نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۴(۵۲)، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۵۴-۵۳۵

تغییرات عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای تحت تنش خشکی

حمید نجفی‌نژاد[1*]، سید ذبیح‌الله راوری[1] و محمدعلی جواهری[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۲

چکیده

تعیین مناسب‌ترین گیاه علوفه‌ای متحمل به خشکی در شرایط کم آبی استان کرمان با انجام آزمایشی به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار طی دو سال (۹۶-۹۵) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جوپار کرمان بررسی شد. تنش خشکی، به‌عنوان عامل اصلی، در سه سطح مشتمل بر آبیاری نرمال (آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش شدید (آبیاری بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و نوع گیاه نظیر کوشیا، ارزن مرواریدی، سورگوم و ذرت علوفه‌ای، به عنوان عامل فرعی، در نظر گرفته شدند. سورگوم در تمام سطوح تنش، بیشترین عملکرد را در مقایسه با سه گیاه دیگر تولید نمود. این گیاه در شرایط آبیاری نرمال به‌ترتیب با تولید ۱۰۱۲۴۱ کیلوگرم علوفه تر و ۳۰۱۸۱ کیلوگرم علوفه خشک در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد. در تمام انواع گیاهان مورد مطالعه با افزایش تنش خشکی عملکرد کاهش یافت ولی درصد کاهش عملکرد در کوشیا نسبت به سایر گیاهان کمتر بود. ارزن با ۱۱/۸۹ و کوشیا با ۹/۸۲ درصد پروتئین خام به‌ترتیب بیشترین، و ذرت و سورگوم به‌ترتیب با ۸/۹۷ و ۸/۱۹ درصد کمترین پروتئین خام را داشتند. با افزایش تنش خشکی محتوی نسبی آب برگ کاهش ولی مقدار مالون‌دی‌آلدهید در هر چهار گیاه مورد بررسی افزایش یافتند. کوشیا، در میان چهار گونه‌ی گیاهی مورد آزمایش، کمترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید را داشت. مقدار کلروفیل a، تحت تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط نرمال، به‌ترتیب ۱۶/۳ و ۲۰/۷ درصد کاهش یافت. کوشیا در هر دو سال و در تمام سطوح تنش، پس از آن سورگوم، از بیشترین محتوی سدیم برخوردار بودند. محتوای پتاسیم سورگوم در شرایط تنش شدید و متوسط در مقایسه با سایر گیاهان بیشتر بود. بر اساس نتایج این تحقیق سورگوم با بیشترین عملکرد علوفه، ارزن با تولید علوفه با کیفیت بالا و کوشیا به عنوان متحمل‌ترین گیاه به تنش خشکی شناخته شدند.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، عملکرد علوفه، کلروفیل، گیاهان علوفه‌ای، مالون‌دی‌آلدهید.

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

نگارنده‌ی مسئول hnajafinezhad@yahoo.com

مقدمه

تنش خشکی ناشی از کم آبی مهم‌ترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را بیش از هر تنش دیگری کاهش می‌دهد (Shao *et al.*, 2009). ذرت و سورگوم به‌عنوان گیاهان دو منظوره (علوفه‌ای و دانه‌ای) به دلیل عملکرد بالا و سازگاری به شرایط اقلیمی ایران، نقش بسیار مهمی در تامین علوفه مورد نیاز کشور ایفا می‌کنند. اما کم آبی، مهمترین عامل محدود کننده تولید و توسعه کشت این گیاهان می‌باشد (Khalesroo *et al.*, 2010; Fazeli Rostampour *et al.*, 2012). در بررسی اثر تنش خشکی به صورت قطع آب در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی بر روی دو توده کوشیا بیان شده است که پس از اعمال تنش سنگین (قطع آب به مدت ۴ هفته) در مراحل مختلف رشد رویشی، این گیاه توانسته رشد خود را بازیابی نماید (Masoumi, 2010). در تحقیق مذکور تنش خشکی در مرحله رشد رویشی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک کوشیا شده است اما تاثیر معنی‌داری بر صفات زایشی کوشیا نداشته است. تحت تنش خشکی کوشیا توانسته اندام‌های فتوسنتزی خود را حفظ نماید و به‌دلیل مقاومت به خشکی این گیاه می‌توان با مصرف حداقل آب، محصول علوفه قابل قبولی تولید نمود (Salehi, 2010).

میرلوحی و همکاران (Mirlouhi, *et al.*, 2001) برتری عملکرد علوفه تر سورگوم را نسبت به ذرت بیان نموده‌اند ولی خالص‌رو و همکاران (Khalesroo *et al.*, 2010) در شرایط کشت دوم برتری ذرت نسبت به ارزن و سورگوم را از لحاظ عملکرد علوفه خشک و فیبر نامحلول در شوینده خنثی گزارش نموده‌اند. سورگوم به دلیل مقاومت به خشکی قادر به فعالیت فتوسنتزی در پتانسیل پایینی از آب برگ می‌باشد ولی این گیاه برای تولید علوفه زیاد، به آب فراوان نیاز دارد (Najafinezhad *et al.*, 2014). سورگوم مقاومت به خشکی بیشتری نسبت به ذرت داشته، بنابراین جایگزین بهتری برای ذرت در مناطق خشک و کم آب می‌باشد (Amaral *et al.*, 2003). در بیشتر مطالعات، محققان اثر متفاوتی از جذب عناصر غذایی را در گونه‌های مختلف و حتی ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه تحت شرایط تنش گزارش نموده‌اند. در مقابل کاهش جذب عناصر غذایی در گیاهان تحت تنش خشکی، عناصر غذایی در برخی گونه‌های گیاهان علوفه‌ای تحت شرایط تنش افزایش یافته است. در تحقیقی تنش ملایم خشکی منجر به افزایش محتوی فسفر، آهن، مس و روی و تنش شدید خشکی منجر به افزایش محتوی پتاسیم در دانه ذرت شده است (Branka *et al.*, 2018). شواهدی وجود دارد که گیاهان تحت تنش خشکی به پتاسیم بیشتری نیاز دارند. وقتی گیاهان به پتاسیم کافی دسترسی نداشته باشند تولید رادیکال‌های آزاد به مقدار بیشتری افزایش می‌یابد و روابط آبی سلول و فتوسنتز را دچار اختلال می‌کند (Mengal *et al.*, 2001) افزایش شدت تنش خشکی با افزایش تقاضا برای پتاسیم جهت حفظ فتوسنتز و حفاظت کلروپلاست‌ها از خسارت تنش همراه است، همچنین کاهش فتوسنتز در گیاهان تحت تنش که از پتاسیم کمتری برخوردار هستند بیشتر می‌باشد. پتاسیم با حفظ تورژسانس سلول و تنظیم وظایف روزنه‌ای تحت تنش خشکی، سرعت فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه تحت تنش را تقویت و نقش مهمی را در بقای گیاهان در شرایط تنش بازی می‌کند (Kant and Kafkafi, 2002). تنش خشکی به‌طور مستقیم شاخص کلروفیل برگ را

تحت تاثیر قرار داده و متعاقب آن روی عملکرد گیاه تاثیر منفی می‌گذارد (Schlemmer *et al.*, 2005; Ashkavand *et al.*, 2013). کاهش یزان کلروفیل تحت شرایط تنش می‌تواند ناشی از تنش اکسیداتیو و تجزیه کلروفیل باشد. گونه‌های فعال اکسیژن با اکسید نمودن لیپیدهای غشاء، در نهایت محتوی کلروفیل برگ را کاهش می‌دهند (Earl and Davis, 2003). کلروفیل a و b به تنش آب حساس بوده و کاهش مقادیر آنها بسته به طول دوره تنش و شدت تنش در تعدادی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Paknejad *et al.*, 2007). کاهش محتوی کلروفیل در پنبه (Massacci *et al.*, 2008)، آفتابگردان (Kiani *et al.*, 2008) و گندم (Paknejad *et al.*, 2007) تحت تنش خشکی گزارش شده است. برخی محققان کاهش نسبت کلروفیل a به کلروفیل b را تحت تنش خشکی بیان نموده‌اند (Farooq *et al.*, 2008; Anjum *et al.*, 2003). خشکی با تغییر در مقدار رنگدانه‌ها، روابط آب سلول و اختلال در فرایند فتوسنتز در نهایت رشد و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Paknejad *et al.*, 2007) بنابراین، برای اعمال مدیریت صحیح بهره‌وری از پتانسیل گیاه شناخت تغییرات فیزیولوژیک و واکنش‌های بیوشیمیایی تحت تنش خشکی ضروری می‌باشد (Anjum *et al.*, 2003). در تحقیقی بر روی سورگوم علوفه‌ای، تنش خشکی شاخص کلروفیل برگ را کاهش داده است (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012). به‌دلیل رابطه نزدیکی که بین محتوی کلروفیل با تثبیت و تبادل دی‌اکسیدکربن و عملکرد گیاه وجود دارد، این پارامترها می‌توانند برآورد خوبی از اثر تنش‌های محیطی روی رشد گیاه باشند (Bhimireddy *et al.*, 2017). با توجه به بحران کم آبی در استان کرمان و ضرورت تامین علوفه مورد نیاز بخش دامپروری مقایسه گیاهان علوفه‌ای جدید با گیاهان رایج متحمل به خشکی در شرایط یکسان و تحت شرایط تنش به‌منظور معرفی برای توسعه کشت در منطقه دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین هدف این تحقیق بررسی عملکرد و تغییرات برخی پارامترهای زراعی و فیزیولوژیک چهار گیاه کوشیا، ارزن، ذرت و سورگوم علوفه‌ای تحت تنش خشکی بود تا در نهایت مناسب‌ترین گیاه یا گیاهان علوفه‌ای سازگار به شرایط کم آبی با قابلیت تولید علوفه از لحاظ کمّی و کیفی معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات عملکرد و برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک چهار گیاه علوفه‌ای کوشیا (*Kochia scopara* L. Schrad)، ارزن (*Pennisetum glaucum* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) تحت تاثیر تنش خشکی، آزمایشی طی دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۵) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جوپار وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان واقع در ۲۰ کیلومتری شهر کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۴۹ متری از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد، به‌نحوی که تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل آبیاری نرمال (آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس

A) و تنش شدید (آبیاری بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و نوع گیاه به‌عنوان عامل فرعی شامل چهار گیاه علوفه‌ای کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت بود. در این پژوهش رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ ذرت، رقم اسپیدفید سورگوم، رقم نوتریفید ارزن مرواریدی و توده محلی کوشیا کرمان مورد استفاده قرار گرفت. در هر دو سال، تاریخ کشت آزمایش برای هر ۴ گیاه پنجم خرداد ماه بود. هر کرت فرعی شامل ۵ خط کاشت (پشته) به فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به طول ۶ متر (سطحی معادل ۱۸ مترمربع) بود. خاک محل اجرای آزمایش در دو سال مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است. مقدار کود شیمیایی مصرفی بر اساس آزمون خاک در هر دو سال، ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۴۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار به‌ترتیب از منبع کود اوره و سوپرفسفات تریپل بود. تمام کود فسفات و ۲۵ درصد کود نیتروژن قبل از کاشت و در زمان آماده‌سازی زمین مصرف گردید و برای ایجاد شرایط یکنواخت در آزمایش، باقیمانده کود نیتروژن برای تمام گیاهان مورد بررسی، در مرحله ۸ برگی ذرت (۷۰ درصد) و در مرحله ۱۲ برگی ذرت (۳۰ درصد) به طور همزمان به صورت ردیفی و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک با ایجاد شیار در کنار بوته‌ها استفاده گردید.

کاشت بر اساس تراکم و عمق توصیه شده برای هر گیاه انجام گرفت به‌طوری‌که تراکم نهایی برای ذرت ۱۱۹۰۴۷ بوته در هکتار (فواصل ۶۰×۱۴ سانتی‌متر) و برای سورگوم، ارزن و کوشیا ۲۷۷۷۰۰ بوته در هکتار (فواصل ۶۰×۶ سانتی‌متر) بود. پس از کاشت به‌منظور سبز شدن یکنواخت مرزعه، دو نوبت آبیاری (یک نوبت به فاصله ۴ روز و دو نوبت به فاصله ۶ روز) انجام شد و پس از آن تیمارهای تنش خشکی بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر اعمال گردید.

برای تعیین زمان آبیاری تیمارها از قرائت روزانه میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A که در مجاورت کرت‌های آزمایش نصب بود، استفاده شد و پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی از تشتک به مقدار مورد نظر، آبیاری واحدهای آزمایشی صورت گرفت. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق فعال توسعه ریشه و در زمان آبیاری با استفاده از دستگاه T.D.R (Time Domain Reflectometry) مدل Trime-FM کالیبره شده انجام شد. عمق آب آبیاری در هر مرحله به اندازه‌ای بود که رطوبت خاک را تا عمق توسعه ریشه به ظرفیت زراعی برساند. میزان آب مورد نیاز هرکرت در هر مرحله آبیاری بر اساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی و بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Fotouhi *et al.*, 2009):

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times d$$
$$I_g = I_n / e$$
$$V = I_g \times A$$

در این روابط θ_{fc}: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i: رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، d: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، I_n: عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e: کارآیی آبیاری، I_g: عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، A: مساحت کرت (مترمربع)، V: حجم آب مورد نیاز کرت (لیتر) بودند. پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز برای هر کرت، با استفاده از کنتور حجمی ۲ اینچی تحت فشار که در مدخل ورود آب به کرت روی لوله‌های پلی‌اتیلنی دو اینچی نصب بود، آب وارد کرت می‌شد. حجم آب استفاده شده در

شرایط آبیاری نرمال، تنش متوسط و شدید برای تمام گیاهان یکسان و به ترتیب معادل ۹۴۷۷، ۷۲۱۲ و ۶۲۴۶ مترمکعب در هکتار بود. تاریخ برداشت سورگوم، ارزن و کوشیا ۸۹ روز پس از کاشت و همزمان با مرحله خمیری نرم ذرت انجام گرفت تا بتوان گیاهان را در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار داد (۸۹ روز پس از کاشت، سورگوم و ارزن دارای حداکثر ارتفاع بودند و کوشیا در وضعیت مطلوب رشد رویشی قرار داشت).

برداشت ذرت در مرحله خمیری نرم دانه، سورگوم در مرحله ظهور ۱۰ درصد پانیکول‌ها، ارزن مرواریدی در انتهای مرحله رشد رویشی و کوشیا در مرحله غنچه‌دهی به‌طور همزمان و پس از حذف حاشیه‌ها از دو خط میانی هر کرت در سطحی معادل ۷ مترمربع انجام و پس از توزین، عملکرد تر علوفه بر مبنای کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برای محاسبه و تعیین وزن خشک علوفه، از علوفه تر یک نمونه تهیه و پس از توزین با قراردادن نمونه‌ها در آون تحت دمای ۶۸ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت و توزین مجدد، با استفاده از فرمول زیر درصد رطوبت علوفه محاسبه گردید (Anonymous, 2002).

درصد رطوبت علوفه = $[(DW_1-DW_2/DW_1)\times 100]$

که در آن DW_1 وزن تر نمونه و DW_2 وزن خشک نمونه بودند.

اندازه‌گیری مقدار کاروتنوئیدهای برگ و کلروفیل a و b با استفاده از روش لیشتن‌هالر و ولبورن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) ۶۴ روز پس از کاشت (مرحله ۱۲ برگی در سورگوم با استفاده از هشتمین برگ، مرحله‌ی ظهور کاکل در ذرت با استفاده از برگ بلال، در کوشیا و ارزن با استفاده از برگ‌هایی که ۲۵ سانتی‌متر پایین‌تر از بالاترین نقطه انتهایی گیاه قرار گرفته بودند) به‌طور همزمان انجام شد. پس از تهیه عصاره در نهایت جذب نوری کلروفیل a و b و کاروتنوئید به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر S2100 Diod Array مدل WPA ساخت انگلستان قرائت گردید. مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با استفاده از فرمول‌های زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شدند:

کلروفیل a $=[(12.7\times A_{663})-(2.69\times A_{645})\times V]/1000W$

کلروفیل b $=[(22.9\times A_{645})-(4.68\times A_{663})\times V]/1000W$

کلروفیل کل $=[(20.2\times A_{645})+(8.02\times A_{663})\times V]/1000W$

کاروتنوئید $=[((1000\times A_{470})-(2.27\times C_a)-(81.4\times C_b)/226)\times V]/1000W$

که در آنها A: جذب قرائت شده، V: حجم عصاره رقیق شده و W: وزن تر نمونه برگ بودند.

برای تعیین محتوی نسبی آب، ۵ برگ از ۵ بوته تصادفی برای ذرت، سورگوم و ارزن (بالاترین برگ کاملاً توسعه یافته) و برای کوشیا با توجه به کوچک بودن برگ‌ها ۱۵ برگ استفاده شد و در نهایت محتوی نسبی آب با فرمول زیر محاسبه گردید (Mata and Lamattina, 2001).

$$RWC= (Fw-Dw)/(Tw-Dw)\times 100$$

که در این رابطهFw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Tw: وزن برگ در حالت اشباع بود.

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید نمونه‌های تازه برگ از ساعت ۱۰ الی ۱۱ صبح با استفاده از ۵ برگ از ۵ بوته تصادفی برای هر کرت برداشت شد. نمونه‌ها بلافاصله با استفاده از نیتروژن مایع منجمد گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه تا زمان اندازه‌گیری در فریزر ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. مالون‌دی‌آلدهید قادر به تشکیل پیوند با تیوباربیتوریک اسید بوده که به تشکیل

کمپلکس رنگی (MDA-TBA) منجر می‌شود. غلظت کمپلکس تشکیل شده به کمک اسپکتروفوتومتری قابل اندازه‌گیری است (Valentovic *et al.*, 2006; Najafinezhad *et al.*, 2014). بر طبق این روش پس از تهیه عصاره، شدت جذب محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. از آن جایی که بعضی ترکیب‌ها به‌عنوان ترکیب‌های مزاحم در محلول در طول موج ۵۳۲ نانومتر جذب دارند، جذب این ترکیب‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد و از طول موج ۵۳۲ نانومتر کسر گردید. غلظت کمپلکس (MDA-TBA) با استفاده از ضریب خاموشی ۱۵۶ میلی‌مول بر سانتی‌متر برحسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ به کمک رابطه زیر محاسبه گردید:

MDA=[(A532-A600)/156]×1000×dilution factor

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم، ابتدا عصاره هضمی نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان تهیه شد. سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر به‌ترتیب در طول موج‌های ۵۹۰ و ۷۶۶/۵ نانومتر مورد سنجش قرار گرفتند.

نیتروژن کل علوفه خشک با استفاده از روش کجدال توسط دستگاه کجل‌تک اندازه‌گیری شد (Anonymous, 2002).

نتایج با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS.9.2 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. قبل از انجام محاسبات آماری، نرمال بودن واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS برای هر صفت مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میانگین اثرهای اصلی از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) و برای اثرهای متقابل از میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) و گزینه pdiff استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه: عملکرد تر و خشک علوفه تحت تاثیر برهمکنش تنش خشکی و نوع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال سورگوم به‌ترتیب با تولید ۱۰۱۲۴۱ کیلوگرم علوفه تر و ۳۰۱۸۱ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک بیشترین عملکرد علوفه را تولید نمود. در سطوح تنش ملایم و تنش شدید نیز سورگوم بیشترین عملکرد علوفه را تولید نمود. پس از سورگوم، بیشترین عملکرد علوفه به‌ترتیب به ذرت و ارزن تعلق داشت. همچنین، کمترین عملکرد علوفه تر و خشک در تمام سطوح تنش خشکی به گیاه کوشیا تعلق داشت (جدول ۳). در بررسی برهمکنش سال در نوع گیاه علوفه‌ای نیز مشخص شد که سورگوم بیشترین و کوشیا کمترین عملکرد علوفه را در هر دو سال داشته است (جدول ۵). در هر چهار گیاه مورد مطالعه با افزایش سطح تنش خشکی، عمکرد علوفه کاهش نشان داد اما این کاهش به دلیل عکس‌العمل و خصوصیات متفاوت مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان مورد مطالعه یکسان نبود. در بین چهار گیاه مورد مطالعه، کوشیا تحت شرایط تنش ملایم و شدید کمترین درصد کاهش عملکرد را نشان داد (شکل ۱ و جدول ۳). ذرت، سورگوم و ارزن از گروه گیاهان تک‌لپه با سیستم ریشه‌ای افشان از عمق توسعه ریشه‌ای کمتری در مقایسه با کوشیا که از گروه گیاهان دولپه با سیستم ریشه‌ای عمیق می‌باشد برخوردارند. بنابراین، کاهش کمتر عملکرد کوشیا تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال نسبت به سایر گیاهان را می‌توان تا

اندازه زیادی به سیستم ریشه‌ای عمیق این گیاه مرتبط دانست که می‌تواند رطوبت خاک را از عمق بیشتری تخلیه نماید. در شرایط تنش خشکی کاهش انتقال هورمون سیتوکینین از ریشه به شاخساره و افزایش مقدار آبسیزیک اسید در شاخساره به تغییر تعادل هورمونی، کاهش فعالیت آنزیم های فتوسنتزی و نهایتاً کاهش زیست توده گیاه منجر می‌شود (Farooq *et al.*, 2008). همچنین، کاهش عملکرد گیاه تحت تنش می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به داخل برگ، کاهش محتوی نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز در پاسخ به کاهش رطوبت خاک باشد. کاهش عملکرد علوفه ذرت و سورگوم تحت تنش خشکی در مطالعات دیگران نیز گزارش شده است (Kamara *et al.*, 2003; Bhimireddy *et al.*, 2017).

کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ: مقدار کلروفیل a تحت تنش خشکی ملایم و شدید نسبت به آبیاری نرمال به‌ترتیب ۱۶/۳٪ و ۲۰/۷٪ کاهش یافت (جدول ۴). در بررسی برهمکنش تنش خشکی در نوع گیاه، سورگوم در شرایط آبیاری نرمال بیشترین محتوی کلروفیل b و کلروفیل کل را داشت. این گیاه در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید نیز نسبت به سایر گیاهان از مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل بیشتری برخوردار بود (جدول ۳). شاخص کلروفیل برگ تحت تاثیر برهمکنش تنش خشکی در نوع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی برهمکنش تنش خشکی و نوع گیاه مشخص شد که گیاه کوشیا از بیشترین شاخص کلروفیل برگ برخوردار بود و بین سایر گیاهان تفاوتی ملاحظه نشد (جدول ۳). به‌طورکلی، با افزایش سطح تنش خشکی کلروفیل a، کلروفیل کل و شاخص کلروفیل روند کاهشی داشتند اما کاهش کاروتنوئیدها تحت تنش خشکی معنی‌دار نبود (جدول‌های ۳ و ۴). در شرایط تنش به واسطه‌ی افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، افزایش ترکیبات فنلی و کاهش جذب نیتروژن، از غلظت کلروفیل برگ کاسته می‌شود (Tambussi *et al.*, 2000). همچنین، کاهش محتوی کلروفیل برگ می‌تواند به‌واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو باشد که اکسید شدن نوری رنگدانه‌ها و تجزیه کلروفیل را در پی دارد (Manivannan *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل b تحت تنش خشکی در واریته‌های مختلف آفتابگردان گزارش شده است (Manivannan *et al.*, 2007). خالقی و همکاران (Khaleghi *et al.*, 2012) کاهش کلروفیل a، کلروفیل کل و عدم تغییر کلروفیل b را تحت تنش خشکی در زیتون مشاهده نموده‌اند. کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی در محصولات مختلف از قبیل پنبه (Massacci *et al.*, 2008)، آفتابگردان (Kiani *et al.*, 2008) و گندم نیز (Paknejad *et al.*, 2007) گزارش شده است. برتری محتوی کلروفیل سورگوم نسبت به سایر گیاهان را می‌توان به خصوصیات ژنتیکی متفاوت گیاهان مرتبط دانست. بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ارقام مختلف یک گونه تفاوت‌های زیادی از لحاظ تغییرات یک صفت وجود دارد، بنابراین تفاوت محتوی کلروفیل در گیاهان مختلف را می‌توان به خصوصیات ژنتیکی متفاوت مربوط دانست، برخی از گیاهان مانند کوشیا در شرایط تنش خشکی از طریق مکانیسم‌های مقاومت به خشکی که دارند، می‌توانند با حفظ محتوی نسبی آب برگ و توان

فتوسنتزی از کاهش کلروفیل برگ در شرایط تنش جلوگیری نمایند (Salehi, 2010).

مالون‌دی‌آلدهید برگ: محتوی مالون دی‌آلدهید برگ در شرایط آبیاری نرمال کمترین و در شرایط تنش شدید خشکی دارای بیشترین مقدار بود (جدول ۴). مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان محصول اکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول به عنوان مارکری مناسب برای مشخص کردن مقدار صدمات اکسیداتیو به لیپیدها در شرایط تنش به کار می‌رود (Davey *et al.*, 2005). افزایش محتوی مالون‌دی‌آلدهید بیانگر این است که تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در شرایط تنش به اکسید شدن لیپیدهای غشای سلول منجر شده است (Sairam and Srivastava, 2002). مقدار کمتر مالون‌دی‌آلدهید در شرایط آبیاری نرمال بیانگر مناسب بودن شرایط برای رشد و نمو گیاه می‌باشد. افزایش محتوی مالون دی‌آلدهید برگ تحت تنش رطوبتی در تحقیقات دیگران نیز گزارش شده است (Mao *et al.*, 2011; Najafinezhad *et al.*, 2014). در مقایسه بین چهار گیاه، کوشیا از کمترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید برخوردار بود در حالی‌که بین سه گیاه دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در بررسی برهمکنش سال در نوع گیاه، در هر دو سال، گیاه کوشیا کمترین محتوی مالون‌دی‌آلدهید را داشت در حالی‌که بین سایر گیاهان تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). کوشیا توده‌ای خودرو در استان کرمان بوده که با مصرف حداقل آب از رشد قابل توجهی برخوردار است. کمتر بودن مالون دی‌آلدهید در کوشیا را می‌توان به شبکه ریشه‌ای عمیق و گسترده آن در خاک و فیزیولوژی مقاومت به خشکی این گیاه مرتبط دانست که می‌تواند با کاهش تلفات آب و جذب بیشتر آب از خاک خسارت تنش را کاهش دهد. صالحی (Salehi, 2010) بیان نموده است که تحت تنش خشکی کوشیا توانسته با حفظ اندام‌های فتوسنتزی عملکرد بیولوژیک قابل قبولی تولید نماید، بنابراین این موضوع نیز بیانگر تحمل به خشکی و آسیب کمتر به لیپیدهای غشای سلول این گیاه در شرایط تنش می‌باشد.

محتوی نسبی آب برگ: محتوی نسبی آب برگ (RWC) تحت تاثیر برهمکنش تنش خشکی و نوع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). در آبیاری نرمال بیشترین محتوی نسبی آب برگ در گیاه سورگوم و کوشیا و کمترین آن در شرایط تنش شدید در گیاه ذرت مشاهده شد (جدول ۳). به‌طورکلی، در بررسی برهمکنش تنش خشکی و نوع گیاه مشخص شد که با افزایش سطح تنش خشکی محتوی نسبی آب برگ کاهش می‌یابد ولی شدت عکس‌العمل گیاهان مختلف بسته به خصوصیات متفاوت فیزیولوژیک و موفولوژیک آنها یکسان نیست. تغییرات محتوی نسبی آب برگ در گیاه به شرایط مختلف محیطی، جذب آب توسط ریشه‌ها و تلفات آب به واسطه تعرق از گیاه مربوط می‌شود، همچنین محتوی نسبی آب برگ رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد، با کاهش پتانسیل آب گیاه، محتوی نسبی آب برگ کاهش یافته و متعاقب آن به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش دسترسی گیاه به دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Lafitte, 2002). کاهش محتوی نسبی آب برگ تحت تنش خشکی در طیف وسیعی از گیاهان زراعی از جمله ذرت و سورگوم گزارش شده است (Nayar and Gupta, 2006). بیشتر بودن محتوی نسبی آب برگ در کوشیا به سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده و در سورگوم به شبکه ریشه‌ای گسترده و پوشش مومی

بر روی برگ‌ها و همچنین ضریب تعرق کمتر سورگوم در مقایسه با ذرت و ارزن مرتبط است (Salehi, 2010; Najafinezhad *et al.*, 2014). همچنین، دلیل بالا بودن محتوی نسبی آب برگ در سورگوم ممکن است به‌دلیل وجود ساز و کارهای کاهش دهنده تلفات آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها و یا به‌دلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه ریشه‌ها و قدرت مکش رطوبت بیشتر باشد (Jiang and Huang, 2001).

پروتئین خام: پروتئین خام علوفه تحت تاثیر برهمکنش سال در تنش خشکی و سال در نوع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار پروتئین خام علوفه در هر دو سال مربوط به تیمار تنش شدید خشکی (متوسط ۶ /۱۰ درصد) و کمترین آن در تیمار آبیاری نرمال (متوسط ۸/۹۹ درصد) به دست آمد (جدول ۶). این نتیجه با نتایج سایر محققان مبنی بر افزایش درصد پروتئین خام در شرایط تنش خشکی مطابقت دارد (Ge *et al.*, 2010; Naseri *et al.*, 2012). کای و همکاران (Cay *et al.*, 2007) گزارش نمودند که افزایش پروتئین خام تحت شرایط تنش می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های گلوتامین و گلوتامات سنتتاز باشد که تجمع نیتروژن و افزایش محتوی پروتئین را سبب می‌شوند. برخی پژوهشگران بیان نموده‌اند که افزایش میزان پروتئین خام در شرایط تنش خشکی در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول روی می‌دهد (Yamada *et al.*, 2005). با توجه به کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌توان بیان نمود که تحت تنش خشکی به دلیل کاهش تولید ماده خشک در هر گیاه غلظت نیتروژن در بافت گیاه افزایش یافته و از رقیق شدن عنصر غذایی در بافت گیاه کاسته شده است (Najafinezhad *et al.*, 2014). در هر دو سال، ارزن و کوشیا به‌طور متوسط و به‌ترتیب با ۱۱/۹ و ۹/۸۲ درصد بیشترین پروتئین خام و سورگوم با ۸/۱۹ درصد کمترین مقدار پروتئین خام را داشتند (جدول ۵). درصد پروتئین خام علوفه کوشیا بسته به شرایط محیطی و ژنوتیپ از ۷ تا ۱۸ درصد گزارش شده است (Kafi *et al.*, 2010). قابل توجه بودن درصد پروتئین خام در علوفه کوشیا و ویژگی تحمل به خشکی، اهمیت این گیاه علوفه‌ای جدید را به‌منظور جایگزینی با گیاهان پر مصرف آب دو چندان می‌نماید.

غلظت سدیم و پتاسیم علوفه خشک: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها غلظت سدیم علوفه تحت تأثیر برهمکنش سال در تنش خشکی در نوع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی برهمکنش سال در تنش خشکی در نوع گیاه مشخص شد که کوشیا در هر دو سال و در شرایط تنش شدید بیشترین مقدار سدیم را داشته است (شکل ۲). به‌طورکلی، کوشیا در هر دو سال در تمام سطوح تنش در مقایسه با سایر گیاهان از محتوی سدیم بیشتری برخوردار بوده است. برتری کوشیا نسبت به سایر گیاهان در محتوی سدیم بیشتر را می‌توان به شورپسند بودن و خصوصیات فیزیولوژیک کوشیا مرتبط دانست. کوشیا گیاهی شورپسند از خانواده اسفناج و از هالوفیت‌های دفع کننده نمک بوده که منبع خوبی برای تولید علوفه فراهم می‌کند (Lieth and Lohmann, 2000). پتاسیم تحت تاثیر برهمکنش تنش خشکی و نوع گیاه و همچنین برهمکنش سال در تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول ۲). سورگوم به‌ترتیب در شرایط تنش شدید و تنش متوسط در مقایسه با سایر تیمارها از بیشترین محتوی پتاسیم برخوردار بود ضمن اینکه در هر دو سال بیشترین مقدار

پتاسیم به‌ترتیب به تیمارهای تنش شدید و متوسط خشکی تعلق داشت (جدول‌های ۳و ۶). پتاسیم یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه بوده که نقش مهمی در بقای گیاهان تحت تنش ایفا می‌نماید، این عنصر با حفظ پتانسیل اسمزی و تورژسانس سلول و تنظیم وظایف روزنه‌ای تحت تنش خشکی سرعت فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه تحت تنش را تقویت می‌کند (Kant and Kafkafi, 2002). افزایش غلظت یون پتاسیم در گیاه تحت شرایط تنش را می‌توان ناشی از جذب بیشتر این یون در شرایط تنش مربوط دانست. در گزارش‌های متعددی افزایش مقدار جذب و تجمع این عنصر در گیاهان مختلف تحت تنش خشکی بیان شده است (Khadem *et al.*, 2010; Branka *et al.*, 2018). گیاه تحت تنش خشکی برای حفظ پتانسیل اسمزی، پتاسیم بیشتری از خاک جذب می‌کند. تحت تنش خشکی، غلظت بیشتر پتاسیم در علوفه سورگوم نسبت به ذرت توسط نجفی‌نژاد و همکاران (Najafinezhad *et al.*, 2014) گزارش شده که این برتری را به سیستم ریشه‌ای گسترده و ویژگی‌های فیزیولوژیک سورگوم برای تحمل خشکی مرتبط دانسته‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

کمبود علوفه، بحران کم آبی، فقر مراتع و ادامه خشکسالی‌ها مهم‌ترین مشکل بخش دامپروری استان کرمان است. در این شرایط با هدف شناسایی و معرفی گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی، چهار گیاه علوفه‌ای کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت از جنبه عملکرد علوفه و برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی طی دو سال (۱۳۹۶-۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق مذکور، سورگوم در تمام سطوح تنش خشکی نسبت به ذرت، ارزن و کوشیا برتری عملکرد نشان داد. این گیاه در شرایط آبیاری نرمال با تولید ۱۰۱۲۴۱ کیلوگرم علوفه تر و ۳۰۱۸۱ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک بیشترین عملکرد علوفه را تولید نمود. عکس‌العمل هر چهار گیاه به افزایش تنش خشکی، کاهش عملکرد بود، اما کمترین درصد کاهش عملکرد در گیاه کوشیا مشاهده شد. پروتئین خام که به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفی علوفه مطرح می‌باشد به‌ترتیب در گیاهان ارزن و ذرت بیشترین مقدار بود. تحت تنش خشکی بیشترین محتوی نسبی آب برگ به‌ترتیب به کوشیا و سورگوم تعلق داشت که می‌تواند دلیلی بر مقاومت به خشکی بیشتر گیاهان مذکور باشد. در هر دو سال، بیشترین محتوی سدیم در بافت گیاه، به کوشیا تعلق داشت که با توجه به هالوفیت بودن گیاه مذکور منطقی می‌باشد. با افزایش تنش خشکی محتوی مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت و در مقایسه بین چهار گیاه، کمترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید در کوشیا مشاهده شد. با توجه به افزایش محتوی مالون‌دی‌آلدهید تحت تنش خشکی می‌توان از این شاخص برای بررسی میزان صدمه وارد شده به گیاه در شرایط تنش و شدت تنش استفاده نمود. بر اساس نتایج این تحقیق، سورگوم دارای بیشترین عملکرد علوفه، ارزن دارای بیشترین پروتئین خام و کوشیا به عنوان متحمل‌ترین گیاه به تنش خشکی بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰- صفر سانتی متر)

Table 1- Result of physico-chemical properties of soil (0-30 cm depth)

سال Year	بافت خاک Soil texture	رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه F.C(%)	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم P.W.P (%)	وزن مخصوص ظاهری B.D ($g.cm^{-3}$)	کربن آلی O.C (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته خاک pH
۱۳۹۵ 2016	لومی شنی S.L	19.2	7.8	1.4	0.51	9	215	1.2	7.9
۱۳۹۶ 2017	لومی شنی S.L	19.5	7.9	1.45	0.54	9.6	228	1.3	7.8

F.C: Field Capacity, P.W.P: Permanent Wilting Point, B.D: Bulk Density, O.C: Organic Carbon, S.L: Sandy loam, EC: Electrical Conductivity

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه تحت تاثیر تنش خشکی و نوع گیاه

Table 2- Combined analysis of variance of different traits under effect of drought stress and plant species

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد تر Fresh yield	عملکرد خشک Dry yield	پروتئین علوفه Forage protein	محتوی نسبی آب RWC	مالون دی آلدهید MDA	سدیم Na
سال Year(Y)	1	328240968**	85651824**	0.7004	0.952	13.305*	0.0128**
تکرار (سال) Replication (Y)	6	188312729	22980089	1.1584	49.735	2.223	0.0011
تنش خشکی Drought stress(S)	2	418782168**	44438026**	21.2325**	751.045**	35.071**	0.0111**
سال × تنش خشکی Y×S	2	57061267**	11178315**	9.8931*	0.455	0.4412	0.0106**
خطای ۱ Error 1	12	73375513	9114984	3.1054	32.962	1.996	0.0006
نوع گیاه Plant species (P)	3	643288908**	510726438**	60.8449**	110.181**	5.066**	0.0664**
تنش خشکی × نوع گیاه S×P	6	65174795**	42520169*	5.1538	117.536**	0.8921	0.0033**
سال × نوع گیاه Y×P	3	93637588**	164520601**	26.288**	1.567	0.913	0.0004
سال×تنش خشکی × گیاه Y×S×P	6	200580588	16983326	4.403	4.803	2.239	0.0019*
خطای ۲ Error 2	54	160716114	19084823	2.8405	20.495	1.244	0.0008
ضریب تغییرات % C.V.	-	21.5	26.5	17.3	5.5	18.7	20.77

*، ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

*and **: significant at the 5% and 1%levels of probability, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	پتاسیم K	شاخص کلروفیل برگ SPAD	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل a+b Chla+b	نسبت کلروفیل a / b Chl a/b	کارتنوئیدها Carotenoids
سال Year(Y)	1	0.075	5.60	1.0710*	1.72**	5.529**	2.8531	0.3243*
تکرار (سال) Replication (Y)	6	0.3683	67.02	0.1460	0.0325	0.1566	0.5918	0.03441
تنش خشکی Drought stress(S)	2	4.55**	2106.57**	0.6563**	0.0613	1.1008**	0.4412	0.0083
سال × تنش خشکی Y×S	2	1.006**	14.13	0.0301	0.0015	0.0300	1.14**	0.0042
خطای ۱ Error 1	12	0.344	140.27	0.0432	0.0297	0.1223	0.1991	0.0045
نوع گیاه Plant species (P)	3	1.24**	3110.85**	0.9475**	0.609**	3.075**	0.3733	0.1132**
تنش خشکی × نوع گیاه S×P	6	0.52**	215.21*	0.1093	0.1205**	0.3595*	0.5011*	0.0217
سال × نوع گیاه Y×P	3	1.04**	12.82	0.6286**	0.1928**	1.4389**	0.3043	0.1093**
سال×تنش خشکی × گیاه Y×S×P	6	0.377	13.02	0.1383	0.0419	0.2417	0.2158	0.0186
خطای ۲ Error 2	54	0.194	96.75	0.0762	0.0203	0.1323	0.2296	0.0125
ضریب تغییرات C.V. %	-	20.7	20.2	23.2	22.2	19.9	24.5	22.1

*، ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

*and **: significant at the 5% and 1%levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد علوفه، محتوی نسبی آب برگ، پتاسیم، کلروفیل و شاخص کلروفیل برگ تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی در نوع گیاه

Table 3- Average of forage yield, relative water content (RWC), potassium, chlorophyll and chlorophyll index under interaction of drought stress and plant species

تنش خشکی Drought stress	نوع گیاه Plant species		عملکرد تر Fresh yield kg.ha^{-1}	عملکرد خشک Dry yield kg.ha^{-1}	شاخص کلروفیل برگ SPAD	کلروفیل b Chlb (mg.g^{-1} F.W)	کلروفیل a/b Chl a/b	کلروفیل a+b Chl a+b (mg.g^{-1} F.W)	پتاسیم K (%)	محتوی نسبی آب RWC (%)
نرمال Normal irrigation	کوشیا	Kochia	39858.5 ef	13299.4def	69.5a	0.49ef	2.27ab	1.56efg	1.55de	86.34abc
	ذرت	Maize	82813.1b	21388.6b	50.66c	0.69cd	1.78cd	1.96bcd	2.09bc	90.26ab
	ارزن	Millet	60856.4cd	17684.0bc	50.88c	0.55def	2.1abc	1.86cde	1.39e	84.2cde
	سورگوم	Sorghum	101241.07a	30181a	46.91cd	1.04a	1.66cd	2.75a	1.88cd	90.50a
تنش ملایم Moderate stress	کوشیا	Kochia	44875.1ef	12438.4ef	67.21b	0.66cd	1.6d	1.75cdef	1.86cd	85.89bcd
	ذرت	Maize	61462.3cd	15463cde	37.86de	0.58cde	1.71cd	1.58efg	2.15bc	75.77gh
	ارزن	Millet	49425.6def	12794.3ef	42.3cde	0.58cdef	1.92abcd	1.66defg	2.14bc	80.31ef
	سورگوم	Sorghum	71859.9bc	20481.2b	43.7cde	0.72c	1.8bcd	2.06bc	2.44b	78.9fg
تنش شدید Severe stress	کوشیا	Kochia	37703.9f	11017.8f	49.78c	0.51ef	2.33a	1.64defg	2.49b	81.59def
	ذرت	Maize	52418.6de	14061cdef	34.77e	0.44f	2.06abcd	1.34g	2.17bc	72.9h
	ارزن	Millet	42812.7ef	11249.3ef	39.4de	0.57cdef	1.71cd	1.45fg	2.2bc	80.37ef
	سورگوم	Sorghum	61353.8cd	17540.3bcd	39.21de	0.88b	1bcd 82.	2.27b	2.9a	80.5ef

میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means with the same letters in each column are not significantly different (LSMEANS, P≤0.05).

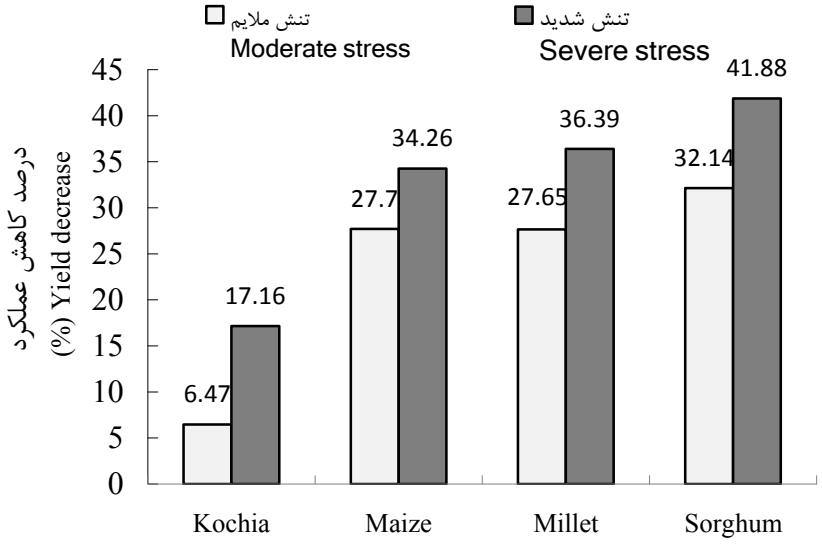
جدول ۴- مقایسه میانگین درصد پروتئین علوفه، مالون‌دی‌آلدهید و کلروفیل تحت تأثیر سال، تنش خشکی و نوع گیاه

Table 4- Average of malondialdehyde (MDA), chlorophyll and forage protein under effect of year, drought stress and plant species

عوامل آزمایشی	Experimental factors	مالون‌دی‌آلدهید MDA (µmol.g^{-1} F.W)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1} F.W)	پروتئین علوفه Forage protein %
سال	Year			
۱۳۹۵	2016	5.579a	1.29a	9.6a
۱۳۹۶	2017	6.32a	1.08b	9.8a
تنش خشکی	Drought stress			
نرمال	Normal irrigation	4.89c	1.34a	8.99b
تنش ملایم	Moderate stress	5.97b	1.13b	9.56b
تنش شدید	Severe stress	6.98a	1.07b	10.6a
نوع گیاه	Plant species			
کوشیا	Kochia	5.3b	1.1b	9.82b
ذرت	Maize	6.3a	1.06b	8.97bc
ارزن	Millet	5.9a	1.09b	11.89a
سورگوم	Sorghum	6.2a	1.48a	8.19c

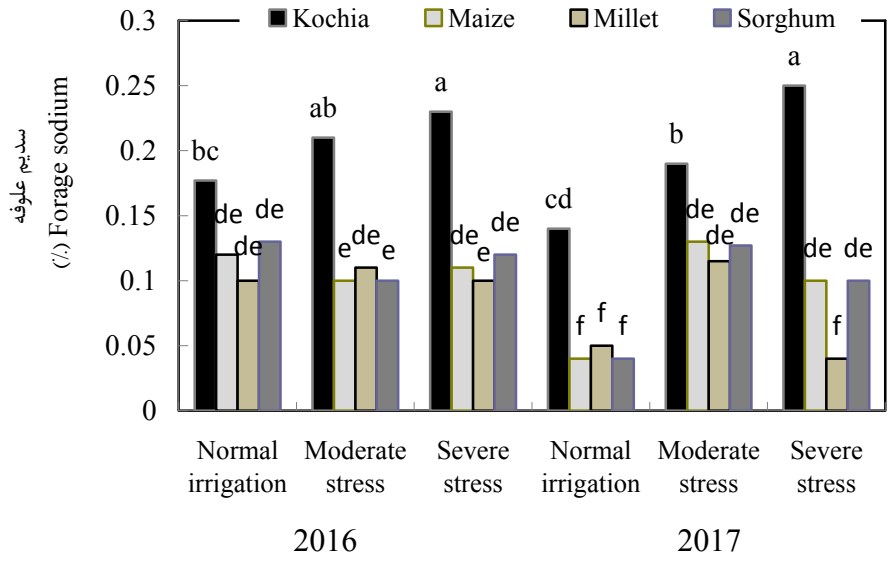
میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means with the same letters in each column are not significantly different (LSMEANS, P≤0.05).



شکل ۱- درصد کاهش عملکرد علوفه خشک تیمارهای تنش خشکی ملایم و شدید نسبت به شرایط آبیاری نرمال به تفکیک در گیاهان مورد مطالعه

Figure 1- Yield decrease percentage of dry matter in treatments of moderate and severe drought stress relative to normal irrigation conditions in the studied plants



شکل ۲- میانگین محتوی سدیم علوفه تحت تاثیر برهمکنش سال و تنش خشکی و نوع گیاه

Figure 2- Average of forage sodium under interaction of year, drought stress and plant species

میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) با حروف مشابه در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letters are not significantly different (LSMEANS, P≤0.05).

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد علوفه، پروتئین خام علوفه، مالون دی آلدهید، محتوی نسبی آب برگ و پتاسیم تحت تأثیر برهمکنش سال در نوع گیاه

Table 5- Average of forage yield, forage protein, malondialdehyde (MDA), relative water content (RWC) and potassium under interaction of year and plant species

سال Year	Plant species نوع گیاه		عملکرد تر Fresh yield kg.ha^{-1}	پتاسیم K (%)	مالون دی آلدهید MDA (µmol. g^{-1} F.W)	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)	پروتئین علوفه Forage protein %
۱۳۹۵ 2016	کوشیا	Kochia	40166.6d	2.17bcd	4.83c	84.55a	9.64bc
	ذرت	Maize	77475b	1.86de	5.87ab	79.34c	7.97d
	ارزن	Millet	52733.3c	2.02cde	5.87ab	81.8abc	13.29a
	سورگوم	Sorghum	88575a	2.54a	5.73bc	83.03abc	7.63d
۱۳۹۶ 2017	کوشیا	Kochia	41458.4d	1.7e	5.76b	84.67a	10bc
	ذرت	Maize	53654.4c	2.4ab	6.77a	79.96bc	9.98bc
	ارزن	Millet	49329.8cd	1.86de	6.03ab	81.4abc	10.49b
	سورگوم	Sorghum	67728.2b	2.17bcd	6.71a	83.58ab	8.75cd

میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال 5٪ می‌باشند.
Means with the same letters in each column are not significantly different (LSMEANS, P≤0.05).

جدول۶- مقایسه میانگین عملکرد علوفه، پروتئین خام و پتاسیم تحت تأثیر برهمکنش سال در تنش خشکی

Table 6- Average of forage yield, row protein and potassium under interaction of year and drought stress

Year سال	Drought stress تنش خشکی		عملکرد خشک Dry forage yield kg.ha^{-1}	عملکرد تر Fresh forage yield kg.ha^{-1}	پتاسیم K (%)	پروتئین علوفه Forage protein %
۱۳۹۵ 2016	نرمال	Normal irrigation	25746.79a	81856.25a	1.96b	8.27062c
	تنش ملایم	Moderate stress	16877.54b	59687.5b	2.093b	9.747500ab
	تنش شدید	Severe stress	15736.38cd	52668.7c	2.39ab	10.890625a
۱۳۹۶ 2017	نرمال	Normal irrigation	15529.80cd	60528.3b	1.5c	9.719375ab
	تنش ملایم	Moderate stress	13710.98c	54124bc	2.27ab	9.38812bc
	تنش شدید	Severe stress	11198.03d	44475.8d	2.57a	10.31375ab

میانگین‌های کمترین مربعات (LSMEANS) دارای حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.
Means with the same letters in each column are not significantly different (LSMEANS, P≤0.05).

References منابع مورد استفاده

- Amaral, S.R., M.A. Lira, J.N. Tabosa, M.V.F. Santos, A.C. Mello, and V.F. Santos. 2003. Behavior of sweet sorghum lines exposed to water deficit under controlled condition. *Pesquisa Agropecaria Brasileira*. 38: 973-979.
- Anjum, F., M. Yaseen, E. Rasul, A. Wahid, and S. Anjum. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). II. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. *Pakistan Journal of Agricultural Science.* 40: 45-49.
- Anonymous. 2002. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official' s Analytical Chemists, 17th Ed, Washington, DC.
- Ashkavand, M., M. Roshdi, J. Khalili Mohaleh, F. Jalili, and A. HosseinPour .2013. Effect of drought stress during phenological stage and biofertilizer and nitrogen application on yield and yield components of corn (KSC 704). *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(4): 365-376.
- Bhimireddy, P., M. Mallaredy., G. Subbalah., K. Chandra, and P. Ranindar. 2017. Perfomance of no-till maize under drip-fertigation in a double cropping system in semiarid Telangana state of India. *Maydica.* 61(1): 238- 245.
- Branka, K., G. Bosko, T. Angelina, and D. Goran. 2018. How irrigation water affects the yield and nutritional quality of maize (*Zea mays* L.) in a temperate climate. *Polish Journal of Environmental Studies.* 27(3): 1123–1131.
- Cay, Y.X., W. Wang, and Q.S. Zhu. 2007. Effects of water stress on nutrient quality and accumulation of protein in rice grains. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 31: 536-543.
- Davey, M.W., E. Stals, B. Panis, J. Keulemans, and R.I. Swennen. 2005. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry.* 347: 201-207.
- Earl, H., and R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*. 95: 688-696.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2008. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy of Sustainable Development.* 29: 185-212.
- Fazeli Rostompoor, M., M. Yarnia, and R. Farokhzadeh Khoee. 2012. Effect of superab A200 and drought stress on dry matter yield in forage sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences.* 12(2): 231-236.
- Fotouhi K., J. Ahmdaly, A. Noorjo, A. Pedram, and A. Khorshid. 2009. Irrigation management under water discharge permit at the different stages of sugar beet grown in Miandoab region. *Journal of Sugar Beet*. 24: 43–60. (In Persian).
- Ge, T.D., G. Suif, S. Nie, N.B. Sun, H. Xiao, and C.L. Tong. 2010. Differential responses of yield and selected nutritional compositions to drought stress in summer maize grains. *Journal of Plant Nutrition.* 33: 1811- 1818.

- Jiang, Y, and B. Huang. 2001. Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*. 41: 1168–1173.
- Kafi, M., H. Asadi, and A. Ganjeali. 2010. Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte Kochia scoparia as lternative fodder in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management*. 97: 139-147.
- Kamara, A.Y., A. Menkir, B. Badu-apraku, and O. Ibikunle. 2003. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. *Journal of Agricultural Science*. 141: 43-50.
- Kant, S., and U. Kafkafi. 2002. Potassium and abiotic stresses in plants, in potassium for sustainable crop production, eds N. S. Pasricha and S. K. Bansal (Gurgaon: Potash Institute of India), 233–251.
- Khadem, S. A., M. Galavi, M. Ramrodi, S.R. Mousavi, M.J. Rousta, and M.R. Moghadam. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science*. 4 (8): 642-647.
- Khaleghi, E., K. Arzani, N. Moallemi, and M. Barzegar. 2012. Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 68: 1153-1157.
- Khalesroo, S., M. Aghaalikhani, and S.A.M. Moddares Sanavy. 2010. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of forage maize, pearl millet and sorghum in double-cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7: 930–938. (In Persian).
- Kiani, S.P., P. Maury, A. Sarrafi, and P. Grieu. 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*. 175: 565-573.
- Lafitte, R. 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage, water deficit and grain formation in rice. *Field Crop Research*. 76:165–174.
- Lichtenhaler, H.K., and A.R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 11: 591-592.
- Lieth, H, and M. Lohmann. 2000. Cash crop halophytes for future halophyte growers. Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück. 16 pp.
- Manivannan P., C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, G.M, Alagu Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in Helianthus annuus L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 59: 141–149.
- Mao, S., M.R. Islam, Y. Hu, X. Qian, F. Chen, and X. Xue. 2011. Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) following soil application

of superabsorbent polymer at different fertilizer regimes. *African Journal of Biotechnology.* 10: 1000–1008.

- Masoumi, A. 2010. Effect of drought stress on morphophysiological parameters of Kochia scoparia in field and greenhouse conditions. Ph.D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. 127 pages. (In Persian).`
- Massacci, A., S.M.L. Pietrosanti, S.K. Nematov, T.N. Chernikova, K. Thor, and J. Leipner. 2008. Responses of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology, Biochemistry*. 46: 189-195.
- Mata, C.G, and L. Lamattina. 2001. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology.* 126: 1196–1204.
- Mengel, K., A. Kirkby, H. Kosegarten, and T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition, 5th Edition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academics.
- Mirlouhi, A., N. Great, and M. Basiri. 2001. Effect of different levels of nitrogen on growth, yield and silage quality of three forage sorghum hybrids. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 4(2): 115-105.
- Najafinezhad, H., Z. Tahmasebi Sarvestani, S.A.M. Modarres Sanavy, and H. Naghavi. 2014. Effect of irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer on forage yield, cadmium, nitrogen and some physiological traits of corn and sorghum. *International Journal of Biosciences*. 5(3): 234-245.
- Naseri, M., M. Khalatbari, and F. Paknejad. 2012. Evaluation the effect of different ranges zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Var. Kimiya under water deficit stress. *Annals of Biological Research*.7: 3547-3550.
- Nayar, H., and D. Gupta. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Experimental Botany.* 58: 106-113.
- Paknejad, F., E. Majidi heravan, Q. Noor mohammadi, A. Siyadat, and S. Vazan. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 5(4): 162-169.
- Sairam, R.K, and G.C, Srivastava. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long-term salt stress. *Journal of Plant Science.* 162: 897–904.
- Salehi, M. 2010. Effect of salinity and water deficit on quantitative and qualitative production and physiological characteristics of Kochia Scoparia. Ph.D. Thesis Ferdowsi University of Mashhad. 189 pp. (In Persian).
- Schlemmer, M.R., D.D. Francis, J.F. Shanahan, and J.S. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*. 97: 106 -112.

- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, P. Manivannan, R. Panneerselvam, and M.A. Shao. 2009. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the eco-environment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*. 29: 131-151.
- Tambussi, E.A., C.G. Bartoli, J. Bettran, J.J. Guiamet, and J.C. Araus. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*. 108: 398-404.
- Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovi, and O. Gasparikora. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize. *Plant Soil Environment.* 52(4): 186-191.
- Yamada, M., H. Morishita, K. Urano, N. Shiozaki, K. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki, and Y. Yoshiba, and Y. 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany*. 56: 1975-1981.

Variation of Forage Yields and some Agronomic and Physiological Characteristics of Kochia, Millet, Sorghum and Maize under Drought Stress

Hamid Najafinezhad[1*], Seyed Zabihollah Ravari[1], and Mohammad Ali Javaheri[1]

Received: May 2019 , Revised: 10 October 2019, Accepted: 3 November 2019

Abstract

To determine resistance of four species forage crops to drought stress an experiment was conducted for two years (2016-2017) in Kerman – Iran. In this study a randomized complete block design arranged in a split plot experiment with four replications was used. Drought stress treatments consisted of normal, moderate and severes drought levels (80, 130 and 180 mm cumulative pan evaporation respectively) were assigned to main plots and four forage plant types (maize, kochia, millet and sorghum) to subplots. Results indicated that with increasing of drought stress, leaf relative water content decreased but MDA (malondialdehyde) content increased. Among the four forage plants under study, kochia had the lowest MDA content. Chlorophyll a under moderate and severe drought stresses decreased by 16.3% and 20.7% respectively, as compared to normal drought. Kochia, in both years and under all levels of drought stresses, had the highest sodium percent in shoots. Sorghum had the highest amount of potassium content in shoot, as compared to other plants under severe and moderate levels of drought stresses. Sorghum produced the highest the forage yield at all levels of drought stresses and it produced highest fresh and dry (101241 $kg.ha^{-1}$ and 30181 $kg.ha^{-1}$) respectively under normal irrigation. Increasing drought stress resulted in the reduction of forage yield of all plant under study but yield reduction in kochia was lower than the yield of other plants. Millet and kochia with %11.9 and %9.82 crude protein contents respectively produced higher crude protein contents in this respect. Based on the results of this study, sorghum produced highest forage yield, millet good quality forage and kochia was the most tolerant plant to drought stress condition.

Key words: Chlorophyll, Drought stress, Forage crops, Malondialdehyde, Yield.

1- Agricultural and Horticultural Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran.
**Corresponding Author: hnajafinezhad@yahoo.com*