



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

نشریه تولید گیاهان زراعی  
جلد یازدهم، شماره اول، بهار ۹۷  
۱۴۰-۱۳۷

<http://ejcp.gau.ac.ir>  
DOI: 10.22069/EJCP.2018.12928.2005



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

## تأثیر مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم بر برخی از صفات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) در رژیم‌های مختلف آبیاری

مریم فرهمندفر<sup>۱</sup>، \* پیمان شریفی<sup>۲</sup> و محمدنقی صفرزاده ویشکایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران،

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** تنش خشکی باعث کاهش رشد گیاه از طریق اختلال در فتوسنتز و فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد می‌شود. وجود مقدار کافی از پتاسیم، برای مقاومت به خشکی در گیاه حیاتی است و سبب افزایش ثبات غشای سلولی، رشد ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان در شرایط تنش خشکی و نیز بهبود جذب آب و حفاظت از آب می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر کم آبیاری و پتاسیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و نقش تعدیل‌کنندگی پتاسیم در مقابله با اثرات کم آبیاری بود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش حاضر در شهرستان ورامین در تابستان سال ۱۳۹۰ انجام شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل دو رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (آبیاری کامل و کم آبیاری به‌ترتیب پس از ۷۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و کود سولفات پتاسیم ( $K_2SO_4$ ) حاوی ۵۲ درصد  $K_2O$  به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. رقم ذرت مورد استفاده در این آزمایش، رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود.

**یافته‌ها:** کم آبیاری (آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) سبب کاهش ۱۶، ۴۱، ۳۶، ۳۳ و پنج درصدی صفات تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع استقرار بلال از سطح زمین، شاخص سطح برگ و مقدار پروتئین در مقایسه با شرایط آبیاری کامل (آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) شد. استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم سبب افزایش نه درصدی میزان پروتئین در مقایسه با عدم استفاده از سولفات پتاسیم شد. بیشترین میزان شاخص سطح برگ با استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به‌دست آمد، که افزایش هشت درصدی را نشان می‌داد. در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، کم آبیاری سبب کاهش ۵۸، ۳۳، ۲۹ و ۲۷ درصدی عملکرد علوفه تر و ۵۹، ۴۲، ۳۹ و ۲۸ درصدی عملکرد علوفه خشک، در مقایسه با شرایط آبیاری کامل شد. در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری، با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد علوفه تر به‌ترتیب به میزان ۱۷ و ۹۸ درصد و عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب به میزان ۳۸ و ۱۰۵ درصد در

\*مسئول مکاتبه: [peyman.sharifi@gmail.com](mailto:peyman.sharifi@gmail.com)

مقایسه با شرایط عدم استفاده از سولفات پتاسیم افزایش یافت و با افزایش بیشتر میزان سولفات پتاسیم از میزان این صفات به طور معنی داری کاسته شد. حداکثر عملکرد علوفه تر و خشک در شرایط آبیاری کامل (۷۸۷۴۹ و ۲۶۹۳۳ کیلوگرم در هکتار) و کم آبیاری (۵۵۸۲۸ و ۱۶۵۲۲ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به دست آمد. در شرایط آبیاری کامل، اختلاف بین سطوح صفر و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار برای عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب به میزان ۱۱۴۴۹ و ۲۷۱۹۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در شرایط کم آبیاری، اختلاف بین تیمارهای صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به ترتیب برای عملکرد علوفه تر و خشک برابر با ۷۵۱۵ و ۸۳۸۶ کیلوگرم در هکتار بود.

**نتیجه گیری:** با افزایش مقدار سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط کم آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، شیب تندتر افزایش عملکرد علوفه خشک (به ترتیب برابر با ۴/۲۴ و ۳/۶۷) و تر (به ترتیب برابر با ۱۴/۸۴ و ۵/۶۱) مشاهده شد. همچنین شیب کندتر کاهش عملکرد علوفه خشک (به ترتیب برابر با ۲/۳۱- و ۷/۱۹-) و تر (به ترتیب برابر با ۹/۹۹- و ۱۰/۱۵-) با افزایش میزان کود سولفات پتاسیم از ۱۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، در شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل نشان از نقش تعدیل کننده کود سولفات پتاسیم در مقابله با کم آبیاری در ذرت داشت.

**واژه های کلیدی:** آبیاری، تنش خشکی، ذرت علوفه ای، سولفات پتاسیم

#### مقدمه

ذرت یکی از گیاهان چهار کربنه با توان تولید ماده خشک بالا است که علاوه بر استفاده برای مصارف دانه ای، برای تولید علوفه غیر مرتعی نیز مورد استفاده قرار می گیرد و دانه آن به مصرف تغذیه طیور و بخش های هوایی آن پس از برداشت در مرحله شیرگی شدن دانه، برای تولید علوفه سیلویی مصرف می شود (۱۵).

تنش خشکی یکی از مهم ترین و شایع ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می آید. در شرایط تنش خشکی میزان فتوسنتز گیاه به علت محدودیت های روزنه ای و غیر روزنه ای کاهش می یابد. عوامل غیر روزنه ای در کاهش فتوسنتز در شرایط تنش شدید خشکی بسیار مهم هستند، در حالی که در شرایط تنش ملایم، محدودیت های روزنه ای مهم ترین عامل تأثیرگذار بر فتوسنتز خالص هستند (۱). تنش خشکی همچنین

می تواند سطح برگ، سرعت تعرق و انباشت ماده خشک کل را با توجه به ریزش برگ ها کاهش دهد که این امر به نوبه خود منجر به کاهش تجمع ماده خشک نهایی می شود (۲۶). محدودیت تثبیت کربن ناشی از بسته شدن روزنه ها و کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی، متابولیسم کربوهیدرات و فرآیند توزیع ماده خشک را مختل می کند (۱۰). مطالعات متعددی نشان داده اند که عملکرد دانه و علوفه ذرت در شرایط تنش خشکی کاهش می یابد (۱۲، ۱۴ و ۱۹).

یکی از مباحث عمده در زمینه افزایش محصولات زراعی، فراهم آوردن شرایط مساعد برای رشد آنها می باشد. برای رسیدن به عملکرد بالای ذرت علوفه ای باید ترکیب مناسبی از مواد غذایی در اختیار گیاه قرار گیرد. در بین عناصر پرمصرف، پتاسیم (K)، از مهم ترین عناصر مورد نیاز گیاه ذرت بوده و نیاز غذایی این گیاه به این عنصر در حد بالایی است

می‌یابد (۳۰)، در صورتی که کاربرد پتاسیم میزان کاهش فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو و تجمع و تخصیص مواد خشک را تعدیل می‌کند (۲۹). تعدادی از محققان به نقش تعدیل‌کننده پتاسیم بر اثرات ناشی از تنش خشکی در ذرت (۴، ۹، ۱۶ و ۲۸) و سایر گیاهان زراعی نظیر لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (۲۴)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (۵)، کلزا (*Brassica napus* L.) (۳)، آلیمو (*Citrus macrophylla* L.) (۱۰)، برنج (*Oryza sativa* L.) (۱۸) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (۱۷) اشاره نموده‌اند.

با توجه به قرارگیری کشور ایران روی کمربند خشک جهان، احاطه بیشتر سطح آن توسط مناطق خشک و نیمه‌خشک و کمبود بارش در این مناطق و همچنین اهمیت ذرت در تأمین نیازهای علوفه‌ای و دانه‌ای، هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر کم آبیاری و پتاسیم بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و نقش تعدیل‌کننده پتاسیم در مقابله با اثرات کم آبیاری می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در مزرعه‌ای واقع در شهرستان ورامین، با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و به ارتفاع ۹۱۸ متر از سطح دریا در تابستان سال ۱۳۹۰ انجام شد. نتایج تجزیه خاک در جدول (۱) آمده است.

(۲۱). کمبود پتاسیم موجب بروز اختلال در عمل فتوسنتز و در نتیجه منجر به کوچک و ضعیف شدن گیاه می‌شود (۱). پتاسیم یک ماده مغذی ضروری و فراوان‌ترین کاتیون است که نقش زیادی در رشد گیاه و تقریباً تمام فعالیت‌های مربوطه ایفا می‌کند (۵). تعدادی از محققان به نقش پتاسیم بر افزایش تولید در ذرت اشاره نموده‌اند و نشان داده‌اند که نیاز غذایی ذرت در مقایسه با سایر گیاهان زراعی از نظر پتاسیم در سطح بالاتری قرار دارد (۳، ۲۶ و ۲۹). فواید یون پتاسیم در طی تنش خشکی، از طریق اثرات آن روی پتانسیل اسمزی برگ، پتانسیل آماس، اندازه سلول، ظرفیت آب برگ، تنظیم اسیدیته سلول، ساخت پروتئین‌ها و شرکت در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها، افزایش ثبات غشای سلولی، رشد ریشه، سطح برگ و وزن خشک کل گیاه در شرایط تنش خشکی و نیز بهبود جذب و نگهداری آب (۱۳)، افزایش راندمان بهره‌وری آب و تجمع مواد خشک (۲۸) و بهبود هدایت هیدرولیکی آوند چوبی و فعالیت روزنه و تبادل گاز (۳۰) می‌باشد. همچنین مقدار کافی پتاسیم، تعدیل‌کننده خسارت ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال<sup>۱</sup> است که تحت شرایط تنش خشکی القاء می‌گردند (۲۷). ریشه از طریق افزایش رشد طولی و افزایش ترشح یک ماده ژلاتینی با ظرفیت بالای نگهداری آب (موسیلاژ) می‌تواند تا حدودی اثرات تنش خشکی را بی‌اثر کند. وجود پتاسیم کافی یکی از راه‌کارهای افزایش طول ریشه در خاک خشک است (۱۳). همچنین ملاحظه شده است که فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، غلظت CO<sub>2</sub> بین سلولی، فعالیت آنزیم روبیسکو<sup>۲</sup>، تولید آسیمیلات‌های نوری و تخصیص مواد تولیدی به اندام‌ها در گیاهان تحت تنش خشکی در شرایط عدم استفاده از پتاسیم کاهش

1. Reactive Oxygen Species, ROS

2. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of the tested soil.

منگنز Manganese (mg kg <sup>-1</sup> )	روی Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	مس Copper (mg kg <sup>-1</sup> )	آهن Iron (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم Available Potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر قابل جذب Available Phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	نیترژن (درصد) Total Nitrogen (%)
1.64	1.51	0.57	5.7	125	9.0	0.21
بافت خاک Soil texture	رس Clay%	شن Sand%	سیلت Silt%	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )	کربن آلی Organic carbon (%)
رسی Clay	53	22	25	7.8	0.63	0.65

یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر با طول چهار متر و فاصله بوته‌ها بر روی خطوط ۱۰ سانتی‌متر بود. با توجه به بررسی منابع (۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۹) جهت تأمین تراکم مطلوب از فواصل فوق استفاده شد. هر کرت شامل هشت خط کاشت بود. کاشت بذور در وسط پشته‌ها و در عمق سه تا پنج سانتی‌متری سطح خاک در ۲۴ تیرماه انجام و اولین آبیاری در ۲۷ تیرماه صورت گرفت. رطوبت خاک با استفاده از تانسیومتر و بلوک‌های گچی اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری<sup>۱</sup> تعیین شدند. هم‌زمان با کاشت، تانسیومترها و بلوک‌های گچی نیز در عمق ۳۵ سانتی‌متری زمین نصب شدند. مقدار آب آبیاری از طریق کنتور آب نصب شده در محل انتقال آب به مزرعه با دقت ۰/۱ لیتر اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به ترتیب ۳۲ و ۱۴ درصد بود. همچنین رطوبت وزنی خاک در زمان کاشت ۲۱ درصد بود. نیاز آبی گیاه با استفاده از تشتک تبخیر محاسبه و تبخیر روزانه از تشتک اندازه‌گیری و بر اساس آن آبیاری انجام شد. حجم آب ورودی به کرت با کنتور کنترل شد.

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار انجام شد که در آن آبیاری به عنوان عامل اصلی در دو سطح (آبیاری کامل و کم آبیاری) و کود سولفات پتاسیم (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) حاوی ۵۲ درصد K<sub>2</sub>O به عنوان عامل فرعی در چهار سطح (شاهد (بدون مصرف کود)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در شرایط آبیاری کامل، پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و در شرایط کم آبیاری، پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، آبیاری صورت گرفت (۲). با توجه به نتایج آزمایش خاک، مقدار کود سولفات پتاسیم توصیه شده توسط آزمایشگاه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، که سایر سطوح هم بر اساس آن تعیین شدند. رقم ذرت مورد استفاده در این آزمایش، رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. انتخاب این رقم بر آن اساس انجام شد که رقم فوق یکی از هیبریدهای دومنظوره می‌باشد (مصرف علوفه‌ای و دانه‌ای) و برای کلیه نقاط ایران به جز نقاط سرد و کوهستانی قابل توصیه است و در صورتی که برای علوفه کشت شود، ۵۰ تا ۸۰ تن در هکتار علوفه تولید می‌کند (۲۳). علاوه بر این، در بسیاری از تحقیقات داخلی از این رقم برای تولید علوفه استفاده شده است (۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۹). اضافه کردن کود سولفات پتاسیم هم‌زمان با کاشت انجام شد. در شروع آزمایش، ابتدا زمین کاملاً شخم زده شد، سپس تسطیح گردید. فاصله خطوط کاشت از

1. Pressure Plate

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. در مورد صفاتی که اثرات متقابل معنی‌دار نشده بودند، اقدام به مقایسه میانگین‌های صفات در سطوح رژیم آبیاری و کود سولفات پتاسیم گردید، اما برای صفاتی با اثرات متقابل معنی‌دار، ابتدا برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد و سپس مقایسه سطوح کود سولفات پتاسیم در هر سطح رژیم آبیاری انجام گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری بر تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، تعداد ردیف در بلال، ارتفاع بلال از سطح زمین، شاخص سطح برگ، تعداد روز تا ظهور گل‌آذین، محتوای نسبی کلروفیل (عدد SPAD)، میزان پروتئین و وزن تر و خشک علوفه معنی‌دار بود. اثر کود سولفات پتاسیم بر شاخص سطح برگ، طول بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد روز تا ظهور گل‌آذین (تاسل)، میزان پروتئین و عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار بود. اثر متقابل دو عامل بر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع بلال از سطح زمین، شاخص سطح برگ، عدد SPAD و میزان پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۲).

صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، ارتفاع بلال از سطح زمین، تعداد ردیف در بلال، شاخص سطح برگ، تعداد روز تا ظهور گل‌آذین و میزان پروتئین بود. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی کلروفیل برگ<sup>۱</sup> (عدد SPAD) از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل: Minolta SPAD-52 ساخت ژاپن)، در سه قسمت برگ بلال شامل ابتدا، وسط و انتها و در سه بوته از هر کرت در زمان ظهور گل‌آذین نر استفاده شد و سپس میانگین آن برای کرت موردنظر ثبت شد (۲۰). در مرحله ظهور گل‌آذین نر که سطح برگ (LA) حداکثر است، سطح برگ از حاصل‌ضرب بیشترین عرض در طول برگ در ضریب ۰/۷۵ در سه بوته انتخاب شده به‌صورت تصادفی از ردیف‌های وسط اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ (LAI) از تقسیم سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط آن و با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه گردید (۲۲):

یک مترمربع سطح کرت / LA = LAI

مقدار نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌جلدال اندازه‌گیری شد (۶) و با استفاده از ضریب ۶/۲۵ مقدار پروتئین برآورد شد (۷). با نمونه‌برداری از خطوط وسطی هر کرت و اندازه‌گیری وزن کل بوته‌ها، عملکرد علوفه تازه اندازه‌گیری شد و بعد از محاسبه برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک علوفه، نمونه برداشت‌شده در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و پس از خشک شدن توزین شد و سپس به کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برداشت برای تولید علوفه در مرحله شیری شدن دانه انجام گرفت (۱۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر رژیم آبیاری و مقدار سولفات پتاسیم بر صفات ذرت علوفه‌ای.

Table 2. Analysis of variance of effects of irrigation regime and potassium sulphate rates on forage corn traits.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)					
		تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع بلال از سطح زمین Ear height from the ground	قطر ساقه Stem diameter	طول بلال Ear length	تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear
Replication بلوک	5	7.77 <sup>ns</sup>	65.36 <sup>ns</sup>	20.67 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	2.39 <sup>ns</sup>	3.99 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation (I)	1	100.34 <sup>**</sup>	7553.09 <sup>**</sup>	10134.38 <sup>**</sup>	38.79 <sup>**</sup>	170.96 <sup>**</sup>	24.36 <sup>**</sup>
E1 خطای فرعی	5	3.35	68.39	13.83	0.15	1.23	1.12
پتاسیم Potassium (K)	3	0.39 <sup>ns</sup>	139.39 <sup>ns</sup>	12.09 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	1.85 <sup>ns</sup>	5.05 <sup>**</sup>
آبیاری × پتاسیم I × K	3	0.27 <sup>ns</sup>	212.62*	8.67 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	2.10 <sup>ns</sup>	3.77 <sup>ns</sup>
E2 خطای آزمایشی	30	1.32	66.36	8.76	0.04	0.77	0.62
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.95	4.00	2.89	5.41	5.79	5.82
Replication تکرار	5	0.29 <sup>ns</sup>	6.03 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	278632 <sup>ns</sup>	1512076 <sup>ns</sup>
آبیاری (I)	1	33.45 <sup>**</sup>	761.69 <sup>**</sup>	60.97 <sup>**</sup>	2.59 <sup>**</sup>	1182031768 <sup>**</sup>	10821232424 <sup>**</sup>
E1 خطای اصلی	5	0.25	5.12	0.51	0.37	1138020 <sup>**</sup>	7758390 <sup>**</sup>
پتاسیم Potassium (K)	3	0.55*	4.63 <sup>ns</sup>	4.25 <sup>**</sup>	1.33 <sup>**</sup>	143158140 <sup>**</sup>	945092248 <sup>**</sup>
آبیاری × پتاسیم I × K	3	0.22 <sup>ns</sup>	4.77 <sup>ns</sup>	5.62 <sup>**</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	4937464 <sup>**</sup>	171817536 <sup>**</sup>
E2 خطای آزمایشی	30	0.18	4.21	0.30	0.07	711990	6211190
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.44	4.78	2.57	3.28	4.62	4.18

ns: غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.  
ns: not significant at 5% probability level, \* and \*\* significant at 5 and 1% probability level, respectively.

پیری برگ کاهش می‌دهد (۱۳). از دیگر دلایل کاهش سطح برگ در گیاهان تحت تنش خشکی می‌تواند اختلال در فرآیند جذب نیتروژن باشد. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر کاهش پروتئین اندام‌های رویشی تحت تأثیر تنش خشکی، گزارش‌هایی در ذرت (۱۶) و گلرنگ (۵) ارائه شده است. دلیل کاهش نیتروژن در نتیجه تنش خشکی می‌تواند ناشی از این باشد که کمبود رطوبت سبب کاهش سرعت انتشار و جریان توده‌ای و در نتیجه کاهش میزان انتقال یون آمونیوم و نترات به سطح ریشه می‌شود که منجر به عدم دریافت نیتروژن کافی توسط گیاه و کاهش غلظت آن در بافت‌های گیاه می‌گردد (۳۰). از دیگر

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع استقرار بلال داده شود. سطح زمین، شاخص سطح برگ و مقدار پروتئین در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و کم آبیاری به ترتیب سبب کاهش ۱۶، ۴۱، ۳۶، ۳۳ و پنج درصدی صفات فوق شد (جدول ۴). این نتیجه در تطابق با یافته‌های شریستا (۲۰۰۶) و مجلسی و قلی‌زاده (۲۰۱۳) بود (۲۵، ۱۶). از آنجا که فرآیندهای رشد و توسعه برگ تحت تأثیر هر گونه کمبود آب می‌باشد، کمبود رطوبت سبب کاهش طول، عرض و سطح برگ و تسریع و تشدید ریزش برگ‌ها می‌گردد و در نتیجه به‌طور قابل توجهی کل سطح برگ را از طریق افزایش

دلایل کاهش پروتئین، تخریب آن‌ها در طول تنش است، به نحوی که رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث تخریب اکسیداتیو پروتئین‌ها می‌شوند که این تخریب در جایگاه خاصی از آمینواسیدها رخ می‌دهد (۲۷). بیشترین محتوای نسبی کلروفیل (عدد SPAD) در شرایط کم آبیاری (با افزایش ۲۰ درصدی در مقایسه با آبیاری کامل) حاصل شد. افزایش عدد SPAD در شرایط کم آبیاری می‌تواند به علت کاهش سطح برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد (۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از صفات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای تحت دو رژیم آبیاری.

Table 3. Mean comparisons of some of qualitative and quantitative traits of forage corn under two irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation regime	تعداد برگ Number of leaves	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	ارتفاع بلال از سطح زمین (سانتی‌متر) Ear height from the ground (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	محتوای نسبی کلروفیل SPAD	میزان پروتئین (درصد) Protein content (%)
آبیاری کامل Full irrigation	17.98 <sup>a</sup>	4.43 <sup>a</sup>	81.66 <sup>a</sup>	4.96 <sup>a</sup>	38.96 <sup>b</sup>	8.77 <sup>a</sup>
کم آبیاری Deficit irrigation	15.09 <sup>b</sup> (16)	2.63 <sup>b</sup> (41)	52.60 <sup>b</sup> (36)	3.30 <sup>b</sup> (33)	46.92 <sup>a</sup> (-20)	8.31 <sup>b</sup> (5)

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد است. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد کاهش صفت در شرایط کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل می‌باشند.

The common letters indicated non-significant differences between irrigation regimes at 5% probability level. The numbers in parentheses indicated the percentage of decrease a trait in deficit irrigation condition compared to full irrigation.

عدم مصرف کود سولفات پتاسیم به دست آمد و با افزایش کود سولفات پتاسیم بر میزان این صفت افزوده شد، به طوری که بیشترین میزان آن با استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به دست آمد، که افزایش هشت درصدی را نشان می‌داد. در تطابق با این نتیجه عنوان شده است که پتاسیم به‌عنوان یک عامل ایجادکننده فشار اسمزی و سهیم در تورم سلولی و مؤثر برای توسعه سلول می‌باشد که حضور آن برای توسعه سطح برگ در گیاه ضروری است (۳).

کمترین میزان پروتئین در شرایط عدم استفاده از سولفات پتاسیم حاصل شد و استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم سبب افزایش نه درصدی آن شد، به طوری که بیشترین میزان آن در این شرایط مشاهده شد و از آن‌پس با افزایش کود سولفات پتاسیم از میزان پروتئین به صورت غیر معنی‌دار کاسته شد. در این راستا، گزارش شده است که کاهش غلظت نیتروژن در گیاه با افزایش مصرف پتاسیم می‌تواند ناشی از افزایش وزن خشک گیاه باشد (۲۸). همچنین کمترین میزان شاخص سطح برگ در شرایط

جدول ۴- مقایسه میانگین محتوی پروتئین و شاخص سطح برگ ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم.

Table 4. Mean comparisons of protein content and leaf area index of forage corn by Potassium sulphate fertilizer.

کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulphate fertilizer (kg ha <sup>-1</sup> )	میزان پروتئین (درصد) Protein content (%)	شاخص سطح برگ Leaf area index
0	8.05 <sup>b</sup>	4.03 <sup>b</sup>
50	8.79 <sup>a</sup>	4.10 <sup>b</sup>
100	8.68 <sup>a</sup>	4.17 <sup>ab</sup>
150	8.66 <sup>a</sup>	4.35 <sup>a</sup>

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر کود سولفات پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد است.

The common letters indicated non-significant differences between potassium sulphate fertilizer rates at 5% probability level.

هکتار سولفات پتاسیم حاصل شد، که در مقایسه با شاهد عدم مصرف سولفات پتاسیم افزایش شش درصدی داشت. اثر کود سولفات پتاسیم بر تعداد ردیف در بلال در شرایط کم آبیاری معنی دار نبود، در صورتی که در شرایط آبیاری کامل با افزایش میزان سولفات پتاسیم از صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر تعداد ردیف در بلال به میزان ۱۹ درصد افزوده شد و از آن پس از میزان این صفت به طور معنی داری کاسته شد. با وجود آنکه در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری بیشترین تعداد روز تا ظهور گل آذین نر با استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم حاصل شد، اما در دو شرایط، تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر این صفت متفاوت بود، به طوری که در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری در تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در مقایسه با عدم مصرف کود به ترتیب افزایش چهار و سه درصدی در تعداد روز تا ظهور گل آذین نر ملاحظه شد.

نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، افزایش مصرف سولفات پتاسیم تأثیر معنی داری بر افزایش ارتفاع بوته نداشت. در شرایط کم آبیاری با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته به طور معنی داری و به میزان پنج درصد در مقایسه با شرایط عدم مصرف سولفات پتاسیم افزایش یافت، در حالی که مصرف بیشتر سولفات پتاسیم اثر معنی داری بر ارتفاع بوته در این شرایط نداشت. در تطابق با این نتیجه فرشاد و ملکوتی (۲۰۰۳) گزارش کردند که مصرف سولفات پتاسیم در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته ذرت را افزایش داد (۸). در شرایط آبیاری کامل، با افزایش میزان سولفات پتاسیم از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بر میزان طول بلال افزوده شد و بیشترین میزان طول بلال با استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به دست آمد، به طوری که افزایش طول بلال در این تیمار در مقایسه با تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم ۱۰ درصد بود. در شرایط کم آبیاری، بیشترین میزان طول بلال با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در

جدول ۵- تأثیر برهم کنش رژیم آبیاری و کود سولفات پتاسیم بر برخی از صفات ذرت علوفه‌ای.

Table 5. Interaction effects of irrigation regime and potassium sulphate fertilizer on some of forage corn traits.

رژیم آبیاری Irrigation regime	کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulphate fertilizer (kg ha <sup>-1</sup> )	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول بلال (سانتی‌متر) Ear length (cm)	تعداد ردیف در بلال Number of rows in ear	تعداد روز تا ظهور گل آذین Days to tassel emergence
آبیاری کامل Full Irrigation	0	212.49 <sup>a</sup>	16.11 <sup>c</sup>	13.17 <sup>c</sup>	52.70 <sup>c</sup>
	50	219.03 <sup>a</sup>	16.83 <sup>b</sup>	14.87 <sup>b</sup>	55.07 <sup>a</sup>
	100	218.43 <sup>a</sup>	17.44 <sup>a</sup>	15.63 <sup>a</sup>	53.62 <sup>b</sup>
	150	214.34 <sup>a</sup>	17.80 <sup>a</sup>	13.30 <sup>c</sup>	52.82 <sup>bc</sup>
کم آبیاری Deficit irrigation	0	185.35 <sup>b</sup>	12.86 <sup>b</sup>	12.67 <sup>a</sup>	50.72 <sup>c</sup>
	50	194.01 <sup>a</sup>	13.48 <sup>a</sup>	12.83 <sup>a</sup>	52.23 <sup>a</sup>
	100	193.19 <sup>a</sup>	13.59 <sup>a</sup>	12.97 <sup>a</sup>	51.33 <sup>b</sup>
	150	191.39 <sup>a</sup>	13.16 <sup>a</sup>	12.80 <sup>a</sup>	50.90 <sup>c</sup>

حروف مشترک در هر سطح آبیاری، بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین مقادیر کود سولفات پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد است.

The common letters in each irrigation condition indicated non-significant differences between potassium sulphate rates at 5% probability level.



از این است که در شرایط تنش خشکی، فشار تورژسانس سلول‌های ساقه در حال رشد طولی کاهش می‌یابد و تولید مواد اصلی حاصل از فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه ارتفاع بوته کاهش می‌یابد، که نتیجه آن کاهش وزن سلول‌ها و عملکرد علوفه‌ی تر می‌باشد (۱). کاهش تعداد ردیف در بلال در نتیجه تنش خشکی ناشی از عقیمی تخمک‌ها در بلال ذرت است (۴).

نتایج نشان داد که کم آبیاری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه تر در تمامی سطوح کود سولفات پتاسیم گردید، به طوری که در شرایط کم آبیاری، در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، عملکرد علوفه تر به ترتیب به میزان ۵۸، ۳۳، ۲۹ و ۲۷ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری کامل کاهش یافت. با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، در شرایط آبیاری کامل، عملکرد علوفه تر به میزان ۱۷ درصد افزایش یافت، به طوری که از ۶۷۵۲۶ کیلوگرم علوفه تر در هکتار به ۷۸۷۴۹ کیلوگرم در هکتار رسید. مصرف بیشتر سولفات پتاسیم منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه تر به میزان ۱۳ درصد گردید. در شرایط کم آبیاری، با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد علوفه تر به میزان ۹۸ درصد افزایش یافت، به طوری که از ۲۸۱۴۹ کیلوگرم در هکتار (در شرایط عدم مصرف کود سولفات پتاسیم) به ۵۵۸۲۸ کیلوگرم در هکتار رسید. افزایش مصرف سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) منجر به کاهش عملکرد علوفه تر به میزان ۱۱ درصد گردید. با توجه به مقادیر خطای معیار استاندارد (SE) و همچنین حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) (شکل ۱) ملاحظه می‌شود که در شرایط آبیاری کامل بین سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم

بررسی اثر آبیاری در هر سطح کود سولفات پتاسیم نشان داد که در تمام سطوح کود سولفات پتاسیم، بین آبیاری کامل و کم آبیاری از نظر صفات طول بلال، تعداد روز تا ظهور گل‌آذین نر، ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال و عملکرد علوفه تر و خشک اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۵ و شکل‌های ۱ و ۲) و بیشترین میزان صفات فوق در شرایط آبیاری کامل حاصل شد و با اعمال کم آبیاری از مقادیر صفات فوق به طور معنی‌داری کاسته شد. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، شریستا (۲۰۰۶) نشان داد که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی موجب کاهش ارتفاع بوته، ارتفاع بلال از سطح خاک، تعداد برگ، گره و میانگره، وزن خشک پوشش بلال، تعداد ردیف در بلال، عملکرد بیولوژیک و طول بلال در ذرت گردید (۲۵). در این راستا اظهار شده است که کاهش وزن برگ خشک به واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک به عنوان فرایندی برای سازگاری به خشکی به شمار می‌آید (۲۱). کاهش طول بلال در تیمار تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش رشد و تقسیم سلول در شرایط کمبود آب، عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها و در نتیجه تأخیر در مرحله رشد بلال و کاهش مواد پرورده فراهم جهت رشد آن باشد (۱). یکی از دلایل کاهش تعداد روز تا ظهور گل‌آذین می‌تواند ناشی از کاهش تجمع ماده خشک در گیاه در شرایط تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی باشد که سبب تشکیل زودتر گل‌آذین می‌شود (۳۶). علاوه بر این، تسریع در ظهور گل‌آذین به واسطه تنش خشکی را می‌توان به تأثیر تنش خشکی در تسریع مراحل تکامل و ظهور گل‌ها نسبت داد (۲۷). کاهش ارتفاع بوته در نتیجه کم آبیاری ناشی

روزنه‌ای و غلظت  $CO_2$  درون سلولی (۲۸)، کاهش هدایت روزنه‌ای به علت اختلال در پتانسیل اسمزی در سلول‌های نگهبان و کاهش تأمین  $CO_2$  برای کلروپلاست، اختلال در فرآیند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و سنتز پروتئین و جابجایی متابولیت‌ها (۲۶)، کاهش کربوکسیلاسیون و فرآیندهای انتقال الکترون در کلروپلاست (۱) می‌شود. روزنه‌های تا حدی بسته شده نه تنها تعرق را محدود می‌سازند، بلکه جریان دی‌اکسید کربن و به دنبال آن فتوسنتز را نیز کاهش می‌دهند. بسته شدن روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز محدود می‌سازد. این موضوع به علت وجود مقاومت‌های مختلف در سر راه ورود و خروج دی‌اکسید کربن و آب در برگ است (۱۳).

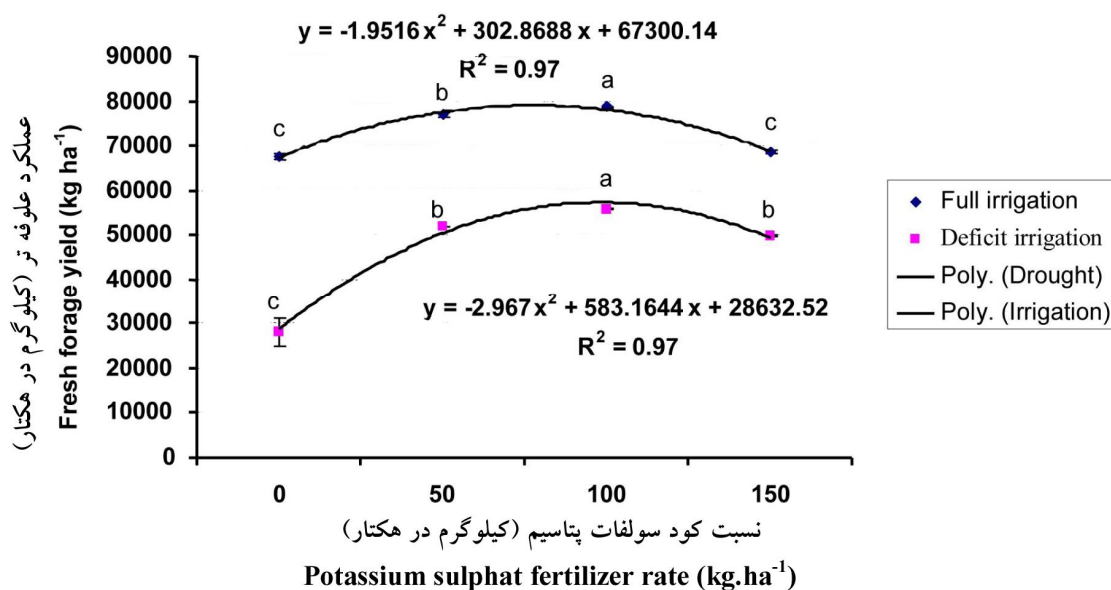
در راستای نقش پتاسیم در تعدیل اثرات تنش خشکی اظهار شده است که گیاهان دچار تنش خشکی اگر پتاسیم کافی در اختیار داشته باشند، به سرعت اقدام به بستن روزنه‌ها می‌کنند که این عمل مانع از خروج مقدار زیادی آب از گیاه می‌گردد. درحالی‌که گیاهانی که مقدار کمی پتاسیم مصرف کرده‌اند، در حرکت روزنه‌های آن‌ها حالت بی‌نظمی دیده می‌شود و زمان زیادی برای بستن روزنه‌های آن‌ها در شرایط تنش رطوبتی نیاز است و در نتیجه گیاه شروع به پژمرده شدن می‌کند و فتوسنتز آن متوقف می‌گردد (۱۰). همچنین گزارش شده است که تحت شرایط تنش خشکی میزان جذب پتاسیم از خاک با توجه به رطوبت کم خاک کاهش می‌یابد، بنابراین، در دسترس بودن مقدار کافی پتاسیم ممکن است برای حفظ رشد مناسب در طول دوره تنش خشکی بهتر باشد (۲۷)؛ بنابراین، برای متحمل‌سازی گیاهان به دوره‌های تنش خشکی، کود دهی پتاسیم به مقدار بالاتر از سطح موردنیاز برای شرایط بدون تنش نیاز است.

از نظر عملکرد علوفه تر اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

بررسی اثرات متقابل سطوح آبیاری و کود سولفات پتاسیم نشان داد که در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در شرایط کم آبیاری عملکرد علوفه خشک به ترتیب به میزان ۵۹، ۴۲، ۳۹ و ۲۸ درصد کاهش یافت. افزایش عملکرد علوفه خشک با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۳۸ و ۱۰۵ درصد بود و مقادیر علوفه خشک در این دو شرایط با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به ۲۶۹۳۳ و ۱۶۵۲۲ کیلوگرم در هکتار رسید. همچنین افزایش مصرف کود سولفات پتاسیم از ۱۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش عملکرد علوفه خشک به میزان ۲۷ و ۱۴ درصد در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری گردید. در تطابق با این نتیجه، مجلسی و قلی‌زاده (۲۰۱۳) نیز کاهش عملکرد علوفه ذرت را تحت تأثیر تنش خشکی گزارش کردند و دلیل کاهش عملکرد علوفه تازه ذرت در شرایط تنش خشکی را به علت کاهش ارتفاع بوته، طول بلال، سطح برگ پرچم و اجزای عملکرد برشمرند (۱۶). تنش خشکی همچنین می‌تواند به‌طور مستقیم از راه تأثیر بر فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی و به‌طور غیرمستقیم از راه کاهش دادن میزان جذب گازکربنیک در اثر انسداد روزنه‌ها، بر فتوسنتز اثر گذارد (۳۰). زمانی که سرعت جذب آب توسط ریشه‌ها از سرعت تعرق کمتر می‌شود، تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه‌ای کاهش یافته و روزنه‌ها شروع به بسته شدن می‌کنند. وظیفه روزنه‌ها کنترل از دست رفتن آب از گیاه از طریق تعرق است (۱). در مجموع محققان نشان داده‌اند که تنش خشکی سبب کاهش سرعت جذب  $CO_2$  خالص در شرایط اشباع نوری، هدایت

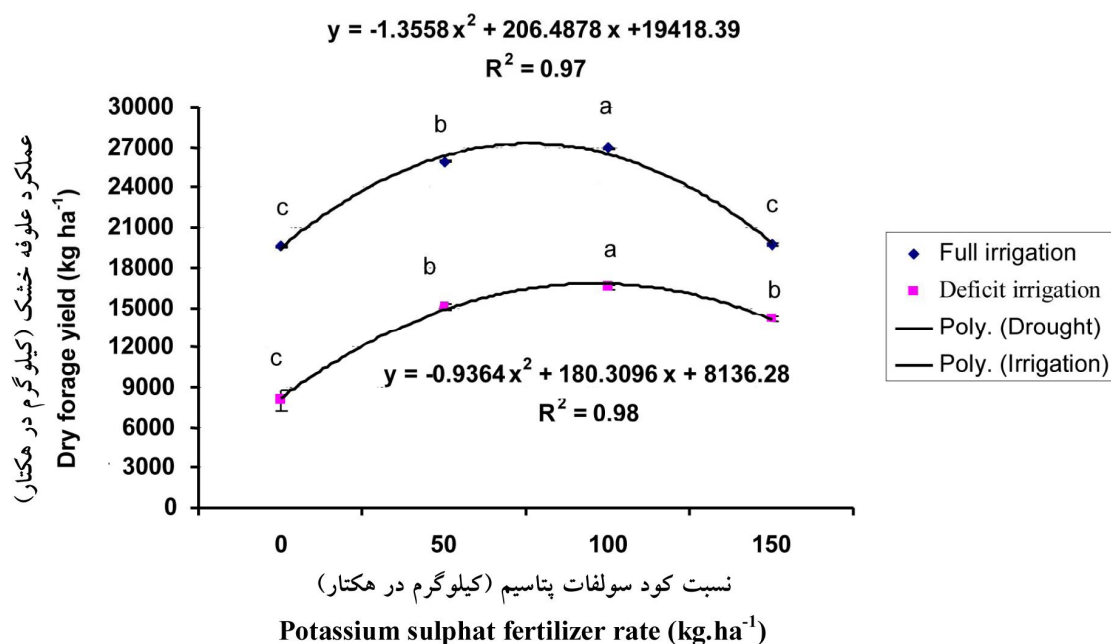
(۲۸)، بهبود هدایت هیدرولیکی آوند چوبی و فعالیت روزنه و تبادل گاز (۲۱)، حفظ جذب CO<sub>2</sub> (۲۷)، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، افزایش تعداد روزنه‌ها و کاهش تعرق (۱) و نقش در سوخت‌وساز اولیه و حمل مواد از ریشه به اندام‌های فوقانی (۳۰)، سبب تعدیل اثرات زیان‌بار تنش خشکی می‌شود. نقش مثبت پتاسیم را در تعدیل و تقلیل اثرات خشکی، به افزایش تولید ماده خشک و انتقال آن به قسمت‌های رویشی نسبت می‌دهند که در نهایت سبب کاهش از دست رفتن عملکرد در اثر تنش خشکی می‌شود (۱). همچنین در این راستا اظهار شده است که در شرایط تنش خشکی، در گیاهان دچار کمبود پتاسیم، روزنه نمی‌تواند به‌درستی عمل کند و رطوبت از طریق تعرق از دست می‌رود که در نتیجه عرضه CO<sub>2</sub> به کلروپلاست کاهش می‌یابد و سرعت جذب CO<sub>2</sub> خالص در نور اشباع‌شده محدود می‌شود (۳۰). وجود عنصر گوگرد در کود سولفات پتاسیم نیز می‌تواند یکی از دلایل بهبود عملکرد علوفه خشک و تر در ذرت و تعدیل اثرات تنش خشکی باشد (۲۴). در راستای تأثیر کاهنده پتاسیم بر صفات مورد مطالعه با افزایش بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اظهار شده است که وقتی غلظت مواد غذایی در گیاه کم باشد، شدت رشد نیز کند خواهد بود و با افزایش قابلیت جذب ماده غذایی، شدت رشد و مقدار ماده غذایی در گیاه نیز زیاد می‌گردد و به میزانی می‌رسد که سطح بحرانی نامیده می‌شود و از آن پس افزایش مقدار ماده غذایی در گیاه باعث افزایش عملکرد نمی‌شود (۱۸).

در مجموع مشاهده شد که با افزایش مقدار سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط کم آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل عملکرد علوفه خشک (به‌ترتیب با شیب خط برابر با ۴/۲۴ و ۳/۶۷) و تر (به‌ترتیب با شیب خط برابر با ۱۴/۸۴ و ۵/۶۱) با شیب تندتری افزایش یافت. همچنین شیب کندتر کاهش عملکرد علوفه خشک (به‌ترتیب برابر با ۲/۳۱- و ۷/۱۹-) و تر (به‌ترتیب برابر با ۹/۹۹- و ۱۰/۱۵-) در شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل با افزایش میزان کود سولفات پتاسیم از ۱۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان از نقش تعدیل‌کننده کود سولفات پتاسیم در مقابله با کم آبیاری در ذرت دارد. به نظر می‌رسد که نقش مثبت سولفات پتاسیم بر عملکرد علوفه تر و خشک در تحقیق حاضر ناشی از اثرات تعدیل‌کننده این کود بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی کلروفیل (عدد SPAD) در شرایط کم آبیاری باشد. در توجیه اثرات کود سولفات پتاسیم بر تعدیل تنش خشکی، اظهار شده است که این کود از طریق اثر روی تنظیم پتانسیل اسمزی برگ، پتانسیل آماس، اندازه سلول، ظرفیت آب برگ، تنظیم pH سلول، ساخت پروتئین‌ها و شرکت در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها، بهبود تجمع ساکارز و انتقال از طریق تنظیم آنزیم‌های سوخت‌وساز کربوهیدرات (۱۳)، افزایش ثبات غشای سلولی، استحکام بافت‌های گیاهی، رشد ریشه، سطح برگ و وزن خشک کل گیاه در شرایط کم آبیاری و نیز بهبود جذب و نگهداری آب (۲۷)، افزایش راندمان بهره‌وری آب و تجمع مواد خشک



شکل ۱- تأثیر برهم کنش رژیم آبیاری و کود سولفات پتاسیم بر عملکرد علوفه تر.

Figure 1. Interaction effects of irrigation regime and potassium sulphate fertilizer on fresh forage yield.



شکل ۲- تأثیر برهم کنش رژیم آبیاری و کود سولفات پتاسیم بر عملکرد علوفه خشک.

Figure 2. Interaction effects of irrigation regime and potassium sulphate fertilizer on dry forage yield.

تعداد روز تا ظهور گل آذین، میزان پروتئین و وزن تر و خشک علوفه شد. در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری بیشترین میزان ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور گل آذین با استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم حاصل شد. بیشترین میزان طول بلال

### نتیجه گیری کلی

در مجموع نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اعمال تنش خشکی سبب کاهش صفاتی مانند تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، تعداد ردیف در بلال، ارتفاع بلال از سطح زمین، شاخص سطح برگ،

در شرایط منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه تر و خشک به میزان ۱۳ و ۲۷ درصد گردید. در شرایط کم آبیاری، با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب به میزان ۹۸ و ۱۰۵ درصد افزایش یافت و افزایش مصرف سولفات پتاسیم به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، منجر به کاهش عملکرد علوفه تر و خشک به میزان ۱۱ و ۱۴ درصد در مقایسه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار گردید.

در شرایط کم آبیاری و تعداد ردیف در بلال در هر دو شرایط با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم تولید شد. همچنین این نتایج نشان داد که کم آبیاری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه تر و خشک در تمامی سطوح کود سولفات پتاسیم گردید. در شرایط آبیاری کامل، با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب به میزان ۱۷ و ۳۸ درصد افزایش یافت. مصرف بیشتر سولفات پتاسیم در این

### منابع

1. Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, Y., Cui, Y., Zahoor, R., Jiang, D., and Dai, T. 2016b. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought tolerant and -sensitive wheat cultivars. *Plant Physiol. Biochem.*, 106: 218-227.
2. Afarinesh, A., Fathi, G., Chugan, R., Syadat, S.A., Alamisaid, G., and Ashrafizadeh, S.R. 2016. Effect of drought stress on physiological traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *J. Crop Prod. Proc.*, 5(18): 195-205. (In Persian)
3. Ali, M., Bakht, J., and Khan, G. 2014. Effect of water deficiency and potassium application on plant growth, osmolytes and grain yield of *Brassica napus* cultivars. *Acta Bot. Croat.* 73(2): 299-314.
4. Aslam, M., Zamir, M.S.I., Afzal, I., and Amin, M. 2014. Role of potassium in physiological functions of spring maize (*Zea mays* L.) grown under drought stress. *J. Animal Plant Sci.*, 24(5): 1452-1465.
5. Azizabadi, E., Golchin, A., and Delavar, M.A. 2014. Effects of Potassium and drought stress on growth indices and nutrients contents in safflower leaves. *Greenhouse Culture Sci. Technol.*, 5: 65-79. (In Persian)
6. Bremner, J.M., and Breitenbeck, G.A. 1983. A simple method for determination of ammonium in semimicro-Kjeldahl analysis of soils and plant materials using a block digester. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 14: 905-913.
7. Cox, W.J., and Cherney, D.J.R. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on Maize silage. *J. Agron.*, 93: 597-602.
8. Farshad, R., and Malakooti, M.J. 2003. Effect of potassium and zinc on quality and quantity of grain maize in Karaj. *J. Soil Water.*, 12: 70-75.
9. Frootan, A., and Yarnia, M. 2015. Effects of soil and foliar applications of potassium sulfate on yield and yield components of maize SC. 704 under different irrigations levels in Iran. *Adv. Environ. Biol.*, 9(4): 382-388.
10. Gimeno, V., Díaz Lopez, L., Simon Grao, S., Martínez, V., Martínez-Nicolas, J.J., and García-Sánchez, F. 2014. Foliar potassium nitrate application improves the tolerance of *Citrus macrophylla* L. seedlings to drought conditions. *Plant Phys. Biochem.*, 83: 308-315.
11. Hajibabaei, M., and Azizi F. 2014. Effect of irrigation regimes on morphophysiological characteristics and yield of forage corn hybrids. *Crop Physiol. J.*, 6(22): 89-100. (In Persian)
12. Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A.H., Hosseini, N., and Rassaei Far, M. 2010. Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. *J. Crop Prod. Res.*, 2(1): 63-74.

13. Hu, W., Yang, J., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., Zhao, W., Oosterhuis, D.M., and Zhou, Z., 2015. Potassium application affects carbohydrate metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll and its relationship with boll biomass. *Field Crops Res.*, 179: 120-131.
14. Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M.H., Rabiee, B., and Kafi Ghasemi, A. 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. *Elect. J. Crop Prod.*, 2(2): 91-110. (In Persian)
15. Khavari Khorasani, S. 2008. Maize. Tehran University Press. 95p. (In Persian)
16. Majlesy, A., and Gholinezhad, E. 2013. Phenotype and quality variation of forage maize (*Zea mays* L.) with potassium and micronutrient application under drought stress conditions. *Res. Field Crop.* 1(2): 44-55. (In Persian)
17. Malek-Mohammadi, M., Maleki, A., Siaddat, S.A., and Beigzade, M. 2013. The effect of zinc and potassium on the quality yield of wheat under drought stress conditions. *Inter. J. Agric. Crop Sci.*, 6(16): 1164-1170.
18. Mohd Zaina, N.A., and Mohd Razi, I. 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. *Agric. Water Manag.*, 164: 83-90.
19. Neisani, S., Fallah, S., and Raiesi, F. 2011. The effect of poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. *J. Sustain. Agric. Prod. Sci.*, 21: 63-75. (In Persian)
20. O'Neill, P.M., Shanahan, J.F., and Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Sci.*, 46(2): 681-687.
21. Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plant.*, 133: 670-681.
22. Rasheed, M., Hussain, A., and Mahnood, T. 2003. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. *J. Agric. Biol.*, 5(2): 169-171.
23. Rastgar, M. 2004. Forage Crop Production. Brahmand Press. 520p. (In Persian)
24. Sharifi, P., Karbalavi, N., and Aminpanah, H. 2014. Effects of drought stress and potassium sulfate fertilizer on green bean yield. *Elect. J. Crop Prod.*, 6(4): 137-149. (In Persian)
25. Shrestha, R., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Turner, D.W., and Speijers, J. 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. *Aust. J. of Agric. Res.*, 57: 427-438.
26. Thalooh, M., Tawfik, M., and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants growth under water stress conditions. *World J. Agric. Sci.*, 2: 37-46.
27. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., and Guo, S. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *Inter. J. Molec. Sci.*, 14: 7370-7390.
28. Zhang, L., Gao, M., Li, S., Alva, A.K., and Ashraf, M. 2014. Potassium fertilization mitigates the adverse effects of drought on selected *Zea mays* cultivars. *Turk. J. Bot.*, 38: 713-723.
29. Zhao, X.H., Yu H.Q., Wen, J., Wang, X.G., Du Q., W.J., and WANG Qiao. 2016. Response of root morphology, physiology and endogenous hormones in maize (*Zea mays* L.) to potassium deficiency. *J. Integ. Agric.*, 15(4): 785-794.
30. Zörb, C., Senbayram, M., and Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture- Status and perspectives. *J. Plant Physiol.*, 171(9): 656-669.