دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره سوم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۵
http://arpe.gonbad.ac.ir

مطالعه خصوصیات کمی و کیفی سویا در پاسخ به مصرف خاکی و برگی عنصر آهن در شرایط تنش خشکی

سمیرا عادلی[۱*]، مسعود رفیعی[۲]

[۱]کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد

[۲]استادیار دانشگاه آزاد و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خرم‌آباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش مصرف کلات آهن (Fe-EDDHA)، بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی دانه سویا رقم L17، در شرایط کمبود آب، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد خرم‌آباد در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری بدون قطع آبیاری (آبیاری براساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی (آبیاری براساس تخلیه ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و کرت‌های فرعی شامل هشت سطح کلات آهن که چهار سطح به‌صورت مصرف خاکی (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و چهار سطح به‌صورت مصرف برگی (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی ۲، ۴ و ۶ در هزار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. اثر تنش خشکی و کلات آهن بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، به نحوی که با مصرف خاکی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن بالاترین میانگین را برای عملکرد دانه به‌میزان ۳۰۱۲/۳۵ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. مطابق با نتایج، به طور کلی مصرف خاکی کلات آهن در شرایط تنش خشکی اثر مثبتی بر روی صفات اندازه‌گیری شده داشت. در شرایط بدون تنش، در مصرف خاکی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن، صفات اندازه‌گیری شده بیشترین میانگین‌ها را به‌خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد که، مصرف خاکی آهن مناسب‌تر است و در شرایط تنش خشکی می‌تواند تا حدی اثرات مضر ناشی از تنش آب را کاهش دهد و شرایط رشد را برای گیاه بهبود بخشد و باعث بهبود عملکرد دانه سویا شود.

واژه‌های کلیدی: *تنش کمبود آب، کلات آهن، عناصر کم‌مصرف، محلول‌پاشی*

*نویسنده مسئول: soya1388@gmail.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

گیاهان زراعی در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی بسیاری مواجه می‌شوند. در بین این تنش‌ها، تنش خشکی و شوری جدی‌ترین مسأله‌ای است که رشد گیاه و تولید محصول را در کشاورزی محدود می‌کند. در اثر کمبود آب، به‌علت کاهش توزیع مواد غذایی در بافت خاک، جذب مواد غذایی از طریق ریشه کاهش می‌یابد که موجب آسیب دیدگی انتقال دهنده‌های فعال و کاهش انعطاف‌پذیری غشای بافت ریشه می‌شود (Hu *et al.,* 2007). تنش خشکی باعث چروکیده شدن دانه‌ها می‌شود و با افزایش تنش علاوه برکاهش تولید مواد فتوسنتزی، اختلال در انتقال مواد و عناصر به دانه نیز ایجاد می‌گردد (Cakmak, 2008). گیاهان در هنگام تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی خود ایجاد می‌کنند، به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند. تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند. یکی از اثرات تنش خشکی، بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (Faraji, 2014). گیاهان نسبت به تنش آب در مراحل مختلف رشد عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند.

در دو دهه اخیر کم‌آبی باعث شده است که، عملکرد گیاهان زراعی با محدودیت مواجه شود. این امر به‌طور وسیعی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد (Reddy *et al.,* 2004). رشد و نمو گیاهان علاوه بر فراهمی عناصر پرمصرف، به فراهمی عناصر کم‌مصرف هم نیازمند است. مصرف ریزمغذی‌ها، مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را افزایش می‌دهد و در این میان عناصر ریزمغذی آهن و روی نیز تأثیر زیادی در کاهش اثرات سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی دارند (Yazdani Chamheidary *et al.,* 2014). نباتی و همکاران (Nabati *et al.,* 2008) اعلام کردند که، عملکرد و کیفیت گیاهانی که تحت شرایط تنش‌های محیطی قرار گرفته‌اند با تغذیه عناصر ریزمغذی و تنظیم کننده‌های رشد بهبود خواهد یافت. نتایج تحقیقات محققان بیانگر آن است که، مصرف کودهای ریزمغذی می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را افزایش دهد (Baybordi and Malakouti, 2004). در پژوهشی بیان شده است که، مصرف کافی کلات آهن (Fe-EDDHA) می‌تواند به‌طور مؤثری کلروز را کاهش و عملکرد را در سویا افزایش دهد (Wiersma, 2005).

آهن نقش اساسی در متابولیسم کلروفیل‌ها دارد و به‌عنوان کوفاکتور در بسیاری از پروتئین‌های دخیل در فعالیت‌های سلولی شرکت دارد (Broadly *et al.,* 2012). کمبود آهن می‌تواند کارایی اندامک‌های فتوسنتزی را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. آهن هم‌چنین در ساختمان پروتئین‌ها از جمله سیتوکروم‌ها به‌کار گرفته شده‌است (Frey and Reed, 2012). عناصر ریزمغذی آهن و روی تأثیر زیادی در کاهش اثرات مضر تنش خشکی در گیاهان زراعی دارند. با کاهش میزان رطوبت خاک،

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

تحرک عناصر روی و آهن در خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عناصر مواجه می‌گردد. بهترین و مؤثرترین روش برای مبارزه با کمبود آهن، استفاده از ترکیبات آلی آن (کلات) است. از مزایای کلات نسبت به سایر منابع نظیر سولفات‌ها و اکسیدها می‌توان به پایداری بیشتر و دسترسی بالاتر یون‌های آهن، جذب راحت توسط گیاه، جلوگیری از تأثیر متقابل با دیگر عوامل در خاک نظیر کربنات‌ها، خطر مسمومیت کمتر بافت‌های گیاهی و حلالیت بهتر و بیشتر آن اشاره کرد (Foth and Eliss, 1997).

گیاه سویا به‌عنوان مهم‌ترین گیاه روغنی در دنیا، رتبه دوم از نظر تولید و سطح زیر کشت در کشور را به‌خود اختصاص داده است. روغن‌های گیاهی در مقایسه با چربی‌های حیوانی به‌دلیل پایین بودن میزان اسیدهای چرب اشباع از کیفیت بهتری برخوردارند. از سایر فرآورده‌های دانه‌های روغنی به‌خصوص پروتئین آنها نیز استفاده فراوانی در تغذیه انسان و دام می‌شود (Reddy *et al.,* 2004). دانه‌های روغنی، از جمله مواد غذایی ضروری و مورد نیاز بشر به‌شمار می‌روند که با فرآورده‌های مختلف خود نه تنها قسمتی از نیازهای غذایی جوامع بشری را تأمین می‌نمایند، بلکه حتی مصارف صنعتی و دارویی نیز دارند و به‌همین دلیل از محصولات مهم کشاورزی هستند.

دوس و همکاران (Doss *et al.,* 1974) به این نتیجه رسیدند که، اگر سویا در مرحله گلدهی با تنش آبی مواجه شود؛ تولید محصول نسبت به دیگر مراحل رشدی کاهش بیشتری از خود نشان داد. با توجه به این‌که کمبود آب در بسیاری از مراحل نمو سویا عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، اما اثرات منفی تنش در زمان‌های گلدهی و تشکیل بذر و پر شدن دانه از اهمیت بالایی برخوردار است (Shawquat *et al.,* 2016). تنش خشکی و زمان اِعمال تنش بر روی کیفیت دانه سویا و موقعیت نیام‌ها در ساقه تأثیر دارد (Maleki *et al.,* 2013). بویر و همکاران (Boyer *et al.,* 1980) نتیجه گرفتند که، تنش آبی در تمامی مراحل رشد سویا باعث کاهش رشد رویشی شده و بر روی گلدهی و عملکرد اثر می‌گذارد. در مطالعه‌ی دیگری مقدار آب مورد نیاز سویا با توجه به شرایط آب و هوایی، برای به‌دست آوردن بالاترین عملکرد، ۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر بیان شده است و مرحله گلدهی به‌عنوان بحرانی‌ترین دوره رشد به تنش آبی معرفی شده است (Kobraie *et al.,* 2011). برای تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی، طی تحقیقی که برروی سویا انجام شد، اکثر صفات مورد بررسی نسبت به تنش خشکی عکس‌العمل منفی نشان دادند که در این میان عملکرد دانه نسبت به دیگر صفات آسیب بیشتری از خود نشان داد (Tripathi *et al.,* 2015).

تنش خشکی یکی از عوامل کاهش تثبیت نیتروژن در گیاه است که به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر مقدار کربوهیدرات تولید شده در گیاه و انتقال آن به ریشه، موجب کمبود نیتروژن در گیاه شده و صفات مختلف از جمله عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ravuri and Hum, 2003).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

هوبز و موندل (Hobbs and Muendel, 1983) اعلام کردند که، تنش خشکی باعث افـزایش پـروتئین دانه می‌شود. جویچ و همکاران (Jovic *et al.,* 2014) گزارش نمودند که، بر اثر تنش خشکی، عملکـرد دانه سویا کاهش یافت که این امر ناشی از کاهش تعداد دانه در گیاه و وزن هزار دانه بود. آن‌ها هم‌چنین دریافتند که، مقدار روغن دانه با تشدید تنش افزایش و مقدار پروتئین دانه کـاهش یافـت، امـا بـه‌علـت کاهش عملکرد دانه، تنش تأثیری منفی در عملکرد روغن و پروتئین دانه داشت. هـدف از ایـن تحقیـق مطالعه خصوصیات کمی و کیفی سویا در پاسخ به مصرف خاکی و برگی عنصـر آهـن در شـرایط تـنش خشکی بوده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد خرم‌آباد (با ارتفاع ۱۲۸۱ متـر از سـطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجـه و ۲۵ دقیقـه شـرقی) به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی بـا چهـار تکـرار اجـرا شد. تیمار آبیاری در دو سطح بدون قطع آبیاری (آبیاری براسـاس تخلیـه ۵۰ درصـد رطوبـت ظرفیـت زراعی) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی (آبیاری براسـاس تخلیـه ۷۵ درصـد رطوبـت ظرفیـت زراعـی) به‌عنوان فاکتور اصلی و ۸ سطح کلات آهن از منبع سکوسترین ۱۳۸ (Fe-EDDHA) که چهـار سـطح آن به‌صورت مصرف خاکی (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و چهار سطح بـه‌صـورت مصـرف برگی (بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی ۲، ۴ و ۶ در هزار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش از عمـق صـفر تـا ۳۰ سـانتی‌متـری خـاک مزرعـه نمونـه‌بـرداری شـد و خصوصـیات فیزیکوشیمیایی و درصد عناصر موجود در خاک تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (درصد)	P ($mgkg^{-1}$)	Fe ($mgkg^{-1}$)	Zn ($mgkg^{-1}$)	Cu ($mgkg^{-1}$)	Mn ($mgkg^{-1}$)	K ($mgkg^{-1}$)	نیتروژن (درصد)	بافت خاک
۷/۵	۰/۶	۰/۰۹۵	۳۰	۲/۱	۰/۴۸	۰/۵۲	۹	۳۱۰	۰/۰۴۶	لومی

مقـدار فسـفر خـاک بـه روش اولسـن، پتاسـیم بـه روش اسـتات آمونیـوم، بافـت خـاک بـه روش هیدرومتری، آهک کل به روش خنثی نمودن با اسید کلریدریک، اسیدیته و هدایت الکتریکی بـه‌ترتیـب با روش‌های گل و عصاره‌ی اشباع و عناصر کم مصرف به روش عصاره‌گیری با DTPA و اندازه‌گیـری بـا دستگاه جذب اتمی تعیین شد (Pauwels *et al.,* 1992). بذر مـورد اسـتفاده رقـم L17 کـه از مرکـز تحقیقات کشاورزی خرم آباد تهیه گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دو دیسک عمـود بـرهم در

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

هنگام کاشت و تسطیح زمین بود. کودپاشی مطابق عرف منطقه انجام گرفت. میزان کود مصرف شده معادل ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (از منبع اوره) در ابتدای کاشت بود. به‌منظور تشکیل گره‌های تثبیت نیتروژن در ریشه، بذور با باکتری سویه *Rhizobium japonicum* تلقیح شدند.

در هنگام کاشت، طول خطوط کاشت ۷ متر، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. هر کرت دارای چهار ردیف کاشت بود. جهت حصول نتایج آماری صحیح و جلوگیری از تحرک کودها، بین کرت‌ها در تکرار یک متر فاصله و بین تکرارها نیز چهار متر فاصله در نظر گرفته شد تا از اثرات جانبی نفوذ و پاشش کودها جلوگیری شود. مصرف خاکی و برگی عنصر آهن، در مرحله گلدهی و در هنگام اعمال تنش خشکی انجام شد. محلول‌پاشی با استفاده از نازل سم‌پاش، در انتهای روز (ساعت ۵ تا ۸ بعدازظهر) به‌عنوان خنک‌ترین ساعات روز و عدم وزش باد و کاهش عمل تبخیر صورت گرفت. برای مصرف خاکی، کود کلات آهن در پای بوته‌ها با خاک مخلوط گردید. برای تعیین مراحل رشد (از نظر زمان اِعمال تیمارهای آبیاری)، براساس تقسیم‌بندی مراحل رشد و نمو سویا توسط فهر و کاوینس (Fehr and Caviness, 1977) استفاده شد. بر این اساس، از زمان کاشت آبیاری تمامی کرت‌ها براساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک انجام گرفت و از آن به بعد، با شروع مرحله گلدهی تقریباً به‌میزان ۵۰ درصد گلدهی تا مرحله تشکیل عملکرد و پر شدن دانه آبیاری در کرت‌های تنش خشکی، پس از اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی انجام گرفت.

اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی انجام شد. برای این منظور، ۴۸ ساعت بعد از آبیاری اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا۳۰ سانتی‌متر) گردید. نمونه‌های برداشت شده بلافاصله توزین و جهت تعیین میزان رطوبت، در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند. قبل از آبیاری مجدد، اجازه داده شد تا رطوبت خاک در عمق ریشه به ۷۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی برسد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه، که با قهوه‌ای شدن غلاف‌ها مشخص شد از دو ردیف میانی کرت آزمایشی (یک مترمربع) و با در نظر گرفتن اثر حاشیه برداشت انجام گرفت. در هر کرت، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای آن به‌منظور کاهش اثر حاشیه حذف و بقیه جهت تعیین عملکرد برداشت شدند. وزن هزار دانه، پس از برداشت محصول و با شمارش تعداد هزار دانه از هر کرت برای هر تکرار انجام شد و با ترازوی حساس بر حسب گرم توزین شد و میانگین وزن هزار دانه ارقام مشخص گردید. در هر کرت تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی، جهت تعیین صفات ارتفاع ساقه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف انتخاب شد. از دانه‌های برداشت شده از هر کرت، نمونه‌ای به وزن ۱۰۰ گرم جهت تعیین درصد پروتئین و روغن دانه انتخاب شد. درصد روغن با روش سوکسله و درصد پروتئین با روش میکرو کجلدال اندازه‌گیری شد (Kaufman, 1958). میزان

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

عنصر آهن موجود در دانه با استفاده از عصاره خاکستر خشک و دستگاه جذب اتمی انـدازه‌گیـری شـد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمـون LSD در سـطح احتمـال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: در این آزمایش، اثر مصرف کلات آهن و اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کـلات آهـن بر ارتفاع بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد کـه، تیمارهـای ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلـوگرم کـلات آهن در هکتار و سطوح محلول‌پاشی ۴ در هزار کلات آهن در شرایط تنش خشکی، از لحاظ ارتفاع بوته نسبت به سایر تیمارها برتر بودند، بـه‌طـوری‌کـه مصـرف ۱۵۰ و ۱۰۰کیلـوگرم کـلات آهـن در هکتـار به‌ترتیب ارتقاع بوته را به‌میزان ۴۶/۶۲ و ۴۶/۱۳ سانتی‌متر افزایش دادند که در مقایسه با تیمـار شـاهد (عدم مصرف کلات آهن) ارتفاع ساقه ۸/۱۴ درصد افزایش یافت. هم‌چنین تأثیر مثبت محلـول‌پاشـی ۶ در هزار کلات آهن و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن بر ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش خشـکی نیـز دیده شد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد سویا

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه
تکرار	۳	۲۵/۳۶	۶/۳۳	۲/۱۴	۱/۹۴
تنش خشکی	۱	۱۷/۲۲^{ns}	۲/۱۲^{ns}	۱/۵۷^{ns}	۲/۲۵^{ns}
خطا a	۳	۹/۲۰	۴/۱۱	۱/۳۶	۱/۶۴
کلات آهن	۷	۲۱/۲۹*	۳/۳۸^{ns}	۲/۶۹^{ns}	۲/۷۴*
کلات آهن × تنش	۷	۲۷/۵۶**	۶/۴۸^{ns}	۲/۳۸^{ns}	۳/۸۴*
خطا b	۴۲	۸/۶۹	۳/۲۹	۱/۸۴	۱/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۱	۶/۸۴	۳/۶۴	۲/۷۹

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

در آزمایشی بر روی سویا مشاهده شد که، میانگین ارتفاع بوته در مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه نسبت به اعمال تنش رطوبتی حساس‌ترین صفت به‌شمار می‌رود و ارتفاع بوته تحت این شرایط کاهش می‌یابد (Desclaux and Roumet, 1996). افزایش ارتفاع به‌واسطه کود آهن مربوط به نقش این عنصر در فتوسنتز است. این عنصر باعث افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم کننده‌های رشد می‌شود، در نتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

گیاه از جمله ساقه‌ها وارد می‌شود و در نهایت، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Heidarzadeh *et al.*, 2016). آهن در سنتز ماده اولیه کلروفیل اهمیت زیادی دارد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که با کاربرد کود آهن ارتفاع افزایش یابد.

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات سویا و اثر متقابل تیمارهای مصرف خاکی و برگی کلات آهن×تنش خشکی

تیمارهای آبیاری	نحوه مصرف	میزان مصرف	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)
بدون قطع آبیاری	مصرف خاکی	۰	۴۴/۵۴^{d}	۱۳۱/۲۹^{d}
		۵۰	۴۹/۴۷^{c}	۱۳۳/۸۴^{c}
		۱۰۰	۵۱/۶۸^{b}	۱۳۵/۴۶^{b}
		۱۵۰	۵۳/۲۵^{b}	۱۳۷/۲۷^{a}
	مصرف برگی	۰	۴۳/۹۷^{d}	۱۳۱/۱۹^{d}
		۲	۴۹/۵۵^{c}	۱۳۲/۷۲^{cd}
		۴	۵۲/۱۸^{bc}	۱۳۵/۴۹^{b}
		۶	۵۶/۶۸^{a}	۱۳۳/۴۴^{b}
قطع آبیاری	مصرف برگی	۰	۴۳/۱۱^{d}	۱۱۵/۳۶^{d}
		۵۰	۴۵/۵۳^{b}	۱۱۹/۸۱^{c}
		۱۰۰	۴۶/۱۳^{a}	۱۲۵/۰۴^{a}
		۱۵۰	۴۶/۶۲^{a}	۱۲۱/۲۷^{b}
	مصرف خاکی	۰	۴۳/۱۷^{d}	۱۱۶/۳۵^{d}
		۲	۴۴/۸۴^{c}	۱۱۸/۶۹^{c}
		۴	۴۵/۴۹^{b}	۱۲۰/۱۹^{b}
		۶	۴۴/۷۵^{c}	۱۱۷/۰۷^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

تعداد غلاف در بوته: تعداد غلاف در بوته در سطوح تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت. اثر کلات آهن و اثر متقابل تنش کمبود آب در کلات آهن نیز معنی‌دار نبود (جدول ۲). با وجود عدم معنی‌داری، بیشترین تعداد غلاف در بوته، در شرایط تنش کمبود آب، با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار با میانگین ۳۷/۳۵ غلاف در بوته و تیمار محلول‌پاشی ۴ در هزار کلات آهن با میانگین۳۴/۶۴ غلاف در بوته مشاهده شد. پس از آن، بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط بدون قطع آبیاری با تیمار محلول‌پاشی ۴ در هزار کلات آهن و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار بود. تنش باعث افزایش سقط غلاف و کاهش تعداد آن در گیاه می‌شود (داده‌ها ارائه نشده است).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

تعداد دانه در غلاف: اثر تنش کمبود آب بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود. هم‌چنین اثر مصرف خاکی و برگی کلات آهن و اثر متقابل آن‌ها نیز معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در همین شرایط عدم معنی‌داری، بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط تنش خشکی در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن با میانگین ۲/۶۱ و محلول‌پاشی ۶ در هزار آن با میانگین ۲/۵۹ به‌دست آمد. پایین‌ترین تعداد دانه در غلاف در شرایط مطلوب آبیاری و تنش خشکی، به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) تعلق داشت. در شرایط آبیاری بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار محلول‌پاشی ۴ در هزار کلات آهن با میانگین ۲/۸۸ و با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن و با میانگین ۲/۸۱ به‌دست آمد (داده‌ها گزارش نشده است).

وزن هزار دانه: اثر کلات آهن و اثر متقابل بین تنش خشکی و کلات آهن بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که، با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار در شرایط تنش کمبود آب، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کلات آهن) حدود ۸/۳۹ درصد افزایش داشت. در شرایط بدون قطع آبیاری نیز بیشترین وزن هزار دانه به‌ترتیب در مصرف خاکی و برگی با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و تیمار محلول‌پاشی ۴ در هزارکلات آهن به‌مقدار ۱۳۷/۲۷ و ۱۳۵/۴۹ گرم به‌دست آمد (جدول ۳).

تنش شرایط محدودیت منابع غذایی را جهت پر شدن دانه فراهم می‌کند که در نتیجه باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود. اثر تنش خشکی بر وزن هزاردانه، در طی پر شدن دانه دیده می‌شود. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این‌که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند. بنابراین، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کم می‌شود. تنش با ایجاد اختلال در نمو بذر باعث ایجاد چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌شود. تنش در مرحله گلدهی عملکرد را به‌واسطه کاهش در اندازه بذر کاهش می‌دهد (Vieira *et al.*, 1992). هم‌چنین تنش در این مرحله با کاهش حرکت مواد ذخیره‌ای به دانه به‌علت محدودیت آب و یا با کاهش سهم فتوسنتز جاری برگ‌ها در پر شدن دانه و وزن هزار دانه اثر می‌گذارد (Chaves *et al.*, 2002). وزن هزار دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن دانه است و از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود. در شرایط تنش قبل از مرحله گرده‌افشانی به‌دلیل کوتاه شدن دوره رویشی، کربوهیدرات‌های کمتری در گیاه ذخیره می‌شود. کم بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای و کاهش دوام سطح برگ در مرحله پر شدن دانه‌ها سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Hobbs and Muendel, 1983). با توجه به نقش عنصر آهن در فرآیندهای فتوسنتزی و تجمع هیدرات‌های کربن، کاربرد این عنصر با افزایش وزن هزار دانه سویا همراه بود. افزایش وزن هزار دانه در هنگام بروز تنش خشکی در اثر مصرف کود آهن می‌تواند به‌علت افزایش دوره پر شدن دانه از طریق

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

افزایش میزان کلروفیل و دوام سطح برگ باشد. به‌نظر می‌رسد، استفاده از کود کلات آهن در چنین شرایطی بر انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته‌ها تأثیر مثبتی گذاشته و در نهایت مواد پرورده منتقل شده به دانه‌ها افزایش یابد و همین موضوع باعث افزایش وزن دانه‌ها شده‌است (Fathi Amirkhiz *et al.*, 2015).

عملکرد دانه: تنش خشکی و اثر متقابل بین تنش خشکی و کلات آهن بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد دانه شد و اثر تنش کمبود آب بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. با وقوع تنش از عملکرد دانه کاسته شد، به‌طوری‌که گیاهان در شرایط تنش عملکرد کمتری نسبت به آبیاری مطلوب داشتند. تنش در مرحله گلدهی، کاهش شدید وزن و تعداد دانه و در نهایت کاهش عملکرد را به‌همراه داشته است. براساس نتایج این آزمایش، نحوه مصرف کلات آهن، تأثیر معنی‌داری در میزان عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی داشت. بالا رفتن سطوح خاکی عنصر آهن موجب افزایش در میزان عملکرد دانه گردید. بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن به‌میزان ۳۰۱۲/۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد سویا

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	درصد روغن	درصد پروتئین	مقدار عنصر آهن دانه
تکرار (بلوک)	۳	۹۱۲/۵۸	۳/۴۲	۲/۹۱	۲۰/۴۳
تنش خشکی	۱	۷۴۳/۴۸**	۲/۴۶^{ns}	۲/۴۶^{ns}	۹/۳۵^{ns}
خطا a	۳	۳۹۸/۱۹	۶/۳۵	۷/۴۷	۱۰/۶۸
کلات آهن	۷	۲۷۶/۴۵^{ns}	۳/۳۹^{ns}	۳/۸۶^{ns}	۶/۷۳^{ns}
کلات آهن × تنش	۷	۶۹۷/۹۷*	۷/۱۹^{ns}	۱۰/۳۹^{ns}	۵/۵۳^{ns}
خطا b	۴۲	۲۹۴/۰۵	۵/۳۱	۹/۲۹	۱۱/۶۹
ضریب تغیرات (درصد)		۴/۹۲	۲/۸۴	۴/۳۸	۷/۶۳

ns، * و ** به‌ترتیب فاقد اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

مقایسه میانگین در تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد که، پایین‌ترین سطح عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، به تیمار بدون محلول‌پاشی و به‌میزان ۲۵۴۰/۶۶ کیلوگرم در هکتار تعلق داشته است. با محلول‌پاشی ۶ در هزار کلات آهن بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش به‌میزان ۲۷۶۶/۳۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی ۴ در هزار کلات آهن نداشت. در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین عملکرد دانه در مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کلات آهن به‌میزان ۳۶۷۹/۲۹ کیلوگرم در هکتار و هم‌چنین با محلول‌پاشی ۶ در هزار کلات آهن به‌میزان ۳۳۸۷/۳۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات سویا و اثر متقابل تیمارهای مصرف خاکی و برگی کلات آهن × تنش خشکی

تیمارهای آبیاری	نحوه مصرف	میزان مصرف	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
بدون قطع آبیاری	مصرف خاکی	۰	۳۱۸۳/۶۰^{c}
		۵۰	۳۲۸۱/۵۷^{c}
		۱۰۰	۳۴۴۳/۶۴^{b}
		۱۵۰	۳۶۷۹/۲۹^{a}
	مصرف برگی	۰	۳۱۵۷/۳۴^{d}
		۲	۳۲۷۳/۶۷^{c}
		۴	۳۳۳۹/۴۱^{bc}
		۶	۳۳۸۷/۳۳^{bc}
قطع آبیاری	مصرف برگی	۰	۲۶۳۲/۸۳^{c}
		۵۰	۲۷۴۵/۲۷^{bc}
		۱۰۰	۲۸۳۱/۶۴^{b}
		۱۵۰	۳۰۱۲/۳۵^{a}
	مصرف خاکی	۰	۲۵۴۰/۶۶^{d}
		۲	۲۶۲۱/۱۸^{c}
		۴	۲۷۵۱/۹۸^{bc}
		۶	۲۷۶۶/۳۸^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که، مصرف کلات آهن در شرایط تنش خشکی و حتی شرایط مطلوب رطوبتی نیز می‌تواند در افزایش عملکرد دانه سویا مؤثر باشد. علت افزایش عملکرد دانه سویا در شرایط تنش خشکی با مصرف کلات آهن می‌تواند تأثیر این عنصر بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که، مصرف عناصر کم مصرف، اثرات تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی و شوری را کاهش می‌دهند (Wang *et al.,* 2004). زیرا که عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس، منیزیم و منگنز نقش مهمی را به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ایفا می‌کنند. بنابراین، هنگامی‌که گیاهان با کمبود این عناصر مواجه باشند، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد و حساسیت به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Corpas *et al.,* 1983). از طرفی تنش اکسیداتیو باعث کاهش تولید کلروفیل می‌شود که پیامد آن، آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. این موضوع به‌دلیل تغییر و تبدیل پروتئین‌های مجموعه فتوسیستم II صورت می‌گیرد. بنابراین، افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان در اثر مصرف کلات آهن، به‌خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه شود، زیرا از این طریق می‌توانند صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش داده که نتیجه آن، افزایش عملکرد دانه است (Giardi *et al.,* 1997).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

درصد پروتئین دانه: تنش خشکی، کلات آهن و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه نداشتند (جدول ۴). با وجود عدم معنی‌داری، مصرف کلات آهن به دو روش خاکی و برگی در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی موجب افزایش پروتئین دانه گردید، به‌نحوی‌که تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول‌پاشی ۶ در هزار، پروتئین دانه را در شرایط تنش به‌ترتیب به‌میزان ۳۴/۵۴ و ۳۳/۲۱ درصد افزایش داد که در مقایسه با تیمار عدم مصرف آهن، به‌ترتیب به‌مقدار ۱۴/۵۷ و ۷/۳۷ درصد افزایش دادند. محلول‌پاشی ۴ در هزار و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار نیز به‌ترتیب موجب افزایش ۳۸/۳۱ و ۳۹/۰۵ درصدی پروتئین دانه در شرایط بدون تنش گردیدند (داده‌ها گزارش نشده است).

درصد روغن دانه: در این آزمایش، اثر مصرف کلات آهن و اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و کلات آهن بر روغن دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۴). در همین شرایط عدم معنی‌داری، تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول‌پاشی ۴ در هزار آن، به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۲۱ و ۱۶/۷۳ درصد روغن دانه را در شرایط تنش افزایش داد. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین میانگین‌ها از تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول‌پاشی ۴ در هزار به‌دست آمد (داده‌ها گزارش نشده است). تنش رطوبتی تعادل میان پروتئین و روغن را برهم می‌زند. معمولاً تنش میزان پروتئین را افزایش و میزان روغن دانه را کاهش می‌دهد. در این شرایط مولکول‌های ساده‌تر خود به‌خود افزایش یافته و تبدیل مواد فتوسنتزی بیشتر به‌سمت ساخت پروتئین پیش می‌رود (Rotundo and Westgate, 2009).

میزان عنصر آهن در دانه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که، میزان عنصر آهن در دانه تحت تأثیر تنش کمبود آب و کلات آهن و اثر متقابل بین آن‌ها قرار نگرفت است (جدول ۴). مصرف کلات آهن موجب بالارفتن این عنصر در دانه سویا شد. با توجه به عدم معنی‌داری، نحوه مصرف کلات آهن تأثیر معنی‌داری در میزان عنصر آهن در دانه در شرایط تنش خشکی داشت. در شرایط تنش بیشترین میزان عنصر آهن در دانه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار به‌میزان ۲۷/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد در همین شرایط با محلول‌پاشی ۶ در هزار کلات آهن بیشترین میزان عنصر آهن در دانه با میانگین ۲۹/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در شرایط مطلوب آبیاری بیشترین میزان عنصر آهن در دانه نیز از تیمارهای ۱۵۰ کیلوگرم کلات آهن در هکتار و محلول‌پاشی ۶ در هزار کلات آهن به‌دست آمد که نسبت به شاهد در همین سطح ترتیب افزایش ۱۲/۵۰ و۱۲ /۱۳ درصدی داشت (داده‌ها گزارش نشده است).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی آب می‌باشد. در این تحقیق اکثر صفات مورد بررسی نسبت به خشکی واکنش منفی نشان دادند که در این میان عملکرد دانه نسبت به دیگر صفات آسیب بیشتری دید. در بین ویژگی‌های گیاه که نشان‌دهنده سرعت رشد گیاه می‌باشد، ارتفاع بوته و از بین ویژگی‌های زایشی گیاه تعداد غلاف در بوته، تحت تأثیر تنش آبی کاهش یافت و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه شد. مصرف عنصر آهن در شرایط تنش در تیمارهای خاکی در مقایسه با تیمارهای برگی، تأثیر مثبتی در صفات اندازه‌گیری شده داشت. به‌نظر می‌رسد که افزایش عملکرد دانه و میزان پروتئین و روغن سویا در تیمار مصرف خاکی کود آهن، در مقایسه با روش محلول‌پاشی، به‌دلیل فراهم شدن شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تر برای گیاه در طول دوره زایشی باشد. بنابراین مصرف خاکی آهن می‌تواند در مقایسه با روش تغذیه برگی بر روی صفات مورد ارزیابی مناسب‌تر باشد.

منابع

Baybordi A., Malakouti M.J. 2004. Effect of zinc, iron, manganese and copper on wheat quantity and quality under salt stress conditions. Journal of Water and Soil, 140: 150-170. (In Persian)

Boyer J.S., Johnson R.R., Saupe S.G. 1980. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. Agronomy Journal, 72: 981-985.

Broadley M., Brown P.I.C., Rengel Z., Zhao F. 2012. Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Elsevier, Amsterdam.

Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic, genetic bio fortification. Plant Soil, 302: 1-7.

Chaves M.M., Maroco J.P., Periera S. 2002. How plants cope with water stress in the field of Photosynthesis and growth. Annals of Botany, 98: 907-916.

Corpas F.J., Sandalio L.M., Del Rio L.A., Trelease R.N. 1998. Copper-zinc superoxide dismutase is a constituent enzyme of the matrix of peroxisomes in the cotyledons of oilseed plants. New Phytologyst, 138: 307-314.

Desclaux D., Roumet P. 1996. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L.*merr*) cultivars. Field Crop Research, 46: 61-70.

Doss B.D., Pearson R.W. Ragers H.T. 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agronomy Journal, 66: 297-299.

Faraji A. 2014. Evaluation the response of spring genotypes of canola (*Brassica napus* L.) to drought stress in Gonbad Kavous region. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1 (2): 77-90. (In Persian)

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Fathi Amirkhiz K., Amini Dehaghi M., Heshmati S. 2015. Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower *cv*. goldasht under deficit irrigation conditions. Iranian journal of crop sciences, 16 (4): 308-321. (In Persian)

Fehr W.R. Caviness C.E. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80, Iowa State University, Ames.

Foth D.H., Eliss B.G. 1997. Soil fertility. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Frey P.A., Reed G.H. 2012. The ubiquity of iron. ACS Chemical Biology, 7: 1477-1481.

Giardi M.T., Masojidek J., Godde D. 1997. Effects of abiotic stresses on the turnover of the D1 reaction centre II protein. Physiology Plant, 101: 635-642.

Heidarzade A., Esmaeili M., Abbasi R. 2016. Response of soybean to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. Journal of experimental biology and agricultural sciences, 4(1): 37-46.

Hobbs E.H., Muendel H.H. 1983. Water requirements of irrigated soybean in southern Alberta. Canadian Journal of Plant Science, 63: 855 - 860.

Hu Y., Burucs Z., VonTucher S., Schmidhalter U. 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves maize seedlings. Environment Express Botany, 60: 268-275.

Jovic J., Antunovic M., Rastija M. 2014. Response of soybean to phosphorus fertilization under drought stress conditions. Journal of natural sciences, 15 (1): 37-39.

Kaufman H.P. 1958. Analyse der fette and fettprodukte. Springer Verlag, Berlin.

Kobraee S., Shamsi K., Rasekhi B. 2011. Soybean production under water deficit conditions. Annals of Biological Research, 2 (2): 423-434

Kokubun M., Shimada S., Takahashi M. 2001. Flower abortion caused by pre anthesis water deicit is not attributed to impairment of pollen in soybean. Crop Science, 41: 1517-1521.

Maleki A., Naderi A., Naseri R., Fathi A., Bahamin S., Maleki R. 20132013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2(6): 38-44.

Nabati D.A., Schmidt R.E., Khaleghi E.S., Parrish D.J. 2008. Assessment of drought stress on physiology growth of Agrostis palustris Huds, as affected by plant bio regulators and nutrients. Asian Journal of Plant Science, 7 (8):717-723.

Pauwels J.M., Van Rust E., Verloo M., Mvondo Z.E.A. 1992. Manual of soil laboratory analytical methods of soil and plants, 28th ed. Belgium.

Ravuri Z., Hume D.J. 2003. Performance of a superior bradyrhizobium japonicum and selected sinorhizobium fredii strain with soybean cultivar. Agronomy Journal, 84: 1051-1056.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Reddy A.R., Chaitanya K.V., Vivekanandan M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal Plant Physiology, 161: 1189-1202.

Rotundo J.L., Westgate M.E. 2009. Meta analysis of environmental effects on soybean seed composition. Field Crop Research, 110: 147–156.

Sinclair T.R., Messina C.D., Beatty A., M Samples. 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agronomy Journal, 102: 475-482.

Shawquat M.D., Karim A., Mian K., Haque M.M. 2016. Influence of salt and water stress on growth and yield of soybean genotypes. Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science, 39 (2): 167-180.

Tripathi P., Rabara R., Shulaev V.2015. Understanding water-stress responses in soybean using hydroponics system. Front Plant Science, 6: 1145.

Vieira R.D., Tekrony D.M., Egli D.B. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field on Soybean seed germination and vigor. Crop Science, 32 (2): 471-475.

Wang S.H., Yang Z.M., Yang H., Lu B. 2004. Copper-induced stress and antioxidative responses in roots of Brassica juncea. Botanical Bulletin-Academia Sinica, 45: 203-212.

Wiersma J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agronomy Journal, 97: 924-934.

Yazdani Chamheidary Y., Ramroudi M., Asgharipour MR. 2014. Evaluation the effects of drought stress on yield, yield components and quality of *Cuminum cyminum* L. Under Fe and Zn foliar spraying conditions. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1 (3): 81-96. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]