

Evaluation of Yield and Agronomic Traits of Forage Sorghum Cultivars and Advanced Lines under Salinity Stress in the Sistan Region

A. Ghasemi^{1*}, M. R. Narouierad¹, M. Mohamadghasemi¹, H. Siasar²

- 1- Department of Agronomy and Horticulture Research, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran
- 2- Irrigation Department at the Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran

Introduction

Biotic and abiotic stresses are among the most significant factors reducing productivity in arid and semi-arid regions, where water is the primary limiting factor for plant growth. Sorghum possesses several advantageous physiological characteristics—including drought and salinity tolerance, higher water-use efficiency compared to other forage crops, relatively high yield, desirable forage quality, and suitability for storage as both dry fodder and silage—which make it particularly valuable in these environments. Strategies to utilize saline water effectively include selecting salt-tolerant cultivars, applying saline water during growth stages of lower sensitivity, and blending saline and non-saline water to reduce overall salinity. Although sorghum exhibits relative tolerance to soil and irrigation-water salinity, leaf-area expansion, carbon assimilation, stem elongation, and dry-matter accumulation are significantly constrained under high salinity.

Materials and Methods

This experiment was conducted over two growing seasons (2019–2020 and 2020–2021) at the Zahak Agricultural Research Station (Sistan, Iran), using a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. Main-plot treatments were three irrigation-water salinity levels: non-saline (2–3 dS m⁻¹, control), moderate (4–6 dS m⁻¹), and severe (6–8 dS m⁻¹). Sub-plot treatments comprised six promising forage sorghum genotypes (Pegah, Mansour, Speedfeed, KFS15, KFS16, and KFS17). Based on soil test recommendations, ammonium phosphate (250 kg ha⁻¹) and urea (100 kg ha⁻¹) were applied at planting; an additional 100 kg ha⁻¹ urea was top-dressed when plants reached 35–40 cm in height. Sowing occurred on 15 March each year. Each sub-plot consisted of six 5-meter-long rows with 50 cm spacing between rows and 6 cm spacing between plants. At the panicle emergence stage, after removing the two border rows and 0.5 m from both ends of each plot, samples were harvested from an area of approximately 8 m². Recorded traits included days to flowering, plant height, tiller number, stem diameter, leaf number, leaf area, fresh and dry forage yields.

Results and Discussion

The combined analysis of variance revealed that plant height, stem diameter, tiller number, leaf number, leaf area, protein content, fresh forage yield, and dry forage yield were significantly affected ($p \leq 0.01$) by salinity, genotype, and their interaction. Under non-saline conditions (2–3 dS m⁻¹), ‘Mansour’ produced the highest fresh forage yield (146.94 t ha⁻¹), leaf area (261 cm²), and protein content (15.03%). The Speedfeed cultivar under normal irrigation ranked second with a protein content of 14.75%, following Mansour. The lowest protein content was observed in lines KFS17 and KFS16, with means of 11.70% and 11.85%, respectively, under high-salinity irrigation. Protein content declined in all genotypes with increasing salinity; ‘Mansour’ exhibited the greatest reduction (23.7%). Under severe salinity (6–8 dS m⁻¹), ‘Pegah’ maintained superior plant height, stem diameter, tiller and leaf numbers, and achieved higher fresh forage yield (72.01 t ha⁻¹) and dry forage yield (21.30 t ha⁻¹) yields than the other entries. Fresh forage yields decreased significantly across all genotypes as salinity rose ($p \leq 0.01$); the lowest fresh yield (38.96 t ha⁻¹) was recorded in KFS15 under severe salinity. The highest dry forage yields under non-saline irrigation were obtained by ‘Mansour’ (38.71 t ha⁻¹) and KFS17 (38.40 t ha⁻¹), whereas the lowest dry forage yield (22.33 t ha⁻¹) occurred in KFS16 at 6–8 dS m⁻¹.

Conclusion

The study demonstrated significant genotypic differences in forage sorghum's response to irrigation-water salinity. While all measured traits declined as salinity increased, 'Mansour' excelled under non-saline conditions, and 'Pegah' showed superior tolerance under moderate to high salinity, maintaining higher biomass and protein levels. These results suggest that selecting genotypes based on their salinity-response profiles can optimize forage yield and quality in salt-affected environments. Given the escalating salinity of irrigation water in the Sistan region, the cultivation of 'Pegah' offers a practical and resilient strategy to sustain forage production and support local livestock systems.

Keywords: Fresh forage, Dry forage, Plant height, Leaf number, Protein content

ارزیابی عملکرد و خصوصیات زراعی ارقام و لاین‌های پیشرفته سورگوم علوفه‌ای

تحت تنش شوری در منطقه سیستان

احمد قاسمی^۱، محمدرضا نارویی راد^۱، محمود محمدقاسمی^۱ و هادی سیاسر^۲

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

۲- گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: ghasemiahmad@yahoo.com

چکیده

با توجه به توقف ورود آب به رودخانه هیرمند و افزایش شوری آب چاه‌های سطحی در منطقه سیستان، نیاز به گزینش و کشت ژنوتیپ‌های متحمل به شوری ضرورت دارد. به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر عملکرد و صفات ریخت‌شناسی ارقام و لاین‌های جدید سورگوم علوفه‌ای، آزمایشی به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک انجام شد. در این آزمایش، شوری آب آبیاری در سه سطح (شامل شاهد و شوری متوسط و شدید به‌ترتیب با هدایت‌های الکتریکی ۳-۲، ۴-۶ و ۸-۶ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان عامل اصلی و شش ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای (ارقام پگاه، اسپیدفید و منصور و لاین‌های KFS15، KFS16 و KFS17) به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. اثر برهمکنش شوری و ژنوتیپ بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بیشترین درصد پروتئین به‌ترتیب در رقم منصور و اسپیدفید و آبیاری غیر شور با میانگین ۱۵/۰۳ و ۱۴/۷۵ درصد به دست آمد. بیشترین عملکرد علوفه‌تر و خشک (به‌ترتیب ۱۴۶/۹۴۳ و ۳۸/۷۱۴ تن در هکتار) در شرایط آبیاری غیرشور و رقم منصور حاصل شد. در سطح شوری شدید رقم پگاه با عملکرد علوفه‌تر و خشک به‌ترتیب ۷۲/۰۱۰ و ۲۱/۲۹۷ تن در هکتار نسبت به بقیه ارقام و لاین‌ها برتری داشت. با توجه به نتایج، در شرایط آبیاری غیر شور، رقم منصور و در شرایط آبیاری با آب شور رقم پگاه به عنوان ارقام علوفه‌ای مناسب برای منطقه سیستان قابل‌توصیه هستند.

واژگان کلیدی: علوفه‌تر، علوفه خشک، ارتفاع بوته، تعداد برگ، محتوی پروتئین

مقدمه

تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید در نواحی خشک و نیمه خشک به شمار می‌آیند، به طوری که در این مناطق، آب مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاهان می‌باشد (Seif et al., 2019). سورگوم گیاهی یک‌ساله، چهار کربنه و از تیره غلات است که از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید پس از گندم، برنج، ذرت و جو رتبه پنجم را در جهان دارا می‌باشد (Khodbandeh, 2019). سورگوم با

توجه به سیستم فتوسنتزی، نحوه فعالیت روزنه‌ها و سیستم ریشه‌ای خاصی که دارد، قادر است آب را بهتر از سایر گیاهان زراعی جذب نماید و تلفات آب را کاهش دهد (Pourazizi & Fallah, 2010). سطح زیر کشت این گیاه در دنیا در حدود ۴۱ میلیون هکتار بوده (Nurouzi, et al., 2022) و حدود ۹۰ درصد آن به سورگوم دانه‌ای اختصاص دارد بنابراین این گیاه در دنیا به عنوان یک غله مطرح است، ولی با توجه به کمبود علوفه در ایران، نوع علوفه‌ای آن اولویت دارد و سطح زیر کشت آن در ایران ۱۴ هزار هکتار است (Ahmadi et al., 2020). سورگوم به دلیل خصوصیات فیزیولوژیکی از جمله مقاومت به خشکی، شوری، کارایی مصرف آب بالاتر از سایر گیاهان علوفه‌ای، عملکرد نسبتاً زیاد، کیفیت مطلوب و قابلیت نگهداری آن به صورت علوفه خشک و سیلو شده، سبب گردیده تا در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت خاصی برخوردار باشد (Zerbini & Thomas, 2003). سورگوم گیاهی است که نقش اساسی در تأمین علوفه‌ای دام دارد و به علت سازگاری با شرایط نامساعد محیطی می‌تواند در برخی از مناطق کشور که با شوری و خشکی مواجه می‌باشد، تولید خوبی داشته باشد. این گیاه چشم‌انداز مناسبی برای تحت پوشش بردن اراضی شور با استفاده از ارقام متحمل نشان می‌دهد (Yarnia, 2007). با کاربرد منطقی از آب شور (۸-۴ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان یک منبع آب آبیاری ضمن افزایش تولیدات کشاورزی، می‌توان از رقابت موجود برای آب غیرشور کم کرد. بنابراین علیرغم اهمیت استفاده از منابع آب شور در کشاورزی، با توجه به آثار و تبعات منفی آب شور بر گیاه و خاک، اتخاذ شیوه‌های مدیریتی صحیح مصرف این منابع به منظور جلوگیری از کاهش معنی‌دار محصول به لحاظ کیفی و کمی ضروری می‌باشد (Piri, 2017). برخی راهکارهای استفاده از آب شور را انتخاب رقم‌های گیاهی متحمل به شوری، استفاده از آب شور در مراحل از رشد گیاه حساسیت کمتری به شوری از خود نشان می‌دهد، و اختلاط آب شور و غیر شور برای داشتن آب با درصد شوری کمتر اعلام کردند (Bharat & Minhas, 2005). سورگوم نسبت به شوری خاک و آب آبیاری (۴ دسی‌زیمنس بر متر)، به‌ویژه در موقع جوانه‌زنی نسبتاً متحمل است اما گسترش سطح برگ و جذب کربن، ارتفاع ساقه و تولید ماده خشک آن محدود می‌شود (Velikova et al., 2000). در ارزیابی نهایی لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای گزارش شد که لاین‌های KDFGS26 و KDFGS4 بالاترین عملکرد علوفه خشک (۲۶/۱۵ و ۲۶/۱۱ تن در هکتار) را داشتند (Khazaei, 2018). در خاک‌های شور، سدیم مانع از جذب عناصر ضروری پتاسیم، کلسیم و منیزیم شده و باعث بروز کمبود عناصر ضروری مورد نیاز متابولیسم گیاه می‌شود (Mansour et al., 2005). سورگوم علوفه‌ای در جهان به دو صورت لاین‌های خالص و ارقام هیبرید مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. خصوصیات مورفولوژیکی این گیاه سبب شده است که به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی می‌شود از لحاظ درجه‌بندی به تحمل شوری نیز به عنوان یک گیاه نیمه متحمل شناخته شده است (Sharifan & Kazemihasanvand, 2015). نتایج پژوهشی نشان داد که تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های رویشی در گیاه سورگوم شد (Lacerda et al., 2003). در مطالعه‌ای بیان شد که می‌توان ۲۵ درصد مصرف آب گیاه سورگوم را کاهش داد و با ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر آبیاری انجام داد بدون آن که تأثیر معنی‌داری در میزان علوفه تولید شده داشته باشد (Piri, 2017). در بررسی تأثیر آبیاری سورگوم با آب شور گزارش شد که ارقام IPA-2502 و IPA-1011 دارای بالاترین عملکرد دانه در شوری $EC = 6 \text{ dS m}^{-1}$ بودند و ارقام IPA-۲۵۶۴، 2600-IPA و Qualimax حساس‌ترین ارقام به شوری بودند و با ۵۰ درصد کاهش عملکرد مواجه شدند (Miguel et al., 2019). محققان دیگر تأثیر شوری را روی سورگوم در مرحله جوانه‌زنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد سورگوم رقم KFS2 با بالاترین مقدار جوانه زنی در شرایط شور به عنوان رقم سورگوم متحمل به شوری معرفی

گردید (Tabatabaei & Anaghali, 2012). در بررسی استفاده تلفیقی از آب شور و غیر شور در کشت سورگوم و آفتابگردان گزارش شد که تیمار کاربرد یک سوم آب شور در هر دو کشت پس از تیمار شاهد کمترین میزان هدایت الکتریکی عصارة اشباع را نسبت به سایر تیمارها داشت (Ghaedi et al., 2015).

در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف آبیاری و سطوح مختلف شوری بیان شد که بین تیمار شاهد با تیمارهای شوری اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (Sharifan & Kazemihasanvand, 2015). پژوهشگران در بررسی ارقام و لاین‌های سورگوم علوفه‌ای گزارش دادند که لاین‌های KFS9, KFS4, KFS10, KFS11 دارای عملکردهای مناسب در شرایط شور و شاخص تحمل به شوری مناسب بودند (Tabatabaei et al., 2010). در مطالعه‌ای بیان شد تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های ارتفاع بوته و سطح برگ شد. بیشترین وزن خشک علوفه در تمام سطوح شوری متعلق به رقم پگاه بود (Alinia & Kazemini, 2017). در بررسی ارقام سورگوم بومی عربستان (Baish, Jazan, 17.388086, 42, 524070) در شرایط آبیاری با آب شور دریا عنوان شد که ارقام دارای بذره‌های مخلوط رنگ سفید و قرمز به شوری آب تحمل خوبی داشتند و از نظر رشد ریشه و ساقه وضعیت خوبی داشتند ولی ارقام با رنگ بذر سفید حساس به شوری بودند (Sameeraamar, 2014). با توجه به سازگاری سورگوم به شرایط نامساعد محیطی از جمله فقر خاک و تنش‌های خشکی و شوری که از خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله منطقه سیستان می‌باشد، این گیاه می‌تواند از مهم‌ترین محصولات این منطقه برای تغذیه دام خصوصا گاو اصیل سیستانی باشد. از آنجاکه نیاز مبرمی برای تهیه ارقام مناسب و سازگار به مناطق جغرافیایی مختلف و اهداف خاص در کشور وجود دارد، برآورد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ضروری است. ارقام با سازگاری وسیع در بیشتر محیط‌ها عملکرد پایدار دارند (Lin & Binns, 1991). با قطع شدن آب ورودی رودخانه هیرمند و شور شدن آب چاه‌های سطحی در منطقه سیستان، لازم است کشاورزان از ارقام سورگوم علوفه‌ای متحمل به شوری کشت کنند.

بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد و برخی صفات زراعی ارقام و لاین‌های جدید و پر محصول سورگوم علوفه‌ای در شرایط آبیاری با آب شور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۴۸۳ متر، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی است. میانگین بارندگی سالانه ۵۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه ۵۰۰۰ میلی‌متر است. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری آب آبیاری به عنوان فاکتور اصلی (آب شور با هدایت الکتریکی ۴-۶ و ۸-۶ دسی‌زیمنس بر متر، آب غیرشور با هدایت الکتریکی ۳-۲ دسی‌زیمنس بر متر (شاهد) و شش رقم و لاین امیدبخش سورگوم علوفه‌ای شامل KFS17, KFS15, KFS16، پگاه، منصور و اسپیدفید به عنوان فاکتور فرعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. تهیه آب با EC های مختلف توسط چاه‌های سطحی داخل ایستگاه و چاه‌های سطحی کشاورزان همجوار ایستگاه که آب چاه آنها شور می‌باشد صورت گرفت. تنش شوری براساس تیمارهای مربوطه در مخازن جداگانه تهیه و به صورت کنترل شده وارد کرت‌ها شد که تا انتهای فصل رشد ادامه داشت. ابتدا یک سوم استخر با آب غیر شور آب پر شد و پس از آن آب شور تانکر کم کم به استخر اضافه شده و

خوب به هم زده می‌شد و به وسیله EC سنج پرتابل اندازه‌گیری می‌گردید. وقتی به EC مدنظر می‌رسید توسط لوله‌های پلی اتیلن به کرت‌ها انتقال داده می‌شد. آب‌گیری از لوله اصلی توسط لوله با قطر ۷۵ میلی متری انجام شد و سپس به لوله‌های ۶۳ میلی متری منشعب شد. هر لوله ۶۳ میلی متری آب مورد نیاز کرت‌ها را تأمین می‌کرد. ابتدای هر لوله ۶۳ میلی متری یک عدد کنتور حجمی و یک شیر فلکه جهت کنترل و اندازه‌گیری حجم آب آبیاری نصب شد. دور آبیاری برای تیمار غیر شور هر ۱۰ روز یک‌بار و برای تیمار شوری با هدایت الکتریکی ۴-۶ دسی‌زیمنس بر متر هر هشت روز و برای تیمار شوری ۸-۶ دسی‌زیمنس بر متر هر شش روز آبیاری صورت گرفت. آبیاری به صورت کرتی انجام شد. دو آبیاری اول جهت استقرار بوته‌ها با آبیاری غیر شور به فاصله پنج روز یکبار انجام شد و پس از آن آبیاری با تیمارهای شوری مورد نظر اعمال شد. تا مرحله سه تا پنج برگی که بوته‌ها استقرار آب شور به دلیل داشتن نمک زیاد، می‌تواند به گیاه آسیب برساند نمک‌ها می‌توانند جذب آب توسط ریشه را دشوار کنند. برای کاهش اثرات مخرب شوری دور آبیاری باید کوتاه‌تر باشد تا غلظت نمک در ناحیه ریشه کاهش یابد. دور آبیاری غیر شور در منطقه هر ۱۰ روز یکبار می‌باشد برای کاهش اثرات شوری با افزایش غلظت شوری دور آبیاری دو روز کاهش داده شد. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتر انجام شد و برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، دیسک و تسطیح بود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of soil at the experimental site

سال	بافت	هدایت الکتریکی	ظرفیت مزرعه‌ای	نقطه پژمردگی دائم	فسفر	پتاسیم	روی	مس	آهن	کربن آلی	
Year	Texture	pH	EC	Field capacity	Wilting point	P	K	Zn	Cu	Fe	Organic carbon
			(dS.m ⁻¹)		(%)	-----mg.kg ⁻¹ -----					(%)
2021	لومی - شنی Sandy- loam	8.2	3.1	13.2	5.2	11.6	103	0.28	0.57	2.80	0.33
2022	لومی - شنی Sandy- loam	8.2	3.2	12.9	5.6	11.3	105	0.23	0.52	2.52	0.35

بر اساس آزمون خاک کود فسفات آمونیوم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و زمانی که ارتفاع بوته‌ها به ۴۰-۳۵ سانتی‌متر رسید، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار دیگر کود اوره توزیع شد. بعد از هر چین‌برداری ۷۵ کیلوگرم در هکتار و در ارتفاع ۴۰ سانتیمتری نیز ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره به گیاه داده شد. تاریخ کاشت در ۱۵ اسفند ماه هر سال صورت گرفت. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۵ متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۶ سانتی‌متر بود. فاصله کرت‌های اصلی از همدیگر دو متر و فاصله کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بلوک‌ها از همدیگر دو متر در نظر گرفته شد. عمق کاشت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای رقم اسپیدفید در مرحله ظهور گل‌آذین و برای ارقام آزاد‌گرده افشان در ارتفاع دو متر پس از حذف دو ردیف از طرفین هر کرت و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها از سطحی در حدود ۸ مترمربع برداشت و صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه، قطر ساقه، تعداد برگ، مساحت برگ، عملکرد علوفه‌تر و خشک اندازه‌گیری شد. یادداشت‌برداری‌ها برای هر کدام از صفات به صورت تصادفی بر روی ۱۰ بوته در هر کرت انجام شد. جهت محاسبه مساحت برگ، طول و پهنای سه برگ انتهایی در عریض‌ترین قسمت برگ در ساقه اصلی به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری و بعد از ضرب کردن طول در عرض در عدد ثابت ۰/۷۵ مساحت برگ بر حسب سانتی‌متر مربع و میانگین سه برگ گزارش گردید (Rashedmohassel et al., 1997). محتوی پروتئین خام از طریق اندازه‌گیری نیتروژن کل تعیین شد (Kjeldahl, 1883).

بدین منظور ابتدا مقدار نیتروژن کل موجود در ماده خشک علوفه بر اساس روش کج‌دال اندازه‌گیری شد و برای تعیین محتوی پروتئین خام، محتوی نیتروژن کل علوفه در عدد $6/25$ ضرب شد. برای تعیین عملکرد علوفه‌تر کل سطح برداشت و عملکرد علوفه در واحد سطح و هکتار مشخص شد. در هر سال دو بار چین‌برداری انجام شد. جهت تعیین قطر ساقه گره دوم از پایین بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک، میزان 2 کیلوگرم از نمونه‌های برداشت شده در هر کرت به مدت 48 ساعت در آون با دمای 75 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و وزن خشک اندام هوایی با توزین آن توسط ترازوی دیجیتالی تا دو رقم اعشار به‌دست آمد. محاسبات آماری مورد نیاز با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام و برای آزمون مقایسه میانگین از روش دانکن استفاده شد. همچنین پس از انجام آزمون بارتلت (غیر معنی‌دار) و اثبات یکنواختی واریانس‌ها تجزیه مرکب برای دو سال با فرض تصادفی بودن عامل سال انجام شد.

نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر عامل شوری، رقم و برهمکنش آنها قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها به روش چند دامنه‌ای دانکن انجام شد تا بتوان ارقام و لاین‌هایی را که برتری نسبی در این شرایط نسبت به بقیه ارقام دارند را مشخص نمود. نتایج برهمکنش شوری و رقم نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته در شرایط آبیاری غیر شور با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و رقم اسپیدفید با میانگین $239/33$ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته در شوری ۸ دسی‌زیمنس و لاین KFS16 با میانگین $134/16$ سانتی‌متر حاصل شد (شکل ۱ الف)). در شرایط شوری ۶-۴ دسی‌زیمنس بر متر رقم اسپیدفید با میانگین $208/33$ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع و لاین KFS16 با میانگین $134/16$ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به دست آورد. با افزایش شوری آب آبیاری از شرایط غیر شور به سمت آبیاری با شوری بیشتر ارتفاع بوته کاهش محسوسی پیدا کرد. به‌طوری‌که رقم اسپیدفید در شرایط شور نسبت به شرایط مطلوب ۵۱ درصد کاهش ارتفاع نشان داد. در آبیاری شور رقم پگاه با میانگین $164/33$ سانتی‌متر نسبت به بقیه ارقام و لاین‌ها برتری نشان داد (شکل ۱ الف)). ارتفاع بوته از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه‌ای همواره مورد توجه بوده است. افزایش ارتفاع به عنوان صفتی در ارتباط با عملکرد علوفه می‌تواند محققان را در تولید گیاهان علوفه‌ای در جهت افزایش میزان علوفه تولیدی کمک کند (Soleimani, 2008). کاهش ارتفاع بوته می‌تواند نتیجه کاهش رشد سلول در اثر شوری و کاهش تخصیص اسیمیلات به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده به منظور رشد باشد (Lacerda et al., 2003). از دیگر دلایل کاهش رشد گیاه می‌توان به غلظت بالاتر سدیم و کلرید در محلول خاک و جذب بیشتر آن اشاره کرد که نه تنها باعث اختلال در جذب سایر عناصر می‌شود بلکه منجر به تنش اسمزی، اختلال در تعادل یونی و در نتیجه کاهش شاخص‌های رشدی گیاه از قبیل ارتفاع، وزن تر و خشک می‌شود (Bybordi, 2012). رشد طولی ساقه نتیجه فعالیت مریستم میان بافتی گره‌ها است و طول میانگره‌ها به علت افزایش تعداد سلول‌ها و عمدتاً افزایش اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد که در اثر شوری تعداد و طول میانگره کاهش و در نهایت ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد (Hay & Walker, 1998). در مطالعه سه رقم سورگوم با افزایش میزان شوری ارتفاع بوته به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشینه ارتفاع سورگوم در آبیاری غیر شور و رقم اسپیدفید قرمز و کمینه ارتفاع بوته در سطح شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (Alinia & Kazemini, 2017).

قطر ساقه:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری، رقم و برهمکنش شوری و رقم بر قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری غیر شور بالاترین قطر ساقه در رقم منصور با میانگین $2/66$ سانتی متر تولید شد. طبیعی است که رقم منصور از ارقام اصلاح شده جدید می‌باشد که در سال‌های اخیر در برنامه اصلاحی قرار داشته و از بین سایر لاین‌ها صفات مطلوب بیشتری از جمله قطر ساقه را داشته است که انتخاب گردیده است. پس از آن رقم اسپیدفید با میانگین $2/30$ سانتی‌متر در رتبه دوم قرار گرفت. رقم اسپیدفید چون از ارقام هیبرید می‌باشد در شرایط آبیاری مناسب می‌تواند عملکرد مطلوب تولید کند (Ataie et al., 2024). در شرایط آبیاری با شوری متوسط رقم منصور با تولید قطر ساقه $2/1$ و پس از آن رقم اسپیدفید با میانگین تولید 2 سانتی متر از بقیه ارقام و لاین‌ها برتری نشان دادند. در آبیاری با شوری زیاد رقم پگاه با میانگین قطر ساقه $1/35$ سانتی‌متر در اولویت قرار گرفت. رقم منصور در شرایط شوری زیاد بیش از 120 درصد نسبت به شرایط آبیاری غیر شور کاهش عملکرد نشان داد (شکل ۱ ب)). افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش عملکرد علوفه‌تر و خشک و کلیه صفات مورفولوژیکی سورگوم از جمله قطر ساقه گردید (Nurouzi & Ghajarsepanlou, 2022). ارتفاع و قطر ساقه بیانگر رشد رویشی هستند. هرچقدر شرایط محیطی مناسب‌تر باشد، رشد گیاه تا حد امکان افزایش می‌یابد. یکی از اثرات مهم تنش شوری بر گیاهان، کاهش رشد رویشی به ویژه کاهش ارتفاع و قطر ساقه گیاه است (Morales et al., 1993). تنش شوری باعث کاهش پتانسیل آب در فضای بین سلولی می‌گردد، دسترسی سلول‌های گیاهی به ویژه سلول‌های مریستمی نوک ساقه به آب کم می‌گردد و در نتیجه تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول کاهش می‌یابد و باعث کاهش ارتفاع و قطر ساقه گیاه می‌گردد (Miyatoo et al., 1996).

تعداد پنجه در بوته:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری، رقم و برهمکنش شوری در رقم بر تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). از نظر تعداد پنجه در بوته در شرایط آبیاری غیر شور رقم منصور بیشترین تعداد پنجه با میانگین $6/5$ عدد را به خود اختصاص داد. در این شرایط پس از رقم منظور رقم اسپیدفید با میانگین $5/66$ عدد در رتبه دوم قرار گرفت (شکل ۱ ت)). در شوری متوسط $4-6$ دسی‌زیمنس بر متر رقم اسپیدفید با میانگین تولید پنج پنجه نسبت به سایر ارقام و لاین‌ها در رتبه بالاتری قرار گرفت. رقم منصور با تولید $4/5$ عدد پنجه پس از اسپیدفید در رتبه بعدی قرار گرفت. در شرایط شوری زیاد $8-6$ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین تعداد پنجه به رقم پگاه با میانگین تولید $3/3$ عدد تعلق گرفت. در این شرایط رقم منصور و اسپیدفید بعد از پگاه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. میزان اختلاف تعداد پنجه در رقم منصور در شرایط آبیاری غیر شور نسبت به شوری زیاد آب آبیاری $4/17$ عدد پنجه می‌باشد. کمترین کاهش تعداد پنجه $20/12$ درصد در رقم پگاه ملاحظه گردید که تغییرات زیادی نسبت به آبیاری غیر شور نداشت (شکل ۱ ت)).

تعداد برگ در بوته:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری، رقم و برهمکنش شوری و رقم بر تعداد برگ در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برهمکنش شوری و رقم نشان داد که بیشترین تعداد برگ در بوته در آبیاری غیر شور و رقم اسپیدفید با میانگین $12/83$ عدد بود. بعد از این تیمار بیشترین تعداد برگ در بوته در رقم منصور و آبیاری غیر شور با میانگین $12/23$ عدد

وجود داشت (شکل ۱ پ)). در شوری متوسط ۴-۶ دسی زیمنس بر متر ارقام اسپیدفید و منصور به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۶۶ و ۱۱/۳۳ عدد برگ نسبت به بقیه ارقام ولاین‌ها از تعداد برگ در بوته بیشتری برخوردار بودند. میزان کاهش تعداد برگ در بوته در شرایط آبیاری غیر شور نسبت به شوری متوسط ۱۰/۰۳ درصد در رقم اسپیدفید می باشد. در شرایط آبیاری شور ۸-۶ دسی زیمنس بر متر رقم پگاه با تعداد برگ ۱۰/۸۳ عدد نسبت به بقیه ارقام و ولاین‌ها بیشترین تعداد برگ در بوته را تولید کرد. بعد از رقم پگاه در این شرایط رقم اسپیدفید با میانگین تعداد برگ در بوته ۱۰/۳۳ عدد نسبت به رقم پگاه در رتبه بعدی قرار گرفت. میزان کاهش تعداد برگ در بوته در آبیاری غیر شور نسبت به آبیاری شور در ارقام اسپیدفید و پگاه به ترتیب ۲۳/۹۱ و ۳/۰۴ درصد بود. پیداست که رقم سورگوم پگاه در شرایط شور تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهد و تعداد برگ در بوته که جزء اندام‌های فتوسنتزی می باشد را کمتر از دست می‌دهد (شکل ۱ پ)). روند تغییرات تعداد و سطح برگ سورگوم، حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف نمک بود و بیشترین تعداد و سطح برگ در

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی ارقام و لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای تحت سه سطح تنش شوری

Table 2- Combined analysis of variance of agronomic traits of promising forage sorghum cultivars and lines under three salinity levels

منابع تغییر SOV	درجه آزادی d.f	درصد پروتئین Protein percentage	قطر ساقه Stem diameter	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	ارتفاع بوته Plant height	مساحت برگ Leaf area	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield
سال Year	1	0.018 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.750 ^{ns}	0.454 ^{ns}	73.343 ^{ns}	41.56 ^{ns}	29067118.89 ^{ns}	3924301.56 ^{ns}
خطا Error	4	0.059	0.029	0.278	0.880	50.870	97.75	12791205.64	3140291.56
شوری Salinity	2	55.743 ^{**}	6.814 ^{**}	49.750 ^{**}	33.083 ^{**}	29968.23 ^{**}	10061.731 ^{**}	49952166156.19 ^{**}	3073475208.06 ^{**}
سال×شوری Year× Salinity	2	0.008 ^{ns}	0.123 ^{ns}	0.694 ^{ns}	0.843 ^{ns}	0.898 ^{ns}	25.17 ^{ns}	11583958.17 ^{ns}	10693126.28 ^{**}
خطا Error	8	0.030	0.031	0.417	0.657	29.676	15.537	4078109.99	568877.95
رقم Variety	5	2.615 ^{**}	1.392 ^{**}	13.461 ^{**}	12.306 ^{**}	5911.187 ^{**}	4402.29 ^{**}	7924113403.27 ^{**}	78792660.54 ^{**}
سال×رقم Year× Variety	5	0.011 ^{ns}	0.084 ^{ns}	0.217 ^{ns}	0.676 ^{ns}	2.165 ^{ns}	10.387 ^{ns}	4426035.32	8403780.05 ^{**}
شوری×رقم Salinity × Variety	10	0.343 ^{**}	0.320 ^{**}	0.761 ^{**}	1.306 ^{**}	676.50 ^{**}	311.676 ^{**}	902122878.47 ^{**}	18404331.46 ^{**}
سال×شوری×رقم Year× Variety× Salinity	10	0.012	0.046 ^{ns}	0.128 ^{ns}	0.265 ^{ns}	13.087 ^{ns}	3.431 ^{ns}	2515585.79 ^{ns}	7206598.84 ^{**}
خطا Error	60	0.028	0.029	0.359	0.487	21.863	8.244	3171376.05	1103527.60
ضریب تغییرات (C.V) (%)	-	3.27 [^]	10.67	17.26	6.63	2.59	1.27	1.39	4.23

*, **, ns: significant at 5%, 1% and non-significant, respectively *، ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی ارقام و لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در شرایط شوری

Table 3- Mean comparison of agronomic traits of forage sorghum cultivars and lines under saline conditions

		قطر ساقه	تعداد	تعداد برگ در	ارتفاع بوته	محتوی	مساحت برگ	علوفه تر	علوفه
تیمار		Stem	پنجه در	بوته	Plant height	پروتئین	Leaf area	Fresh	خشک تر
Treatment		diameter	بوته	of leaves	(cm)	Protein	(cm ²)	frage	Dry
		(cm)	tillers	per plant		content		yield (t	frage
			per			(%)		ha ⁻¹)	yield (t
			plant						ha ⁻¹)
سال	First year	1.61a	3.38a	10.46a	181.33a	13.23a	224.981a	91.941a	24.634b
	Second year	1.58a	3.55a	10.59a	179.68a	13.21a	226.22a	92.979a	25.015a
شوری	2-3 dS m ⁻¹	2.04a	4.55a	11.50a	208.22a	14.43a	239.22a	121.747	32.014a
	4-6 dS m ⁻¹	1.58b	3.63b	10.50b	182.66b	13.29b	230.63b	105.099b	28.057b
	6-8 dS m ⁻¹	1.17c	2.22c	9.58c	150.63c	11.95c	206.94c	50.535c	14.403c
رقم	KFS15	1.37d	2.55c	9.77d	164.33d	12.73e	208.83d	67.084c	18.739d
	Mansour	1.98a	4.44a	11.11b	190.61b	13.71a	237.66a	107.539a	28.910ab
	Speedfeed	1.83b	4.33a	11.61a	201.88a	13.32c	240.22a	108.765a	29.246a
	Pegah	1.59c	3.66b	1.88b	188.05bc	13.58b	234.33b	107.862a	28.433b
	KFS17	1.56c	3.44b	1.33c	184.94c	12.95d	229.16c	99.041b	27.118c
	KFS16	1.23e	2.38c	9.44d	153.22e	13.03d	203.38e	64.471d	16.504e

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده‌ی عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

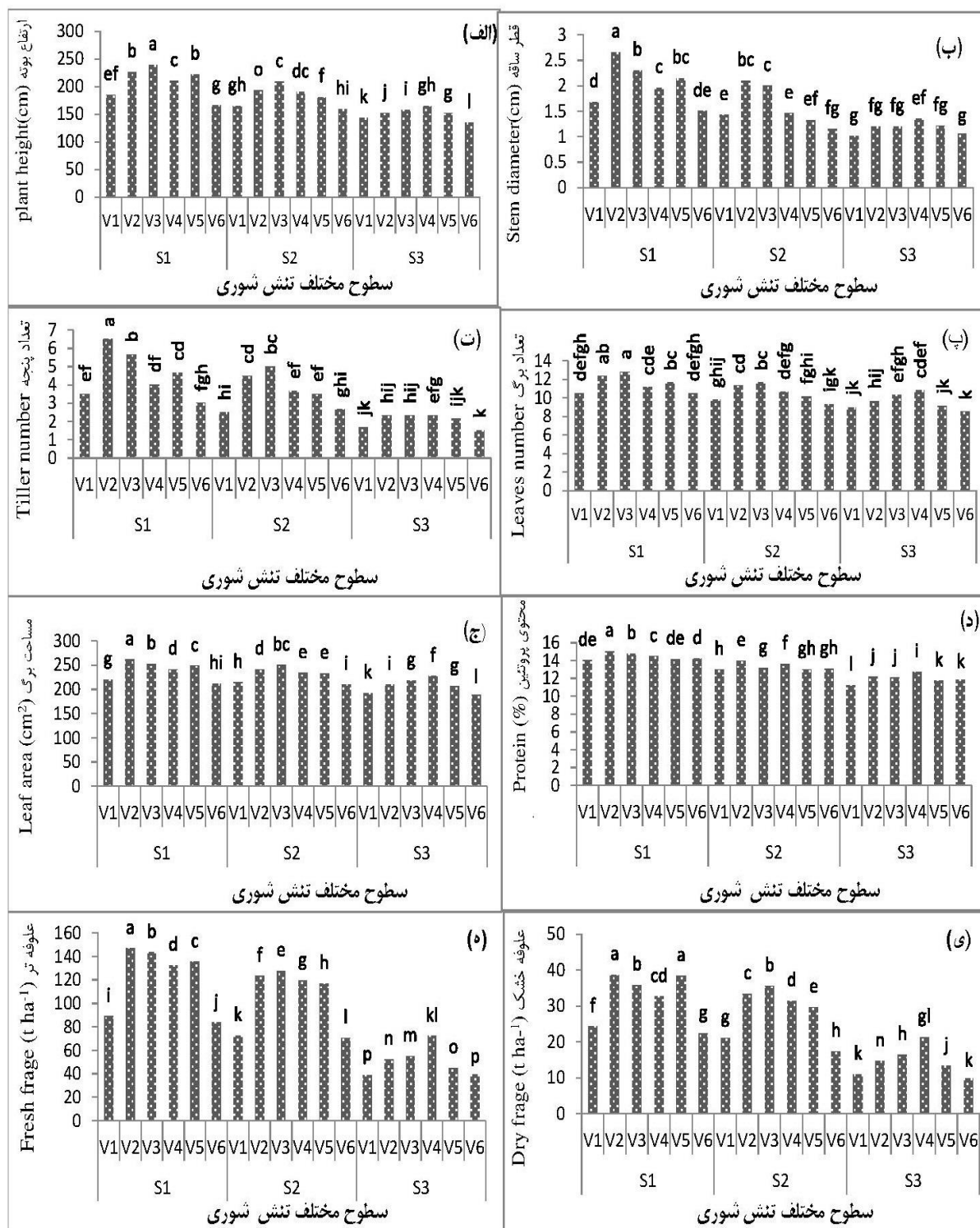
Similar letters in each column indicate the absence of significant differences.

تیما شاهد (آبیاری غیر شور) و کمترین آن در تیما تنش شدید شوری مشاهده گردید (Shamsadinsaedi & Farahbakhsh, 2009).
 بعلاوه از آنجا که شوری موجب اختلال در جذب عناصر غذایی و برهم زدن تعادل یونی در گیاه می‌شود (Mirmohamadimeybodi, & Ghareyazi, 2002) می‌توان کاهش رشد و توسعه برگ‌ها و ساقه را به کمبود عناصر غذایی و اختلالات تغذیه‌ای ناشی از شوری نسبت داد. یکی دیگر از اثرات مهم افزایش شوری تسریع در پیری برگ می‌باشد و فاکتور اصلی که باعث پیری برگ می‌شود کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش شوری است (Shamsadinsaedi & Farahbakhsh, 2009).

مساحت برگ:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری و رقم بر مساحت سطح برگ در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری غیر شور بیشترین مساحت سطح برگ به رقم منصور با میانگین ۲۶۱/۳۳ سانتی‌متر مربع تعلق

گرفت.



شکل ۱. برهمکنش اثر شوری و رقم بر ارتفاع بوته (الف)، قطر ساقه (ب)، تعداد پنجه (ت)، تعداد برگ (پ)، مساحت سطح برگ (ج)، درصد پروتئین (د)، عملکرد علوفه تر (ه) و عملکرد علوفه خشک (ی)؛ V1: KFS15، منصور، V2: KFS17، V3: اسپیدفید، V4: پگاه، V5: KFS16، V6: S1: غلظت شوری آب آبیاری 2-3 ds m⁻¹، S2: غلظت شوری آب آبیاری 4-6 ds m⁻¹ و S3: غلظت شوری آب آبیاری 6-8 ds m⁻¹.

Figure 1. Interaction effects of salinity and cultivar on: plant height (a), stem diameter (b), tiller number (t), leaf number (p), leaf area (g), protein percentage (d), fresh forage yield (h), and dry forage yield (y). Cultivars: V1: KFS15, V2: Mansour, V3: Speedfeed, V4: Pegah, V5: KFS17, V6: KFS16. Salinity levels: S1: 2-3 dS/m, S2: 4-6 dS/m, S3: 6-8 dS/m irrigation water salinity.

بعد از رقم منصور رقم اسپیدفید با میانگین سطح برگ ۲۵۲/۶۶ سانتی متر در رتبه بعدی قرار گرفت. در شرایط شوری متوسط رقم اسپیدفید با میانگین سطح برگ ۲۴۹/۸۳ سانتی متر مربع بیشترین سطح فتوسنتز کننده را به خود اختصاص داد. در آبیاری با شوری زیاد رقم پگاه با میانگین ۲۲۷/۱۶ سانتی متر مربع در جایگاه نخست قرار گرفت. رقم اسپیدفید با میانگین سطح برگ ۲۱۸/۱۶ سانتی متر مربع در رتبه بعدی قرار گرفت. کمترین میزان مساحت سطح برگ در لاین KFS16 با میانگین ۱۸۷/۸۲ سانتی متر مربع تولید شد (شکل ۱ ج)). کاهش سطح برگ اولین واکنش گیاهان به تنش شوری می باشد و می تواند به علت کاهش پتانسیل آب و تورژسانس برگ همراه با پیری برگ ها و نکروزه شدن آنها در تنش شوری باشد. کاهش میزان فتوسنتز و محدود شدن گسترش سطح برگ با افزایش شوری در گیاه سورگوم گزارش شده است (Netondo *et al.*, 2004). در مطالعه ای گزارش شد که شوری آب آبیاری اثر معنی داری بر مساحت برگ، شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ داشته است. تیمار آبیاری غیر شور با بیشترین سطح برگ بالاترین وزن خشک برگ را به خود اختصاص داد. با اعمال شوری، از میزان سطح برگ و وزن خشک برگ در سطوح مختلف شوری کاسته شد (Nurouzi & Ghajarsepanlou, 2022). در خصوص کاهش مساحت سطح برگ می توان گفت که تنش شوری به علت به هم زدن تعادل هورمونی و کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه باعث کاهش وزن خشک و مساحت سطح برگ می گردد (Rana, 1988).

محتوی پروتئین خام علوفه

اثرات شوری آب آبیاری، رقم و اثرات متقابل شوری و رقم بر درصد پروتئین در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری و رقم نشان داد که بیشترین درصد پروتئین در رقم منصور و آبیاری غیر شور با میانگین ۱۵/۰۳ درصد به دست آمد (شکل ۱ د)). رقم اسپیدفید در آبیاری غیر شور با ۱۴/۷۵ درصد پروتئین بعد از رقم منصور قرار گرفت. کمترین درصد پروتئین در لاین های KFS16 و KFS17 به ترتیب با میانگین های ۱۱/۷۰ و ۱۱/۸۵ درصد در آبیاری با شوری زیاد به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری درصد پروتئین همه ارقام سورگوم علوفه ای کاهش و در سورگوم رقم منصور با افزایش شوری مقدار پروتئین ۲۳/۷۰ درصد کاهش یافت (شکل ۱ د)). در میان ارقام بررسی شده، رقم پگاه بیشترین درصد پروتئین را تحت شرایط آبیاری با شوری بالا داشت و میانگین آن ۱۲/۷۰ درصد ثبت شد. میزان کاهش درصد پروتئین در رقم پگاه در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور ۱۳/۸۵ درصد بود. این نتایج حاکی از آن است که رقم پگاه از مقاومت نسبی بالاتری در برابر تنش شوری برخوردار بوده و می تواند به عنوان گزینه ای مناسب برای کشت در اراضی با شوری بالا معرفی شود. در مطالعه ای دیگر غلظت شوری آب آبیاری با ۷ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش پروتئین در گیاه سورگوم گردید (Hedayati-Firoozabadi *et al.*, 2020). کاهش جذب عناصر معدنی در اثر شوری توسط گیاهان می تواند تأثیر مستقیمی بر میزان پروتئین علوفه داشته باشد. این موضوع به دلیل نقش عناصر غذایی در سنتز پروتئین های گیاهی رخ می دهد، به ویژه عناصر مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم که در تنظیم فرآیندهای متابولیکی و بیوشیمیایی گیاه نقش دارند (Blaise *et al.* 2005). کاهش محتوای پروتئین

در علوفه تحت تنش شوری را می‌توان به کاهش سنتز پروتئین و یا افزایش فرآیند پروتئولیز نسبت داد. این وضعیت همچنین ممکن است ناشی از کاهش دسترسی به اسیدهای آمینه و تغییر ساختاری (دنا تورا سیون) آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه باشد (Masters et al., 2010).

عملکرد علوفه تر (مجموع دو چین)

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری، رقم و برهمکنش شوری و رقم بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۲). نتایج بر همکنش شوری و رقم نشان داد که در هر شش رقم و لاین سورگوم با افزایش میزان شوری عملکرد علوفه‌تر به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشینه عملکرد علوفه‌تر سورگوم در رقم منصور با میانگین ۱۴۶/۹۴۳ تن در هکتار و در آبیاری غیر شور ۳-۲ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد و کمینه عملکرد علوفه‌تر ۳۸/۹۵۸ تن در هکتار در لاین KFS15 و در سطح شوری ۸-۶ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (شکل ۱ ه). در شوری متوسط رقم اسپیدفید با میانگین ۱۲۷/۷۵۲ تن در هکتار و پس از آن رقم منصور با میانگین ۱۲۳/۲۶۱ تن در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. در بیشترین سطح شوری اعمال شده رقم پگاه از برتری برخوردار بود و در مقایسه با ۵ رقم و لاین دیگر با میانگین ۷۲/۰۱۰ تن در هکتار بیشترین میزان تولید علوفه‌تر را به خود اختصاص داد. میزان کاهش عملکرد رقم منصور در آبیاری بسیار شور نسبت به آبیاری غیر شور ۳ ۹۴/۵۳ تن در هکتار می‌باشد ولی در سورگوم رقم پگاه این کاهش ۶۰/۳۸۲ تن در هکتار می‌باشد که نشان می‌دهد در شرایط شوری رقم پگاه از تحمل بالایی برخوردار است. میزان تولید علوفه در شرایط شور در لاین‌های KFS15 و KFS16 به ترتیب با میانگین‌های ۳۸/۹۵۸ و ۳۹/۶۳۸ تن در هکتار در کمترین مقدار قرار داشت (شکل ۱ ه). به طور کلی تجمع یون سدیم در شرایط تنش شوری از طریق تخریب غشاء سلولی موجب آسیب به سلول‌های گیاه می‌شود و کاهش عملکرد در گیاه را به دنبال خواهد داشت (Ashraf and Tufail, 1995). از دلایل دیگر کاهش عملکرد علوفه می‌توان به کاهش میزان رشد و کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه اشاره کرد که منجر به کاهش ماده خشک گیاه می‌شود. با کاهش سطح برگ قدرت گیاه برای تولید بیومس کم و در نهایت وزن علوفه کاهش می‌یابد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). محققان دیگر با مطالعه واکنش سویا به تنش شوری، عوامل مختلفی چون کاهش فتوسنتز، تخریب غشای سلولی، کاهش آب قابل دسترس گیاه و تجمع یون سدیم در برگ را از عوامل اصلی کاهش وزن بیان نمودند (Sharifi et al., 2007).

عملکرد علوفه خشک (مجموع دو چین):

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح شوری، رقم و برهمکنش شوری و رقم بر عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۲). نتایج بر همکنش شوری در رقم نشان داد که بیشترین میزان تولید عملکرد علوفه خشک در آبیاری غیر شور و رقم منصور و لاین KFS17 به ترتیب با میانگین‌های ۳۸/۷۱۴ و ۳۸/۳۹۷ تن در هکتار تولید شد. در این شرایط کمترین میزان تولید علوفه خشک در لاین KFS16 با میانگین ۲۲/۳۳۱ تن در هکتار به دست آمد. در شرایط شوری متوسط ۴-۶ دسی‌زیمنس بر متر رقم اسپیدفید با میانگین ۳۵/۴۹۰ تن در هکتار بیشترین میزان تولید علوفه خشک را تولید کرد. پس از رقم اسپیدفید، رقم منصور با میانگین ۳۳/۳۷۷ تن در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. در شرایط شوری زیاد ۸-۶ دسی‌زیمنس بر متر همه ارقام ولاین‌ها روند کاهشی در تولید علوفه خشک داشتند و در بین آنها بیشترین تولید علوفه خشک به رقم پگاه با میانگین ۲۱/۲۹۷ تن در هکتار تعلق

گرفت. بعد از رقم پگاه، رقم اسپدیفید با میانگین ۱۶/۴۱۰ تن در هکتار در رده بعدی قرار گرفت. کمترین میزان تولید علوفه در شرایط شوری زیاد به لاین KFS16 با میانگین ۹/۸۳۱ تن در هکتار تعلق گرفت (شکل ۱ ی). پژوهشگران دیگر گزارش کردند که با افزایش شوری وزن خشک اندام هوایی ارقام سورگوم اسپدیفید سفید، اسپدیفید قرمز و پگاه به طور معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۴۹/۲۳، ۶۴/۶۲ و ۳۸/۸۱ درصد کاهش نشان داد و کمترین میزان آن متعلق به رقم پگاه بود. ایشان دلیل وزن خشک بیشتر رقم پگاه را توانایی این رقم در جذب مقدار کمتر یون سدیم و در نتیجه نسبت کمتر سدیم به پتاسیم ریشه و اندام هوایی در مقایسه با دو رقم دیگر عنوان کردند (Alinia & Kazemini, 2017). در پژوهشی دیگر عنوان شد که در گیاه سورگوم برهم خوردن توازن یونی در اثر تنش شوری، کاهش جذب یون های ضروری، انباشتگی یون های مضر و کم آبی ناشی از کاهش جذب آب که با کاهش تولید پروتئین، تعرق، انتقال یون و در نهایت کاهش عملکرد ماده خشک همراه است (Krishnamurthy et al., 2007). دلیل دیگر کاهش وزن خشک کل گیاه می تواند ناشی از مصرف انرژی متابولیک مربوط به سازگاری در شرایط تنش، کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن، صدمه به بافت ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می کند (Taiz et al., 2015).

ضرایب همبستگی

بررسی ارتباط بین صفات مورد بررسی نشان داد که اکثر صفات همبستگی معنی داری با هم دارند (جدول ۴). عملکرد علوفه تر و خشک با ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد ساقه، تعداد برگ، مساحت برگ و درصد پروتئین همبستگی مثبت و معنی دار داشت. بالا بودن ضریب همبستگی عملکرد دانه با ارتفاع بوته نشان می دهد که گیاهان با ارتفاع بیشتر، زیست توده بیشتری تولید کرده و باعث افزایش عملکرد علوفه می شود (Sarvari & Beheshti, 2011). در مطالعه ای دیگر بیان شد که عملکرد سورگوم با ارتفاع بوته و مساحت برگ همبستگی مثبت نشان داد (Azerinasrabad et al., 2024). کاهش در ظرفیت فتوسنتزی به عنوان یک اصل در محدود شدن عملکرد است، بنابراین ظرفیت فتوسنتزی کمتر پوشش گیاهی منجر به کاهش عملکرد از طریق کاهش دوره رشد می شود (Kumudini et al., 2002). همبستگی مثبت و معنی داری بین درصد پروتئین و ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه، تعداد برگ و مساحت سطح برگ وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین خصوصیات زراعی ژنوتیپ های مختلف سورگوم علوفه ای

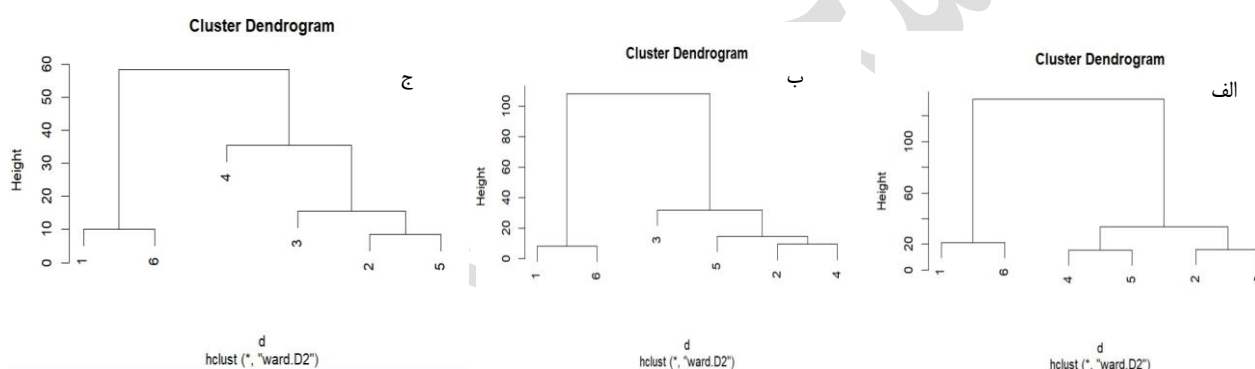
Table 4- Correlation coefficients between agronomic characteristics of different forage sorghum genotypes

	۱. ارتفاع بوته 1. Plant height	۲. قطر ساقه 2. Stem diameter	۳. تعداد پنجه در بوته 3. Number of tillers per plant	۴. تعداد برگ در بوته 4. Number of leaves per plant	۵. مساحت برگ 5. Leaf area	۶. محتوی پروتئین 6. Protein content	۷. علوفه تر 7. Fresh forage	۸. علوفه خشک 8. Dry forage
1	1							
2	0.86**	1						
3	0.88**	0.83**	1					
4	0.80**	0.77**	0.77**	1				
5	0.92**	0.83**	0.89**	0.81**	1			
6	0.85**	0.79**	0.78**	0.71**	0.78**	1		
7	0.95**	0.83**	0.87**	0.77**	0.94**	0.86**	1	
8	0.92**	0.83**	0.86**	0.77**	0.94**	0.83**	0.97**	1

*** و * نشان دهنده معنی دار در سطوح یک و پنج درصد احتمال می باشد.

***.and * indicate significance at 1 and 5 percent probability levels, respectively

تعیین مشخصات و گروه بندی ژرم پلاسما به اصلاحگران امکان می دهد تا در نمونه گیری از جمعیت ها، از دوباره کاری خودداری کنند. روش های تجزیه خوشه ای عمل طبقه بندی را با استفاده از فرمول های ریاضی میسر ساخته است. درک تنوع ژنوتیپ های و مشخص نمودن خصوصیات مهم زراعی آنها از جمله عملکرد علوفه تر و صفات مؤثر بر آن، فرصتی ایجاد خواهد کرد که اصلاحگران سورگوم با توجه به شاخص های مورد نظر خود به اصلاح این محصول مهم با دقت و آگاهی بیشتر بپردازند (Hazegh-jafari et al., 2014). در این مطالعه ژنوتیپ ها در شرایط شوری های مختلف با استفاده از تجزیه خوشه ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و در دو گروه قرار گرفتند (شکل ۲). همانطور که نتایج عملکرد علوفه تر و خشک در جدول نشان می دهد چهار ژنوتیپ ۲، ۳، ۴ و ۵ نسبت به بقیه ارقام و لاینها از برتری برخوردار بودند.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای ژنوتیپ های سورگوم علوفه ای در سطوح شوری غیر شور (الف)، متوسط (ب) و شدید (ج)

ژنوتیپ ها ۱- KFS15، ۲- منصور ۳- اسپیدفید، ۴- پگاه، ۵- KFS17 و ۶- KFS16

Figure 2- Dendrogram resulting from cluster analysis of forage sorghum genotypes under salinity levels: normal (a), moderate (b) and severe (c). The genotypes 1. KFS15, 2. Mansour, 3. Speedfeed, 4. Pegaah, 5. KFS17, and 6. KFS16.

نتیجه گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش معنی دار کلیه صفات ریخت شناسی (ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد پنجه، قطر ساقه، مساحت سطح برگ، درصد پروتئین، عملکرد علوفه تر و خشک) گردید. در شرایط بدون تنش، رقم منصور با میانگین عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب ۱۴۶/۹۴۳ و ۳۸/۷۱۴ تن در هکتار، به ترتیب از نظر عملکرد علوفه تر نسبت به ارقام اسپیدفید و پگاه ۲/۴۵ و ۱۰/۹۹ درصد و از نظر عملکرد علوفه خشک ۸/۰۲ و ۱۸/۸۱ درصد همراه با برتری در شاخص های رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد پنجه، قطر ساقه و درصد پروتئین، به عنوان برترین ژنوتیپ شناسایی شد. در شرایط تنش شدید شوری، رقم پگاه با حفظ صفات مطلوبی نظیر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه و تعداد برگ و همچنین ثبت عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب ۷۲/۰۱۰ و ۲۱/۲۹۷ تن در هکتار، نسبت به رقم منصور و اسپیدفید از نظر عملکرد علوفه تر ۳۸/۴۶ و ۳۰/۹۰ درصد و از نظر عملکرد علوفه خشک نسبت به منصور و اسپیدفید

به ترتیب ۴۵/۴۸ و ۲۹/۷۸ درصد برتری نشان داد. در سطوح متوسط شوری (تا ۴-۶ دسی‌زیمنس بر متر)، ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای از عملکرد اقتصادی قابل قبولی برخوردار بودند. با توجه به شرایط جاری منطقه سیستان شامل توقف جریان آب رودخانه هیرمند و افزایش شوری آب چاه‌های سطحی، کشت رقم سورگوم علوفه‌ای پگاه می‌تواند به عنوان راهکار عملی برای تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها به کشاورزان منطقه توصیه گردد.

References

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2020). Agricultural Statistics Yearbook, Volume 1: Crop Products. Information Technology and Communication Center, Ministry of Agriculture Jihad, 32p.
- Alinia, M., & Kazemini, A. (2017). Effect of salinity stress on growth, yield, and some physiological traits of forage sorghum cultivars. *Journal of Crop and Horticultural Products Production and Processing*, 7(2), 19-31.
- Ashraf, M., & Tufail, M. (1995). Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174: 351-362.
- Ataei, R., Torabi, M., Ghasemi, A. & Shiri, M. Investigation and Feasibility of Pearl Millet Hybrid Cultivars Development in Iran. *Iranian Journal of Crop Plant Sciences*. <http://doi:10.22059/ijfcs.2023.358056.654999>
- Azerinasrabad, A., Mousavinik, S. M., Galavi, M., Sirousmehr, A., & Beheshti, S. A. (2024). Path analysis and correlation analysis of grain yield and its components in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L.) under drought stress conditions. *Agricultural Sciences in Dry Regions*, 6 (4): 295-310.
- Bharat, R. S., & Minhas, P. S. (2005). Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia. *Agricultural Water Management*, 78: 136-151.
- Bybordi, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*. 9 (4): 1092-1101.
- Ghaedi, S., Afrasiab, P., Liaghat, A., & Khamri, A. (2015). Integrated use of saline and non-saline water in sorghum and sunflower cultivation in Sistan plain. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 2 (46), 173-182. <http://doi:10.22059/JWIM.2017.233363.542>
- Hay, R. K., & Walker, A. (1998). *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Longman Group UK Limited, UK.
- Hazeghjafari, P., Ahrizad, S., Mohammadi, A., Nurmandmoayed, F., & Behrouz, P. (2014). Grouping alfalfa genotypes in terms of different traits using multivariate statistical methods. *Agricultural Plant Breeding Journal*, 6(14), 107-121.
- Hedayati-Firoozabadi, A., Kazemeini, S. A., Pirasteh-Anosheh, H., Ghadiri, H., Pessarakli, M. (2020). Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of *Sorghum bicolor*-*Bassia indica* intercropping. *Journal of Plant Nutrition*, 1-1. <http://doi:10.1080/01904167.2020.1783301>.
- Kjeldahl, J.G.C.T., (1883). *Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen. korpern*. Fresenius, Zeitschrift für analytische Chemie. 22, 366-382.
- Khazaei, A., Torabi, M., Ghasemi, A., & Azarinasrabad, A. (2018). *Final evaluation of promising dual-purpose forage-grain sorghum lines*. Final report, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.
- Khodbandeh, N. (2019). *Forage Crop Cultivation*. Agricultural Science Publishing, Iran, 310p.

- Krishnamurthy, L., Serraj, R., Hash, C. T., Dakheel, A., & Reddy, B. (2007). Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica*, 156: 15-24.
- Lacerda, C., Cambraia, J., Oliva, M., Ruiz, M., & Prisco, J. (2003). Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49: 107-120.
- Lin, C., & Binns, M. R., (1991). Genetic properties of four types of stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics*, 82: 505- 509.
- Mansour, M., Salama, K., Ali, F., & Abou Hadid, A. (2005). Cell and plant responses to NaCl in Zea mays L. cultivars differing in salt tolerance. *General and Applied Plant Physiology*, 31: 29-41.
- Masters, D., Tiong, M., Vercoe, P., & Norman, H. (2010). The nutritive value of river saltbush (*Atriplex amnicola*) when grown in different concentrations of sodium chloride irrigation solution. *Small Ruminant Research*, 91 (1): 56–62. <http://doi:10.1016/j.smallrumres.2009.10.019>.
- Miguel, J., Guimaraes, M., Welson, L., Simoes, R., OliveiraGherman, G., & de Araujo, L., (2019). Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23 (4): 285-290.
- Mirmohamadimeybodi, S. A., & Ghareyazi, B. (2002). *Physiological and breeding aspects of salinity stress in plants*. Isfahan University of Technology Press, 274 p.
- Morales, C., Cusido, R. M., Palazon, J., & Bonfill, M. (1993). Response of Digitalis purpurea plant to temporary salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 16 (2): 335- 327.
- Netondo, G. W., Onyango, J. c., & Beck, E. (2004). Sorghum and Salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescece of sorghum under salt stress. *Crop Science*, 44: 806-811.
- Nurouzi, M., Chavoshi, A., & Ghajarsepanlou, M. (2022). Effect of irrigation water salinity on relative yield and some morphological and physiological characteristics of sorghum. *Journal of Water Research in Agriculture*, 63 (1), 55-74. <http://doi: 10.22092/JWRA.2022.352078.823>
- Omar, S. (2014). Physiological parameters of salt tolerance during germination and seedling growth of Sorghum bicolor cultivars of the same subtropical origin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21 (4): 300-304.
- Pirasteh-Anosheh, H. G., Ranjbar, Pakniyat, H., & Emam, Y., (2016). *Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants; an overview*: 141-160. In: Azooz, M. M. and Ahmad, P., (Eds). *Plantenvironment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress*. Wiley, London.
- Piri, H., Ansari, H., & Parsa, M. (2017). Evaluation of quantitative and qualitative yield of forage sorghum under different salinity levels of irrigation water in a subsurface drip irrigation system. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1), 467-482. <http://doi.org/10.22092/jwra.2017.109010>
- Pourazizi, M., & Fallah, S. (2010). The effect of organic and chemical fertilizers on the qualitative properties of sorghum forage. *Proceedings of the National Conference on New Achievements in Agronomy*, September, Karaj, Iran.
- Prasad, P., Pisipati, S., Mutava, R., & Tuinstra, M. (2008). Sensitivity of grain sorghum to hightemperature stress during reproductive development. *Crop Science*, 48: 1911-1917.
- Rana, M. (1988). Causes of varited differences in salt tolerance. *Proc of the International congores of Plant Physiology*, 960-989.

- Rashedmohassel, M.H., Hosseini, M., Abdi, M., & Molafilabi, A. (1997). *Cereal crops agriculture*. Mashhad Jihad Daneshgahi Publications.
- Sarvari, S.M., & Beheshti, S. A. (2011). Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14 (2), pp.183-201. [In Persian].
- Seif, F., Azizi, F., Paknejad, F., Kashani, A., & Shahabifar, M. (2019). Evaluation of drought stress and clinoptilolite effects on yield and quality of silage corn hybrids. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 11(42), 127-146.
- Shamsadinsaeedi, M., & Farahbakhsh, H. (2009). Effect of salinity stress on yield and some agronomic and physiological traits of two corn hybrids in Kerman region. *Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 1(32), 13-24.
- Sharifan, H., & Kazemihasanvand, M. (2015). Evaluation of yield and yield components of sorghum under irrigation with Caspian Sea water. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(1), 163-169.
- Sharifi, M., Ghorbanli, M., & Ebrahimzadeh, H. (2007). Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*, 164:1144-1151.
- Soleimani, M., Kafi, M., Ziaei, M., & Shabahang, J. (2008). Effects of deficit irrigation on forage yield of two native mass of salt-tolerant Kochia under saline water irrigation. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 22, 148-156.
- Tabatabaei, S. A., Anaghli, A., Izadfar, M., Ghane, F., & Soltani, V. (2010). *Evaluation of salt tolerance in forage sorghum inbred lines under laboratory and field conditions*. Final Report, Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd.
- Tabatabaei, S. A., & Anaghli, A. (2012). Effects of salinity on some characteristics of forage sorghum genotypes at germination stage. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4 (14): 979-983.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development Sinauer Associates, Incorporated*. 20p.
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151: 59-66.
- Yarnia, M. (2007). Evaluation of some physiological indices of forage sorghum cultivars under salinity conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, Islamic Azad University of Tabriz, 1(1), 1-15.
- Zerbini, E., & Thomas, D. (2003). Opportunities for improvement of nutritive value in sorghum and Pearl millet residues in south Asia through genetic enhancement. *Field Crop Research*, 84: 3- 15.