

Genetic diversity for drought tolerance and recovery in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) genotypes

Ahmadreza Behrooz 

PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email address: ahmadrezabehrooz77@gmail.com

Mohammad Mahdi Majidi 

*Corresponding Author: Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email address: majidi@iut.ac.ir

Marzieh Salimi Ghalehtaki 

PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email address: marziehsalimi232@gmail.com

Mohammad Hadi Taleb 

Former PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email address: mh.talebs@gmail.com

Abstract

Objective

Recurrent droughts and limited water resources pose a serious threat to forage production and turf quality in arid and semi-arid regions. Identifying genotypes with high post-drought recovery potential can serve as a key strategy for enhancing resilience and sustainability in breeding programs. This study aimed to evaluate genetic diversity and identify superior tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. syn. *Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh.) genotypes based on their recovery following drought stress.

Materials and Methods

A total of 108 tall fescue genotypes were evaluated under field conditions from 2018 to 2022 under two irrigation regimes (normal and severe drought stress). In the fourth year, irrigation was withheld for 60 days during the summer and subsequently resumed. The assessed traits included green and dry forage recovery, leaf height recovery, crown diameter recovery, and an overall

recovery score. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), correlation, and principal component analysis (PCA).

Results

The results of ANOVA revealed that irrigation regime, genotype, and their interaction significantly affected all measured traits ($P < 0.01$). Severe drought stress significantly reduced performance, with mean dry forage recovery under stress decreasing by approximately 24 percent compared to normal conditions. Nevertheless, substantial genetic variation was observed among genotypes. The average recovery score declined from 6.0 under regular irrigation to 4.4 under severe drought, indicating a significant impairment of recovery capacity. Strong positive correlations were observed between green forage recovery and other key traits: dry forage recovery ($r = 0.96$), leaf height recovery ($r = 0.92$), and crown diameter recovery ($r = 0.81$). PCA showed that the first two principal components collectively explained for 90 percent of the total variance. Based on this analysis, several genotypes exhibiting high recovery scores and adequate agronomic performance were identified as promising candidates for use as parents in breeding programs.

Conclusion

Post-drought recovery serves as a reliable and effective indicator for identifying drought-tolerant tall fescue genotypes. Genotypes exhibiting high recovery scores demonstrated not only enhanced restoration of performance following stress but also superior morphological characteristics. Therefore, incorporating post-drought recovery as a key screening criterion presents an effective strategy for improving turf quality and resilience under prolonged drought conditions.

Keywords: Cool-season grasses, Drought, Persistence, Regrowth, Summer dormancy.

Paper Type: Research Paper.

Citation: Behrooz AR, Majidi MM, Salimi Ghalehtaki M, Taleb MH (2024) Genetic diversity for drought tolerance and recovery in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) genotypes. *Journal of Genetics and Plant Breeding* 1 (2), 115–132.

Journal of Genetics and Plant Breeding 1 (2), 115-132.

DOI: 10.22103/gpb.2025.5224

Received: October 4, 2024.

Received in revised form: December 19, 2024.

Accepted: December 23, 2024.

Published online: December 27, 2024.


Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society.



© the authors




تنوع ژنتیکی تحمل به کم آبی و برگشت پذیری در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.)

احمد رضا بهروز 

دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه:

ahmadrezabehrooz77@gmail.com

محمد مهدی مجیدی 


*نویسنده مسئول: استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه:

majidi@iut.ac.ir

مرزیه سلیمی قلعه تکی 

دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه:

marziehsalimi232@gmail.com

محمد هادی طالب 

دانش‌آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه:

mh.talebs@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت فایل اصلاح شده نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳

چکیده

هدف: خشکسالی‌های مکرر و محدودیت منابع آبی، تهدیدی جدی برای پایداری تولید علوفه و کیفیت چمن در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. شناسایی ژنوتیپ‌های دارای توان برگشت‌پذیری بالا پس از تنش خشکی می‌تواند شاخصی کلیدی برای افزایش تاب‌آوری و پایداری در برنامه‌های به‌نژادی گراس‌های فصل خنک باشد. این پژوهش با هدف بررسی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر چمانواش بلند (*Lolium arundinaceum* (Schreb.)) از نظر برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی طولانی مدت انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۱۰۸ ژنوتیپ چمانواش بلند (فسکیوی بلند) طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۷ در شرایط مزرعه‌ای تحت دو رژیم آبیاری نرمال و کم آبیاری (تنش خشکی) ارزیابی شدند. در سال چهارم، آبیاری به مدت ۶۰ روز در تابستان قطع شد، تا آثار خشکی طولانی‌مدت در ژنوتیپ‌ها ظاهر شود و سپس متعاقباً (به مدت شش هفته) از سر گرفته شد. پس از رشد مجدد، صفات عملکرد علوفه تر و خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگ برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیری و امتیاز برگشت‌پذیری اندازه‌گیری و آنالیز شدند.

نتایج: اثر رژیم آبیاری، ژنوتیپ و برهم‌کنش آن‌ها بر تمام صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میانگین عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری در تیماری که سال‌ها تحت کم آبیاری بود (تیمار تنش خشکی)، ۲۴ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. با این حال، تنوع ژنتیکی گسترده‌ای بین ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید. امتیاز برگشت‌پذیری از ۶ در شرایط نرمال، به ۴/۴ در شرایط کم آبیاری کاهش یافت، که نشان‌دهنده کاهش قابل توجه توان بازیابی ژنوتیپ‌ها بود. همبستگی مثبت و قوی بین عملکرد علوفه تر برگشت‌پذیری با عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری (۰/۹۶)، ارتفاع برگشت‌پذیری (۰/۹۲) و قطر طوقه برگشت‌پذیری (۰/۸۱) مشاهده شد. همچنین تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد دو مؤلفه نخست بیش از ۹۰ درصد واریانس کل داده‌ها را تبیین کردند و ژنوتیپ‌های برتر در نزدیکی صفات عملکردی و برگشت‌پذیری قرار گرفتند. چند ژنوتیپ شاخص با امتیاز بالای برگشت‌پذیری و عملکرد مناسب شناسایی شدند که پتانسیل استفاده به‌عنوان والدین را در برنامه‌های به‌نژادی دارند.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که برگشت‌پذیری پس از خشکی شاخصی قابل اعتماد و کارآمد برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل چمانواش بلند است. همچنین تیمار کم آبیاری تاثیر معنی‌داری بر نمود ژنوتیپ‌های چمانواش بلند پس از وقوع تنش خشکی شدید دارد. ژنوتیپ‌های دارای امتیاز برگشت‌پذیری بالا نه تنها توانایی بیشتری در بازیابی عملکرد پس از تنش دارند، بلکه از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی نیز برتری نشان دادند. بنابراین، به‌کارگیری این شاخص در غربالگری می‌تواند راهبردی مؤثر برای بهبود پایداری و کیفیت چمن‌ها در شرایط خشکی طولانی‌مدت باشد.

کلیدواژه‌ها: پایداری، خشکسالی، خواب تابستانه، رشد مجدد، گراس فصل خنک.

نوع مقاله: پژوهشی.

استناد: بهروز احمدرضا، مجیدی محمد مهدی، سلیمی قلعه‌تکی مرضیه، طالب محمد هادی (۱۴۰۳) تنوع ژنتیکی تحمل به کم‌آبی و برگشت‌پذیری در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.). *مجله ژنتیک و به‌نژادی گیاهی*، (۲)، ۱۱۵-۱۳۲.

Publisher: Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman and Iranian Genetics Society



© the authors

تغییرات اقلیمی با افزایش دما، کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی‌های شدید از چالش‌های اصلی محیطی در دهه‌های اخیر می‌باشد (Ferioun et al. 2025)، که این تغییرات تهدیدی جدی برای سیستم‌های کشاورزی در سراسر جهان محسوب می‌شود (Bernardo et al. 2025). خشکسالی به‌عنوان یک پدیده طبیعی پیچیده و تدریجی، یکی از رایج‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی است که با طول مدت و گستردگی جغرافیایی خود شناخته می‌شود و بیشترین تأثیر مخرب را بر رشد و تولید محصولات کشاورزی و سلامت گیاهان دارد (Safari & Majidi 2025; Wang et al. 2025). طبق سناریوهای پیش‌بینی شده تغییرات اقلیمی، در صورت تداوم روند افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، میانگین دمای سالانه زمین ممکن است بین ۱/۵ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش یابد (Masson-Delmotte et al. 2021)، که این موضوع به نوبه خود منجر به دوره‌های خشکسالی طولانی‌تر و شدیدتر در اکثر مناطق کشت محصولات کشاورزی در جهان خواهد شد.

چمنزارها که حدود ۷۰ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان را پوشش می‌دهند (Squires et al. 2018)، نقش مهمی در تنظیم آب و هوا، تثبیت کربن، حفاظت و غنی‌سازی خاک، تولید علوفه برای دامداری، کمربند سبز و حفظ تنوع زیستی دارند (Pirnajmedin et al. 2024). از آنجایی که این گیاهان بیش از سه برابر هر محصول دیگری زمین را اشغال کرده‌اند، نخستین گروهی خواهند بود که اثرات محدودیت منابع آبی ناشی از خشکسالی را تجربه می‌کنند (Tate et al. 2023). در فصل خشک، کاهش آب در دسترس، رشد و کیفیت چمن‌ها را محدود کرده، موجب پژمردگی برگ‌ها و کاهش مزایای اکولوژیکی آن‌ها می‌شود (Wang et al. 2025). بدین ترتیب که، رنگدانه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه، زیست توده، رشد، پایداری، بقا و در نهایت عملکرد علوفه و اجزای آن در گونه‌های علفی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Pirnajmedin et al. 2024). طولانی شدن دوره خشکی محدودیت‌های شدیدتری بر رشد طبیعی تحمیل می‌کند و باعث کاهش کیفیت و شروع خواب تابستانی گیاه می‌گردد (Arikilla et al. 2025).

خواب تابستانی به‌عنوان توانایی چمن برای زنده ماندن بدون آب به مدت ۶۰ روز بین ماه‌های مه تا سپتامبر تعریف شده است (Steinke et al. 2011). این رویداد، به‌عنوان شاخص کلیدی تحمل به خشکی، در گراس‌های چندساله فصل سرد شناخته می‌شود (Saeidnia et al. 2022). در دوره خواب، برگ‌ها خشکیده و از بین می‌روند، اما تاج گیاه زنده می‌ماند و پس از بازگشت شرایط مناسب رویشی، رشد دوباره آغاز می‌شود. توانایی گیاه در شروع مجدد رشد و بازگشت به کیفیت عملکردی و زیبایی پس از یک دوره خشکسالی، به‌عنوان توانایی برگشت‌پذیری پس از خشکی تعریف می‌شود (Luo, 2010). این ظرفیت به مکانیسم‌هایی مانند حفظ نقاط رشد سالم، رشد جبرانی بافت‌های باقی‌مانده و بسیج ذخایر کربوهیدرات بستگی دارد و با ویژگی‌هایی نظیر سیستم ریشه‌ای گسترده، تحمل کم‌آبی در بافت‌های باقی‌مانده و خواب تابستانی مرتبط است (Pirnajmedin et al. 2017; Saeidnia et al. 2022). بنابراین، در گراس‌های چندساله، توانایی بقا و برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی طولانی مدت اهمیت ویژه‌ای دارد و حتی در برخی موارد از تولید عملکرد بالاتر نیز مهم‌تر است (Taleb et al. 2023).

مطالعات متعددی ظرفیت برگشت‌پذیری را در گونه‌های چمنی سردسیری از جمله فستوکا (Pirnajmedin et al. 2016; Taleb et al. 2023; Pirnajmedin et al. 2017; Taleb et al. 2023) علف باغ (Pirnajmedin et al. 2018; Saeidnia et al. 2020b) و بروموگراس (Saeidnia et al. 2019; Saeidnia et al. 2020) بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه Taleb et al. (2023) نشان داد که در میان گراس‌های فصل سرد، چمانواش بلند (*Festuca arundinacea* Schreb. syn. *Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh) بیشترین توانایی برگشت‌پذیری پس از خشکی طولانی را دارا می‌باشد. چمانواش بلند یک گونه چندساله مهم فصل سرد است که علاوه بر خوراک دام، در صنعت چمن و اهداف حفاظتی کاربرد دارد (Kirigwi & Saha 2022). تحمل بالای این گونه در برابر گرما و خشکی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای عمیق که قادر به جذب آب از لایه‌های زیرین خاک است و همچنین برگ‌هایی با پوشش مومی که موجب کاهش تعرق و حفظ رطوبت می‌شوند، آن را به یک گونه‌ی مطلوب برای کشت در شرایط تنش تبدیل کرده است (Novello et al. 2025). نتایج مطالعات برگشت‌پذیری نشان می‌دهد ژنوتیپ‌هایی که دارای سیستم ریشه‌ای وسیع‌تر و شاخص تحمل بالاتر هستند، از سرعت برگشت‌پذیری بیشتری برخوردارند (Saeidnia et al. 2020a; Taleb et al. 2023). بررسی‌های Pirnajmedin et al. (2017) نیز حاکی از آن است که صفاتی مانند طول، سطح، حجم و وزن ریشه همبستگی مثبتی با برگشت‌پذیری دارند و ژنوتیپ‌های دیررس چمانواش بلند از پایداری و برگشت‌پذیری بالاتری برخوردارند. همچنین مطالعه Saeidnia et al. (2020) نشان داد که تحمل در برابر خشکی با صفات مورفولوژیکی و رشد بهاره مرتبط بوده و ژنوتیپ‌های پایدار قادرند این ویژگی‌ها را به نسل‌های بعدی منتقل کنند. افزون بر این، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که برخی مداخلات مانند مصرف سالیسیلیک اسید می‌تواند برگشت‌پذیری و ویژگی‌های ریشه‌ای گیاه را بهبود بخشد (Saeidnia et al. 2020a).

با توجه به افزایش تعداد دوره‌های خشکسالی در اثر تغییرات اقلیمی، پژوهش برای کاهش خسارات خشکسالی و حفظ بهره‌وری اکوسیستم‌های مدیریت‌شده و طبیعی اهمیت ویژه‌ای یافته است (Liu et al. 2021). با وجود اهمیت برگشت‌پذیری در تعیین عملکرد و پایداری گیاهان علوفه‌ای، اطلاعات جامع درباره ژنوتیپ‌های چمانواش بلند تحت رژیم‌های مختلف آبیاری محدود است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های چمانواش بلند از نظر پایداری و توانایی برگشت‌پذیری پس از خشکی شدید در تیمارهای مختلف رطوبتی طراحی شد.

مواد و روش‌ها

محل و شرایط آزمایش: مطالعه حاضر، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان، واقع در لورک، نجف آباد، ایران (۳۲° درجه و ۳۸ دقیقه شمالی، ۵۱° درجه و ۳۹ دقیقه شرقی، ۱۶۲۷ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. بر اساس داده‌های هواشناسی ۴۰

ساله، میانگین سالانه بارندگی و دمای این منطقه به ترتیب ۱۲۵ میلی‌متر و ۱۷ درجه سلسیوس گزارش شده است. این منطقه از اوایل خرداد تا اواسط مهر، بارندگی ندارد و تمامی محصولات تحت آبیاری قرار می‌گیرند.

مواد گیاهی و طراحی آزمایش: در این مطالعه، تعداد ۱۰۸ ژنوتیپ چمانواش بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.)

(syn. *Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh.) بر اساس صفات مرتبط با بهره‌وری و یافته‌های مطالعات پیشین

(Taleb et al. 2023) انتخاب شدند. ژنوتیپ‌ها ابتدا به صورت کلونی به مدت سه ماه در گلخانه کشت شدند و سپس در اوایل

اسفند ۱۳۹۷ به مزرعه تحقیقاتی منتقل شدند. گیاهان تحت آبیاری کامل قرار گرفتند تا استقرار آن‌ها تکمیل شود.

ژنوتیپ‌ها در آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در طول فصل‌های

رشد ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ ارزیابی شدند. در این آزمایش فاکتور اصلی رژیم آبیاری (تنش خشکی شدید و عدم تنش) و فاکتور فرعی ژنوتیپ

(۱۰۸ ژنوتیپ) بود. هر بلوک شامل یک کلون از هر ژنوتیپ بود که با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر کاشته شدند. آبیاری تحت فشار

(قطره‌ای) به صورت منظم اعمال شد. در این دوره، آبیاری در تیمار کنترل بدون محدودیت و زمانی انجام شد که حدود ۵۰ درصد آب

قابل استفاده در ناحیه ریشه، بر اساس اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک با دستگاه Time Domain Reflectometry، تخلیه

شده بود، در حالی که در تیمار خشکی شدید، آبیاری پس از تخلیه ۹۰ درصد آب قابل استفاده در ناحیه ریشه انجام شد (Allen et al. 1998).

تنش خشکی از اوایل اردیبهشت تا اوایل مهر هر سال و به صورت متناوب تا پایان سال سوم، اعمال شد. فاصله آبیاری

بین تیمارها با توجه به شرایط آب و هوایی متغیر بود (۵ تا ۹ روز در عدم تنش و ۱۴ تا ۲۸ روز در تنش خشکی شدید). در سال

چهارم تنش خشکی شدید فقط برای چین بهاره اجرا شد و پس از آن آبیاری به طور کامل برای هر دو رژیم آبیاری قطع شد.

ارزیابی برگشت‌پذیری پس از خشکسالی: در سال چهارم آزمایش (۱۴۰۱)، توانایی برگشت‌پذیری پس از خشکی برای

تمامی ژنوتیپ‌های هر دو تیمار (محیط نرمال و تحت تنش خشکی شدید) ارزیابی شد. در تیرماه، پس از برداشت چین بهاره، آبیاری

تمامی تیمارها برای اعمال خشکسالی شدید طولانی مدت، به مدت ۶۰ روز (Steinke et al. 2011)، قطع شد تا شاخ و برگ

گیاهان کاملاً خشک شود. دوره‌ای که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و مطالعات پیشین (Pirnajmedin et al. 2021)، تعیین

گردید. پس از پایان دوره خشکی، ژنوتیپ‌ها تا ظرفیت مزرعه آبیاری شدند تا امکان بازیابی پس از تنش فراهم شود.

شش هفته پس از آبیاری مجدد (Pirnajmedin et al. 2021)، دوره‌ای که بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای و تجربی

نشان‌دهنده تکمیل رشد مجدد و بازیابی گیاهان می‌باشد، صفات مرتبط با برگشت‌پذیری شامل عملکرد علوفه تر برگشت‌پذیری،

عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیری و امتیاز برگشت‌پذیری اندازه‌گیری شدند. پیش

از برداشت علوفه، ارتفاع برگشت‌پذیری گیاهان به صورت میانگین اندازه سه برگ بالایی از تاج تا نوک برگ اندازه‌گیری شد. عملکرد

علوفه تر برگشت‌پذیری با وزن‌گیری هر ژنوتیپ پس از برداشت ثبت شد. سپس ژنوتیپ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲

درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از خشک شدن عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری ثبت شد. پس از برداشت علوفه، قطر طوقه

هر گیاه برگشت‌پذیر، با استفاده از خط‌کش از چند جهت اندازه‌گیری و به طور میانگین ثبت شد. امتیاز برگشت‌پذیری (کیفیت چمن)

به‌صورت چشمی با مقیاس ۰ تا ۹ ارزیابی شد. در این مقیاس برگ‌های سبز، کاملاً آبدار و تازه امتیاز ۹ و برگ‌های خشک یا مرده ۰ امتیاز دریافت کردند (Beard 1973; Chai et al. 2010; Turgeon 1999).

تحلیل آماری: ابتدا داده‌ها از نظر نرمال بودن با آزمون Kolmogorov–Smirnov بررسی شدند. تجزیه واریانس با استفاده از مدل GLM نرم‌افزار SAS (SAS Institute 2009)، برای تعیین اثر ژنوتیپ، تیمار آبیاری و اثر متقابل آن‌ها برای هر صفت انجام شد. مقایسه میانگین دو تیمار رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی شدید) برای صفات مرتبط با برگ‌گشت‌پذیری با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات برای تیمارهای کنترل و خشکی شدید با استفاده از رویه coit در نرم‌افزار SAS محاسبه شد. همچنین تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از رویه princomp در نرم‌افزار SAS انجام گرفت و نمودارهای مربوطه با نرم‌افزار Statgraphics نسخه ۱۷٫۲ ترسیم شدند (Statgraphics 2016).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات برگ‌گشت‌پذیری پس از خشکی طولانی مدت نشان داد که اثر ژنوتیپ، تیمار آبیاری و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد علوفه تر برگ‌گشت‌پذیر، عملکرد علوفه خشک برگ‌گشت‌پذیر، قطر طوقه برگ‌گشت‌پذیر، ارتفاع برگ‌گشت‌پذیری و امتیاز برگ‌گشت‌پذیری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مشاهده تفاوت‌های معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها، حاکی از وجود تنوع ژنتیکی بالای درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای برای صفات مرتبط با برگ‌گشت‌پذیری است. همچنین، معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار در تمامی صفات بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شدید می‌باشد. ژنوتیپ‌های چمانواش بلند برای برگ‌گشت‌پذیری پس از آبیاری مجدد، واکنش‌های متنوعی داشتند. میزان این بازیابی تحت تأثیر شدت و مدت خشکی تجربه‌شده، شرایط آب‌وهوایی، ویژگی‌های خاک و خصوصیات ژنتیکی ژنوتیپ‌ها قرار دارد (Taleb et al. 2023). نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که تنوع ژنتیکی موجود در صفات مرتبط با برگ‌گشت‌پذیری در ژرم‌پلاسما مورد مطالعه، قابلیت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر برگ‌گشت‌پذیری پس از خشکی را فراهم می‌کند. تأثیر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × تیمار نشان می‌دهد که انتخاب ژنوتیپ‌ها باید با توجه به شرایط محیطی (تنش و عدم تنش) انجام شود. به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط نرمال عملکرد مطلوبی دارند، لزوماً تحت تنش خشکی نیز برتر نخواهند بود و برعکس، برخی ژنوتیپ‌ها تنها در شرایط تنش توانایی بازیابی و برگ‌گشت‌پذیری بالاتری از خود نشان می‌دهند. چنین نتایجی اهمیت غربالگری ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و مقاوم برجسته می‌سازد. مطالعات

پیشین نیز بر همین موضوع تأکید داشته‌اند و نشان داده‌اند که ارزیابی ژنوتیپ‌ها در یک محیط واحد نمی‌تواند معیار دقیقی برای اصلاح و انتخاب باشد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات برگشت‌پذیری پس از خشکی شدید در دو تیمار سابقه آبیاری (نرمال و تنش خشکی در ۱۰۸ ژنوتیپ چمانواش بلند

Table 1. Analysis of variance (mean squares) results for the traits of recovery after severe drought in two irrigation history treatments (normal and severe drought stress) in 108 tall fescue genotypes

امتیاز برگشت‌پذیری Recovery score (0-9)	قطر طوقه برگشت-پذیری Crown diameter recovery (cm)	ارتفاع برگشت‌پذیری Height recovery (cm)	عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری Dry forage yield recovery (g)	عملکرد علوفه تر برگشت‌پذیری Fresh forage yield recovery (g)	درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییر Sources of variation
580.77**	2177.33**	1342.11**	132105.22**	395080.50**	1	محیط Environment
0.78	17.86	13.18	435.78	255.21	2	خطای کرت اصلی Main plot error
4.08**	128.51**	178.41**	13617.46**	47537.13**	107	ژنوتیپ Genotype
1.27**	5.60**	13.21**	1408.63**	2117.25**	107	ژنوتیپ × تیمار Genotype × Treatment
0.41	1.27	5.15	208.31	171.41	214	خطای آزمایشی Experimental error
12.39	6.90	9.16	16.16	8.21		ضریب تغییرات Coefficient of variation (CV)

** گویای معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.
** is significant at the 1% probability level

مقایسه میانگین صفات برگشت‌پذیری در دو محیط رطوبتی (جدول ۲) نشان داد که قطع آبیاری و اعمال خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار در تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۵ درصد شد. عملکرد علوفه تر از ۱۸۲/۹۵ گرم در تیمار نرمال به ۱۴۳/۱۱ گرم در تیمار تنش خشکی (حدود ۲۲ درصد) کاهش یافت. به‌طور مشابه، عملکرد علوفه خشک از ۹۹/۱۵ گرم به ۷۵/۷۰ گرم رسید که معادل کاهش ۲۴ درصد بود. ارتفاع برگ‌ها در شرایط نرمال ۲۷/۹۷ سانتی‌متر بود، اما تحت تنش خشکی به ۲۵/۷۶ سانتی‌متر کاهش پیدا کرد. قطر طوقه نیز از ۱۷/۸۷ به ۱۴/۸۳ سانتی‌متر رسید که بیشترین افت نسبی را در میان صفات نشان داد.

علاوه بر این، امتیاز برگشت‌پذیری که بیانگر توان بازیابی گیاه پس از تنش است، از ۵/۹۸ در شرایط نرمال به ۴/۴ در شرایط خشکی کاهش یافت. آزمون LSD اختلاف میان دو تیمار را در تمامی صفات تأیید کرد و نشان داد که خشکی شدید اثر منفی و معنی‌داری بر بازسازی و توان برگشت‌پذیری ژنوتیپ‌های چمانواش بلند دارد. کاهش معنی‌دار تمامی صفات برگشت‌پذیری در ژنوتیپ‌های تحت تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال، با نتایج Taleb et al. (2023) و همچنین pirnajmedin et al. (2017) نیز همسو است که گزارش کردند خشکی شدید، عملکرد علوفه و صفات برگشت‌پذیری را کاهش می‌دهد. امتیاز برگشت‌پذیری در حالت نرمال بیشتر از حالت تنش خشکی است که نشان دهنده آن است که گیاهانی که طی سه سال قبل در محیط نرمال رطوبتی رشد کرده‌اند، دارای عملکرد برگشت‌پذیری بیشتری بودند که احتمالاً قطر طوقه بیشتر و سیستم ریشه‌ای قوی و گسترده‌تر باعث شده که از قدرت برگشت‌پذیری بیشتری برخوردار باشند (Taleb et al. 2022).

جدول ۲. مقایسه میانگین دو تیمار رطوبتی (نرمال و تنش خشکی) برای صفات مرتبط با برگشت‌پذیری پس از قطع آبیاری در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند

Table 2. Comparison of means of two moisture treatments (normal and drought stress) for traits related to recovery after irrigation cessation tall fescue genotypes

امتیاز برگشت‌پذیری	قطر طوقه برگشت‌پذیری	ارتفاع برگشت‌پذیری	عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیری	عملکرد علوفه تر برگشت‌پذیری	محیط رطوبتی moisture environment
Recovery score (0-9)	Crown Diameter recovery (cm)	Height recovery (cm)	Dry forage recovery (g)	Fresh forage recovery (g)	
5.98 ^a	17.87 ^a	27.97 ^a	99.15 ^a	182.95 ^a	نرمال Normal
4.40 ^b	14.83 ^b	25.76 ^b	75.70 ^b	143.11 ^b	تنش خشکی Drought Stress
0.26	1.26	1.09	6.23	12.77	LSD _{0.05}

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک در هر ستون هستند، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند (بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد) Means sharing the same letter within each column are not significantly different from each other according to the LSD test at the 5 percent probability level.

تحلیل همبستگی بین صفات برگشت‌پذیری در ۱۰۸ ژنوتیپ چمانواش بلند نشان داد که تمامی صفات مورفولوژیکی و عملکردی شامل عملکرد علوفه تر و خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیری و امتیاز برگشت‌پذیری با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در هر دو محیط (عدم تنش و تنش خشکی شدید) دارند (جدول ۳).

به‌طور مشخص در محیط نرمال، عملکرد تر برگشت‌پذیری با عملکرد خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری و قطر طوقه برگشت‌پذیری به‌ترتیب همبستگی‌های ۰/۹۴، ۰/۹۰ و ۰/۸۲ را نشان داد. همچنین، عملکرد خشک برگشت‌پذیری با ارتفاع برگشت‌پذیری و قطر طوقه برگشت‌پذیر به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۷۵ همبستگی مثبت داشت. ارتفاع برگ نیز با قطر طوقه ۰/۷۸ همبستگی مثبت نشان داد. امتیاز برگشت‌پذیری با عملکرد علوفه تر برگشت‌پذیر، عملکرد علوفه خشک برگشت‌پذیر، ارتفاع برگشت‌پذیر و قطر طوقه برگشت‌پذیر به‌ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳۵، ۰/۳۳ و ۰/۳۲ همبستگی مثبت و متوسطی داشت. در محیط تنش خشکی شدید همبستگی صفات تا حدود زیادی مشابه حالت نرمال بود. به‌طوری‌که که بیشترین میزان همبستگی، بین صفات عملکرد تر برگشت‌پذیر و عملکرد خشک برگشت‌پذیر (۰/۹۶) و کمترین آن میان صفات عملکرد تر برگشت‌پذیر و امتیاز برگشت‌پذیری (۰/۳۷) بود. مقادیر همبستگی بالا ($0/80 <$) بین عملکرد علوفه‌تر برگشت‌پذیر با ارتفاع برگشت‌پذیر (۰/۹۲) و قطر طوقه برگشت‌پذیر (۰/۸۱) و همچنین عملکرد خشک با ارتفاع گیاه (۰/۸۹) به‌دست آمد. در محیط تنش نیز امتیاز برگشت‌پذیری با دیگر صفات همبستگی متوسطی (بین ۰/۳۷ تا ۰/۴۳) داشت. این نتایج تأکید می‌کند که صفات مورفولوژیکی، به‌ویژه ارتفاع برگشت‌پذیری و قطر طوقه برگشت‌پذیر، شاخص‌های قابل اعتماد برای پیش‌بینی توان برگشت‌پذیری ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی طولانی مدت (۶۰ روز) هستند و ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالاتر این صفات معمولاً بازسازی سریع‌تر و عملکرد بهتری پس از خشکی دارند. در تیمار خشکی، این همبستگی‌ها همچنان مثبت و معنی‌دار باقی‌ماند و بیانگر آن است که ارتباط بین عملکرد گیاه و شاخص‌های مورفولوژیکی برای برگشت‌پذیری، حتی تحت تنش شدید حفظ می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی با قطر طوقه برگشت‌پذیر و ارتفاع برگشت‌پذیری بالاتر، معمولاً عملکرد علوفه برگشت‌پذیر بیشتری داشته و سریع‌تر از خشکی بازیابی می‌شوند.

وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات مورفولوژیکی برگشت‌پذیری و عملکردی برگشت‌پذیر، اهمیت شاخص‌های ساده و قابل اندازه‌گیری مانند ارتفاع برگشت‌پذیری و قطر طوقه برگشت‌پذیر را برای پیش‌بینی بازیابی پس از خشکی نشان می‌دهد که با نتایج مطالعات محققین پیشین (Pirnajmedin et al. 2017; Saeidnia et al. 2019; Taleb et al. 2022) همسو است. همچنین، همبستگی مثبت بین عملکرد علوفه خشک و تر برگشت‌پذیری با امتیاز برگشت‌پذیری نشان می‌دهد که انتخاب ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های مورفولوژیکی می‌تواند منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی شود. بنابراین، ترکیب اطلاعات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه معیار مناسبی برای انتخاب و ارتقای ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شود. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی یکی از موفق‌ترین تکنیک‌های چند متغیره است که برای ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج ارتباط بین صفات و ژرم پلاسما مورد ارزیابی از طریق نمودار بای پلات دو بعدی (شکل ۱) ارائه شده‌است. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد از تنوع ژنتیکی را در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند در دو سطح رطوبتی نرمال و تنش خشکی شدید توجیه می‌کند. توزیع ژنوتیپ‌ها روی بای پلات و قرارگیری آن‌ها در چهار ربع نمودار نشان‌دهنده طیف وسیعی از تنوع ژنتیکی برای تمام صفات ارزیابی شده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین صفات برگشت پذیری تحت شرایط نرمال (بالای قطر جدول) و تیمار تنش خشکی (پایین قطر جدول) برای ژنوتیپ‌های چمانواش بلند

Table 3. Correlation coefficients among recovery traits under normal conditions (above the diagonal) and drought stress treatment (below the diagonal) for tall fescue genotypes

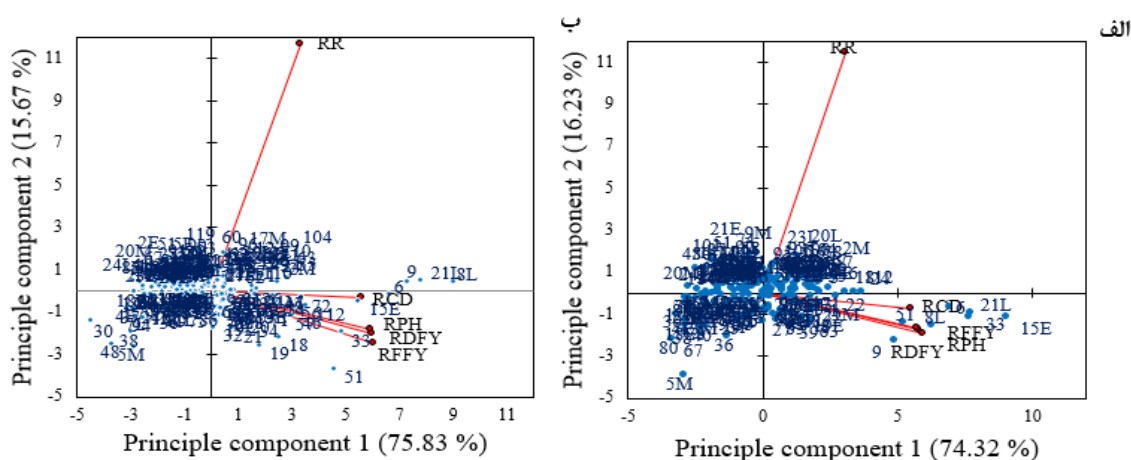
امتیاز برگشت‌پذیری Recovery score (0-9)	قطر طوقه برگشت‌پذیری Crown diameter recovery (cm)	ارتفاع برگشت‌پذیری Height recovery (cm)	عملکرد خشک برگشت‌پذیری Dry forage recovery (g)	عملکرد تر برگشت‌پذیری Fresh forage recovery (g)	صفات Traits
0.34**	0.82**	0.90**	0.94**	1	عملکرد تر برگشت‌پذیری Fresh forage recovery (g)
0.35**	0.75**	0.84**	1	0.96**	عملکرد خشک برگشت‌پذیری Dry forage recovery (g)
0.33**	0.79**	1	0.89**	0.92**	ارتفاع برگشت‌پذیری Height recovery (cm)
0.32**	1	0.78**	0.78**	0.81**	قطر طوقه برگشت‌پذیری Crown diameter recovery (cm)
1	0.43**	0.40**	0.40**	0.37**	امتیاز برگشت‌پذیری Recovery score (0-9)

** گویای معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

** is significant at the 1% probability level

بر اساس بای پلات‌ها صفات ارتفاع برگشت‌پذیری، عملکرد تر و خشک برگشت‌پذیری و قطر طوقه برگشت‌پذیر همبستگی بالایی را در هر دو محیط نشان می‌دهند. امتیاز برگشت‌پذیری همبستگی معنی‌داری با این صفات دارا است. همچنین مشاهده می‌شود که در هر دو محیط رطوبتی (نرمال و تنش خشکی شدید) عملکرد علوفه تر و خشک برگشت‌پذیر، قطر طوقه برگشت‌پذیر و ارتفاع برگشت‌پذیر بیشتر به سمت مؤلفه اول (PC1) بودند، در حالی که امتیاز برگشت‌پذیری بیشتر به سمت مؤلفه دوم (PC2) متمایل

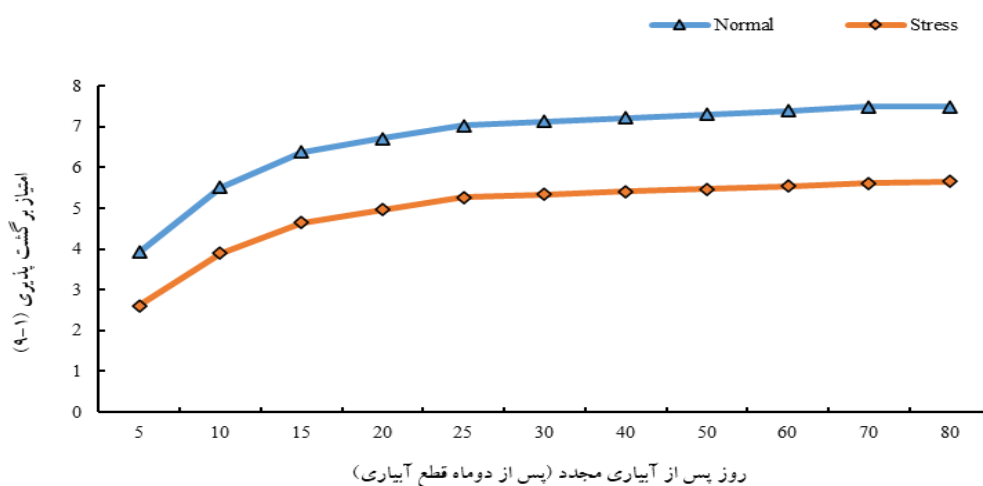
است. بنابراین، انتخاب بر اساس مقادیر متوسط تا زیاد PC1 و PC2 منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد علوفه مطلوب و صفات مرتبط با آن می‌شود که برگشت پذیری بالایی نیز دارند. براین اساس ژنوتیپ‌های 15E، 8L، 33، 6، 9، 20L و 51 در سطح رطوبتی نرمال و ژنوتیپ‌های 8L، 21L، 9 و 6 در سطح رطوبتی تنش خشکی شدید به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد علوفه مطلوب شناسایی شدند، که پیشنهاد می‌شود این ژنوتیپ‌ها به دلیل حجم علوفه‌ی بالا برای خوراک دام مورد استفاده قرار گیرند. در مقابل، ژنوتیپ‌های 20L، 23L، 9M و 21E در شرایط نرمال و ژنوتیپ‌های 119، 60، 104 و 17M در شرایط تنش خشکی دارای برگشت‌پذیری نسبتاً بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشند و به‌دلیل آن که عملکرد بالایی هم ندارند، پیشنهاد می‌شود از این ژنوتیپ‌ها برای مناطق گرم و خشک به‌عنوان گراس‌های چمنی و پوششی استفاده شود. به‌طور کلی، ژنوتیپ 2M در محیط نرمال و ژنوتیپ ۱۰۴ در محیط تنش خشکی تا حدودی هم صفات عملکردی قابل قبول و هم برگشت‌پذیری مناسبی را دارند. در مقابل ژنوتیپ‌های 5M، 80 و 67 در شرایط نرمال و ژنوتیپ‌های 5M، 48، 30 و 38 در شرایط تنش خشکی دارای مقادیر پایین تولید عملکرد و صفات مربوط به آن بودند و همچنین برگشت‌پذیری ضعیفی داشته‌اند که بیشتر از این ژنوتیپ‌ها، می‌توان در تلاقی‌ها و پژوهش‌های علمی استفاده کرد. این نتایج نشان می‌دهد که PCA ابزاری مؤثر برای ارزیابی همزمان عملکرد و برگشت‌پذیری است و امکان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را برای برنامه‌های اصلاحی و توسعه پایدار چمن‌ها و علوفه‌ها در شرایط محدودیت آبی فراهم می‌کند.



شکل ۱. نمودار بای پلات بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم برای صفات برگشت‌پذیری پس از خشکی طولانی مدت در ژنوتیپ‌های چمن‌ناوش بلند. شکل ۱_الف) نمودار مربوط به محیط عدم تنش و شکل ۱_ب) نمودار مربوط به محیط تنش خشکی شدید. RR: امتیاز برگشت‌پذیری، RCD: قطر طوقه برگشت‌پذیری، RPH: ارتفاع برگشت‌پذیری، RFFY: عملکرد تر برگشت‌پذیری و RDFY: عملکرد خشک برگشت‌پذیری

Figure 1. Biplot based on the first and second principal components for recovery-related traits after prolonged drought in tall fescue genotypes. Figure 1. (a) Represents the non-stress (normal) environment and figure 1. (b) represents the severe drought environment. RR: Recovery score, RCD: Recovery crown diameter, RPH: Recovery plant height, RFFY: Recovery fresh forage yield, RDFY: Recovery dry forage yield.

امتیاز برگشت‌پذیری ژنوتیپ‌های چمانواش بلند هر پنج روز یک‌بار به مدت ۸۰ روز پس از آبیاری مجدد اندازه‌گیری شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های رشد یافته در محیط نرمال، در طول دوره بازیابی، امتیاز برگشت‌پذیری بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های تحت تنش خشکی از خود نشان دادند، که احتمالاً به دلیل سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و توانایی جذب آب بیشتر در شرایط نرمال است. سرعت بازیابی در هفته‌های اولیه پس از آبیاری مجدد بالاتر بود، اما با گذشت زمان کاهش یافت، که این روند با صرف انرژی گیاه برای احیای طوقه و بخش‌های آسیب‌دیده همزمان است. اختلاف برگشت‌پذیری بین ژنوتیپ‌های محیط نرمال و تنش خشکی در طول ۸۰ روز حدود ۲/۵ برابر افزایش یافت، که نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ‌های نرمال در بازیابی کامل پس از خشکی طولانی است. یافته‌های این تحقیق نشان داد که برگشت‌پذیری یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی است. تفاوت آشکار بین دو شرایط محیطی نشان داد که تنش خشکی نه تنها باعث کاهش عملکرد فوری گیاه می‌شود، بلکه توانایی گیاه برای بازیابی پس از آبیاری مجدد را نیز به شدت محدود می‌سازد. در شرایط نرمال، سرعت و شدت بهبود بیشتر بود که بیانگر سلامت فیزیولوژیک و کارایی بالاتر سیستم فتوسنتزی و متابولیسم گیاهان است.



شکل ۲. روند صفت امتیاز برگشت‌پذیری برای میانگین ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند تحت محیط‌های رطوبتی نرمال (آبی) و تنش خشکی (قرمز)

Figure 2. The trend of the recovery score trait for the mean of tall fescue (*Festuca arundinacea*) genotypes under normal (blue) and drought stress (red) moisture conditions.

نتیجه‌گیری: بررسی برگشت‌پذیری پس از تنش خشکی در ژنوتیپ‌های چمانواش بلند نشان داد که ژرم‌پلاسم مورد مطالعه تنوع ژنتیکی بالایی در صفات مورفولوژیکی و عملکردی مرتبط با برگشت‌پذیری پس از خشکی طولانی مدت دارد. این تنوع تأکید می‌کند که استفاده از این صفات در فرآیند گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌تواند به بهبود عملکرد و تاب‌آوری گیاهان کمک کند.

ژنوتیپ‌هایی که تحت تنش خشکی قبلی قرار نگرفته بودند، بازسازی سریع‌تر و مؤثرتری داشتند که احتمالاً ناشی از سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و حجیم‌تر آن‌ها در شرایط شاهد است. اثر معنی‌دار ژنوتیپ، تیمار آبیاری و تعامل ژنوتیپ × تیمار نیز نشان داد که پاسخ ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی متفاوت است و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر باید با توجه به شرایط تنش و عدم تنش انجام شود.

به‌طور کلی، خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار عملکرد تر و خشک برگشت‌پذیری، ارتفاع برگشت‌پذیری، قطر طوقه برگشت‌پذیر و امتیاز برگشت‌پذیری شد، اما همبستگی مثبت بین این صفات نشان داد که ارتفاع برگ و قطر طوقه می‌توانند شاخص‌های قابل اعتماد برای پیش‌بینی توان برگشت‌پذیری باشند. ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالاتر این صفات معمولاً سریع‌تر و مؤثرتر پس از آبیاری مجدد، بازیابی شدند. همچنین، تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد از تنوع ژنتیکی را توجیه می‌کند و توزیع ژنوتیپ‌ها روی نمودار بای‌پلات طیف وسیعی از تنوع را نشان داد. این تحلیل امکان شناسایی ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد علوفه مطلوب و برگشت‌پذیری بالا را فراهم کرد. در مجموع، ترکیب اطلاعات مورفولوژیکی و عملکردی معیار مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و پایدار در شرایط تنش و عدم تنش ارائه می‌دهد و می‌تواند مسیر مؤثری برای برنامه‌های اصلاحی و توسعه وارسته‌های مقاوم به خشکی در چماناوش بلند فراهم کند.

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97), e156.
- Arikilla, S., Cevallos, F., Moss, J. Q., Yu, S., Fontanier, C. H., Martin, D. L., Wu, Y., & Xiang, M. (2025). Responses of turf-type hybrid bermudagrasses to drought stress. *International Turfgrass Society Research Journal*. <https://doi.org/10.1002/its2.178>
- Beard, J. B. (1973). Turfgrass: Science and Culture. <https://lcn.loc.gov/79168621>
- Bernardo, S., Marguerit, E., Ollat, N., Gambetta, G. A., Saint Cast, C., & de Miguel, M. (2025). Root system ideotypes: what is the potential for breeding drought-tolerant grapevine rootstocks? *Journal of Experimental Botany*, eraf006. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf006>
- Chai, Q., Jin, F., Merewitz, E., & Huang, B. (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(2), 125-133. <https://doi.org/10.21273/JASHS.135.2.125>
- Ferion, M., Zouitane, I., Bouhraoua, S., Elouattassi, Y., Belahcen, D., Errabani, A., Louahlia, S., Sayyed, R., & El Ghachtouli, N. (2025). Applying microbial biostimulants and drought-tolerant genotypes to enhance barley growth and yield under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1494987. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1494987>

- Kirigwi, F. M., & Saha, M. C. (2022). Screening of tall fescue genotypes for relative water content and osmotic potential under drought stress. *Grassland Research*, 1(2), 84-93. <https://doi.org/10.1002/blr2.12021>
- Liu, Y., Hao, C., Wang, G., Li, Q., & Shao, A. (2021). Exogenously spermidine alleviates damage from drought stress in the photosystem II of tall fescue. *Plant, Soil & Environment*, 67(10). <https://doi.org/10.17221/236/2021-PSE>
- Luo, L. (2010). Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3509-3517. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq185>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2(1), 2391. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Novello, A., Pornaro, C., Fidanza, M., & Macolino, S. (2025). Adaptability and character traits of turf-type tall fescue cultivars grown under limited irrigation in northern Italy. *HortTechnology*, 35(1), 5-12. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05512-24>
- Pirnajmedin, F., Majidi, M., & Gheysari, M. (2016). Survival and recovery of tall fescue genotypes: association with root characteristics and drought tolerance. *Grass and Forage Science*, 71(4), 632-640. <https://doi.org/10.1111/gfs.12231>
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. M., & Jaškūnė, K. (2024). Adaptive strategies to drought stress in grasses of the Poaceae family under climate change: Physiological, genetic and molecular perspectives: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 213, 108814. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108814>
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. M., Saeidi, G., Gheysari, M., Volaire, F., Barre, P., Osivand, A. H., & Sarfaraz, D. (2017). Persistence, recovery and root traits of tall fescue genotypes with different flowering date under prolonged water stress. *Euphytica*, 213(12), 269. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-2060-8>
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. M., Saaidnia, F., Hoseini, B., Mirlohi, A., & Abdolahi, M. (2018). Genetics of post-drought recovery, persistence and summer dormancy in orchardgrass (*Dactylis glomerata*). *Crop and Pasture Science*, 69(11), 1140-1149. <https://doi.org/10.1071/CP18049>
- Pirnajmedin, F., Majidi, M. M., Taleb, M. H., & Mirmohammady Maibody, S. A. M. (2021). Half-sib mating for inheritance analysis of post-drought recovery and productivity related traits in tall fescue. *Agronomy Journal*, 113(3), 2314-2320. <https://doi.org/10.1002/agj2.20668>

- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Bakhtiari, M. A., & Mirlohi, A. (2020a). Influence of water deficit and defoliation managements on post-drought recovery and persistence of smooth brome grass. *Agronomy Journal*, *112*(6), 4578-4586. <https://doi.org/10.1002/agj2.20395>
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Bakhtiari, M. A., & Mirlohi, A. (2020). Influence of water deficit and defoliation managements on post-drought recovery and persistence of smooth brome grass. *Agronomy Journal*, *112*(6), 4578-4586. <https://doi.org/10.1002/agj2.20395>
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Ahmadi, B. (2022). Association analysis revealed loci linked to post-drought recovery and traits related to persistence of smooth brome grass (*Bromus inermis*). *Plos One*, *17*(12), e0278687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278687>
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Bahrami, S. (2019). Inheritance and combining ability of persistence and drought recovery in smooth brome grass (*Bromus inermis* L.). *Euphytica*, *215*(10), 177. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2500-8>
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., Spanani, S., Karami, Z., & Abdollahi Bakhtiari, M. (2020b). 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*(6), 91. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02624-8>
- Safari, M., & Majidi, M. M. (2025). Role of genetic diversity and salicylic acid in drought stress memory of tall fescue. *Scientific Reports*, *15*(1), 7932. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92155-w>
- SAS Institute. (2009). SAS System for Windows. Version 9.1. SAS Inst, Inc. <https://support.sas.com/documentation/installcenter/913/hosts/index.html>
- Squires, V. R., Dengler, J., Feng, H., & Hua, L. (2018). *Grasslands of the World*. Diversity, Management and Conservation. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Steinke, K., Chalmers, D., Thomas, J., & White, R. (2011). Bermudagrass and buffalograss drought response and recovery at two soil depths. *Crop Science*, *51*(3), 1215-1223. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.08.0469>
- Statgraphics. (2016). Statgraphics. Version 17.2.11. Stat Point Inc. <https://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvii>
- Taleb, M., Majidi, M., Sayed Ali Mohammad Mirmohammady Maibody, S., & Pirnahmedin, F. (2022). Study of Traits Related to Yield, Drought Tolerance, Summer Dormancy, and Post-Drought Recovery in Tall Fescue. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *12*(1), 59-77. <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.12.1.201327>

- Taleb, M. H., Majidi, M. M., Pirnajmedin, F., & Maibody, S. A. M. M. (2023). Plant functional trait responses to cope with drought in seven cool-season grasses. *Scientific Reports*, 13(1), 5285. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31923-y>
- Tate, T. M., Cross, J. W., Wang, R., Bonos, S. A., & Meyer, W. A. (2023). Inheritance of summer stress tolerance in tall fescue. *Grass Research*, 3(1). <https://doi.org/10.48130/GR-2023-0014>
- Turgeon, A. J. (1999). *Turfgrass management*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Wang, J., Li, H., Gong, D., Liu, X., Liu, B., & Guo, X. (2025). Physiological Responses and the Dust Retention Ability of Different Turfgrass Mixture Ratios Under Continuous Drought. *Plants*, 14(11), 1667. <https://doi.org/10.3390/plants14111667>