Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Evaluation of Drought Tolerance in Fodder Sorghum Cultivars Using Stress Sensitivity and Tolerance Indices

Farzad Fardin[1] | Behzad Sani[2]✉ | Payam Moaveni[3] | Gholam Reza AfsharManesh[4] | Hamid Mozafari[5]

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: fardin3481@qodsiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: b.sani@qodsiau.ac.ir
3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: p.moaveni@qodsiau.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran. E-mail: gh.afshar137@areeo.ac.ir
5. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: h.mozafari@qodsiau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2 November 2022
Received in revised form
4 September 2023
Accepted 13 September 2023
Published online 13 December 2023

Keywords:
Deficit irrigation
Dry forage yield
Fresh forage yield
Spidfeed

ABSTRACT

Objective: This experiment was conducted in order to evaluate the effect of water deficit irrigation on the agronomic characteristics of fodder sorghum cultivars in Kerman province. This experiment was carried out as a strip split-plot in a complete randomized block design with four replications in a research farm of agricultural research center of Jirof and Kahnooj, Kerman province, in 2019 and 2020.

Methods: Drought stress as a vertical factor in four levels including without stress (irrigation after 80 mm evaporation from evaporation pan) as control, mild stress (irrigation after 110 mm evaporation from the evaporation pan), medium (irrigation after 140 mm evaporation) and sever (irrigation after 180 mm evaporation) and four sorghum cultivars including Spidfeed, Sugar graze, Jumbo and Pegah as a horizontal factor.

Results: The highest yield of fresh forage yield under non-stressed conditions (control) was observed in Spidfeed and Pegah (121.60 and 118.79 ton.ha^{-1}, respectively). Also, Spidfeed and Pegah had the highest dry forage yield under non-stressed conditions (control) as 22.50 and 20.69 ton.ha^{-1}, respectively. Also, the highest yield of dry forage in mild drought stress was observed in Pegah and Spidfeed varieties (15.30 and 14.88 ton.ha^{-1}, respectively) and under medium drought stress in Pegah (11.12 ton.ha^{-1}), whereas Spidfeed variety was superior to others for dry forage yield (7.42 ton.ha^{-1}), in severe drought stress.

Conclusion: Based on MP and STI indices, Spidfeed and Pegah cultivars with higher average of dry fodder yield were selected as the most suitable genotypes under drought stress conditions in Jiroft region of Kerman province.

Cite this article: Fardin, F., Sani, B., Moaveni, P., AfsharManesh, Gh. R., & Mozafari, H. (2023). Evaluation of Drought Tolerance in Fodder Sorghum Cultivars Using Stress Sensitivity and Tolerance Indices. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 957-968. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.350687.2756

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.350687.2756

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

ارزیابی تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

فرزاد فردین[1]✉ | بهزاد ثانی[2] | پیام معاونی[3] | غلامرضا افشارمنش[4] | حمید مظفری[5]

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران. رایانامه: fardin3481@qodsiau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران. رایانامه: b.sani@qodsiau.ac.ir

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران. رایانامه: p.moaveni@qodsiau.ac.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: gh.afshar137@areeo.ac.ir

۵. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران. رایانامه: h.mozafari@qodsiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:

اسپیدفید

عملکرد علوفه تر

عملکرد علوفه خشک

کم‌آبیاری

چکیده

هدف: مهم‌ترین چالش در بخش کشاورزی این استان کمبود علوفه می‌باشد. این آزمایش به‌منظور ارزیابی اثر کم‌آبیاری بر خصوصیات زراعی ارقام سورگوم علوفه‌ای در استان کرمان به‌صورت کرت‌های خرد شده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد.

روش پژوهش: تنش خشکی به‌عنوان عامل عمودی در چهار سطح شاهد شامل بدون تنش (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، متوسط (آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و شدید (آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و چهار رقم سورگوم علوفه‌ای شامل اسپیدفید، شوگرگریز، جامبو و پگاه به عنوان عامل افقی بودند.

یافته‌ها: بیش‌ترین عملکرد علوفه تر تحت شرایط بدون تنش (شاهد) به میزان ۱۲۱/۶۰ و ۱۱۸/۷۹ تن در هکتار به‌ترتیب در ارقام اسپیدفید و پگاه مشاهده شد. هم‌چنین ارقام اسپیدفید و پگاه بیشترین عملکرد علوفه خشک را تحت شرایط بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۲/۵۰ و ۲۰/۶۹ تن در هکتار داشتند. هم‌چنین بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک در تنش خشکی ملایم در ارقام پگاه و اسپیدفید (با میانگین ۱۵/۳۰ و ۱۴/۸۸ تن در هکتار)، تنش خشکی متوسط در رقم پگاه (۱۱/۱۲ تن در هکتار) و تنش خشکی شدید در رقم اسپیدفید (۷/۴۲ تن در هکتار) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: براساس شاخص‌های MP و STI نیز رقم‌های اسپیدفید و پگاه با میانگین عملکرد علوفه خشک بالاتر بعنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی در منطقه جیرفت استان کرمان انتخاب شدند.

استناد: فردین، فرزاد؛ ثانی، بهزاد؛ معاونی، پیام؛ افشارمنش، غلامرضا و مظفری، حمید (۱۴۰۲). ارزیابی تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۹۶۸-۹۵۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2023.350687.2756

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

حدود ۹۰ درصد از زمین‌های قابل کشت در معرض یک یا چند تنش غیرزیستی هستند که منجر به کاهش ۷۰ درصدی عملکرد محصولات مهم کشاورزی می‌شوند. در این میان تغییرات سریع آب‌وهوایی تنش خشکی را به تهدیدی بزرگ برای پایداری سیستم‌های تولید غذا در سراسر دنیا بدل کرده است (Waqas *et al*., 2019). در ایران کم‌آبی و خشکی همواره یکی از مهم‌ترین مشکلات بخش کشاورزی بوده، و در نتیجه بررسی تأثیر تنش خشکی بر گیاهان زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است (بی‌نام، ۱۳۹۵). سورگوم از مهم‌ترین گیاهان زراعی غذایی در مناطق حاره‌ای نیمه‌خشک می‌باشد، زیرا در شرایط خشکی شدید یا گرمای شدید تنش را تحمل می‌کند ولی تولید بهینه تحت شرایط مطلوب است (Reddy, 2019; Mutava *et al*., 2011). نتایج آزمایشی نشان داد وزن تر اندام هوایی گیاه سورگوم در تمام سطوح تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل کاهش معنی‌داری یافت، اما با این حال افزایش وزن تر اندام هوایی تحت تیمار تنش خشکی موضعی ریشه با آبیاری ۷۵ درصد، ۴۸/۸ درصد و در تیمار خشکی موضعی ریشه با ۶۰ درصد آبیاری، ۷۵/۱۰ درصد نسبت به کم‌آبیاری سنتی با همان شرایط مشاهده شد (خواجه خضری و همکاران، ۱۳۹۷). در یک آزمایش ۱۰ واریته سورگوم متعلق به کشورهای غرب افریقا تحت دو رژیم آبیاری (مطلوب و تنش) موردمطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد تنش خشکی منجر به کاهش تعداد برگ، ارتفاع بوته، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق شد و کاهش تعداد و اندازه برگ ناشی از نبود فشار تورژسانس و ناکافی‌بودن میزان آب جذب شده بود (Gano *et al*., 2021).

۲. پیشینه پژوهش

تاکنون روش‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ارائه شده و مورداستفاده اصلاح‌گران قرار گرفته است. به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شاخص‌های مختلفی براساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده است. شاخص‌های تحمل، میانگین بهره‌وری و تحمل به تنش برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی متحمل به خشکی معرفی شده‌اند (Rosielle & Hamblin, 1981; Fernandez, 1992). در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط (تنش و شرایط عادی) واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم شده است؛ گروه A) ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط، عملکرد بالایی دارند، گروه B) ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند، گروه C) ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش، عملکرد خوبی دارند و گروه D) ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایینی هستند (Fernandez, 1992).

نتایج یک بررسی در زمینه تغییرات رشد و عملکرد علوفه سورگوم در شرایط کم آبیاری نشان داد که عملکرد وزن تر علوفه در شرایط نرمال ۹۴/۷ تن در هکتار و در شرایط تنش ۸۱/۷ تن در هکتار بود (Hossein *et al*., 2014). در یک بررسی دیگر نیز گزارش شده است که وزن علوفه تر رقم‌های سورگوم دانه‌ای در سطوح مختلف آبیاری و هم‌چنین رقم‌ها و لاین‌ها از نظر تمام صفات در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (خزایی و همکاران، ۱۳۹۸). تنش کم‌آبیاری موجب کاهش عملکرد علوفه تر در سورگوم علوفه‌ای می‌شود، به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید ۴۷ درصد و تنش متوسط ۱۷ درصد افت عملکرد نسبت به شرایط آبیاری معمول ایجاد شد (عبدی و حبیبی، ۱۳۹۶). رقم پگاه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی عملکرد بیش‌تری در مقایسه با رقم اسپیدفید داشت. در بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دو رقم سورگوم علوفه‌ای تحت تنش کم‌آبی گزارش شده است تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار سرعت رشد و شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و در زمان برداشت، عملکرد علوفه تر و وزن علوفه خشک

گردید (مقیمی و امام، ۱۳۹۲). بین دو رقم از نظر ویژگی‌های مورفولوژیک و برخی صفات موردبررسی تفاوت‌هایی وجود داشت، به‌طوری‌که رقم پگاه از لحاظ سرعت رشد محصول، عملکرد علوفه تر و وزن علوفه خشک، برتری داشت. نتایج هم‌چنین حاکی از این بود که افزایش رطوبت تأثیر قابل‌توجهی در افزایش تولید علوفه‌ی سورگوم در پی دارد. در مطالعه ایشان دو رقم نیز اختلاف معنی‌داری در عملکرد علوفه تر داشتند، به‌طوری‌که رقم پگاه با دارابودن ۸۶/۰۲ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد علوفه را به خود اختصاص داد (مقیمی و امام، ۱۳۹۲). در یک بررسی عملکرد ۶۱ لاین هیبرید برگشتی و ۹ لاین مادری سورگوم براساس شاخص‌های تحمل به خشکی موردبررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد و شاخص‌ها به‌طور معنی‌داری تفاوت داشتند (Abebe *et al*., 2020). در هر دو گروه تحت تنش خشکی و آبیاری کامل میانگین عملکرد دانه تغییرات گسترده‌ای نشان داد و به‌ترتیب ۱/۹۳ و ۳/۷۰ تن در هکتار بود. چهار لاین از هیبریدهای برگشتی موردمطالعه بالاترین عملکرد را در شرایط تنش تولید کرده و هم‌چنین از بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین عملکرد نسبی، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، میانگین بهره‌وری، شاخص پایداری عملکرد و شاخص عملکرد برخوردار بودند (Abebe *et al*., 2020). از طرفی، مقدار شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل در این چهار لاین پایین بود که در مجموع نشان‌دهنده حساسیت کم‌تر این لاین‌ها به تنش است. بین شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین عملکرد نسبی، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک (همساز)، میانگین بهره‌وری، شاخص پایداری عملکرد و شاخص عملکرد و عملکرد در هر دو محیط تنش خشکی و غیر تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد که این چهار لاین را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی نمود (Abebe *et al*., 2020).

سورگوم از نظر تولید علوفه محصولی بی‌نظیر است و نیازمند ابزارها و تکنولوژی معمولی برای کاشت، داشت و برداشت است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به شرایط اقلیمی سخت و شکننده استان کرمان و محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آبی و خاکی و هم‌چنین هزینه پایین تولید این محصول در مقایسه با عملکرد بالای آن و از طرفی کشت این محصول در همه مناطق استان، این مطالعه با اعمال تیمار کم آبیاری در رقم‌های سورگوم جهت بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه رقم‌های سورگوم و هم‌چنین تعیین بهترین دور آبیاری در سورگوم جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب و به‌دست‌آوردن حداکثر راندمان با حداقل آب مصرفی و معرفی یک یا چند رقم از سورگوم علوفه‌ای جایگزین گیاهان علوفه‌ای مانند یونجه و ذرت علوفه‌ای که دارای نیاز آبی بالایی می‌باشند، انجام گرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹، در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج، در جنوب شهرستان جیرفت در جنوب استان کرمان واقع در جنوب‌شرقی کشور انجام شد. منطقه موردنظر دارای عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۲ ثانیه شمالی، طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۹ ثانیه شرقی، اختلاف ارتفاع از سطح دریا ۴۸۷ متر، متوسط بارندگی سالانه ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای سالانه تابستان بین ۳۰ تا ۵۴ درجه سانتی‌گراد و زمستان بین ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تعداد روزهای یخبندان سه روز بود. قبل از اجرای آزمایش دو نمونه مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری پروفیل خاک تهیه و جهت انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت ارسال شد. نتایج تجزیه خاک در دو سال تقریباً مشابه بود (جدول ۱) و مشخص شد که خاک قلیایی اما فاقد شوری است. بافت خاک در عمق ۳۰ -۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب لومی و لومی سیلتی، از نظر میزان نیتروژن بسیار فقیر، از نظر میزان فسفر کم تا متوسط و از نظر

میزان پتاسیم قابل جذب در حد متوسط بود (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

سال	عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک
۱۳۹۸	۰-۳۰	۲/۱	۸/۰	۰/۴۹	۴/۸	۱۸۵	۱/۷۵	۴۵	۴۵	۱۰	لومی
	۳۰-۶۰	۲/۰	۸/۰	۰/۱۶	۴/۲	۱۱۵	۰/۴۰	۳۵	۶۰	۵	لومی- سیلتی
۱۳۹۹	۰-۳۰	۱/۹	۸/۱	۰/۵۰	۵/۴	۱۶۴	۱/۸۱	۴۰	۴۵	۱۵	لومی
	۳۰-۶۰	۱/۱	۸/۰	۰/۱۸	۴/۲	۱۱۵	۰/۴۲	۳۰	۶۵	۵	لومی- سیلتی

۳. ۱. طرح آماری و تیمارهای مورد مطالعه

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به مرحله اجرا رسید. در این آزمایش تنش خشکی به‌عنوان عامل عمودی در چهار سطح شاهد شامل بدون تنش (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌عنوان شاهد (بازگیر و همکاران، ۱۳۹۹)، تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، متوسط (آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و شدید (آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و چهار رقم سورگوم علوفه‌ای شامل اسپیدفید، شوگرگریز، جامبو و پگاه به‌عنوان عامل افقی بودند.

در هر دو سال زراعی قبل از کاشت، مزرعه آزمایشی در پاییز ابتدا با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس جهت خردکردن کلوخه‌ها از دو دیسک عمود برهم استفاده شد و در نهایت کرت‌بندی انجام شد. هر کرت شامل چهار خط کاشت به فواصل ۶۰ سانتی‌متر به طول ۸ متر بود. میزان بذر مصرفی ۱۵-۱۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم بوته ۲۲۰/۰۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شد. کاشت در دهم اسفندماه ودر همه تیمارها، کاشت پس از تهیه جوی و پشته و به‌صورت دستی انجام شد. با توجه به این‌که سورگوم بد سبزی دارد بذور به‌صورت کپه‌ای کاشته شد و در هر کپه چهار بذر قرار داده شد که پس از سبزشدن در مرحله دو برگی براساس تراکم مطلوب تنک شد.

آبیاری زمین با استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار انجام شد. پیش از کاشت بذرها، نوار تیپ روی پشته‌ها قرار داده شد و تقریباً هر نازل در برابر هر بوته قرار گرفت. فاصله بین هر قطره چکان ۱۰ سانتی‌متر بود. میزان مصرف کودهای شیمیایی براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه کارشناسان خاک‌شناسی انجام شد. تمامی کود فسفره (فسفات‌آمونیوم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسه به‌همراه یک چهارم نیتروژن (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) هم‌زمان با کاشت و بقیه کود اوره (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در دو تا سه نوبت پس از هر بار چین (برداشت علوفه) به‌صورت سرک استفاده شد. علف‌های هرز در طول فصل رشد از طریق وجین دستی کنترل شد.

۳. ۲. اندازه‌گیری صفات

برداشت علوفه در ارقام سورگوم به‌صورت چند چین انجام شد، به‌طوری‌که در رقم زودرس اسپیدفید چهار چین، رقم متوسطرس پگاه سه چین و در ارقام دیررس‌تر مثل شوگرگریز و جامبو دو چین صورت گرفت. نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه با حذف اثر حاشیه‌ای از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایش از دو خط میانی در تمامی تیمارها انجام گرفت و از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و کف بر شدند. عملکرد علوفه تر با توزین نمونه‌ها (نمونه کامل از برگ و ساقه و پانیکول) به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری علوفه خشک نمونه ۱۰۰ گرمی از اجزای گیاه، برگ و ساقه و پانیکول، تهیه و در آون به‌مدت سه روز در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و پس از خنک‌شدن توزین گردید و مجموع وزن آن‌ها به‌عنوان عملکرد ماده خشک در نظر گرفته شد (خضرلو و همکاران، ۱۳۸۹). عملکرد علوفه تر

و علوفه خشک هر رقم از مجموع وزن تر و خشک علوفه در تمامی چین‌ها حاصل شد.

شاخص‌های تحمل به تنش براساس عملکرد علوفه خشک به شرح زیر محاسبه شد (خزایی و همکاران، ۱۳۹۸):

– شاخص حساسیت به تنش[1]	$SSI=[1-(y_s/y_p)]SI$	(Fischer & Maurer, 1978)
– شدت تنش[2]	$SI=1-(\bar{y}_s / \bar{y}_p)$	(Fischer & Maurer, 1978)
– شاخص تحمل[3]	$TOL=y_p-y_s$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
– شاخص تحمل به خشکی[4]	$STI = (y_p \times y_s)/(\bar{y}_p)^2$	(Fernandez, 1992)
– شاخص میانگین بهره وری[5]	$MP=(y_p+ y_s)/2$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
– میانگین هندسی بهره وری[6]	$GMP=\sqrt{yp \times ys}$	(Fernandez, 1992)
– شاخص عملکرد[7]	$YI=(y_s/ \bar{y}_s)$	(Gavuzzi *et al*.,1997)
– شاخص پایداری عملکرد[8]	YSI=ys/yp	(Bouslama and Schapaugh,1984)

در این رابطه‌ها، Yp[9] و Ys[10] به‌ترتیب عملکرد علوفه در شرایط نرمال و عملکرد علوفه در شرایط تنش می‌باشند.

۳. ۳. آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C (نسخه ۵/۴) انجام و مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده با آزمون چنددامنه‌ای دانکن[11] در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد. رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel (2019) انجام گرفت.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. عملکرد علوفه تر

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۲) نشان داد که اثر سال، اثر آبیاری، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد علوفه تر در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد علوفه تر (۱۲۱/۶۰ و ۱۱۸/۷۹ تن در هکتار) به‌ترتیب در ارقام اسپیدفید و پگاه تحت شرایط بدون تنش (شاهد) مشاهده شد که در یک گروه آماری قرار داشتند. کم‌ترین عملکرد علوفه تر (۳۰/۴۹ تن در هکتار) در رقم شوگرگریز تحت تنش شدید مشاهده شد. هم‌چنین در تیمار تنش خشکی ملایم رقم اسپیدفید، تنش خشکی متوسط ارقام جامبو، اسپیدفید و پگاه و تنش خشکی شدید، ارقام پگاه و اسپیدفید از نظر عملکرد علوفه تر برتر بودند.

1. Stress Susceptibility Index
2. Stress Index
3. Tolerance Index
4. Stress Tolerance Index
5. Mean Productivity
6. Geometric Mean Productivity
7. Yield Index
8. Yield Stability Index
9. Yield Potential
10. Yield in Stress Condition
11. Duncan's multiple range test

۴. ۲. عملکرد علوفه خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد علوفه خشک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک (۲۲/۵۰ و ۲۰/۶۹ تن در هکتار) به‌ترتیب در ارقام اسپیدفید و پگاه تحت شرایط بدون تنش (شاهد) مشاهده شد که در یک گروه آماری قرار داشتند. کم‌ترین عملکرد علوفه خشک (۵/۷۳ تن در هکتار) در رقم شوگرگریز تحت تنش شدید به‌دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین در تیمار تنش خشکی ملایم ارقام پگاه و اسپیدفید، تنش خشکی متوسط رقم پگاه و تنش خشکی شدید رقم اسپیدفید از نظر عملکرد علوفه خشک برتر بودند (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه مرکب صفات عملکرد علوفه تر و علوفه خشک سورگوم تحت تأثیر آبیاری و ژنوتیپ

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک
سال	۱	۲۷۶۶**	۵۱**
سال× تکرار	۶	۲۳۷	۵/۴
آبیاری	۳	۲۰۸۰۰**	۱۰۰۴**
سال× آبیاری	۳	۱۱۹۷**	۱۱*
خطای a	۱۸	۵۹	۲
ژنوتیپ	۳	۵۰۸۰**	۶۳**
سال× ژنوتیپ	۳	۴۸^{ns}	۴/۳^{ns}
خطای b	۱۸	۳۹	۴/۹
آبیاری× ژنوتیپ	۹	۵۴۲**	۱۰/۸**
سال× آبیاری× ژنوتیپ	۹	۷۵^{ns}	۳^{ns}
خطای آزمایشی	۵۴	۸۴	۳/۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۳	۱۶/۲

ns، * و **: به‌ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی در سورگوم

	تیمار	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)
شاهد (بدون تنش)	اسپیدفید	۱۲۱/۶۳^{a}	۲۲/۵۰^{a}
	شوگرگریز	۷۳/۷۶^{d}	۱۶/۹۹^{b}
	جامبو	۸۹/۷۳^{bc}	۱۶/۴۴^{b}
	پگاه	۱۱۸/۷۹^{a}	۲۰/۶۹^{a}
تنش ملایم	اسپیدفید	۱۰۲/۲۷^{b}	۱۴/۸۸^{bc}
	شوگرگریز	۷۲/۴۲^{d}	۱۳/۲۷^{cd}
	جامبو	۸۳/۳۴^{cd}	۱۳/۴۵^{cd}
	پگاه	۹۳/۱۶^{bc}	۱۵/۳۰^{bc}
تنش متوسط	اسپیدفید	۷۰/۶۴^{d}	۹/۳۰^{ef}
	شوگرگریز	۵۵/۵۲^{e}	۸/۰۰$^{f-h}$
	جامبو	۷۱/۸۱^{d}	۸/۷۰$^{e-g}$
	پگاه	۷۰/۰۵^{d}	۱۱/۱۲^{de}
تنش شدید	اسپیدفید	۴۸/۴۲^{ef}	۷/۴۲$^{f-h}$
	شوگرگریز	۳۰/۴۹^{g}	۵/۷۳^{h}
	جامبو	۴۱/۸۶^{fg}	۵/۸۷^{gh}
	پگاه	۴۹/۷۳^{ef}	۶/۷۴$^{f-h}$

† در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

۴. ۳. تحمل به خشکی در رقم‌های سورگوم علوفه‌ای مورد مطالعه

در جدول (۴) عملکرد بر حسب علوفه خشک (تن در هکتار) در شرایط بدون تنش (Yp) و در شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی ارقام موردمطالعه نشان داده شده است. با توجه به عملکرد علوفه در شرایط بدون تنش و شرایط تنش می‌توان رقم‌ها را به چهار گروه A (عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش)، B (عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط بدون تنش)، C (عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش) و D (عملکرد پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) تفکیک نمود (Fernandez, 1992).

در این پژوهش شدت تنش (SI) برای عملکرد علوفه خشک ۰/۴۸ برآورد شد (جدول ۳). در این آزمایش سطح نخست آبیاری (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به‌عنوان شرایط بدون تنش و شاهد در نظر گرفته شد و ازآنجاکه میزان عملکرد علوفه خشک در سه سطح دیگر تنش (ملایم، متوسط و شدید) تفاوت معنی‌داری نشان داد، تمامی شاخص‌ها در هر سه سطح تنش برآورد و گزارش شد.

براساس نتایج مندرج در جدول (۴)، ارقام اسپیدفید و پگاه به‌ترتیب با میانگین ۲۲/۵۰ و ۲۰/۶۹ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک را در شرایط بدون تنش (شاهد) داشتند. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی ملایم و متوسط ارقام پگاه و اسپیدفیدو در شرایط تنش خشکی شدید ارقام اسپیدفید و پگاه به‌ترتیب بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک را تولید کردند (جدول ۴). در تنش خشکی ملایم ارقام اسپیدفید و پگاه با دارابودن بیش‌ترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و YI و کم‌ترین مقدار شاخص YSI از عملکرد علوفه خشک بیش‌تری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی برخوردار بودند (جدول ۴).

جدول ٤. برآورد تحمل به تنش خشکی رقم‌های سورگوم براساس عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و شرایط تنش آبی (SI=۰/۴۸)

رقم	Yp (تن در هکتار)	Ys (تن در هکتار)	SSI	STI	TOL	MP	GMP	YI	YSI
		۱۴/۸۸	۰/۷۱	۰/۹۱	۷/۶۲	۱۸/۶۹	۱۸/۳۰	۱/۰۵	۰/۶۶
اسپیدفید	۲۲/۵۰	۹/۳۰	۱/۲۳	۰/۵۷	۱۳/۲۰	۱۵/۹۰	۱۴/۴۷	۱/۰۰	۰/۴۱
		۷/۴۲	۱/۴۰	۰/۴۵	۱۵/۰۸	۱۴/۹۶	۱۲/۹۲	۱/۱۵	۰/۳۳
		۱۳/۲۷	۰/۴۶	۰/۶۱	۳/۷۲	۱۵/۱۳	۱۵/۱۰	۰/۹۳	۰/۷۸
شوگرگریز	۱۶/۹۹	۸/۰۰	۱/۱۰	۰/۳۷	۸/۹۹	۱۲/۵۰	۱۱/۶۶	۰/۸۶	۰/۴۷
		۵/۷۳	۱/۳۸	۰/۲۷	۱۱/۲۶	۱۱/۳۶	۹/۸۷	۰/۸۹	۰/۳۴
		۱۳/۴۵	۰/۴۰	۰/۶۰	۲/۹۹	۱۴/۹۵	۱۴/۸۷	۰/۹۵	۰/۸۱
جامبو	۱۶/۴۴	۸/۷۰	۰/۹۸	۰/۳۹	۷/۷۴	۱۲/۵۷	۱۱/۹۶	۰/۹۴	۰/۵۳
		۵/۸۷	۱/۳۳	۰/۲۶	۱۰/۵۷	۱۱/۱۶	۹/۸۲	۰/۹۱	۰/۳۶
		۱۵/۳۰	۰/۵۴	۰/۸۶	۵/۳۹	۱۸/۰۰	۱۷/۷۹	۱/۰۸	۰/۷۴
پگاه	۲۰/۶۹	۱۱/۱۲	۰/۹۶	۰/۶۳	۹/۵۷	۱۵/۹۱	۱۵/۱۷	۱/۲۰	۰/۵۴
		۶/۷۴	۱/۴۰	۰/۳۸	۱۳/۹۵	۱۳/۷۲	۱۱/۸۱	۱/۰۵	۰/۳۳
		۱۴/۲۳	۰/۵۳	۰/۷۵	۴/۹۳	۳۱/۶۹	۱۶/۵۲	۱/۰۰	۰/۷۵
میانگین	۱۹/۱۶	۹/۲۸	۱/۰۷	۰/۴۹	۹/۸۸	۱۴/۲۲	۱۳/۳۲	۱/۰۰	۰/۴۹
		۶/۴۴	۱/۳۸	۰/۳۴	۱۲/۷۲	۱۲/۸۰	۱۱/۱۱	۱/۰۰	۰/۳۴

SI: Stress Index شدت تنش؛ Yp: Yield Potential عملکرد پتانسیل؛ Ys: Yield in Stress Condition عملکرد تنش؛ SSI: Stress Susceptibility Index شاخص حساسیت به تنش
STI: Stress Tolerance Index شاخص تحمل به تنش؛ TOL: Tolerance Index شاخص تحمل؛ MP: Mean Productivity میانگین بهره‌وری؛ GMP: Geometric Mean Productivity شاخص میانگین هندسی بهره‌وری
YI: Yield Index شاخص عملکرد؛ YSI: Yield Stability Index شاخص پایداری عملکرد

در شاخص پایداری عملکرد (YSI) مقادیر عددی بیش‌تر از واحد حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش را نشان می‌دهد و با توجه به نتایج مندرج جدول (۴) مشخص می‌شود که در هر سطوح تنش ملایم و شدید

ارقام اسپیدفید و پگاه به‌عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش شناسایی شدند و از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار بودند.

مقادیر بالاتر شاخص YI نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر ژنوتیپ به تنش است که در شرایط تنش ملایم و متوسط رقم پگاه و پس از آن رقم اسپیدفید با بالاترین مقدار YI مقاوم‌ترین رقم‌ها برآورد شدند. در شرایط تنش شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) نیز این دو رقم دارای بالاترین مقدار YI بودند با این تفاوت که رقم اسپیدفید در جایگاه نخست و رقم پگاه در رتبه پس از آن قرار گرفت (جدول ۴).

این درحالی است که در اکثر سطوح تنش خشکی ارقام شوگرگریز و جامبو با وجود برخورداری از کم‌ترین مقادیر شاخص SSI از عملکرد علوفه خشک کم‌تری در شرایط تنش و بدون تنش (شاهد) برخوردار بودند. از این‌رو، با وجود شیب کاهشی کم‌تر عملکرد علوفه خشک در شرایط خشکی در مقایسه با شاهد، ارقام مذکور متحمل به خشکی نبودند.

در شرایط تنش رقم‌های شوگرگریز و جامبو با مقدار شاخص TOL پایین‌تر در مقایسه با دو رقم اسپیدفید و پگاه، در هر سه سطح تنش خشکی متحمل‌تر از رقم‌های پگاه و اسپیدفید (با مقدار شاخص TOL بالاتر) در نظر گرفته شدند (جدول ۴). اما در شرایط تنش متوسط و شدید رقم‌هایی به‌عنوان رقم‌های متحمل به تنش شناسایی شدند که از نظر میزان عملکرد تولیدی در شرایط بدون تنش و تنش در رتبه پایینی قرار داشتند. یعنی، ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص TOL کم‌تری هستند در محیط تنش تغییر عملکرد کم‌تری از خود نشان دادند.

۵. بحث

براساس نتایج به‌دست‌آمده ارقام اسپیدفید و پگاه از نظر تولید علوفه تر در شرایط محدودیت آبی برتر از دو رقم جامبو و شوگرگریز بودند و تحمل به خشکی بالاتری داشتند (جدول ۳). پگاه رقم آزاد گرده‌افشان و اسپیدفید رقم هیبرید می‌باشند و در شرایط بدون تنش و تنش ملایم خشکی مقادیر میانگین علوفه تر در هیبرید اسپیدفید بیش‌تر از رقم پگاه بود، اما در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی این برتری از بین رفت (جدول ۳). مزایای هیبرید در شرایطی که رطوبت خاک مساعد یا نزدیک به مطلوب بوده است بروز کرده و در شرایط کمبود رطوبت این توانایی کاهش یافته است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین ارقام سورگوم علوفه‌ای از نظر عملکرد علوفه خشک در تیمارهای مختلف آبیاری، ارقام پگاه و اسپیدفید بالاترین تحمل به خشکی را داشتند و در شرایط محدودیت متوسط و شدید آب علوفه خشک قابل‌قبولی تولید کردند (جدول ۳).

نتایج بررسی دیگری نشان داده است که میانگین عملکرد علوفه خشک سورگوم به وضعیت رطوبتی خاک وابسته است که نتایج این آزمایش را تأیید می‌کند (مقیمی و امام، ۱۳۹۲). در پژوهش دیگری نیز نتایج نشان داد که عملکرد علوفه خشک در شرایط بدون تنش ۴۶/۸ تن در هکتار بود و در شرایط تنش به ۳۶/۸ تن در هکتار تقلیل یافت که با نتایج به‌دست‌آمده تطابق دارد (Hossein *et al*., 2014).

تنش خشکی با کاهش سطح برگ از طریق کاهش تقسیمات سلولی و تورژسانس و بزرگ‌شدن و تأثیر بر رشد کل گیاه، کاهش ارتفاع بوته و ریزش برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای برای جلوگیری از عدم هدرروی آب سبب کاهش عملکرد علوفه تر و خشک گیاه می‌شود (شکوه‌فر و ابوفتیله نژاد، ۱۳۹۲). در این آزمایش نیز کاهش علوفه خشک احتمالاً مرتبط با کاهش تعداد برگ، وزن خشک برگ، نسبت برگ به ساقه، ارتفاع بوته و تعداد، طول و وزن پانیکول در شرایط تنش خشکی بوده است.

مقدار زیاد شاخص‌های STI و GMP نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر رقم به تنش است. در تنش خشکی متوسط ارقام

پگاه و اسپیدفید با دارا بودن بیش‌ترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و YI، عملکرد علوفه خشک بیش‌تری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی تولید کردند (جدول ۴). این در حالی است که بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی شدید در رقم اسپیدفید با دارابودن بیش‌ترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و YI و کم‌ترین مقدار شاخص YSI مشاهده شد (جدول ۴). بر این اساس رقم‌های اسپیدفید و پگاه با میانگین عملکرد علوفه خشک بالاتر از میانگین Yp و میانگین Ys، در گروه A (Fernandez, 1992) قرار گرفتند (جدول ۴).

شاخص SSI براساس نسبت عملکرد هر رقم در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در همه رقم‌ها سنجیده می‌شود، بنابراین دو رقم با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، در نتیجه انتخاب براساس SSI مناسب نمی‌باشد. هرچه مقدار عددی شاخص SSI کوچکتر باشد، حساسیت به تنش کم‌تر و تحمل نسبی ژنوتیپ به تنش رطوبتی بیش‌تر است. اما با استفاده از این شاخص فقط می‌توان تنها ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد.

مانند رقم‌های شوگرگریز و جامبو در این آزمایش که براساس شاخص SSI در شرایط تنش ملایم و شدید مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها برآورد شدند. در صورتی‌که عملکرد این دو رقم در شرایط تنش و بدون تنش به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از میانگین عملکرد علوفه دیگر رقم‌ها اندازه‌گیری شد. بنابراین تحت تنش ملایم (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و تنش شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) رقم شوگرگریز و رقم جامبو نه به‌دلیل تولید عملکرد بالا در شرایط تنش ملایم و شدید، بلکه فقط به‌خاطر پایین‌بودن درصد تغییر عملکرد، به‌عنوان متحمل‌ترین رقم به‌وسیله شاخص SSI معرفی شدند (جدول ۴). این درحالی است که بنابر شاخص SSI، رقم اسپیدفید و پگاه که دارای عملکرد بالایی در شرایط تنش نسبت به سایر رقم‌ها بودند در گروه C قرار گرفتند (Fernandez, 1992).

به‌نظر می‌رسد پایین‌بودن شاخص TOL لزوماً به معنای بالابودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نمی‌باشد چون ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کم‌تری همراه باشد که باعث کوچک‌شدن شاخص TOL شود و در نتیجه این رقم به‌عنوان رقم متحمل معرفی شود (مقدم و هادی زاده، ۱۳۸۱). بنابراین مشخص می‌شود که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی مناسب نمی‌باشد. شاخص TOL هم همانند شاخص SSI می‌باشد و مقادیر عددی پایین، TOL نشان‌دهنده تحمل نسبی رقم‌ها است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست‌آمده، علوفه حاصل از سورگوم در شرایط بدون تنش خشکی بسیار مطلوب و در شرایط محدودیت آبی در حد قابل‌قبول بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد علوفه تر در شرایط بدون تنش (شاهد) به میزان ۱۲۱/۶۰ و ۱۱۸/۷۹ تن در هکتار و بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب با میانگین ۲۲/۵۰ و ۲۰/۶۹ تن در هکتار به‌ترتیب از ارقام اسپیدفید و پگاه حاصل شد. هم‌چنین بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک در تنش خشکی ملایم در ارقام پگاه و اسپیدفید (با میانگین ۱۵/۳۰ و ۱۴/۸۸ تن در هکتار)، تنش خشکی متوسط در رقم پگاه (۱۱/۱۲ تن در هکتار) و تنش خشکی شدید در رقم اسپیدفید (۷/۴۲ تن در هکتار) مشاهده شد. ارزیابی تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش نشان داد که در شرایط تنش خشکی ملایم ارقام اسپیدفید و پگاه، در شرایط تنش خشکی متوسط ارقام پگاه و اسپیدفید و در شرایط تنش خشکی شدید رقم اسپیدفید با دارابودن بیش‌ترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و YI به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام سورگوم علوفه‌ای به تنش خشکی انتخاب شدند.

بر این اساس، ارقام اسپیدفید و پگاه با رژیم آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم)، ضمن تولید عملکرد مطلوب، موجب صرفه‌جویی در آب آبیاری شدند و برای منطقه گرم و خشک جیرفت استان کرمان و مناطق مشابه قابل‌توصیه می‌باشند.

۷. تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت و کهنوج به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

بازگیر، معصومه؛ رفیعی، مسعود، و خورگامی، علی (۱۳۹۹). مقایسه ارقام سورگوم دانه‌ای در کشت تابستانه براساس عملکرد و راندمان مصرف آب تحت تنش خشکی. *علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۱ (۴)، ۱-۱۱. doi: 10.22059/IJFCS.2020.263387.654506

بی‌نام. (۱۳۹۵). *ارقام زراعی (گذشته و آینده)*. تهران: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

خزایی، عظیم؛ گل زردی، فرید و بغدادی، امیرصالح (۱۳۹۸، بهمن). ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای. *شانزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران*. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

خضرلو، فاطمه؛ جلیلی، فرزاد و خلیلی محله، جواد (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی و مقادیر مختلف نیتروژن و پتاسیم بر تولید علوفه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید. *پژوهش در علوم زراعی*. ۲ (۸)، ۵۱-۶۶.

خواجه خضری، عطیه؛ رضایی استخرویيه، عباس و گلستانی کرمانی، سودابه (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات کم‌آبیاری متناوب و منظم بر عملکرد و برخی از اجزای آن در کشت مخلوط (سورگوم- لوبیا قرمز). *علوم و مهندسی آبیاری*. ۴۱ (۲)، ۷۷-۹۲. doi: 10.22055/jise.2018.13614

شکوه فر، علیرضا و ابوفتیله نژاد، سعاد (۱۳۹۲). اثر تنش خشکی روی برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد بیولوژیکی ارقام مختلف ماش در دزفول. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*. ۵ (۱۷). doi: 20.1001.1.2008403.1392.5.17.4.9

مقدم، علی و هادی‌زاده، محمدحسن (۱۳۸۱). عکس العمل هیبریدهای ذرت و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. *مجله نهال و بذر*. ۱۸ (۳)، ۲۷۲-۲۵۵.

مقیمی، نغمه، و امام، یحیی (۱۳۹۲). بررسی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دو رقم سورگوم علوفه‌ای، تحت تنش کم‌آبی و سطوح نیتروژن. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۶ (۱)، ۲۷-۳۶. doi: 10.22077/escs.2013.135

موسوی فضل، سیدحسن؛ علیزاده، امین؛ انصاری، حسین و رضوانی مقدم، پرویز (۱۳۹۳). اثر مقادیر آب آبیاری و کود پتاسیم بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی ارقام سورگوم علوفه‌ای. *آبیاری و زهکشی ایران*. ۴ (۸)، ۷۴۷-۷۵۶.

عبدی، مهرداد و حبیبی، محمود (۱۳۹۶). اثر تنش کم‌آبی بر کیفیت و کمیت علوفه دو رقم سورگوم علوفه‌ای در منطقه جیرفت. *بوم‌شناسی گیاهان زراعی*. ۱۳ (۳)، ۳۵-۴۰. doi: 10.22034/AEJ.2017.536835

References

Abdi, M., & Habibi, M. (2017). Effect of drought stress on quantitative and qualitative traits of two forage sorghum cultivars in Jiroft region. *Agroecology Journal*, *13*(3), 35-40. (In Persian).

Abebe, T., Belay, G. Tadesse, T., & Keneni, G. (2020). Selection efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify superior sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under two-contrasting environments. *African Journal of Agricultural Research*, *15*(3), 379-392.

Anonymous. (2016). *Crop varieties (past and future)*. Tehran: Agricultural Research Education and Extention Organization. (In Persian).

Bazgir, M., Rafiee, M., & Khorgami, A. (2020). Comparison of grain sorghum varieties base on yield and water use efficiency under drought stress in summer cropping, *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 1-11. (In Persian).

Bouslama, M., & Schapaugh, W.T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, *24*, 933-937.

Fernandez, G. C. (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*. edited by Kuo, C.G. Tainan: AVRDC Publication.

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*, 897-912.

Gano, B., Dembele, J. S. B. Tovignan, T. k. Sine, B. Vadez, V. Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Adaptation responses to early drought stress of west Africa sorghum varieties. *Agronomy*, *11*(3), 443.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Plant Science*, *77*, 523-531.

Hossein, A. M., Hoque, M. D. A., Burritt, D. J., & Fujita, M. (2014). Proline Protects Plants Against Abiotic Oxidative Stress: Biochemical and Molecular Mechanisms. In *Oxidative Damage to Plants*. Berlin: Academic Press.

Khajeh Khezri, A., Rezaei Estakhroeih, A., & Golestani Kermani, S. (2018). Evaluating the effects of alternative and regulated deficit irrigation on yield and some components in intercropping (Sorghum – Red bean). *Irrigation Sciences and Engineering*, *41*(2), 77-92. (In Persian).

Khazaei, A., Golzardi, F., & Baghdadi, A. S. (2019, January). *Evaluation of tolerance to drought stress in promising fodder sorghum lines*. 16th national Iranian crop science congress. Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. (In Persian).

Khezerlo, F., Jalili, F., & KhaliliMahaleh, J. (2010). The Effect of drought stress and different amounts of nitrogen and potassium fertilizers on productivity of forage sorghum variety Speedfeed. *Journal of Research in Crop Sciences*, *2*(8), 51-66. (In Persian).

Moghaddam, A., & Hadizadeh, M. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) Hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Journal*, *18*(3), 255-272. (In Persian).

Moghimi, N., & Emam, Y. (2013). Evaluation of morpho-physiological traits and yield of two forage sorghum cultivars under water stress and nitrogen levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *6*(1), 27-36. (In Persian).

Mousavi Fazl, S. H., Alizadeh, A., Ansari, H., & Rezvani Moghaddam, P. (2014). Effect of Different levels of Irrigation Water and Potassium Fertilizer on Root and Shoot Growth of Forage Sorghum. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *8*(4), 747-756. (In Persian).

Mutava, R. N., Prasad, P. V. V., Tuinstra, M. R., Kofoid, K. D., & Yu, J. (2011). Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. *Field and Crops Research*, *123*, 10-18.

Reddy, P. S. (2019). Breeding for Abiotic Stress Resistance in Sorghum. In *Breeding sorghum for diverse end uses*. edited by Aruna, C., Visarada, K. B. R. S., Bhat B. V., & Tonapi, V. A. Cambridge: Duxford.

Rosielle, A. T., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, *21*, 943-945.

Shokouhfar, A., & Abofatileh nezhad, S. (2013). Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*Vigna radiate* (L.)) in Dezful. *Crop Physiology Journal*, *5*(17), 49-59. (In Persian).

Waqas, M. A., Kaya, C., Riaz, A., Farooq, M., Nawaz, I., Wilkes, A., & Li, Y. (2019). Potential Mechanisms of Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants Induced by Thiourea. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1336.