نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد دوازدهم، شماره ۴(۴۸)، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۶۱۴-۵۹۹

ارزیابی نقش سولفات پتاسیم و کلات آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در شرایط تنش قطع آبیاری

سعیدرضا یعقوبی[۱]، آرش روزبهانی[۲*] و محمدرضا اخوان محسنی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۱

چکیده

تغذیه مناسب گیاه زراعی عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مناسب حتی در شرایط تنش کم آبی، می‌باشد. به منظور ارزیابی کاربرد کود سولفات پتاسیم محلول در آب و کلات آهن در کاهش اثرات تنش قطع آبیاری در مرحله شیری بر گیاه ذرت دانه‌ای، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان شهریار استان تهران در سال ۱۳۹۳ انجام شد. در این آزمایش، کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری معمولی و قطع آبیاری در مرحله شیری دانه، کرت‌های فرعی شامل کاربرد سولفات پتاسیم قابل انحلال در آب در سه سطح صفر، ۲۵، ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و کرت‌های فرعی فرعی شامل مصرف کود کلات آهن در سطوح بدون مصرف کود آهن، کاربرد کلات آهن (Fe-EDDHA) همراه آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) بودند. نتایج نشان داد که برهمکنش کاربرد سولفات پتاسیم، کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری دانه تاثیر معنی‌داری ($P>0.05$) بر کلروفیل کل، وزن خشک بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت داشت. کاربرد کود آهن، پتاسیم و تنش قطع آبیاری نیز تاثیر معنی‌داری ($P>0.01$) بر عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در بلال داشت ولی اثر برهمکنش آنها معنی‌دار نبودند. کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و کلات آهن به‌صورت محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری عملکرد دانه را در شرایط آبیاری معمولی از ۵۲۹۴ در شاهد به ۶۹۷۸ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله شیری از ۳۹۲۱ در شاهد به ۴۷۹۴ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. با توجه به نتایج آزمایش حاضر با کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به همراه کاربرد کلات آهن می‌توان عملکرد مناسبی را در ذرت در شرایط تنش کم آبیاری به‌دست آورد.

واژگان کلیدی: افت عملکرد، کلروفیل، کود، عملکرد دانه.

۱- استادیار دانشکده کشاورزی سمنگان، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، خراسان شمالی، ایران.
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.* نگارنده‌ی مسئول roozbahani@riau.ac.ir
۳- کارشناس ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

مقدمه

آب به‌عنوان یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان شناخته می‌شود (Martineau *et al*., 2017). ذرت نیز به عنوان یک گیاه مهم زراعی در تأمین غذای بشر، تحت تأثیر تنش کم آبی دچار کاهش عملکرد می‌گردد (Afarinesh *et al*., 2015; Shiri *et al*., 2015). علاوه بر روش‌های به‌نژادی و معرفی ارقام مقاوم به خشکی (Tabatabaei and Shaleri, 2015)، روش‌های به‌زراعی مانند تغذیه پتاسیم نیز جایگاه خاصی دارد (Norastehnia and Farjadi, 2016). پتاسیم نقش اصلی در فعالیت رشد و نمو گیاهان دارد. هم‌چنین، این عنصر دارای نقش فیزیولوژیکی در رابطه با سلامت گیاه و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. کمبود پتاسیم به‌صورت ضعف در رشد و کاهش عملکرد کمی و کیفی نمود پیدا می‌کند. نقش فیزیولوژیک پتاسیم شامل فعال کردن آنزیم‌ها، متعادل کردن سنتز ترکیبات آلی، روابط آبی گیاه و کنترل روزنه‌ها، فتوسنتز، انتقال مواد زیستی، پاسخ گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و تنش‌های زیستی (Oosterhuit *et al*., 2013)، جلوگیری از پیری گیاه، حفظ ظرفیت مقصد در گیاه (Lv *et al*., 2017) و تسریع در بهبود اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Zahoor *et al*., 2017).

تاکنون گزارش‌هایی در مورد تأثیر پتاسیم در کاهش تنش کم آبی (Martineau *et al*., 2017)، تنش شوری (Ullah Jan *et al*., 2017)، تنش سرما (Karimi, 2017)، بیماری‌های قارچی (Zimerman-Lax *et al*., 2018) ارایه شده است. اعتقاد بر این است افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم در شرایط استرس کم آبی باعث افزایش جذب آب توسط سلول‌های ریشه خواهد شد که در نتیجه باعث افزایش پتاسیل اسمزی و گسترش ریشه‌ها شده و این امر موجب دسترسی به آب و عناصر غذایی مانند نیتروژن و افزایش رشد و نمو خواهد شد (Grzebisz *et al*., 2013). بنابراین، کاربرد کودهای حاوی پتاسیم باعث افزایش کارآیی مصرف آب و عملکرد تحت شرایط استرس کم آبی نسبت به شـرایط عـدم کفایت پتاسیم می‌گردد (Martineau *et al*., 2017). نتایج یک تحقیق نشان داد که کاربرد پتاسیم به هر دو شکل کلرید پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث کاهش تأثیر تنش کم آبی دوره‌ای بر رشد و فیزیولوژی برنج گردید که کارآیی کلرید پتاسیم از سولفات پتاسیم در کاهش تنش کم آبی بیشتر بود (Amalia Muhd Zain and Razi Ismail, 2016). نتایج برخی تحقیقات نشان‌دهنده تأثیر مثبت پتاسیم در کاهش تنش خشکی در گلرنگ (Abedi Baba-Arabi *et al*., 2012)، توتون (Norastehnia and Farjadi, 2016)، کلزا (Fanaei *et al*., 2011)، کنجد (Aien, 2012)، گندم (Ramezanpour *et al*., 2009) و سورگوم علوفه‌ای (Khezerloo *et al*., 2010) بوده است.

در بین عناصر غذایی، ریزمغذی آهن به عنوان عنصر مؤثر در فتوسنتز جایگاه خاصی در تغذیه گیاه دارد. ولی درصد بالای بی‌کربنات و کربنات در خاک باعث ایجاد کمبود آهن در گیاه می‌شود (Martinez-Cuenca *et al*., 2013) که این موضوع در خاک‌های کشور ما شایع است. از سوی دیگر وقوع تنش کم آبی نیز بر شدت آن می‌افزاید که با مصرف آهن در قالب کود، کمبود تا حدودی برطرف می‌گردد. بر اساس نتایج یک تحقیق، تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز به واسطه‌ی کاهش عملکرد فتوسیستم II در برگ‌های

سویا گردید ولی کاربرد آهن و روی باعث بهبود آن گردید (Movahhedi Dehnavi and Jalil Sheshbahre, 2017). هم‌چنین، احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2016) نتایج مشابهی را با محلول‌پاشی کود آهن در افزایش فتوسنتز گیاه نخود در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. در تحقیقی، محلول‌پاشی نانواکسید آهن به غلظت یک کیلوگرم در هزار لیتر آب تا حدی مانع اثر سوء تنش خشکی بر عملکرد کنجد گردید (Goleg *et al*., 2016). نتایج یک آزمایش نشان داد محلول‌پاشی کود آهن در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد و درصد روغن در آفتابگردان می‌گردد (Dindoost and Yousefzadeh, 2014).

با توجه به کاهش بارندگی و به طبع آن کاهش منابع آبی، تهیه آب کافی برای مزارع همه ساله مشکل‌تر می‌شود. هر چند آب برای کشاورزی ضروری است ولی با تأمین برخی عناصر معدنی برای گیاه زراعی می‌توان تا حدی از آثار منفی کم آبی و خشکی کاست. هدف از تحقیق حاضر کاهش اثرات تنش کم آبی بر عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از کاربرد سولفات پتاسیم قابل انحلال در آب و کلات آهن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار سال ۱۳۹۳ در شهرستان شهریار با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرعی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا به اجرا شد. میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر بود. بافت خاک مزرعه آزمایشی شنی لوم و pH آن ۷/۸ و دارای ۱۲ درصد آهک بود. نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارایه شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش کرت‌های اصلی شامل رژیم آبیاری در دو سطح: آبیاری معمولی و قطع آبیاری در مرحله شیری، کرت‌های فرعی شامل مقادیر پتاسیم (K_2O) از منبع کود سولفات پتاسیم قابل حل در آب[۱] (Malakouti *et al*., 2016) در سه سطح صفر، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کرت‌های فرعی فرعی شامل مصرف کود کلات آهن در سه سطح شاهد بدون مصرف کود آهن، کاربرد کود کلات آهن (Fe-EDDHA)[۲] در آب آبیاری به مقدار دو کیلوگرم در هکتار و محلول پاشی کلات آهن (Fe-EDTA)[۳] با غلظت دو کیلوگرم در هکتار روی شاخ و برگ گیاه ذرت بودند. پس از عملیات خاک‌ورزی زمین شامل شخم و دیسک‌زنی، بذور ذرت با فاصله بین بوته ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر توسط ردیف کار کشت شدند. کرت‌های آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول پنج متر بودند. آبیاری هر هفت روز یک‌بار انجام گردید. هم‌چنین وجین علف‌های هرز به روش دستی انجام شد. برای اعمال تیمارهای کاربرد کود، سولفات پتاسیم قابل حل در آب و کود کلات آهن Fe-EDDHA در مرحله قبل از تاسل‌دهی ذرت همراه با آبیاری مصرف گردید. هم‌چنین، کود کلات آهن Fe-EDTA نیز با غلظت دو کیلوگرم در هکتار محلول‌پاشی شد. برای اعمال تیمار تنش قطع آبیاری نیز از مرحله شیری تا مرحله رسیدگی دانه آبیاری متوقف گردید.

برای اندازه‌گیری کلروفیل در مرحله خمیری دانه ذرت از برگ‌های نزدیک به بلال ذرت نمونه برگی برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل گردید.

۱ـ Solupotasse, Tessenderlo Group, Belgium

۲ـ Fe- Ethylenediamine-N,N'-bis (2-hydroxy phenyl acetic acid)

۳ـ Fe- ethylene diamin eter acetic acid

برای سنجش کلروفیل a و b و کل، مقدار ۰/۵ گرم برگ تر را وزن نموده و با ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده و سپس مخلوط به‌دست آمده را صاف نموده و با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب محلول در طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳، به ترتیب غلظت کلروفیل‌های a، b و کل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن برگ تر تعیین شد (Arnon, 1967).

رابطه ۱:

$$Chl.a = (12.7(A_{663})-2.69\ (A_{645}))\ V/W\times1000$$

رابطه ۲:

$$Chl.b = (22.9(A_{645})-4.68\ (A_{663}))\ V/W\times1000$$

رابطه ۳:

$$Chl.total\ (mg.g^{-1}\ FWL) = Chl.a + Chl.b$$

در این رابطه A_{663}: جذب در ۶۶۳ نانومتر، A_{645}: جذب در ۶۴۵ نانومتر، V: حجم محلول و W: وزن تر برگ به میلی‌گرم می‌باشند.

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در زمان رسیدگی فیزیولوژیک ذرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های یک متر مربع از هر کرت برداشت شد و به آزمایشگاه برای اندازه‌گیری‌های نهایی منتقل گردید. برای به‌دست آوردن وزن خشک، بوته‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس خشک شده و سپس توزین شدند. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل: نتایج آزمایش حاضر نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار برهمکنش تیمارهای آبیاری و پتاسیم در غلظت کلروفیل کل برگ‌های ذرت در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). هم‌چنین برهمکنش عامل تنش آبیاری در سطوح مختلف کود آهن در غلظت کلروفیل کل برگ‌های ذرت در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت و برهمکنش پتاسیم و کود آهن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. برهمکنش هر سه عامل پتاسیم، کود آهن و آبیاری نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد با اعمال تنش قطع آبیاری در مرحله شیری، غلظت کلروفیل برگ‌های ذرت به‌طور معنی‌داری کاسته شده و از ۲/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در شرایط معمولی به ۱/۹۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در شرایط تنش کاهش یافت (شکل ۱A). با کاربرد کود آهن در شرایط بدون تنش آبی غلظت کلروفیل افزایش معنی‌داری یافت به‌طوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل به ۳/۴۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ رسید. در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله شیری، کاربرد کود آهن در افزایش غلظت کلروفیل تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۱A). کاربرد کود پتاسیم در شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل برگ‌های ذرت گردید و بالاترین غلظت کلروفیل در مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به مقدار ۳/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد عدم مصرف کود پتاسیم ۱/۲۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ افزایش نشان داد. در شرایط تنش خشکی کاربرد پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل برگ ذرت نداشته است ولی با کاربرد کود پتاسیم افزایش مختصری نشان داد و از ۲/۰۲ به ۲/۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ رسید (شکل ۱B). کاربرد کود آهن

در شرایط عدم مصرف کود پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل برگ از ۱/۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به ۲/۳۶ و ۲/۳۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ گردید. با کاربرد کود پتاسیم به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار این اختلاف بیشتر شده و با کاربرد کودهای آهن Fe-EDDHA و Fe-EDTA از ۲/۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ به‌ترتیب به ۳/۴۳ و ۳/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ افزایش یافت. ولی با افزایش مقدار پتاسیم این اختلاف کاهش پیدا کرد (شکل 1C). با توجه به نتایج حاضر در شرایط آبیاری معمولی و بدون تنش کاربرد پتاسیم و آهن باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های ذرت گردید ولی با قطع آبیاری در مرحله شیری هر چند پتاسیم و آهن در قالب کود در اختیار بوته‌های ذرت قرار گرفته بود ولی از غلظت کلروفیل برگ‌های ذرت کاسته شد. از طرفی دیگر کاربرد توأم کودهای پتاسیم و آهن نقش مؤثرتری نسبت به کاربرد هر یک به تنهایی در افزایش غلظت کلروفیل داشته است. نتایج یک تحقیق نشان داده است کاربرد پتاسیم پس از مرحله تلقیح باعث افزایش غلظت کلروفیل در گندم گردید (Lv *et al*., 2017). در تحقیقی دیگر کاربرد کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های سورگوم گردید و با افزایش دوره‌های آبیاری تاثیر آن بر غلظت کلروفیل افزایش یافت. وجود مقادیر کافی پتاسیم در خاک باعث افزایش مقاومت سورگوم به تنش خشکی می‌گردد (Asgharipour and Heidari, 2011).

وزن خشک تک بوته

نتایج آزمایش حاضر نشان داد برهمکنش تیمارهای آبیاری و پتاسیم تأثیر معنی‌داری در وزن خشک بوته ذرت در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). هم‌چنین، برهمکنش عامل تنش آبیاری در سطوح مختلف کود آهن در وزن خشک بوته ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و نیز برهمکنش پتاسیم و کود آهن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. برهمکنش هر سه عامل پتاسیم، کود آهن و آبیاری نیز در سطح پنج درصد در وزن خشک بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). با کاربرد آهن هم به‌صورت محلول‌پاشی و هم به صورت همراه آب آبیاری، وزن خشک بوته افزایش معنی‌داری در شرایط بدون تنش داشت و از ۱۹۵ گرم در بوته به ۲۴۹ گرم در بوته در کاربرد کود آهن به‌صورت محلول‌پاشی و ۲۴۳ گرم در بوته در کاربرد آهن به‌صورت همراه با آبیاری رسید. در شرایط تنش، کاربرد کود آهن به هر دو شکل محلول‌پاشی و همراه آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بوته نداشت (شکل 2A). کاربرد کود سولفات پتاسیم محلول در آب در شـرایط آبیاری معمولی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته ذرت گردید و از ۱۹۷ گرم در بوته به‌ترتیب به ۲۶۳ و ۲۲۷ گرم در بوته با مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار رسید. ولی در شرایط تنش کم آبیاری اساساً تغییر معنی‌داری در وزن خشک بوته مشاهده نگردید (شکل 2B). با افزایش مقدار مصرف پتاسیم تا ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاربرد آهن به هر دو شکل محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری، افزایش معنی‌داری در وزن خشک بوته مشاهده گردید که به‌ترتیب ۲۳۹ و ۲۴۱ گرم در بوته بود (شکل 2C).

وزن هزار دانه

برهمکنش کود پتاسیم، کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه ذرت را در سطح احتمال پنج درصد

داشت. برهمکنش کاربرد کود آهن و کود پتاسیم باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در وزن هزار دانه ذرت گردید (جدول ۲). بالاترین وزن هزار دانه ذرت زمانی به‌دست آمد که پتاسیم در مقادیر ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار همراه با کود آهن به‌صورت محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری مصرف گردید. افزایش وزن هزار دانه ذرت در مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به همراه مصرف کود آهن به‌صورت محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری در شرایط آبیاری معمولی نسبت به شاهد بالاترین اختلاف را نسبت به سایر تیمارها نشان داد (شکل‌های A, B, C ۳).

تعداد دانه در بلال

مصرف کود آهن توانست تعداد دانه در بلال را در سطح یک درصد افزایش دهد (جدول ۲) و از ۳۸۰ عدد دانه در بلال به‌ترتیب به ۴۳۲ و ۴۲۵ عدد دانه در بلال در مصرف کود آهن به روش محلول‌پاشی و همراه با آبیاری افزایش دهد (شکل 4A). هرچند تأثیر آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲) ولی در شرایط آبیاری معمولی تعداد دانه در بلال تغییر چندانی ایجاد نشد (جدول ۴). کاربرد کود سولفات پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد در تعداد دانه در بلال داشت (جدول ۲) و در مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار بالاترین تأثیر را در تعداد دانه در بلال ایجاد کرد (شکل 4B).

عملکرد دانه

برهمکنش هر سه عامل پتاسیم، کود آهن و آبیاری نیز بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). کاربرد کود آهن به هر دو شکل محلول‌پاشی و همراه آبیاری به همراه سولفات پتاسیم ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه گردید (شکل 5C). کاربرد پتاسیم ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری معمولی باعث افزایش عملکرد دانه ذرت به‌ترتیب به ۶۹۷۸ و ۶۰۴۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد بدون مصرف پتاسیم (۵۲۹۴ کیلوگرم در هکتار) گردید. در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله شیری ذرت و بدون مصرف سولفات پتاسیم عملکرد دانه ذرت ۳۹۲۱ کیلوگرم در هکتار بود ولی با مصرف پتاسیم به میزان ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش قطع آبیاری به ترتیب به مقدار ۴۷۹۴ و ۴۸۰۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل 5B).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر برهمکنش مصرف پتاسیم، آهن و تنش کم آبیاری معنی‌دار نگردید. برهمکنش کود آهن و تنش کم آبیاری، کود پتاسیم و کم آبیاری و هم‌چنین برهمکنش کود پتاسیم و کود آهن نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت (جدول ۲). نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد کود آهن به هر دو روش محلول‌پاشی و مصرف همراه آبیاری (شکل 6A) و کاربرد پتاسیم در مقادیر ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار (شکل 6B) در افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت بود. هر چند ایجاد تنش قطع آبیاری در مرحله شیری باعث افت معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید (شکل 6C).

تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین مسائل در کشاورزی می‌باشد و می‌تواند به‌واسطه تأثیر مستقیم بر ریشه، بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه اثر سوء داشته باشد (Wang *et al*., 2013) که البته می‌توان با اعمال مدیریت صحیح تغذیه گیاهی تا حدودی از شدت آن کاست. نتایج تحقیق پرماچاندرا و همکاران (Premachandra *et*

al., 1991) نشان داده است با تأمین پتاسیم کافی، گیاه زراعی ذرت به‌واسطه بهبود تعادل اسمزی در سلول‌های ریشه خود توانایی تحمل تنش خشکی را خواهد داشت. در آزمایش حاضر مصرف پتاسیم در شرایط آبیاری معمولی نتایج مثبتی در غلظت کلروفیل و عملکرد دانه و اجزای عملکرد داشت. در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله شیری نیز تأثیر مثبت در شاخص‌های مذکور مشاهده شد و به‌واسطه تأمین پتاسیم، وزن هزار دانه و در نتیجه عملکرد مناسبی به‌دست آمد. نتایج تحقیقات نشان داده است که پتاسیم دارای نقش مهمی در انتقال و متابولیسم قندها و اسیدهای آمینه به مقصد بوده (Hu *et al*., 2018) و با افزایش ظرفیت مقصد به‌طور مستقیم در پر شدن دانه غلات مؤثر می‌باشد (Lv *et al*., 2017; Arif *et al*., 2017). از طرفی دیگر پتاسیم نقش مهمی در افزایش مقدار آنزیم‌های مرتبط با تنش‌های محیطی و قندها (Jahanbakhsh, *et al*., 2017)، باز و بسته شدن روزنه‌ها و سازگاری به شرایط تنش خشکی (Hasanuzzaman *et al*., 2018) و هم‌چنین افزایش طول عمر برگ (Lv *et al*., 2017) دارد. نتایج مشابه تحقیق حاضر در پنبه (Zahoor *et al*., 2017)، برنج (Chen *et al*., 2017)، ذرت (Aslam *et al*., 2013; Henteh and Aminian, 2017)، آفتابگردان (Soleimanzadeh *et al*., 2010) و گلرنگ (Amir Khalili, *et al*., 2016) نیز به‌دست آمده است. نتایج آزمایش حاضر نشان داد در شرایط آبیاری معمولی کاربرد کود آهن به هر دو صورت محلول‌پاشی و همراه با آب آبیاری می‌تواند تأثیر مثبت در افزایش عملکرد دانه به‌واسطه تأثیر بر اجزای عملکرد داشته باشد. نتایج آزمایش چالیشکان و همکاران (Caliskan *et al*., 2008) نشان داد کاربرد ۴۰۰ گرم در هکتار کود Fe-EDTA به همراه ۸۰ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد دانه سویا را به همراه داشت. ایشان عنوان نمودند که کاربرد کود نیتروژن پوشش‌دار به همراه کود آهن Fe-EDTA به‌صورت استارتر باعث افزایش سرعت رشد در مراحل اولیه رشد می‌گردد. در آزمایشی دیگر کاربرد هم‌زمان آهن و روی به همراه کود آلی بهترین نتیجه را در عملکرد نخود ایجاد نمود (Janmohammadi *et al*., 2018). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد کاربرد ورمی کمپوست غنی‌شده با سولفات آهن و سولفات روی به همراه محلول‌پاشی سولفات آهن و روی ۲۰ تا ۴۰ روز پس از کاشت بالاترین عملکرد ذرت شیرین را نسبت به کاربرد ورمی کمپوست غنی شده داشت (Arabhanvi and Hulihalli, 2018). در عین حال در تحقیق حاضر هرچند تنش قطع آبیاری در مرحله شیری باعث کاهش عملکرد دانه گردید ولی کاربرد کود آهن تا حدودی توانست این نقیصه را جبران نماید. نتیجه یک تحقیق نشان داده است کاربرد کود آهن و گوگرد در شرایط تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن و آهن و افزایش عملکرد کنجد داشته است (Heidari *et al*., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

در این بررسی تنش کم آبی سبب کاهش اکثر صفات به‌ویژه عملکرد و اجزای عملکرد گردید در حالی که تأثیر کاربرد کودهای پتاسیم و کلات آهن بر آنها مثبت بود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار به همراه کاربرد کلات آهن می‌تواند عملکرد مناسبی هنگام تنش کم آبی تولید کند. لذا در شرایط کم آبی استفاده از برنامه تغذیه‌ای مطلوب می‌تواند باعث دست‌یابی به عملکرد مناسب در ذرت گردد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Results of soil chemical analysis

عنصر Element	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 (ppm)	پتاسیم K_2O (ppm)	منیزیم Mg (ppm)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)
مقدار Amount	2.66	0.22	10	2.8	0.16	0.9

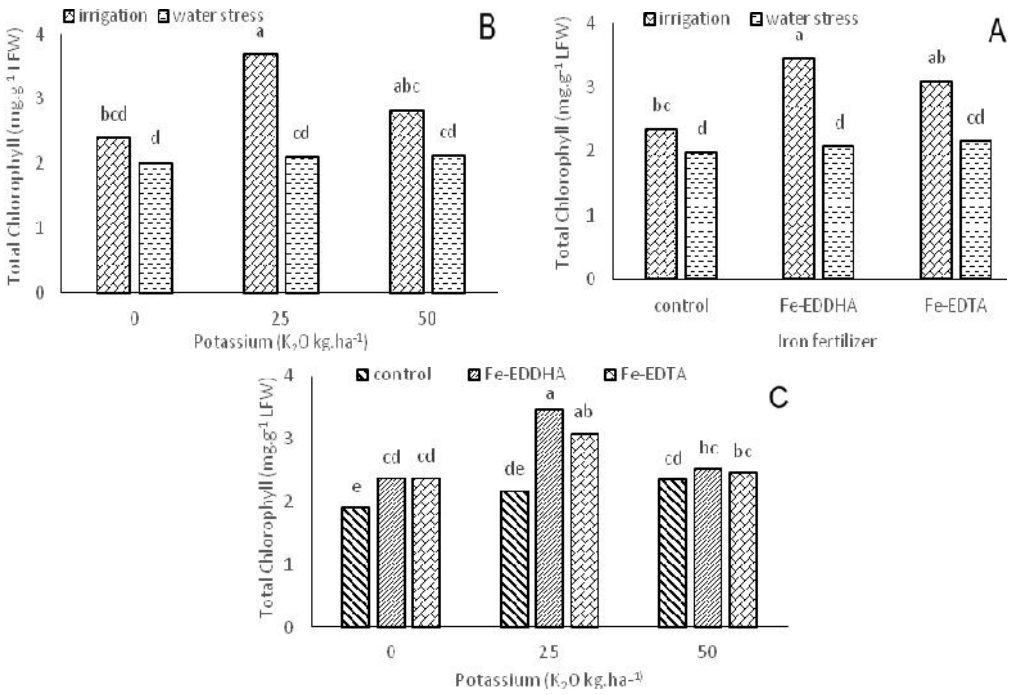
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت کلروفیل و عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد ذرت تحت تاثیر مقادیر مختلف پتاسیم و آهن در شرایط تنش قطع آبی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of corn chlorophyll concentrations, biological and grain yield and yield component under water deficit stress

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	کلروفیل کل Total Chlorophyll	وزن خشک بوته Plant Dry Weight	وزن هزار دانه Seed thousand weight	تعداد دانه در بلال Seed No. per Ear	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield
بلوک Block	2	0.051ns	167.4ns	44.15ns	3276ns	107725ns	3446272ns
آبیاری Irrigation	1	10.77**	39013*	10666**	80349**	25100698**	154292274**
خطای اصلی Main Error	2	0.088	286.8	76.59	372	184545	289187
پتاسیم Potassium	2	2.18**	5978**	1611**	37258**	3846645**	14111005*
آبیاری × پتاسیم Irrigation× Potassium	2	1.72**	4076**	1084**	10791ns	2622892**	1176829ns
خطای فرعی Error Sub Plot	8	0.1	165.6	46.63	3951	108471	4108870
کود آهن Iron fertilizer	2	1.77**	5718**	1557**	14256**	3679020**	15218362**
آبیاری × کود آهن Irrigation × Iron fertilizer	2	1.12**	2751**	733.7**	1095ns	1770283**	5715307ns
پتاسیم × کود آهن Potassium ×Iron fertilizer	4	0.65 ns	1624 ns	436.8 ns	2392ns	1045386 ns	2208676ns
آبیاری × پتاسیم × کود آهن Irrigation× Potassium ×Iron	4	0.67 ns	1428 ns	382.1 ns	1074ns	919120 ns	1928411ns
خطای فرعی فرعی Sub Sub Plot Error	24	0.17	450.8	124.9	3770	290065	2704533
ضریب تغییرات C.V. (%)		16.4	15.4	8.9	14.8	9.9	11.5

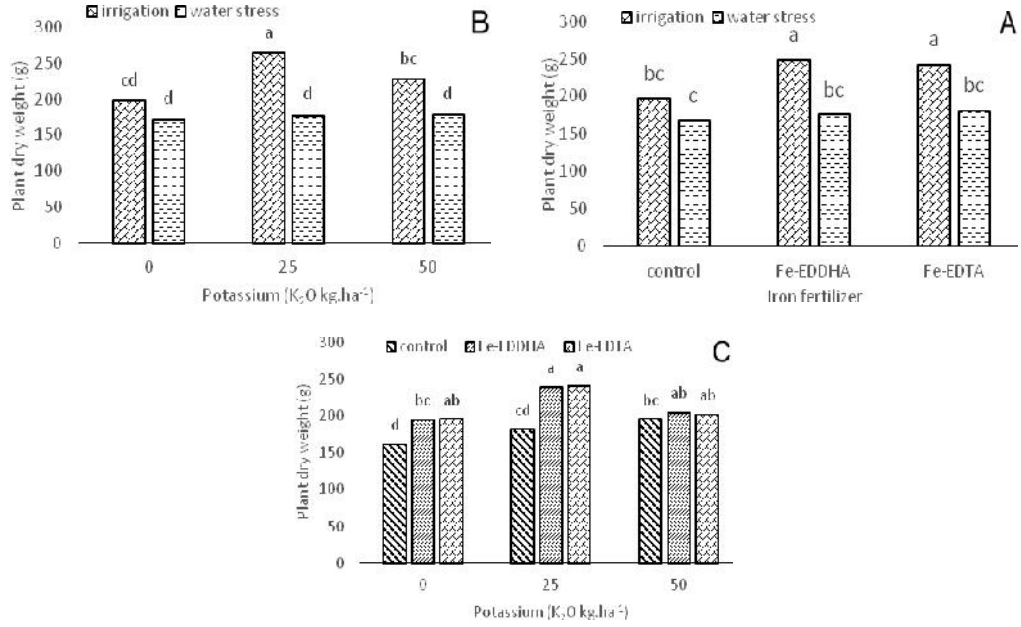
* و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

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



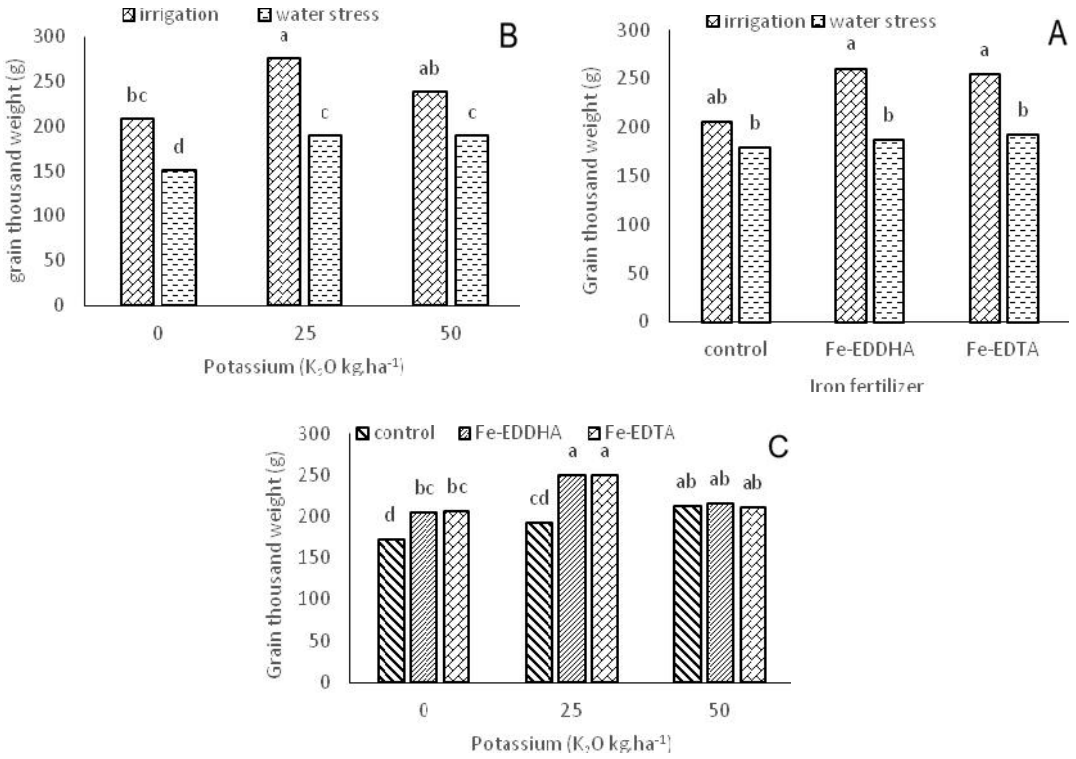
شکل ۱- تأثیر برهمکنش کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (A)، کود پتاسیم و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (B) و کودهای پتاسیم و آهن (C) بر غلظت کلروفیل ذرت

Figure 1- Interaction of iron fertilizer and water deficit stress (A), potassium fertilizer and water deficit stress (B) and potassium and iron fertilizers (C) on chlorophyll concentration of corn



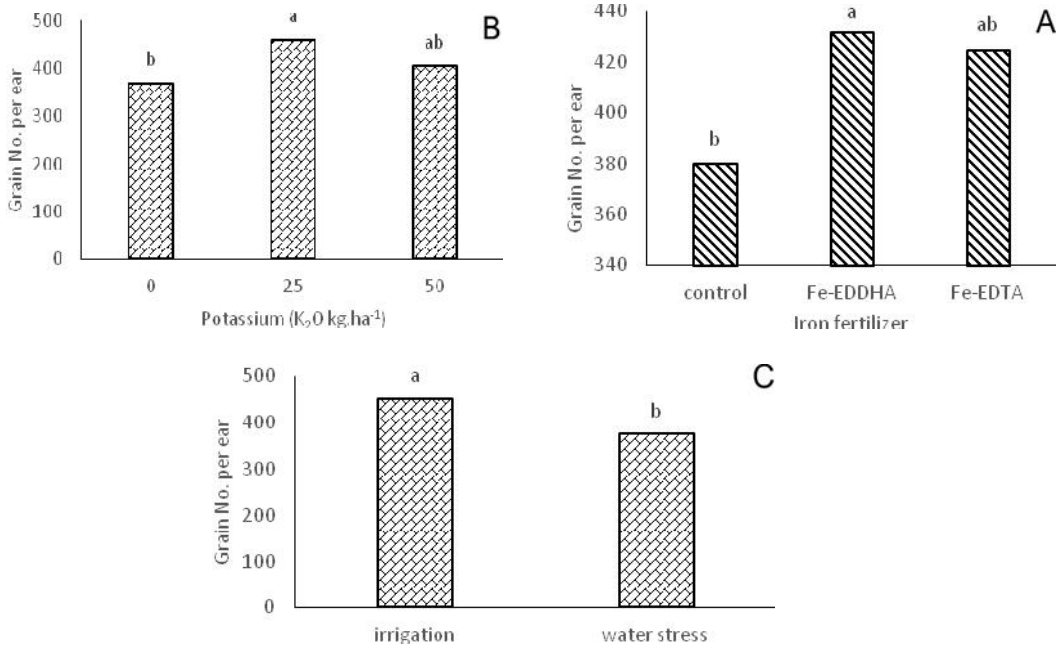
شکل ۲- تأثیر برهمکنش کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (A)، کود پتاسیم و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (B) و کودهای پتاسیم و آهن (C) بر وزن خشک بوته ذرت

Figure 2- Interaction of iron fertilizer and water deficit stress (A), potassium fertilizer and water deficit stress (B) and potassium and iron fertilizers (C) on plant dry weight of corn



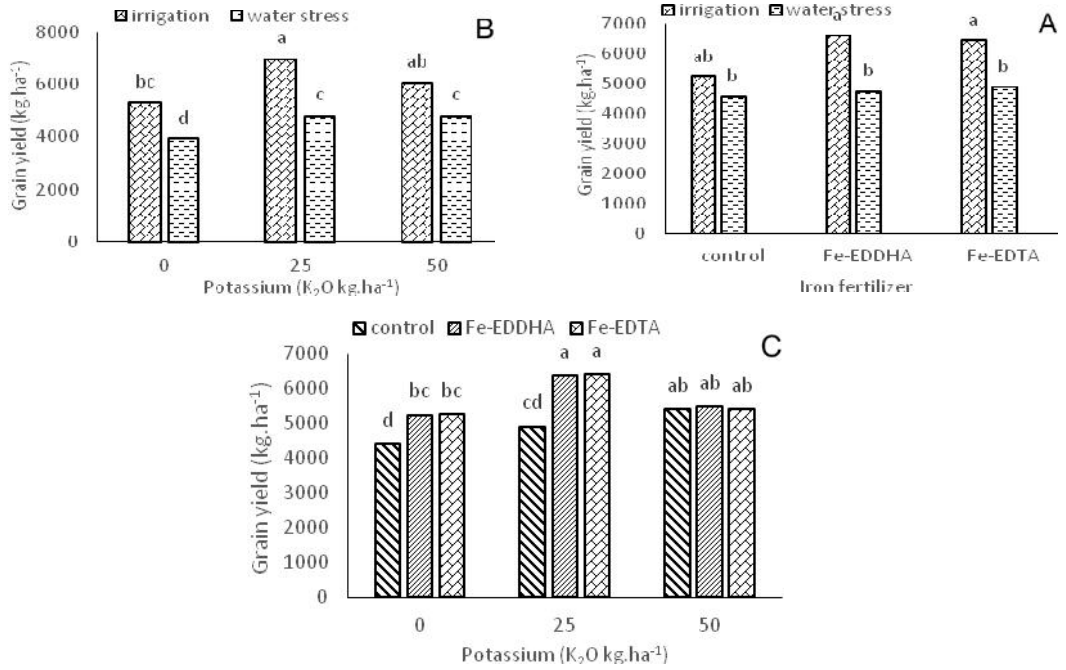
شکل ۳- تأثیر برهمکنش کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (A)، کود پتاسیم و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (B) و کودهای پتاسیم و آهن (C) بر وزن هزار دانه ذرت

Figure 3- Interaction of iron fertilizer and water deficit stress (A), potassium fertilizer and water deficit stress (B) and potassium and iron fertilizers (C) on grain thousand weight of corn



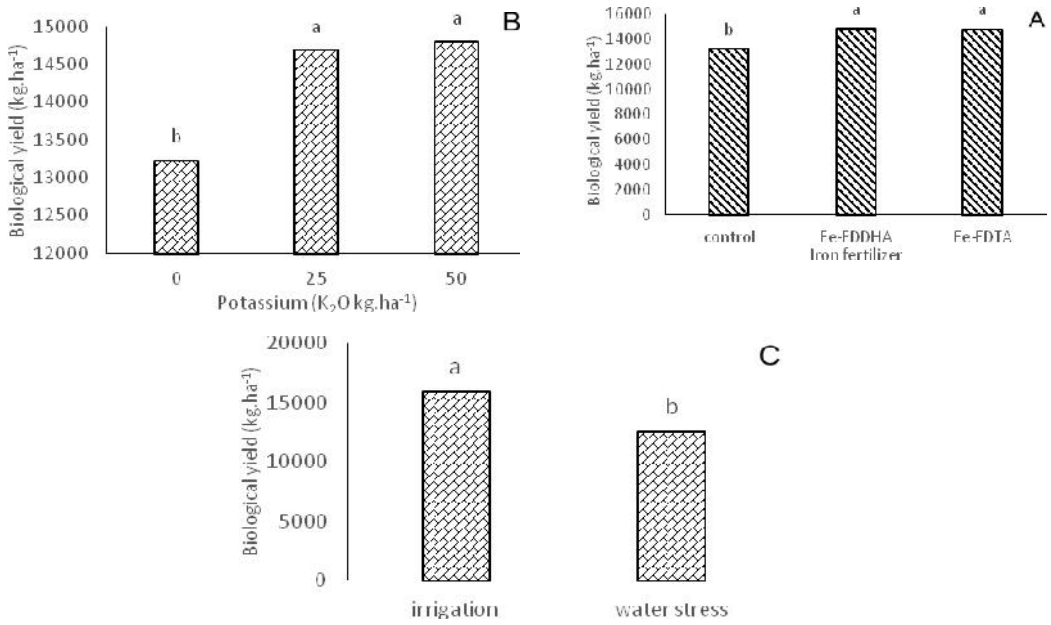
شکل ۴- تأثیر کود آهن (A)، کود پتاسیم (B) و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (C) بر تعداد دانه در بلال ذرت

Figure 4- Effect of iron fertilizer (A), potassium fertilizer (B) and water deficit stress (C) on grain No. per ear of corn



شکل ۵- تأثیر برهمکنش کود آهن و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (A)، کود پتاسیم و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (B) و کودهای پتاسیم و آهن (C) بر عملکرد دانه ذرت

Figure 5- Interaction of iron fertilizer and water deficit stress (A), potassium fertilizer and water deficit stress (B) and potassium and iron fertilizers (C) on grain yield of corn



شکل ۶- تأثیر کود آهن (A)، کود پتاسیم (B) و تنش قطع آبیاری در مرحله شیری (C) بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Figure 6- Effect of iron fertilizer (A), potassium fertilizer (B) and water deficit stress (C) on biological yield of corn

References منابع مورد استفاده

- Abedi Baba- Arabi, S., M. Movahhedi Dehnavi, A.R. Yadavi, and E. Adhami. 2012. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*. 4(1): 75-95. (In Persian).
- Afarinesh, A., G. Fathi, R. Chugan, S.A. Syadat, Kh. Alamisaid, and S.R. Ashrafizadeh. 2015. Effects of drought stress and soil compaction on some agronomic traits of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Production* (*Agronomy, Plant Breeding, Horticulture*). 38(2): 13-24. (In Persian)
- Ahmadi, L., A. Ghobadi, M. Saeidi, and J. Ghaderi. 2016. The study of some physiologic and biochemical traits to drought stress and methods of Fe fertilizer application in chickpea. *Journal of Plant Process and Function.* 4(14): 165-176. (In Persian).
- Aien, A. 2012. Proline and soluble carbohydrate contents and potassium, zinc calcium uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under drought stress. *Journal of Crop Production in Environmental Stress*. 4(3): 39-48. (In Persian).
- Amalia Mohd Zain, N., and M. Razi Ismail. 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. *Agriculture Water Management*. 164(1): 83-90.
- Amir Khalili, N., A. Amiri Behzadi, and E. Babakhanzadeh Sajirani. 2016. Top-dressing of potassium fertilizers on safflower. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(3): 599-612. (In Persian).
- Arabhanvi, F., and U.K. Hulihalli. 2018. Agronomic fortification with zinc and iron to enhancing micronutrient concentration in sweet corn grain to ameliorate the deficiency symptoms in human beings. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(2): 333-340.
- Arif, M., M. Tasneem, F. Bashir, G. Yahseen, and A. Anwar. 2017. Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on growth and yield of wheat. *International Journal of Biosensors and Bioelectronics.* 3(2): 57- 62.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
- Asgharipour, M.R., and M. Heidari. 2011. Effect of potassium supply on drought resistance in sorghum: plant growth and macronutrient content. *Pakistan Journal of Agricultural Science*. 48(3): 197-204.
- Aslam, M., M.S.I. Zamir, I. Afzal, M Yaseen, M. Mubeen, and A. Shoaib. 2013. Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2(154): 99-114.
- Caliskan, S., L. Ozkaya, M.E. Caliskan, and M. Arslan. 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crop Research*. 108(2): 126-132.
- Chen, G., C. Liu, Z. Gao, Y. Zhang, H. Jiang, L. Zhu, D. Ren, L. Yu, G. Xu, and Q. Qian. 2017. OsHAK1, a high-affinity potassium transporter, positively regulates responses to drought stress in rice. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1-17.

- Dindoost, S., and S. Yousefzadeh. 2014. Zinc, iron and manganese fertilizers foliar application on sunflower (*helianthus annuus* L., Var. Haisan) under drought stress. *Journal of Research in Agronomy Science*. 6(22): 25-41. (In Persian).
- Fanaei, H.R., M. Galavi, M. Kafi, A. Ghanbari Bonjar, and A. H.Shirani-rad. 2011. Effect of drought stress and potassium on solutes accumulation and chlorophyll of canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Journal of Water and Soil Science*. 15(57): 141-156. (In Persian).
- Goleg, M., H. Ghorbani, and M. Baradarn Firozabadi. 2016. Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 46(4): 619-628. (In Persian).
- Grzebisz, W., A. Gransee, W. Szczepaniak, and J. Diatta. 2013. The effect of potassium fertiliziation on water- use efficiency in crop plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 176(3): 355-374.
- Hasanuzzaman, M., M.H.M.B. Bhuyan, K. Nahar, M.S. Hossain, J.A. Mahmud, M.S. Hossen, A.A.C. Masud, L. Moumita, and M. Fujita. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy Journal*. 8(3): 31-38.
- Heidari, M., M. Galavi, and M. Hassani. 2011. Effects of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. *African Journal of Biotechnology*. 10(44): 8816- 8822.
- Henteh, Z., and R. Aminian. 2017. Response of late maturing hybrids seed corn to the application of potassium sulfate under deficit irrigation. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(2): 283-302. (In Persian).
- Hu, W., D.A. Loka, T.R. Fitzsimons, Z. Zhou, and D.M. Oosterhuis. 2018. Potassium deficiency limits reproductive success by altering carbohydrate and protein balances in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 145: 87-94.
- Jahanbakhsh, S., N. Asghari, A. Ebadi, and N. Tavakoli. 2017. Protein profile in wheat as affected by drought stress and nano-chelate potassium. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(2): 229-252. (In Persian).
- Janmohammadi, M., H. Abdoli, N. Sabaghnia, M. Esmailpour, and A. Aghaei. 2018. The effect of iron, zinc and organic fertilizer on yield of chickpea (*Cicer artietinum* L.) in Mediterranean climate. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 66(1): 49-60.
- Karimi, R. 2017. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*. 215(24): 184-194.
- Khezerloo, F., F. Jalili, and J. Khalili Mahaleh. 2010. Drought stress and nitrogen and potassium on sorghum (Var. Speed feed) forage production. *Journal of Research in Agronomy Science*. 2(8): 51-66. (In Persian).
- Lv, X., T. Li, X. Wen, Y. Liao, and Y. Liu. 2017. Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. *Field Crops Research*. 206: 95-105.
- Malakouti, M.J., A.S. Shahabi, and K. Bazargan. 2016. Potassium in agriculture: The role of potassium in the production of healthy agriculture products. (2nd Edition), Moballeghan Publication, Tehran, Iran. 331pp. (In Persian).

- Martineau, J.C. Domec, A. Bosc, P. Denoroy, V. Asensio Fandino, J. Lavres, and L.J. Meille. 2017. The effect of potassium nutrition on water use in field- grown maize (*Zea mays* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 134: 62-71.
- Martinez-Cuenca, M.R., F. Legaz, M.A. Forner-Giner, E. Primo-Millo and D.J. Iglesias. 2013. Bicarbonate blocks iron translocation from cotyledons inducing iron stress responses in citrus roots. *Plant Physiology*. 170(10): 899-905.
- Movahhedi Dehnavi, M., and M. Jalil Sheshbahre. 2017. Soybean leaf physiological responses to drought stress improved via enhanced seed zinc and iron concentrations. *Journal of Plant Process and Function*. 5(18): 13-21. (In Persian).
- Norastehnia, A., and M. Farjadi. 2016. The effect of the interaction between water stress and potassium nitrate on some of the physiological responses of *Nicotiana tabacum* L. *Nova Biologica Reperta*. 2(4): 260-271.
- Oosterhuit. D.M., D.A. Loka, and T.B. Raper. 2013. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 176(3): 331-343.
- Premachandra, G.S., H. Saneoka, and S. Ogata. 1991. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *Journal of Experimental Botany*. 42(239): 739-745.
- Ramezanpour, M.R., M. Dastfal, and M.J. Malakouti. 2009. Potassium effect on drought stress in wheat on Darab region, Fars province. *Iranian Journal of Soil Science*. 22(1): 127-135. (In Persian).
- Shiri, M.R., R. Choukan, and R.T. Aliyev. 2015. Drought stress effects on gene action and combining ability of maize inbred lines. *Seed and Plant Improvement Journal*. 31(3): 421-440. (In Persian).
- Soleimanzadeh, H., D. Habibi, M.R. Ardakani, F. Paknejad, and F. Rejali. 2010. Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *American Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 5(1): 56-61.
- Tabatabaei, S.A., and E. Shaleri. 2015. Effect of drought stress on maize hybrids yield and determination of the best hybrid using drought tolerance indices. *Environmental Stress in Crop Sciences*. 8(1): 121-125. (In Persian).
- Ullah Jan, A., F. Hadi, M. Midrarullah, M. Asif Nawaz, and K. Rahman. 2017. Potassium and zinc increase tolerance to salt stress in wheat (*Triricum aestivum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 116: 139-149.
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen, and S. Guo. 2013. The Critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Science*. 14(4): 7370-7390.
- Zahoor, R., W. Zhao, H. Dong, J.L. Snider, M. Abid, B. Iqbal, and Z. Zhou. 2017. Potassium improves photosynthetic tolerance to and recovery from episodic drought stress in functional leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 119: 21-32.
- Zimerman-Lax, N., D. Tamir- Ariel, M. Shenker, and S. Burdman. 2017. Decreased potassium fertilization is associated with increased pathogen growth and disease severity caused by Acidovorax citrulli in melon foliage. *Journal of General Plant Pathology*. 84(1): 27-34.

Evaluating of the Role of Soluble Potassium Sulfate and Chelated Iron on Corn Yield and Yield Components under Water Deficit Stress

Saeed Reza Yaghoobi[1], Arash Roozbahani[2]*, and Mohammad Reza Akhavan Mohseni[3]

Received: June 2018 , Revised: 17 July 2018, Accepted: 03 October 2018

Abstract

Proper crop nutrition is a key factor for achieving suitable crop yield, even under drought stress conditions. To evaluate the effects of soluble potassium sulfate fertilizer and iron chelate on corn (*Zea mays* L.) seed yield and its yield components under water deficite stress a split split plot experiment based on randomized complete block design with three replications was caried out in Shahryar, Tehran province, in 2014. The main plots were assigned to water deficit stress and normal irrigation and subplots to soluble potassium sulfate and chelated iron. Soluble potassium sulfate levels were 0, 25, 50 $kg.ha^{-1}$ K_2O and iron fertilizer sprayed as Fe-EDDHA. The results showed that interaction of potassium sulfate, iron fertilizer and water deficit stress at seed milky stage was significant (P> 0.05) as to total chlorophyll, plant dry weight, thousand seed weight and corn seed yield. The application of iron, potassium and water deficit stress had also a significant effect (P> 0.01) on biological yield and number of seeds per ear, but their interactions were not significant. Application of 25 $kg.ha^{-1}$ of potassium sulfate and iron chelate as foliar spray increased seed yield from 5294 $kg.ha^{-1}$ in control (without fertilizer application) to 6978 $kg.ha^{-1}$ and seed yield, under water deficit stress at seed milky stage, increased from 3921 $kg.ha^{-1}$ in control treatment to 4794 $kg.ha^{-1}$. According to the results of this study, application of 25 $kg.ha^{-1}$ of potassium sulfate along with the application of iron chelate, at pre-tasseling stage, may produce acceptable yield under water deficit stress condition.

Key words: Chlorophyll, Fertilizer, Seed yield, Yield loss.

1- Assistant Professor, Samangan Agricultural College, Technical and Vocational University, North Khorasan, Iran.
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
3- M.Sc. Department of Agronomy and Plant Breeding, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
* *Corresponding Author: roozbahani@riau.ac.ir*