

اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی

Effect of foliar application of nano-chelated iron and manganese fertilizers on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress

اکبر علی پور^۱، حسین زاهدی^{۲*}

۱. اکبر علی پور استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران
۲. حسین زاهدی، نگارنده مسئول) استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳

چکیده

علی پور^۱، زاهدی^۲، ح.، اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط تنش خشکی
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۱ - شماره ۱ - پیاپی ۱۱۸ بهار ۹۷: ۳۹-۵۱

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۹۴ در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به صورت کرت های خرد شده با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. تنش خشکی در سه سطح بدون قطع آبیاری (S_1)، قطع آبیاری در مرحله رویشی تا وقتی که ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه گردد (S_2) و قطع آبیاری در مرحله زایشی تا وقتی که ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه شد (S_3) به عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای کودی شامل مصرف یک در هزار نانو کلات آهن (F_1)، سه در هزار نانو کلات آهن (F_2)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F_3)، سه در هزار نانو کلات منگنز (F_4)، یک در هزار نانو کلات آهن و یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F_5)، یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F_6)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز و سه در هزار نانو کلات آهن (F_7)، سه در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F_8)، بدون محلول پاشی به عنوان شاهد (F_9)، محلول پاشی آب خالص (F_{10}) و کود کمپلکس میکرو (F_{11}) به عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نانو بر عملکرد دانه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک سنبله، سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمار سه در هزار کود نانو آهن و یک و نیم در هزار کود نانو منگنز در شرایط عدم وقوع تنش بیشترین عملکرد دانه (۲۶۱۱ کیلوگرم در هکتار) و تعداد دانه در سنبله (۵۲ عدد) را تولید نمود. تعداد سنبله در هر مترمربع با ۳۲۲ عدد از تیمار بدون تنش با کاربرد نوع کود سه در هزار برای آهن و منگنز به دست آمد. در این آزمایش، تنش خشکی عملکرد را کاهش داد و کاربرد کود نانو آهن به همراه منگنز اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش داد.

واژه های کلیدی: تغذیه گیاه، صفات زراعی، عناصر کم مصرف، نانو ذرات

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: hzahedi2006@gmail.com

مقدمه

در گیاه است به طوری که فراهم کردن مواد غذایی از طریق ریشه محدود می شود (Cakmak, 2008). لذا برای فائق آمدن بر این مشکل می توان با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول پاشی، وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود داد (Paygzar et al., 2009). یکی از مهم ترین کاربردهای فناوری نانو در جنبه های مختلف از جمله در بخش آب و خاک کشاورزی، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان است (Davoody et al., 2013). از جمله نانو کودهایی که در صنعت کشاورزی اثرات مثبت آن بر تولید محصولات زراعی به اثبات رسیده است نانو کود آهن و منگنز است. در این زمینه پژوهشگران در طی بررسی که روی کارایی نانو اکسید آهن و اکسید آهن معمولی روی غلظت آهن، روی، مس و منگنز در گیاه گندم داشتند، گزارش کردند که اثر پودر نانو اکسید آهن نسبت به اکسید آهن معمولی در افزایش غلظت آهن در گیاه معنی دار بود و دلیل آن را ویژگی های نانو کود بیان کردند (Mazaherinia et al., 2010). کاربرد نانو اکسید آهن در مقایسه با اکسید آهن معمولی در گندم مقدار جذب و غلظت آهن افزایش معنی داری داشته است (Fathi Amirkhiz et al., 2010). در مطالعه اثر محلول پاشی آهن در گندم افزایش ۲۱ درصدی عملکرد در دانه گندم را گزارش دادند (Pahlavan Rad et al., 2007). به این ترتیب با توجه به مسئله کمبود آهن و منگنز در خاک های کشور و اهمیت تغذیه عناصر آهن و منگنز در گیاه گندم و همچنین مسئله بحران کمبود آب و تنش خشکی در ایران، آزمایش

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات استراتژیک جهان است که با ۲۱۷ میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است و تولید سالیانه گندم در مقیاس جهانی حدود ۶۵۱/۴ میلیون تن و متوسط عملکرد آن سه تن در هکتار است (Anonymous, 2015) و بخش بیشتری از کالری مورد نیاز مردم دنیا را تأمین می کند (Ahmadi Lahijani & Emam, 2013). گیاهان در دوره رشد و نمو خود با انواع تنش های محیطی مواجه می شوند که شانس نمو و بقای گیاهان را محدود می کنند (Demiral et al., 2012; Chakraborty et al., 2005). خشکی یکی از مهم ترین تنش های محیطی محدود کننده تولید گیاهان زراعی در سرتاسر جهان است (Omid et al., 2012; Afzal et al., 2006). همچنین، بیشترین مزارع زیر کشت ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و به دلیل کمبود منابع آب، عملکرد به شدت کاهش می یابد. (Ahmadi Lahijani & Emam, 2013) طی آزمایشی نشان دادند که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش وزن هزار دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه گندم به میزان ۱۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (بدون تنش) می شود. در تحقیقی دیگر گزارش شده است که تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم باعث کاهش عملکرد بیولوژیک، وزن خشک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و اجزای عملکرد دانه شده است (Gonzalez et al., 2008). یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه ای

نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F_6)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز و سه در هزار نانو کلات آهن (F_7)، سه در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F_8)، بدون محلول پاشی به عنوان شاهد (F_9)، محلول پاشی آب خالص (F_{10}) و کود کمپلکس میکرو (F_{11}) به عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفت. قبل از اجرای آزمایش به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش، چند نمونه تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک توسط آگر برداشت شد و پس از تهیه یک نمونه مرکب به آزمایشگاه خاک شناسی ارسال گردید (جدول ۱).

کشت در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. کنترل علف های هرز از طریق محلول پاشی با علف کش توتال در مرحله پنجه زنی گندم تا قبل از ساقه رفتن (۴۰ گرم گرانول + ۱۲۵۰ میلی لیتر سورفاکتانت در ۴۰۰ لیتر آب در هکتار) انجام شد. برای مبارزه با سن گندم از سم دسیس به میزان ۰/۳ لیتر در هکتار ماده تجاری در مرحله شیری شدن دانه استفاده شد. هر کرت مشتمل بر چهار ردیف به طول ۴ متر بود و بین هر کرت

حاضر با هدف بررسی اثر کودهای ریزمغذی نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۹۴ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا به صورت کرت های خرد شده با طرح پایه بلوک های کامل تصادفی و در سه تکرار به اجرا درآمد. تنش خشکی در سه سطح بدون قطع آبیاری (S_1)، قطع آبیاری در مرحله رویشی تا وقتی که ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه گردد (S_2) و قطع آبیاری در مرحله زایشی تا وقتی که ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه شد (S_3) به عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای کودی شامل مصرف یک در هزار نانو کلات آهن (F_1)، سه در هزار نانو کلات آهن (F_2)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F_3)، سه در هزار نانو کلات منگنز (F_4)، یک در هزار نانو کلات آهن و یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F_5)، یک در هزار

جدول ۱. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physicochemical properties of soil at the experimental site

منگنز Mn (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	مواد خنثی شونده T.N.V (%)	کربن آلی O.C (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	بافت خاک Soil Texture
7.23	2.67	6.33	460.15	41.23	0.09	1.25	7.45	1.58	لومی شنی

ثبت داده ها (هر ۲۴ ساعت یکبار به مدت ۱۵ روز) گردید. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۲۴ تا ۳۰ سانتی متر) هر یک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و مقدار رطوبت با روش توزین اندازه گیری شد. این کار با ۱۵ نوبت داده برداری ادامه یافت. چگالی ظاهری به روش sand bottle و در همان عمق اندازه گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در آزمایشگاه میزان رطوبت وزنی، درصد رطوبت حجمی (حاصل ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۱ گرم بر سانتی متر مکعب) اندازه گیری و درصد آب قابل استفاده (D) بر اساس رابطه ۱

(Martin et al., 1990) تعیین و سپس با استفاده از رابطه ۲ درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه شد.

$$D (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{FCi - \theta_i}{FCi - Wp} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

(رابطه ۲)

$D - 100 =$ تخلیه آب قابل استفاده (درصد)
 n تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (پتانسیل رطوبتی معادل ۱۶ درصد وزنی و ۲۲/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) در نمونه i ام، θ_i رطوبت خاک در نمونه i ام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (پتانسیل رطوبتی معادل ۶/۷۸ درصد وزنی و ۹/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) است.

آزمایشی یک ردیف نکاشت در نظر گرفته شده بود. فاصله بین فاکتورهای اصلی دو متر (برای جلوگیری از نفوذ آب در تنش خشکی بین کرت های اصلی) در نظر گرفته شد. آبیاری اول مزرعه به روش سیفونی انجام شد. قبل از کاشت و براساس نتایج تجزیه خاک، به ترتیب میزان ۱۰۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به خاک داده شد. اعمال تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی از ابتدای ظهور برگ چهارم (استقرار کامل گیاه) تا هنگام ظهور اولین گل روی گیاه صورت گرفت و با ظهور گل دهی این تیمار هم زمان با تیمار شاهد آبیاری شد. تنش آبی در مرحله رشد زایشی از ابتدای مرحله گل دهی تا مرحله رسیدگی اعمال گردید. میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به دست آمده از TDR) در زمان تنش محاسبه شد (شکل ۱). این رطوبت سنج ها در یک نقطه برای هر کرت، به فواصل عرضی ۶ / ۳ متر (با توجه به فاصله کرت ها از یکدیگر) در نظر گرفته شدند. در هر نقطه یک رطوبت سنج، در عمق ۲۴ تا ۳۰ سانتی متر، نصب شد. برای نصب رطوبت سنج ها ابتدا به وسیله آگر، حفره هایی با ابعاد متناسب با اندازه رطوبت سنج در زمین حفر و بعد از قرار دادن رطوبت سنج ها در عمق های مشخص، نسبت به پر کردن و متراکم کردن خاک حفره ها تا حصول تراکم زمین در حالت اولیه اقدام شد. در این مرحله، برای ارزیابی دقت حسگرها، اقدام به نمونه برداری از خاک و تعیین رطوبت آن شد. هم زمان با داده برداری از رطوبت خاک با استفاده از TDR اقدام به

به مدت ۴۸ ساعت انجام گرفت و وزن ۱۰۰۰ دانه در انتهای فصل رشد و از دانه های حاصل از برداشت نهایی به صورت ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه ای از هر کرت اندازه گیری و بر اساس میانگین این نمونه ها تعیین شد. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار آماری SAS و برای مقایسه میانگین های تیمارها از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه، تعداد سنبله و ت

عداد دانه در سنبله

تنش خشکی، کود نانو و برهمکنش آنها در سطح احتمال یک درصد، عملکرد دانه، تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که تعداد سنبله در هر مترمربع با ۳۲۲ عدد از تیمار بدون تنش با کاربرد نوع کود سه در هزار برای آهن و منگنز (S_1F_8) حاصل شد (جدول ۳). تیمار سه در هزار کود نانو آهن و یک و نیم در هزار کود نانو منگنز (S_1F_7) در زمان بدون تنش بیشترین عملکرد دانه با ۲۶۱۱ کیلوگرم در هکتار (شکل ۲) و بیشترین تعداد دانه در سنبله با ۵۲ عدد دانه در هر سنبله را تولید نمود (جدول ۳). نتایج حاصل از اثرات اصلی مصرف کود نانو نشان داد که بالاترین میزان عملکرد دانه در تیمار یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز و سه در هزار نانو کلات آهن (F_7) با ۱۶۰۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار (شکل ۳) حاصل شد. تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر آهن و منگنز به دانه را محدود می کند

برای جلوگیری از تأثیر بارندگی بر تیمارهای تنش، روی هر کرت توسط حفاظ هایی از جنس برزنت شفاف که قابلیت عبور نور را داشته باشند، پوشانده شد. قبل از شروع بارندگی و براساس پیش بینی هواشناسی، این پوشش ها روی کرت ها قرار گرفت و پس از پایان بارندگی، پوشش برزنتی حول محور لوله ای که روی چهارپایه بدین منظور تعبیه شده بود، جمع آوری شد. بدین ترتیب، در طول طرح آب باران بدون رسیدن به گیاهان و کرت آزمایشی به بیرون از محل آزمایش هدایت گردید. همچنین، محلول پاشی نانو کلات آهن و منگنز (نانوکود کلات شرکت خضرا) نیز به دلیل اجتناب از اثر سمیت احتمالی غلظت بالای آنها در دو نوبت به فاصله دو هفته از هم (قبل و بعد از اعمال تنش در هر مرحله رشد رویشی و رشد زایشی برای همه کرت ها با توجه به تیمار تغذیه ای) انجام شد (Hamzhepor et al., 2010). برای محلول پاشی از سمپاش پستی با فشار دائم به حجم ۱۲ لیتر استفاده شد. با حذف ردیف های اول و آخر هر کرت و ابتدا و انتهای ردیف های وسطی به عنوان اثر حاشیه ای از هر کرت تعداد هفت بوته برداشت شد و با دستگاه سطح برگ سنج، سطح برگ نمونه ها اندازه گیری شد. برای اندازه گیری عملکرد و اجزای آن، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک استفاده شد. وزن خشک گیاه (وزن خشک برگ، ساقه و سنبله) به همراه ارتفاع ساقه نیز در آزمایشگاه بعد از قرار گرفتن نمونه ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد

و سایر اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Nezami et al., 2008). کاربرد محلول پاشی عناصر ریزمغذی قادر است سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شود (El-Ghamry et al., 2009).

سطح برگ و وزن خشک برگ، ساقه و

سنبله، ارتفاع بوته

تنش خشکی، کود نانو و برهمکنش آن ها در سطح احتمال یک درصد، سطح برگ و وزن خشک برگ، ساقه و سنبله را تحت تأثیر قراردادند (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین سطح برگ در شرایط بدون تنش با محلول پاشی سه در هزار نانو کود آهن به همراه یک و نیم در هزار نانو

(Karim et al., 2012). تنش در مرحله پر شدن دانه با کاهش طول دوره موجب کاهش عملکرد دانه می گردد (Alizadeh et al., 2010). با انجام تنش خشکی تعداد دانه در سنبله کاهش می یابد و تعداد دانه در سنبله در مرحله رویشی نسبت به مرحله زایشی از حساسیت بالاتری برخوردار است (جدول ۳). به طوری که تنش خشکی عملکرد را کاهش داد و کاربرد کود نانو آهن به همراه منگنز اثرات منفی تنش خشکی را پایین آورد. به این ترتیب در صورت بروز تنش خشکی می توان با استفاده از نانو کودهای آهن و منگنز شدت تنش را کاهش داد. برهمکنش عوامل مورد بررسی نتوانست وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۲). کاهش وزن هزار دانه

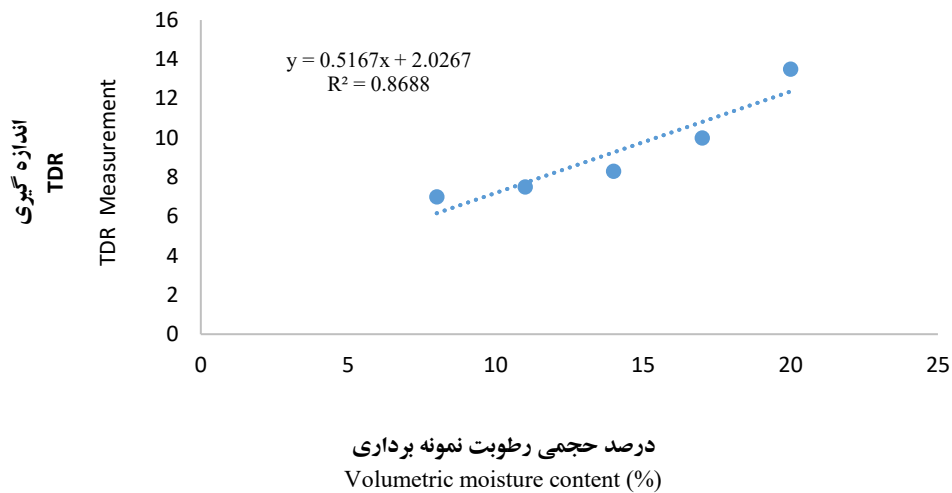
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تنش خشکی و نانو کودهای آهن و منگنز.

Table 2 . Analysis of variance (mean squares) of wheat yield and yield components as affected by drought stress and Fe and Mn nano fertilizers.

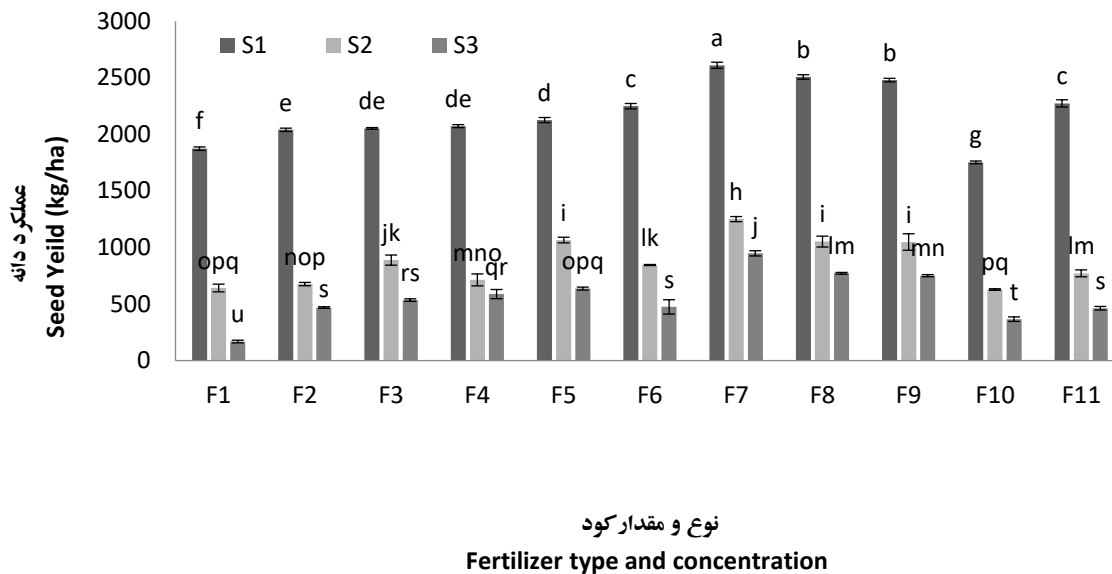
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f.	عملکرد دانه Seed yield	تعداد سنبله Spike number	تعداد دانه در هر سنبله Grain number per spike	وزن هزار دانه 1000-kernel weight	وزن خشک برگ Leaf dry weigh	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک سنبله Spike dry weight	سطح برگ Leaf area	ارتفاع Height
بلوک Block	2	3768.58 ^{ns}	3.64 ^{ns}	10.43 ^{ns}	55.57 ^{ns}	3.25 ^{ns}	20.76 ^{ns}	4.16 ^{ns}	5.76 ^{ns}	9.82 ^{ns}
تنش خشکی Drought stress (S)	2	24540835.12 ^{**}	35140.43 ^{**}	2405.52 ^{**}	345.00 ^{**}	26617.33 ^{**}	76261.94 ^{**}	77255.78 ^{**}	3000.52 ^{**}	3094.18 ^{**}
خطای a Error a	4	5044.88	142.07	2.84	8.45	14.91	160.82	56.33	10.34	22.49
نانو کود Nano fertilizer (F)	10	432183.47 ^{**}	6881.49 ^{**}	357.00 ^{**}	28.40 ^{ns}	1343.37 ^{**}	5767.27 ^{**}	8611.22 ^{**}	1841.67 ^{**}	608.54 ^{**}
تنش خشکی × نانو S×F	20	25229.77 ^{**}	396.3 ^{**}	34.26 ^{**}	10.48 ^{ns}	84.45 ^{**}	3527.34 ^{**}	940.85 ^{**}	125.35 ^{**}	52.84 ^{ns}
خطای b Error b	60	2340.40	125.19	6.74	17.26	49.27	105.58	78.34	6.04	78.13
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.98	5.11	7.25	8.80	8.82	6.31	6.50	5.94	10.51

** و ns : به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود رختلاف معنی داری است.

** and ns: significant at 1% probability levels, and non-significant, respectively.



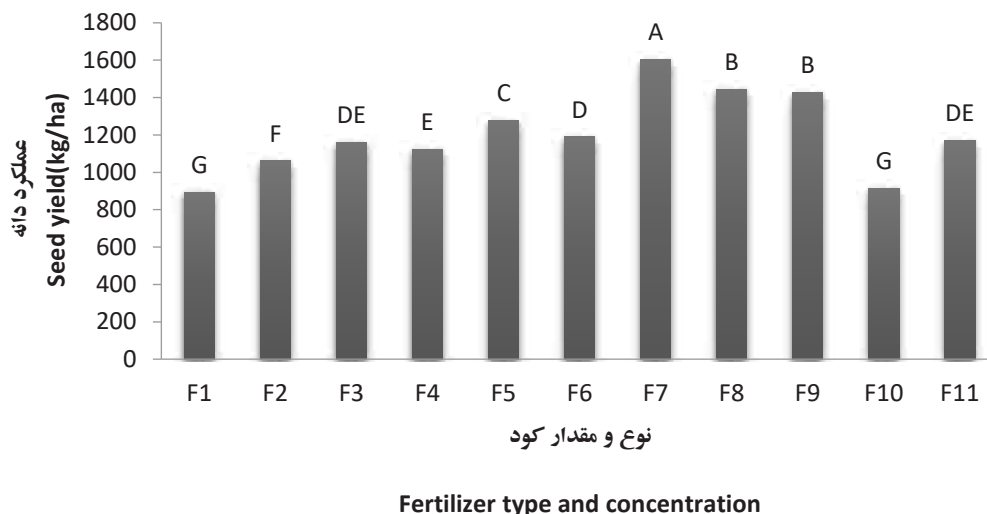
شکل ۱. منحنی رطوبت خاک به دست آمده از اعداد قرائت شده به وسیله دستگاه TDR و درصد رطوبت حجمی نمونه برداری.
Figure 1. Soil moisture curve obtained from TDR measurement and volumetric moisture content samples



شکل ۲. مقایسه میانگین عملکرد گندم تحت تأثیر تنش خشکی و نوع نانو کود
Figure 2. Mean comparison of wheat yield as affected by drought stress and fertilizer type and concentration
(در هر ستون میانگین های دارای یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه ای دانکن است.)
(Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's new multiple range test

(شکل ۴). این نتایج با نتایج دیگر محققین مبنی بر کاهش ارتفاع ساقه تحت شرایط تنش همخوانی داشت. در واقع تنش خشکی باعث کاهش طول دوره‌ی رشد رویشی می‌گردد و با کاهش طول این دوره و عبور سریع‌تر گیاه از این مرحله، تعداد گره و طول میان‌گره در گیاه کاهش یافته و به دنبال آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Zain *et al.*, 2014). علت کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش کمبود آب را می‌توان به علت کاهش فشار تورژسانس و کاهش رشد طولی سلول‌ها دانست (Khan *et al.*, 2015). نتایج حاصل از اثرات اصلی مصرف کود نانو نیز نشان داد نوع کودی یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز و سه در هزار نانو کلات آهن با ارتفاع ۹۵/۵۵ سانتی‌متر به همراه سه در هزار نانو کود آهن و منگنز به ارتفاع ۹۴/۴۴ سانتی‌متر

کود منگنز با سطح برگ ۹۷/۱۰ سانتی‌متر در هر گیاه تولید شد (جدول ۳). همچنین مشاهده شد که بیشترین وزن خشک برگ، ساقه و سنبله به ترتیب با ۱۳۵/۱۱، ۳۶۱/۱۱ و ۳۰۴/۱۷ گرم در هر مترمربع به ترتیب در تیمارهای بدون تنش خشکی با محلول پاشی سه در هزار نانو کود آهن و یک و نیم در هزار نانو کود منگنز، بدون تنش خشکی با محلول پاشی سه در هزار نانو کود آهن و بدون تنش خشکی با محلول پاشی سه در هزار و یک و نیم در هزار نانو کود منگنز به دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل تنش خشکی و کود نانو نتوانست ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۲). نتایج نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار بدون تنش خشکی به میزان ۹۴/۳۰ سانتی‌متر اختصاص داشت و با وقوع تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش یافت

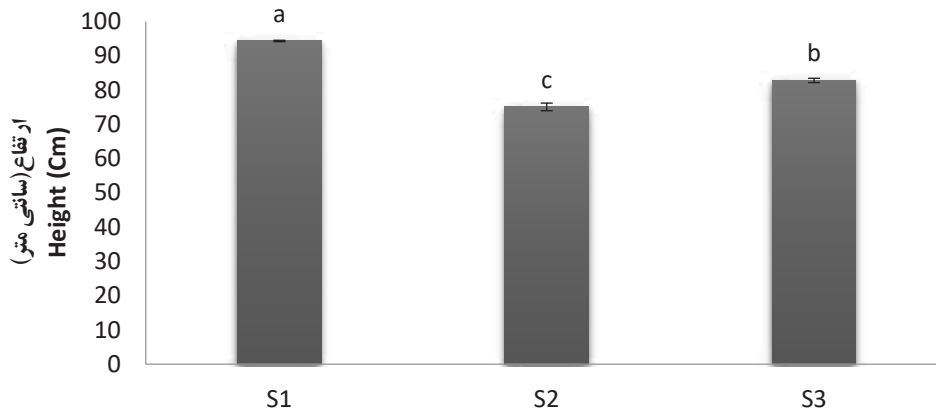


شکل ۳. مقایسه میانگین عملکرد گندم تحت تأثیر نوع و مقدار کود

Figure 3. Mean comparison of wheat yield as affected by fertilizer type and concentration

(در هر ستون میانگین‌های دارای یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

(Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's new multiple range test (MRT)).



تنش خشکی Drought Stress

شکل ۴. مقایسه میانگین ارتفاع گندم تحت تأثیر تنش خشکی (میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد).

Figure 4. Mean comparison of wheat height as affected by drought stress (Means with the same letter are not significantly different at 1% probability level).

می‌باشد. همچنین، در بررسی اثر نوع و مقدار نانو کود مورد استفاده در مراحل تنش مشاهده شد که محلول پاشی سه در هزار نانو کود آهن به همراه یک و نیم نانو کود منگنز نسبت به محلول پاشی آب خالص در مرحله رویشی و زایشی به ترتیب ۵۰ و ۶۱ درصد سبب افزایش عملکرد گردید. لذا طی این مطالعه مشخص شد که کاربرد نانو کود آهن و منگنز در صورت تنش خشکی، یک گزینه مناسبی برای افزایش و بهبود عملکرد گندم می‌باشد.

بیشترین ارتفاع را تولید نمودند (جدول ۳). نانو کود کلات آهن و کلات آهن بر پارامترهای رشد از جمله وزن تر ساقه، وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی تأثیر معنی‌داری با تیمار شاهد داشت (Peivandi *et al.*, 2011). همچنین، کاربرد نانو کود کلات آهن و سکوسترین آهن سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف و دانه در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Jokar *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه، تنش خشکی عملکرد و اجزای عملکرد گندم را به طور معنی‌داری کاهش داد. به طوری که با اعمال تنش در مرحله رویشی و زایشی به ترتیب ۴۰ و ۲۶ درصد عملکرد کاهش یافت و این نشان‌دهنده کاهش شدید عملکرد در اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گندم

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر تنش خشکی و نانو کودها

Table 3. Mean comparison of wheat yield and yield components as affected by drought stress and Fe and Mn nano fertilizers

تیماژ	Treatme:	تعداد سنبله در متر مربع	Spike number (m ²)	تعداد دانه در هر سنبله	Grain number per spike	وزن ۱۰۰۰ دانه	1000-kernel weight (g)	وزن خشک برگ	Leaf dry weigh (g/m ²)	وزن خشک ساقه	Shoot dry weight (g/m ²)	وزن خشک سنبله	Spike dry weight (g/m ²)	سطح برگ	Leaf area (cm ² /plant)
S ₁ (۵۰٪ ظرفیت زراعی)	*F ₁	216±3 ^{ghijkl}	32±1 ^{lm}	35.18±0.31 ^{def}	84.67±4.07 ^{fghi}	179.66±5.10 ^{cf}	135.54±8.01 ^{gh}	31.26±1.15 ^{ijklm}							
	F ₂	216±2 ^{ghijkl}	39±1 ^{fghi}	35.32±0.33 ^d	88.78±7.29 ^{defg}	195.89±1.11 ^{de}	184.54±10.4 ^c	32.26±0.62 ^{ijkl}							
	F ₃	257±17 ^c	46±1 ^{bc}	35.41±1.00 ^c	97.78±4.39 ^{cde}	235.44±3.00 ^c	206.21±1.61 ^b	51.70±2.35 ^d							
	F ₄	237±4 ^{de}	46±1 ^{bcd}	35.46±1.39 ^a	94.89±5.88 ^{def}	361.11±2.94 ^a	184.23±7.28 ^c	44.29±1.15 ^{ef}							
	F ₅	258±1 ^{1c}	45±1 ^{cde}	35.43±2.15 ^{efg}	94.00±5.09 ^{def}	159.01±2.04 ^{hij}	206.78±1.75 ^b	54.83±2.45 ^d							
	F ₆	233±4 ^{ef}	42±1 ^{def}	35.49±0.37 ^{def}	99.78±4.95 ^{cd}	237.22±3.42 ^c	152.89±8.23 ^{de}	60.24±1.15 ^c							
	F ₇	294±9 ^b	52±1 ^a	36.97±0.39 ^b	135.11±2.73 ^a	165.44±4.75 ^{fghi}	304.17±1.54 ^a	97.10±0.59 ^a							
	F ₈	322±2 ^a	50±6 ^{ab}	36.87±0.72 ^c	117.33±5.09 ^b	212.67±5.46 ^d	219.90±7.01 ^b	67.35±0.87 ^b							
	F ₉	268±1 ^c	47±1 ^{bc}	36.83±2.23 ^b	108.21±1.11 ^{bc}	265.56±1.13 ^b	206.70±1.69 ^b	62.88±1.09 ^c							
	F ₁₀	221±3 ^{efghi}	39±1 ^{fghi}	33.96±2.58 ^d	86.57±1.12 ^{efgh}	197.46±1.75 ^d	144.01±4.43 ^{efg}	33.34±1.15 ^{ijkl}							
	F ₁₁	228±3 ^{efgh}	41±1 ^{efg}	35.02±0.49 ^{ef}	91.11±4.01 ^{def}	165.99±5.09 ^{fghi}	160.21±7.03 ^d	32.98±2.36 ^{ij}							
S ₂ (۳۰٪ ظرفیت زراعی در مرحله رویشی)	F ₁	184±3 ^{mnp}	27±1 ^{no}	32.28±2.71 ^P	40.00±2.89 ^P	112.56±5.13 ^{qrs}	64.88±1.83 ^{op}	24.23±1.15 ^{op}							
	F ₂	191±1 ^{lmn}	34±1 ^{gklm}	32.44±0.54 ^q	43.90±2.22 ^P	117.00±18.9 ^{pqr}	107.89±3.28 ^{jk}	15.71±0.95 ^q							
	F ₃	221±1 ^{efghi}	40±1 ^{fgh}	32.47±1.40 ^{lmn}	63.00±3.85 ^{lmno}	121.90±4.00 ^{opq}	137.56±6.97 ^{fgh}	33.17±2.37 ^{ij}							
	F ₄	229±2 ^{efgh}	35±1 ^{gkl}	32.64±6.38 ^{kilmn}	60.01±1.91 ^{mno}	133.34±5.08 ^{lmnop}	128.12±1.78 ^{hi}	32.87±1.15 ^{ijkl}							
	F ₅	214±18 ^{ghijkl}	38±1 ^{fghi}	32.46±0.56 ^{mn}	60.01±1.91 ^{mno}	122.47±8.34 ^{nopq}	117.43±2.23 ^{ij}	25.58±1.15 ^{no}							
	F ₆	199±12 ^{klm}	36±4 ^{hijk}	32.64±0.61 ^{ijklm}	69.33±1.92 ^{klmno}	130.11±5.02 ^{mnp}	119.21±5.62 ^{ij}	35.20±0.82 ^{hi}							
	F ₇	291±6 ^b	46±1 ^{bcd}	35.20±2.18 ^{hi}	72.89±5.56 ^{ijkl}	149.32±6.93 ^{ijkl}	150.22±4.34 ^{def}	53.98±1.41 ^d							
	F ₈	252±2 ^{cd}	42±1 ^{def}	35.05±3.44 ^{hijk}	72.11±4.44 ^{kl}	138.62±5.09 ^{lmno}	139.57±4.58 ^{efg}	53.27±2.37 ^d							
	F ₉	231±6 ^{efg}	41±1 ^{efg}	34.88±2.84 ^{ijkl}	71.10±1.10 ^{ijklm}	132.98±4.91 ^{plmno}	139.46±6.98 ^{efg}	37.73±1.15 ^{gh}							
	F ₁₀	208±3 ^{ijkl}	33±1 ^{klm}	33.12±0.61 ^P	46.32±1.92 ^P	95.99±5.09 st	80.44±8.88 ^{mn}	27.28±1.15 ^{mno}							
	F ₁₁	212±1 ^{hijk}	37±1 ^{ghijk}	32.08±3.06 ^P	57.78±1.11 ^o	92.12±5.13 ^t	91.02±3.54 ^{lm}	20.94±0.63 ^P							
S ₃ (۳۰٪ ظرفیت زراعی در مرحله زایشی)	F ₁	160±7 ^q	12±1 ^r	29.33±3.34 ^{ijklm}	64.46±1.12 ^{klmno}	138.89±3.58 ^{klmn}	58.44±3.28 ^p	27.90±0.62 ^{mno}							
	F ₂	171±3 ^{opq}	17±1 ^q	29.43±1.11 ^{hi}	58.56±3.38 ^{no}	163.67±5.09 ^{fghi}	97.22±1.80 ^{kl}	28.35±1.15 ^{lmn}							
	F ₃	180±7 ^{nop}	21±1 ^{pq}	29.53±5.57 ^{hij}	77.89±5.88 ^{ghij}	142.67±1.76 ^{ijklm}	95.88±1.83 ^{kl}	38.04±1.15 ^{gh}							
	F ₄	186±7 ^{mno}	30±1 ^{mn}	29.62±1.17 ^{hi}	76.67±1.92 ^{hij}	145.32±4.92 ^{ijklm}	107.12±1.80 ^{jk}	39.90±0.82 ^g							
	F ₅	176±3 ^{nopq}	31±1 ^{lm}	29.54±2.35 ^{gh}	76.33±3.85 ^{hij}	155.68±3.85 ^{hijk}	114.21±4.27 ^{ij}	41.35±1.15 ^{fg}							
	F ₆	167±4 ^{pq}	17±1 ^q	29.60±4.51 ^{fg}	86.57±2.02 ^{efgh}	162.34±6.94 ^{ghi}	97.56±1.61 ^{kl}	45.47±0.74 ^c							
	F ₇	227±3 ^{efgh}	39±1 ^{fghi}	32.49±3.07 ^{de}	93.77±5.55 ^{def}	178.46±5.19 ^{fg}	139.66±3.09 ^{efg}	60.01±0.59 ^c							
	F ₈	219±2 ^{efghij}	36±1 ^{hijk}	32.29±2.66 ^{def}	93.78±4.01 ^{def}	170.67±5.09 ^{fgh}	127.54±3.26 ^{hi}	59.28±3.60 ^c							
	F ₉	201±1 ^{gklm}	35±2 ^{hijkl}	31.97±1.46 ^{ef}	92.89±6.19 ^{def}	165.88±7.29 ^{fghi}	114.57±1.82 ^{ij}	38.56±0.89 ^{gh}							
	F ₁₀	172±2 ^{opq}	24±1 ^{op}	28.77±1.97 ^{no}	74.01±5.09 ^{ijkl}	103.11±5.02 ^{rst}	84.54±7.02 ^{lmn}	28.71±1.15 ^{klmn}							
	F ₁₁	174±3 ^{nopq}	32±1 ^{lm}	29.28±0.86 ^{kilmn}	74.89±1.11 ^{ijk}	123.01±9.63 ^{nopq}	75.78±1.93 ^{no}	27.82±1.15 ^{mno}							

(در هر ستون میانگین های دارای یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه ای دانکن است.)

(Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's new multiple range test (MRT))

*یک در هزار نانو کلات آهن (F₁)، سه در هزار نانو کلات آهن (F₂)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F₃)، سه در هزار نانو کلات منگنز (F₄)، یک در هزار نانو کلات آهن و یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز (F₅)، یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F₆)، یک و نیم در هزار نانو کلات منگنز و سه در هزار نانو کلات آهن (F₇)، سه در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز (F₈)، بدون محلول پاشی به عنوان شاهد (F₉)، محلول پاشی آب خالص (F₁₀) و کود کمپلکس میکرو (F₁₁)

F₁: 1/1000 nano chelated iron, F₂: 3/1000 nano chelated iron, F₃: 1.5/1000 nano chelated manganese, F₄: 3/1000 nano chelated manganese, F₅: 1/1000 nano chelated iron + 1.5/1000 nano chelated manganese, F₆: 1/1000 nano chelated iron + 3/1000 nano chelated manganese, F₇: 1.5/1000 nano chelated manganese + 3/1000 nano chelated iron, F₈: 3/1000 nano chelated iron + 3/1000 nano chelated manganese, F₉: no foliar application of the nano fertilizers, F₁₀: foliar application of pure water, F₁₁: micro fertilizer complex.

References

- Afzal, I., Basra, S.M.A., Farooq, M., and Nawaz, A. 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *International Journal Agriculture Biological*, 1: 2328-.
- Ahmadi Lahijani, M., and Emam, Y. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(3): 163-176. (In Persian with English Summary).
- Alizadeh, A., Khoshkhui, M., Javidnia, K., Firuzi, O., Tafazoli, E., and Khalighi, A. 2010. Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (*Lamiaceae*) cultivated in Iran. *Journal of Medical Plant Research*, 4 (1): 33-40.
- Anonymous. 2015. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, July, 20, from <http://faostat.fao.org>.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302: 1-17.
- Chakraborty, K., Raj, S., and Bhattacharya, R. C. 2012. Differential expression of salt overly sensitive pathway genes determines salinity stress tolerance in *Brassica* genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51: 90-101.
- Davoody, N., Seghatoleslami M. J., Mousavi, S. G. H., and Nasrabad Azari, A. 2013. Foxtail millet responses to bulk and nano zinc oxide particles in water stress conditions. *Annual Review & Research in Biology*, 3: 959-973.
- Demiral, T., and Turkan, I. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense system and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 53: 247-257.
- El-Ghamry, A.M., A.M.A. El-Hamid., and A.A. Mosa. 2009. Effect of farmyard manure and foliar application of micronutrients on yield characteristics of wheat grown on salt affected soil. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5:460-465.
- Fathi Amirkhiz K., Amini-dehghi M., Modarress-Sanavy S. A. M., and Heshmati S. 2010. Foliar and soil application of element iron (Fe) on some biochemical properties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.), under two irrigation regimes. *Iranian Journal Crop Science*, 42 (3): 509 -5. (In Persian with English Summary).
- Gonzalez A., Martin. I., and Ayerbe L. 2008. Yield and osmotic adjustment capacity of barley under terminal water-stress conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194: 81-91.
- Hamzeshpour, N., Malakuti, M. J., and Majidi, A. 2010. Interaction of zinc, iron and manganese in different organs of wheat. *Journal of Soil Research*, 1:

125-135.

- Jokar, L., Ronaghi, L., Karimian, A.M., and Ghasemi Fasaee, R. 2015. Effect of different levels of iron and nitrogen fertilizers and iron sequestrers on growth and concentration of certain nutrients of bean beans in a calcareous soil. *Journal of Greenhouse Crop Science and Technology*, 6 (22): 9-18.
- Karim, M. R., Zhang, Y.-Q., Zhao, R.-R., Chen, X.-P., Zhang, F.-S., and Zou, C.-Q. (2012). Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(1): 142-151.
- Khan M. B., Hussain M., Raza A., Farooq S., and Jabran K. (2015). Seed priming with CaCl₂ and ridge planting for improved drought resistance in maize. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 39: 193-203.
- Martin, D. L., Stegman, E. C., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. In: G.J. Hoffman et al. (eds), Management of farm irrigation systems. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI. 1990. pp 155-203.
- Mazaherinia, M., Astarai, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Effect of nano iron oxide particles and on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Science Journal*, 7(1): 156-162.
- Nezami, A., Khazaei, H. R., Boroumand Rezazadeh, Z., and Hosseini, A. (2008). Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus* L.) in controlled conditions. *Desert*, 12: 99-104.
- Omidi H., Movahadi, F., and Movahadi, S.H. 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of *Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18: 608-623. (In Persian with English Summary).
- Pahlavan Rad, M. R., Kikha, GH., and Naarooyi Rad, M. R. 2007. Application of zinc, iron and manganese on yield, yield components, nutrient concentration and uptake in wheat grain. *Journal of Research and Development*, 79: 150-142. (In Persian with English Summary).
- Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., and Tavassoli, A. 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glaucum*) species notrified. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 3(10): 67-78. (In Persian with English Summary).
- Peivandi, M. H., Parande, H., and Mirza, M. 2011. Comparison of the effect of iron nanochalate on growth parameters and antioxidant enzymes activity in basil. *New Journal of Cellular-Molecular Biotechnology*, 1(4): 89-99. (In Persian

with English Summary).

Zain, N. A. M., Ismail, M. R., Puteh, A., Mahmood, M., and Islam, M. R. (2014). Impact of cyclic water stress on growth, physiological responses and yield of rice (*Oryza sativa* L.) grown in tropical environment. *Ciência Rural*, 44(12), 2136–2141.