., K. Barkaoui and M. Norton. 2014. Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy* 52: 81-89.
38. Volaire, F. and M. Norton. 2006. Summer dormancy in perennial temperate grasses. *Annals of botany* 98: 927-933.
39. Waller, R. A. and P. W. G. Sale. 2001. Persistence and productivity of perennial ryegrass in sheep pastures in south-western Victoria: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 117-144.
40. Zhang, L., T. Wang, G. Wang, A. Bi, M. Wassie, Y. Xie, L. Cao, H. Xu, J. Fu, L. Chen and Y. Zhao. 2021. Simultaneous gene editing of three homoeoalleles in self-incompatible allohexaploid grasses. *Journal of Integrative Plant Biology* 63: 1-6.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Study of Traits Related to Yield, Drought Tolerance, Summer Dormancy, and Post-Drought Recovery in Tall Fescue

M. H. Taleb[1], M. M. Majidi[2*], A. M. Mirmohammady Maibody[2] and F. Pirnajmedin[3]

(Received: October 18-2021; Accepted: November 27-2021)

Abstract

This study was performed to investigate the effects of drought stress on agronomic traits, post-drought recovery, and survival of tall fescue genotypes in the Research Farm of the Isfahan University of Technology located in Lavark, Najafabad, central Iran. In this study, 67 tall fescue genotypes, including three groups of the early, medium, and late in terms of flowering were studied. All genotypes were fully irrigated after planting for two years (2016-2017) and then in the third and fourth years (2018-2019) were examined under three irrigation environments including normal water (50% moisture depletion) mild drought stress (70% moisture depletion), and intense drought stress (90% moisture depletion). Morphological and performance traits were examined. In the summer of the fourth year (2019) after the summer harvest, irrigation was stopped in all drought stress levels for two months. Then the plants were irrigated again for six weeks, and after regrowth, recovery-related traits were evaluated. High genetic diversity was observed among tall fescue genotypes for all measured traits. The results showed that drought stress had adverse effects on forage yield and yield components, recovery traits, and survival. Prolonged drought stress changed the relationships between different traits. Significant positive correlation between the forage yield and recovery rate with drought tolerance indicated that these traits could be used as appropriate selection criteria to increase forage yield and identify superior genotypes in arid and semi-arid regions. The results of this study indicated low to moderate summer dormancy (incomplete summer dormancy) in this germplasm. Negative correlation of functional and stress tolerance traits with day to recovery under drought stress conditions showed that drought tolerant genotypes will have faster recovery than other genotypes. The results showed that some late flowering genotypes (such as 3L, 18L and 11L) are valuable gene sources for forage production. Drought tolerant genotypes with suitable yield in three flowering groups were identified using the biplot and principal component analysis method. These genotypes can be useful for breeding programs in future studies.

Keywords: Selection, Genetic diversity, Performance, Relationship among traits

1, 2 and 3. PhD student, Professor of Plant Genetics and Breeding and Postdoctoral Researcher, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*: Corresponding Author, Email: majidi@iut.ac.ir