تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۷۰۳-۷۱۸
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3197.1816

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر برخی خصوصیات کمی و کیفی سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش کم‌آبی

محمد سعید وقار[1*]، سعید سیف‌زاده[2]، حمیدرضا ذاکرین[3]، سهیل کبرایی[4]، سید علیرضا ولدآبادی[2]

۱. استادیار، گروه زراعت، واحد قصرشیرین، دانشگاه آزاد اسلامی، قصرشیرین، ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۳. استادیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۴. استادیار، گروه زراعت، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری و عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی سویا آزمایشی در دو سال متوالی (۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی سویا رقم M9 در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه اجرا شد. عامل اصلی تنش خشکی (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل شروع گلدهی، شروع غلاف دهی و شروع دوره پر شدن دانه) و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها (آهن، روی، منگنز، آهن+روی، آهن+منگنز، روی+منگنز، آهن+روی+منگنز و آب مقطر (شاهد)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. برهمکنش تنش خشکی در مرحله غلاف دهی و عدم محلول‌پاشی نانوکلات‌ها منجر به کاهش بیشتر وزن هزار دانه (۳۰ درصد)، عملکرد دانه (۳۴/۹ درصد)، عملکرد زیست‌توده (۲۹/۵ درصد) و شاخص برداشت (۷/۶ درصد) نسبت به تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل گردید. در مقابل محلول‌پاشی آهن+روی این صفات را به ترتیب ۲۲/۹، ۶۱/۱، ۴۶/۵ و ۱۰ درصد افزایش داد و نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت. افت درصد روغن در اثر تنش در مرحله پر شدن دانه شدیدتر بود. کمترین درصد روغن (۱۷/۴۷) از ترکیب تیماری بین عدم آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عدم محلول‌پاشی و بیشترین از ترکیب تیماری آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی روی+منگنز (۲۳/۷۳ درصد) به دست آمد، درحالی‌که بیشترین پروتئین دانه (۳۹/۵۷ درصد) از تیمار عدم آبیاری در مرحله پر شدن دانه و محلول‌پاشی روی+منگنز حاصل شد. نتایج آزمایش بیانگر این موضوع بود که اثر تنش خشکی در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا بیشتر است و محلول‌پاشی آهن+روی در این مراحل با تعدیل بهتر اثر تنش بالاترین عملکرد دانه را تولید نموده است. تیمار ترکیبی آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی روی+منگنز از بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۷۰۴/۶ کیلوگرم در هکتار برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: **پروتئین دانه، تنش خشکی، روغن دانه، ریزمغذی‌ها، عملکرد دانه**

مقدمه

سویا [*Glycine max* L.) Merr.] یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی و پروتئینی جهان و در ایران به‌عنوان یک‌دانه روغنی ارزشمند کشت می‌شود. حدود ۱۰ درصد مصرف سرانه روغن داخل کشور از طریق داخل تأمین می‌شود، لذا برنامه‌ریزی در جهت توسعه کشت دانه‌های روغنی و افزایش کیفیت این محصول ضروری است (Asadi and Faraji, 2009). تنش رطوبتی بر فرآیندهای بیوشیمیایی فتوسنتز اثر مستقیم دارد و به‌طور غیرمستقیم از ورود دی‌اکسید کربن به داخل روزنه جلوگیری می‌کند و با اختلال در فتوسنتز عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Ergo et al., 2018). یکی از راه‌کارهای توصیه‌شده بر گسترش سطح زیر کشت در شرایط کم‌آبی صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و استفاده از روش‌های

* نگارنده پاسخگو: محمدسعید وقار. پست الکترونیک: ms.vaghar@yahoo.com

کم‌آبیاری است. بر این اساس تعیین مرحله بحرانی نیاز آبی گیاه و تنظیم و تأمین مقدار مناسب آب آبیاری اهمیت خاصی در افزایش بهره‌وری آب و کشاورزی پایداری دارد (Daneshian et al., 2002; Ngouajio et al., 2007). تنش رطوبتی میزان توزیع مواد غذایی در خاک را کاهش داد. جذب و انتقال مواد غذایی از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه مختل شده و گیاه با کمبود مواد غذایی مواجه می‌شود (Sinclair et al., 2010).

عناصر ریزمغذی نقش مؤثری در تغذیه صحیح گیاهان زراعی دارند و به مقدار کم جهت تکامل و تولیدمثل گیاه ضروری است؛ بنابراین برقراری تعادل بین عناصر غذایی در خاک و گیاه یکی از مسائل مهم در رشد گیاهان زراعی است. (Kafi et al., 2009). یون‌های فلزی مانند آهن، روی و منگنز در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها مشارکت دارند (Hansch and Mendel, 2009; Ghasemian et al., 2010) و بیش از دیگر عناصر ریزمغذی در امر تغذیه گیاه نقش دارند (Ghasemian et al., 2010). در سنتز کربوهیدرات‌ها به‌ویژه در شرایط تنش خشکی نقش مهمی دارند و مقاومت گیاه را در برابر تنش محیطی افزایش می‌دهند (Babaeian et al., 2011). کمبود عناصر روی و آهن یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر کم‌مصرف در جهان و ایران است (Malakoti and Tehrani, 2000). در شرایط کمبود آهن سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن و فتوسنتز در واحد سطح برگ کاهش می‌یابد که با کاهش ذخیره نشاسته و قند در برگ‌ها وزن صد دانه و عملکرد اقتصادی کاهش می‌یابد (Alvarez-Fernandez et al., 2004). کمبود روی بر فرآیندهای تیلاکوئیدها تأثیر منفی دارد و باعث کاهش و آسیب شدید به ساختار کلروپلاست می‌شود (Chen et al., 2007).

فناوری نانو با تولید کودهای سازگاربامحیط‌زیست و مقرون‌به‌صرفه پتانسیل بیشتری برای افزایش تولیدات کشاورزی دارد (Huang et al., 2015). نانو کودها حاوی عناصر غذایی در ابعاد ۳۰ تا ۴۰ نانومتر (۹-۱۰ متر) می‌باشند (Subramanian et al., 2015). این فناوری موجب آزادسازی بهتر و افزایش جذب عناصر غذایی موجود در کود می‌شود و محلول‌پاشی آن به‌راحتی قابلیت نفوذ در غشای سلولی است (Liu and Lal, 2015). نتایج تحقیقات متعددی حاکی از تأثیر مثبت کارکرد عناصر ریزمغذی در افزایش عملکرد دانه در کلزا (Baybordi and Mamedov, 2010)، سویا (Jamson et al., 2009) و گلرنگ (Kamaraki and Galovi, 2012) است. همچنین محلول-پاشی روی و منگنز به‌صورت ترکیبی (Movahhady-Dehnavy et al., 2009) و کاربرد آهن به همراه روی (Ravi et al., 2008) عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه گلرنگ را افزایش داده است. در آزمایشی به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی آهن، بور و روی بر خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ مشخص شد که اثر محلول‌پاشی بر صفات مورد آزمون معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته، وزن صد دانه و عملکرد اقتصادی با تیمار آهن و بالاترین درصد پروتئین و تعداد دانه در بوته از تیمار روی و بالاترین درصد روغن توسط تیمار آهن و روی به دست آمد (Kamaraki and Galavi, 2012). کاربرد ریزمغذی‌های روی، آهن، منگنز اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه، درصد روغن، شاخص برداشت و عملکرد اقتصادی کلزا داشته است (Baybordi and Mamedov, 2010). محلول‌پاشی روی و آهن به‌صورت منفرد در بادام‌زمینی سبب جذب بهتر مواد غذایی و افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد و اثر تیمار ترکیبی آهن و روی بیشتر از مصرف جداگانه بوده است (Attia, 2004). با توجه به اهمیت و نقش عناصر ریزمغذی در تعدیل اثرات ناشی از تنش خشکی، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو کلات آهن، روی و منگنز بر گیاه روغنی سویا در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف زایشی گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال متوالی، سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه و با ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا) به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار در سه تکرار بر روی سویا رقم M9 اجرا شد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد تا معتدل است. متوسط بارندگی سالیانه و درجه حرارت منطقه بر اساس آمار هواشناسی ۴۸۰/۷ میلی‌متر و ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد بود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است و توصیه کودی بر اساس نتایج تجزیه خاک قبل از کشت اعمال گردید (اوره ۵۰ کیلوگرم و سوپر فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار).

هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف کشت به طول ۶ متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. بذر موردمطالعه رقم M9 زودرس و از گروه رسیدگی ۲، با رشد نامحدود، پر محصول و مقاوم به ریزش است که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمانشاه تهیه شد. بذرها پس از تلقیح با باکتری همزیست ریزوبیوم جاپونیکوم به‌صورت دستی در عمق ۵ سانتی‌متری و با فاصله ۵ سانتی‌متر از هم در وسط پشته‌ها در تاریخ دهم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ کشت شد. برای اطمینان از دستیابی به درصد سبز شدن و تراکم مطلوب در هر محل دو بذر کشت شد و پس از استقرار گیاهچه‌ها عمل تنک کردن در مرحله V2 (تشکیل دومین برگ سه برگچه‌ای) انجام شد. در این مطالعه تنش خشکی در چهار سطح شامل آبیاری کامل مطابق با نیاز آبی گیاه، یک نوبت قطع آبیاری در مراحل شروع گلدهی، شروع غلاف دهی و شروع دوره پر شدن دانه در کرت‌های اصلی و سطوح هشت‌گانه محلول‌پاشی نانوکلات‌آهن، روی، منگنز، آهن+روی، آهن+منگنز، روی+منگنز، آهن+روی+منگنز و آب مقطر (شاهد) به‌عنوان کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۳۰- ۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical properties of study site soil (depth 0-30 cm)

سال Year	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	ماده آلی Organic matter	نیتروژن‌کل N	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	فسفر P	پتاسیم K	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
	(%)					(mg.kg^{-1})						
2015	14	40	46	2.3	0.19	6.4	0.72	4.2	9.8	539	7.5	Silty-clay
2016	12	41	47	2.2	0.15	5.9	0.81	4.1	10.1	499	7.4	Silty-clay

به‌منظور محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از کود شیمیایی با نام تجاری نانو کلات آهن (۹ درصد)، روی (۱۲ درصد) و منگنز (۱۲ درصد) به‌صورت پودری و کاملاً محلول در آب و در زمان تهیه محلول هیچ رسوبی ایجاد نشد. این محلول دارای pH حدود ۶/۵ بود که از شرکت صدور احرار شرق خضراء با شماره ثبت کودی نانو کلات آهن ۳۴۴۲۸، روی ۲۹۹۳۶ و منگنز ۴۹۷۲۲ تهیه گردید. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش پشتی در خنک‌ترین ساعت طول روز (۶ صبح) در دو مقطع زمانی، مرحله V4 (تشکیل چهارمین برگ سه برگچه‌ای) و یک هفته پس از محلول‌پاشی نوبت اول با غلظت سه در هزار در تمام سطح گیاه و در حد اشباع انجام شد وجین دستی علف‌های هرز از مرحله دو تا چهار برگی آغاز و تا گلدهی هر هفت روز یک‌بار انجام شد.

جهت برآورد میزان آب مصرفی و کنترل مقدار آب در هر بار آبیاری، مزرعه به سیستم آبیاری شامل لوله-های پلی‌اتیلن و کنتور آب مجهز گردید. اعمال تنش کم‌آبی در یک مرحله قطع آبیاری تا تخلیه ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه خاک و ثبت رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه TDR برای اعمال تنش یکسان در مرحله شروع گلدهی، شروع غلاف دهی و ابتدای دوره پر شدن دانه صورت گرفت. دستگاه TDR علائمی را به داخل سنسور میله‌ای ارسال می‌کند درزمانی که سنسور در داخل خاک قرار دارد بسته به میزان رطوبت موجود در خاک، مدت‌زمان عبور موج الکترومغناطیسی تغییر می‌کند و میزان درصد رطوبت را مستقیماً قرائت می‌کند. در این تحقیق فاصله بین آبیاری در طول فصل زراعی متغیر بود (۵ تا ۸ روز). درمجموع آبیاری در کرت‌های بدون تنش ۱۴ بار و در کرت-های دارای تنش ۱۳ بار انجام شد. در این مطالعه میزان آب موردنیاز گیاه سویا در تیمار آبیاری کامل با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Allen et al., 1998).

$$ET_C = KC \times ET_O \qquad [۱]$$

که در آن ET_C: تبخیر و تعرق گیاه سویا برحسب (mm/day)، Kc ضریب گیاهی سویا مقادیر آن در مراحل مختلف رشد از نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) به دست آمد. ET_O: تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب (mm/day). تبخیر و تعرق پتانسیل سویا به‌صورت روزانه بر مبنای اطلاعات اقلیمی از رابطه زیر محاسبه شد.

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\left[\frac{890}{T+273}\right]U2(ea-ed)}{\Delta+\gamma(1+0.34U2)} \qquad [۲]$$

که در آن ET_o: تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب ($mm.d^{-1}$)، Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}\ d^{-1}$)، T: میانگین دمای هوا (^oC)، U2: میانگین سرعت باد در ارتفاع متری از سطح زمین ($m.s^{-1}$)، ea – ed: کمبود فشار بخار در

ارتفاع ۲ متری (KPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (KPa $^{o}C^{-1}$)، γ: ضریب سایکرومتری (KPa $^{o}C^{-1}$)، G: شار گرما به داخل خاک ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) است. درنهایت مجموع تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه ۵۱۳/۳۸ میلی‌متر محاسبه شد و حجم آب داده‌شده ۷۷۰۰ لیتر برآورد گردید.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از هر کرت فرعی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی با رعایت اثر حاشیه برداشت گردید. سپس میانگین صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. به‌منظور محاسبه عملکرد نهایی دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه به‌طور کامل برداشت شد. عملکرد دانه در رطوبت ۱۳ درصد محاسبه (Bennett et al., 2014) و وزن خشک کل بوته را به‌عنوان عملکرد زیست‌توده در نظر گرفته شد. جهت استخراج درصد روغن از روش سوکسله با حلال پترولیوم بنزن استفاده شد (Fireston, 1994). عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمد. به‌منظور اندازه‌گیری پروتئین ابتدا مقدار نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال (Kjeldahl) به‌صورت درصد اندازه‌گیری و در ضریب ثابت ۶/۲۵ اعمال و به‌عنوان درصد پروتئین دانه در نظر گرفته شد (Jung et al., 2003). عملکرد پروتئین دانه نیز از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه برآورد گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های سال اول و دوم نشان داد اثرات اصلی و برهمکنش عوامل آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر سال، اثر سال در عوامل آزمایشی و برهمکنش سه‌گانه آن‌ها بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه نشان داد که با بروز تنش خشکی عملکرد دانه کاهش محسوسی دارد. کمترین عملکرد دانه از برهم‌کنش عدم محلول‌پاشی و تنش در مرحله غلاف دهی حاصل شد و تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در مرحله پر شدن دانه نداشت و نسبت به تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل ۳۴/۹ درصد کاهش داد. این کاهش عملکرد ناشی از کاهش در تعداد دانه در بوته (۲۲/۱ درصد) و وزن هزار دانه (۳۰ درصد) بود (جدول ۳ و ۵). به نظر می‌رسد تنش خشکی در مرحله شروع غلاف دهی با افزایش ریزش غلاف‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی باعث اختلال متابولیسم کربوهیدرات‌های برگ و با محدودیت در انتقال به دانه‌ها سبب کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه شده است. بر اساس نتایج سایر محققین مرحله غلاف دهی در سویا حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی است و عملکرد دانه را به‌شدت کاهش می‌دهد (Wijewardana et al., 2018; Cui et al., 2019). سینکلر و همکاران (Sinclair et al., 2010) معتقد بودند در اثر تنش‌خشکی کاهش تولید مواد فتوسنتزی سبب اختلال در انتقال مواد پرورده و عناصر غذایی به دانه می‌شود.

تنش در مرحله شروع پر شدن دانه عملکرد دانه را با شیب ملایم‌تری نسبت به مرحله غلاف دهی کاهش داد، به‌طوری‌که تیمار شاهد ۲۹/۳ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل داشت. درحالی‌که اثر تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی کمترین اثر را بر عملکرد دانه (۱۵/۸ درصد نسبت به آبیاری کامل) داشت (جدول ۳). از دلایل کاهش عملکرد در مرحله پر شدن دانه می‌توان به کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و پیری زودهنگام برگ‌ها اشاره نمود. به نظر می‌رسد انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در این مرحله سبب شد عملکرد دانه نسبت به مرحله غلاف دهی کاهش کمتری داشته باشد. درحالی‌که سویا در مرحله گلدهی می‌تواند اثر تنش را زودتر جبران کند و با گسترش بیشتر ریشه، از مواد غذایی و رطوبت اعماق خاک بهتر استفاده کند و اثر تنش را تا حدودی تعدیل دهد (Ngouajio et al., 2007).

در ارزیابی محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز مشخص گردید این عناصر با تعدیل تنش خشکی عملکرد دانه را افزایش می‌دهند، این افزایش در شرایط تنش خشکی محسوس‌تر بود و درزمانی که به‌صورت ترکیبی مصرف شدند عملکرد دانه بیشتر از حالت منفرد گردید. این افزایش می‌تواند به دلیل سطح ویژه زیاد نانو کلات، قابلیت انحلال‌پذیری همراه با جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش راندمان فتوشیمیایی گیاه باشد. بیشترین عملکرد دانه با ۴۸/۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد از ترکیب تیمارهای آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی روی+منگنز به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. تیمار آهن+روی ازلحاظ اهمیت در رتبه دوم قرار داشت. عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله شروع گلدهی، غلاف دهی و پر شدن دانه بیشتر

تحت تأثیر نانو کلات آهن+روی قرار گرفت و نسبت به شاهد به ترتیب ۳۷/۵، ۶۱/۱ و ۵۰/۷ درصد افزایش داشت (جدول ۳). عنصر آهن با تأثیر در فتوسنتز باعث افزایش کربوهیدرات‌ها می‌شود و روی نقش مؤثری در انتقال کربوهیدرات‌ها دارد. این نتایج با نتایج تحقیق راوی و همکاران (Ravi et al., 2008) مطابقت دارد. افزایش ۴۰ درصدی عملکرد دانه گلرنگ با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و منگنز گزارش شده است (Movahhedy-Dehnavy et al., 2009). عملکرد دانه و سایر صفات وابسته به اجزای عملکرد کمتر تحت تأثیر محلول‌پاشی ترکیبی آهن+روی+منگنز قرار گرفت (جدول ۳). به نظر می‌رسد برهمکنش سه‌گانه نانو کلات‌ها بر صفات موردمطالعه تحت تأثیر رابطه آنتاگونیستی بین عناصر قرار دارد. بر اساس گزارش مندال و همکاران (Mandal et al., 2004) غلظت بالای آهن (Fe^{+2}) و منگنز (Mn^{+2}) می‌تواند اثر آنتاگونیستی بر جذب عنصر روی داشته باشد. درحالی‌که اگر آهن در مقادیر کمی استفاده گردد می‌تواند میزان جذب و انتقال منگنز در گیاه را افزایش دهد (Sanchez-Raya et al., 1974). طبق آزمایش‌های آلووای (Alloway et al., 2004) ازیک‌طرف انتقال روی به سایر قسمت‌های گیاه با مصرف منگنز افزایش می‌یابد و از طرف دیگر غلظت بالای منگنز و آهن می‌تواند مانع از جذب روی شود. ملکوتی و طهرانی (Malakoti and Tehrani, 2000) اظهار داشت که با افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف، عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد اما به دلیل برهمکنش منفی روی با آهن و منگنز، با افزایش غلظت روی غلظت آهن و منگنز کاهش یافت.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات کمی سویا در تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز

Table 2. Variance analysis of soybean quantitative traits in different irrigation treatments and Fe, Zn and Mn nano-chelate foliar application (Mean squares)

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد غلاف در بوته Pods / plant	تعداد دانه در غلاف Seeds / pod	تعداد دانه در بوته seeds / plant
سال Year (Y)	1	4826.5^{ns}	35361.3^{ns}	9.48^{ns}	42.62^{ns}	13.68^{ns}	105.95^{ns}
تکرار× سال Replication×Y	4	115578.3	41930.1	2.73	15.32	6.71	96.18
آبیاری Irrigation (I)	3	10669955**	914975.5**	105.73**	208.96**	242.44**	2800.57**
آبیاری × سال Y×I	3	8679.7.7^{ns}	13719.7^{ns}	1.25^{ns}	1.49^{ns}	0.24^{ns}	17.12^{ns}
خطای آزمایش Error	12	767.1	12793.6	4.08	7.83	4.29	35.01
محلول‌پاشی Foliar application(F)	7	2168121**	611894.7**	8.62^{ns}	82.51**	92.78**	872.14**
محلول‌پاشی × سال Y×F	7	18692.8^{ns}	5245.2^{ns}	0.53^{ns}	4.15^{ns}	2.96^{ns}	5.40^{ns}
محلول‌پاشی × آبیاری I×F	21	56371.5**	17685.1**	12.06**	0.68^{ns}	2.65^{ns}	20.86**
محلول‌پاشی× آبیاری×سال Y×I×F	21	18634.8^{ns}	3071.2^{ns}	2.25^{ns}	0.59^{ns}	2.34^{ns}	5.93^{ns}
خطای کل Total error	112	73084.6	354599.1	7.74	8.65	5.40	52.61
ضریب تغییرات C.V (%)	-	10.6	12.7	6.64	10.36	10.08	10.57

ns ,* و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات کمی سویا در تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز

Table 3. Mean comparison of soybean quantitative traits in different irrigation treatments and Fe, Zn and Mn nano-chelate foliar application

آبیاری Irrigation	Foliar application	محلول‌پاشی	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest Index	تعداد دانه در بوته Seeds/plant
			---------- $Kg.ha^{-1}$ ----------		%	
آبیاری کامل Complete irrigation	Control	شاهد (آب مقطر)	2491.2 e	6079.6 f	40.97 d	66.57 f
	Fe	آهن	3211.1 c	7484.3 d	42.90 bc	79.78 c
	Zn	روی	3215.4 c	7456.7 d	43.12 b	78.40 d
	Mn	منگنز	3436.1 bc	7775.4 c	43.19 b	82.02 b
	Fe+Z	آهن+روی	3600.9 b	8194.4 ab	43.94 ab	83.68 ab
	Fe+Mn	آهن+منگنز	3222.5 c	7494.3 d	42.99 bc	81.41 bc
	Zn+Mn	روی+منگنز	3704.6 a	8358.4 a	44.32 a	84.00 a
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	2795.7 d	6588.4 e	42.42 c	75.41 e
	Mean	میانگین	*3209.7*	*7428.9*	*42.98*	*78.91*
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Water deficit at the flowering stage	Control	شاهد (آب مقطر)	2097.5 e	5374.7 f	39.32 e	47.15 e
	Fe	آهن	2487.4 c	5912.3 cd	42.07 c	58.76 d
	Zn	روی	2407.7 cd	5810.5 d	41.42 cd	59.80 d
	Mn	منگنز	2562.9 bc	5829.3 d	43.96 a	63.69 c
	Fe+Z	آهن+روی	2885.8 a	6817.5 a	42.32 c	68.58 b
	Fe+Mn	آهن+منگنز	2638.5 b	6432.4 c	41.02 cd	70.40 ab
	Zn+Mn	روی+منگنز	2879.4 a	6691.2 b	43.03 b	71.38 a
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	2307.7 d	5655.8 e	40.08 d	63.99 c
	Mean	میانگین	*2533.4*	*6065.5*	*41.65*	*62.97*
قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی Water deficit at the pod set stage	Control	شاهد (آب مقطر)	1622.1 e	4283.9 p	37.86 d	51.90 e
	Fe	آهن	2112.3 c	5279.4 d	40.01 bc	61.18 c
	Zn	روی	2141.7 c	5321.1 cd	40.24 bc	60.44 d
	Mn	منگنز	2218.3 bc	5446.2 c	40.72 b	63.86 b
	Fe+Z	آهن+روی	2613.8 a	6276.5 a	41.64 a	67.51 a
	Fe+Mn	آهن+منگنز	2459.9 b	6106.2 ab	40.28 bc	66.47 ab
	Zn+Mn	روی+منگنز	2485.3 b	6056.6 b	41.02 ab	67.54 a
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	1914.7 d	4660.5 e	41.08 ab	62.45 bc
	Mean	میانگین	*2196.01*	*5428.8*	*40.35*	*62.66*
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Water deficit at the seed filling period stage	Control	شاهد (آب مقطر)	1762.1 e	4381.9 f	39.21 e	56.99 d
	Fe	آهن	1995.3 d	4957.1 e	41.08 c	69.14 c
	Zn	روی	2200.2 c	5211.8 d	42.22 b	68.04 c
	Mn	منگنز	2413.5 b	5768.5 c	41.83 bc	72.03 b
	Fe+Z	آهن+روی	2655.7 a	6179.2 a	42.97 a	75.14 a
	Fe+Mn	آهن+منگنز	2576.3 ab	5993.2 b	42.95 a	74.86 ab
	Zn+Mn	روی+منگنز	2583.6 ab	6099.1 ab	42.26 b	72.95 b
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	2080.6 d	5129.9 e	40.55 d	70.76 bc
	Mean	میانگین	*2283.4*	*5465.1*	*41.63*	*69.99*

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters are not significantly different by the Duncan test 5% probability level

عملکرد زیست‌توده

نتایج نشان داد که اثر اصلی و برهمکنش آبیاری و محلول-پاشی بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر سال و برهمکنش سال و عوامل آزمایشی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول۲). بیشترین عملکرد زیست‌توده متعلق به برهمکنش آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی+منگنز بود که نسبت به شاهد ۳۷/۵ درصد افزایش داشت. این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار آهن+روی نداشت (جدول ۳). با قطع آبیاری عملکرد زیست‌توده کاهش یافت و کمترین مقدار از برهمکنش تیمار شاهد و تنش در مرحله شروع غلاف دهی به‌دست آمد که در مقایسه با شرایط آبیاری کامل ۲۹/۵ درصد کاهش داشت. با توجه به اینکه عملکرد زیست‌توده حاصل عملکرد دانه و اندام‌های رویشی است بنابراین تنش خشکی در مرحله غلاف دهی از طریق کاهش تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه باعث کاهش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده شده است (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج دوگان و همکاران (Dogan et al., 2007) مطابقت دارد که مرحله غلاف دهی را به‌عنوان حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی معرفی کردند که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد.

در خصوص واکنش عملکرد زیست‌توده نسبت به کاربرد نانو کلات‌ها نتایج نسبتاً مشابهی با آنچه در مورد عملکرد دانه اتفاق افتاد وجود دارد. بیشترین عملکرد زیست‌توده در شرایط تنش در مرحله گلدهی، غلاف دهی و پر شدن دانه توسط تیمار آهن+روی به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایشی معادل ۲۶/۸، ۴۶/۵ و۴۱ درصد داشت. تیمار روی+منگنز در اولویت بعدی قرار داشت (جدول ۳). همگرایی مثبت بین عناصر روی و منگنز منجر به انتقال بهتر مواد پرورده به دانه‌ها و افزایش عملکرد دانه شده است (Yasari and Vahedi, 2012) نتایج مشابهی توسط حمزه‌پور و همکاران (Hamzehpour et al., 2010) و قاسمی فسایی و رونقی (ghasemi-Fasaei and Ronaghi, 2008) گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر نانو کلات‌ها به‌خصوص آهن+روی در مرحله غلاف دهی بر عملکرد زیست‌توده بیشتر است. محلول‌پاشی نانو کلات‌ها احتمالاً به دلیل جذب بهتر کربن، افزایش سنتز متابولیت‌ها و نگهداری بهتر آب در سلول‌های گیاهی باعث بهبود عملکرد زیست‌توده می‌شوند. کمرکی و گلوی (Kamaraki and Gelari, 2012) طی بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، بور و روی بر خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ گزارش دادند که ترکیب روی و آهن با افزایش تجمع هیدروکربن‌ها و میزان فتوسنتز گیاه باعث افزایش ۵۰ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد شده است.

شاخص برداشت

شاخص برداشت دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز و برهمکنش این تیمارها قرار گرفت. درحالی‌که اثر سال و برهمکنش سال در رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول۲). با کاهش مصرف آب شاخص برداشت دانه کاهش یافت. بیشترین کاهش مربوط به ترکیب تیمار شاهد و عدم آبیاری در مرحله شروع غلاف دهی و پس‌ازآن مرحله پر شدن دانه بود (جدول ۳). این امر به دلیل حساسیت زیاد عملکرد و اجزای عملکرد دانه به محدودیت آب در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه است. در اثر تنش خشکی عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده هر دو دچار کاهش می‌شوند. تنش در مرحله پر شدن دانه با ریزش برگ‌ها و کاهش قدرت انتقال مواد فتوسنتزی به دانه سبب چروکیدگی و کاهش وزن دانه و شاخص برداشت شده است که با یافته-های دیس‌کلاکس و همکاران (Desclaux et al., 2000) مطابقت دارد. شیرانی راد و همکاران (Shirani Rad et al., 2010) در ارزیابی تحمل به خشکی ارقام کلزا گزارش کرده‌اند شاخص برداشت به دلیل افت شدید عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در اثر اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد. با محلول‌پاشی آهن+روی اثر تنش در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه تعدیل بیشتری کاهش یافت و شاخص برداشت افزایش بیشتری نشان داد. بیشترین شاخص برداشت در مرحله آبیاری کامل و با محلول‌پاشی روی+منگنز و آهن+روی حاصل گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد در اثر محلول‌پاشی نانو کلات‌ها و جذب سریع توسط اندام‌های هوایی تعادل رطوبتی گیاه بهتر حفظ‌شده و کمتر دچار کمبود رطوبت می‌شود. همچنین این عناصر با به تأخیر انداختن پیری زودرس برگ‌ها، گیاه می‌تواند با حفظ بهینه سرعت فتوسنتز عملکرد دانه را افزایش دهد. کرمی و همکاران (Karamy et al., 2014) اعلام داشتند که با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی ازجمله روی علاوه برافزایش فعالیت فتوسنتزی، دانه‌های سویا به‌عنوان یک مخزن فعال جذب مواد

فتوسنتزی عمل نموده و با افزایش عملکرد دانه شاخص برداشت افزایش می‌یابد.

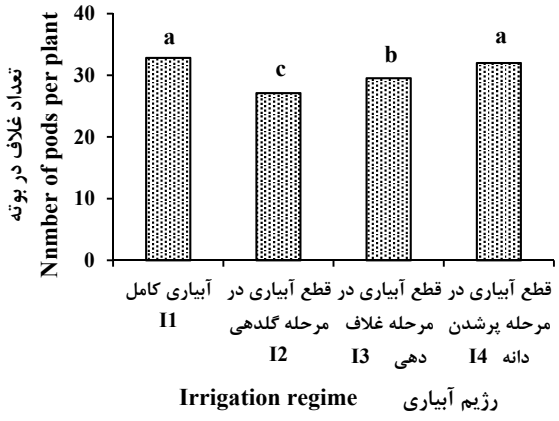
تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته دارند. درحالی‌که اثر سال و برهمکنش بین آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). کمترین تعداد غلاف در بوته (۲۷/۱ عدد) با ۱۷/۴ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل از تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح داشت. بیشترین به تیمار آبیاری کامل تعلق داشت که فاقد تفاوت معنی‌دار با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود (شکل ۱).

به نظر می‌رسد بروز تنش طول دوره رشد گیاه را کاهش می‌دهد و با کمبود تولید و عرضه مواد فتوسنتزی و از سوی دیگر افزایش رقابت درون بوته‌ای باعث ریزش گل‌ها و کاهش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. اگرچه در مرحله شروع غلاف دهی تنش رطوبتی باعث ریزش بسیاری از غلاف‌ها گردید، اما با توجه به رشد نامحدود بودن این رقم خسارت جبران گردید و عملکرد دانه به‌اندازه مرحله گلدهی کاهش نیافت. گزارش بررسی اثر تنش کم‌آبی در گیاه لوبیا نشان داد کاهش تعداد غلاف در بوته می‌تواند مربوط به بسته شدن روزنه‌ها همراه با کاهش مصرف دی‌اکسید کربن و کاهش میزان فتوسنتز باشد (Cui et al., 2019).

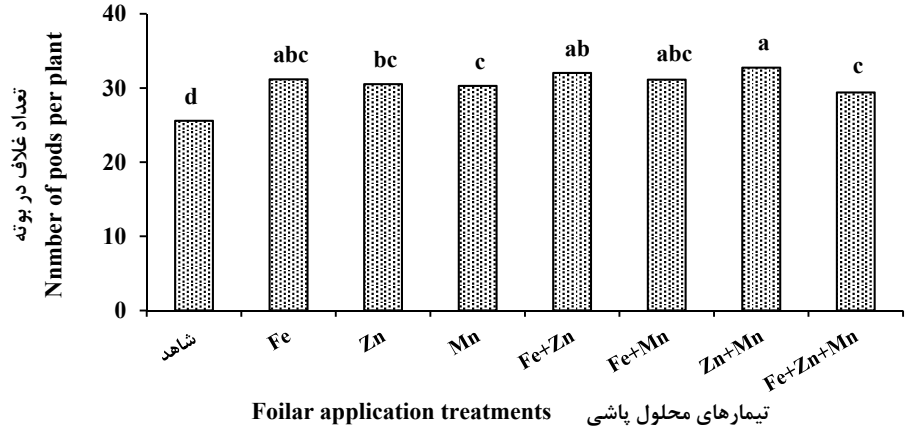
نتایج نشان داد تیمار روی+منگنز ازلحاظ تعداد غلاف در بوته (۳۲/۷۴) برتری داشت. این برتری نسبت به شاهد ۲۷/۹ درصد بود که با تیمارهای آهن+روی، آهن+منگنز و آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. تیمار شاهد با ۲۵/۵۸ دانه از کمترین تعداد غلاف در بوته برخوردار بود (شکل ۲).

یوسفی و زندی (Yousefi and Zandi, 2012) گزارش دادند در اثر محلول‌پاشی با عناصر روی و منگنز فعالیت‌های هورمونی میوه‌ها افزایش یافت و مزوکارپ میوه کدوی تخم کاغذی به‌عنوان یک مقصد فیزیولوژی قوی مواد فتوسنتزی را به‌طور مؤثرتری جذب می‌نماید. نقش عنصر روی در تولید هورمون اکسین بسیار مؤثر است (Ravi et al., 2008).



شکل۱. میانگین تعداد غلاف در بوته سویا در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی

Fig. 1. The mean of number of pods per plant of soybean under complete irrigation and drought stress condition. I1= Complete irrigation, I2= Water deficit at the flowering stage, I3= Water deficit at the pod set stage, I4= Water deficit at the seed filling period



شکل۲. اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر تعداد غلاف در بوته سویا

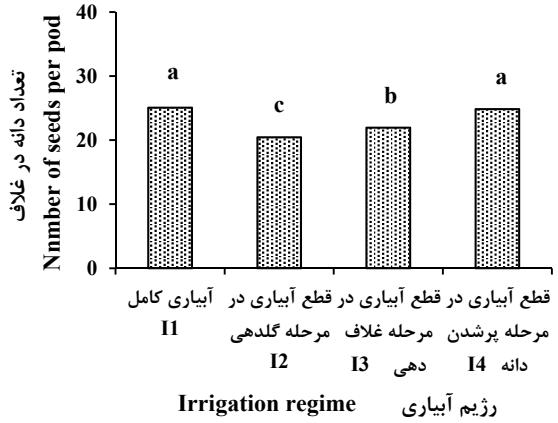
Fig. 2. Effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelate on the number of pods per plant of soybean

تعداد دانه در غلاف

تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر تیمارهای رژیم آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت، درحالی‌که اثر سال و برهمکنش بین آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول۲). بیشترین تعداد دانه در غلاف با ۲۵/۰۵ عدد از تیمار آبیاری در تمام مراحل رشد به دست آمد، با بروز تنش خشکی تعداد دانه در غلاف کاهش معنی‌داری داشت. اثر تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی نسبت به سطوح دیگر شدیدتر (۲۰/۴۵ دانه) بود و تعداد دانه در غلاف با ۱۸/۴ درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل به کمترین مقدار خود رسید (شکل ۳).

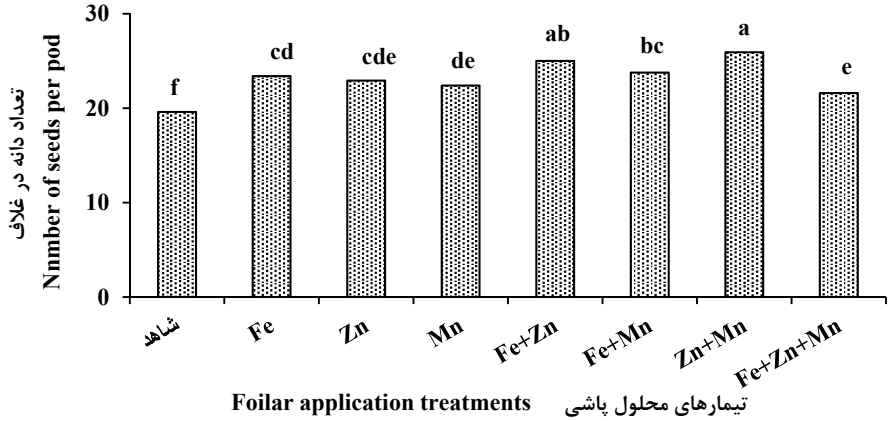
به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی کاهش تعداد دانه در غلاف از طریق ریزش برگ‌ها و کاهش سطح فتوسنتز کننده باشد که در کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر فتوسنتز دخالت دارد. از طرف دیگر تنش کم‌آبی جذب مواد فتوسنتزی توسط مخزن را کاهش می‌دهد و باعث افت تعداد گل‌های بارور می‌شود. نتایج با سینگ و والینگفورد (Singh and Walingford, 2010) که گزارش دادند تعداد دانه در غلاف به میزان فتوسنتز در طی دوره گلدهی و غلاف دهی وابسته است و هرگونه عوامل محدودکننده فتوسنتز تعداد دانه در غلاف را کاهش می‌دهد مطابقت دارد.

محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز تعداد دانه در غلاف را افزایش داد. بیشترین مقدار از تیمار روی+منگنز (۲۵/۹۱ دانه) به دست آمد که با اختلاف کمی نسبت به تیمار آهن+روی (۲۵ دانه) برتری داشت. این برتری نسبت به تیمار شاهد ۳۲/۲ درصد بود (شکل ۴). جامسون و همکاران (Jamson et al., 2009) گزارش دادند تعداد دانه در غلاف سویا در اثر محلول‌پاشی روی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در گیاه شنبلیله گزارش شده است (Mohammadzadeh Tottounchi and Amirinia, 2016).



شکل۳. میانگین تعداد دانه در غلاف سویا در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی

Fig. 3. The mean of number of seeds per pod of soybean under complete irrigation and drought stress condition. I_1= Complete irrigation, I_2= Water deficit at the flowering stage, I_3= Water deficit at the pod set stage, I_4= Water deficit at the seed filling period



شکل۴. اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر تعداد غلاف در بوته سویا

Fig. 4. Effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelate on the number of seeds per pod of soybean

تعداد دانه در بوته

اثر اصلی تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی و برهمکنش آن‌ها بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود، اما اثر سال و برهمکنش سال و عوامل آزمایش معنی‌دار نبود (جدول۲). قطع آبیاری در تمامی سطوح تعداد دانه در بوته را کاهش داد. کمترین تعداد دانه در بوته از برهمکنش تیمار شاهد در شرایط تنش در مرحله گلدهی به دست آمد که نسبت به شرایط آبیاری کامل ۲۹/۲ درصد کاهش داشت (جدول ۳).

به نظر می‌رسد گرده‌افشانی و تلقیح گل‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد که علاوه بر ریزش گل‌ها برخی از گل‌های تلقیح شده نمی‌توانند کربوهیدرات‌های لازم را جهت توسعه و پر شدن دانه دریافت کنند، بنابراین تعداد دانه در غلاف کاهش می‌یابد. ویجواردانا و همکاران (Wijewardana et al., 2018) گزارش دادند ریزش گل و غلاف‌ها در اثر تنش خشکی سبب کاهش ۲۷/۱ درصدی تعداد دانه در غلاف شده است. تیمار روی+منگنز در افزایش تعداد دانه در بوته موفق‌تر عمل کرد، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل افزایش ۲۶/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشت. این تیمار در شرایط تنش مخصوصاً در مرحله‌های گلدهی و غلاف دهی باعث تعدیل بیشتر تنش و افزایش تعداد دانه در بوته شد که به ترتیب ۵۱/۳ و ۳۰/۱ درصد نسبت به شاهد برآورد گردید. درحالی‌که در شرایط تنش در مرحله پر شدن دانه اثر تیمار آهن+روی بیش از دیگر تیمارها بود، تیمار آهن+منگنز و روی+منگنز در اولویت‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۳). این تحقیق با نتایج بای بوردی و ممدوف (Baybordi and Mamedov, 2010) که در آن تعداد دانه در کلزا در اثر مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی افزایش معنی‌داری می‌یابد مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و برهمکنش تیمار آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه معنی‌دار است؛ اما اثر سال و برهمکنش سال و تیمارهای آزمایشی بر صفت یادشده معنی‌دار نیست (جدول۴).

بالاترین وزن هزار دانه در دانه‌های حاصل از تیمار روی+منگنز در شرایط عدم تنش به دست آمد که نسبت به شاهد ۱۹/۷ درصد افزایش داشت و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵).

در اثر تنش در مرحله شروع غلاف دهی تیمار شاهد از کمترین وزن هزار دانه برخوردار شد که نسبت به شرایط عدم تنش ۳۰ درصد کاهش داشت (جدول۵). کاهش وزن هزار دانه به دلیل کاهش میزان تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است. به نظر می‌رسد در شرایط تنش در مرحله پر شدن دانه گیاه حتی با انتقال مجدد مواد فتوسنتزی نتوانست به‌طور کامل خسارت حاصل از تنش خشکی را جبران نماید، درنتیجه وزن هزار دانه تیمار شاهد با ۱۹/۵ درصد کاهش مواجه شد. از سوی دیگر محلول‌پاشی روی+منگنز در افزایش وزن هزار دانه در تمام سطوح تنش به‌خصوص در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه مؤثرتر بود و تیمارهای آهن+روی و آهن+منگنز در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار داشتند (جدول۵). به نظر می‌رسد فراهم بودن عناصر ریزمغذی به‌صورت نانو با خصوصیات انحلال‌پذیری بیشتر و قابلیت نفوذ آسان‌تر در غشای سلولی توانسته است از طریق تأثیر بر رشد سلول و انتقال بهتر مواد فتوسنتزی باعث افزایش وزن هزار دانه شود. نتایج بررسی تأثیر تنش کوتاه‌مدت خشکی در مرحله پر شدن دانه بر عملکرد دانه سویا نشان داد که کاهش وزن هزار دانه می-تواند به دلیل محدودیت کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از مرحله گرده‌افشانی، کمبود مواد فتوسنتزی و کاهش دوام سطح‌برگ باشد که با کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه همراه است (Brevendan and Egli, 2003). تحقیقات محمدزاده توتونچی و امیرنیا (Mohammadzadeh Tottounchi and Amirinia, 2016) نشان داده است که محلول‌پاشی با عناصر آهن، روی و منگنز وزن هزار دانه شنبلیله را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. این عناصر در تشکیل دانه مؤثر بوده و از طریق افزایش دوام سطح برگ سبب بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد فتوسنتزی به دانه می‌گردند (Movahhedy Dehnavy et al., 2009).

درصد و عملکرد روغن دانه

نتایج نشان داد که درصد و عملکرد روغن دانه تحت تأثیر اثر اصلی و برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات قرار دارد، اما اثر سال، برهمکنش سال و تیمارهای آزمایشی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول۴). بیشترین درصد و عملکرد روغن دانه از ترکیب تیمارهای آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی روی+منگنز استحصال گردید. دلیل بالا بودن عملکرد روغن به عملکرد بیشتر دانه در شرایط آبیاری کامل مربوط است. در اثر قطع آبیاری و بروز تنش خشکی درصد و

عملکرد روغن کاهش محسوسی داشت. اثر تنش در مرحله پر شدن دانه شدیدتر بود به‌طوری‌که کمترین درصد روغن از برهمکنش عدم آبیاری در مرحله پر شدن دانه و تیمار شاهد به دست آمد و با تیمار عدم آبیاری در مرحله غلاف دهی تفاوت معنی‌داری نداشت. کاهش عملکرد روغن در اثر تنش در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه به ترتیب ۴۱/۸ و ۳۷/۹ درصد بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و حساسیت زیاد تجمع لیپیدها به تنش خشکی می‌تواند سبب کاهش فتوسنتز جاری، تغییر در فرآیندهای متابولیکی بذر و نهایتاً کاهش درصد روغن شود. مطالعه کندوگانا و همکاران (Candogana et al., 2013) نشان از تغییر درصد روغن دانه سویا در شرایط تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه دارد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بر ترکیب دانه سویا نشان داد که کمبود آب طی دوره پر شدن دانه حجم روغن را تا ۳۵ درصد کاهش می‌دهد (Rotundo and Westgate 2009). غلظت روغن طی دوره پر شدن دانه یعنی پایان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی تعیین می‌گردد، بنابراین تغییر در منبع آسیمیلات بعد از گلدهی در اثر تنش خشکی می‌تواند بر درصد و عملکرد روغن دانه تأثیرگذار باشد (Aguirrenzabal et al., 2003).

تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز بر درصد و عملکرد روغن دانه افزایشی بود و نقش تیمار آهن+روی در تمام سطوح تنش برجسته‌تر بود به‌طوری‌که درصد و عملکرد روغن دانه سویا را در شرایط تنش در مرحله پر شدن دانه (۱۸/۷ و ۷۷/۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد بهبود بخشید (جدول ۵). به نظر می‌رسد عنصر روی و منگنز با افزایش متابولیسم چربی‌ها درصد روغن را تحت تأثیر قرار داده و با تعدیل اثر تنش خشکی و مرتفع نمودن نیاز گیاه باعث افزایش درصد و عملکرد روغن دانه می‌شود. کمرکی و گلوی (Kamaraki and Galavi, 2012) و جامسون و همکاران (Jamson et al., 2009) گزارش دادند که محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی در گیاه گلرنگ و سویا تأثیر بسزایی در افزایش درصد و عملکرد روغن دانه دارد.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی سویا در تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز

Table 4. Variance analysis of soybean quantitative and qualitative traits in different irrigation treatments and Fe, Zn and Mn nano-chelate foliar application (Mean squares)

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
سال Year (Y)	1	127.32^{ns}	0.64^{ns}	2416.3^{ns}	129.03^{ns}	9633.3^{ns}
تکرار× سال Replication×Y	4	102.42	10.04	14464.2	10.37	7859.2
آبیاری Irrigation (I)	3	392.31**	44.31**	615306.5**	198.48**	847613.2**
آبیاری × سال Y×I	3	23.13^{ns}	0.014^{ns}	1301.8^{ns}	28.68^{ns}	12609.2^{ns}
خطای آزمایش Error	12	49.05	2.81	11934.9	5.98	6773.5
محلول‌پاشی Foliar application(F)	7	975.19**	36.07**	203926.1**	153.46**	602286.1**
محلول‌پاشی × سال Y×F	7	7.42^{ns}	0.004^{ns}	3355.7^{ns}	5.37^{ns}	12435.6^{ns}
محلول‌پاشی × آبیاری I×F	21	23.52**	0.54**	9927.2**	2.58*	10204.6*
محلول‌پاشی× آبیاری×سال Y×I×F	21	8.21^{ns}	0.02^{ns}	3419.2^{ns}	1.49^{ns}	4758.8^{ns}
خطای کل Total error	112	71.32	4.29	9136.7	13.41	24277.1
ضریب تغییرات C.V (%)		9.54	9.95	15.8	10.44	14.31

ns ,* و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات کمی و کیفی سویا در تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز

Table 5. Mean comparison of soybean quantitative and qualitative traits in different irrigation treatments and Fe, Zn and Mn nano-chelate foliar application

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar applicatio		وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
			g	%	Kg.ha^{-1}	%	Kg.ha^{-1}
آبیاری کامل Complete irrigation	Control	شاهد (آب مقطر)	113.7 ^{f}	19.15 ^{d}	496.21 ^{f}	28.84 ^{e}	747.30 ^{e}
	Fe	آهن	123.0 ^{d}	21.38 ^{c}	697.77 ^{bc}	34.07 ^{c}	1094.02 ^{c}
	Zn	روی	119.7 ^{e}	21.37 ^{c}	687.13 ^{bc}	34.71a ^{b}	1116.10 ^{bc}
	Mn	منگنز	129.0 ^{c}	22.41 ^{b}	770.03 ^{b}	34.22 ^{bc}	1175.83 ^{b}
	Fe+Zn	آهن+روی	122.2 ^{d}	22.78 ^{b}	820.28 ^{ab}	35.28 ^{ab}	1270.39 ^{ab}
	Fe+Mn	آهن+منگنز	131.6 ^{b}	23.31 ^{ab}	774.47 ^{b}	34.87 ^{b}	1158.55 ^{b}
	Zn+Mn	روی+منگنز	136.1 ^{a}	23.73 ^{a}	879.12 ^{a}	35.78 ^{a}	1325.50 ^{a}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	117.5 ^{e}	21.60 ^{bc}	603.87 ^{de}	33.62 ^{d}	939.91 ^{cd}
	Mean	میانگین	*124.1*	*21.96*	*716.11*	*33.92*	*1103.45*
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Water deficit at the flowering stage	Control	شاهد (آب مقطر)	102.3 ^{e}	18.32 ^{e}	384.26 ^{e}	27.48 ^{e}	576.39 ^{e}
	Fe	آهن	115.8 ^{c}	21.20 ^{bc}	527.32 ^{c}	33.33 ^{c}	829.05 ^{c}
	Zn	روی	114.1 ^{c}	20.61 ^{c}	496.21 ^{cd}	33.16 ^{c}	798.39 ^{cd}
	Mn	منگنز	119.9 ^{b}	21.22 ^{bc}	543.84 ^{bc}	33.63 ^{bc}	861.90 ^{bc}
	Fe+Zn	آهن+روی	113.0 ^{c}	22.75 ^{a}	656.51 ^{a}	32.33 ^{d}	932.97 ^{ab}
	Fe+Mn	آهن+منگنز	123.6 ^{a}	21.84 ^{b}	576.24 ^{b}	33.96 ^{b}	896.03 ^{b}
	Zn+Mn	روی+منگنز	119.5 ^{b}	22.33 ^{a}	642.92 ^{a}	35.27 ^{a}	1015.56 ^{a}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	108.2 ^{d}	20.46 ^{cd}	472.15 ^{cd}	32.97 ^{cd}	760.84 ^{d}
	Mean	میانگین	*114.3*	*21.09*	*469.45*	*32.76*	*833.89*
قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی Water deficit at the pod set stage	Control	شاهد (آب مقطر)	79.6 ^{c}	17.81 ^{e}	288.89 ^{f}	29.34 ^{e}	475.92 ^{e}
	Fe	آهن	94.1 ^{ab}	20.32 ^{c}	429.21 ^{cd}	36.22 ^{cd}	801.29 ^{c}
	Zn	روی	92.8 ^{b}	20.23 ^{c}	433.26 ^{cd}	36.98 ^{c}	792.01 ^{cd}
	Mn	منگنز	87.5 ^{c}	20.47 ^{c}	454.08 ^{c}	37.30 ^{bc}	827.42 ^{bc}
	Fe+Zn	آهن+روی	97.8 ^{a}	21.64 ^{a}	565.62 ^{a}	37.77 ^{ab}	987.23 ^{a}
	Fe+Mn	آهن+منگنز	94.8 ^{ab}	20.99 ^{ab}	516.33 ^{b}	37.58 ^{b}	924.43 ^{b}
	Zn+Mn	روی+منگنز	98.1 ^{a}	21.27 ^{b}	528.62 ^{ab}	38.51 ^{a}	957.08 ^{ab}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	86.6 ^{d}	20.04 ^{d}	383.70 ^{e}	35.35 ^{d}	686.84 ^{d}
	Mean	میانگین	*91.4*	*20.34*	*449.96*	*36.13*	*806.53*
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Water deficit at the seed filling period stage	Control	شاهد (آب مقطر)	91.5 ^{e}	17.47 ^{e}	307.83 ^{e}	31.01 ^{e}	546.64 ^{d}
	Fe	آهن	100.2 ^{d}	19.83 ^{c}	395.66 ^{d}	37.98 ^{c}	757.81 ^{c}
	Zn	روی	117.2 ^{b}	20.21 ^{b}	444.66 ^{cd}	37.77 ^{c}	831.01 ^{bc}
	Mn	منگنز	108.1 ^{c}	19.84 ^{c}	478.83 ^{c}	38.36 ^{ab}	925.81 ^{b}
	Fe+Zn	آهن+روی	115.1 ^{bc}	20.63 ^{a}	547.82 ^{a}	39.11 ^{a}	1038.64 ^{a}
	Fe+Mn	آهن+منگنز	112.5 ^{bc}	20.16 ^{b}	519.38 ^{b}	38.61 ^{ab}	994.70 ^{ab}
	Zn+Mn	روی+منگنز	120.1 ^{a}	20.45 ^{a}	528.34 ^{ab}	39.57 ^{a}	1022.33 ^{a}
	Fe+Zn+Mn	آهن+روی+منگنز	99.1 ^{d}	19.64 ^{cd}	408.62 ^{d}	36.42 ^{d}	757.75 ^{c}
	Mean	میانگین	*107.9*	*19.78*	*453.89*	*37.35*	*859.34*

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters are not significantly different by the Duncan test 5% probability level

درصد و عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی عوامل آبیاری و محلول‌پاشی بر درصد و عملکرد پروتئین دانه در سطح یک درصد و برهمکنش بین آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر سال و برهمکنش سال و تیمارهای آزمایشی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول۴). بیشترین درصد پروتئین دانه از برهم‌کنش تنش در مرحله شروع پر شدن دانه و محلول‌پاشی روی+منگنز به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۷/۶ درصد پروتئین بیشتری داشت، اگرچه ازنظر آماری با تیمار آهن+روی در یک سطح قرار داشت (جدول۵). این نتایج با یافته‌های مرتزهنینگ و همکاران (Mertz-Henning et al., 2017) همخوانی دارد که گزارش دادند تنش خشکی در سویا موجب کوتاه شدن دوره رشد زایشی و کاهش زمان ذخیره نشاسته در دانه می‌شود که درنهایت منجر به افزایش درصد پروتئین دانه می‌گردد و در مرحله پایانی رشد به حداکثر خود می‌رسد. این افزایش در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول در شرایط تنش کم‌آبی ایجاد می‌شود (Pour Mousavi, 2005). عنصر روی و منگنز فعالیت آنزیم RNA پلیمراز را افزایش می‌دهد، با افزایش انتقال اسیدهای آمینه میزان سنتز و تولید پروتئین افزایش می‌یابد (Kanwal et al., 2016). کمترین میزان پروتئین دانه از تیمار شاهد در اثر تنش در مرحله شروع غلاف دهی به دست آمد که نسبت به شرایط آبیاری کامل ۳۶/۳ درصد کاهش داشت (جدول۵). این نتایج نشان می‌دهد که اثر تنش در مرحله شروع غلاف دهی شدیدتر بوده و عملکرد پروتئین به کمترین مقدار خود رسیده است. اگرچه حداکثر درصد پروتئین دانه ناشی از تنش‌های شدید است، اما عملکرد پروتئین دانه حاصل برآیند تأثیر کاهش عملکرد دانه و افزایش درصد پروتئین دانه در شرایط کم‌آبی است. افزایش پروتئین دانه به انتقال مجدد کربن و نیتروژن از برگ‌ها وابسته است. درحالی‌که افزایش میزان روغن به فتوسنتز جاری بستگی دارد. تنش رطوبتی با کاهش طول دوره پر شدن دانه از تجمع مواد جلوگیری می‌کند، درحالی‌که سنتز پروتئین با افزایش انتقال مجدد نیتروژن، کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Turner et al., 2005). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی نانو کلات‌ها اثر تنش را به‌خوبی جبران کرده است به‌طوری‌که محلول‌پاشی روی+منگنز در شرایط آبیاری در تمام مراحل رشد و تنش در مرحله شروع گلدهی و تیمار آهن+روی در شرایط تنش در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه عملکرد پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد و به بالاترین مقدار افزایش داد (جدول ۵).

نتیجه‌گیری نهایی

گیاه سویا در مرحله غلاف دهی و پر شدن دانه به تنش خشکی حساسیت بالایی دارد. محلول‌پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز تحت شرایط تنش خشکی، نقش قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش اثرات سوء تنش و بهبود عملکرد و سایر صفات تأثیرگذار بر عملکرد ازجمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه دارد. در این خصوص تیمار آهن+روی و روی+منگنز به‌عنوان بهترین تیمار شناخته شد. نانو کلات آهن+روی بیش از دیگر تیمارها از افت شدید روغن دانه در شرایط تنش جلوگیری کرد. درنهایت این‌گونه استنباط می‌شود که محلول‌پاشی با نانو کلات آهن، روی و منگنز در شرایط کم‌آبی یک روش کاربردی در جهت افزایش میزان عناصر ریزمغذی در گیاه سویا است و می‌تواند با کاهش اثر تنش خشکی، میزان عملکرد کمی و کیفی سویا را بهبود دهد.

منابع

Aguirrenzabal, L.A.N., Lavaud, Y., Dssio, G.A.A., Izquierdo, N.G., Readee, F.H., Gonzalez, L.M., 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. Crop Science. 43, 152-161.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Rome. Italy. 300p.

Alloway, B.J., 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Brussels, Belgium: International Zinc Association. 139p.

Alvarez-Fernandez, A., Garcıa-Lavina, P., Fidalgo, C., Abadıa, J., Abadıa A., 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear

(*Pyrus communis* L.) trees. Plant and Soil. 263, 5-15.

Asadi, M.E. Faraji, A., 2009. Applied Principles of Oil Seeds Agronomy. Soybean, Cotton, Canola and Sunflower. Iranian Agricultural Science Publishing. 95p. [In Persian with English Summary].

Attia, K.K., 2004. Response of two peanut varieties to phosphorus fertilization and foliar application of certain micronutrients under sandy calcareous soil conditions. Assiut Journal Agricultural Sciences. 35, 253-267.

Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmaeilianand, Y., Gholami, H., 2011. Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in sistan region. African Journal of Agricultural Research. 6, 3526-3531.

Baybordi, A., Mamedov, G., 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2, 94-103.

Bennett, M.J., Rhetoric, E., Hicks, D.R., Naeve, S.L., Bennett, N.B., 2014. The Minnesota Soybean Field Book. St Paul, MN: University of Minnesota Extension. 79p.

Brevendan, R.E., Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filing, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Science. 43, 2083-2088.

Candogana, B., Sincikb, M., Buyukcangaza, H., Demirtasa, C., Goksoyb, A.T., Yazgana, S., 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit irrigated soybean [*(Glycine max* L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. Journal Agriculture Water Manage. 118, 113-121.

Chen, W., Yang, X., He, Z., Feng Y., Hu, F., 2007. Differential changing photosynthetic capacity, 77K chlorophyll fluorescence in chloroplast ultra-structure between Zinc-efficient and Zinc inefficient rice genotypes (*Oryza sativa* L.) under low Zinc stress. Journal of Plant Physiology. 132, 89-101.

Cui, Y., Jiang, S., Jin, J., Ning, S., Feng, P., 2019. Quantitative assessment of soybean drought loss sensitivity at different growth stages based on S-shaped damage curve. Agricultural Water Management. 213, 821-832.

Daneshian, J., Nour Mohammadi, Gh., Jonoobi, P., 2002. Evaluation the response of soybean to drought stress and different amounts of prosperous. The 7th International Conference on Agronomy and Plant improvement of Iran. Karaj, Seed and Plant Improvement Institute.

Desclaux, D., Huynh, T.T., Roumet, P., 2000. Identification of soybean Plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science. 40, 716-722.

Dogan, E., Kirnak, H., Copur, O., 2007. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. Field Crops Research. 103(2), 154-159.

Ergo, V.V., Lascano, R., Vega, C.R.C., Parola, R., Carrera, C.S., 2018. Heat and water stressed field-grown soybean: A multivariate study on the relationship between physiological-biochemical traits and yield. Environmental and Experimental Botany. 148, 1-11.

Firestone, D., 1994. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists.15th ed., Arlington, USA.

Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A., Pirzad, A., 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal of Phytology. 2, 73-9.

Ghasemi-Fasaei, R., Ronaghi, A., 2008. Interaction of Iron with Copper, Zinc, and Manganese in Wheat as Affected by Iron and Manganese in a Calcareous Soil. Journal of Plant Nutrition. 31, 839-848.

Hamzehpour, N., Malakouti, M.G., Majidi, A., 2010. Zinc, Iron and Manganese interactions various organs of wheat. Iranian Journal of Soil Research. 24, 1-8. [In Persian with English Summary].

Hansch, R., Mendel, R.R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current opinion in plant biology. 12, 259-66.

Huang, Q., Cao, M., Ai, Z., Zhang, L., 2015. Reactive oxygen species dependent degradation pathway of 4-chlorophenol with Fe@Fe2O3 core-shell nanowires. Applied Catalysis B: Environmenta. 162, 319-326.

Jamson, M., Galeshi, S., Pahlavani, M.H., Zeinali, E., 2009. Evaluation of zinc foliar application on yield components, seed yield and seed quality of tow soybean cultivar in summer cultivation. Journal of Plant Production. 16, 17-28.

Jung, S., Rickert, D.A., Deak, N.A., Aldin, E.D., Recknor, J., Johnson, L.A. Murphy, P.A., 2003. Comparison of kjeldahl and dumas methods for determining protein contents of soybean products. Journal of the American Oil Chemists' Society. 80, 1169-1173.

Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Maassoumi, A., Nabati, M., 2009. Plant environmental stress physiology. Mashhad University Jihad Press. p. 502.

Kamaraki, H., Galavi, M., 2012. Evaluation of Fe, B and Zn spraying on safflower quantitative and qualitative traits. Journal of Agroecology. 4, 201-206. [In Persian with English Summary].

Kanwal, N., Hanif, M.A., Khan, M.M., Ansari, T.M., Rehman, Kh., 2016. Effect of micronutrients on vegetative growth and essential oil contents of Ocimum sanctum. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 19, 980-988.

Karamy, S., Mohammad Modares-Sanavy, S.A., Ghanati, F., Pourdehghan, M., 2014. Effect of foliar zinc application on yield and yield components of soybean cultivars under water deficit. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 23, 117-130. [In Persian].

Liu, R., Lal, R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment. 514, 131-139.

Malakoti, M., Tehrani, M., 2000. The Role of Micronutrients on Yield and Qualify Increasing of Crops. Tabiat Modares University Press. 300p. [In Persian].

Mandal, B., Hazra, G.C., Mandal, L.N., 2000. Soil management influence on zinc desorption for rice and maize nutrition. Soil Science Society of America journal. 64, 1699-1705.

Mertz-Henning, L., Ferreira, L., Henning, F., Mandarino, J., Santos, E., Oliveira, M., Neumaier, N., 2017. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. Agronomy. 8, 1-11.

Mohammadzadeh Toutounchi, P., Amirinia, R., 2016. Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on yield and yield components of fenugreek. Journal Crop Improvement. 18, 69-78. [In Persian with English Summary].

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crops and Products. 30, 82-92.

Ngouajio, M., Wang, G., Goldy, R., 2007. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. Agricultural Water Management. 87, 285-291.

Pour Mousavi, S.M., 2005. The impact of manure on indicators of growth, agronomic and physiological characteristics of soybean in conditions of water stress. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol. Iran. [In Persian with English Summary].

Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., Dharmatti, P.R., 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal Agriculture Science. 21, 382-385.

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

Sanchez-Raya, A.J., Leal, A., Gomez-Ortega, M., Recalde, L., 1974. Effect of iron on the absorption and translocation of manganese. Plant Soil. 41, 429-434.

Shirani Rad, A.H., Naeemi, M., Nasr Esfahani, Sh., 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences. 12, 112-126. [In Persian with English Summary].

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

Singh, G., Walingford, U.K., 2010. The soybean, botany, production and uses. Cambridge University Press.

Subramanian, K.S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M., Rahale, C.S., 2015. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. Nanotechnologies in Food and Agriculture. 69-80.

Turner, N.C, Davies, S.L., Plummer, J.A., Siddique, K.H.M., 2005. Seed filling in grain

legumes under water deficits, with emphasis on chickpeas. Advances in Agronomy. 87, 211-250.

Wijewardana, C., Alsajri, F.A., Irby, T., Krutz, J., Golden, B., 2018. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. Irrigation Sciences. 36, 241-55.

Yasari, E., Vahedi, A., 2012. Micronutrients Impact on Soybean [*Glycine max* L. Merr] Qualitative and Quantitative Traits. International Journal of Biology. 4, 112-118.

Yousefi, M., Zandi, P., 2012. Effects of foliar application of zinc and manganese on yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under two irrigation patterns. Journal of Polish Agricultural Universities. 15, 1505-1513.