University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 865-879 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4115.1971

Original article

Evaluation of forage yield and quality, and water use efficiency of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in response to different levels of drought stress and nitrogen

A. Farhadi[1], F. Paknejad[2], F. Golzardi[3*], M.N. Ilkaee[4], F. Aghayari[5]

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
5. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received 2 February 2021; Accepted 3 April 2021

Extended abstract

Introduction

Lack of irrigation water resources has been identified as the most important problem in forage production. Therefore, to increase the productivity of crop production using limited water resources, it is necessary to pay attention to the cultivation of drought-tolerant crops. Sorghum has a high resistance to abiotic stresses and can perform well in comparison with other summer crops. Irrigation and fertilization are not only costly but also are of the most important factors affecting the quantity and quality of forage crops. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effects of different levels of drought stress and nitrogen fertilizer on the sorghum forage yield and quality, and water use efficiency.

Materials and methods

This study was conducted as split-plots based on a randomized complete block design with three replications in Karaj, Iran, during the 2018 growing season. Drought stress at three levels (no-stress, moderate and severe stress; including the supply of 100, 75, and 50% soil moisture deficit, respectively) as the main factor and nitrogen fertilizer application from urea source at four levels (0, 150, 300, and 450 kg ha^{-1}) as the sub-factor were evaluated. In all experimental treatments, nitrogen fertilizer was applied in two equal parts, at planting and 5-6 leaf stage. In the present study, drip tape irrigation approach was applied (with a diameter of 16 mm and drip distance of 10 cm). Irrigation cycle was considered constant for all plots and different levels of irrigation water were applied. In order to properly establish the sorghum crops, deficit irrigation regimes were started after 2-4 leaf stage. Sorghum forage was harvested at the milky-dough stage. Data were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA) and the difference between treatment means was separated using LSD test. A significance level of 95% was applied by GLM procedure of SAS 9.1 .

* Corresponding author: Farid Golzardi; E-Mail: f.golzardi@areeo.ac.ir

© 2022, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

The results of ANOVA showed that the main effect of drought stress and nitrogen fertilizer on the forage yield, irrigation water use efficiency (IWUE), plant height, and quality characteristics of sorghum forage (except hemicellulose) was significant ($p \leq 0.01$). Also, the interaction effect of drought stress × nitrogen fertilizer on the forage yield, IWUE, plant height, and crude protein content at the probability level of 1%, and on other quality characteristics of sorghum forage (except hemicellulose) at the probability level of 5% was significant. The highest dry-matter and protein yield (40.03 and 3.48 t ha-1, respectively) and the maximum plant height (224 cm) were obtained with full irrigation and application of 450 kg nitrogen ha-1, whereas the maximum IWUE for dry matter and protein production (6.793 and 0.672 kg m-3, respectively) was obtained under moderate stress and with the application of 450 kg nitrogen ha-1. By increasing the nitrogen fertilizer application from 0 to 450 kg ha-1 under full irrigation, moderate stress, and severe stress conditions, the dry matter yield increased by 167, 181 and 101%, respectively, protein yield increased by 238, 284 and 174%, respectively, forage protein content increased by 27, 36 and 39%, respectively, and relative feed value increased by 8, 6 and -2%, respectively. Overall, in order to achieve the maximum quantity and quality of forage and the highest water use efficiency in full irrigation and moderate drought stress conditions, application of 450 kg nitrogen ha-1, and in severe stress conditions, application of 300 kg nitrogen ha-1 can be recommended.

Conclusion

Generally, the results illustrated that the treatment of moderate drought stress (supply of 75% soil moisture deficit) with the application of 450 kg nitrogen ha-1, along with saving water and producing high forage yield, among the studied treatments resulted in the highest water use efficiency, DMD, NEL, and RFV, and the minimum ADF and NDF, can be recommended as the superior treatment for sorghum forage. In case of severe limitation of irrigation water resources, supply of 50% soil moisture deficit (severe drought stress) along with application of 300 kg nitrogen ha-1 can be recommended.

***Keywords*:** Energy, Deficit irrigation, Digestibility, Protein, Water productivity

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4115.1971

مقاله پژوهشی

بررسی خصوصیات عملکرد، کیفیت علوفه و کارایی مصرف آب سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench) در پاسخ به سطوح مختلف تنش خشکی و نیتروژن

علی فرهادی[۱]، فرزاد پاک‌نژاد[۲]، فرید گل‌زردی[۳*]، محمدنبی ایلکایی[۴]، فیاض آقایاری[۵]

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۵. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
انرژی
بهره‌وری آب
پروتئین
قابلیت هضم
کم‌آبیاری

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۱/۱۴

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱

۱۵(۴): ۸۶۵-۸۷۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی و کود نیتروژن بر تولید ماده خشک و پروتئین، کارایی مصرف آب و همچنین ویژگی‌های کیفی علوفه سورگوم رقم اسپیدفید، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرج طی سال زراعی ۱۳۹۷اجرا شد. تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش، تنش متوسط و شدید؛ به ترتیب شامل تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک) به‌عنوان عامل اصلی و مصرف کود نیتروژن از منبع اوره در چهار سطح (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد ماده خشک و پروتئین (به ترتیب ۴۰/۰۳ و ۳/۴۸ تن در هکتار) و حداکثر ارتفاع بوته (۲۲۴ سانتی‌متر) با آبیاری کامل و مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد، درحالی‌که حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین (به ترتیب ۶/۷۹۳ و ۰/۶۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب) تحت تنش متوسط و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل گردید. با افزایش مصرف کود نیتروژن از صفر به ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید، عملکرد ماده خشک به ترتیب ۱۶۷، ۱۸۱ و ۱۰۱ درصد، عملکرد پروتئین به ترتیب ۲۳۸، ۲۸۴ و ۱۷۴ درصد، محتوی پروتئین علوفه به ترتیب ۲۷، ۳۶ و ۳۹ درصد و ارزش نسبی علوفه به ترتیب ۸، ۶ و ۲- درصد افزایش یافت. به‌طورکلی به‌منظور دستیابی به حداکثر کمیت و کیفیت علوفه و بالاترین کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش متوسط مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در شرایط تنش شدید مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قابل توصیه خواهد بود.

مقدمه

وقوع خشک‌سالی‌های مکرر و چرای بی‌رویه دام‌ها سبب شده است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران تولید علوفه کاهش یابد (Bakhtiyari et al., 2020; Jahanzad et al., 2013). کمبود منابع آب آبیاری، به‌ویژه در مناطقی که نظام‌های کشاورزی به آبیاری تکمیلی وابسته‌اند، به‌عنوان مهم‌ترین مشکل در راه تولید غذا و علوفه شناخته شده است (Ashoori et al., 2021)؛ بنابراین برای افزایش بهره‌وری تولید محصولات زراعی با استفاده از منابع محدود آب لازم است به کشت محصولات متحمل به خشکی و راه‌کارهای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری توجه شود (Golzardi et al., 2017). یکی از راه‌کارهای مؤثر برای ارتقای امنیت غذایی و کاهش خطر در تولید، کاشت گیاهان زراعی سازگار و پرمحصول با ویژگی‌های کیفی مناسب است (Baghdadi et al., 2017b).

* نگارنده پاسخگو: فرید گل‌زردی. پست الکترونیک: f.golzardi@areeo.ac.ir

سورگوم یکی از پنج گیاه زراعی اصلی است که به دلیل کاربردهای متعدد در صنایع غذایی، سوخت‌های زیستی و سلولزی و خوراک دام و طیور در سرتاسر دنیا مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Golzardi et al., 2019). سورگوم نسبت به دیگر گیاهان چهارکربنه در برابر تنش‌های محیطی مقاومت بیشتری داشته و به‌راحتی می‌تواند در محیط‌های کم‌برخوردار سازگار شود (Kaplan et al., 2019). این گیاه مقاومت بالایی در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند گرما، خشکی و شوری دارد و تحت شرایط تنش می‌تواند در مقایسه با سایر گیاهان زراعی عملکرد مطلوبی داشته باشد (Kamaei et al., 2019). سورگوم به دلیل ساختار مناسب سیستم ریشه‌ای، از آب و مواد مغذی به‌طور کارآمدی استفاده می‌کند و از عملکرد ماده خشک بالاتری نسبت به ذرت و سایر غلات تابستانه برخوردار است (Kaplan et al., 2019). چنین ویژگی‌هایی باعث شده است که گیاه سورگوم در مناطق خشک و خاک‌های دارای آب و مواد غذایی محدود، به یک محصول برتر تبدیل شود (Golzardi et al., 2019).

آبیاری و کوددهی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت گیاهان علوفه‌ای هستند (Khelil et al., 2013). اثر منفی تنش خشکی بر مراحل مختلف رشد گیاهان از جوانه‌زنی تا رسیدگی در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است (Golzardi et al., 2012; Jahanzad et al., 2013; Nematpour et al., 2020). در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر دو رقم سورگوم علوفه‌ای (پگاه و اسپیدفید) گزارش شد که تحت شرایط آبیاری محدود، کیفیت علوفه سورگوم بهبود یافت به‌نحوی‌که تنش خشکی باعث کاهش میزان فیبر و افزایش محتوی پروتئین خام علوفه شد (Jahanzad et al., 2013). تغییر کیفیت علوفه سورگوم و سورگوم-سودانگراس تحت سطوح مختلف آبیاری می‌تواند با تغییر در نسبت برگ، ساقه و پانیکول در بوته مرتبط باشد (Bhattarai et al., 2020; Kaplan et al., 2019). مطالعات نشان داده است که با کاهش نسبت برگ به ساقه در سورگوم علوفه‌ای و سورگوم-سودانگراس، محتوای فیبر علوفه افزایش می‌یابد (Machicek et al., 2019; McCuistion et al., 2010). بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی بوته و کیفیت سیلاژ سورگوم-سودانگراس نشان داد که تنش کم‌آبی باعث افزایش نسبت برگ و پانیکول و کاهش نسبت ساقه در بوته شده و کیفیت علوفه سیلویی را بهبود می‌بخشد (Kaplan et al., 2019). باتاری و همکاران (Bhattarai et al., 2020) با بررسی اثر کم‌آبیاری بر کیفیت علوفه سورگوم، ارزن مرواریدی و ذرت گزارش کردند که با کاهش میزان آب مصرفی، غلظت پروتئین خام در علوفه افزایش و محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی کاهش یافت. ایشان افزایش ارتفاع بوته در اثر افزایش مصرف آب را به‌عنوان دلیلی برای افزایش محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی عنوان کردند (Bhattarai et al., 2020).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد و نمو ذرت و سایر گیاهان زراعی ازجمله سورگوم و تاج‌خروس به شمار می‌رود (Baghdadi et al., 2017b). در بررسی عملکرد و کیفیت علوفه ارزن تحت تأثیر کاربرد نیتروژن گزارش شد که با افزایش مصرف کود نیتروژن، محتوی پروتئین خام و مقدار ماده خشک تولیدی افزایش یافت (Jahanzad et al., 2014). در مطالعه اثر کود نیتروژن بر ذرت سیلویی نیز نشان داده شد که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به کاهش محتوای فیبر و افزایش محتوی پروتئین خام در علوفه شد (Islam et al., 2012). بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2017a) در بررسی اثر نیتروژن بر ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت سیلویی رقم ۷۰۴ گزارش کردند که کمیت و کیفیت علوفه ذرت با افزایش مصرف کود نیتروژن بهبود یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد علوفه، قابلیت هضم ماده خشک، محتوی پروتئین خام، خاکستر کل و قندهای محلول در آب و کم‌ترین محتوی فیبر نامحلول در شوینده خنثی با مصرف ۳۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار حاصل شد.

باوجود اثرهای مثبت آبیاری و کوددهی بر عملکرد گیاهان زراعی، لازم است با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در هر منطقه به‌خصوص کمبود آب آبیاری، به‌طور بهینه‌ای از این منابع استفاده کرد (Khelil et al., 2013). با توجه به افزایش جمعیت و تقاضای رو به رشد برای محصولات دامی در کشور، لازم است تحقیقات گسترده‌ای درباره جنبه‌های مختلف گیاه سورگوم برای استفاده به‌عنوان خوراک دام انجام شود. ازآنجاکه پاسخ گیاهان زراعی مختلف به کمبود آب و نیتروژن متفاوت است، بررسی کمیت و کیفیت علوفه سورگوم در پاسخ به مقدار مصرف کود نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و میزان مصرف نیتروژن بر عملکرد و کیفیت علوفه سورگوم و تعیین میزان مطلوب مصرف نیتروژن برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۷ در کرج اجرا شد. محل اجرای آزمایش ازنظر اقلیمی دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک بود. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول یک ارائه شده است. قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری و تجزیه فیزیکی و شیمیایی آن انجام شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. برخی داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش

Table 1. Some meteorological data of the experimental site

Month	ماه	دمای میانگین T_{mean}[a]	دمای حداقل T_{min}	دمای حداکثر T_{max}	تبخیر Evap.	بارش Prec.
		---------- °C ----------			---------- mm ----------	
June	۱۲ خرداد - ۱۰ تیر	33.8	17.4	25.6	334.3	7.23
July	۱۱ تیر - ۱۰ مرداد	37.9	23.3	31.9	471.8	0.0
August	۱۱ مرداد - ۱۰ شهریور	36.2	20.1	28.4	425.6	0.0
September	۱۱ شهریور - ۹ مهر	31.6	16.8	24.0	266.1	0.81

[a] T_{mean}, mean temperature; T_{min}, minimum temperature; T_{max}, maximum temperature; Evap., evaporation; Prec., precipitation.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the experimental field soil

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت خاک Texture	اسیدیته pH	ماده آلی OM[a]	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC
----------%----------					----------%--------		---------mg kg^{-1}----------		dS m^{-1}
24	39	37	Loam	7.3	0.44	0.04	6.3	255	1.39

[a] OM, organic matter; EC, electrical conductivity

عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش، تنش متوسط و شدید؛ به ترتیب شامل تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک) و عامل فرعی شامل مصرف کود نیتروژن از منبع اوره در چهار سطح (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. هر کرت فرعی شامل شش ردیف کاشت به طول شش متر با فواصل بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود و فواصل بین بوته‌ها روی خطوط کاشت هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد تا تراکم کاشت ۲۰۸ هزار بوته در هکتار حاصل گردد. به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارها (نشت آب و نیتروژن به کرت‌های مجاور)، فاصله بین بلوک‌ها، کرت‌های اصلی و فرعی به ترتیب ۲/۴، ۲/۴ و ۱/۲ متر در نظر گرفته شد.

بر اساس میزان نیتروژن موجود در خاک (جدول ۲) و نیاز غذایی سورگوم علوفه‌ای، مقدار نیتروژن خالص موردنیاز طی فصل رشد معادل با ۱۸۳ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. در تمامی کرت‌های آزمایشی کود دی‌آمونیوم فسفات (حاوی ۴۶ درصد فسفر و ۱۸ درصد نیتروژن) به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (حاوی ۱۱۵ کیلوگرم فسفر و ۴۵ کیلوگرم نیتروژن) به‌صورت پیش‌کاشت مصرف شد. جهت جبران باقیمانده نیتروژن موردنیاز از کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار (حاوی ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص) به‌عنوان تیمار شاهد استفاده شد. همچنین جهت بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و کیفیت علوفه، مقادیر ۵۰٪ بیشتر و ۵۰٪ کمتر از میزان نیاز محاسبه‌شده (به ترتیب ۴۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) همراه با تیمار شاهدِ عدم مصرف نیتروژن موردبررسی قرار گرفتند؛ بنابراین در تیمارهای ۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به ترتیب ۴۵، ۱۱۴، ۱۸۳ و ۲۵۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار مصرف شده است. در تمامی تیمارهای آزمایشی کود نیتروژن از منبع اوره در دو قسمت مساوی (در هنگام کاشت و مرحله ۶-۵ برگی سورگوم) مصرف شد. همچنین به دلیل محتوی بالای پتاسیم در خاک، نیازی به مصرف این کود نبود (جدول ۲). عملیات کاشت در یازدهم خردادماه و در زمینی تحت آیش انجام شد. بذر سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید از

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. این رقم یک هیبرید سریع‌الرشد، مقاوم به خشکی و زودرس است که در حال حاضر بیشترین سطح زیر کشت سورگوم علوفه‌ای در کشور را به خود اختصاص داده است. رقم اسپیدفید از طریق هیبریداسیون بین سودانگراس با سورگوم تولید شده است (Golzardi et al., 2019).

در پژوهش حاضر آبیاری با روش قطره‌ای نواری (با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله قطره‌چکان ۱۰ سانتی‌متر) انجام شد. دور آبیاری برای همه کرت‌ها ثابت در نظر گرفته شد و سطوح مختلف آبیاری، با تفاوت در حجم آب آبیاری در هر نوبت اعمال گردید. تفاوت بین نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به‌عنوان رطوبت قابل‌استفاده خاک در نظر گرفته شد. دور آبیاری بر اساس تخلیه ۳۰ درصد آب در دسترس در محدوده ریشه در تیمار آبیاری کامل تنظیم شد. میزان آب آبیاری در هر نوبت، بر اساس محتوی رطوبت خاک محاسبه شد. قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه تی.دی.آر انجام شد و حجم آب موردنیاز در تیمار آبیاری کامل، بر اساس اختلاف بین رطوبت خاک و حد ظرفیت زراعی برآورد گردید و با توجه به مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری نیز 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):

$$Vw = (\theta FC - \theta i) \times D \times A \qquad [۱]$$

که در آن Vw حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (برحسب مترمکعب)، θ FC محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (برحسب درصد)، θi محتوای حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری (برحسب درصد)، D عمق مؤثر عمودی ریشه (برحسب متر) و A مساحت کرت (برحسب مترمربع) است. در تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید نیز به ترتیب از ۷۵ و ۵۰ درصد مقدار آب مورداستفاده در تیمار آبیاری کامل (بدون تنش) استفاده شد. حجم آب آبیاری در هر نوبت با کمک شیرهای قطع و وصل و کنتور حجمی به هر کرت اضافه شد.

لازم به ذکر است که جهت استقرار مناسب بوته‌ها از زمان کاشت بذور تا مرحله ۴-۲ برگی سورگوم آبیاری به‌طور کامل بر اساس جبران ۱۰۰ درصد کمبود رطوبتی خاک انجام شد. برای این مرحله رشد یعنی از کاشت تا ۴-۲ برگی سورگوم مقدار ۲۳۱ مترمکعب آب در هر هکتار استفاده شد. پس از مرحله ۴-۲ برگی سورگوم، رژیم‌های مختلف آبیاری اعمال گردیدند. حجم کل آب مصرفی در تیمارهای آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب معادل ۶۷۰۷، ۵۰۸۸ و ۳۴۶۹ مترمکعب در هکتار بود.

برداشت علوفه سورگوم در مرحله شیری خمیری انجام شد و جهت تعیین عملکرد علوفه، چهار ردیفِ وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثرهای حاشیه‌ای)، برداشت و توزین شدند. جهت تعیین عملکرد ماده خشک، از علوفه برداشت‌شده در هر کرت، پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن) در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بر اساس درصد ماده خشک در هر نمونه، عملکرد ماده خشک در هر کرت محاسبه گردید. سپس نمونه‌های خشک‌شده با استفاده از آسیاب چکشی آزمایشگاهی پودر شد و با عبور از الک یک میلی‌متری غربال گردید و جهت انجام آنالیزهای شیمیایی مورداستفاده قرار گرفت. محتوی پروتئین خام از طریق اندازه‌گیری نیتروژن کل تعیین شد (Kjeldahl, 1883). بدین منظور ابتدا محتوی نیتروژن کل موجود در ماده خشک علوفه بر اساس روش کجلدال اندازه‌گیری شد و برای تعیین محتوی پروتئین خام، محتوی نیتروژن کل علوفه در عدد ۶/۲۵ ضرب شد. محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) نیز با روش ون سوست (Van Soest et al., 1991) تعیین شدند. محتوی همی‌سلولز از تفاوت درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی حاصل شد. همچنین جهت اندازه‌گیری قابلیت هضم ماده خشک، محتوی انرژی خالص برای شیردهی و ارزش نسبی علوفه از رابطه‌های ۲ تا ۴ استفاده شد (Jahanzad et al., 2013).

$$DDM = 88.9 - (0.779 \times ADF) \qquad [۲]$$

$$NEL = [1.044 - (0.0119 \times ADF)] \times 2.205 \qquad [۳]$$

$$RFV = DDM \times (120/NDF) \times 0.775 \qquad [۴]$$

در این رابطه‌ها DMD قابلیت هضم ماده خشک (برحسب درصد)، NEL انرژی خالص برای شیردهی (برحسب مگاکالری در کیلوگرم ماده خشک)، RFV ارزش نسبی علوفه (شاخص بدون واحد)، ADF درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و NDF درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی است. برای محاسبه عملکرد پروتئین (برحسب تن در هکتار)، درصد پروتئین خام در عملکرد ماده خشک (برحسب تن در هکتار)

ضرب شد. کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین (برحسب کیلوگرم بر مترمکعب آب) با تقسیم عملکرد ماده خشک و عملکرد پروتئین (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرفی (برحسب مترمکعب در هکتار) محاسبه شد (Ul-Allah et al., 2014). قبل از تجزیه آماری، داده‌ها ازنظر داشتن پراکنش نرمال مورد آزمون قرار گرفتند. تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و جهت مقایسه میانگین‌های برهمکنشِ تنش خشکی × کود نیتروژن از روش برش‌دهی اثرات متقابل استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه (ماده خشک و پروتئین)

اثر تنش خشکی، کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد ماده خشک و همچنین عملکرد پروتئین سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در تمام سطوح تنش خشکی، مصرف کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد ماده خشک و عملکرد پروتئین نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن) شد (جدول ۴)؛ تحت شرایط آبیاری کامل مصرف کود نیتروژن به میزان ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک را به ترتیب ۱۰۴، ۱۵۳ و ۱۶۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد درحالی‌که این افزایش تحت تنش متوسط به ترتیب ۱۲۰، ۱۳۲ و ۱۸۱ درصد و تحت تنش شدید به ترتیب ۱۳۶، ۱۲۷ و ۱۰۱ درصد بود (جدول ۴). واکنش عملکرد پروتئین به مصرف نیتروژن شدیدتر بود به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عملکرد پروتئین به ترتیب ۱۱۷، ۱۹۷ و ۲۳۸ درصد، در شرایط تنش متوسط به ترتیب ۱۳۳، ۱۷۴ و ۲۸۴ درصد و در شرایط تنش شدید به ترتیب ۱۴۴، ۲۰۰ و ۱۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۴). نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط، حداکثر عملکرد ماده خشک و پروتئین با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که تحت تنش شدید بیشترین عملکرد پروتئین با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که در بین ۱۲ تیمار موردبررسی، حداکثر عملکرد ماده خشک و عملکرد پروتئین (به ترتیب ۴۰/۰۳ و ۳/۴۸ تن در هکتار) در تیمار بدون تنش خشکی و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۴). علاوه بر این تیمار آبیاری کامل و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز با تولید ۳۷/۹۳ تن ماده خشک در هکتار در گروه آماری برتر قرار گرفت. همچنین تیمار تنش خشکی متوسط همراه با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز با تولید ۳/۴۲ تن پروتئین در هکتار، ازنظر عملکرد پروتئین در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه، کارایی مصرف آب و ارتفاع بوته سورگوم تحت تأثیر تنش خشکی و کود نیتروژن

Table 3. ANOVA results of forage yield, water use efficiency, and plant height of sorghum as affected by drought stress and nitrogen fertilizer

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه Forage yield		کارایی مصرف آب Water use efficiency		ارتفاع بوته Plant height
			ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	
Replication	تکرار	2	1.10^{ns}	0.01^{ns}	0.04^{ns}	0.0005^{ns}	23^{ns}
Drought (D)	تنش خشکی	2	448.14^{**}	1.97^{**}	1.86^{**}	0.0388^{**}	6138^{**}
Error a	خطای اصلی	4	0.49	0.01	0.02	0.0001	37
Nitrogen (N)	کود نیتروژن	3	676.85^{**}	7.34^{**}	25.96^{**}	0.2891^{**}	2215^{**}
D × N	خشکی × نیتروژن	6	45.11^{**}	0.34^{**}	1.15^{**}	0.0096^{**}	385^{**}
Error b	خطای فرعی	2	1.72	0.01	0.06	0.0005	25
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	5.23	5.59	4.96	5.47	2.73

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار.

* and ** significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively. ns: not significant.

جدول ۴. اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن بر عملکرد علوفه، کارایی مصرف آب و ارتفاع بوته سورگوم

Table 4. The interaction effects of drought stress × nitrogen fertilizer on the forage yield, water use efficiency, and plant height of sorghum

تیمار Treatment		عملکرد علوفه Forage yield		کارایی مصرف آب Water use efficiency		ارتفاع بوته
تنش خشکی Drought stress	کود نیتروژن Nitrogen rate	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	ماده خشک Dry matter	پروتئین Protein	Plant height
	kg. ha^{-1}	----------ton ha^{-1}----------		----------kg m^{-3}----------		cm
بدون تنش No stress	0	14.97^{c}	1.03^{d}	2.232^{c}	0.153^{d}	175^{c}
	150	30.51^{b}	2.24^{c}	4.550^{b}	0.333^{c}	190^{b}
	300	37.93^{a}	3.06^{b}	5.656^{a}	0.455^{b}	222^{a}
	450	40.03^{a}	3.48^{a}	5.968^{a}	0.519^{a}	224^{a}
$LSD_{0.05}$		3.50	0.29	0.522	0.044	11
تنش متوسط Moderate stress	0	12.32^{c}	0.89^{d}	2.422^{c}	0.176^{d}	166^{c}
	150	27.10^{b}	2.07^{c}	5.326^{b}	0.406^{c}	183^{b}
	300	28.64^{b}	2.44^{b}	5.630^{b}	0.479^{b}	204^{a}
	450	34.56^{a}	3.42^{a}	6.793^{a}	0.672^{a}	208^{a}
$LSD_{0.05}$		2.25	0.22	0.442	0.042	10
تنش شدید Severe stress	0	9.78^{c}	0.72^{c}	2.822^{c}	0.207^{c}	153^{a}
	150	23.10^{a}	1.76^{b}	6.659^{a}	0.508^{b}	160^{a}
	300	22.23^{a}	2.16^{a}	6.408^{a}	0.622^{a}	160^{a}
	450	19.62^{b}	2.00^{a}	5.656^{b}	0.575^{a}	161^{a}
$LSD_{0.05}$		1.80	0.18	0.520	0.053	9
$LSD_{0.05}$ (Drought×Nitrogen)		2.25	0.20	0.426	0.040	9

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to LSD tests at 5% level

تنش خشکی با کاهش جذب مواد غذایی از خاک، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و محدودیت تولید آسیمیلات‌ها، به کاهش رشد و بیوماس تولیدی منجر می‌شود (Nematpour et al., 2020). درحالی‌که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ، بهبود دوام برگ و گسترش اندام هوایی گیاه شده و در تخفیف اثر تنش نقش مهمی دارد (Baghdadi et al., 2017b). جهان‌زاد و همکاران (Jahanzad et al., 2013) نیز در بررسی اثر تنش خشکی بر دو رقم سورگوم علوفه‌ای گزارش کردند که افزایش شدت تنش از آبیاری مطلوب به تنش خشکی متوسط و شدید، منجر به کاهش به ترتیب ۲۰ و ۳۴ درصدی عملکرد ماده خشک و ۱۳ و ۲۴ درصدی عملکرد پروتئین علوفه شد. نعمت‌پور و همکاران (Nematpour et al., 2020) نیز در بررسی اثر کم‌آبیاری بر ارزن علوفه‌ای گزارش کردند که تحت تنش خشکی، عملکرد ماده خشک در ارقام باستان و پیشاهنگ به ترتیب ۴۵ و ۵۱ درصد کاهش یافت. بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2017a) نیز در بررسی اثر سه سطح کود نیتروژن (۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) بر ذرت سیلویی گزارش کردند بیش‌ترین عملکرد علوفه با مصرف بالاترین سطح نیتروژن حاصل شد.

اثر افزایش مصرف نیتروژن بر عملکرد علوفه سورگوم، به شرایط تنش خشکی بستگی داشت، به‌نحوی‌که با افزایش شدت تنش خشکی از سودمندی مصرف نیتروژن بر عملکرد علوفه کاسته شد (جدول ۴). تحت تنش خشکی شدید افزایش مصرف نیتروژن تا سقف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای حصول حداکثر عملکرد ماده خشک و تا سقف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای حصول حداکثر عملکرد پروتئین کافی بود و افزایش مصرف نیتروژن بیش از سطوح مذکور، سبب کاهش عملکرد شد (جدول ۴). مصرف نیتروژن بیش‌ازحد نیاز برای گیاه علاوه بر تخریب خاک و مشکلات زیست‌محیطی باعث تغییر اسیدیته خاک، کاهش جذب سایر عناصر غذایی و افزایش تنفس ریشه شده و کاهش فتوسنتز و عملکرد را به دنبال دارد (Javadi et al., 2010). بین رطوبت خاک و قابلیت استفاده از مواد غذایی رابطه نزدیکی وجود دارد به‌طوری‌که سودمندی حاصل از کاربرد کود را می‌توان نتیجه میزان فراهمی آب در خاک دانست (Hussaini et al., 2008). آبیاری کامل کارایی مصرف کود را افزایش می‌دهد و

به علت همبستگی مثبت بین آبیاری و کوددهی، مصرف کود در شرایط فراهمی آب نسبت به تنش خشکی، صرفه اقتصادی بیشتری دارد (Kaplan et al., 2019).

تحت شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد، لزوم برقراری تناسب میان فراهمی رطوبت در خاک و نیتروژن مصرفی ضروری است (Hussaini et al., 2008). حیدری و همکاران (Heidari et al., 2019) با مطالعه اثر تنش خشکی و سطوح نیتروژن بر عملکرد ذرت گزارش کردند که حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بالاترین سطح نیتروژن موردبررسی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. ایشان نشان دادند که افزایش مصرف نیتروژن تحت شرایط تنش خشکی، می‌تواند با بهبود وضعیت تغذیه گیاه، به کاهش شدت رقابت درون‌گونه‌ای و افزایش باروری گل‌های ذرت کمک کند. قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2015) گزارش کردند بیشترین عملکرد علوفه ذرت در تیمار آبیاری کامل، با مصرف بالاترین سطح نیتروژن حاصل شد. آنان بیان داشتند در شرایط تنش رطوبتی، افزایش مصرف کود تا حد نیاز باعث افزایش تحمل گیاه در برابر اثرات منفی کمبود آب شد و کاربرد مقادیر مناسب کود نیتروژن می‌تواند مقابله با تنش آبی در گیاه ذرت را افزایش دهد اما مقادیر بیش از نیاز نیتروژن در شرایط تنش رطوبتی بر عملکرد بیولوژیک اثر نامطلوب دارد (Ghobadi et al., 2015).

کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، کود نیتروژن و اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مصرف کود نیتروژن در تمام سطوح آبیاری، میزان کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۴)؛ تحت شرایط آبیاری کامل مصرف کود نیتروژن به میزان ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار میزان کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک را به ترتیب ۱۰۴، ۱۵۳ و ۱۶۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد درحالی‌که این افزایش تحت تنش متوسط به ترتیب ۱۲۰، ۱۳۲ و ۱۸۰ درصد و تحت تنش شدید به ترتیب ۱۳۶، ۱۲۷ و ۱۰۰ درصد بود (جدول ۴). کارایی مصرف آب برای تولید پروتئین واکنش شدیدتری به مصرف نیتروژن نشان داد به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف آب برای تولید پروتئین به ترتیب ۱۱۸، ۱۹۷ و ۲۳۹ درصد، در شرایط تنش متوسط به ترتیب ۱۳۱، ۱۷۲ و ۲۸۲ درصد و در شرایط تنش شدید به ترتیب ۱۴۵، ۲۰۰ و ۱۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۴). نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط، حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که تحت تنش شدید بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید پروتئین با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که در بین ۱۲ تیمار موردبررسی، حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین (به ترتیب ۶/۷۹ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار تنش خشکی متوسط و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۴). علاوه بر این تیمار تنش خشکی شدید با مصرف ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز با تولید به ترتیب ۶/۶۶ و ۶/۴۱ کیلوگرم ماده خشک به ازای هر مترمکعب آب در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۴). مدیریت آب از طریق تغییر در کمیت آبیاری در مراحل رویشی و زایشی سبب به حداقل رسیدن تبخیر و افزایش کارایی آب برای رشد گیاه می‌شود (Balazadeh et al., 2021; Zou et al., 2021). گل‌زردی و همکاران (Golzardi et al., 2017) در بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر کارایی مصرف آب ذرت گزارش کردند که تحت تنش خشکی متوسط، کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک نسبت به تیمار شاهد (آبیاری نرمال) افزایش یافت اما با افزایش بیشتر شدت تنش، تغییر معنی‌داری در این صفت مشاهده نشد. کاهش بهره‌وری آب با عدم مصرف کود نیتروژن احتمالاً با اُفت فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی همچون فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و روبیسکو (Maranville and Madhavan, 2002) و همچنین کاهش هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز (Zhao et al., 2005) در شرایط کمبود نیتروژن مرتبط است.

تأثیر کاربرد کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب سورگوم، به شرایط تنش خشکی بستگی داشت، به‌نحوی‌که با افزایش شدت تنش خشکی از سودمندی مصرف نیتروژن بر بهره‌وری آب کاسته شد (جدول ۴). تحت تنش خشکی شدید افزایش

مصرف نیتروژن تا سقف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای حصول حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و تا سقف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای حصول حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید پروتئین کافی بود و افزایش مصرف نیتروژن بیش از سطوح مذکور، سبب کاهش بهره‌وری آب شد (جدول ۴). کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) نیز در بررسی کارایی مصرف آب سورگوم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی مصرف آب برای تولید علوفه افزایش یافت. احتمالاً در شرایط تنش خشکی، سورگوم با بستن روزنه‌ها (افزایش مقاومت روزنه‌ای) و یا کاهش تعداد روزنه‌ها در واحد سطح برگ، باعث کاهش نرخ تعرق و تلفات آب و افزایش راندمان مصرف آب شده است. افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در سویا نیز گزارش‌شده است (Fried et al., 2019).

ارتفاع بوته

اثر تنش خشکی، کود نیتروژن و اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن بر ارتفاع بوته سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش مصرف کود نیتروژن در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط، ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف نیتروژن) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت (جدول ۴). با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری کامل، ارتفاع بوته به ترتیب ۹، ۲۷ و ۲۸ درصد و در شرایط تنش متوسط به ترتیب ۱۰، ۲۳ و ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن بر ارتفاع بوته نشان داد در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط، حداکثر ارتفاع بوته با مصرف ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که تحت تنش شدید، مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نشان نداد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که در بین ۱۲ تیمار موردبررسی، حداکثر ارتفاع بوته (۲۲۴ سانتی‌متر) در تیمار بدون تنش خشکی و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۴). علاوه بر این تیمار شاهد بدون تنش با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نیز با ارتفاع بوته ۲۲۲ سانتی‌متر در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۴). بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2017a) نیز نتایج مشابهی را از اثر مثبت نیتروژن بر ارتفاع بوته ذرت گزارش کردند. کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) گزارش کردند که بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته سورگوم سودان‌گراس (به ترتیب ۲۳۷ و ۱۹۰ سانتی‌متر)، به ترتیب تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی شدید حاصل شد. گل‌زردی و همکاران (Golzardi et al., 2017) نیز نتایج مشابهی را درباره اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته ذرت گزارش کردند.

اثر مصرف نیتروژن بر ارتفاع بوته سورگوم، به میزان فراهمی آب بستگی داشت به‌طوری‌که تحت شرایط تنش خشکی شدید، مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته سورگوم نداشت و هر چهار سطح کود نیتروژن در گروه آماری یکسانی قرار گرفتند (جدول ۴). کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) نشان دادند که کمبود نیتروژن، رشد و نمو سورگوم را به‌شدت محدود کرد و منجر به اُفت عملکرد علوفه و کاهش ارتفاع بوته شد. کاهش ارتفاع بوته و اُفت عملکرد سورگوم در اثر کاهش مصرف نیتروژن می‌تواند با کاهش غلظت آنزیم‌های فتوسنتزی نظیر فسفوانول‌پیروات کربوکسیلاز و روبیسکو (Maranville and Madhavan, 2002) و نیز کاهش هدایت روزنه‌ای و نرخ فتوسنتز (Zhao et al., 2005) گیاه در شرایط کمبود نیتروژن مرتبط باشد.

کیفیت علوفه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر تمام ویژگی‌های کیفی علوفه سورگوم (به‌جز محتوای همی‌سلولز) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر متقابل تنش خشکی با کود نیتروژن بر محتوی پروتئین خام در سطح احتمال یک درصد و بر سایر ویژگی‌های کیفی علوفه سورگوم (به‌جز محتوای همی‌سلولز) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

در تمام سطوح تنش خشکی، مصرف کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار محتوی پروتئین خام نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف) شد (جدول ۶). تحت شرایط آبیاری کامل مصرف کود نیتروژن به میزان ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار محتوی پروتئین خام را به ترتیب ۷، ۱۸ و ۲۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد درحالی‌که این افزایش تحت تنش متوسط به ترتیب ۵، ۱۷ و ۳۶ درصد و تحت تنش شدید به ترتیب ۴، ۳۲ و ۳۹ درصد بود (جدول ۶).

نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین خام در شرایط آبیاری کامل، تنش خشکی متوسط و تنش شدید (به ترتیب ۸/۶۹، ۹/۸۹ و ۱۰/۱۷ درصد) با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۶). در بین ۱۲ تیمار موردبررسی، حداکثر محتوی پروتئین خام تحت تنش خشکی شدید و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که حداقل محتوی پروتئین علوفه (۶/۸۵ درصد) در شرایط بدون تنش خشکی و بدون مصرف نیتروژن مشاهده گردید (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی علوفه سورگوم تحت تأثیر تنش خشکی و کود نیتروژن

Table 5. ANOVA results of qualitative characteristics of sorghum forage as affected by drought stress and nitrogen fertilizer

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f.	Mean square میانگین مربعات						
			CP[a]	ADF	NDF	HEM	DMD	NEL	RFV
Replication	تکرار	2	0.03^{ns}	0.88^{ns}	4.17*	1.48^{ns}	0.53^{ns}	602^{ns}	15.45*
Drought (D)	تنش خشکی	2	2.88**	8.60**	8.75**	0.16^{ns}	5.21**	5916**	57.87**
Error a	خطای اصلی	4	0.05	0.04	0.54	0.68	0.03	29	1.07
Nitrogen (N)	کود نیتروژن	3	11.37**	1.49**	5.34**	1.40^{ns}	0.91**	1022**	21.20**
D × N	خشکی × نیتروژن	6	0.48**	1.02*	3.18*	0.66^{ns}	0.62*	696*	13.52*
Error b	خطای فرعی	2	0.02	0.28	0.98	0.57	0.17	191	3.60
CV %	ضریب تغییرات	-	4.51	4.49	4.58	6.75	4.76	4.01	5.08

[a] CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: فیبر نامحلول در شوینده خنثی؛ HEM: همی‌سلولز؛ DMD: قابلیت هضم ماده خشک؛ NEL: انرژی خالص ویژه شیردهی؛ RFV: ارزش نسبی علوفه؛ * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار.

[a] CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; HEM: hemicellulose; DMD: dry matter digestibility; NEL: net energy for lactation; RFV: relative feed value; * and ** significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively. ns: not significant.

جدول ۶. اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن بر ویژگی‌های کیفی علوفه سورگوم

Table 6. The interaction effects of drought stress × nitrogen fertilizer on the qualitative characteristics of sorghum forage

تنش خشکی Drought stress	کود نیتروژن Nitrogen rate	CP[a]	ADF	NDF	HEM	DMD	NE_L	RFV
	Kg.ha^{-1}	----------%----------					Mcal. kg^{-1}	
بدون تنش No stress	0	6.85^{d}	37.12^{a}	65.49^{a}	28.37^{a}	59.98^{b}	1.328^{b}	85.2^{c}
	150	7.33^{c}	36.14^{b}	64.29^{ab}	28.15^{a}	60.75^{a}	1.354^{b}	87.9^{bc}
	300	8.05^{b}	35.70^{b}	63.06^{bc}	27.35^{a}	61.09^{a}	1.365^{b}	90.1^{ab}
	450	8.69^{a}	35.23^{b}	61.89^{c}	26.65^{a}	61.45^{a}	1.377^{a}	92.4^{a}
$LSD_{0.05}$		0.22	0.95	1.92	1.74	0.73	0.025	3.4
تنش متوسط Moderate stress	0	7.25^{d}	36.06^{a}	63.87^{a}	27.81^{a}	60.81^{d}	1.356^{d}	88.5^{c}
	150	7.62^{c}	35.63^{b}	63.29^{ab}	27.66^{a}	61.14^{c}	1.367^{c}	89.9^{bc}
	300	8.50^{b}	35.21^{c}	62.74^{b}	27.53^{a}	61.47^{b}	1.378^{b}	91.1^{b}
	450	9.89^{a}	34.63^{d}	61.31^{c}	26.67^{a}	61.92^{a}	1.393^{a}	93.9^{a}
$LSD_{0.05}$		0.28	0.28	1.10	1.17	0.22	0.008	1.5
تنش شدید Severe stress	0	7.33^{d}	34.35^{a}	61.98^{a}	27.63^{a}	62.15^{a}	1.401^{a}	93.3^{a}
	150	7.62^{c}	34.02^{a}	61.37^{a}	27.35^{a}	62.40^{a}	1.409^{a}	94.6^{a}
	300	9.70^{b}	34.18^{a}	61.90^{a}	27.72^{a}	62.27^{a}	1.405^{a}	93.6^{a}
	450	10.17^{a}	34.93^{a}	62.65^{a}	27.72^{a}	61.69^{a}	1.385^{a}	91.6^{a}
$LSD_{0.05}$		0.24	1.54	2.62	1.86	1.20	0.040	5.4
$LSD_{0.05}$ (Drought×Nitrogen)		0.21	0.91	1.70	1.75	0.71	0.024	3.3

[a] CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: فیبر نامحلول در شوینده خنثی؛ HEM: همی‌سلولز؛ DMD: قابلیت هضم ماده خشک؛ NE_L: انرژی خالص ویژه شیردهی؛ RFV: ارزش نسبی علوفه.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

[a] CP: crude protein content; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; HEM: hemicellulose; DMD: dry matter digestibility; NE_L: net energy for lactation; RFV: relative feed value.

Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to LSD tests at 5% level

با افزایش مصرف کود نیتروژن در تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط، محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، این صفات تحت تأثیر میزان مصرف نیتروژن قرار نگرفتند (جدول ۶). در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی به ترتیب ۲/۶، ۳/۸ و ۵/۱ درصد و محتوی فیبر نامحلول در شوینده خنثی به ترتیب ۱/۸، ۳/۷ و ۵/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۶). در شرایط تنش خشکی متوسط نیز محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی به ترتیب ۱/۲، ۲/۴ و ۴/۰ درصد و محتوی فیبر نامحلول در شوینده خنثی به ترتیب ۰/۹، ۱/۸ و ۴/۰ درصد نسبت به تیمار شاهد اُفت کرد (جدول ۶). نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که کمترین محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط، با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که تحت تنش شدید، مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر این صفات نشان نداد (جدول ۶).

در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط، با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان قابلیت هضم ماده خشک، محتوای انرژی خالص شیردهی و ارزش نسبی علوفه افزایش یافت، درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، این صفات تحت تأثیر میزان مصرف نیتروژن قرار نگرفتند (جدول ۶). تحت آبیاری کامل با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، قابلیت هضم ماده خشک به ترتیب ۱/۳، ۱/۹ و ۲/۵ درصد، انرژی خالص شیردهی به ترتیب ۲/۰، ۲/۸ و ۳/۷ درصد و ارزش نسبی علوفه به ترتیب ۳/۲، ۵/۸ و ۸/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۶). با مصرف ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تحت تنش خشکی متوسط، قابلیت هضم ماده خشک به ترتیب ۰/۵، ۱/۱ و ۱/۸ درصد، انرژی خالص شیردهی به ترتیب ۰/۸، ۱/۶ و ۲/۷ درصد و ارزش نسبی علوفه به ترتیب ۱/۶، ۲/۹ و ۶/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۶). نتایج برش‌دهی اثر متقابل تنش خشکی × کود نیتروژن نشان داد که در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط بیش‌ترین قابلیت هضم ماده خشک و حداکثر انرژی خالص شیردهی و ارزش نسبی علوفه با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد، درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت (جدول ۶).

تنش خشکی با تغییر در رشد و نمو گیاه، اثرهای زیادی بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارد (Anjum et al., 2017). جهان‌زاد و همکاران (Jahanzad et al., 2013) با ارزیابی کیفیت علوفه دو رقم سورگوم (پگاه و اسپیدفید) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی و افزایش محتوی پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک شد. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تغییر کیفیت علوفه سورگوم، سورگوم-سودانگراس و ارزن (معمولی و دم‌روباهی) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری با تغییر در نسبت برگ، ساقه و پانیکول در بوته مرتبط است (Bhattarai et al., 2020; Nematpour et al., 2020; Kaplan et al., 2019). افزایش محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر نامحلول در شوینده خنثی با کاهش نسبت برگ به ساقه در ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای (McCuistion et al., 2010) و سورگوم-سودانگراس (Machicek et al., 2019) گزارش شده است. کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) با مطالعه اثر سطوح مختلف آبیاری (جبران ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک) بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و کیفیت سیلاژ سورگوم-سودانگراس نشان دادند که تحت شرایط کم‌آبی، نسبت ساقه در بوته کاهش و نسبت برگ و پانیکول افزایش یافت و این تغییرات منجر به کاهش محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی و افزایش محتوی پروتئین خام، انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده آلی شد (Kaplan et al., 2019).

باتاری و همکاران (Bhattarai et al., 2020) نیز با بررسی کیفیت علوفه سورگوم، ارزن مرواریدی و ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ میلی‌متر معادل ۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۵۰۰ مترمکعب آب در هکتار) گزارش کردند که با کاهش حجم آب آبیاری، درصد پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک افزایش و درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی کاهش یافت. در این مطالعه افزایش ارتفاع بوته در اثر افزایش مصرف آب به‌عنوان دلیلی برای افزایش محتوی فیبر در علوفه عنوان شد (Bhattarai et al., 2020). نعمت‌پور و همکاران (Nematpour et al., 2020) نیز گزارش کردند تحت تنش خشکی، نسبت برگ به ساقه در

بوته ارزن معمولی و دم‌روباهی افزایش می‌یابد و کم‌آبیاری از این طریق باعث بهبود کیفیت علوفه می‌شود. ایشان نشان دادند که تنش خشکی باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک، ارزش نسبی علوفه و انرژی خالص برای شیردهی و کاهش محتوی فیبر نامحلول در شوینده اسیدی در علوفه ارزن شد (Nematpour et al., 2020). جهانسوز و همکاران (Jahansouz et al., 2014) نیز در ارزیابی کیفیت علوفه سورگوم، ارزن و ذرت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تبخیر و تعرق محصول) گزارش کردند که بیشترین غلظت پروتئین خام علوفه در تیمار کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد تبخیر و تعرق محصول) حاصل شد. غلظت بیشتر پروتئین خام در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند به دلیل سرعت رشد کم گیاه و جذب نیتروژن بیش‌ازحد موردنیاز محصول باشد (Machicek, 2018).

به‌طورکلی در شرایط آبیاری کامل و همچنین تنش خشکی متوسط، بالاترین کیفیت علوفه با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد درحالی‌که تحت شرایط تنش خشکی شدید بالاترین کیفیت علوفه سورگوم با مصرف ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۶). عبید و همکاران (Abid et al., 2016) نیز اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کیفیت علوفه و محتوی مواد مغذی در سه جمعیت یونجه را بررسی و گزارش کردند که درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر نامحلول در شوینده خنثی تحت تنش خشکی شدید کاهش یافت. میسر و همکاران (Meisser et al., 2017) نیز گزارش کردند که تنش کم‌آبی به‌طور قابل‌توجهی محتوی پروتئین را در گیاهان علوفه‌ای افزایش می‌دهد. بحرالعلومی و همکاران (Bahrololomi et al., 2019) نشان دادند که بین میزان فراهمی آب در خاک و محتوی نیتروژن برگ همبستگی منفی وجود دارد و کاهش میزان آب قابل‌دسترس در خاک، محتوی نیتروژن کل در برگ سویا را افزایش داد. ژائو و همکاران (Zhao et al., 2005) گزارش کردند که کمبود نیتروژن، باعث کاهش نسبت برگ به ساقه شده و از این طریق کیفیت علوفه را کاهش می‌دهد. کاپلان و همکاران (Kaplan et al., 2019) نیز در بررسی کیفیت علوفه سورگوم سودان گراس تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف نیتروژن گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی و افزایش مصرف کود نیتروژن، کیفیت علوفه نیز بهبود یافت. لی و همکاران (Li et al., 2013) نشان دادند که تنش خشکیِ ناشی از آبیاری یک‌درمیانِ ردیف‌های کشت، باعث افزایش سطح، تراکم و طول ریشه ذرت می‌شود و با تسهیل جذب مواد مغذی، محتوی مواد معدنی موجود در گیاهان و کیفیت علوفه آن را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری نهایی

هرچند بیش‌ترین عملکرد ماده خشک و عملکرد پروتئین و حداکثر ارتفاع بوته با آبیاری کامل و مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد، اما حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین تحت تنش متوسط (تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبتی خاک) و با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل گردید. در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط، بالاترین کمیت و کیفیت علوفه و حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و پروتئین با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد درحالی‌که تحت شرایط تنش خشکی شدید، بالاترین عملکرد پروتئین و حداکثر کارایی مصرف آب برای تولید پروتئین با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. به‌طورکلی به‌منظور تولید علوفه سورگوم با کمیت و کیفیت مناسب ضمن دستیابی به حداکثر کارایی مصرف آب، تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک همراه با مصرف ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قابل توصیه خواهد بود. در صورت وجود محدودیت شدید منابع آب آبیاری نیز تأمین ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک همراه با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قابل توصیه است.

منابع

Abid, M., Mansour, E., Ben Yahia, L., Bachar, K.H., Ben Khaled, A., Ferchichi, A., 2016. Alfalfa nutritive quality as influenced by drought in South-Eastern Oasis of Tunisia. Italian Journal of Animal Science. 15, 334-342.

Afshar, R.K., Jovini, M.A., Chaichi, M.R., Hashemi, M., 2014. Grain sorghum response to arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilizer under deficit irrigation. Agronomy Journal. 4, 1212-1218.

Anjum, S.A., Ashraf, U., Tanveer, M., Khan, I., Hussain, S., Shahzad, B., Wang, L.C., 2017. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. Frontiers in Plant Science. 8, 69.

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J., Ilkaee. M.N., 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. Bragantia, 80, e1421.

Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., 2017a. Effects of pre-Sowing treatments and nitrogen rates on quantitive and qualitative characteristics of silage maize SC 704. Journal of Crop Production, 9, 103-120. [In Persian with English Summary].

Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., Gholamhoseini, M., Mehrnia, M., 2017b. Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. Agronomy Research. 15, 11-23.

Bahrololomi, S., Raeini Sarjaz, M., Pirdashti, H., 2019. The effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes, malondialdehyde, soluble protein and leaf total nitrogen contents of soybean (*Glycine max* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 17-28.

Bakhtiyari, F., Zamanian, M., Golzardi, F., 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment. 11, 49-65.

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F., 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, e1900228.

Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L., 2020. Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. Crop Science. 60, 2167-2179.

Fried, H.G., Narayanan, S., Fallen, B., 2019. Evaluation of soybean ((*Glycine max* L.) Merr.) genotypes for yield, water use efficiency, and root traits. Plos One. 14, 1-18.

Ghobadi, R., Shirkhani, A., Jalilian, A., 2015. Effects of Water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. Applied Field Crops Research. 28, 79-87. [In Persian with English Summary].

Golzardi, F., Vazan, S., Moosavinia, H., Tohidloo, G., 2012. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of swallow wort (*Cynanchum acutum* L.). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 4, 4524-4529.

Golzardi, F., Baghdadi, A., 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.

Golzardi, F., Nazari Sh., Rahjoo, V., 2019. Sorghum Cultivation. ETKA Publication. 183p. [In Persian].

Heidari, N., Alizadeh, Y., Alizadeh, H., 2019. Investigating the interaction of salinity, drought and nitrogen fertilizer stresses on some physiological traits, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(3), 889-905. [In Persian with English Summary].

Hussaini, M.A., Ogunlela, V.B. Ramalan, A.A., Falaki, A.M., 2008. Mineral composition of dry season maize (*Zea mays* L.) in response to varying levels of nitrogen, phosphorus and irrigation at Kadawa, Nigeria. World Journal of Agricultural Sciences. 4, 775-780.

Islam, M.R., Garcia, S.C., Horadagoda, A., 2012. Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on silage dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and in vitro gas production characteristics of whole crop maize silage. Animal Feed Science and Technology. 172, 125-135.

Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M. R., 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.

Jahanzad, E., Sadeghpour, A., Hosseini, M.B., Barker, A.V., Hashemi, M., Zandvakili, O. R., 2014. Silage yield and nutritive value of millet-soybean intercrops as influenced by nitrogen application. Agronomy Journal. 106, 1993-2000.

Jahansouz, M.R., Afshar, R.K., Heidari, H., Hashemi, M., 2014. Evaluation of yield and

quality of sorghum and millet as alternative forage crops to corn under normal and deficit irrigation regimes. Jordan Journal of Agricultural Sciences. 10, 699-715.

Javadi, H., Saberi, M., Azari Nasrabad, A., Khosravi, S., 2010. The study of amounts and methods of nitrogen application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum, variety Speedfeed. Iranian Journal of Field Crops Research. 8, 384-392.

Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M., Jahan, M., 2019. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of sorghum. Journal of Plant Nutrition. 42, 2221-2233.

Kaplan, M., Kara, K., Unlukara, A., Kale, H., Buyukkilic Beyzi, S., Varol, I.S., Kizilsimsek, M., Kamalak, A., 2019. Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. Agricultural Water Management. 218, 30-36.

Khelil, M.N., Rejeb, S., Henchi, B., Destain, J.P., 2013. Effects of irrigation water quality and nitrogen rate on the recovery of N fertilizer by sorghum in field study. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 44, 2647-2655.

Kjeldahl, J.G.C.T., 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. Fresenius, Zeitschrift für analytische Chemie. 22, 366-382.

Li, C.X., Zhou, X.G., Sun, J.S., Wang, H.Z., Gao, Y., 2013. Dynamics of root water uptake and water use efficiency under alternate partial root zone irrigation. Desalination and Water Treatment. 52, 2805-2810.

Machicek, J., 2018. Evaluating forage sorghum and pearl millet for forage production and quality in the Texas high plains. M.S. Thesis. West Texas A&M University, Department of Agricultural Sciences, Canyon, TX.

Machicek, J.A., Blaser, B.C., Darapuneni, M., Rhoades, M.B., 2019. Harvesting regimes affect brown midrib sorghum-sudangrass and brown midrib pearl millet forage production and quality. Agronomy. 9, 1-13.

Maranville, J.W., Madhavan, S., 2002. Physiological adaptation for nitrogen use efficiency in sorghum. Plant and Soil. 245, 25-34.

McCuistion, K., Bean, B., McCollum, F.T., 2010. Nutritional composition response to yield differences in brown midrib, non-brown midrib, and photoperiod-sensitive forage sorghum cultivars. Forage and Grazinglands. 8, 1-7.

Meisser, M., Vitra, A., Mosimann, E., Deléglise, C., Buttler, A., 2017. Linking functional plant traits and forage quality under drought conditions. Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands, major drivers and future scenarios. Proceedings of the 19th Symposium of the European Grassland Federation, Alghero, 7-10 May, Italy.

Nematpour, A., Eshghizadeh, H.R., Zahedi, M., 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.

Ul-Allah, S., Khan, A.A., Fricke, T., Buerkert, A., Wachendorf, M., 2014. Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. Field Crops Research. 159, 62-69.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74, 3583–3597.

Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Reddy, V.R., 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. European Journal of Agronomy. 22, 391-403.

Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M. I., Qing, M., Azmat, M., Cai, H., Siddique, K.H.M., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. Agricultural Water Management. 243, 106483.