تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۷۳۵-۷۴۶
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1478.1327

مقاله پژوهشی

تأثیر آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن بر محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پر شدن دانه گندم (*Triticunm aestivum* L.) تحت شرایط دیم

حامد نریمانی[۱]، رئوف سیدشریفی[۱*]، راضیه خلیل‌زاده[۱]، غلامرضا امین‌زاده[۲]
۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی
۲. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات، کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین عوامل غیر زیستی است که می‌تواند رشد و عملکرد را در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود نماید. به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن بر محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پر شدن دانه در شرایط دیم، آزمایشی در سال ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی و عدم آبیاری یا کشت دیم) و کاربرد نانواکسید آهن در چهار سطح (عدم کاربرد نانو اکسید آهن به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن) بود. محلول‌پاشی با نانواکسید آهن در دو مرحله از دوره رشدی (مرحله ۶-۴ برگی و مرحله قبل از چکمه‌ای شدن) انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید را به ترتیب ۱۶/۷۹، ۵۷/۷۸، ۶۴/۳۲ و ۱۱۵/۲۱ درصد در مقایسه با عدم کاربرد نانو اکسید آهن در شرایط دیم افزایش داد. همچنین کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، به ترتیب موجب افزایش ۱۲/۵، ۴۷/۳۶، ۱۶/۹۵، ۲۹/۱۸ و ۳۸/۴۳ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره مؤثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد نانواکسید آهن تحت شرایط دیم شد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد که کاربرد نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای افزایش عملکرد و طول دوره پر شدن دانه به‌کاربرده شود.

واژه‌های کلیدی: **تنش خشکی، ریزمغذی آهن، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، محدودیت آبی**

مقدمه

گندم در بیشتر مناطق تحت شرایط دیم در کشور، با محدودیت آبی در دوران رشد زایشی مواجه است (Seyed sharifi and Khalilzadeh, 2018). یکی از آثار محدودیت آبی و شوری کاهش میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Yordanov et al., 2003)، به دلیل کاهش سنتز مولکول‌های کلروفیل و افزایش تخریب آن (Chen et al., 2007) و یا نتیجه‌ی تخریب ساختار ظریف کلروپلاست و یا افزایش فعالیت کلروفیلاز (Jacoby, 1994)، پراکسیداز و ترکیبات فنلی، افزایش اتیلن (Khan, 2003) و درنتیجه تجزیه‌ی کلروفیل است. ازاین‌رو حفظ محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل a، b و کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند (Hosseinzadeh et al., 2014).

وزن نهایی دانه یکی از اجزای اصلی تعیین‌کننده عملکرد دانه است که به‌وسیله دو عامل سرعت و طول دوره‌ی پر شدن دانه تعیین می‌شود (Yang and Zhang, 2006). این دو جز تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی قرار می‌گیرند و ازنظر فیزیولوژیکی به‌طور کاملاً مستقل از یکدیگر هستند. سرعت

* نگارنده پاسخگو: رئوف سیدشریفی. پست الکترونیک: raouf_ssharifi@yahoo.com

پر شدن دانه بیانگر سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی مؤثر در سنتز نشاسته و پروتئین است. درحالی‌که طول این دوره نشان‌دهنده‌ی مدت‌زمان عرضه مواد فتوسنتزی است (Papakosta and Gayianas, 1991). در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش طول دوره و یا سرعت پر شدن دانه (Ahmadi and Baker, 2001) و پیری زودرس برگ‌ها، موجب کاهش تأمین مواد غذایی برای پر شدن دانه می‌شود (Pashnezhad et al., 2010). تنش اول فصل، زمان گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک را به تأخیر انداخته، ولی تنش در مراحل گلدهی و دانه‌بندی، دوره‌ی پر شدن را کوتاه‌تر می کند (Song et al., 1996). گودینگ و همکاران (Gooding et al., 2003) گزارش دادند که تنش خشکی با کوتاه کردن دوره پر شدن دانه، موجب کاهش عملکرد دانه شده و بیش-ترین تأثیر آن در دوره‌ی پر شدن دانه، بین روزهای اول تا چهاردهم بعد از گرده‌افشانی است.

یکی از راه‌کارهای تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری تکمیلی است. منظور از آبیاری تکمیلی کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و ثبات عملکرد دانه تأمین شود (Oweis et al., 1999) درواقع، آبیاری تکمیلی یک مداخله موقت است و به نحوی طراحی شده کـه بتوان درزمانی که آب فراهم است، تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد. از طرف دیگر، کاربرد آن درزمانی نامناسب است که بارندگی برای رشد گیاه زراعی کافی است (Oweis and Hachum, 2004). کوبوتا و همکاران (Kobota et al., 1992) بیش‌ترین تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه را در مرحله گرده‌افشانی گزارش کردند. تینگ لو و همکاران (Tinglu et al., 2005) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی باعث افزایش ۱۴/۳ درصدی عملکرد دانه گندم می‌شود. الباسینو و بختا (El-Bassiouny and Bekheta, 2005)، ژن ژو و ژن ون (Zhen-Zhu and Zhen-Wen, 2006) نشان دادند آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم موجب افزایش کلروفیل b شد. بررسی‌های تاتاری و همکاران (Tatari et al., 2012) نشان داد که آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت.

تغذیه‌ی مناسب گیاهی تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند (Alloway, 2004). آهن از عناصر ضروری و کم‌مصرف در گیاهان بوده و کمبود آن به دلیل کاهش میزان کلروفیل برگ، منجر به کاهش میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ می‌شود (Bisht et al., 2002). محلول‌پاشی به شکل نانو ذرات به دلیل حلالیت و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه (Salehi and Tamaskoni, 2008)، سرعت و بالا بودن کارایی جذب، سطح مخصوص بیشتر در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها به‌عنوان یک راهکار مفید و مؤثر برای اصلاح کمبود آهن است (Monica and Cremonini, 2009). مظاهری نیا و همکاران (Mazaherinia et al., 2010) در بررسی گلخانه‌ای دریافتند که کاربرد نانو اکسید آهن به علت بیشتر، سبک و کوچک بودن این ذرات نسبت به اکسید آهن معمولی موجب افزایش معنی‌داری در غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن دانه در سنبله، وزن خشک کاه و کلش گندم شد. بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2008) گزارش کردند محلول-پاشی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی در شرایط تنش خشکی، عملکرد آفتابگردان را به دلیل افزایش کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو افزایش داد. کالیسکان (Caliscan, 2008) گزارش کرد که محلول‌پاشی ۱/۸۲ و ۳/۶۴ کیلوگرم در هکتار آهن به‌صورت Fe EDTA موجب افزایش پارامترهای رشد در طول پر شدن دانه و عملکرد نهایی دانه در سویا شد. سیلسپور (Silissopour, 2007) نتیجه گرفت که با مصرف توأم کودهای آهن و روی میزان عملکرد گندم به‌طور متوسط ۸۶۷ کیلوگرم افزایش یافت. غفاری و رزمجو (Ghafari and Razmjoo, 2013) افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد، محتوی کلروفیل و کاروتنوئید گندم را با کاربرد دو گرم در لیتر نانو اکسید آهن گزارش کردند. پیوندی و همکاران (Peyvandi et al., 2011) گزارش کردند کاربرد نانو کلات آهن در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ گرم در هکتار موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در گیاه ریحان شد. ازاین‌رو استفاده از فناوری نانو به دلیل آزادسازی تدریجی و کنترل‌شده مواد غذایی در خاک، جلوگیری از کاهش شدید آبشویی عناصر در افزایش کارایی مواد غذایی و کنترل آلودگی محیط‌زیست مؤثر است (Naderi and Abedi,.2012). با توجه به محدودیتی که ازلحاظ منابع آبی در کشور وجود دارد و اهمیت آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن در تعدیل اثرات ناشی از کمبود آب بر عملکرد گندم دیم

و کمی بررسی‌های انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش توأم آن-ها، موجب شد تا تأثیر این عوامل بر محتوای کلروفیل، مؤلفه های پر شدن دانه و عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پر شدن دانه‌ی گندم، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی است. خاک این اراضی جزء خاک‌های لوم رسی است. pH خاک حدود ۷/۷ و عمق آن حدود ۷۰ سانتیمتر است. خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مشخصات جوی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک **Table 1. Soil physicochemical properties**

آهک $CaCO_3$	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic Carbon	نیتروژن N	هدایت الکتریکی EC	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	pH
	----------%----------					ds/m	--------- $mg.kg^{-1}$---------			
5	39	30	31	0.858	0.08	1.54	12.2	495	5.1	7.76

جدول ۲. پارامترهای جوی ثبت‌شده در طول دوره رشد گندم

Table 2- Atmospheric parameters recorded during the period of wheat growth

parameter	پارامتر	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Ma.	فروردین Apr.	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul.
rainfall	بارندگی	4.8	40.3	28.9	3.4	35.2	9.4	3.3	32.9	2.4	9.3
Mean of minimum temperature	میانگین حداقل دما	6.1	1.7	4.6	-5.1	-8.2	-1.4	2.1	7.4	10	12.8
Mean of maximum temperature	میانگین حداکثر دما	18.4	12.5	3.5	5.8	0.2	9.4	14.3	21.4	24.5	26.1
Mean of daily temperature	میانگین دمای روزانه	12.2	7.1	0.6	0.4	-4	4	8.2	14.4	17.3	19.5
Mean of moisture	میانگین رطوبت	76	75	65	64	82	69	69	62.6	68	60.6
Sun shine hours	ساعات آفتابی	201.3	151.4	170.8	210.9	120.9	209.1	202.7	232.6	331.7	328.3

به‌منظور تعیین مؤلفه‌های پر شدن دانه تقریباً پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت کننده به طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه ها از سنبله جدا و شمارش شدند. بعد به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه دار در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به منظور برآورد، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Nline Proc نرم‌افزار SAS به صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad [1]$$

در این رابطه GW وزن دانه، tزمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه

است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب‌خط رگرسیون در این مرحله (t_0 > t) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست‌آمده و سپس مقدار عددی t_0در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = \frac{MGW}{b} \qquad [۲]$$

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استن ۸۰ درصد به‌تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و درنهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها بر اساس روابط ۳ تا ۶ برآورد شدند.

$$\text{کلروفیل a} = (۱۹/۳\times A_{۶۶۳} - ۰/۸۶\times A_{۶۴۵})\ V/۱۰۰W \qquad [۳]$$

$$\text{کلروفیل B} = (۱۹/۳\times A_{۶۴۵} - ۳/۶\times A_{۶۶۳})\ V/\ ۱۰۰W \qquad [۴]$$

$$\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b} \qquad [۵]$$

$$\text{کاروتنوئید} = (۱۰۰A_{۴۷۰} - ۳/۲۷C_a - ۱۰۴C_b)/۲۲۷ \qquad [۶]$$

در این روابط V حجم استون استفاده‌شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است. عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع برداشت شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی، نانو اکسید آهن و اثر متقابل این دو عامل بر تمامی صفات موردبررسی ازجمله محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید، مؤلفه‌های پر شدن دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

محتوای کلروفیل

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید مربوط به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی (به ترتیب ۲/۱۹، ۰/۸۸۲، ۳/۰۸۱ و ۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین این مقادیر (به ترتیب ۱/۳۱، ۰/۵۵۹، ۱/۸۷۵ و ۰/۴۶ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) به عدم محلول‌پاشی در شرایط کشت دیم بود (جدول ۴). ازجمله دلایل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش آبی، افزایش تخریب رنگیزه‌ها، کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Abbaszadeh et al., 2007) و یا تخریب کلروفیل به‌وسیله انواع اکسیژن فعال است (Navari-Izoo et al., 1990). افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول موجب پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگ‌دانه می‌گردند (Schutz and Fangmier, 2001). به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی، فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ممکن است سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها (که موجب تغییر ساختار غشاء و درنتیجه ازهم‌پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود)، بی‌رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگ‌دانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای گردد (Mittler, 2002; Mohanty, 2003). در چنین شرایطی انجام آبیاری تکمیلی با تأمین آب موردنیاز بافت گیاهی، شرایط را برای جلوگیری از تخریب کلروفیل فراهم می‌سازد. بررسی‌های انجام‌گرفته بر روی ذرت نشان داد در شرایط تنش خشکی، میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاه کاهش پیدا می‌کند (Efeoglo et al., 2009). نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش محتوای کلروفیل در آفتابگردان (Manivannan et al., 2008) در شرایط محدودیت آبی گزارش شده است. احمدی و سی‌وسه مرده (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004) کاهش محتوای کلروفیل در شرایط محدودیت آبی را به تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلاز، پراکسیداز، ترکیبات فنلی و درنتیجه

تجزیه‌ی کلروفیل نسبت دادند. در گزارش خان (Khan, 2003) دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش به عدم سنتز این ماده و افزایش اتیلن در این شرایط نسبت داده شد. دسینگ و کاناگاراج (Desingh and Kanagaraj, 2007) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن، بر ساختار کلروپلاست آسیب می‌رساند و موجب کاهش غلظت کلروفیل می‌شود. بررسی-های الباسینو و بختا (El-bassiouny and Bekheta, 2005)، ژن ژو و ژن ون (Zhen-Zhu and Zhen-Wen, 2006) نشان داد آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم موجب افزایش کلروفیل b شد. حق‌جو و بحرانی (Haghjoo and Bohrani, 2014) گزارش کردند که انجام آبیاری موجب افزایش محتوای کلروفیل a و b شد

کاربرد نانواکسید آهن منجر به بهبود محتوای کلروفیل حتی در شرایط محدودیت آبی یا کشت دیم شد. به نظر می-رسد با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک آهن در خاک کاهش‌یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عنصر مواجه می‌گردد. اگرچه آهن به مقدار کم برای گیاه نیاز است، ولی برای بسیاری از ترکیبات مهم و فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند ساخت کلروفیل و فعالیت برخی آنزیم‌ها، توسعه کلروپلاست، دریافت انرژی نورانی حضور آهن لازم است (Hadi et al., 2016). دلفانی و همکاران (Delfani et al., 2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانو ذرات آهن با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در لوبیا تعداد غلاف (۴۷ درصد)، وزن هزار دانه (۷ درصد)، مقدار آهن برگ‌ها (۳۴ درصد) و مقدار کلروفیل (۱۰ درصد) را به‌طور قابل‌توجهی نسبت به شاهد افزایش داد.

جدول ۳. تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، مؤلفه‌های پر شدن دانه و عملکرد گندم متأثر از کاربرد نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم

Table 3. Analysis of variance chlorophyll content, grain filling components and yield of wheat as affected of nano-iron oxide under supplementary irrigation and rainfed condition

			میانگین مربعات (Means squares)			
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
Replication	بلوک	2	0.000024^{ns}	0.000059^{ns}	0.000062^{ns}	0.00023^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.48**	0.064**	0.89**	0.23**
Nano iron oxide (Fe)	نانو اکسید آهن	3	0.28**	0.040**	0.54**	0.039**
Fe × I	آهن×آبیاری	6	0.010**	0.007**	0.031**	0.017**
Error	خطای آزمایشی	22	0.00059	0.000052	0.00054	0.00015
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*14.3*	*10.1*	*9.09*	*14. 7*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

			میانگین مربعات (Means squares)				
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	دوره مؤثر پر شدن دانه effective grain filling period	طول دوره پر شدن دانه grain filling period	سرعت پر شدن دانه grain filling rate	عملکرد دانه Grain yield
Replication	بلوک	2	0.0000021**	320.85**	496.39**	0.0000016**	67565/11**
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.00037**	62.75**	37.21**	0.000000040**	28746/77**
Nano iron oxide (Fe)	نانو اکسید آهن	3	0.000086**	9.18**	5.21**	0.000000029**	1089/08**
Fe × I	آهن×آبیاری	6	0.0000015**	1.64**	1.28**	0.0000000073**	240/59*
Error	خطای آزمایشی	22	0.00000044	0.19	0.11	0.0000000056	75/39
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*13.7*	*17.1*	*10.7*	*8.06*	*12.3*

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

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر برخی صفات گندم.

Table 3. Means comparison of the effects of nano iron oxide and supplementary irrigation on some traits of wheat.

تیمار Treatments	کلروفیل a** Chlorophyll a	کلروفیل b** Chlorophyll b	کلروفیل کل* Chlorophyll total	کاروتنوئید* Carotenoid	حداکثر وزن دانه** Maximum grain weight
	---------- mg/g FW ----------				(g)
$Fe_0 \times I_1$	1.31^{i}	0.559^{j}	1.875^{j}	0.46^{j}	0.038^{j}
$Fe_0 \times I_2$	1.63^{ed}	0.609^{g}	2.245^{f}	0.93^{cd}	0.050^{d}
$Fe_0 \times I_3$	1.56^{fg}	0.596^{h}	2.158^{h}	0.85^{f}	0.044^{g}
$Fe_1 \times I_1$	1.42^{h}	0.578^{i}	2.003^{i}	0.69^{i}	0.041^{i}
$Fe_1 \times I_2$	1.79^{c}	0.667^{d}	2.464^{d}	0.95^{b}	0.052^{c}
$Fe_1 \times I_3$	1.60^{ef}	0.602^{gh}	2.204^{g}	0.87^{ef}	0.042^{h}
$Fe_2 \times I_1$	1.54^{g}	0.597^{h}	2.146^{h}	0.78^{h}	0.042^{f}
$Fe_2 \times I_2$	1.91^{b}	0.778^{b}	2.697^{b}	0.956^{b}	0.053^{b}
$Fe_2 \times I_3$	1.77^{c}	0.644^{e}	2.422^{e}	0.88^{e}	0.050^{d}
$Fe_3 \times I_1$	1.65^{d}	0.622^{f}	2.279^{f}	0.80^{g}	0.046^{f}
$Fe_3 \times I_2$	2.19^{a}	0.882^{a}	3.081^{a}	0.99^{a}	0.056^{a}
$Fe_3 \times I_3$	1.88^{b}	0.716^{c}	2.604^{c}	0.91^{d}	0.052^{c}
LSD	*0.04*	*0.01*	*0.03*	*0.02*	*0.001*

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

تیمار§ Treatments§	دوره مؤثر پر شدن دانه** effective grain filling period (day)	طول دوره پر شدن دانه** grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه** grain filling rate ($g.day^{-1}$)	عملکرد* Yield ($g.m^{-2}$)	معادله برازش شده Estimated Equation
$Fe_0 \times I_1$	23.37^{hg}	29.97^{d}	0.00165^{j}	326.50^{d}	Y=0.001x-0.012
$Fe_0 \times I_2$	27.42^{cb}	33.35^{b}	0.00185^{fg}	412.50^{b}	Y=0.001x-0.011
$Fe_0 \times I_3$	24.09^{gf}	30.66^{c}	0.00183^{gh}	353^{c}	Y=0.001x-0.012
$Fe_1 \times I_1$	22.87^{h}	29.89^{d}	0.00180^{i}	342.50^{c}	Y=0.001x-0.013
$Fe_1 \times I_2$	27.04^{cd}	33.21^{b}	0.00193^{ab}	421.57^{b}	Y=0.001x-0.012
$Fe_1 \times I_3$	26.13^{e}	32.86^{b}	0.00187^{ef}	326.50^{c}	Y=0.001x-0.013
$Fe_2 \times I_1$	23.29^{h}	30.04^{d}	0.00182^{hi}	348.70^{c}	Y=0.001x-0.012
$Fe_2 \times I_2$	27.81^{b}	33.38^{b}	0.00194^{a}	440.20^{a}	Y=0.001x-0.011
$Fe_2 \times I_3$	26.37^{de}	33.04^{b}	0.00191^{bc}	348.70^{c}	Y=0.001x-0.013
$Fe_3 \times I_1$	24.64^{f}	31.16^{c}	0.00190^{cd}	375^{c}	Y=0.001x-0.013
$Fe_3 \times I_2$	30.19^{a}	35.05^{a}	0.00188^{de}	452^{a}	Y=0.001x-0.009
$Fe_3 \times I_3$	26.97^{cd}	33.29^{b}	0.00193^{ab}	375^{c}	Y=0.001x-0.012
LSD	*0.75*	*0.58*	*0.000027*	*14.70*	-

§ I_1، I_2 و I_3 به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله سنبله‌دهی؛ Fe_0، Fe_1، Fe_2 و Fe_3 به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (**) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

§ I_1, I_2 and I_3 no irrigation, supplementary irrigation at boot stage and supplementary irrigation at heading stage respectively; Fe_0, Fe_1, Fe_2 and Fe_3 0, 0.3, 0.6 and 0.9 $mg.lit^{-1}$ nano iron oxide respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test at 0.01(*) and 0.05 (**) probability level

جوادی‌مقدم و همکاران (Javadimoghadam et al., 2015) در بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانو کلات آهن و روی بر رشد و عملکرد خیار در شرایط گلخانه‌ای، بیش‌ترین محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را در غلظت‌های دو میلی‌گرم در لیتر آهن و ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر روی به دست آورند. چرسکین و کاستل-فرانس (Chereskin and Castelfrance, 1982) افزایش مقدار کلروفیل با کاربرد آهن را به تأثیر این ماده بر پیش-سازهای سنتز کلروفیل نسبت دادند، زیرا آهن جزء متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و به‌عنوان یک کوفاکتور در برخی از آنزیم‌هایی است که در مسیر ساخت و توسعه کلروفیل قرار دارد

مؤلفه‌های پر شدن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به‌صورت خطی افزایش‌یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی) پس‌ازاین مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱).

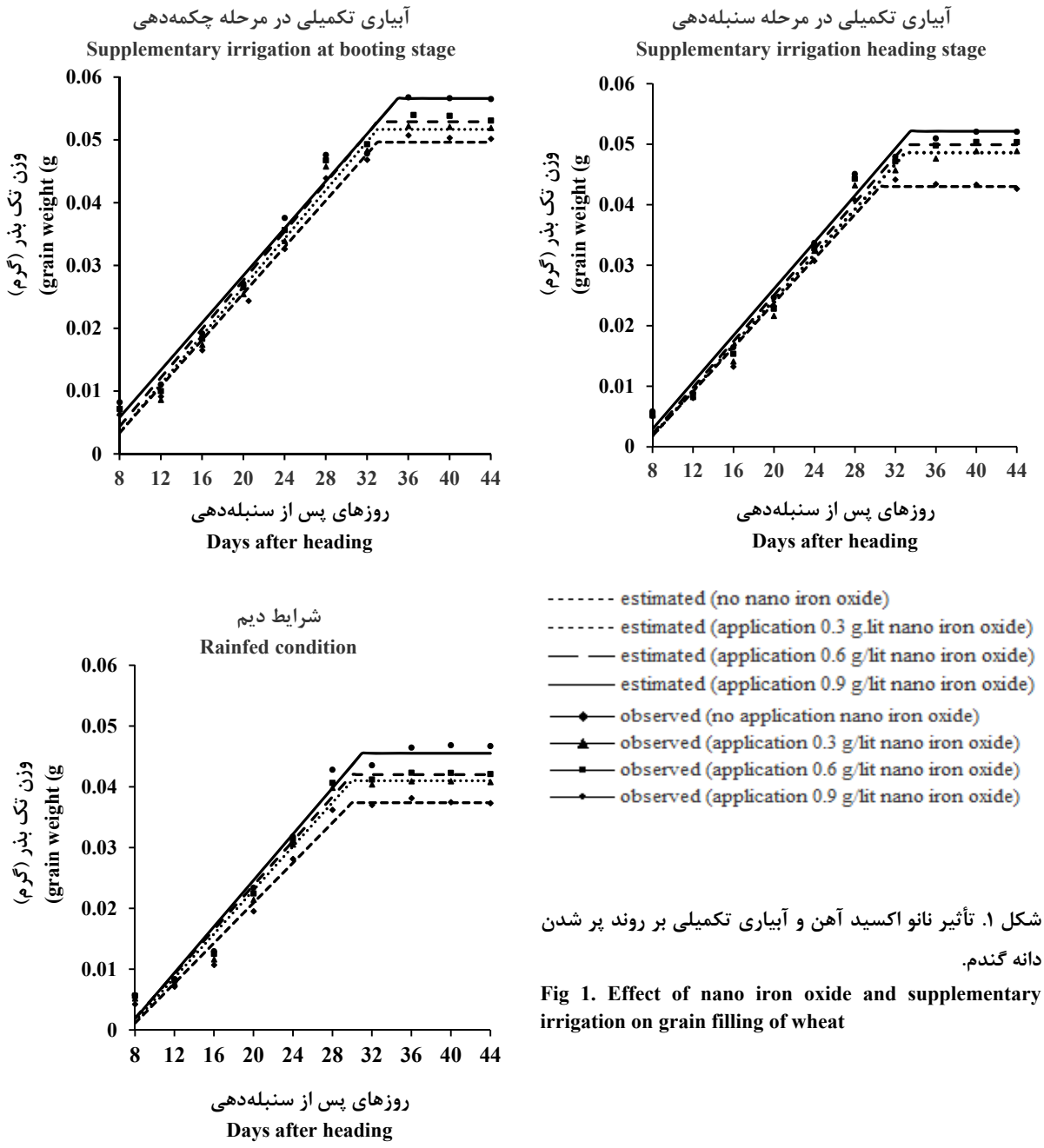
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۱۹۴ گرم در روز) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه-دهی و کم‌ترین این صفت (۰/۰۰۱۶۵ گرم در روز) در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم به دست آمد (جدول ۳). حداکثر وزن دانه در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی (۰/۰۵۶ گرم) و کم‌ترین آن در حالت عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم (۰/۰۳۸ گرم) به دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد گیاه برای مقابله با شرایط تنش که در این بررسی همان زراعت تحت شرایط دیم است سعی دارد طول دوران رشدی خود را کوتاه نماید و بخشی از اثرات ناشی از این کوتاهی طول دوران رشدی به‌صورت کاهش در مؤلفه‌های پر شدن دانه ازجمله کاهش طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه مشاهده شد. در این راستا پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2006) اظهار داشتند که تنش خشکی در طی مرحله پر شدن دانه با انتقال مواد از ساقه و برگ موجب تسریع پیری، کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود. بیش-ترین طول دوره پر شدن دانه و دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی (به ترتیب ۳۵/۰۵، ۳۰/۱۹ روز) و کم‌ترین آن در عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط دیم (به ترتیب ۲۹/۹۷ و ۲۳/۳۷ روز) به دست آمد (جدول ۴). در این بررسی به نظر می‌رسد آبیاری در مرحله چکمه‌دهی موجب می‌شود که پوشش گیاهی سطح سبز خود را برای مدت بیش‌تری حفظ کند و با افزایش محتوای کلروفیل برگ (جدول ۴)، موجب می‌شود مرحله پر شدن دانه نیز طولانی‌تر شود. اوک و همکاران (Ouk et al, 2003) اظهار داشتند تنش خشکی موجب کاهش طول دوره‌ی پر شدن دانه گیاه می‌شود ولی با تأمین آب کافی، طول دوره‌ی پر شدن دانه بیشتر شد. بررسی سانگ و همکاران (Song et al., 1996) نشان داد تنش اول فصل، زمان گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک را به تأخیر انداخته، ولی تنش در مراحل گلدهی و دانه‌بندی دوره‌ی پر شدن را ۱۰ تا ۱۱ روز کوتاه‌تر کرد. اهدایی و وانیز (Ehdaie and Waines, 1993) اظهار داشتند که تنش خشکی در طول دوره پر شدن دانه با انتقال بیشتر مواد از ساقه و برگ به تسریع پیری و کاهش سطح برگ منجر می‌شود. کریمی‌راد و همکاران (Karimirad et al., 2008) اثر آبیاری تکمیلی در دوره گلدهی را بر طول دوره و سرعت پر شدن دانه‌ی گندم را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند.

کاربرد نانواکسید آهن نیز منجر به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه شد. طاهری و همکاران (Taheri et al., 2000) با اخذ نتایج مشابه این تحقیق، اظهار داشتند که تعادل تغذیه‌ای گیاه بر اثر تنش خشکی بر هم می‌خورد ولی می‌توان با محلول پاشی عناصر ریزمغذی، این مواد را به‌سرعت در دسترس گیاه قرار داد و انجام فرآیند فتوسنتز و کارایی آن را افزایش و میزان انتقال مواد به سمت دانه‌ها را به‌واسطه‌ی افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها بهبود بخشید.

عملکرد دانه

در این بررسی عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد دانه در واحد سطح (۴۵۲ گرم در مترمربع) به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و کم‌ترین آن (۳۲۶/۵۰ گرم در مترمربع) به عدم محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط دیم

تعلق داشت (جدول ۴). البته عملکرد دانه اختلاف آماری معنی‌داری در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی با محلول‌پاشی ۰/۶ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه-دهی نداشت. آهن نقش اساسی در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز دارد و طبیعی است که با افزایش آهن در برگ، به دلیل افزایش محتوای کلروفیل برگ (جدول ۴)، افزایش ظرفیت و فرایند فتوسنتزی، اندام‌های زایشی بیشتری ساخته‌شده و موجب می‌گردد عملکرد و اجزای عملکرد دانه افزایش یابد (Malakouti et al., 2004; Monica and Cremonini, 2009). توکلی (Tavakoli, 2003) اظهار داشت که آبیاری تکمیلی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم دارد. تاتاری و همکاران (Tatari et al., 2012) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی با تأثیر بر طول سنبله، تعداد



شکل ۱. تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر روند پر شدن دانه گندم.

Fig 1. Effect of nano iron oxide and supplementary irrigation on grain filling of wheat

پنجه، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت موجب بهبود عملکرد دانه می‌شود. اردکانی و همکاران (Ardakani et al., 2007) کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی را به کاهش سطح فتوسنتز کننده، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت جذب آب و بالا بردن غلظت شیره سلولی نسبت دادند.

بخشی از بهبود عملکرد دانه در واحد سطح تحت شرایط آبیاری تکمیلی و کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد طوری که آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی با افزایش طول دوره و دوره‌ی مؤثر پر شدن دانه موجب می‌شود که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره‌شده و از این طریق موجب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شود. نتایج مشابهی نیز توسط سینگ و پاتل (Singh and Patel, 1996) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در شرایط دیم و عدم کاربرد نانواکسید آهن عملکرد، اجزای عملکرد و طول دوره پر شدن دانه کاهش یافت. کاربرد توأم نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی به‌خصوص در مرحله چکمه-ای در مقایسه با عدم کاربرد نانواکسید آهن و کشت دیم منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گردید. نتایج نشان داد که کاربرد ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، به ترتیب موجب افزایش ۱۲/۵، ۴۷/۳۶، ۱۶/۹۵، ۲۹/۱۸ و ۳۸/۴۳ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره مؤثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد نانواکسید آهن تحت شرایط دیم شد. به نظر می‌رسد کاربرد نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی با تعدیل اثرات محدودیت آبی می‌توانند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه حتی در شرایط دیم مؤثر واقع شوند.

منابع

Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, I., Lebaschi, M.H., Naderi Haji Bagher Kandi, M., Moghaddami, F., 2007. Effect of drought stress on proline, soluble sugar, chlorophyll and relative water content (RWC) in Balm. Iranian Medicinal Plants and Herbs. 23, 513-504. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, A., Baker, D.A., 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agricultural Science. 136, 257-269. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, A., Ceiocemardeh, A., 2004. The effects of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 35, 753-763. [In Persian with English Summary].

Alloway, B.J., 2004. Zinc in Soil and Crop Nutrition. International Zinc Association. Belgium. 128p.

Ardakani, M.R., Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Packnejad, F., 2007. The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 23, 251-261. [In Persian with English Summary].

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121.

Babaeian, M., Heidari, M., Ghanbari, A., 2008. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alster cultivar*) under water stress at three stages. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 40, 119-129. [In Persian with English Summary].

Bisht, S.S., Nautiyal, B.D., Sharma, C.P., 2002. Biochemical changes under iron deficiency and recovery in tomato. Journal of Plant Physiology. 7, 183-186.

Caliskan, S., Ozkaya, L., Caliskan, M.E., Arslan, A., 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean type soil. Field Crops Research. 108, 126-132.

Chen, C., Tao, C., Peng, H., Ding, Y., 2007. Genetic analysis of salt stress responses in Asparagus Bean (*Vigna unguiculata* L.) ssp. (Sesquipedalis verdc.). Journal of Heredity. 98, 655-665.

Chereskin, B.M., Castelfrance, P.A., 1982. Effects of iron and oxygen on chlorophyll biosynthesis II. Observation on the biosynthetic pathway in isolated etio-chloroplasts. Plant Physiology. 68, 112-116.

Delfani, M., Firouzabadi, M.B., Farrokhi, N., Makaria, H., 2014. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 45, 530–540.

Desingh, R., Kanagaraj, G., 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. General and Applied Plant Physiology. 33, 221-234.

Efeoglu, B., Ekmekci, T., Cicek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recouery. South African Journal of Botany. 75, 34-42.

Ehdaie, B., Waines, J.G., 1993. Variation in water use efficiency and its components in wheat. Crop Science. 31, 1282-1288.

El-bassiouny, H.S., Bekheta, M.A., 2005. Effect of salt stress on relative water content, lipid peroxidation, polyamines, amino acids and ethylene of two wheat cultivars. International Journal of Agriculture and Biology. 7, 363-368.

Ellis, R.H., Pieta-Filho, C., 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research. 2, 19-25.

Ghafari, H., Razmjoo, J., 2013. Effect of foliar application of nanoiron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 2997-3003.

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., Schofield, J.D., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science. 37, 295-309.

Hadi, H., Seyed Sharifi, R., Namvar, A., 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press. 342p. [In Persian]

Haghjoo, M., Bohrani, A., 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of corn SC-260. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 6, 124-129.

Hosseinzadeh, S.R., Cheniany, M., Salimi, A., 2014. Effects of foliar application of methanol on physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research. 5, 71-82. [In Persian with English Summary]

Jacoby, B., 1994. Mechanism involved in salt tolerance by plants. In: Pessarakli, M. (Ed). Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. New York. pp: 97-123.

Javadimoghadam, A., Ladan Moghadam, A., Danaee, E., 2015. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of nano-iron and zinc. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 9, 1477-1478.

Karimirad, H., Rafiee, M., Hosseinpoor, T., 2008. Rate and grain filling period in wheat cultivars (Kuh-dasht and Zagros) under supplementary irrigation conditions in Khorramabad region. 10th Iranian Crop Sciences Congress. Tehran University. 16-18 Agust 2008. Karaj. Iran. [In Persian]

Khan, N.A., 2003. NaCl inhibited chlorophyll synthesis and associated changes in ethylene evolution and antioxidative enzyme activities in wheat. Plant Biology. 47, 437-440.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R. 2016. Biofertilizers and zinc effects on some physiological parametrs of triticale under water limitation. Journal of Plant Interactions. 11, 167-177.

Kobota, T.J., Palta, A., Turner, N.C., 1992. Rate of development of postanthesis water deficits andgrain filling of spring wheat. Crop Science. 32, 1238– 42.

Malakouti, M.J., Khogar, Z., Khademi, Z., 2004. New Method of Feeding. Sana Publications. Tehran. 868 PP. [In Persian].

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Zhao, C.X., Somasundaram, R., Azooz, M.M., Panneerselvam, R., 2008. Variations in growth and pigment composition of sunflower varieties under early season drought stress. Global Journal of Molecular Sciences. 3, 50-56.

Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., Monshi, A., 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Applied Sciences Journal. 7, 36-40.

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. Annual Review of Plant Science. 7, 405-415.

Mohanty, N., 2003. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of flag leaf and the grain yield in two cultivars of (*Triticum aestivum* L.) exposed to warmer growth conditions. Plant Physiology. 160, 71-74.

Monica, R.C., Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62, 161-165.

Naderi, M.R., Abedi, A., 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. Nanotechnology Journal. 11, 18-26.

Navari-Izoo, F., Quartacci, M.F., Izzo, R., 1990. Water-stress induced changed changes in protein and free amino acids in field grown maize and sun flower. Plant Physiology and Biochemistry. 28, 531-537.

Ouk, M., Shu, F., Ken, F., Jaya, B., Mark, C., Harry, N., 2003. Routine selection for drought resistance in rain fed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Cambodia. In: Proceedings of the International Conference on Research on Water in Agriculture, CARDI, Cambodia. 25-29.

Oweis, T., Hachum, A., 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress. 26th Sept.

Oweis, T., Hachum, A., Kijne, J., 1999. Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use efficiency in dry areas. System-Wide Initiative on Water Management Paper 7. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Paknejad, F., Majidi, E., Noormohammadi, G., Seadat, S., Vazan, S., 2006. Evaluation of drought stress on effective traits at accumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. Journal of Agricultural Sciences. 13, 137-149. [In Persian with English Summary].

Papakosta, D.K., Gayianas, A.A., 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. Agronomy Journal. 83, 804-807.

Paknezhad, F., Majid Hervan, A., Nourmohammadi, A., Sayyadat A., Wazan, S., 2010. Evaluation of the effect of drought stress on effective traits on the accumulation of materials in grain of different wheat cultivars. Agricultural Science (Islamic Azad University). 13, 149-137. [In Persian with English Summary]

Peyvandi, M., Parande, H., Mirza, M., 2011. Comparison on nano Fe chelate with Fe chelate on growth parameters and antioxidant enzymes active of Ocimum Basilicum New Cellular and Molecular Biotechnology. 4, 89-99.

Ronanini, D., Savin, R., Hal, A.J., 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crop Research. 83, 79-90.

Salehi, M., Tamaskoni, F., 2008. Effect nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. Seed Science and Technology. 2, 204-209.

Schutz, H., Fangmier, E., 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution. 114, 187-194.

Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh R., 2018. Cereal Crops Production. University of Mohaghegh Ardabili press. 410 pp. [In Persian].

Silissopour, M., 2007. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. Pajouhesh and Sazandegi. 76, 123-133. [In Persian with English Summary].

Singh, J., Patel, A.L., 1996. Dry matter distribution different parts of wheat under water stress at various growth stage. Field Crop Research. 11, 10-16.

Song, Q.J., JunYi Gin Yuliuai M., 1996. Canonical correlation analysis and path coefficient analysis of protein content, oil content and yield of summer soybean landrace population from mid-Yangtze River valley. Soybean Science. 15, 11-16.

Taheri, G., Ajam Norozi, H., Namni, M., 2000. Study of time and type of micronutrient on phenology, yield and yield components of soybean as the second crop in Golestan province. Journal of Plant Ecophysiology. 2, 56-46. [In Persian with English Summary]

Tatari, M., Ahamadi, M.M., Abbasi Alikamar, R., 2012. Effect of supplemental irrigation on growth and yield of wheat. Iranian Journal of Agricultural Research. 1, 455-448. [In Persian with English Summary].

Tavakoli, A., 2003. Effect of Supplementary irrigation and nitrogen on yield and yield components of wheat in Sabalan cultivar. Iranian Journal of Seed Science and Technology. 19, 380-367.

Tinglu, F., Stewart, B.A., William, A.P., Yong, W., Shangyou, S., Junjie, L., Clay, A.R., 2005. Supplemental irrigation and water-yield relationships for plastic culture crops in the Loess Plateau of China. Agronomy Journal. 97, 177-188.

Yang, J., Zhang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. New Phytologist. 169, 223-236.

Yordanov, l., Velikova, V., Tsonev, T., 2003. Plant responses to drought and stress tolerance Bulgarian Journal of Plant Physiology Special lssues. 7, 187-206.

Zhen-Zhu, X., Zhen-Wen, Y., 2006. Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 169, 118-126.