



Evaluation of yield, water productivity and drought tolerance of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars under different irrigation methods and regimes

Mohsen Tavazoh¹, Davood Habibi², Farid Golzardi^{3*}, Mohammad Nabi Ilkaee² and Farzad Paknejad⁴

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (*Corresponding author: f.golzardi@areeo.ac.ir)
4. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

The lack of irrigation water resources in the country in recent years has reduced the yield of crops and threatened food security; Therefore, it is necessary to think of ways to produce crops while saving water. One of the ways to increase production with limited irrigation water resources is the cultivation of drought-tolerant crops with high water use efficiency. Sorghum is known as one of the most important crops in arid and semi-arid regions of the world with its unique characteristics (including tolerance to environmental stresses, especially drought and heat, deep and extensive root system, C₄ photosynthetic pathway, etc.). The use of appropriate irrigation methods is also known as another way to increase the production of crops with limited water resources. In this regard, the irrigation methods of alternate furrow irrigation and drip irrigation have been used as new irrigation management solutions in the country with favorable results. This study aimed to evaluate the effect of different irrigation regimes and methods on yield, morphological characteristics, water productivity, and drought tolerance of open-pollinated and hybrid forage sorghum cultivars.

Materials and methods

This experiment was conducted as a factorial split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, during the 2019 and 2020 cropping seasons. The factorial combination of four irrigation methods (CFI, conventional furrow irrigation; FFI, fixed alternate furrow irrigation; AFI, variable alternate furrow irrigation; and drip irrigation) and three levels of drought stress (full irrigation, moderate stress, and severe stress; including the supply 100, 75, and 50% of soil moisture deficit, respectively) as the main factor and two sorghum cultivars (Speedfeed and Pegah) as sub-factor were investigated. In this study, traits including silage yield, dry matter yield and percentage, irrigation water use efficiency, benefit per drop, net benefit per drop, leaf-to-stem ratio, plant height, and drought stress tolerance indices were evaluated. Due to the homogeneity of the variances of experimental errors over two years, the data were subjected to combined analysis of variance using SAS 9.1 statistical software, and Tukey's test ($P \leq 0.05$) was used to compare the means. In addition, IPASTIC online software was used to calculate stress tolerance indices and principal component analysis (PCA) based on these indices.



Research findings

The results showed that drought stress in all investigated irrigation methods decreased the silage yield, dry matter yield, and plant height and increased water use efficiency for silage and dry matter production, dry matter percentage, and leaf-to-stem ratio. The highest silage and dry matter yields (79.11 and 17.19 ton ha⁻¹, respectively), and the maximum net benefit per drop (18854 Rials m⁻³) were obtained by cv. Pegah under full irrigation and drip method, whereas the maximum water use efficiency for silage and dry matter production (34.53 and 7.88 kg m⁻³, respectively) and the highest benefit per drop (60542 Rials m⁻³) were recorded in hybrid Speedfeed under severe stress and drip method. The highest leaf-to-stem ratio (0.715) was obtained in the FFI method under severe stress and the amount of this trait in cv. Pegah was about 8.6% higher than that of hybrid Speedfeed. Based on the stress tolerance indices, cv. Pegah under the CFI and drip methods and hybrid Speedfeed under the FFI method had more drought tolerance. In contrast, there was no significant difference between the cultivars under the FFI method.

Conclusion

In order to save water while achieving suitable forage yield and water productivity, the drip irrigation method and supplying 75% of soil moisture deficiency is recommended. If it is impossible to implement the drip irrigation system, the variable alternate furrow irrigation method can produce suitable forage yield while reducing the amount of water consumed.

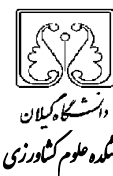
Keywords: Alternate furrow irrigation, Deficit irrigation, Drip irrigation, Dry matter yield, Hybrid, Open-pollinated cultivar

Received: April 30, 2022

Accepted: September 03, 2022

Cite this article:

Tavazoh, M., Habibi, D., Golzardi, F., Ilkaee, M.N. and Paknejad, F. 2022. Evaluation of yield, water productivity, and drought tolerance of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars under different irrigation methods and regimes. **Cereal Research** 12 (2): 115-133.



ارزیابی عملکرد، بهره‌وری آب و تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] تحت روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری

محسن تواضع^۱، داود حبیبی^۲، فرید گل‌زردی^{۳*}، محمدنبی ایلکایی^۲ و فرزاد پاک‌نژاد^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (* نویسنده

مسئول: f.golzardi@areeo.ac.ir

۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: کمبود منابع آب آبیاری در کشور طی سال‌های اخیر باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و تهدید امنیت غذایی شده است و بنابراین لازم است راهکارهایی برای تولید گیاهان زراعی ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب اندیشیده شود. یکی از راهکارهای افزایش تولید با منابع محدود آب آبیاری، کشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی با کارایی مصرف آب بالا می‌باشد. سورگوم با ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد (از جمله تحمل به تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و گرما، سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده، مسیر فتوسنتزی چهارکربنه و ...) به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان شناخته می‌شود. استفاده از روش‌های آبیاری مناسب نیز به‌عنوان یکی دیگر از راهکارهای افزایش تولید گیاهان زراعی با منابع محدود آب شناخته شده است. در این راستا روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان و قطره‌ای نواری به‌عنوان راهکارهای نوین مدیریت آبیاری در کشور با نتایج مطلوبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر رژیم‌ها و روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیک، بهره‌وری آب و تحمل به خشکی ارقام آزادگرده‌افشان و هیبرید سورگوم علوفه‌ای بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. ترکیب چهار روش آبیاری (جویچه‌ای معمول، یک‌درمیان ثابت، یک‌درمیان متغیر و قطره‌ای نواری تیپ) و سه سطح تنش خشکی (آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید، به‌ترتیب شامل تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم سورگوم (هیبرید اسپیدفید و رقم آزادگرده‌افشان پگاه) به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. صفات ارزیابی شده در این آزمایش، عملکرد علوفه سیلویی، عملکرد و درصد ماده خشک، کارایی مصرف آب آبیاری، بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری (بر اساس ارزش ناخالص و خالص تولید محصول)، نسبت برگ به ساقه، ارتفاع بوته و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی بودند. با توجه به همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از روش توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای محاسبه

شاخص‌های تحمل به تنش و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس این شاخص‌ها نیز از نرم‌افزار آنلاین IPASTIC استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد که تنش خشکی در تمام روش‌های آبیاری مورد بررسی سبب کاهش عملکرد علوفه سیلویی، عملکرد ماده خشک و ارتفاع بوته و افزایش کارایی مصرف آب برای تولید علوفه و ماده خشک، درصد ماده خشک و نسبت برگ به ساقه شد. بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی و ماده خشک (به ترتیب ۷۹/۱۱ و ۱۷/۱۹ تن در هکتار) و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول (۱۸۸۵۴ ریال بر مترمکعب) از رقم پگاه تحت آبیاری کامل و روش قطره‌ای نواری حاصل شد. در حالی‌که حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید علوفه سیلویی و ماده خشک (به ترتیب ۳۴/۵۳ و ۷/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص تولید محصول (۶۰۵۴۲ ریال بر مترمکعب) در هیبرید اسپیدفید تحت تنش شدید و روش قطره‌ای نواری ثبت شد. بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه (۰/۷۱۵) در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت تحت تنش شدید حاصل شد و میزان این صفت در رقم پگاه حدود ۸/۶ درصد بیش‌تر از هیبرید اسپیدفید بود. بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش، رقم پگاه تحت روش‌های آبیاری جویچه‌ای معمول و قطره‌ای نواری تیپ و هیبرید اسپیدفید تحت آبیاری یک‌درمیان ثابت، تحمل به خشکی بیش‌تری نشان دادند در حالی‌که در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب ضمن دستیابی به عملکرد علوفه و بهره‌وری آب مناسب، روش آبیاری قطره‌ای با تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک قابل‌توصیه می‌باشد. در صورتی که امکان اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای وجود نداشته باشد، روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر می‌تواند ضمن کاهش حجم آب مصرفی، عملکرد علوفه مناسبی تولید کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، آبیاری یک‌درمیان، رقم آزادگرده‌افشان، عملکرد ماده خشک، کم‌آبیاری، هیبرید

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

تواضع، محسن، حبیبی، داود، گل‌زردی، فرید، ایلکابی، محمدنبی و پاک‌نژاد، فرزاد. ۱۴۰۱. ارزیابی عملکرد، بهره‌وری آب و تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] تحت روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری. تحقیقات غلات ۱۲ (۲): ۱۱۵-۱۳۳.

مقدمه

محدودیت منابع آب، تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های شدید در سال‌های اخیر باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و به‌خطر افتادن امنیت غذایی شده است (Balazadeh *et al.*, 2021). از آنجا که کمبود منابع آب آبیاری به‌عنوان مهم‌ترین مشکل در مسیر تولید غذا و علوفه شناخته می‌شود، لازم است به راه‌کارهای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و کشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی توجه شود (Farhadi *et al.*, 2022). یکی از راهکارهای افزایش تولید با منابع محدود آب استفاده از گیاهان متحمل به خشکی با کارایی مصرف آب بالا می‌باشد (Baghdadi *et al.*, 2021). سورگوم (*Sorghum bicolor*) که جزو غلات گرمسیری چهارکرنبه محسوب می‌شود (Khalilian *et al.*, 2022) به‌دلیل دارا بودن مزایای مختلف نسبت به سایر گیاهان علوفه‌ای، از جمله تحمل به تنش‌های محیطی به‌خصوص خشکی و گرما به یکی از گیاهان علوفه‌ای مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تبدیل شده است (Shakeri *et al.*, 2018; Ahmadzadeh *et al.*, 2017). این گیاه با سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده‌ای که دارد می‌تواند آب و مواد غذایی را از اعماق مختلف خاک به‌طور کارآمدی جذب و عملکرد بالایی تولید کند (Kaplan *et al.*, 2019). این ویژگی‌ها سبب شده است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیز در خاک‌های دارای آب و مواد غذایی محدود، سورگوم به یک گیاه زراعی برتر تبدیل شود (Ashoori *et al.*, 2021; Khazaei *et al.*, 2021). گل‌زردی و همکاران (Golzardi *et al.*, 2017) گزارش کردند که استفاده از روش آبیاری یک‌درمیان (آبیاری جزئی ناحیه ریشه) تحت شرایط آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش حجم آب مصرفی به‌ترتیب به میزان ۳۱، ۲۸ و ۲۵ درصد نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم شد و کارایی مصرف آب برای تولید دانه و بیوماس ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بغدادی و همکاران (Baghdadi *et al.*, 2021) نیز بیان داشتند که دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار بدون استفاده بهینه از منابع آبی میسر نخواهد شد و در این راستا روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، موجب افزایش کارایی مصرف آب سورگوم شود. اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2019) نیز بیان داشتند که در روش

آبیاری جویچه‌ای معمول، مقدار زیادی از آب مصرفی هدر می‌رود (به ویژه در آغاز فصل رشد) که این موضوع سبب افزایش نسبت تبخیر به تعرق شده و کارایی مصرف آب را می‌کاهد. چای و همکاران (Chai *et al.*, 2016) گزارش کردند که در روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان، سطح تبخیر کاهش و نسبت تعرق به تبخیر افزایش می‌یابد. لی و همکاران (Li *et al.*, 2007) نیز نشان دادند که بخش خشک ریشه در روش آبیاری یک‌درمیان، به‌دلیل واکنش‌های فیزیولوژیک در برابر تنش کم‌آبی، هورمون آبسسیسک اسید تولید می‌کند که انتقال آن به برگ‌ها باعث کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود.

مجیدی چهارمحالی و همکاران (Majidi *et al.*, 2022) گزارش کردند که استفاده از روش آبیاری قطره‌ای باعث کاهش حجم آب مصرفی در زراعت ذرت شد و فقط خاک اطراف ریشه را مرطوب نگه داشت. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2016) نیز نشان دادند که روش آبیاری قطره‌ای باعث کاهش هدررفت آب و صرفه‌جویی در هزینه‌های خاک‌ورزی (ایجاد جوی و پشته) می‌شود و وضعیت رطوبت خاک را به صورت کنترل‌شده حفظ می‌کند. افراسیاب و همکاران (Afrasiab *et al.*, 2016) گزارش کردند که استفاده از روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) ضمن صرفه‌جویی در حجم آب مصرفی، موجب افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه ذرت شد و بر این اساس بهتر است در مناطقی که استفاده از آبیاری سطحی امکان‌پذیر نیست و یا مشکل کمبود آب وجود دارد، از روش آبیاری تیپ استفاده شود. از آنجا که تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی، اثرات متعددی بر مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی دارد و نظام‌های کشاورزی و تولید غذا را به‌شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Baghdadi *et al.*, 2021)، لازم است ارقام متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شناسایی شوند (Falaknaz *et al.*, 2019). با توجه به شرایط کم‌آبی و گسترش خشک‌سالی‌ها در سال‌های اخیر و همچنین افزایش جمعیت و تقاضای رو به رشد برای محصولات دامی در کشور ضروری است پتانسیل تولید علوفه در ارقام آزادگرده‌افشان و هیبرید سورگوم علوفه‌ای موجود در کشور مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا، این تحقیق به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی

در زمان کاشت نیز عنصر نیتروژن (N) به میزان ۴۶ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود اوره) به زمین اضافه شد. علاوه بر این در مرحله ۶-۴ برگی بوته‌ها نیز ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (از منبع کود اوره) به صورت سرک همراه با آبیاری به زمین افزوده شد. فاصله بین بوته‌ها روی خطوط کاشت در هر دو رقم مورد بررسی، هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد تا تراکم ۲۰۸ هزار بوته در هکتار حاصل شود (Khazaei et al., 2019).

آب آبیاری در روش جویچه‌ای معمول، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر به وسیله لوله‌های پلی اتیلن به ابتدای جویچه‌ها هدایت شد. در روش آبیاری قطره‌ای نواری، از نوارهای تیپ با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله مجاری خروج آب ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیرهای قطع و وصل و کنتور حجمی انجام شد. در این تحقیق برای محاسبه میزان آب آبیاری در هر نوبت، از روش اندازه‌گیری محتوی رطوبت خاک استفاده شد. بدین منظور قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک به وسیله دستگاه تی.دی.آر اندازه‌گیری شد (نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم در سال اول به ترتیب ۳۳ و ۱۱ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳۲ و ۱۰ درصد بود). حجم آب مورد نیاز در تیمار آبیاری کامل، بر اساس اختلاف بین رطوبت خاک و حد ظرفیت زراعی برآورد و با توجه به مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری در هر نوبت محاسبه شد. مقدار آب آبیاری لازم برای بازگرداندن رطوبت خاک به نقطه ظرفیت زراعی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Afshar et al., 2014):

$$V_w = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D \times A \quad (1)$$

که در آن، V_w حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (بر حسب مترمکعب)، θ_{FC} محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (بر حسب درصد)، θ_i محتوای حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری (بر حسب درصد)، D عمق مؤثر عمودی ریشه (بر حسب متر) و A مساحت کرت (بر حسب مترمربع) است. در تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید نیز به ترتیب از ۷۵ و ۵۰ درصد مقدار آب مورد استفاده در تیمار آبیاری کامل (بدون تنش) استفاده شد. به منظور تعیین عملکرد علوفه سیلویی، دو خط وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط برداشت و برگ‌ها و ساقه‌ها به تفکیک توزین شدند. به منظور تعیین درصد ماده خشک،

تحت روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیک و بهره‌وری آب ارقام سورگوم انجام شد. یکی دیگر از اهداف آزمایش حاضر، ارزیابی تحمل به خشکی ارقام سورگوم تحت روش‌های مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل-اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری به صورت فاکتوریل به عنوان عامل اصلی و ارقام سورگوم (هیبرید اسپیدفید و رقم آزادگرده افشان پگاه) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. هیبرید اسپیدفید که از دورگ‌گیری بین سورگوم-سودان گراس و سورگوم معمولی به دست آمده است، در حال حاضر بیشترین سطح زیر کشت سورگوم علوفه‌ای در کشور را به خود اختصاص داده است. رقم اسپیدفید دارای تیپ علفی و زودرس است و بر اساس شرایط اقلیمی، قابلیت تولید دو تا پنج چین علوفه را دارد و برای کاشت در مناطق گرم، معتدل و نیمه سرد کشور مناسب می‌باشد. رقم پگاه دارای تیپ علوفه‌ای و متوسط‌رس است و قابلیت تولید دو چین علوفه را دارد و برای کاشت در مناطق معتدل و گرم کشور مناسب است. این رقم کیفیت علوفه بالاتری نسبت به رقم اسپیدفید دارد و جهت مصارف سیلویی، تولید علوفه تازه و خشک و چرای مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Baghdadi and Golzardi, 2022). روش‌های آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری جویچه‌ای معمول، یک‌درمیان ثابت، یک‌درمیان متغیر و قطره‌ای نواری (تیپ) و رژیم‌های آبیاری در سه سطح (بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید؛ به ترتیب شامل تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

آزمایش شامل ۲۴ تیمار و ۷۲ کرت آزمایشی بود و در هر کرت، چهار خط کاشت به طول پنج متر و با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Khazaei et al., 2019). پیش از کاشت نسبت به تهیه زمین (شخم، دیسک و لولر) اقدام شد و بر اساس نتایج آزمون خاک، مقدار کود مورد نیاز به زمین اضافه گردید. بدین منظور پیش از کاشت عنصر فسفر (P_2O_5) به میزان ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار و نیتروژن (N) به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود دی آمونیوم فسفات) مصرف شد.

نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با روش توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. علاوه بر این، محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها، ارزیابی همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش و همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از نرم‌افزار آنلاین IPASTIC انجام شد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019).

نتایج و بحث

عملکرد علوفه و ماده خشک

اثر اصلی روش آبیاری و رژیم آبیاری و برهمکنش روش آبیاری × رژیم آبیاری، روش آبیاری × رقم، روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم بر عملکرد علوفه سیلویی و عملکرد ماده خشک سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش رژیم آبیاری × رقم نیز بر عملکرد علوفه سیلویی در سطح احتمال پنج درصد و بر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. محتوی ماده خشک علوفه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری، رژیم آبیاری (در سطح احتمال یک درصد)، رقم، روش آبیاری × رقم و روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت. عملکرد علوفه سیلویی، عملکرد ماده خشک و محتوی ماده خشک علوفه در سال دوم آزمایش به‌ترتیب حدود ۴، ۵ و ۱ درصد بیش‌تر از سال اول بود، هر چند این تفاوت معنی‌دار نشد (جدول ۱). در بین روش‌های مختلف آبیاری، بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی و حداکثر عملکرد ماده خشک (به‌ترتیب ۶۲/۰۰ و ۱۳/۷۹ تن در هکتار) با روش آبیاری قطره‌ای نواری و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۳۶/۹۲ و ۸/۹۰ تن در هکتار) با آبیاری یک‌درمیان ثابت حاصل شد، درحالی‌که بیش‌ترین محتوی ماده خشک (۲۴/۱۸ تن در هکتار) در روش یک‌درمیان ثابت و کم‌ترین آن (۲۲/۲۹ تن در هکتار) در روش آبیاری قطره‌ای نواری ثبت شد (جدول ۱)، که به‌نظر می‌رسد با بیش‌تر بودن شدت تنش در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت مرتبط باشد. به‌عبارت دیگر در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت، محتوی رطوبت کم‌تری در بافت‌های گیاهی باقی می‌ماند که سبب افزایش درصد ماده خشک شده است

از هر کرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و وزن تر برگ و ساقه به تفکیک اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد ساقه‌ها و برگ‌های هر کرت در پاکت کاغذی جداگانه قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن) در ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند و پس از خشک شدن مجدداً توزین شدند (وزن خشک). در نهایت درصد ماده خشک هر کرت با تقسیم وزن خشک نمونه‌ها بر وزن تر آن‌ها محاسبه شد. بر اساس درصد ماده خشک در هر کرت، عملکرد ماده خشک نیز محاسبه شد. جهت محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری (بهره‌وری فیزیکی آب) برای تولید علوفه سیلویی و ماده خشک از رابطه (۲) استفاده شد (Djaman and Irmak, 2012):

$$IWUE = \frac{Yield}{WU} \quad (2)$$

در این معادله IWUE کارایی مصرف آب آبیاری (بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield عملکرد علوفه سیلویی یا ماده خشک (بر حسب کیلوگرم در هکتار) و WU مجموع آب آبیاری مصرفی طی فصل رشد (بر حسب مترمکعب در هکتار) می‌باشد. بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری نیز بر اساس ارزش ناخالص و خالص (سود) تولید محصول به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شدند (Asadi *et al.*, 2022):

$$BPDC = \frac{TRC}{WU} \quad (3)$$

$$NBPDC = \frac{NRC}{WU} \quad (4)$$

که در آنها، BPDC بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص تولید محصول (بر حسب ریال بر مترمکعب)، NBPDC بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص (سود) تولید محصول (بر حسب ریال بر مترمکعب)، TRC درآمد ناخالص تولید محصول (بر حسب ریال در هکتار)، NRC درآمد خالص (سود) تولید محصول (بر حسب ریال در هکتار) و WU مجموع آب آبیاری مصرفی طی فصل رشد (بر حسب مترمکعب در هکتار) می‌باشد (Asadi *et al.*, 2022).

در پایان با توجه نتایج آزمون بارتلت و همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال، داده‌ها مورد تجزیه آماری مرکب قرار گرفتند. به‌منظور تجزیه واریانس، سال به‌عنوان اثر تصادفی و تیمارهای آزمایشی به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. محاسبات آماری با استفاده از

(Eskandari *et al.*, 2019) نیز گزارش کردند که روش آبیاری یک‌درمیان (آبیاری جزئی ریشه) باعث کاهش جزئی عملکرد ماش شد، اما میزان کاهش حجم آب مصرفی در این روش بیش‌تر از کاهش عملکرد بود و در نتیجه کارایی مصرف آب نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای مرسوم بهبود یافت. فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2013) کاهش شاخص برگ (ناشی از کاهش اندازه یا تعداد برگ در بوته) در شرایط تنش خشکی و آبیاری جزئی ریشه را به‌عنوان دلیلی برای افت عملکرد گیاه ذرت عنوان کردند و بیان داشتند که تنش خشکی با کاهش سطح برگ، موجب کاهش دریافت تشعشعات فعال فتوسنتزی و در نهایت افت تولید اسیمیلات‌ها و عملکرد گیاه ذرت شده است.

مقایسه میانگین برهمکنش روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی و حداکثر عملکرد ماده خشک (به‌ترتیب ۷۹/۱۱ و ۱۷/۱۹ تن در هکتار) در رقم پگاه با آبیاری کامل و روش آبیاری قطره‌ای نواری ثبت شد درحالی‌که کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۲۶/۳۳ و ۶/۴۸ تن در هکتار) در رقم پگاه تحت تنش شدید و روش آبیاری یک‌درمیان ثابت حاصل شد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل پائین بودن عملکرد در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت، توسعه نامتوازن ریشه‌ها باشد به نحوی که در این روش، ریشه‌ها بیش‌تر به سمت مرطوب خاک متمایل می‌شوند و گیاه در جذب عناصر غذایی موجود در بخش خشک خاک ناموفق عمل می‌کند. اما در روش یک‌درمیان متغیر با توجه به تغییر جوی آبیاری در هر نوبت، ریشه‌ها به‌طور متوازن گسترش می‌یابند و گیاه می‌تواند از بخش وسیع‌تری از خاک، مواد غذایی موردنیاز خود را جذب کند (Chai *et al.*, 2016). حداکثر محتوی ماده خشک علوفه (۲۴/۸۸) نیز در هیبرید اسپیدفید تحت تنش شدید با روش آبیاری یک‌درمیان ثابت ثبت شد، هر چند تفاوت معنی‌داری با محتوی ماده خشک رقم پگاه (۲۴/۶۱ درصد) در همان رژیم و روش آبیاری نداشت. حداقل محتوی ماده خشک (۲۱/۷۳ درصد) نیز در رقم پگاه تحت آبیاری کامل با روش قطره‌ای نواری حاصل شد هرچند تفاوت معنی‌داری با محتوی ماده خشک در رقم پگاه تحت آبیاری کامل با روش جویچه‌ای مرسوم نداشت.

(Baghdadi *et al.*, 2021). میزان کاهش عملکرد علوفه سیلویی در روش‌های آبیاری جویچه‌ای معمول، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر نسبت به روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌ترتیب حدود ۱۰/۲، ۴۰/۴ و ۳۰/۵ درصد و میزان کاهش عملکرد ماده خشک به‌ترتیب حدود ۹/۶، ۳۵/۵ و ۲۵/۶ درصد بود (جدول ۱). عملکرد علوفه سیلویی و عملکرد ماده خشک در رقم پگاه (به‌ترتیب ۵۰/۸۲ و ۱۱/۵۷ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری با هیبرید اسپیدفید (به‌ترتیب ۴۸/۰۱ و ۱۱/۱۴ تن در هکتار) نداشت، در حالی‌که محتوای ماده خشک علوفه در هیبرید اسپیدفید (۲۳/۳۸ درصد) به‌طور معنی‌داری از رقم پگاه (۲۳/۰۳ درصد) بیش‌تر بود (جدول ۱).

در بین رژیم‌های آبیاری، بیش‌ترین عملکرد علوفه سیلویی و ماده خشک (به‌ترتیب ۵۸/۴۸ و ۱۳/۲۱ تن در هکتار) در آبیاری کامل و کم‌ترین آن‌ها (به‌ترتیب ۴۰/۳۷ و ۹/۴۷ تن در هکتار) در شرایط تنش شدید مشاهده شد، در حالی‌که حداکثر محتوای ماده خشک (۲۳/۶۶ درصد) در شرایط تنش شدید و کم‌ترین آن (۲۲/۷۵ درصد) در شرایط آبیاری کامل ثبت شد. بیش‌تر بودن درصد ماده خشک در شرایط تنش شدید می‌تواند با کم‌تر بودن محتوای رطوبت باقی‌مانده در بافت‌های گیاهی مرتبط باشد (Farhadi *et al.*, 2022). شرایط تنش خشکی متوسط و شدید نسبت به شرایط آبیاری کامل عملکرد علوفه سیلویی را به‌ترتیب ۱۵/۵۴ و ۳۰/۹۶ درصد و عملکرد ماده خشک را به‌ترتیب ۱۳/۸۵ و ۲۸/۳۱ کاهش داد (جدول ۱). کاهش عملکرد علوفه سورگوم در شرایط تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Vasilakoglou *et al.*, 2011; Farhadi *et al.*, 2022). جهانزاد و همکاران (Jahanzad *et al.*, 2013) در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر دو رقم سورگوم علوفه‌ای (پگاه و اسپیدفید) گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی متوسط و شدید عملکرد ماده خشک به ترتیب ۱۹/۹ و ۳۴/۷ درصد کاهش یافت. نعمت‌پور و همکاران (Nematpour *et al.*, 2020) نیز نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش ۵۱-۴۵ درصدی عملکرد ماده خشک علوفه شد. ایشان بیان کردند که تنش خشکی با کاهش جذب مواد غذایی از خاک، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و محدودیت تولید اسیمیلات‌ها، به کاهش رشد و بیوماس تولیدی منجر می‌شود (Nematpour *et al.*, 2020). اسکندری و همکاران

جدول ۱- اثر سال، روش آبیاری، رژیم آبیاری و رقم بر عملکرد علوفه، بهره‌وری آب و ویژگی‌های مورفولوژیک سورگوم

Table 1. Effect of year, irrigation method, irrigation regime, and cultivar on forage yield, water productivity, and morphological characteristics of sorghum

Experimental factors		Fresh forage yield (ton.ha ⁻¹)	Dry matter yield (ton.ha ⁻¹)	Dry matter content (%)	IWUE-FFY ^a (kg.m ⁻³)	IWUE-DMY ^b (kg.m ⁻³)	BPDc ^c (Rials.m ⁻³)	NBPDc ^d (Rials.m ⁻³)	Leaf to stem ratio	Plant height (cm)
Year	2019	48.41a	11.07a	23.11a	19.39a	4.46a	29091b	6885b	0.671a	205.03a
	2020	50.42a	11.63a	23.30a	19.58a	4.54a	39155a	12002a	0.666a	207.90a
Irrigation method ^e	CFI	55.66b	12.47b	22.47c	17.01b	3.83c	29764b	11628ab	0.645c	214.78a
	FFI	36.92d	8.90d	24.18a	15.98c	3.88bc	28025b	4150b	0.699a	190.50c
	AFI	43.07c	10.26c	23.86b	16.95b	4.06b	29675b	7493ab	0.681b	202.03b
	DRIP	62.00a	13.79a	22.29c	28.00a	6.25a	49030a	14503a	0.649c	218.56a
Irrigation regime ^f	I ₁₀₀	58.48a	13.21a	22.75c	16.59c	3.75c	29062b	11173a	0.650b	225.31a
	I ₇₅	49.39b	11.38b	23.20b	18.77b	4.33b	32835ab	9852a	0.667b	211.58b
	I ₅₀	40.37c	9.47c	23.66a	23.10a	5.43a	40474a	7305b	0.689a	182.50c
Cultivar	Speedfeed	48.01a	11.14a	23.38a	20.19a	4.71a	35363a	9143a	0.641b	207.13a
	Pegah	50.82b	11.57a	23.03b	18.79a	4.30b	32883a	9744a	0.696a	205.81a

Means followed by at least one common letter in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

^a IWUE-FFY.: Irrigation water use efficiency for fresh forage yield.^b IWUE-DMY: Irrigation water use efficiency for dry matter yield.^c BPDc: Benefit per drop.^d NBPDc: Net benefit per drop.^e CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation.^f I₁₀₀: Full irrigation; I₇₅: Moderate drought stress; I₅₀: Severe drought stress.

جدول ۲- برهمکنش روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم بر عملکرد علوفه، بهره‌وری آب و ویژگی‌های مورفولوژیک سورگوم

Table 2. The interaction of irrigation method × irrigation regime × cultivar on forage yield, water productivity, and morphological characteristics of sorghum

Method [§]	Regime [¶]	Cultivar	Fresh forage yield (ton ha ⁻¹)	Dry matter yield (ton ha ⁻¹)	Dry matter content (%)	IWUE-FFY [†] (kg m ⁻³)	IWUE-DMY [‡] (kg m ⁻³)	BPDC ^{##} (Rials m ⁻³)	NBPDC ^{††} (Rials m ⁻³)
CFI	I ₁₀₀	Speedfeed	63.47d	14.06d	22.15l	15.04j	3.33ijk	26352j	12207cd
		Pegah	71.04b	15.48b	21.77mn	14.81j	3.23kl	25893jkl	13312c
	I ₇₅	Speedfeed	54.53fg	12.42ef	22.80j	17.23h	3.93fg	30148h	12097cd
		Pegah	57.22e	12.79ef	22.34kl	15.91i	3.55hi	27818i	11966cd
	I ₅₀	Speedfeed	44.05jk	10.20jk	23.13hi	20.88de	4.83d	36522de	10742def
		Pegah	43.67jk	9.88jk	22.64jk	18.21g	4.12ef	31850g	9443efg
FFI	I ₁₀₀	Speedfeed	45.69j	10.85hi	23.75ef	15.21ij	3.61h	26652ij	8225ghi
		Pegah	44.05jk	10.42ij	23.64efg	13.07k	3.09l	22927m	6696ijk
	I ₇₅	Speedfeed	39.44l	9.61k	24.37bc	17.51gh	4.27e	30650gh	6884ijk
		Pegah	35.00m	8.35l	23.84de	13.85k	3.30jkl	24293lm	3547l
	I ₅₀	Speedfeed	30.99n	7.71m	24.88a	20.63e	5.13c	36213e	1934l
		Pegah	26.33o	6.48n	24.61ab	15.63ij	3.84g	27419ij	-2385m
AFI	I ₁₀₀	Speedfeed	49.30i	11.56g	23.48fg	14.84j	3.48hij	25997jk	8887gh
		Pegah	52.21gh	12.25f	23.42gh	13.92k	3.26jkl	24331klm	9223fg
	I ₇₅	Speedfeed	42.30k	10.19jk	24.08cd	16.98h	4.09ef	29743h	7739g-j
		Pegah	42.68k	10.04jk	23.55efg	15.17ij	3.57h	26518ij	7247h-k
	I ₅₀	Speedfeed	35.59m	8.73l	24.53b	21.43de	5.26c	37546de	5734k
		Pegah	36.34m	8.78l	24.13cd	19.37f	4.68d	33914f	6130jk
DRIP	I ₁₀₀	Speedfeed	62.98d	13.89d	22.05lm	21.62d	4.77d	37944d	11981cd
		Pegah	79.11a	17.19a	21.73n	24.24c	5.27c	42402c	18854a
	I ₇₅	Speedfeed	57.49e	12.92e	22.49k	26.33b	5.92b	46052b	12211cd
		Pegah	66.46c	14.73c	22.16l	27.15b	6.02b	47458b	17129b
	I ₅₀	Speedfeed	50.27hi	11.48gh	22.84ij	34.53a	7.88a	60542a	11075de
		Pegah	55.68ef	12.51ef	22.48k	34.11a	7.66a	59783a	15767b

Means followed by at least one common letter in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

[†] IWUE-FFY: Irrigation water use efficiency for fresh forage yield.[‡] IWUE-DMY: Irrigation water use efficiency for dry matter yield.^{##} BPDC: Benefit per drop.^{††} NBPDC: Net benefit per drop.[§] CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation.[¶] I₁₀₀: Full irrigation; I₇₅: Moderate drought stress; I₅₀: Severe drought stress.

عملکرد، بهره‌وری آب و تحمل به خشکی ارقام سورگوم علوفه‌ای لازم به ذکر است که در تمامی روش‌ها و رژیم‌های آبیاری مورد بررسی، درصد ماده خشک علوفه هیبرید اسپیدفید بیش‌تر از رقم پگاه بود (جدول ۲). در روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و جویچه‌ای معمول، رقم پگاه عملکرد علوفه و عملکرد ماده خشک بیش‌تری داشت، در حالی‌که در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت، برتری با هیبرید اسپیدفید بود. در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر نیز تحت رژیم آبیاری کامل، رقم پگاه عملکرد علوفه و عملکرد ماده خشک بیش‌تری داشت، در حالی‌که تحت تنش شدید و متوسط، تفاوت معنی‌داری بین دو رقم مشاهده نشد (جدول ۲). رفیعی (Rafiee, 2018) نیز گزارش کرد که رقم پگاه از رشد و ویژگی‌های زراعی مطلوب‌تر و در نتیجه عملکرد بالاتری نسبت به هیبرید اسپیدفید برخوردار بود، در حالی‌که میرکی و همکاران (Mirahki et al., 2022) نشان دادند که عملکرد علوفه هیبرید اسپیدفید به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم پگاه بود. به نظر می‌رسد تفاوت در برتری ارقام با واکنش متفاوت آن‌ها با شرایط محیطی (اثر متقابل ژنوتیپ با محیط) مرتبط باشد (Khazaei et al., 2021). عملکرد علوفه در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر در تمامی رژیم‌های آبیاری و ارقام مورد بررسی بیشتر از روش یک‌درمیان ثابت بود. بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2021) نیز گزارش کردند که عملکرد علوفه سورگوم تحت آبیاری یک‌درمیان ثابت حدود ۱۳ درصد کمتر از روش آبیاری یک‌درمیان متغیر بود. اعمال کم‌آبیاری مدیریت‌شده در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر گیاه را برای مدتی در معرض تنش خشکی ملایم قرار می‌دهد و وقتی دور آبیاری بعدی انجام می‌شود، رشد و نمو گیاه تسریع شده و نرخ فتوسنتز به تیمار آبیاری جویچه‌ای مرسوم نزدیک می‌شود (Chai et al., 2016).

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

کارایی مصرف آب (بهره‌وری فیزیکی آب) برای تولید علوفه سیلویی و ماده خشک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری، رژیم آبیاری، روش آبیاری × رژیم آبیاری، روش آبیاری × رقم، رژیم آبیاری × رقم (در سطح احتمال یک درصد) و روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت. علاوه بر این، اثر رقم بر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک (در سطح احتمال پنج درصد) معنی‌دار شد. در بین روش‌های مختلف آبیاری، بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید

ماده خشک و علوفه سیلویی (به‌ترتیب ۶/۲۵ و ۲۸/۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص و خالص تولید محصول (به‌ترتیب ۴۹۰۳۰ و ۱۴۵۰۳ ریال بر مترمکعب) با روش آبیاری قطره‌ای نواری حاصل شد، در حالی‌که کم‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک (۳/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب) در روش آبیاری جویچه‌ای معمول ثبت شد (جدول ۱). کم‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید علوفه سیلویی (۱۵/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب) و حداقل بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص و خالص تولید محصول (به‌ترتیب ۲۸۰۲۵ و ۴۱۵۰ ریال بر مترمکعب) نیز در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت به‌دست آمد (جدول ۱). در بین رژیم‌های آبیاری، بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و علوفه سیلویی (به‌ترتیب ۵/۴۳ و ۲۳/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) تحت شرایط تنش شدید و کم‌ترین میزان آن‌ها (به‌ترتیب ۳/۷۵ و ۱۶/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب) تحت تیمار آبیاری کامل حاصل شد. حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص (۴۰۴۷۴ ریال بر مترمکعب) در شرایط تنش خشکی شدید و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص (۱۱۱۷۳ ریال بر مترمکعب) در شرایط آبیاری کامل ثبت شد (جدول ۱)، که به‌دلیل هزینه‌های مشابه در این دو رژیم آبیاری و سود اقتصادی بیش‌تر در شرایط آبیاری کامل می‌باشد. به‌عبارت دیگر در رژیم آبیاری کامل مجموع هزینه‌ها تنها اندکی بیش‌تر از شرایط تنش خشکی شدید است، در حالی‌که مجموع درآمد ناخالص آن خیلی بیش‌تر از شرایط تنش می‌باشد. بنابراین سود خالص در رژیم آبیاری کامل بیش‌تر بود که سبب بیش‌تر شدن بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص شده است.

کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک در هیبرید اسپیدفید (۴/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم پگاه (۴/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) بود، ولی از نظر کارایی مصرف آب برای تولید علوفه سیلویی و بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص و خالص تولید محصول، تفاوت معنی‌داری بین دو رقم وجود نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش روش آبیاری × رژیم آبیاری × رقم نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و علوفه سیلویی (به‌ترتیب ۷/۸۸ و ۳۴/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص تولید

برگ، باعث کاهش نرخ تعرق و تلفات آب و افزایش راندمان مصرف آب شده است (Farhadi et al., 2022). گل‌زردی و همکاران (Golzardi et al., 2017) در بررسی تأثیر روش‌ها و رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت گزارش کردند که روش آبیاری یک‌درمیان متغیر نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای معمول تحت شرایط آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید حجم آب مصرفی را به ترتیب ۲۸، ۳۱ و ۲۵ درصد کاهش داد و سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک شد. افزایش کارایی مصرف آب در روش آبیاری یک‌درمیان و قطره‌ای می‌تواند با کاهش میزان تبخیر در واحد سطح، افزایش نسبت تعرق به تبخیر، کاهش حجم آب مصرفی و کاهش میزان بازشدگی روزنه‌ها مرتبط باشد (Li et al., 2007; Chai et al., 2021; Baghdadi et al., 2016). اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2019) در بررسی تأثیر تنش خشکی ناشی از آبیاری جزئی ریشه بر رشد و عملکرد ذرت و ماش گزارش کردند که روش آبیاری یک‌درمیان ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و افزایش نسبت تعرق به کل آب اتلاف‌شده، باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در این گیاهان شد. به‌نظر می‌رسد علت افزایش کارایی مصرف آب در روش آبیاری یک‌درمیان، تولید و ارسال هورمون آبسسیسک اسید از ریشه به برگ‌ها و کنترل هدایت روزنه‌ای است که باعث سودمندی گیاه از این پاسخ فیزیولوژیکی برای کاهش مصرف آب می‌شود (Yang et al., 2011). اسدی و همکاران (Asadi et al., 2022) نیز نشان دادند که بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول با درآمد خالص ناشی از کشت رابطه مستقیم دارد، به‌نحوی که کاهش هزینه‌ها و یا افزایش سود خالص موجب افزایش بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول می‌شود.

ویژگی‌های مورفولوژیک

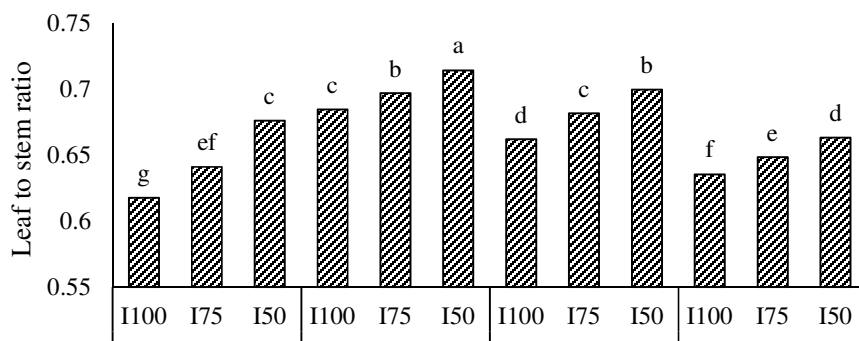
اثر روش آبیاری، رژیم آبیاری و برهمکنش آن‌ها و نیز برهمکنش سال × روش آبیاری × رقم بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نسبت برگ به ساقه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری، روش آبیاری × رژیم آبیاری، سال × رژیم آبیاری (در سطح احتمال یک درصد)، رژیم آبیاری و رقم (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت. مقایسه میانگین بین روش‌های

محصول (۶۰۵۴۲ ریال بر مترمکعب) در هیبرید اسپیدفید تحت تنش شدید با روش آبیاری قطره‌ای نواری حاصل شد، هر چند با کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و علوفه سیلوئی و بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص تولید محصول در رقم پگاه تحت همین روش و رژیم آبیاری (به ترتیب ۷/۶۶ و ۳۴/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب و ۵۹۷۸۳ ریال بر مترمکعب) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول (۱۸۸۵۴ ریال بر مترمکعب) نیز توسط رقم پگاه تحت شرایط آبیاری کامل با روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌دست آمد. حداقل کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و علوفه سیلوئی (به ترتیب ۳/۰۹ و ۱۳/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و نیز کم‌ترین بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش ناخالص تولید محصول (۲۲۹۲۷ ریال بر مترمکعب) در رقم پگاه تحت شرایط آبیاری کامل با روش آبیاری یک‌درمیان ثابت حاصل شد، درحالی‌که حداقل بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول (۲۳۸۵ ریال زیان به ازای هر مترمکعب آب) در رقم پگاه تحت تنش خشکی شدید با روش آبیاری یک‌درمیان ثابت شد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد کاهش شدید درآمد ناخالص در شرایط تنش خشکی و هزینه‌های تقریباً یکسان با رژیم آبیاری کامل سبب شده است که بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یابد. تنها تفاوت هزینه‌ای بین رژیم‌های آبیاری مختلف، هزینه آب مصرفی است که با توجه به قیمت پائین آب آبیاری در کشور، سهم کمی در هزینه کل تولید محصول دارد، بنابراین میزان هزینه در رژیم‌های آبیاری مختلف، تفاوت اندکی با یکدیگر دارد، درحالی‌که میزان درآمد ناخالص آن‌ها با افزایش شدت تنش کاهش یافته است (Asadi et al., 2022). این موضوع سبب می‌شود که در تمام روش‌های آبیاری مورد بررسی، بیش‌ترین بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول در رژیم آبیاری کامل حاصل شود.

کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی مصرف آب برای تولید علوفه سورگوم افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، سورگوم با دریافت سیگنال‌های هورمونی برای بسته شدن روزنه‌ها (افزایش مقاومت روزنه‌ای) و کاهش تعداد روزنه‌ها در واحد سطح

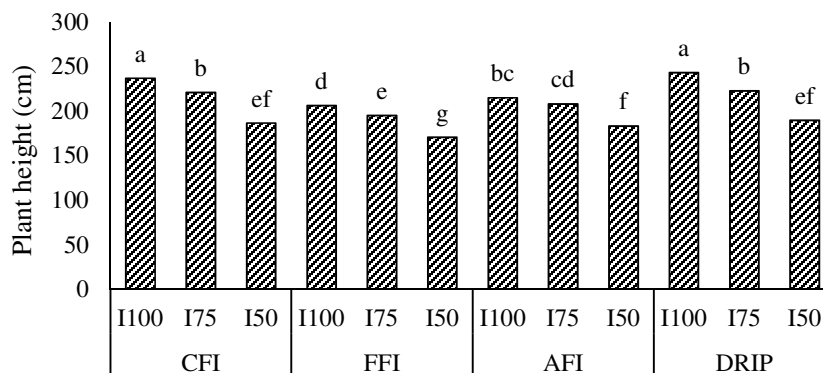
بوته (۲۴۳/۴۲ سانتی‌متر) در آبیاری کامل با روش قطره‌ای نواری مشاهده شد، هر چند با آبیاری کامل و روش جویچه‌ای معمول (با ارتفاع ۲۳۶/۸۳ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۷۰/۵۸ سانتی‌متر) نیز در شرایط تنش شدید با روش آبیاری یک‌درمیان ثابت به دست آمد. تنش خشکی در تمام روش‌های آبیاری مورد بررسی سبب کاهش ارتفاع بوته شد، هر چند در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر شیب کاهش کم‌تر بود (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که سیستم ریشه‌ای گسترده، لایه مومی روی برگ‌ها و ساقه‌ها و نوع و آرایش روزه‌های سورگوم سبب شده است که محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها در شرایط تنش خشکی تا حد امکان حفظ شود و برگ‌ها با فرایند تسریع پیری مواجه نشوند (Khazaei *et al.*, 2019). از طرف دیگر با کاهش ارتفاع بوته سورگوم تحت تنش خشکی، احتمال افتادگی گیاه کاهش می‌یابد و سورگوم ساقه‌های باریک‌تری تولید می‌کند و بنابراین تنش کم‌آبی وزن ساقه‌ها را بیش‌تر از برگ‌ها کاهش می‌دهد (Farhadi *et al.*, 2022). کاپلان و همکاران (Kaplan *et al.*, 2019) در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیک سورگوم-سودان‌گراس گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته و افزایش نسبت برگ به ساقه شد. باتاری و همکاران (Bhattarai *et al.*, 2020) با بررسی اثر تنش خشکی بر سورگوم، ارزیابی مرواریدی و ذرت گزارش کردند که با افزایش میزان آب مصرفی، ارتفاع بوته افزایش یافت. ایشان همچنین بیان کردند که تنش خشکی با کاهش ارتفاع ساقه، سبب افزایش نسبت برگ به ساقه می‌شود.

آبیاری نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۲۱۸ سانتی‌متر) در روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌دست آمد، در حالی که کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۹۰ سانتی‌متر) مربوط به روش آبیاری یک‌درمیان ثابت بود. بالاترین نسبت برگ به ساقه (۰/۶۹۹) نیز در روش آبیاری یک‌درمیان حاصل شد، در حالی که کم‌ترین میزان آن مربوط به روش‌های آبیاری جویچه‌ای معمول و قطره‌ای نواری بود (جدول ۱). ارتفاع بوته تحت شرایط آبیاری کامل ۲۲۵ سانتی‌متر بود که در شرایط تنش متوسط و شدید به‌ترتیب با کاهش ۶ و ۱۹ درصدی به ۲۱۱ و ۱۸۲ سانتی‌متر رسید (جدول ۱). بالاترین نسبت برگ به ساقه (۰/۶۸۹) در شرایط تنش خشکی شدید و کم‌ترین آن (۰/۶۵۰) در شرایط آبیاری کامل ثبت شد، هر چند با شرایط تنش متوسط (۰/۶۶۷) تفاوت معنی‌داری نداشت. در بین ارقام نیز بالاترین نسبت برگ به ساقه (۰/۶۹۶) در رقم پگاه مشاهده شد که ۸/۶ درصد بیش‌تر از اسپیدفید (با نسبت ۰/۶۴۱) بود (جدول ۱). جهانزاد و همکاران (Jahanzad *et al.*, 2013) نیز گزارش کردند که نسبت برگ به ساقه در رقم پگاه (۰/۷۳) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از هیبرید اسپیدفید (۰/۶۶) بود. مقایسه میانگین برهمکنش روش آبیاری × رژیم آبیاری نشان داد که بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه (۰/۷۱۵) در شرایط تنش شدید با روش آبیاری یک‌درمیان ثابت و کم‌ترین میزان آن (۰/۶۱۸) در شرایط آبیاری کامل با روش جویچه‌ای معمول حاصل شد (جدول ۲). علاوه بر این، با افزایش شدت تنش خشکی در تمام روش‌های آبیاری، نسبت برگ به ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). در مورد ارتفاع بوته نیز بیش‌ترین ارتفاع



شکل ۱- برهمکنش روش آبیاری و رژیم آبیاری بر نسبت برگ به ساقه سورگوم

Figure 1. The interaction of irrigation method and irrigation regime on the sorghum leaf to stem ratio. CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation; I100: Full irrigation; I75: Moderate drought stress; I50: Severe drought stress.



شکل ۲- برهمکنش روش آبیاری و رژیم آبیاری بر ارتفاع بوته سورگوم

Figure 2. The interaction of irrigation method and irrigation regime on the sorghum plant height. CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation; I100: Full irrigation; I75: Moderate drought stress; I50: Severe drought stress.

ثابت، کمترین میزان شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI را داشت و به‌عنوان حساس‌ترین تیمار به خشکی شناسایی شد.

از آنجایی که هیچ‌یک از شاخص‌های تحمل یا حساسیت به تنش به تنهایی قادر به شناسایی تیمارهای مطلوب و متحمل به تنش نیستند، از این‌رو لازم است از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شود (Thiry *et al.*, 2016). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی بین عملکرد ماده خشک و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که رقم پگاه تحت روش آبیاری قطره‌ای نواری، بیش‌ترین میزان تحمل به خشکی و تحت روش آبیاری یک‌درمیان، کم‌ترین میزان تحمل به خشکی را داشت (شکل‌های ۵ و ۶). به‌طور کلی، حداکثر تحمل به خشکی ارقام مورد بررسی در روش آبیاری قطره‌ای نواری و حداقل تحمل در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت مشاهده شد. علاوه بر این، در روش‌های آبیاری جویچه‌ای معمول و قطره‌ای نواری، رقم پگاه بیش‌ترین تحمل به خشکی را نشان داد، در حالی‌که در روش آبیاری یک‌درمیان ثابت، هیبرید اسپیدفید تحمل بیش‌تری داشت. در روش آبیاری یک‌درمیان متغیر نیز تفاوت کمی بین تحمل به خشکی دو رقم مورد بررسی وجود داشت (شکل‌های ۵ و ۶).

تحمل به خشکی

مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های تحمل به تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. به‌منظور شناسایی بهترین شاخص‌ها برای رتبه‌بندی تیمارها از نظر تحمل به خشکی از تجزیه همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد ماده خشک استفاده شد (شکل‌های ۳ و ۴). بر این اساس، شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI که بالاترین همبستگی را با عملکرد ماده خشک تحت آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط و شدید داشتند، به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها در این مطالعه شناسایی شدند (شکل‌های ۳ و ۴). صبوری و همکاران (Sabouri *et al.*, 2022) نیز در بررسی تحمل به خشکی لاین‌های برنج عنوان کردند که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و تنش داشتند و به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند. بر این اساس، رقم پگاه تحت روش آبیاری قطره‌ای نواری توانست بیش‌ترین میزان شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI را به خود اختصاص دهد و به‌عنوان متحمل‌ترین تیمار به تنش خشکی شناسایی شود (جدول‌های ۳ و ۴). این در حالی است که رقم پگاه تحت روش آبیاری یک‌درمیان

جدول ۳- شاخص‌های تحمل بر اساس عملکرد ماده خشک ارقام پگاه و اسپیدفید در روش‌های مختلف آبیاری تحت شرایط تنش متوسط

Table 3. Drought tolerance indices in different irrigation methods based on dry matter yield of Pegah and Speedfeed cultivars under moderate drought stress conditions

Method [†]	Cultivar	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
CFI	Speedfeed	1.64	13.24	13.22	13.19	0.84	1.00	1.09	0.88	1.03
	Pegah	2.69	14.13	14.07	14.00	1.25	1.13	1.12	0.83	0.96
FFI	Speedfeed	1.24	10.23	10.21	10.20	0.82	0.60	0.84	0.89	1.03
	Pegah	2.07	9.38	9.32	9.27	1.44	0.50	0.73	0.80	0.93
AFI	Speedfeed	1.37	10.87	10.85	10.83	0.86	0.67	0.89	0.88	1.02
	Pegah	2.20	11.14	11.09	11.03	1.30	0.70	0.88	0.82	0.95
DRIP	Speedfeed	0.96	13.41	13.40	13.39	0.50	1.03	1.14	0.93	1.08
	Pegah	2.46	15.96	15.91	15.87	1.03	1.45	1.29	0.86	0.99

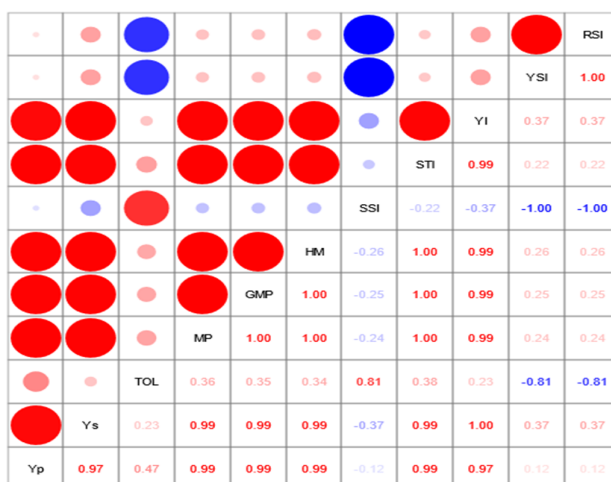
[†] CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation; TOL: Tolerance; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; SSI: Stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; RSI: Relative stress index.

جدول ۴- شاخص‌های تحمل بر اساس عملکرد ماده خشک ارقام پگاه و اسپیدفید در روش‌های مختلف آبیاری تحت شرایط تنش شدید

Table 4. Drought tolerance indices in different irrigation methods based on dry matter yield of Pegah and Speedfeed cultivars under severe drought stress conditions

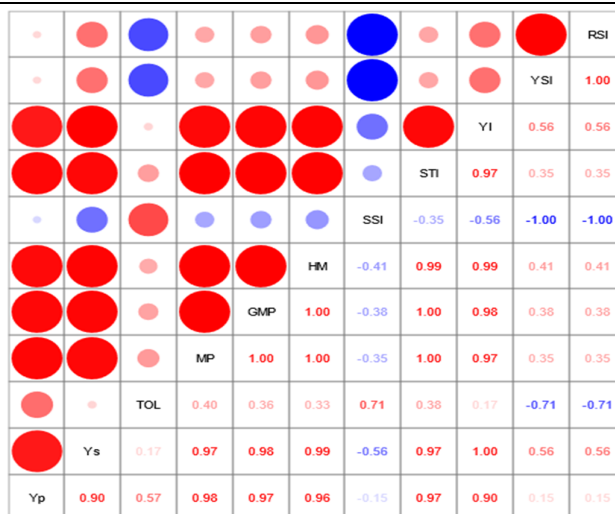
Method [†]	Cultivar	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
CFI	Speedfeed	3.87	12.13	11.97	11.82	0.97	0.82	1.08	0.73	1.01
	Pegah	5.60	12.68	12.36	12.06	1.28	0.88	1.04	0.64	0.89
FFI	Speedfeed	3.14	9.28	9.14	9.01	1.02	0.48	0.81	0.71	0.99
	Pegah	3.94	8.45	8.21	7.99	1.34	0.39	0.68	0.62	0.87
AFI	Speedfeed	2.83	10.15	10.05	9.95	0.86	0.58	0.92	0.76	1.05
	Pegah	3.47	10.51	10.37	10.23	1.00	0.62	0.93	0.72	1.00
DRIP	Speedfeed	2.41	12.68	12.63	12.57	0.61	0.91	1.21	0.83	1.15
	Pegah	4.68	14.85	14.66	14.48	0.96	1.23	1.32	0.73	1.02

[†] CFI: Conventional furrow irrigation; FFI: Fixed alternate furrow irrigation; AFI: Variable alternate furrow irrigation; DRIP: Drip irrigation; TOL: Tolerance; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; SSI: Stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; RSI: Relative stress index.

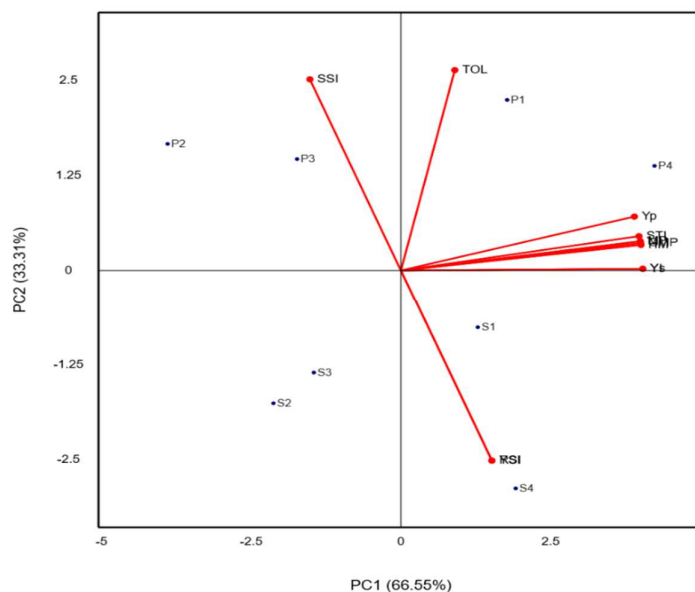


شکل ۳- همبستگی بین شاخص‌های تحمل و عملکرد ماده خشک سورگوم تحت شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی متوسط (Ys)

Figure 3. Correlation between drought tolerance indices and sorghum dry matter under full irrigation (Yp) and moderate drought stress (Ys) conditions. TOL: Tolerance; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; SSI: Stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; RSI: Relative stress index.

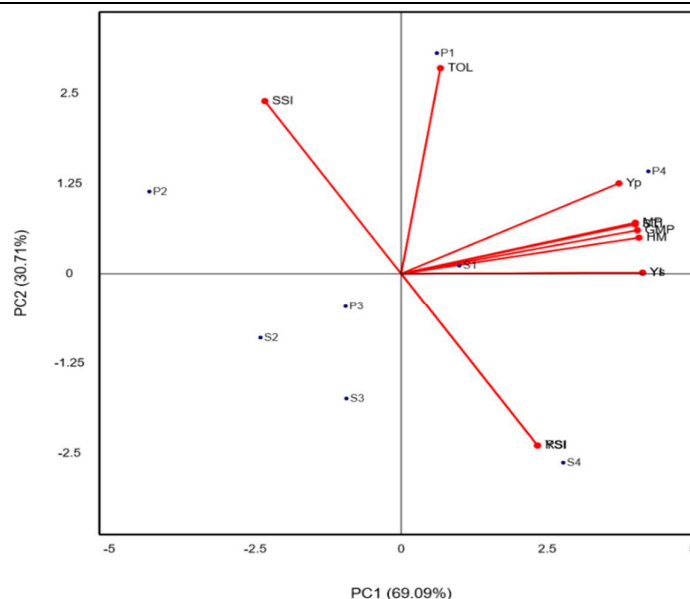


شکل ۴- همبستگی بین شاخص‌های تحمل و عملکرد ماده خشک سورگوم تحت شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی شدید (Ys)
 Figure 4. Correlation coefficients between drought tolerance indices and sorghum dry matter yield under full irrigation (Yp) and severe drought stress (Ys) conditions. TOL: Tolerance; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; HM: Harmonic mean; SSI: Stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; RSI: Relative stress index.



شکل ۵- تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک تحت شرایط آبیاری کامل (Yp)، عملکرد ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی متوسط (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش

Figure 5. Principal components analysis (PCA) based on correlation matrix of dry matter yield under full irrigation conditions (Yp), dry matter yield under moderate drought stress conditions (Ys) and stress tolerance indices.
 S1: Speedfeed under CFI; P1: Pegah under CFI; S2: Speedfeed under FFI; P2: Pegah under FFI; S3: Speedfeed under AFI; P3: Pegah under AFI; S4: Speedfeed under DRIP; P4: Pegah under DRIP.



شکل ۶- تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک تحت آبیاری کامل (Yp)، عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی شدید (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش

Figure 6. Principal components analysis (PCA) based on the correlation matrix of dry matter yield under full irrigation conditions (Yp), dry matter yield under severe drought stress (Ys) and stress tolerance indices. S1: Speedfeed under CFI; P1: Pegah under CFI; S2: Speedfeed under FFI; P2: Pegah under FFI; S3: Speedfeed under AFI; P3: Pegah under AFI; S4: Speedfeed under DRIP; P4: Pegah under DRIP.

نتیجه‌گیری کلی

بیش‌ترین عملکرد علوفه و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب بر اساس ارزش خالص تولید محصول در رقم پگاه و تحت شرایط آبیاری کامل با روش قطره‌ای نواری حاصل شد، در حالی‌که هیبرید اسپیدفید تحت تنش شدید با روش قطره‌ای نواری بالاترین کارایی مصرف آب برای تولید علوفه را نشان داد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تحمل به خشکی به ترتیب در روش‌های آبیاری قطره‌ای و یک‌درمیان ثابت مشاهده شد. به‌طور کلی، به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب ضمن دستیابی به عملکرد علوفه و بهره‌وری آب مناسب، پیشنهاد می‌شود از روش آبیاری قطره‌ای با تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک استفاده شود. در شرایط محدودیت شدید منابع آبی نیز روش آبیاری قطره‌ای با تأمین ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک پیشنهاد می‌شود. در صورت عدم امکان اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای، آبیاری یک‌درمیان متغیر می‌تواند ضمن کاهش حجم آب مصرفی، عملکرد علوفه مناسبی تولید کند.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۸۰۳۵۲-۹۸۰۳۵۲-۰۳-۰۳-۰۳ سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تأیید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ‌زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

- Afrasiab, P., Delbari, M. and Jafari, H. 2016.** Effect of different levels of irrigation, planting density, planting pattern in drip irrigation on yield, yield components and water use efficiency of corn. **Iranian Journal of Soil and Water Research** 47 (4): 731-741. (In Persian with English Abstract).
- Afshar, R.K., Jovini, M.A., Chaichi, M.R. and Hashemi, M., 2014.** Grain sorghum response to arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilizer under deficit irrigation. **Agronomy Journal** 4: 1212-1218.
- Ahmadizadeh, A., Khajoei-Nejad, G. and Abdoshahi, R. 2018.** Effect of salicylic acid on morphological characteristics and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under different irrigation regimes. **Cereal Research** 7 (4): 591-603. (In Persian with English Abstract).
- Asadi, H., Mahmoodi, M. and Zare, S. 2022.** Determining profitability and the economic productivity of agricultural water in crop production. **Iranian Journal of Irrigation and Drainage** 15 (6): 1404-1411.
- Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J. and Ilkaee, M. N. 2021.** Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. **Bragantia** 80: e1421.
- Baghdadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Hashemi, M. and Ilkaee, M.N. 2021.** Suitability and benefits from intercropped sorghum-amaranth under partial root-zone irrigation. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 101 (14): 5918-5926.
- Baghdadi, A. and Golzardi, F. 2022.** Forage crops. ETKA Publication, Tehran, Iran. (In Persian).
- Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021.** Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 52 (16): 1927-1942.
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L. and Trostle, C.L. 2020.** Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. **Crop Science** 60 (4): 2167-2179.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y. and Siddique, K.H. 2016.** Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 36: 3.
- Djaman, K. and S. Irmak. 2012.** Soil water extraction patterns, crop, irrigation, and evapotranspiration water use efficiency under full and limited irrigation and rainfed conditions. **Transactions of the ASABE** 55: 1223-1238.
- Eskandari, H., Alizadeh-Amraie, A. and Kazemi, K. 2019.** Effect of drought stress caused by partial root zone irrigation on water use efficiency and grain yield of maize (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) in different intercropping planting patterns. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 12 (1): 29-40. (In Persian with English Abstract).
- Falakhnaz, M., Aalami, A., Mehrabi, A., Sabouri, A. and Kahrizi, D. 2019.** Assessing *Aegilops tauschii* genotypes to drought stress using tolerance indices. **Cereal Research** 8 (4): 483-494. (In Persian with English Abstract).
- Fallahi, G., Hatami, A. and Naseri, R., 2013.** Growth analysis of six corn hybrid under drought conditions in Kermanshah province, Iran. **Journal of Crop Ecophysiology** 7 (2): 181-196. (In Persian with English Abstract).
- Farhadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Ilkaee, M.N. and Aghayari, F. 2022.** Effects of limited irrigation and nitrogen rate on the herbage yield, water productivity, and nutritive value of sorghum silage. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 53 (5): 576-589.
- Golzardi, F., Baghdadi, A. and Keshavarz Afshar, R. 2017.** Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. **Crop and Pasture Science** 68: 726-734.
- Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R. and Dashtaki, M. 2013.** Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. **Agricultural Water Management** 117: 62-69.
- Kaplan, M., Kara, K., Unlukara, A., Kale, H., Buyukkilic Beyzi, S., Varol, I.S., Kizilsimsek, M. and Kamalak, A. 2019.** Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. **Agricultural Water Management** 218: 30-36.

- Khalilian, M., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A. 2022.** Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. **Cereal Research Communications** 50 (4): 1095-1104.
- Khazaei, A., Fouman, A., Rahjoo, V. and Golzardi, F. 2019.** Sorghum cultivation (Handbook). Agricultural Education Publication, Teharn, Iran. (In Persian).
- Khazaei, A., Golzardi, F., Torabi, M., Fyzbakhsh, M., Azari Nasrabad, A., Ghasemi, A., Nazari, L. and Motaghi, M. 2021.** Evaluation of the yield stability of grain sorghum genotypes using AMMI analysis in different regions of Iran. **Cereal Research** 11 (1): 77-88. (In Persian with English Abstract).
- Kumar, R., Trivedi, H., Yadav, R., Das, B. and Bist, A.S. 2016.** Effect of drip irrigation on yield and water use efficiency on brinjal (*Solanum melongena*) CV Pant-Samra. **International Journal of Engineering Sciences Research Technology** 5 (10): 7-17.
- Li, F., Liang, J., Kang, S. and Zhang, J. 2007.** Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. **Plant and Soil** 295: 279-291.
- Majidi Chaharmahali, P., Kashkuli, H., Khodadadi Dehkordi, D., Mokhtaran, A. and Egdernezhad, A. 2022.** Impact evaluation of different irrigation regimes on moisture and salinity distribution around the roots of maize plant under drip irrigations. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 15 (1): 199-213. (In Persian with English Abstract).
- Mirahki, I., Ardakani, M.R., Golzardi, F., Paknejad, F. and Mahrokh, A. 2022.** Biomass production, water use efficiency and nutritional value parameters of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes as affected by seed hydro-priming and transplanting. **Acta Biologica Szegediensis** 2 (65): 171-184.
- Nematpour, A., Eshghizadeh, H.R., Zahedi, M. and Ghorbani, G.R. 2020.** Millet forage yield and silage quality as affected by water and nitrogen application at different sowing dates. **Grass and Forage Science** 75: 169-180.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P. and Siddique, K.H.M. 2019.** IPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. **Applications in Plant Sciences** 7 (7): e11278.
- Rafiee, M. 2018.** Effect of sowing time on growth and yield of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars in second cropping in temperate region of Lorestan province. **Iranian Journal of Crop Sciences** 3: 180-192. (In Persian with English Abstract).
- Sabouri, A., Dadras, A.R., Azari, M., Saberi Kouchesfahani, A., Taslimi, M. and Jalalifar, R. 2022.** Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. **Scientific Reports** 12: 2163.
- Shakeri, E., Emam, Y. and Tabatabaei, S. 2017.** Evaluation of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines and cultivars under salinity stress using tolerance indices. **Cereal Research** 7 (2): 285-299. (In Persian with English Abstract).
- Thiry, A.A., ChavezDulanto, P.N, Reynolds, M.P. and Davies, W.J. 2016.** How can we improve crop genotypes to increase stress resilience and productivity in a future climate? A new crop screening method based on productivity and resistance to abiotic stress. **Journal of Experimental Botany** 67 (19): 5593-5603.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Karagiannidis, N. and Gatsis, T. 2011.** Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crops Research** 120: 38-46.
- Yang, C., Huang, G., Chai, Q. and Luo, Z. 2011.** Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. **Field Crops Research** 124: 426-432.