

Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions

Hamed Narimani¹, Raouf Seyed Sharifi^{1*}, Razieh Khalilzadeh¹, Gholamreza Aminzadeh²

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Horticulture Crop Research Department; Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre; Agricultural Research, Education and Extension Organization; Ardabil; Iran

Abstract

In order to study the effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil in 2016. Factors experiment were included irrigation levels (no irrigation as rain fed, supplementary irrigation at heading and booting stages), foliar application nano iron oxide in four levels (without nano iron oxide as control, application of 0.3, 0.6 and 0.9 g L⁻¹). Means comparison showed that 0.9 g L⁻¹ nano iron oxide application and supplementary irrigation at booting stage increased maximum fluorescence (F_m), variable fluorescence (F_v), chlorophyll content, nitrogen percentage, relative water content and grain yield compared to non-application of nano iron oxide under rain fed condition. Rain fed condition increased minimum fluorescence (F₀) and electrical conductivity. Foliar application of 0.9 g L⁻¹ nano iron oxide and supplementary irrigation at booting stage increased grain yield 38.43% compared to no foliar application under rain fed condition.

Keywords: Chlorophyll index, Electrical conductivity, Relative water content, Water limitation

* Corresponding Author: Raouf_ssharifi@yahoo.com

تأثیر نانواکسید آهن در عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

حامد نریمانی^۱، رئوف سید شریفی^{۱*}، راضیه خلیل زاده^۱، غلامرضا امین زاده^۲
^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ بخش تحقیقات زراعی و باغی؛ مرکز تحقیقات، کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)؛
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ اردبیل؛ ایران

چکیده

برای بررسی تأثیر نانواکسید آهن بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام شد. عوامل بررسی شده عبارتند از ۱- آبیاری به سه شکل آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی یا چکمه‌دهی، آبیاری تکمیلی در مرحله خوشه‌دهی و کشت بدون آبیاری یا کشت دیم و ۲- کاربرد نانواکسید آهن در چهار غلظت بدون کاربرد نانواکسید آهن (شاهد) و محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی؛ فلورسانس بیشینه (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، محتوای کلروفیل، درصد نیتروژن، محتوای آب نسبی برگ و عملکرد دانه را در مقایسه با به کار نبردن نانواکسید آهن در شرایط دیم افزایش داد. شرایط دیم، هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل (F_0) را افزایش داد. محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی افزایش ۳۸/۴۳ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شرایط دیم بدون تیمار محلول‌پاشی موجب شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی، محدودیت آبی، هدایت الکتریکی

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: Raouf_ssharifi@yahoo.com، شماره تماس: ۰۴۵۱۵۵۱۲۲۰۴

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین غلات نواحی خشک و نیمه‌خشک است که در دامنه وسیعی از تغییرات دمایی و اقلیمی رشد می‌کند (Deng *et al.*, 2006). انجام آبیاری تکمیلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک یا در مناطقی که گندم دیم در مراحل حساس دوره رشد با تنش مواجه است، به عملکرد اقتصادی مناسبی منجر می‌شود (Yaghoobian *et al.*, 2012). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی یا در زمان وقوع تنش آبی در مدت فصل رشد گیاه است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها تأمین و عملکرد دانه تثبیت شود (Stone and Schlegel, 2006).

محدودیت آبی به اختلال در سیستم فتوسنتزی منجر می‌شود و یکی از روش‌های تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل است که بازتاب وضعیت فتوشیمیایی گیاه است (Mohammadi *et al.*, 2008). فلورسانس کلروفیل شامل F_0 (کمترین فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (بیشترین فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (میزان تغییر فلورسانس یا فلورسانس متغیر در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v/F_m (بیشترین کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) هستند (Maxwell and Johnson, 2000). مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم‌بودن غشای تیلاکوئید و کارآمدی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. بخش عمده‌ای از انرژی نورانی خورشید

که با برگ دریافت می‌شود، صرف فرایندهای بیوشیمیایی می‌شود؛ ولی ممکن است بخش کوچکی از نور دریافت شده به صورت گرما آزاد شود یا دوباره از مراکز واکنش در طول موج بلندتری بازتاب شود که به آن فلورسانس کلروفیل می‌گویند (Soltani, 2005). اگر بیشتر انرژی مولکول برانگیخته به صورت انرژی گرمایی یا فلورسانس از دست برود، انرژی برای واکنش‌های فتوشیمیایی کمتر می‌شود؛ در نتیجه تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی NADPH و ATP در واکنش‌های نوری فتوسنتز یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش می‌یابد (Eshghizadeh and Ehsanzadeh, 2009). در حال حاضر، فلورسانس کلروفیل، معیار سنجشی برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی از جمله تنش آب بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان مقاومت به خشکی آنها پیشنهاد شده است (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010). تنش خشکی کاهش فلورسانس متغیر (F_v) و عملکرد کوانتوم (F_v/F_m) را موجب می‌شود (Paknejad *et al.*, 2007). وقتی شدت نور، کافی باشد، فلورسانس از مقدار F_0 به بیشترین مقدار خود یعنی F_m افزایش می‌یابد (Shir-Mard Kermanshahi, 2003). اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل ارزیابی مناسبی از عملکرد کوانتومی و جریان الکترون در فتوسیستم دو نشان می‌دهد (Reddy *et al.*, 2004). کاهش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ در گیاهان در شرایط تنش، فتوسنتز و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Liang *et al.*, 2002).

در سال‌های گذشته به محلول‌پاشی عناصر لازم برای گیاه به شکل نانوذرات به دلیل سهولت جذب، کارایی بیشتر در مقایسه با کودهای شیمیایی، سازگاری با محیط‌زیست و افزایش‌ندادن شوری خاک در بهبود کیفیت خاک بیشتر توجه شده است (Mazaherinia et al., 2010). Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند آبیاری تکمیلی و کاربرد نانو اکسید آهن در نخود تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد.

باتوجه به گستردگی مناطق زیر کشت گندم دیم، مواجه شدن بخشی از دوران رشد این گیاه با محدودیت آبی، کمبود عناصر ریزمغذی آهن در بیشتر خاک‌ها، تعدیل بخشی از آثار خشکی با محلول‌پاشی نانوذرات آهن و بررسی‌های محدود انجام شده درباره برهم‌کنش هم‌زمان دو عامل آبیاری تکمیلی و ریزمغذی آهن، در بررسی حاضر تأثیر آنها بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام شد. محل انجام آزمایش، اقلیم نیمه‌خشک و سرد دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض

Siddique و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند در شرایط محدودیت آبی، RWC برگ‌ها به علت کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها کاهش یافت.

محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک است. کاهش آن در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل تخریب کلروفیل بر اثر رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در این شرایط باشد (Brevedan and Egli, 2003).

در شرایط تنش رطوبتی یکی از نخستین بخش‌های گیاه که آسیب می‌بیند غشای پلاسمایی است (Liang et al., 2003). Mohammadxani و Heidari (۲۰۰۷) گزارش کردند تنش خشکی به دلیل افزایش نشت الکترولیت و کاهش شاخص کلروفیل کاهش عملکرد دانه را موجب می‌شود.

با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک آهن در خاک کاهش می‌یابد و باتوجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به طور فزاینده‌ای با کمبود این عنصر مواجه می‌شود (Jalil Shesh Bahre and Movahedi Dehnavi, 2012). اگر چه آهن به مقدار کم برای گیاه نیاز است، برای بسیاری از ترکیبات مهم و فرایندهای فیزیولوژیک مانند ساخت کلروفیل و فعالیت برخی آنزیم‌ها، توسعه کلروپلاست، دریافت انرژی نورانی و انتقال الکترون از آب به $NADP^+$ لازم است (Hochmuth, 2011). در پژوهشی محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش خشکی، عملکرد آفتابگردان را به دلیل بهبود بازده فتوشیمیایی و شاخص کلروفیل افزایش داد (Babaeian et al., 2008).

جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی است. نوع خاک محل آزمایش لومی - رسی، pH خاک حدود ۷/۷ و عمق آن حدود ۷۰ سانتی‌متر است. ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

شن	سیلت	رس	pH	فسفر جذب‌شدنی	پتاسیم	هدایت	آهک	کربن	نیترژن
(%)	(%)	(%)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	الکتریکی	(%)	آلی	(%)
						(دسی‌زیمنس بر متر)			
۳۱	۳۰	۳۹	۷/۷۶	۱۲/۲	۴۹۵	۱/۵۴	۵	۰/۸۵۸	۰/۰۸

پس از ۱۵ دقیقه تاریکی با کلیس‌های ویژه دستگاه اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت Opti Sciences، آمریکا) شاخص‌های F_0 ، F_m و F_v اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough et al., 2016). شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن)، پس از ظهور برگ پرچم در فواصل زمانی چهار روز یک‌بار تا مرحله رسیدگی اندازه‌گیری شد.

شاخص نیترژن با دستگاه SPAD (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) و با رابطه ۱ تعیین شد.

رابطه ۱

$$\text{شاخص نیترژن} = \frac{\text{خواندن کرت مدنظر}}{\text{خواندن کرت شاهد}}$$

میزان نیترژن همان برگ‌هایی که محتوای کلروفیل‌شان اندازه‌گیری شده بود براساس رابطه ۲ محاسبه شد (Scharf et al., 2006).

رابطه ۲

$$\text{SPAD} = 0.0173322 + 0.0016322 \times N$$

عامل اول، آبیاری به سه شکل آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی یا چکمه‌دهی، خوشه‌دهی و بدون آبیاری یا کشت دیم و فاکتور دوم، کاربرد نانوآکسید آهن در چهار غلظت بدون کاربرد نانوآکسید آهن (شاهد) و محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. در بررسی حاضر از گندم رقم رصد (طبقه بذر پرورشی ۲) تهیه‌شده از ایستگاه تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل استفاده شد.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (کمترین فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (بیشترین فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v (فلورسانس متغیر در برگ سازگار شده با تاریکی) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه از ۱۹۸ روز پس از کاشت، هر چهار روز یک‌بار از هر تیمار به‌طور تصادفی ۶ برگ پرچم توسعه‌یافته در فاصله زمانی ۸ تا ۱۰ صبح انتخاب و

شاخص کلروفیل نوسان کمتری نشان داد؛ به طوری که در همه تیمارهای آزمایش شده بیشترین شاخص کلروفیل برگ پرچم (۵۱/۹۳) در محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه دهی و کمترین آن در شرایط دیم و بدون محلول پاشی به دست آمد (جدول ۲). کاهش شاخص کلروفیل بر اثر تنش خشکی ممکن است به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول باشد که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها را موجب می‌شوند (Schutz and Orabi.Fangmier, 2001) و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی به افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد مانند آبسزیک اسید و اتیلن منجر می‌شود که تحریک کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل‌ها بر اثر این آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند. EL- Tayeb (۲۰۰۵) کاهش کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آنها با اکسیژن منفرد، تخریب پیش‌ماده‌های سنتز کلروفیل، ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز نسبت دادند. Tambussi و همکاران (۲۰۰۰) کاهش غلظت کلروفیل را در شرایط تنش به فعالیت بیشتر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی نسبت دادند. علاوه بر این، تنش خشکی به دلیل ایجاد اختلال در جذب برخی عناصر ضروری مانند آهن که برای سنتز کلروفیل و سایر رنگدانه‌های آن ضروری هستند، کاهش محتوای کلروفیل را موجب می‌شود (Hadi et al., 2017). در پژوهش حاضر، با محلول پاشی آهن آثار سوء تنش کاهش

برای اندازه‌گیری درصد محتوای آب نسبی برگ پرچم (RWC)، بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ روز از هر کرت، چهار برگ پرچم توسعه یافته به طور تصادفی انتخاب شدند و پس از قراردادن در فویل‌های آلومینیومی داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل شدند؛ سپس با رابطه پیشنهادی Kostopoulou و همکاران (۲۰۱۰) مقدار RWC محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای آب نسبی، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند و سپس میزان هدایت الکتریکی با دستگاه EC متر (مدل Pet 103، شرکت Atron، ایران) اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع ارزیابی شد.

تحلیل آماری: برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل: نتایج بررسی روند تغییرات محتوای کلروفیل برگ پرچم در شرایط محدودیت آبی (جدول ۲) نشان می‌دهند این تغییرات در همه تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشتند؛ به طوری که محتوای کلروفیل در مراحل ابتدایی نمونه برداری زیاد بود؛ ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت؛ البته بر اثر محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی، روند تغییرات

برگ پرچم بیشتر بود. Barzali و همکاران (۲۰۱۶) با انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی مشاهده کردند شاخص کلروفیل برگ نخود نسبت به شرایط دیم افزایش یافت.

یافت و بیشترین مقدار کلروفیل با مقادیر زیاد آهن به دست آمد (جدول ۲). بررسی Felehkari و همکاران (۲۰۱۴) در گندم دیم نشان داد در آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم، شاخص کلروفیل

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شاخص کلروفیل (SPAD) برگ پرچم

ترکیب تیماری							مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)							
							۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴	
I ₁ ×Fe ₀							۲۲/۱۳ ^g	۲۶/۱۳ ^h	۳۶/۹۶ ⁱ	۴۴/۲۰ ^f	۴۵/۲۶ ^f	۴۵/۰۶ ^g	۴۳/۷۳ ^h	
I ₂ ×Fe ₀							۴۴/۵۶ ^c	۴۴/۷۶ ^{de}	۴۷/۵۰ ^{cde}	۵۱/۰۶ ^{cd}	۵۰/۳۳ ^c	۵۰ ^c	۴۸/۵۰ ^{cd}	
I ₃ ×Fe ₀							۳۹/۳۶ ^e	۴۲/۰۰ ^{ef}	۴۵/۶۰ ^f	۴۶/۹۰ ^e	۴۷/۴۰ ^{de}	۴۷/۴۳ ^{ef}	۴۵/۹۰ ^{fg}	
I ₁ ×Fe ₁							۳۴/۹۳ ^f	۳۸/۷۰ ^h	۴۱/۷۶ ^h	۴۵/۲۰ ^f	۴۵/۸۶ ^f	۴۶/۲۶ ^{fg}	۴۵/۲۶ ^g	
I ₂ ×Fe ₁							۴۶/۷۰ ^b	۴۷/۹۶ ^{bc}	۴۸/۶۰ ^{bc}	۵۲/۳۰ ^{bc}	۵۱/۲۳ ^c	۵۰/۴۰ ^c	۴۹/۳۶ ^c	
I ₃ ×Fe ₁							۴۱/۳۳ ^d	۴۵/۰۳ ^d	۴۶/۴۳ ^{ef}	۴۷/۸۰ ^e	۴۸ ^{cd}	۴۸/۲۶ ^{de}	۴۶/۳۰ ^f	
I ₁ ×Fe ₂							۳۶/۳۶ ^f	۴۰/۱۳ ^{gh}	۴۳/۶۶ ^g	۴۶/۷۰ ^e	۶۴/۶۳ ^{ef}	۴۶/۷۶ ^f	۴۶/۳۰ ^f	
I ₂ ×Fe ₂							۴۸/۱۰ ^b	۴۸/۸۰ ^b	۴۹/۱۰ ^b	۵۲/۴۰ ^{bc}	۵۳/۰۳ ^b	۵۲/۰۶ ^b	۵۰/۳۰ ^b	
I ₃ ×Fe ₂							۴۱/۵۶ ^d	۴۶/۴۰ ^{cd}	۴۶/۶۰ ^{def}	۵۰ ^d	۴۸/۷۶ ^d	۴۸/۴۳ ^{de}	۴۷/۲۳ ^e	
I ₁ ×Fe ₃							۳۸/۱۶ ^e	۴۲/۹۰ ^{ef}	۴۴/۲۶ ^g	۴۷/۹۶ ^e	۴۷/۶۰ ^{de}	۴۷/۲۳ ^{ef}	۴۷/۲۳ ^e	
I ₂ ×Fe ₃							۵۱/۹۳ ^a	۵۳/۰۳ ^a	۵۳/۵۰ ^a	۵۴/۹۰ ^a	۵۷/۵۳ ^a	۵۳/۴۰ ^a	۵۱/۳۶ ^a	
I ₃ ×Fe ₃							۴۲/۴۶ ^d	۴۷/۱۳ ^{bc}	۴۷/۸۰ ^{cd}	۵۳/۱۳ ^b	۵۰/۹۳ ^c	۴۹/۱۶ ^{cd}	۴۷/۸۶ ^{de}	
LSD							۱/۶۹	۱/۹۹	۱/۲۴	۱/۳۷	۱/۴۹	۱/۳۳	۰/۸۹	

I₁, I₂ و I₃ به ترتیب نشان‌دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله خوشه‌دهی هستند. Fe₀, Fe₁, Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن نانوآکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

آبی با خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II، افزایش F₀ را موجب می‌شود؛ به طوری که ۲۱۸ روز پس از کاشت بیشترین فلورسانس حداقل (۴۵۲) در شرایط دیم و بدون محلول‌پاشی و کمترین آن (۲۵۴/۶۶) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی به دست آمد (جدول ۳). از آنجا که تیمار محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی نسبت به سایر تیمارها محتوای آب نسبی بیشتری داشت (جدول ۶)، به نظر می‌رسد

فلورسانس حداقل (F₀): بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F₀) در پاسخ به آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن در مدت فصل رشد نشان داد فلورسانس حداقل (F₀) همواره در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، کمتر از شرایط دیم بود که ممکن است علت آن افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۲) به دلیل محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن باشد که موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است (جدول ۳). Araus و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند خسارت محدودیت

و Mohammadi.Ramachandran, 2000) همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند آبیاری تکمیلی و محلول پاشی نانو اکسید آهن با جلوگیری از افزایش فلورسانس حداقل (F_0) تحمل ارقام نخود را به تنش خشکی افزایش داد. Maxwell و Johnson (۲۰۰۰) بیان کردند محدودیت آبی با خسارت به مرکز واکنش فتوسنتز II افزایش F_0 را سبب می شود.

این ترکیب تیماری به طور مناسب تری از رطوبت خاک استفاده می کند. شاید اهمیت رطوبت نسبی به این دلیل است که بین این ویژگی ها و تعداد زیادی از ویژگی های فیزیولوژیک گیاه از جمله سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه ای ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ در نتیجه شرایط فتوسنتزی بهتری دارد و از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل جلوگیری می کند (Prakash and

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شاخص فلورسانس حداقل (F_0) برگ پرچم

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)						ترکیب تیماری
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	
۴۵۲ ^a	۴۲۹ ^a	۴۰۹/۶۶ ^a	۳۹۲ ^a	۳۷۱ ^a	۳۵۵/۶۶ ^a	$I_1 \times Fe_0$
۳۵۴/۶۶ ^d	۳۳۲/۶۶ ^e	۳۰۸/۶۶ ^d	۲۷۶/۳۳ ^e	۲۶۳/۳۳ ^e	۲۵۶/۳۳ ^d	$I_2 \times Fe_0$
۳۶۷/۶۶ ^c	۳۴۳ ^d	۳۲۴/۳۳ ^c	۳۱۲ ^c	۲۹۸ ^c	۲۸۷/۳۳ ^c	$I_3 \times Fe_0$
۴۱۷/۳۳ ^b	۳۸۵/۶۶ ^b	۳۵۷/۳۳ ^b	۳۳۴/۳۳ ^b	۳۲۱ ^b	۳۰۶/۶۶ ^b	$I_1 \times Fe_1$
۳۲۹ ^e	۲۹۱/۳۳ ^g	۲۶۸/۶۶ ^g	۲۵۸ ^f	۲۲۹ ^g	۲۱۰ ^g	$I_2 \times Fe_1$
۳۴۹/۶۶ ^d	۳۳۲/۶۶ ^e	۳۰۸/۶۶ ^d	۲۹۵/۶۶ ^d	۲۷۱ ^d	۲۶۲/۳۳ ^d	$I_3 \times Fe_1$
۳۶۸/۳۳ ^c	۳۴۹/۶۶ ^c	۳۲۰/۳۳ ^c	۲۹۵ ^d	۲۶۹/۳۳ ^d	۲۵۷/۳۳ ^d	$I_1 \times Fe_2$
۲۸۵/۳۳ ^g	۲۷۱ ⁱ	۲۵۲/۶۶ ⁱ	۲۲۷/۶۶ ⁱ	۲۱۹/۶۶ ⁱ	۱۹۷/۶۶ ^h	$I_2 \times Fe_2$
۳۲۵/۳۳ ^e	۳۰۴ ^f	۲۷۹/۶۶ ^f	۲۴۵/۳۳ ^g	۲۲۸/۳۳ ^{gh}	۲۲۱ ^f	$I_3 \times Fe_2$
۳۴۸/۶۶ ^d	۳۲۷/۳۳ ^e	۲۹۵ ^e	۲۷۵/۶۶ ^e	۲۵۸ ^f	۲۴۲/۳۳ ^e	$I_1 \times Fe_3$
۲۵۴/۶۶ ^h	۲۳۰/۶۶ ^l	۲۱۳ ^j	۱۹۶/۶۶ ^l	۱۹۲/۳۳ ^j	۱۸۲/۶۶ ⁱ	$I_2 \times Fe_3$
۳۰۷ ^f	۲۸۱ ^h	۲۶۱ ^h	۲۳۷/۳۳ ^h	۲۲۴/۳۳ ^h	۲۱۴/۶۶ ^{fg}	$I_3 \times Fe_3$
۹/۱۷	۵/۵۱	۶/۷۵	۴/۱۹	۴/۱۳	۷/۱۱	LSD

I_1 و I_2 و I_3 به ترتیب نشان دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی هستند. Fe_0 ، Fe_1 ، Fe_2 و Fe_3 به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان کننده تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD هستند.

تخریب فتوشیمیایی نسبت به شرایط آبیاری در مرحله چکمه دهی به طور چشمگیری کاهش می یابد (جدول ۴). نتایج نشان دادند ۲۱۸ روز پس از کاشت، بیشترین میزان فلورسانس بیشینه (F_m) (۸۵۷/۳۳) مربوط به محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه دهی و

فلورسانس بیشینه (F_m): کارایی کاهش فلورسانس نه به صورت شیمیایی نیز به عوامل بیرونی و درونی زیادی بستگی دارد و در تغییر F_m با فلورسانس بیشینه بازتاب می شود (Maxwell and Johnson, 2000). نتایج اندازه گیری فلورسانس بیشینه (F_m) نشان می دهند در شرایط دیم، فلورسانس بیشینه و

Taghipour و همکاران (۲۰۱۴) نتایج مشابهی گزارش کردند مبنی بر اینکه فلورسانس بیشینه (F_m) با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن را بر فلورسانس بیشینه (F_m) در نخود معنی‌دار گزارش کردند. Dadkhah و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند در شرایط آبیاری، F_m در نخود بیشتر از شرایط دیم بود.

کمترین میزان آن (۵۱۲/۶۷) مربوط به شرایط دیم بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد محتوای آب نسبی بیشتر در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن (جدول ۶) استفاده بهتر از رطوبت و جریان بهتر الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نسبت به سایر تیمارها سبب شده است (Prakash and Ramachandran, 2000).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شاخص بیشینه فلورسانس (F_m) برگ پرچم

مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت)						ترکیب تیماری
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	
۵۱۲/۶۷ ^h	۵۴۱/۳۳ ^h	۶۸۳/۶۷ ^f	۷۳۸/۶۷ ^h	۸۳۵ ^g	۹۹۳/۶۷ ^h	$I_1 \times Fe_0$
۷۱۸/۳۳ ^{cd}	۸۵۹/۳۳ ^d	۹۱۹/۶۷ ^c	۱۰۵۱ ^{de}	۱۱۲۹/۳۳ ^{de}	۱۳۳۸/۳۳ ^d	$I_2 \times Fe_0$
۷۵۷ ^{cb}	۷۳۰/۶۷ ^f	۷۷۷/۳۳ ^e	۸۴۸/۶۷ ^{fg}	۹۸۲ ^f	۱۱۵۷ ^g	$I_3 \times Fe_0$
۵۳۴ ^g	۶۲۶/۶۷ ^g	۷۸۱ ^e	۸۲۲/۶۷ ^g	۸۶۳/۶۷ ^g	۱۱۴۹ ^g	$I_1 \times Fe_1$
۷۵۷ ^{bc}	۹۰۹/۳۳ ^c	۹۵۸/۳۳ ^{bc}	۱۱۲۹ ^{bc}	۱۲۲۸ ^c	۱۴۴۱ ^c	$I_2 \times Fe_1$
۶۴۹ ^e	۷۸۷/۳۳ ^e	۸۳۳ ^{de}	۹۱۴/۶۷ ^f	۱۰۹۴/۶۷ ^e	۱۲۸۸ ^e	$I_3 \times Fe_1$
۵۵۶ ^g	۶۵۹ ^g	۸۴۰/۶۷ ^d	۸۸۲/۶۷ ^{fg}	۹۴۸ ^f	۱۲۴۱/۳۳ ^f	$I_1 \times Fe_2$
۷۸۶/۳۳ ^b	۹۵۵ ^{ab}	۹۸۷/۶۷ ^b	۱۱۸۷/۳۳ ^{ab}	۱۲۹۰/۶۷ ^b	۱۵۷۰/۳۳ ^b	$I_2 \times Fe_2$
۶۸۰ ^{de}	۸۵۵/۳۳ ^d	۹۸۸ ^b	۱۰۸۵/۳۳ ^{cd}	۱۱۲۱ ^{de}	۱۳۵۱/۳۳ ^d	$I_3 \times Fe_2$
۶۵۷/۶۷ ^e	۷۴۲ ^f	۹۵۵/۳۳ ^{bc}	۱۰۰۶/۳۳ ^e	۱۱۵۱/۶۷ ^d	۱۳۲۵/۳۳ ^{ed}	$I_1 \times Fe_3$
۸۵۷/۳۳ ^a	۹۹۴ ^a	۱۰۵۴/۳۳ ^a	۱۲۴۸ ^a	۱۳۷۹/۶۷ ^a	۱۶۷۴/۶۷ ^a	$I_2 \times Fe_3$
۷۲۵/۶۷ ^c	۹۱۹/۳۳ ^{bc}	۹۹۵ ^b	۱۱۵۸ ^{bc}	۱۲۶۵ ^{bc}	۱۴۳۷/۳۳ ^c	$I_3 \times Fe_3$
۴۱/۴۸	۴۳/۵۳	۵۹/۲۰	۷۳/۱۶	۳۷/۷۳	۴۵/۵۹	LSD

I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب نشان‌دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله خوشه‌دهی هستند. Fe_0 ، Fe_1 ، Fe_2 و Fe_3 به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن نانواکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۵). اصولاً هنگامی که پذیرنده الکترون (کوئینون) در حالت احیا باشد مقدار فلورسانس کلروفیل زیاد است و به این علت مقدار F_v نیز در این حالت زیاد می‌شود؛ ولی زمانی که کوئینون در حالت اکسید است مقدار

فلورسانس متغیر (F_v): نتایج نشان دادند بیشترین مقدار فلورسانس متغیر (F_v) (۶۰۲/۶۷) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی و کمترین مقدار آن (۱۶۰/۶۷) در در شرایط دیم و بدون

است (Ommen and Donnelly, 1999; Soheili Movahhed.Paknejad *et al.*, 2007) همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند در شرایط تنش خشکی مقدار فلورسانس متغیر (F_v) در نخود کاهش یافت. Dadkhah و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند با آبیاری نخود، میزان فلورسانس متغیر (F_v) نسبت به شرایط تنش رطوبتی افزایش یافت.

فلورسانس کلروفیل a کم می شود؛ در نتیجه، میزان F_v کاهش می یابد (Paknejad *et al.*, 2007). تنش های محیطی، مقدار فلورسانس متغیر (F_v) را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می دهد. از آنجا که فلورسانس متغیر (F_v) نشان دهنده احیای کامل پذیرنده الکترون (QA) است؛ بنابراین نتیجه گیری می شود تنش خشکی در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد کرده

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شاخص فلورسانس متغیر (F_v) برگ پرچم

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)						ترکیب تیماری
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	
۱۶۰/۶۷ ^h	۱۱۲/۳۳ ⁱ	۲۷۴ ^g	۳۴۶/۶۷ ⁱ	۴۶۴ ^h	۶۳۸ ^h	$I_1 \times Fe_0$
۳۶۳/۶۷ ^d	۵۲۶/۶۷ ^d	۶۱۱ ^d	۷۳۶/۶۷ ^e	۸۶۶ ^d	۱۰۸۲ ^e	$I_2 \times Fe_0$
۲۹۹/۳۳ ^f	۳۸۷/۶۷ ^f	۴۵۳ ^f	۵۳۶/۶۷ ^{gh}	۶۸۴ ^f	۸۶۹/۶۷ ^g	$I_3 \times Fe_0$
۱۱۶/۶۷ ^h	۲۴۱ ^h	۴۲۳/۶۷ ^f	۴۸۸/۳۳ ^h	۵۴۲/۶۷ ^g	۸۴۲/۳۳ ^g	$I_1 \times Fe_1$
۴۲۸ ^c	۶۱۸ ^c	۶۸۹/۶۷ ^{bc}	۸۷۱/۰. ^{cd}	۹۹۹ ^c	۱۲۳۱ ^c	$I_2 \times Fe_1$
۲۹۹/۳۳ ^e	۴۵۴/۶۷ ^e	۵۲۴/۳۳ ^e	۶۱۹/۰. ^f	۸۲۳/۶۷ ^e	۱۰۲۵/۶۷ ^f	$I_3 \times Fe_1$
۱۸۷/۶۷ ^g	۳۰۹/۳۳ ^g	۵۲۰/۳۳ ^e	۵۸۷/۶۷ ^{fg}	۶۷۸/۶۷ ^f	۹۸۴ ^f	$I_1 \times Fe_2$
۵۰۱ ^b	۶۸۴ ^b	۷۳۵ ^b	۹۵۹/۶۷ ^b	۱۰۷۱ ^b	۱۳۷۲/۶۷ ^b	$I_2 \times Fe_2$
۳۵۴/۶۷ ^d	۵۵۱/۳۳ ^d	۷۰۸/۳۳ ^{bc}	۸۴۰ ^d	۸۹۲/۶۷ ^d	۱۱۳۰/۳۳ ^d	$I_3 \times Fe_2$
۳۰۶ ^e	۴۱۴/۶۷ ^{ef}	۶۶۰/۳۳ ^{cd}	۷۳۰/۶۷ ^e	۸۹۳/۶۷ ^d	۱۰۸۳ ^e	$I_1 \times Fe_3$
۶۰۲/۶۷ ^a	۷۶۳/۳۳ ^a	۸۴۱/۳۳ ^a	۱۰۵۱/۳۳ ^a	۱۱۸۷/۳۳ ^a	۱۴۹۲ ^a	$I_2 \times Fe_3$
۴۱۸/۶۷ ^c	۶۳۸/۳۳ ^c	۷۳۴ ^b	۹۲۰/۶۷ ^{bc}	۱۰۴۰/۶۷ ^b	۱۲۲۲/۶۷ ^c	$I_3 \times Fe_3$
۴۴/۱۷	۴۳/۳۶	۶۰/۶۶	۷۳/۰۴	۳۶/۵۴	۴۶/۷۷	LSD

I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب نشان دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی هستند. Fe_0 ، Fe_1 ، Fe_2 و Fe_3 به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان کننده تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD هستند.

از کاشت، به ترتیب در آبیاری در مرحله چکمه دهی با محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و در شرایط دیم بدون محلول پاشی به دست آمدند (جدول ۶). پژوهشگران بیان کردند در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش جذب آب و افزایش میزان

محتوای آب نسبی برگ (RWC): کاهش محتوای آب نسبی برگ پرچم در شرایط دیم نسبت به آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی بسیار بارزتر بود. بیشترین و کمترین مقدار محتوای آب نسبی برگ پرچم، ۲۱۸ روز پس

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در محتوای آب نسبی (RWC) برگ پرچم گندم

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)					ترکیب تیماری
۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	
۱۹/۳۷ ^h	۳۸/۵۸ ^g	۴۶/۶۱ ^f	۴۷/۶۰ ^h	۵۰/۲۹ ^j	I ₁ ×Fe ₀
۵۸/۰۰ ^c	۵۸/۵۴ ^c	۶۱/۳۵ ^c	۶۲/۶۵ ^d	۷۳/۷۹ ^{de}	I ₂ ×Fe ₀
۲۴/۴۳ ^g	۵۱/۱۶ ^e	۵۴/۳۷ ^{de}	۵۵/۹۶ ^{ef}	۶۷/۰۴ ⁱ	I ₃ ×Fe ₀
۲۲/۵۵ ^{gh}	۴۴/۹۲ ^f	۴۹/۰۸ ^f	۵۰/۰۶ ^{gh}	۶۲/۲۳ ⁱ	I ₁ ×Fe ₁
۶۱/۵۳ ^{bc}	۶۱/۳۷ ^{bc}	۶۲/۸۵ ^{bc}	۶۴/۷۹ ^{cd}	۷۶/۴۳ ^c	I ₂ ×Fe ₁
۳۰/۲۰ ^f	۵۳/۳۱ ^d	۵۶/۵۳ ^d	۵۸/۵۰ ^e	۷۰/۹۰ ^f	I ₃ ×Fe ₁
۲۳/۳۸ ^g	۴۷/۰۸ ^{ef}	۵۲/۴۶ ^e	۵۲/۸۸ ^{fg}	۶۵/۸۶ ^h	I ₁ ×Fe ₂
۶۳/۶۷ ^{ab}	۶۴/۸۲ ^b	۶۵/۲۲ ^b	۶۸/۸۶ ^b	۸۲/۷۳ ^b	I ₂ ×Fe ₂
۴۹/۶۵ ^e	۵۸/۲۳ ^c	۶۱/۱۴ ^c	۶۱/۸۱ ^d	۷۳/۱۶ ^e	I ₃ ×Fe ₂
۲۵/۳۵ ^g	۵۱/۷۸ ^d	۵۳/۹۶ ^{de}	۵۴/۹۸ ^f	۶۷/۸۷ ^g	I ₁ ×Fe ₃
۶۶/۶۷ ^a	۶۹/۲۳ ^a	۶۸/۷۰ ^a	۷۳/۷۷ ^a	۹۴/۸۶ ^a	I ₂ ×Fe ₃
۵۴/۱۲ ^d	۶۱/۵۷ ^{bc}	۶۳/۴۶ ^{bc}	۶۵/۸۲ ^{bc}	۷۵/۵۴ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₃
۳/۵۸	۴/۳۶	۲/۹۶	۳/۰۹	۱/۹۱	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب نشان‌دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله خوشه‌دهی هستند. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

هدایت الکتریکی در پاسخ به خشکی در مدت فصل رشد نشان داد هدایت الکتریکی برگ پرچم بر اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی نسبت به شاهد در بیشتر مراحل کاهش یافت؛ به طوری که ۲۳۰ روز پس از کاشت، بیشترین هدایت الکتریکی (۲۷۱/۹۰) مربوط به شرایط دیم بدون تیمار محلول‌پاشی و کمترین آن (۹۸/۸۹) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله چکمه‌دهی بود (جدول ۷). دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، ممکن است از آسیب وارد شده به غشای سلولی و کاهش مقاومت یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو ناشی شود. گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسیون لیپیدهای

تبخیر و تعرق از سطح جامعه گیاهی، محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد (Munns, 2002) و ارقامی که در شرایط تنش، محتوای آب نسبی بیشتری داشته باشند، به دلیل داشتن سرعت فتوسنتز بیشتر، عملکرد دانه بیشتری داشتند. Babaei و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند تنش، کاهش محتوای آب نسبی را موجب شد و محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن و روی، تعدیل بخشی از کاهش محتوای آب نسبی در شرایط تنش و افزایش عملکرد دانه را موجب شد. Felehkari و همکاران (۲۰۱۴) بیشترین محتوای آب نسبی برگ گندم را در آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی گزارش کردند. هدایت الکتریکی (EC): بررسی روند تغییرات

تعدیل رادیکال های آزاد و آثار تخریبی آنها در سیستم های غشایی دارند؛ از این رو به نظر می رسد محلول پاشی آهن با افزایش تولید آنزیم های حذف کننده رادیکال های آزاد، تحمل گیاه را به تنش رطوبتی افزایش می دهد؛ در نتیجه گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه می شود و درصد نشت آن کاهش می یابد.

غشا، تغییر در نفوذ پذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول را سبب می شوند؛ در نتیجه، غشای سلولی پاره می شود و نشت یونی به بیرون از سلول افزایش می یابد (Mohammadkhani and Zago Heidari, 2007) Oteiza و (۲۰۰۱) بیان کردند عناصر روی و آهن با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی گیاهان نقش مهمی در

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم گندم

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)										ترکیب
۲۳۰	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴	تیماری
۲۷۱/۹ ^a	۲۷۲/۲۷ ^a	۲۴۴/۷۴ ^a	۲۳۴/۶۳ ^a	۱۹۸/۰۷ ^a	۱۹۶/۱۸ ^a	۱۸۷/۵۷ ^a	۱۸۹/۹۷ ^a	۱۷۰/۹۷ ^a	۱۷۳/۲۰ ^a	I ₁ ×Fe ₀
۱۵۲/۶۴ ^{de}	۱۳۹/۵۴ ^e	۱۳۳/۸۳ ^e	۱۱۵/۶۸ ^e	۹۹/۱۵ ^{fg}	۹۴/۵۲ ^e	۹۱/۴۸ ^{def}	۷۷/۰۱ ^{fg}	۷۹/۳۷ ^f	۶۹/۷۰ ^e	I ₂ ×Fe ₀
۱۸۶/۶۴ ^b	۱۸۳/۲۴ ^c	۱۷۲/۹۰ ^c	۱۴۹/۸۴ ^c	۱۵۰/۷۶ ^c	۱۲۸/۷۳ ^c	۱۲۳/۸۹ ^c	۱۰۸/۳۸ ^{cd}	۱۰۸/۷۴ ^d	۸۴/۴۳ ^d	I ₃ ×Fe ₀
۲۴۵/۴۲ ^b	۲۳۱/۴۷ ^b	۱۸۵/۱۹ ^b	۱۷۰/۳۱ ^b	۱۶۶/۵۶ ^b	۱۵۲/۴۰ ^b	۱۴۴/۴۹ ^b	۱۳۹/۱۴ ^b	۱۳۰/۷۷ ^b	۱۱۷/۳۵ ^b	I ₁ ×Fe ₁
۱۲۱/۶۱ ^g	۱۱۱/۷۴ ^g	۱۰۳/۹۶ ^h	۹۷/۵۳ ^f	۷۷/۳۷ ^{hi}	۷۳/۰۶ ^g	۶۶/۹۳ ^{gh}	۶۶/۴۲ ^{gh}	۶۰/۶۴ ^h	۵۸/۶۷ ^f	I ₂ ×Fe ₁
۱۴۶/۱۳ ^e	۱۴۲/۰۴ ^e	۱۳۰/۰۶ ^{ef}	۱۲۳/۵۵ ^{de}	۱۱۹/۸۶ ^e	۱۰۳/۶۳ ^{de}	۱۰۰/۶۵ ^{de}	۱۰۸/۳۸ ^{cd}	۹۲/۷۹ ^e	۸۴/۴۳ ^d	I ₃ ×Fe ₁
۱۶۶/۱۲ ^c	۱۵۸/۱۶ ^d	۱۵۱/۰۹ ^d	۱۳۶/۶۸ ^{cd}	۱۳۵/۷۲ ^d	۱۲۸/۴۶ ^c	۱۲۵/۴۸ ^c	۱۲۰/۵۲ ^c	۱۱۹/۶۳ ^c	۱۰۰/۵۷ ^c	I ₁ ×Fe ₂
۱۰۹/۱۱ ^h	۹۷/۸۴ ^h	۹۱/۹۲ ⁱ	۷۵/۵۶ ^g	۶۴/۹۵ ^{ij}	۶۳/۲۹ ^g	۵۵/۶۱ ^{hi}	۵۴/۸۱ ^{hi}	۴۷/۸۴ ⁱ	۵۱/۷۶ ^f	I ₂ ×Fe ₂
۱۳۶/۴۰ ^f	۱۲۸/۴۴ ^f	۱۱۸/۲۰ ^g	۱۱۴/۷۰ ^e	۱۰۶/۲۲ ^{ef}	۹۵/۹۱ ^{ef}	۸۶/۷۶ ^{ef}	۹۵/۰۳ ^{de}	۷۹/۹۱ ^f	۸۱/۰۲ ^d	I ₃ ×Fe ₂
۱۵۳/۳۱ ^d	۱۲۷/۲۳ ^f	۱۲۲/۰۹ ^{fg}	۱۱۷/۸۵ ^e	۱۱۵/۵۲ ^e	۱۱۴/۰۹ ^{cd}	۱۱۰/۰۲ ^{cd}	۱۰۷/۲۰ ^{cd}	۱۰۳/۴۹ ^d	۷۸/۶۲ ^d	I ₁ ×Fe ₃
۹۸/۸۹ ⁱ	۷۴/۴۶ ⁱ	۵۴/۵۰ ^j	۵۰/۶۲ ^h	۵۳/۴۵ ^g	۴۶/۶۵ ^h	۴۰/۴۶ ⁱ	۴۴/۲۱ ⁱ	۳۷/۴۲ ^j	۳۱/۱۹ ^g	I ₂ ×Fe ₃
۱۲۳/۹۰ ^g	۱۰۷/۸۱ ^g	۱۰۳/۲۱ ^h	۸۹/۷۰ ^{fg}	۸۷/۰۰ ^{gh}	۷۸/۰۹ ^{fg}	۷۵/۷۲ ^{fg}	۸۱/۹۹ ^{ef}	۶۹/۶۰ ^g	۷۱/۲۴ ^e	I ₃ ×Fe ₃
۶/۷۵	۸/۳۶	۸/۸۵	۱۵/۸۶	۱۴/۵۸	۱۵/۵۶	۱۸/۷۷	۱۴/۹۴	۷/۴۵	۹/۵۴	LSD

I₁, I₂ و I₃ به ترتیب نشان دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی هستند. Fe₀, Fe₁, Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان کننده تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD هستند.

انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، کاهش میزان کلروفیل برگ و پیر شدن برگ ها روند نزولی داشت. بر اثر محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی، روند تغییرات شاخص کلروفیل نوسان کمتری نشان داد؛ به طوری که در همه تیمارهای آزمایش شده بیشترین

درصد نیتروژن برگ: روند تغییرات محتوای نیتروژن و شاخص نیتروژن برگ پرچم در شرایط محدودیت آبی به ترتیب در جداول ۸ و ۹ نشان داده شده اند. این تغییرات در همه تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت؛ به طوری که محتوای نیتروژن در مراحل ابتدایی نمونه برداری زیاد بود و سپس تا

(۲۰۰۶) کاهش تجمع نیتروژن را در گیاهان مواجه با تنش‌های محیطی به کاهش متابولیسم نیتروژن بر اثر کاهش فعالیت آنزیم نترات ردوکتاز برگ و کاهش مصرف آب به دلیل کاهش جذب آب نسبت داده‌اند. Nematollahi و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند با افزایش تنش خشکی، درصد نیتروژن برگ آفتابگردان به طور معنی داری کاهش یافت. Keshavarz و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند آبیاری، افزایش شاخص کلروفیل و به دنبال آن افزایش درصد نیتروژن برگ ارزن را موجب شد. Mazlomi meymandi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند محلول پاشی نانو اکسید آهن، درصد نیتروژن برگ چغندر قند را افزایش داد.

محتوای نیتروژن برگ پرچم (۰/۰۴۲) در محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه دهی و کمترین آن (۰/۰۲۰) در شرایط دیم بدون محلول پاشی به دست آمد (جدول ۸). عدد همبستگی زیادی با کلروفیل و نیتروژن برگ دارد. شرایط دیم بدون محلول پاشی به کاهش میزان کلروفیل برگ منجر شد (جدول ۲). در چنین شرایطی شاخص کلروفیل عدد کمتری نشان داد که به دنبال آن محتوای نیتروژن نیز کاهش یافت (جدول ۸). Argenta و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند میزان زیاد نیتروژن گیاهانی که با تنش خشکی مواجه هستند، به دلیل تجمع سریع آمینواسیدهای آزادی است که به پروتئین تبدیل نشده‌اند. Sotiropoulos و همکاران

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در میزان نیتروژن برگ پرچم گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)										
	۲۲۹	۲۲۶	۲۲۳	۲۲۰	۲۱۷	۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴
$I_1 \times Fe_0$	۰/۰۲۰ ⁱ	۰/۰۲۰ ^h	۰/۰۲۱ ^g	۰/۰۲۵ ^j	۰/۰۵۳ ^g	۰/۰۵۹ ⁱ	۰/۰۷۷ ⁱ	۰/۰۸۹ ^f	۰/۰۹۱ ^f	۰/۰۹۰ ^g	۰/۰۸۸ ^h
$I_2 \times Fe_0$	۰/۰۲۸ ^d	۰/۰۲۹ ^{de}	۰/۰۳۷ ^d	۰/۰۷۷ ^c	۰/۰۹۰ ^c	۰/۰۹۰ ^{de}	۰/۰۹۴ ^{cde}	۰/۱۰۰ ^{cd}	۰/۰۹۹ ^c	۰/۰۹۸ ^c	۰/۰۹۶ ^{cd}
$I_3 \times Fe_0$	۰/۰۲۴ ^{fg}	۰/۰۲۴ ^g	۰/۰۲۵ ^f	۰/۰۵۸ ^{fg}	۰/۰۸۱ ^e	۰/۰۸۵ ^{fg}	۰/۰۹۱ ^f	۰/۰۹۳ ^e	۰/۰۹۴ ^{de}	۰/۰۹۴ ^{ef}	۰/۰۹۲ ^{ef}
$I_1 \times Fe_1$	۰/۰۲۲ ^h	۰/۰۲۲ ^h	۰/۰۲۲ ^g	۰/۰۴۰ ⁱ	۰/۰۷۴ ^f	۰/۰۸۰ ^h	۰/۰۸۵ ^h	۰/۰۹۱ ^f	۰/۰۹۲ ^f	۰/۰۹۲ ^{fg}	۰/۰۹۱ ^g
$I_2 \times Fe_1$	۰/۰۳۰ ^c	۰/۰۳۳ ^c	۰/۰۴۲ ^c	۰/۰۸۳ ^b	۰/۰۹۳ ^b	۰/۰۹۵ ^{bc}	۰/۰۹۶ ^{bc}	۰/۱۰۲ ^{bc}	۰/۱۰۰ ^c	۰/۰۹۹ ^c	۰/۰۹۷ ^c
$I_3 \times Fe_1$	۰/۰۲۵ ^{ef}	۰/۰۲۶ ^{fg}	۰/۰۳۱ ^e	۰/۰۶۰ ^f	۰/۰۸۴ ^d	۰/۰۹۰ ^d	۰/۰۹۳ ^{ef}	۰/۰۹۵ ^e	۰/۰۹۵ ^{de}	۰/۰۹۶ ^{de}	۰/۰۹۲ ^f
$I_1 \times Fe_2$	۰/۰۲۳ ^{gh}	۰/۰۲۵ ^g	۰/۰۲۵ ^f	۰/۰۵۰ ^h	۰/۰۷۶ ^f	۰/۰۸۲ ^{gh}	۰/۰۸۸ ^g	۰/۰۹۳ ^e	۰/۰۹۳ ^{ef}	۰/۰۹۳ ^f	۰/۰۹۲ ^f
$I_2 \times Fe_2$	۰/۰۳۲ ^b	۰/۰۳۶ ^b	۰/۰۶۴ ^b	۰/۰۸۵ ^b	۰/۰۹۵ ^b	۰/۰۹۶ ^b	۰/۰۹۷ ^b	۰/۱۰۲ ^{bc}	۰/۱۰۳ ^b	۰/۱۰۲ ^b	۰/۰۹۹ ^b
$I_3 \times Fe_2$	۰/۰۲۶ ^e	۰/۰۲۹ ^e	۰/۰۳۱ ^e	۰/۰۶۸ ^e	۰/۰۸۵ ^d	۰/۰۹۳ ^{cd}	۰/۰۹۳ ^{def}	۰/۰۹۸ ^d	۰/۰۹۶ ^d	۰/۰۹۶ ^{de}	۰/۰۹۴ ^e
$I_1 \times Fe_3$	۰/۰۲۴ ^{fg}	۰/۰۲۸ ^{ef}	۰/۰۲۹ ^e	۰/۰۵۶ ^g	۰/۰۷۹ ^e	۰/۰۸۷ ^{ef}	۰/۰۸۹ ^g	۰/۰۹۵ ^e	۰/۰۹۵ ^{de}	۰/۰۹۴ ^{ef}	۰/۰۹۴ ^e
$I_2 \times Fe_3$	۰/۰۴۲ ^a	۰/۰۵۰ ^a	۰/۰۷۴ ^a	۰/۰۹۰ ^a	۰/۱۰۲ ^a	۰/۱۰۳ ^a	۰/۱۰۴ ^a	۰/۱۰۶ ^a	۰/۱۱۱ ^a	۰/۱۰۴ ^a	۰/۱۰۱ ^a
$I_3 \times Fe_3$	۰/۰۲۸ ^d	۰/۰۳۱ ^{cd}	۰/۰۳۴ ^d	۰/۰۷۲ ^d	۰/۰۸۶ ^d	۰/۰۹۴ ^{bc}	۰/۰۹۵ ^{cd}	۰/۱۰۴ ^b	۰/۱۰۰ ^c	۰/۰۹۷ ^{cd}	۰/۰۹۵ ^{de}
LSD	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۵

I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب نشان دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی هستند. Fe_0 ، Fe_1 ، Fe_2 و Fe_3 به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان کننده تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD هستند.

جدول ۹- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شاخص نیتروژن برگ پرچم گندم

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)						ترکیب
۲۱۴	۲۱۰	۲۰۶	۲۰۲	۱۹۸	۱۹۴	تیماری
۱۴۹/۶۱ ^b	۱۱۲/۹۳ ^{bc}	۱۰۲/۲۶ ^d	۱۰۱/۳۵ ^{cd}	۱۰۲/۶۸ ^{abc}	۱۰۳/۵۴ ^{bcd}	I ₁ ×Fe ₁
۱۰۷/۱۵ ^c	۱۰۲/۳۱ ^e	۱۰۲/۴۳ ^d	۱۰۱/۷۹ ^{cd}	۱۰۰/۷۹ ^c	۱۰۱/۷۹ ^d	I ₂ ×Fe ₁
۱۰۷/۲۴ ^c	۱۰۱/۸۳ ^e	۱۰۱/۹۲ ^d	۱۰۱/۲۶ ^d	۱۰۱/۷۹ ^c	۱۰۰/۹۱ ^d	I ₃ ×Fe ₁
۱۵۴/۸۲ ^{ab}	۱۱۸/۱۵ ^{ab}	۱۰۵/۶۶ ^{bcd}	۱۰۳/۰۳ ^{cd}	۱۰۳/۸۰ ^{abc}	۱۰۵/۹۰ ^{ab}	I ₁ ×Fe ₂
۱۰۹/۰۱ ^c	۱۰۳/۳۷ ^{de}	۱۰۲/۶۲ ^{cd}	۱۰۵/۳۷ ^{bc}	۱۰۴/۱۲ ^{abc}	۱۰۳/۷۱ ^{bcd}	I ₂ ×Fe ₂
۱۱۰/۴۹ ^c	۱۰۲/۱۹ ^e	۱۰۶/۶۳ ^{bc}	۱۰۲/۸۶ ^{cd}	۱۰۲/۱۴ ^{bc}	۱۰۲/۹۵ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₂
۱۶۵/۳۲ ^a	۱۱۹/۷۷ ^a	۱۰۸/۵۳ ^{ab}	۱۰۵/۱۸ ^{bcd}	۱۰۴/۸۳ ^{abc}	۱۰۸/۰۵ ^a	I ₁ ×Fe ₃
۱۱۸/۴۶ ^c	۱۱۲/۶۲ ^c	۱۰۷/۵۲ ^{ab}	۱۱۴/۳۱ ^a	۱۰۶/۷۹ ^a	۱۰۵/۹۱ ^{ab}	I ₂ ×Fe ₃
۱۱۵/۴۷ ^c	۱۰۸/۱۸ ^{cd}	۱۱۱/۱۰ ^a	۱۰۸/۸۳ ^b	۱۰۶/۱۱ ^{ab}	۱۰۵/۶۱ ^{abc}	I ₃ ×Fe ₃
۱۵/۰۶	۵/۲۶	۴/۱۶	۴/۰۸	۴/۲۵	۲/۸۱	LSD

مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)					ترکیب
۲۲۹	۲۲۶	۲۲۳	۲۲۰	۲۱۷	تیماری
۱۶۳/۲۱ ^c	۱۴۸/۶۵ ^{de}	۱۲۳/۴۳ ^c	۳۱۴/۱۶ ^c	۱۵۸/۲۳ ^b	I ₁ ×Fe ₁
۱۱۴/۸۶ ^d	۱۲۸/۰۲ ^{de}	۱۲۶/۶۶ ^e	۱۱۰/۷۱ ^d	۱۰۴/۸۰ ^d	I ₂ ×Fe ₁
۱۱۲/۴۳ ^d	۱۱۶/۴۷ ^e	۱۷۱/۶۴ ^{de}	۱۰۴/۶۸ ^d	۱۰۵/۱۲ ^d	I ₃ ×Fe ₁
۲۰۶/۵۰ ^b	۲۴۹/۵۲ ^{bc}	۲۱۸/۹۹ ^{bcd}	۴۳۹/۸۱ ^b	۱۶۴/۸۸ ^{ab}	I ₁ ×Fe ₂
۱۳۵/۷۷ ^{cd}	۱۵۲/۴۵ ^{de}	۲۳۵/۳۹ ^b	۱۱۳/۹۹ ^d	۱۰۷/۹۴ ^{cd}	I ₂ ×Fe ₂
۱۳۱/۴۳ ^{cd}	۱۵۸/۷۸ ^d	۱۷۶/۴۳ ^{cd}	۱۲۵/۰۴ ^d	۱۰۵/۷۱ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₂
۲۴۳/۸۸ ^a	۳۲۷/۳۰ ^a	۳۱۵/۴۵ ^a	۵۱۹/۵۳ ^a	۱۷۳/۰۸ ^a	I ₁ ×Fe ₃
۲۱۸/۹۰ ^{ab}	۲۶۸/۷۴ ^b	۲۸۸/۳۲ ^a	۱۲۲/۲۵ ^d	۱۱۶/۵۰ ^c	I ₂ ×Fe ₃
۱۶۰/۴۱ ^c	۲۱۶/۸۲ ^c	۲۲۴/۹۰ ^{bc}	۱۳۰/۸۴ ^d	۱۱۰/۴۹ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₃
۳۵/۲۴	۴۲/۰۰	۴۸/۶۷	۵۸/۵۵	۱۱/۳۳	LSD

I₁, I₂ و I₃ به ترتیب نشان دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه دهی و آبیاری در مرحله خوشه دهی هستند. Fe₀, Fe₁, Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان کننده تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD هستند.

جذب سایر عناصر مانند نیتروژن را افزایش داد. **طول سنبله:** بررسی تأثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی نشان داد اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر طول سنبله معنی دار نبود (جدول ۱۰). آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه دهی افزایش ۱۱ درصدی

Godsi و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اثر نانو اکسید آهن در میزان جذب عناصر در آفتابگردان گزارش کردند نانو اکسید آهن با افزایش شاخص کلروفیل برگ، تأثیر در مسیرهای متابولیک و هورمونی و به دنبال آن افزایش فتوسنتز؛

به کشت دیم (۱۷/۶۶) افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن افزایش تعداد دانه را در سنبله نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی موجب شد (جدول ۱۰). Oelke و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند در شرایط تنش خشکی به دلیل خشک شدن دانه گرده و کاهش میزان گل‌های تلقیح شده، درصد دانه‌های پوک افزایش یا تعداد دانه‌ها کاهش می‌یابد. Mamnoei و Seyed Sharifi (۲۰۱۰) نیز در بررسی اثر کمبود آب در کاهش تعداد دانه در جو نتایج مشابهی گزارش کردند. Luigi و همکاران (۲۰۰۸) کاهش تعداد دانه را در سنبله به اثر سوء تنش خشکی در باروری تخمک‌ها و طی شدن سریع‌تر مراحل نموی گیاه نسبت دادند.

طول سنبله نسبت به کشت دیم را موجب شد. همچنین محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن افزایش طول سنبله را نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی سبب شد. Shamsi و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند تنش آبی کاهش معنی‌دار تعداد دانه را در سنبله موجب شد. بخشی از افزایش طول سنبله را در شرایط آبیاری تکمیلی ممکن است به دلیل افزایش تعداد دانه در سنبله باشد؛ زیرا آبیاری تکمیلی به دلیل جلوگیری از خشک شدن دانه گرده به افزایش تعداد گل‌های تلقیح شده و افزایش تعداد دانه در سنبله منجر می‌شود (Oelke et al., 2004) که در نهایت، طول سنبله را افزایش می‌دهد.

تعداد دانه در سنبله: آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی، تعداد دانه را در سنبله (۲۲/۹۱) نسبت

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر اصلی نانوآکسید آهن و شکل‌های مختلف آبیاری در طول سنبله و تعداد دانه در سنبله گندم

تعداد دانه در سنبله	طول سنبله		
۱۸/۸۸ ^b	۸/۲۵ ^c	Fe ₀	نانوآکسید آهن (گرم بر لیتر)
۲۰/۲۲ ^a	۸/۳۶ ^{bc}	Fe ₁	
۲۰/۷۷ ^a	۸/۴۹ ^b	Fe ₂	
۲۱/۴۴ ^a	۸/۶۸ ^a	Fe ₃	
۰/۵۱	۰/۱۴	-	LSD
تعداد دانه در سنبله	طول سنبله		
۱۷/۶۶ ^c	۸/۰۲ ^c	I ₁	انواع آبیاری
۲۲/۹۱ ^a	۸/۹۱ ^a	I ₂	
۲۰/۴۱ ^b	۸/۴۱ ^b	I ₃	
۱/۰۷	۰/۱۲	-	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب نشان‌دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله خوشه‌دهی هستند. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن نانوآکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

شروع رشد سریع سنبله و ساقه باقی ماندند و سرعت رشد طبیعی دارند، با مقدار دسترسی به آب متناسب

Seyed Sharifi و Khalilzadeh (۲۰۱۷)

گزارش کردند تعداد گلچه‌هایی که در گیاه پس از

همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند آبیاری تکمیلی در گندم با تأثیر مثبت و معنی دار بر اجزاء عملکرد، عملکرد دانه و شاخص برداشت را موجب شد. Tavakoli (۲۰۰۳) گزارش کرد آبیاری تکمیلی اثر معنی داری بر عملکرد دانه و اجزاء عملکرد دارد و Kobota و همکاران (۱۹۹۲) بیشترین تأثیر آبیاری تکمیلی را بر عملکرد به مرحله گرده افشانی نسبت دادند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود منجر شدند. Felehkari و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی گندم دیم، بیشترین عملکرد دانه را در آبیاری تکمیلی در زمان گرده افشانی و ساقه رفتن به دست آوردند. Paknezhad و همکاران (۲۰۱۳) نتیجه گیری کردند در شرایط تنش، افزایش هدایت الکتریکی و کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ ها و نیز محتوای کلروفیل، کاهش عملکرد دانه را موجب شدند.

است؛ بنابراین، آبیاری تکمیلی در مرحله گل دهی با حفظ گلچه های تولیدی در گیاه افزایش تعداد دانه را در سنبله موجب می شود (Tatari *et al.*, 2012).
عملکرد دانه: در بررسی حاضر، بیشترین عملکرد دانه (۴۵۲ گرم در متر مربع) مربوط به محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه دهی و کمترین آن (۳۲۶/۵ گرم در متر مربع) در حالت بدون محلول پاشی و در کشت دیم به دست آمد (جداول ۱۱ و ۱۲). به نظر می رسد بخشی از افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی از افزایش کارایی فتوسنتزی، شاخص کلروفیل و محتوای آب نسبی در برگ های گیاهان ناشی شود (جداول ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). Tinglu و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند در مراحل گرده افشانی و پر شدن دانه، برگ های بالایی به ویژه برگ پرچم به دلیل شرایط مناسب رطوبتی هنوز سبز هستند که ممکن است فتوسنتز و انتقال مواد را به دانه افزایش دهند. Tatari و

جدول ۱۱- تجزیه واریانس اثر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در عملکرد و اجزای عملکرد گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه در واحد سطح
تکرار	۲		۱۰/۲۵**	۲۸/۵۸**	۶۷۵۶۵/۱۱**
آبیاری تکمیلی	۲		۲/۴۲**	۸۲/۷۵**	۲۸۷۴۶/۷۷**
نانو اکسید آهن	۳		۰/۲۹**	۱۰/۵۹*	۱۰۸۹/۰۸**
آهن × آبیاری	۶		۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۹۲ ^{ns}	۲۴۰/۵۹*
خطا	۲۲		۱/۴۱	۱/۶۱	۷۵/۳۹
ضریب تغییرات (درصد)	-		۱/۷	۶/۲	۲/۳۱

ns * و ** به ترتیب بیان کننده معنی دار نبودن و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

انجام آبیاری تکمیلی برای بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش مناسب باشد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی است. در اینجا از کمک‌های همکاران محترم در دانشگاه محقق اردبیلی و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H. and Nachit, M. M. (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 55: 209-223.
- Argenta, G., Da Silva, P. R. F. and Sangoi, L. (2004) Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter predicts nitrogen fertilization in maize. *Crop Science* 34: 1379-1387.
- Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. and Khalilzade, R. (2017) Effects of bio fertilizer and nano Zn- Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions* 12(1): 381-389 (in Persian).
- Babaeian, M., Heidari, M. and 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(12): 119-129.
- Barzali, M., Nasri, M. and Karimifar, M. (2016) Effects of plant density on some growth and physiological responses and activity of antioxidant enzymes in chickpea. *Plant Physiology* 11(43): 25-38 (in Persian).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در عملکرد گندم

عملکرد (گرم بر متر مربع)	ترکیب تیماری
۳۲۶/۵۰ ^d	I ₁ ×Fe ₀
۴۱۲/۵۰ ^b	I ₂ ×Fe ₀
۳۵۳/۰۰ ^c	I ₃ ×Fe ₀
۳۴۲/۵۰ ^c	I ₁ ×Fe ₁
۴۲۱/۵۷ ^b	I ₂ ×Fe ₁
۳۲۶/۵۰ ^c	I ₃ ×Fe ₁
۳۴۸/۷۰ ^c	I ₁ ×Fe ₂
۴۴۰/۲۰ ^a	I ₂ ×Fe ₂
۳۴۸/۷۰ ^c	I ₃ ×Fe ₂
۳۷۵/۰۰ ^c	I ₁ ×Fe ₃
۴۵۲/۰۰ ^a	I ₂ ×Fe ₃
۳۷۵/۰۰ ^c	I ₃ ×Fe ₃
۱۴/۷۰	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب نشان‌دهنده شرایط بدون آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله چکمه‌دهی و آبیاری در مرحله خوشه‌دهی هستند. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب نشان‌دهنده مصرف نکردن نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن هستند. مقادیر، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت، بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD هستند.

جمع‌بندی

محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و افزایش شاخص کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ در مدت فصل رشد، عملکرد دانه گندم را در شرایط محدودیت آبی افزایش دادند. بیشترین عملکرد دانه به ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی تعلق داشت؛ از این رو به نظر می‌رسد استفاده از نانو اکسید آهن و

- Brevedan, R. E. and Egli, D. B. (2003) Short periods of water stress during seed filling, Leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science* 43: 2083-2088.
- Dadkhah, N., Ebadi, A., Parmoon, G., Gholipoori, E. and Jahanbakhsh, S. (2015) Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 2(2): 124-210 (in Persian).
- Deng, X. P., Shan, L., Kang, S. Z., Inanaga, S. and Mohammed, E. K. (2006) Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. *Agricultural Science of China* 2: 35-44.
- EL-Tayeb, M. A. (2005) Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-222.
- Eshghizadeh, H. R. and Ehsanzadeh, P. (2009) Effect of different irrigation regimes on corn (*Zea mays* L.) genotypes, chlorophyll fluorescence, growth characteristics and seed yield. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40(2): 135-144 (in Persian).
- Felekhari, H., Ghobadi, M. E., Mohammadi, G., Honarmand, S. J. and Ghobadi, M. (2014) Effects of supplemental irrigation and nitrogen levels on seed yield and some morphophysiological traits of two dryland wheat cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology* 8(18): 28-42 (in Persian).
- Godsi, A., Astaraei, A. R., Emami, H. and Mirzapour, M. H. (2012) Effects of nano iron oxide powder and urban solidwaste compost coated sulfur on sunflower yield and yield components in saline-sodic soil. *Environmental Sciences* 9(3): 111-118 (in Persian).
- Hadi, H., Seyed Sharifi, R. and Namvar, A. (2017) *Phytoprotectants and abiotic stresses*. Urmia University Press, Urmia (in Persian).
- Hochmuth, G. (2011) Iron (Fe) nutrition in plants. U. S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, IFAS Document, SL353.
- Jalil Shesh Bahre, M. and Movahedi Dehnavi, M. (2012) Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigour grown under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production* 5(1): 19-35 (in Persian).
- Keshavarz, L., Farahbakhsh, H. and Golkar, P. (2013) Effect of hydrogel and irrigation Regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 3(9): 147-160 (in Persian).
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. (2016) Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 44(1): 116-124.
- Kobota, T. J., Palta, A. and Turner, N. C. (1992) Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling of Spring Wheat. *Crop Science* 32: 1238-1242.
- Kostopoulou, P., Barbayiannis, N. and Basile, N. (2010) Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil* 330: 65-71.
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, W., Zhang, Z. and Ding, R. (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots or salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 99: 872-878.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M. and Zhang, J. (2002) The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 43: 187-192.

- Luigi, C., Rizza, F., Farnaz, B., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C. T., Alessandro, T. and Stanca, M. A. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1-14.
- Mamnoei, E. and Seyed Sharifi, R. (2010) Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journal of Plant Biology* 2(5): 51-62.
- Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2000) Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A. and Monshi, A. (2010) Nano-iron-oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences* 7: 36-40.
- Mazlomi Meymandi, M., Pirzad, A. and Zartoshti, M. R. (2011) Impact of foliar application of nano-iron at various stages on growth and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). MSc thesis, Urmia University, Urmia, Iran (in Persian).
- Mohammadi, M., Roozrokh, M. and Talebi, R. (2015) Effect of supplemental irrigation and iron spraying on chickpea genotypes in Kermanshah. *Journal of Plant Ecophysiology* 8(27): 103-113 (in Persian).
- Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H., Zeinali, E. and Najafi Hezarjaribi, R. (2008) Effect of seed deterioration on vegetative growth and chlorophyll fluorescence in soybean (*Glycine max*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 15(5): 112-118 (in Persian).
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. (2007) Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biology Science* 10: 3835-3840.
- Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
- Nematollahi, E., Jafari, A. and Bagheri, A. (2012) Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflowers (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology* 5(12): 37-51 (in Persian).
- Oelke, E. A., Oplinger, E. S., Teynor, T. M. Putnam D. H. Doll, J. D., Kelling, K. A., Durgan, B. R. and Noetzel, D. M. (2004) Safflower. *Alternative Field Crops Manual* 1-8.
- Ommen, O. E. and Donnelly, A. (1999) Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. *European Journal of Agronomy* 10: 197-203.
- Orabi, S. A., Salman, S. R. and Shalaby, A. F. (2010) Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences* 6: 252- 259.
- Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A. and Vazan, S. (2007) Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 5: 162-169.
- Paknezhad, F., Khashaman, M. B. and Sadeghi Shoa, M. (2013) Effect of drought stress and methanol on chlorophyll content, relative water content and membrane stability of williams soybean cultivar. *Agricultural Crop Management* 4(4): 355-367 (in Persian).
- Prakash, M. and Ramachandran, K. (2000) Effects of moisture stress and anti transpiration leaf chlorophyll, soluble

- protein and photosynthetic rate in Brinjal plants. *Journal of Agronomy* 184: 153-156.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Scharf, P. C., Brouder, S. M. and Hoelt, R. G. (2006) Chlorophyll meter reading can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal* 98: 655-665.
- Schutz, H. and Fangmier, E. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
- Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R. (2017) *Cereal Crops Production*. University of Mohagheh Ardabili Press, Ardabil. (in Persian).
- Shamsi, K., Petrosyan, M., Noor-Mohammadi, G. and Haghparast, R. (2010) Evaluation of grain yield and its components in three bread wheat cultivars under drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences* 9(1): 1117-1121.
- Shir-Mard Kermanshahi, M. (2003) Effects of reduced irrigation stress on some morphological and physiological traits on Safflower cultivars. MSc. thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran (in Persian).
- Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. (2000) Drought stress effects on water relations of wheat. *Botany Bulletin academi Science* 41: 35-39.
- Soheili Movahhed, S., Esmaili, M. A., Jabbari, F., Khorramdel, S. and Fouladi, A. (2017) Effects of water deficit on relative water content, chlorophyll fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Electronic Journal of Crop Production* 10(1): 169-190 (in Persian).
- Soltani, A. (2005) Chlorophyll fluorescence and its applications. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. Gorgan (in Persian).
- Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N., Almaliotis, D., Papadakis, I. and Dimass, K. N. (2006) Response of cherry rootstocks to boron and salinity. *Journal of Experimental Botany* 29: 1691-1698.
- Stone, L. R. and Schlegel, A. J. (2006) Yield-water supply relationships of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal* 98: 1359-1366.
- Taghipour, Z., Asghari Zakaria, R., Zare, N. and Shaikh Zadeh, P. (2014) Evaluation of drought stress tolerance in several populations of *Aegilops triuncialis* based on some physiological characteristics. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 22(1): 55-66 (in Persian).
- Tambussi, E. A., Bartoli, C. G., Beltrano, J., Guamet, J. J. and Araus, J. L. (2000) Oxidative damage to thylakoid protein in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* 108: 398-404.
- Tatari, M., Ahamadi, M. M. and Abbasi Alikamar, R. (2012) Effect of supplemental irrigation on growth and yield of wheat. *Iranian Journal of Agricultural Research* 1(2): 448-455 (in Persian).
- Tavakoli, A. (2003) Effect of supplementary irrigation and nitrogen on yield and yield of wheat in Sabalan cultivar. *Iranian Journal of Seed Science and Technology* 19(3): 367-380 (in Persian).
- Tinglu, F., Stewart, B. A., William, A. P., Yong, W., Shangyou, S., Junjie, L. and 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.
- Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V. and Esfandiari,

- E. (2012) Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. *Journal of Agroecology* 4(1): 73-93 (in Persian).
- Zago, M. P. and Oteiza, P. I. (2001) The antioxidant properties of zinc: Interactions with iron and antioxidants. *Free Radical Biology and Medicin* 31: 266-274.