نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هجدهم، شماره ۱(۶۹)، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۳۶-۱۹

مقاله پژوهشی DOI:

اثر کود نیتروژن و سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای تحت تنش کم آبیاری

عبداله غلامی[۱]، عباس ملکی[۲*]، محمد میرزایی حیدری[۳] و فرزاد بابایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر کودهای نیتروژن و سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای تحت تنش کم آبیاری، این آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل با ۴ تکرار در استان ایلام طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. سه سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد یا ۹۰ درصد ظرفیت زراعی)، آبیاری بر اساس ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (۲۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک) و آبیاری بر اساس۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) در کرت‌های اصلی انجام شد. ترکیب فاکتوریل سه سطح نیتروژن از منبع اوره شامل صفر (شاهد) ۱۵۰ و۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و محلول‌پاشی سولفات روی در ۳ سطح صفر، ۲ و ۴ در هزار به عنوان عامل دوم در کرت‌های فرعی تصادفی گردید. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که برهم‌کنش سال×تنش کم آبیاری×محلول‌پاشی سولفات روی و برهم‌کنش سال×تنش کم آبیاری×اوره بر عملکرد تر کل معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال× تنش کم آبیاری، سال×کود نیتروژن، سال× محلول‌پاشی سولفات روی، تنش کم آبیاری× محلول‌پاشی سولفات روی و برهم‌کنش تنش کم آبیاری×کود کود نیتروژن بر غلظت ماده خشک قابل هضم علوفه معنی‌دار بود. عملکرد علوفه تر در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌مقدار ۷۷۷۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد علوفه تر در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۷۸۱۶۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در سطوح آبیاری بر اساس وجود ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۴ در هزار سولفات روی موجب افزایش این شاخص شد، به‌طوری‌که در تیمارهای ذکر شده عملکرد تر به‌ترتیب به‌مقدار ۶۷۴۶۰ و ۴۹۸۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف کود ۳۰۰ کیلوگرم اوره و ۲ در هزار سولفات روی موجب دست‌یابی پروتئین دانه به‌مقدار ۸/۶ درصد شد. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمار ۲ و ۴ در هزار سولفات روی در سطوح مختلف کود نیتروژن، مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و ۲ در هزار سولفات روی دارای عملکرد مناسب و توجیه اقتصادی بوده و به‌عنوان ترکیب برتر برای مقابله با اثر مضر کم آبی انتخاب شد.

واژگان کلیدی: کم آبیاری، خاکستر، پروتئین، عملکرد علوفه، عناصر ریزمغذی.

۱- دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۳- دانشیارگروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

(نگارنده مسئول) maleki97@yahoo.com

مقدمه

با توجه به واقع شدن ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان (Eisapour Nakhjiri *et al.*, 2021) و کمبود آب در این مناطق، احتمال وقوع تنش خشکی در تمامی مراحل رشدی گیاهان وجود دارد. تنش کم آبیاری علاوه بر اثر منفی بر عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها مخصوصاً تنش کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود (Ziaeei *et al.*, 2017). با توجه به شرایط اقلیمی خاص ایران که بیشتر زمین‌های زراعی آن در مناطقی با بارندگی کم قرار دارد و همچنین نبودن امکان افزایش سطح زیر کشت جهت دست‌یابی به‌میزان مورد نیاز از محصولات زراعی، لازم است که توجه ویژه‌ای به مسئله افزایش عملکرد در واحد سطح شود (Maleki *et al.*, 2020). گیاهان موجود در این مناطق، در مراحل مختلف رشد خود در معرض تنش خشکی هستند؛ از طرفی عناصر غذایی می‌توانند در مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی نقش به‌سزایی داشته باشند. میزان عناصر غذایی موجود در خاک برای جذب ریشه و انتقال عناصر غذایی از ریشه به ساقه به‌دلیل کمبود رطوبت خاک کاهش می‌یابد (Coblentz *et al.*, 2017) و باعث کاهش نسبت تعرق، انتقال فعال و نفوذپذیری غشا می‌شود، بنابراین کاهش دسترسی به عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودیت رشد گیاه در شرایط تنش به شمار می‌آید (Fathi and Bahamin, 2018). محققان علت اختلاف عملکرد بین تیمارهای مختلف آبی را به کاهش پتانسیل فشاری، هدایت روزنه‌ای و میزان نسبی آب برگ در حالت تنش آبی نسبت می‌دهند که سبب افت شدت رشد برگ‌ها و ریشه به علت توسعه و انبساط کمتر سلول‌ها می‌گردد (Maleki *et al.*, 2020).

مصرف به اندازه‌ی کودهای شیمیایی در زمان کاشت و طی رشد گیاه موجب حاصل‌خیزی خاک و تولید بیشتر محصول می‌شود. در صورت وجود مقدار کافی نیتروژن در خاک (Lotfi *et al.*, 2018)، گیاهان زراعی دارای رشد رویشی، سطح برگ بیشتر و عملکرد مناسب خواهند بود (Hamidy, 2016). به‌کارگیری روش‌های مختلفی در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی در امر تولید و افزایش عملکرد کیفی و کمی این محصولات حایز اهمیت است. یکی از راهکارهای افزیش عملکرد کوددهی است. از طرفی برخی عوامل همچون عناصر غذایی و کوددهی بر تغییر وضعیت گیاه در حالت تنش خشکی مؤثر بوده و کودهای نیتروژن و فسفر از آن قبیل هستند (Fan *et al.*, 2014). وسعت زیادی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌دلیل آهکی بودن (Dawoudian *et al.*, 2021) دارای کمبود عناصر ریزمغذی (Esfandiari and Abdoli, 2017)، به‌ویژه روی می‌باشند (Bahamin *et al.*, 2019). در صورتی‌که میزان روی خاک کمتر از ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم باشد یا غلظت آن در گیاه ذرت از ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمتر باشد، گیاه دچار کمبود روی می‌شود (Budakli-Carpici *et al.*, 2011). روی، عنصر کم مصرف بسیار مهمی است که وجود آن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری است. عنصر روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگه‌داری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ نقش دارد (Ashkiani *et al.*, 2020). کمبود آن می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و

در نهایت کاهش کیفیت و کمیت محصول را در پی داشته باشد (Candan *et al.*, 2018). با کاهش میزان رطوبت خاک تحرک عنصر روی در محلول خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور مضاعفی با کمبود این عنصر روبه رو شد (Dimkpa *et al.*, 2019). تأمین روی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی نقش ویژه‌ای در حفاظت گیاه در برابر تنش ایجاد می‌کند (Jeshni *et al.*, 2017).

روی به‌عنوان کوفاکتور در آنزیم‌های متعددی از جمله آنزیم کربونیک آنهیدراز، سوپراکسید دیسموتاز، بیوسنتز پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و موارد دیگر ایفای نقش می‌کند. برآیند عملکردی موارد فوق بر عملکرد کمی و کیفی محصول تاثیر خواهد داشت. از طرفی روی به‌عنوان کوفاکتور در ساختار آنزیم Cu/Zn-SOD عمل می‌کند. این آنزیم نقش موثری در جمع‌آوری انواع اکسیژن فعال و کاهش میزان صدمات وارد شده به ساختار بیومولکول‌ها و سلول دارد. کمبود روی قابل دسترس گیاه می‌تواند باعث تشدید کاهش عملکرد در زمان وقوع تنش خشکی گردد. همچنین، عنصر روی در آنزیم‌های زیادی مرتبط با تنش، به‌عنوان کوفاکتور ایفای نقش می‌کند (Behera *et al.*, 2015). با در نظر گرفتن این فرآیندها وزن خشک برگ نیز در اثر کمبود روی کاهش می‌یابد.

با توجه به این‌که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد، میزان مواد آلی خاک‌های آن پایین بوده و در نتیجه دارای سطوح پائین نیتروژن، می‌باشند. اغلب گیاهان در چنین مناطقی دچار کمبود نیتروژن می‌شوند و به همین دلیل تأمین نیتروژن از طریق کودهای شیمیایی ضروری است (Hamidy, 2016; Jeshni *et al.*, 2017).

گیاهان علوفه‌ای نیز مانند سایر گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی و کمبود عناصر غذایی قرار می‌گیرند. از طرفی ذرت علوفه‌ای نقش عمده‌ایی در تغذیه دام داشته و جزو مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان به‌شمار می‌آید (Albayrak *et al.*, 2011). با این حال، در بیشتر کشورهای جهان پژوهش و پیشرفت در امر تولید و مدیریت این گیاه در مقایسه با تلاش و توجهی که به دیگر گیاهان زراعی می‌شود، اندک است. در کشور ما، با توجه به‌کمبود مراتع غنی و فشار دام بر آنها (Budakli-Carpici *et al.*, 2011)، بررسی و ارزیابی پیرامون کشت این گیاه اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. آنچه در مورد گیاهان علوفه‌ای اهمیت دارد ارزش غذایی آنها است، برای ارزیابی کیفی گیاهان علوفه‌ای تنها تعیین ماده خشک گیاه کفایت نمی‌کند، بلکه اطلاعاتی در مورد مقادیر قابلیت هضم ماده‌ی خشک، کربوهیدرات‌های محلول در آب، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، فیبر خام و درصد خاکستر از لحاظ قابلیت هضم و میزان انرژی مورد نیاز است (Sahradi and Aghayari, 2019). بهبود قابلیت هضم ماده خشک از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی ذرت علوفه‌ای است (Albayrak *et al.*, 2011).

از آن‌جا که عناصر روی و نیتروژن وظایف مهمی در ساز و کار گیاهان دارند (Kardoni *et al.*, 2019)؛ بنابراین این تحقیق جهت تعیین اثرات این دو عنصر بر عملکرد و صفات

فیزیولوژیکی و عناصر معدنی ذرت علوفه‌ای در شرایط تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال زراعی در منطقه آسمان‌آباد واقع در شهرستان چرداول (با مرکزیت شهر سرآبله) در استان ایلام در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد. این شهرستان در شمال و متمایل به مرکز استان ایلام بین ۳۲ درجه و ۳۳ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۱۲ دقیقه و ۰۸ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۰۷ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۰۴ دقیقه و ۰۹ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. این شهرستان دارای اقلیم معتدل کوهستانی بر اساس طبقه بندی کوپن، میانگین بارش سالانه آن ۴۳۰ تا ۶۱۰ میلی‌متر و دمای مطلق آن بین ۵/۵- تا ۳۹/۳ درجه‌ی سلسیوس است (شکل ۱).

سه سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد یا ۹۰ درصد ظرفیت زراعی)، آبیاری بر اساس وجود ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (۲۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک) و آبیاری بر اساس وجود ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) در کرت‌های اصلی و به‌عنوان عامل فرعی انجام شد. ترکیب فاکتوریل سه سطح نیتروژن از منبع اوره شامل صفر (شاهد)، ۱۵۰ و۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (بر اساس عرف منطقه) و محلول‌پاشی سولفات روی (از منبع سولفات روی پودری با خلوص ۳۴ درصد عنصر روی) در ۳ سطح صفر، ۲ و ۴ در هزار به‌عنوان عامل دوم در کرت‌های فرعی تصادفی گردید. کود اوره در سه مرحله قبل از کاشت، ۴ تا ۵ برگی و مرحله ۹ برگی مصرف شد (Sahradi and Aghayari, 2019). محلول‌پاشی سولفات روی در مرحله شش برگی ذرت انجام شد.

زمین محل آزمایش در بهار شخم و سپس دیسک زده شد. ابعاد هر کرت فرعی ۵×۳ مترمربع، شامل ۲۰ ردیف کاشت به‌فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر می‌باشد. فاصله بین کرت‌های فرعی نیم‌متر و برای کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت بذور، با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی خاک کودهای فسفاتی و پتاس به‌صورت یکسان در سطح مزرعه پخش گردید (جدول ۱).

کاشت در مرداد ماه به‌صورت دستی اجرا گردید. در این بررسی کود سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و پیش از کاشت استفاده شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور، انجام گرفت. شروع اعمال آبیاری بر اساس ۷۵ و ۵۰ درصد موجود بودن ظرفیت زراعی مزرعه در مرحله ۶ برگی بود. برای به‌دست آوردن ظرفیت زراعی یا FC و نقطه پژمردگی دایم یا PWP از طریق به‌دست آوردن پتانسیل ماتریک توسط تانسیومتر فلزی استفاده شد. در این تحقیق برای ظرفیت زراعی از روش کمبود رطوبت خاک (روش وزنی) نسبت به FC (θ -Fc) برای تعیین حجم آب مورد نیاز گیاه در هر دور آبیاری استفاده شد. با در نظر گرفتن ضریب گیاهی (Kc)، میزان تبخیر و تعرق بالقوه مشخص و بر اساس تخلیه رطوبتی و طبق تیمارهای مذکور تا رسیدن رطوبت خاک به حد FC، میزان آب مورد نیاز محاسبه و حجم آب مورد نیاز هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه گیری شد. عمق مؤثر ریشه ذرت ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. چگالی ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود. در ابتدای کار، وزن گل

اشباع پس از خروج آب اضافی از گلدان دارای منفذ محاسبه شد. سپس وزن خاک خشک شده در آون محاسبه و از تفاضل آنها میزان ظرفیت زراعی خاک محاسبه شد. در نهایت مقدار آن به مزرعه تعمیم داده و بر اساس آن تیمار عدم تنش کم آبیاری، ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبتی خاک محاسبه شد. عمق آب در هر آبیاری (I) بر حسب سانتی‌متر بر اساس معادله ۱ محاسبه شد (Sahradi and Aghayari, 2019):

معادله ۱:

$$dn = RAW = (\theta_{fc} - \theta_{PWP}) \times \rho_b \times Z \times MAD$$

در این معادله RAW= کل آب قابل تخلیه (میلی متر)، Z= عمق موثر ریشه (متر)، θ= رطوبت خاک قبل از آبیاری، ρ_b= وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (واحد گرم بر سانتی‌متر مکعب)، θ_{fc}= رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه، θ_{PWP}= رطوبت وزنی قبل از آبیاری کرت‌ها و MAD= تخیله مجاز رطوبتی (در این تحقیق ۵۰ درصد) می‌باشند.

حجم آب آبیاری مورد نیاز هر کرت به‌وسیله رابطه‌ی ۲ برآورد گردید:

معادله ۲ $$V = I \times A \times 100$$

در این معادله V =حجم آب آبیاری استفاده شده در هر کرت(لیتر)، A= مساحت هر کرت (متر مربع) و I= ارتفاع آب آبیاری (میلی‌متر) می‌باشند.

در دفعات بعدی آبیاری و پس از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها، عمق خالص برای آبیاری بر حسب رطوبت کاهش یافته‌ی خاک در محیط ریشه گیاه که توسط دستگاه T.D.R اندازه‌گیری شد، اعمال گردید. در زمان اعمال تیمارها با اندازه‌گیری کمبود رطوبتی خاک در منطقه ریشه، ارتفاع خالص آب مورد نیاز تعیین و با توجه به مساحت هر کرت برای تیمارهای ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی منظور شد. مقدار کل آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل یا بدون تنش کم آبیاری معادل ۹۰۰۰ متر مکعب در هکتار، در تیمار تنش کم آبیاری ۷۵ درصد کمبود رطوبتی خاک معادل ۶۲۵۰ متر مکعب در هکتار و در تیمار تنش کم آبیاری ۵۰ درصد کمبود رطوبتی خاک معادل ۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه گردید.

به‌منظور تعیین عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیکی (ماده خشک اندام هوایی) نمونه‌برداری توسط کوادرات یک×یک مترمربع به‌صورت تصادفی از داخل کرت‌ها انجام شد. عملکرد علوفه تر در مرحله‌ی ۳۵ درصد رطوبت علوفه انجام شد. عملکرد بیولوژیکی در مرحله‌ی ۴ درصد رطوبت ماده خشک (Sahradi and Aghayari, 2019) انجام شد. عملکرد در مرحله ۱۰ درصد گل‌دهی از خط نمونه‌برداری هر کرت پنج بوته برداشت و متوسط ارتفاع بوته‌های مورد نظر با متر اندازه‌گیری و یادداشت گردید.

برای اندازه‌گیری صفات آزمایشگاهی شامل درصد ماده خشک قابل هضم DMD (Dry Matter Digestibility)، درصد قندهای محلول در آب WSC (Water Solube Carbohydrates)، درصد پروتئین خام CP (Crude Protein)، درصد خاکستر کل ASH (Total Ash)، و درصد فیبر خام CF (Crude Fiber) از تکنولوژی اشعه مادون قرمز استفاده شد (Jafari *et al*., 2003). پس از کالیبراسیون دستگاه اشعه مادون قرمز یا NIR، اندازه‌گیری صفات در آزمایشگاه و با دستگاه Perten مدل Inframatic 8620 انجام شد (Jafari *et al*., 2003).

پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات استخراج‌شده با استفاده از نرم‌افزار Excel و تجزیه داده‌ها با

استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. در این بررسی به‌جهت آنکه تیمارهای اعمال شده در سال دوم نسبت به سال اول در کرت‌های دیگری ولی در همان قطعه زمین تصادفی شده بودند از روش تجزیه مرکب برای تجزیه و تحلیل استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به‌منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات عملکردی

برهم‌کنش سال× تنش کم آبیاری× محلول پاشی سولفات روی (در سطح احتمال پنج درصد)؛ و برهم‌کنش سال× تنش کم آبیاری× کود نیتروژن (در سطح احتمال یک درصد) بر عملکرد تر کل معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کنش تنش کم آبیاری×کود نیتروژن (در سطح احتمال یک درصد)، برهم‌کنش تنش کم آبیاری× محلول‌پاشی سولفات روی (در سطح احتمال پنج درصد) و برهم‌کنش کود نیتروژن×محلول‌پاشی سولفات روی (در سطح احتمال یک درصد) بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد علوفه تر

عملکرد علوفه تر در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره به‌مقدار ۷۷۷۲۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود اوره به‌مقدار ۴۷۸۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار موجب افزایش عملکرد تر شد (شکل ۲). نتایج در خصوص برهم‌کنش تنش کم آبیاری×سولفات روی نشان داد که عملکرد علوفه تر در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۷۸۱۶۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف سولفات روی به‌مقدار ۴۹۸۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در سطوح آبیاری بر اساس وجود ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۴ در هزار سولفات روی موجب افزایش این شاخص شد، به‌طوری‌که در تیمارهای ذکر شده عملکرد تر به‌ترتیب به مقدار ۶۷۴۶۰ و ۴۹۸۵۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. (شکل ۳). نتایج در خصوص برهم‌کنش کود کود نیتروژن×سولفات روی نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه تر در تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار× ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۷۴۴۷۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در تیمارهای عدم مصرف اوره و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار نیز عملکرد تر علوفه به‌ترتیب به مقدار ۷۰۳۸۷ و ۶۰۱۱۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۴).

چنانچه عرضه نیتروژن محدود باشد، عملکرد به نحو چشم‌گیری کاهش یافته و ممکن است در برخی خاک‌ها به نصف تقلیل یابد (Yavas and Unay, 2016). نیتروژن اثرات بارزی بر ظاهر گیاه دارد که مهم‌ترین آنها بهبود رنگ گیاه و توسعه سریع پوشش گیاهی است. فراوانی نیتروژن خاک، سبب تحریک تولید برگ‌های جدید از ناحیه مریستم انتهایی ساقه و جوانه‌های جانبی برگ‌های مسن و سرانجام افزایش عملکرد اندام‌های هوایی می‌گردد (Yavas and Unay, 2016). افزایش عملکرد می‌تواند علت‌های مختلفی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل،

افزایش فعالیت فسفو اینول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی اشاره کرد (Umair Hassan *et al.*, 2020).

عملکرد بیولوژیک (ماده خشک کل)

عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل×مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌مقدار ۱۲۵۳۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره موجب حصول عملکرد بیولوژیک به‌مقدار ۸۲۶۱ کیلوگرم در هکتار شد. در آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۳۰۰ کیلوگرم اوره موجب حصول عملکرد بیولوژیک به‌مقدار ۱۱۴۸۳ کیلوگرم در هکتار شد (شکل ۵). نتایج در خصوص برهم‌کنش آبیاری×سولفات روی نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل مصرف ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۱۲۳۹۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مصرف سولفات روی و به‌خصوص ۴ در هزار موجب افزایش این شاخص شد، به‌طوری‌که به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک در تیمارهای فوق به‌ترتیب به مقدار ۱۰۷۳۰و ۸۴۷۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۶). عملکرد بیولوژیک در تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۱۱۴۷۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. با افزایش مصرف کود اوره پاسخ به سولفات روی نیز افزایش یافت. در تیمار ترکیبی مصرف در ۴ در هزار سولفات روی همراه با تیمارهای عدم مصرف اوره و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار نیز عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به‌مقدار ۹۳۳۶ و ۱۰۷۵۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که اختلاف آماری معنی‌داری با هم داشتند (شکل ۷).

تنش کم آبیاری از طریق اثر منفی بر رشد قسمت‌های مختلف از جمله ساقه و برگ در نهایت منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Hamidy, 2016). زمانی که گیاه با کمبود نیتروژن مواجه است نسبت رشد برگ و شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد که می‌تواند به خاطر کاهش فتوسنتز خالص و یا کافی نبودن گسترش سلولی باشد، بنابراین تأثیر اصلی نیتروژن بر فتوسنتز از طریق افزایش دریافت نور صورت می‌گیرد. افزایش میزان نیتروژن و کاربرد آن در دفعات بیشتر باعث طولانی‌شدن دوره رشد رویشی ذرت شده که می‌تواند تشکیل آسیمیلات، اختصاص آن به ساقه و در نهایت ارتفاع گیاه را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد (Tardieu *et al.*, 2014). بین آب قابل استفاده و نیتروژن همبستگی قابل توجهی وجود دارد، زیرا افزایش نیتروژن منجر به توسعه ریشه شده و آب قابل استفاده در ناحیه ریشه گیاه افزایش یافته، در نتیجه تنش رطوبتی کاهش می‌یابد. اما در صورتی که آب به قدر کافی موجود نباشد افزایش مصرف کود نیتروژن باعث افزایش تنش رطوبتی وارد شده به گیاه می‌گردد (Hamidy, 2016). در این پژوهش عملکرد خشک بوته از حاصل جمع عمکلرد خشک سایر اندام‌ها به‌دست آمد و به همین دلیل سولفات روی علاوه بر اثرگذاری بر وزن خشک برگ، ساقه و بلال، در نهایت موجب افزایش وزن خشک کل ذرت شد که این بسیار حایز اهمیت است. علت افزایش عملکرد را می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی دانست. پژوهش‌گران گزارش کردند که مصرف روی به‌طور معنی‌داری تولید ماده خشک گیاهی را

در ذرت افزایش داده است (Budakli-Carpici *et al*., 2011; Candan *et al*., 2018).

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی علوفه

برهم‌کنش سال×کود نیتروژن، تنش کم آبیاری×کود نیتروژن و برهم‌کنش کود نیتروژن× محلول‌پاشی سولفات روی (همگی در سطح یک درصد) بر پروتئین معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال×تنش کم آبیاری×محلول‌پاشی سولفات روی (در سطح یک درصد) بر قندهای محلول معنی‌دار بود. اثرات اصلی آبیاری، اوره و روی در سطح احتمال یک درصد، برهم‌کنش سال×روی (در سطح پنج درصد)، برهم‌کنش آبیاری×روی (در سطح احتمال یک درصد) برهم‌کنش سال×آبیاری×روی (در سطح احتمال یک درصد) بر غلظت خاکستر علوفه معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال×تنش کم آبیاری (در سطح احتمال یک درصد)، سال× کود نیتروژن (در سطح احتمال پنج درصد)، سال× محلول‌پاشی سولفات روی (در سطح احتمال یک درصد)، تنش کم آبیاری× محلول‌پاشی سولفات روی (در سطح احتمال یک درصد)، و برهم‌کنش تنش کم آبیاری× کود نیتروژن (در سطح احتمال ۱ درصد) برغلظت ماده خشک قابل هضم علوفه معنی‌دار بود (جدول ۳).

درصد پروتئین علوفه

پروتئین علوفه در تیمار آبیاری کامل×مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار×۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۹/۳ درصد حاصل شد ولی بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره ×۴ در هزار سولفات روی که به مقدار ۸/۴ درصد به‌دست آمد، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین میزان پروتئین در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی×عدم مصرف کود نیتروژن×سولفات روی به مقدار ۷/۰۲ درصد به‌دست آمد. در آبیاری بر اساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی× مصرف کود ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار×۲ در هزار سولفات روی موجب حاصل شدن پروتئین دانه به‌مقدار ۸/۶ درصد شد. در تیمار آبیاری بر اساس ۷۵ درصد ظرفیت زراعی× مصرف کود ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار×۲ در هزار سولفات روی موجب حاصل شدن پروتئین دانه به‌مقدار ۸/۷ درصد شد (جدول ۴).

محققان پروتئین خام علوفه را راهنمای خوبی برای تعیین اسید آمینه برای نشخوارکنندگان می‌دانند (Arzani *et al.*, 2001). عملکرد کیفی علوفه از طریق افزایش میزان پروتئین خام افزایش می‌یابد. یکی از عوامل مهم در تولید علوفه، عملکرد پروتئین بوده که از نظر کمیت و کیفیت بالا در تغذیه دام بسیار حایز اهمیت است. حمیدی (Hamidy, 2016) نتیجه گرفت که با آبیاری مطلوب میزان پروتئین علوفه ذرت افزایش می‌یابد. در گیاهان دارای کمبود روی میزان سنتز پروتئین و تولید آن کاهش می‌یابد (Fan *et al.*, 2014). در اثر کمبود روی در گیاهان علوفه‌ای، غلظت اسیدهای آمینه و آمیدها افزایش یافته و به‌تبع آن میزان پروتئین کاهش می‌یابد (Abid *et al*., 2016). سطوح بالای نیتروژن، موجب افزایش نسبت برگ به ساقه و همچنین نسبت بلال به شاخساره در گیاه می‌شود که در نتیجه آن، خوش خوراکی، پروتئین و درصد قابلیت هضم علوفه افزایش می‌یابد (Gimeno *et al*., 2014).

قندهای محلول

قندهای محلول در تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی×مصرف ۳۰۰ کیلوگرم

کود اوره در هکتار و ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۱۱۲/۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر حاصل شد ولی بین این تیمار با تیمار آبیاری کامل×مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره ۲ در هزار سولفات روی که به‌مقدار ۹۸/۵ میلی‌مول بر گرم وزن تر حاصل شد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار آبیاری بر اساس ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی×مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار× ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۱۰۵/۴میلی‌مول بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تیمار آبیاری کامل×عدم مصرف کود اوره×سولفات روی به‌مقدار ۶۸/۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، میزان فتوسنتز گیاه به علت محدودیت‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای کاهش می‌یابد. عوامل غیرروزنه‌ای در کاهش فتوسنتز در شرایط تنش شدید خشکی بسیار مهم هستند، درحالی که در شرایط تنش ملایم، محدودیت‌های روزنه‌ای، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر فتوسنتز خالص می‌باشند (Abid *et al*., 2016). محدودیت تثبیت کربن ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی، متابولیسم تولید قندهای محلول را مختل می‌کند (Gimeno *et al*., 2014). در مطالعه‌ای عنوان شد که کاهش محتوای آب خاک نسبت به ظرفیت زراعی، منجر به کاهش مقادیر گلوکز، فروکتوز و ساکارز در ذرت علوفه‌ای شد (Boroujerdnia *et al*., 2016).

خاکستر علوفه

خاکستر علوفه در تیمار آبیاری کامل × مصرف ۴ در هزار سولفات روی به‌مقدار ۹/۹ درصد حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تیمار آبیاری بر اساس وجود ۵۰ درصد ظرفیت زراعی×عدم مصرف سولفات روی به‌مقدار ۶/۸ درصد به‌دست آمد. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی×مصرف ۴ در هزار سولفات روی موجب حاصل شدن خاکستر علوفه به‌ترتیب با مقادیر ۸/۸۳ و ۷/۲۲ درصد شد که بیشتر از تیمار عدم مصرف سولفات روی بود و این تاثیر هم‌افزایی مصرف سولفات روی در حالت مصرف یا عدم مصرف کود اوره بر خاکستر علوفه را نشان می‌دهد (شکل ۸). در تحقیقی گزارش شد که کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده‌ی کود نیتروژنه بیشترین اثر را در مقادیر صفات مورد بررسی داشته است و همچنین تیمار بدون کود، کمترین مقدار خاکستر علوفه را به خود اختصاص داد (Mohammadi *et al*., 2015). نتایج برخی بررسی‌ها در رابطه با اثر نیتروژن بر کیفیت علوفه‌ی نشان داد، تأمین بیشتر نیتروژن موجب افزایش درصد خاکستر می‌شود. دلیل افزایش درصد خاکستر در نتیجه تأمین نیتروژن، بهبود رشد قسمت‌های رویشی و ریشه‌های گیاه عنوان شده است. از این‌رو هرچه شبکه ریشه‌ای گیاه گسترش بیشتری داشته باشد، جذب مواد معدنی نیز افزایش خواهد یافت (Coblentz *et al*., 2017).

ماده خشک قابل هضم

ماده خشک قابل هضم در تیمار آبیاری کامل× مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌مقدار ۵۸/۶ درصد حاصل شد. ماده خشک قابل هضم در تیمار آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی×عدم مصرف کود اوره به‌مقدار ۵۰/۸ درصد به‌دست آمد که اختلاف آماری معنی‌داری با هم داشتند. در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی×مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار موجب حصول ماده خشک قابل هضم به‌مقدار ۵۵/۹ درصد شد. در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار

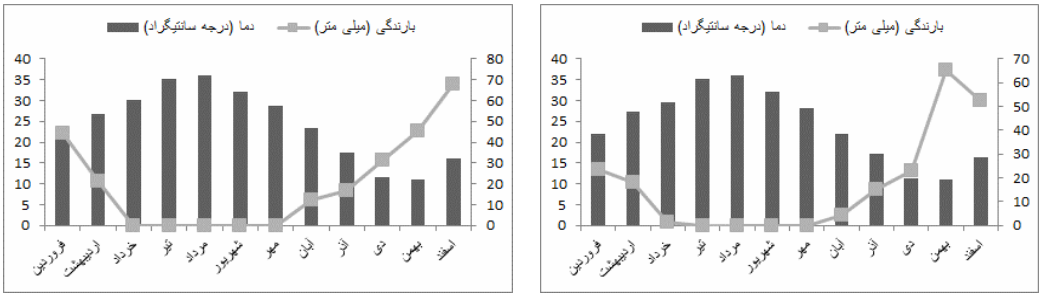
موجب حصول ماده خشک قابل هضم به‌مقدار ۷/۶۴ درصد شد، بنابراین کود اوره در حالت کم آبیاری و وقوع خشکی موجب افزایش ماده خشک قابل هضم شد (شکل ۹). معیارهای اساسی در تعیین کیفیت علوفه شامل درصد پروتئین، درصد دیواره سلولی و قابلیت هضم آن می‌باشد. در این بین قابلیت هضم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. افزایش درصد قابلیت هضم به‌عنوان مهم‌ترین صفت اساسی در تعیین کیفیت علوفه شناخته شده است (Coblentz *et al.*, 2017). محققان پایین بودن قابلیت هضم علوفه را به بالا بودن دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز (ADF) آن نسبت دادند (Candan *et al.*, 2018). مطالعات بسیاری بیانگر افزایش محتوای پروتئین خام علوفه با افزایش کاربرد کود نیتروژن است (Almodares *et al.*, 2009). در تحقیق دیگری عنوان شد که با کاهش سطح نیتروژن قابل دسترس، مقدار پروتئین خام و ماده خشک قابل هضم موجود در شاخ و برگ گیاه ذرت، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است (Li *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره حاصل شد. همچنین، در آبیاری بر اساس تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار موجب افزایش عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار عدم مصرف نیتروژن شد. نتایج در خصوص برهم‌کنش تنش کم آبیاری×سولفات روی نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۴ در هزار سولفات روی حاصل شد. در سطوح آبیاری بر اساس وجود ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۴ در هزار سولفات روی موجب افزایش عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار عدم مصرف یا مصرف ۲ در هزار سولفات روی شد. این موارد نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین عملکرد علوفه تر و عملکرد بیولوژیک از لحاظ تاثیرپذیری از سولفات روی و نیتروژن است. بیشترین پروتئین، ماده خشک قابل هضم و خاکستر علوفه در تیمار آبیاری کامل×مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره حاصل شد. در خصوص اثر متقابل تنش خشکی و سولفات روی بر پروتئین، ماده خشک قابل هضم و خاکستر علوفه و در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین مقدار در حالت مصرف ۴ در هزار سولفات روی به‌دست آمد. در این بررسی نتایج نشان داد که بهترین ترکیب کودی در این بررسی و در تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، شامل مصرف سولفات روی به‌مقدار ۴ در هزار و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره بود. در خصوص پروتئین علوفه؛ تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف کود ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۲ در هزار سولفات روی موجب حصول پروتئین دانه به‌مقدار ۸/۶ درصد شد. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین ۲ و ۴ در هزار سولفات روی ناشی از برهم‌کنش اثر نیتروژن و سولفات روی بر عملکرد علوفه و پروتئین، لذا مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۲ در هزار سولفات روی دارای عملکرد مناسب و توجیه اقتصادی می‌باشد و به عنوان ترکیب برتر برای مقابله با اثر مضر کم آبی (به‌خصوص ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی) انتخاب شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)
Table 1- Physical and chemical properties of soil at the test site (2019-2020)

ویژگی Property	روی Zinc ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Potassium Absorbent ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن در دسترس Available nitrogen (percentage)	کربن آلی Organic carbon (percentage)	هدایت الکتریکی ($ds\ EC\ m^{-1}$)	کربنات کلسیم CaCo3 (%)	اسیدیته pH	بافت Texture	عمق Depth (cm)
سال اول Year1-	0.51	249	19	0.05	0.93	1.1	18.1	7.1	لومی-رسی Loami-clay	0-30
سال دوم Year2-	0.57	247	20	0.05	0.90	1	18.2	7.2	لومی-رسی Loami-clay	0-30

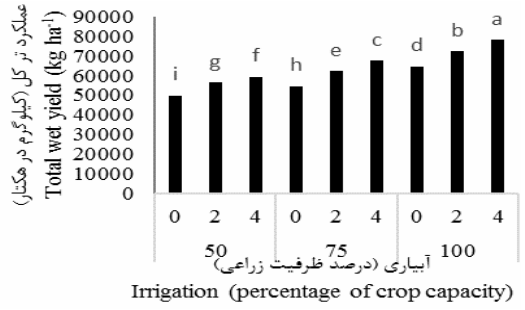


شکل ۱- از چپ به راست بیانگر بارندگی (میلی‌متر) و میانگین دمای شهر سرآبله (درجه سلسیوس) در دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹
Figure 1- From left to right shows rainfall (mm) and the average temperature of Sarableh city (degrees Celsius) in 2020-2021

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس مرکب اثر عوامل آزمایشی بر صفات عملکردی
Table 2- Mean squares obtained from combined analysis of variance the effect of experimental factors on functional traits

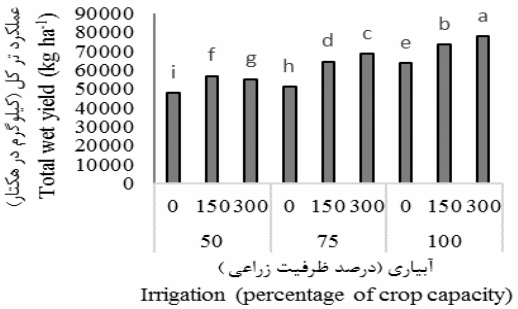
منابع تغییرات	S.O.V.	درجه آزادی DF	عملکرد تر کل Total wet yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield
سال	Year (Y)	1	6270123.3^{ns}	2719224.1^{ns}
تکرار درون سال	Y(Rep) (R)	6	1757370769.7	2086921.9
آبیاری	Irrigation (I)	2	11286533666.0^{**}	234216404.9^{**}
سال × آبیاری	Y×I	2	436615500.8^{**}	6104906.0^{**}
خطا	Residual	12	41382835.3	133616.7
کود نیتروژن	Urea (U)	2	9425935121.7^{**}	118149755.8^{**}
روی	Zinc (Z)	2	5879393534.4^{**}	32892608.0^{**}
سال × کود نیتروژن	Y×U	2	28184843.8^{ns}	2717963.0^{**}
سال × روی	Y×Z	2	73274535.9^{ns}	1690331.1^{*}
آبیاری × کود نیتروژن	I×U	4	88156113.9^{*}	3009533.9^{**}
آبیاری × روی	I×Z	4	65295567.0^{ns}	1286326.3^{*}
سال × آبیاری × کود نیتروژن	Y×I×U	4	106486091.7^{*}	695289.8^{ns}
سال× آبیاری ×روی	Y×I×Z	4	127864496.1^{**}	592089.6^{ns}
کود نیتروژن × روی	U×Z	4	7596985.6^{ns}	2349568.0^{**}
سال× کود نیتروژن×روی	Y×U×Z	4	3843893.4^{ns}	46501.3^{ns}
آبیاری × کود نیتروژن×روی	I×U×Z	8	39888183.3^{ns}	206152.0^{ns}
سال×آبیاری×کود نیتروژن×روی	Y×I×U×Z	8	20173412.0^{ns}	648406.0^{ns}
خطا ی آزمایش	Total residal	144	4550820421.6	388484.4
ضریب تغییرات	C.V.(%)	-	5.9	6.3

*،** و ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.
* and** are significant at the level of one and five percent probability, respectively.



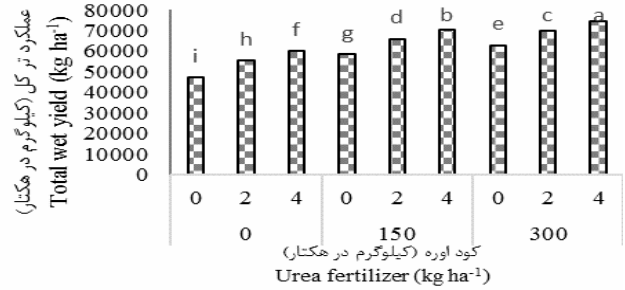
شکل ۳- اثر سطوح آبیاری و سولفات روی بر عملکرد علوفه تر کل

Figure 3- Effect of irrigation levels and zinc sulfate fertilizer on total wet forage yield



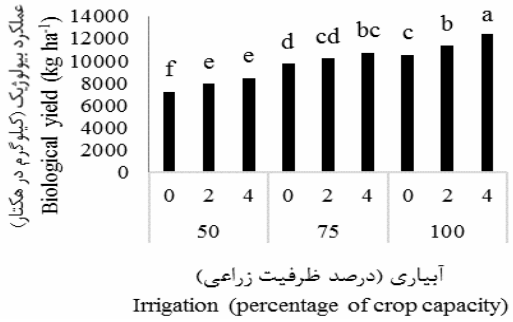
شکل ۲- اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد علوفه تر کل

Figure 2- Effect of irrigation levels and nitrogen fertilizer on total wet forage yield



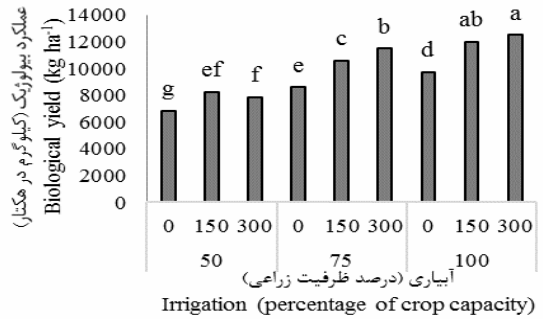
شکل ۴- اثر کود نیتروژن و سولفات روی بر عملکرد علوفه تر کل

Figure 4- Effect of nitrogen and zinc sulfate fertilizer on total wet forage yield



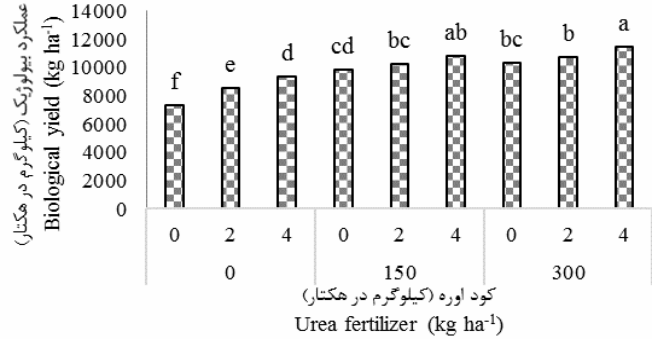
شکل ۶- اثر سطوح آبیاری و سولفات روی بر عملکرد بیولوژیک

Figure 6- Effect of irrigation levels and zinc sulfate fertilizer on biological yield



شکل ۵- اثر سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک

Figure 5- Effect of irrigation levels and nitrogen fertilizer on biological yield



شکل ۷- اثر کود نیتروژن و سولفات روی بر عملکرد بیولوژیک

Figure 7- Effect of nitrogen and zinc sulfate fertilizer on biological yield

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس مرکب اثر عوامل آزمایشی بر صفات کیفی علوفه

Table 3- Mean squares obtained from combined analysis of variance the effect of experimental factors on forage quality traits

منابع تغییرات	S.O.V.	درجه آزادی DF	پروتئین علوفه Forage protein	فیبر خام Crude fiber	قندهای محلول Soluble sugars	خاکستر علوفه Fodder ash	ماده خشک قابل هضم Digestible dry matter
سال	Year (Y)	1	21.5**	0.113^{ns}	0.0092^{ns}	0.005^{ns}	0.00066*
تکرار درون سال	Y(Rep) (R)	6	0.193	0.98	0.0089	0.006	0.00011
آبیاری	Irrigation (I)	2	52.62**	5.173^{ns}	0.4828**	0.096**	0.0105**
سال × آبیاری	Y×I	2	4.979^{ns}	0.280^{ns}	0.0252*	0.005^{ns}	0.00084**
خطا	Residual	12	1.921	2.99	0.0060	0.005	0.00007
اوره	Urea (U)	2	7.928**	8.296^{ns}	0.0732**	1.287**	0.0112**
روی	Zinc (Z)	2	8.532**	1.784^{ns}	0.0624**	0.326**	0.0018**
سال × اوره	Y×U	2	3.695**	0.060^{ns}	0.00001^{ns}	0.008^{ns}	0.00025*
سال × روی	Y×Z	2	0.002^{ns}	0.895^{ns}	0.0111*	0.026*	0.0007**
آبیاری × اوره	I×U	4	0.939**	0.620^{ns}	0.0044^{ns}	0.015^{ns}	0.00043**
آبیاری × روی	I×Z	4	0.343^{ns}	0.274^{ns}	0.0069^{ns}	0.102**	0.00151**
سال × آبیاری × اوره	Y×I×U	4	0.448^{ns}	0.051^{ns}	0.0004^{ns}	0.005^{ns}	0.00017^{ns}
سال× آبیاری ×روی	Y×I×Z	4	0.000^{ns}	0.000^{ns}	0.0133**	0.027**	0.00004^{ns}
اوره × روی	U×Z	4	3.037**	0.083^{ns}	0.0041^{ns}	0.007^{ns}	0.00008^{ns}
سال× اوره×روی	Y×U×Z	4	0.010^{ns}	0.0001^{ns}	0.00001^{ns}	0.004^{ns}	0.00007^{ns}
آبیاری × اوره×روی	I×U×Z	8	0.056^{ns}	0.056^{ns}	0.0034^{ns}	0.022^{ns}	0.00006^{ns}
سال×آبیاری×اوره×روی	Y×I×U×Z	8	0.015^{ns}	0.0001^{ns}	0.0003^{ns}	0.014^{ns}	0.00005^{ns}
خطا ی آزمایش	Total residal	144	0.221	0.93	0.0029	0.006	0.00007
ضریب تغییرات	C.V.(%)	-	9.2	6.2	6.5	7.3	8.1

*،** و ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنادار

*and** are significant at the level of one and five percent probability, respectively

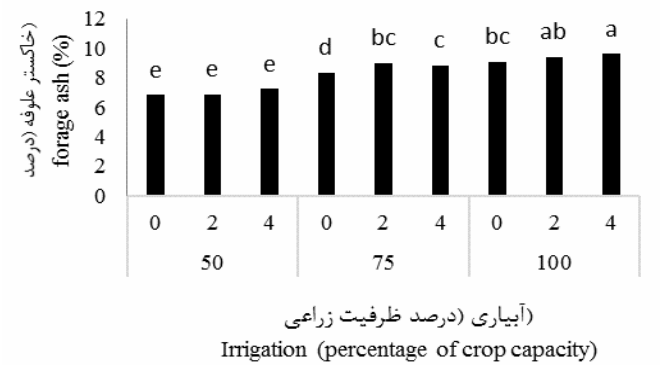
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری، کود اوره و سولفات روی بر پروتئین علوفه و قندهای محلول

Table 4- Comparison of the mean effect of irrigation, urea fertilizer and zinc sulfate on forage protein and soluble sugars

آبیاری Irrigation (percentage of crop capacity)	اوره Urea (kg ha^{-1})	سولفات روی Zinc sulfate (g.per thousand liters of water)	پروتئین علوفه Forage protein (percentage)		قندهای محلول Soluble sugars (mg.g fresh weight^{-1})	
50	0	0	7.03	lmn	88.0	c-f
		2	8.63	g-k	96.6	b-g
		4	7.73	imn	100.7	a-g
	150	0	7.71	n	100.4	a-g
		2	8.07	g-k	104.8	a-e
		4	8.24	ı-ı	111.7	an
	300	0	7.71	mn	109.2	abc
		2	8.06	f-j	102.2	a-e
		4	8.24	ı-j	114.8	a
75	0	0	7.57	n	92.4	c-n
		2	8.50	k-n	92.4	c-i
		4	7.63	ı-j	84.8	ı-j
	150	0	8.27	h-k	98.0	a-g
		2	8.06	f-i	97.6	b-g
		4	8.72	ɒ-e	105.2	a-ɑ
	300	0	8.28	c-f	96.9	b-g
		2	8.07	b	97.6	b-g
		4	8.72	an	105.5	a-ɑ
90	0	0	7.45	j-m	68.3	j
		2	7.67	efg	79.4	hij
		4	7.58	aeı	75.3	ıj
	150	0	8.02	fgh	77.7	hij
		2	8.65	bcd	90.8	d-i
		4	9.36	bcd	101.4	a-ı
	300	0	8.80	bc	83.9	g-j
		2	8.94	a	98.5	a-g
		4	8.42	a	89.7	ɑ-ı

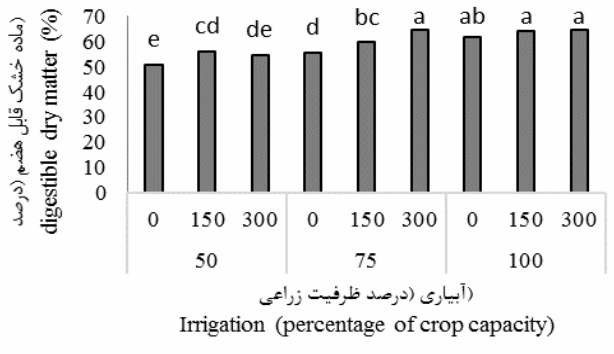
در هر ستون و در هر تیمار میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each column and in each treatment; Means that have common letters are not significantly different.



شکل ۸- اثر آبیاری و کود سولفات روی بر خاکستر علوفه

Figure 8- Effect of irrigation and zinc sulfate fertilizer on forage ash



شکل ۹- اثر آبیاری و کود اوره بر ماده خشک قابل هضم

Figure 9- Effect of irrigation and urea fertilizer on digestible dry matter

References منابع مورد استفاده

- Abid, M., Z. Tian, S.T. Ata-Ul-Karim, Y. Liu, Y. Cui, R. Zahoor, and T. Dai. 2016. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*. 106: 218-227.
- Albayrak, S., M. Turk, O. Yuksel, and M. Yilmaz. 2011. Forage yield and the quality of perennial legume-grass mixtures under rainfed conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39(1): 114-118.
- Almodares, A., M. Jafarinia, and M.R. Hadi. 2009. The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *Agriculture and Environment Science*. 6: 441-446.
- Ashkiani, A., S. Sayfzadeh, A.H. Shirani Rad, A. Valadabadi, and E.K. Hadidi Masouleh. 2020. Effects of foliar zinc application on yield and oil quality of rapeseed genotypes under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*. 43(11): 1594-1603.

- Bahamin, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, and S. Behashti. 2021. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14(3): 675-690. (In Persian).
- Bahamin, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, and S. Behashti. 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1): 123-139. (In Persian).
- Behera, S.K., A.K. Shukla, M. Singh, R.H. Wanjari, and P. Singh. 2015. Yield and zinc, copper, manganese and iron concentration in maize (*Zea mays* L.) grown on vertisol as influenced by zinc application from various zinc fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*. 38(10): 1544 -1557.
- Boroujerdnia, M., M. Bihamta, K. Alami Said, and V. Abdossi. 2016. Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris*). *Crop Physiology Journal*. 8 (29): 23-41. (In Persian).
- Budakli-Carpici, E., N. Celik, and G. Bayram. 2011. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*. 15(2): 128-132.
- Candan, N., I. Cakmak, and E.K. Ozturk. 2018. Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Scienc*e. 181(3): 388-395.
- Coblentz, W.K., M.S. Akins, J.S. Cavadini, and W.E. Jokela. 2017. Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. *Journal of Dairy Science*. 100: 1739–1750.
- Dawoudian, J., S. Bahamin, and H.B. Tantoh, 2021. Environmental impact assessment of cement industries using mathematical matrix method: case of Ghayen cement, South Khorasan, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 28(18): 22348-22358.
- Dimkpa, C.O., U. Singh, P.S. Bindraban, W.H. Elmer, J.L. Gardea-Torresdey, and E.K. White. 2019. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. *Science of the Total Environment*. 688: 926-934.
- Eisapour Nakhjiri, S., M. Ashouri, S. Sadeghi, N. Mohammadian Roushan, and M. Rezaei. 2021. The effects of different irrigation regimes and N fertilizer on yield, yield components and the content of micronutrients in brown and white rice (cv. Hashemi and Gilaneh). *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(58):193-210. (In Persian).
- Esfandiari, E., and M. Abdoli. 2017. Improvement of agronomic and qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes by application of zinc sulfate under zinc deficiency stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(3): 619-636. (In Persian).
- Fan, Z., S. Lin, X. Zhang, Z. Jiang, K. Yang, D. Jian, Y. Chen, J. Li, Q. Chen, and J. Wang. 2014. Conventional flooding irrigation causes an overuse of nitrogen fertilizer and low nitrogen use efficiency in intensively used solar greenhouse vegetable production, Agri. *Water Management*. 144: 11-19.
- Fathi, A., and S. Bahamin. 2018. The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics, yield and yield

components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11(3): 661-674. (In Persian).

- Gimeno, V., L. Díaz-López, S. Simón-Grao, V. Martínez, J.J. Martínez-Nicolás, and F. García-Sánchez. 2014. Foliar potassium nitrate application improves the tolerance of *Citrus macrophylla* L. seedlings to drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*. 83: 308-315.
- Hamidy, A. 2016. Quinoa and its potential to grow under water scarcity and sait stress conditions: promising research findings. Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments. International Quinoa Conference. 2:13-24.
- Jafari, A.V., A. Connolly, Frolich, and E.K. Walsh. 2003. A note on estimation of quality in Perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 42: 293-299.
- Jeshni, M.G., M. Mousavinik, I. Khammari, and M. Rahimi. 2017. The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 16(1): 60-65.
- Kardoni, F., S. Bahamin, B. Khalil Tahmasebi, S. Ghavim-Sadati, and S. Vahdani. 2019. Yield comparisons of mung-bean as affected by its different nutritions (chemical, biological and integration) under tillage systems. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(49): 87-102. (In Persian).
- Li, H., L. Li, T. Wegenast, C.F. Longin, X. Xu, A.E. Melchinger, and S. Chen. 2010. Effect of N supply on stalk quality in maize hybrids. *Field Crops Research*. 118(3): 208-214.
- Lotfi, B., F. Fotohi, S.A. Siadat, and M. Sadeghi. 2018. The effect of using chemical nitrogen fertilizer and biological fertilizer on seed yield and protein percent of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Crop Ecophysiology*. 45(1):123-138. (In Persian).
- Maleki, A., A. Fathi, and S. Bahamin. 2020. The effect of gibberellin hormone on yield, growth indices, and biochemical traits of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 15(59):1-16. (In Persian).
- Mohammadi, G., P.M., Safari, M.E. Ghobadi, and A. Najaphy. 2015. The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25(2): 105-124. (In Persian).
- Sahradi, H., and F. Aghayari, 2019. The effect of root irrigation and plant density on yield and water use efficiency of forage corn. *Conservation of Water and Soil Resources*. 9 (1): 123-138.
- Tardieu, F., B. Parent, C. Caldeira, and C. Welcker. 2014. Genetic and physiological controls of growth under water deficit. *Plant Physiology*. 164: 1628-1635.
- Umair Hassan, M., M. Aamer, M. Umer, T. Chattha, B. Shahzad, L. Barbanti, and H. Guoqin, 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*. 10(9): 396.
- Yavas, I., and A. Unay. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 26(4): 1012-101.
- Ziaee, S.S., H. Khazaei, and A. Nezami, 2017. Investigation of the effect of different levels of irrigation on morphophysiological and biochemical traits in five mung bean (*Vigna radiate* L) genotypes. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 9(34): 5-21.

Research Article DOI:

Effect of Nitrogen Fertilizer and Zinc Sulfate on Quantitative and Qualitative Yield of Forage Maize under Deficit Irrigation Stress

Abdollah Gholami [1], Abbas Maleki[2]*, Mohammad Mirzaeiheydari[3] and Farzad Babaei[4]

Received: January 2022 , Revised: 17 July 2022, Accepted: 7 September 2022

Abstract

In order to investigate the effect of nitrogen and zinc sulfate fertilizers on the quantitative and qualitative yield of forage maize under low irrigation stress, this experiment was conducted as a split-factorial randomized complete block design with 4 replications in Ilam province during the two crop years of 2019 and 2020 was implemented. Three levels of irrigation including full irrigation (control or 90% of field capacity), irrigation based on 75% of field capacity (25% soil moisture discharge) and irrigation based on 50% of field capacity (50% soil moisture discharge) in the main plots Done. Factorial wetting of three levels of nitrogen from urea source, including zero (control), 150 and 300 kg ha^{-1} urea fertilizer; and foliar application of zinc sulfate at 3 levels of 0, 2 and 4 per thousand as the second factor in random was randomized. The results of combined analysis of variance showed that the interaction of year deficit irrigation stress×foliar application of zinc sulfate and the interaction of year deficit irrigation stress×nitrogen on total fresh yield were significant. The interaction of year deficit irrigation stress, year. Nitrogen fertilizer, year and foliar application of zinc sulfate, low irrigation stress×foliar application of zinc sulfate and the interaction of low irrigation stress×nitrogen fertilizer on the concentration of digestible dry matter were significant. Wet forage yield in full irrigation and consumption of 150 kg urea per hectare was 77728 kg.ha^{-1}. Wet forage yield was obtained in complete irrigation treatment and consumption of 4 per thousand zinc sulfate in the amount of 78163 kg.ha^{-1}. At irrigation levels based on the presence of 75% and 50% of field capacity, consumption of 4 per thousand zinc sulfate increased this index, so that in the mentioned treatments wet yield was obtained at 67460 and 49855 kg.ha^{-1}, respectively. Irrigation treatment based on 50% of field capacity, application of 300 kg of urea fertilizer and 2 per thousand zinc sulfate resulted in grain protein content of 8.6%. Due to the lack of significant differences between treatments 2 and 4 per thousand zinc sulfate in different levels of nitrogen fertilizer, so the use of 300 kg of urea fertilizer per hectare and 2 per thousand zinc sulfate has good performance and economic justification and as the superior compound was selected to counteract the harmful effects of dehydration.

Key words: Deficit irrigation, Ash, Protein, Forage yield, Micronutrients.

1- Ph.D. Student, Faculty of Agronomy, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
3-Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
**Corresponding Authors: maleki97@yahoo.com*