

تحقیقات غلات

دوره نهم / شماره اول / بهار ۱۳۹۸ (۱-۱۶)

تاثیر آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن بر انتقال ماده خشک، عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت شرایط دیم

حامد نریمانی^۱ و رئوف سیدشریفی^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

چکیده

به منظور بررسی تاثیر آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن بر انتقال ماده خشک، عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم تحت شرایط دیم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی، آبیاری در سه سطح (شامل شاهد بدون آبیاری یا کشت دیم و آبیاری تکمیلی در مراحل آبستنی و سنبله‌دهی) و نانو اکسید آهن در چهار سطح (شامل شاهد بدون کاربرد و محلول پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی موجب افزایش فتوسنتز جاری و کاهش سهم فرآیند بازگسیل (انتقال مجدد) از کل بوته و ساقه در عملکرد دانه شد. همچنین، محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی برگ پرچم را کاهش داد، ولی عملکرد دانه در حدود ۳۸/۴۳ درصد نسبت به بدون محلول پاشی تحت شرایط دیم افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پراکسید هیدروژن، عناصر ریزمغذی، مالون دی‌آلدهید، محدودیت آبی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که ضمن کاهش رشد رویشی و تغییر در ساختارهای آناتومیکی گیاه، از راه ایجاد تنش ثانویه نظیر تنش اکسیداتیو، موجب تغییر در مسیرهای سنتز ترکیبات و متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Sharma *et al.*, 2012). فتوسنتز تحت شرایط کم‌آبی باعث تولید انواع مختلف اکسیژن فعال نظیر سوپراکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل و رادیکال اکسیژن می‌شود که از بین آن‌ها پراکسید هیدروژن دارای طول عمر و آسیب‌زایی بیش‌تری است (Gill and Tuteja, 2010). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، از سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی برخوردارند (Heidari *et al.*, 2015). رادیکال سوپراکسید ممکن است به وسیله آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تبدیل به H_2O_2 و سپس به وسیله آسکوربات پراکسیداز در کلروپلاست تبدیل به آب شود. در مطالعه امرایی و همکاران (Amraei *et al.*, 2017) میزان پراکسید هیدروژن در شرایط بهینه آبیاری نسبت به تنش خشکی کاهش یافت. H_2O_2 منتشر شده به بخش بیرونی کلروپلاست نیز به وسیله آنزیم کاتالاز در سلول‌های برگ پاک‌سازی می‌شود.

تحت شرایط خشکی، به دلیل محدود شدن جذب و تثبیت CO_2 و افزایش فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو، تنفس نوری افزایش می‌یابد که این امر نیز افزایش تولید H_2O_2 را به همراه خواهد داشت (Millei, 2010). طولانی شدن تنش خشکی در یاخته‌های گیاه، علاوه بر شکل‌گیری تنش اکسیداتیو و افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS)، منجر به پراکسیداسیون لیپیدی نیز می‌شود. اسیدهای چرب غیراشباع موجود در فسفولیپیدهای غشا، نسبت به حمله OH و دیگر اکسیدان‌ها بسیار حساس هستند. زمانی که اسیدهای چرب غیراشباع غشا اکسید شوند، انواع آلدئیدها را ایجاد خواهند کرد که به شدت فعال هستند (Gill and Tuteja, 2010). مالون‌دی‌آلدئید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غیر اشباع سلول بوده و از این رو به عنوان یک نشانگر زیستی مناسب، جهت تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدهای ناشی از تنش اکسیداتیو در سلول به کار برده می‌شود (Sofa *et al.*, 2004). هاشمی‌نسب و همکاران (Hasheminasab *et al.*, 2013) نشان دادند که تنش خشکی موجب افزایش میزان مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن شد.

آنتوسیانین‌ها خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Lin-Wang *et al.*, 2010). مشخص شده است که مقدار آنتوسیانین در هنگام تنش افزایش می‌یابد. این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین‌ها از طریق حذف مستقیم ROSها در تنش اکسیداتیو است (Zhang *et al.*, 2010). منابع اصلی کربن در گیاهان، شامل فتوسنتز جاری برگ‌ها و سایر اندام‌های سبز نظیر ساقه، سنبله و ریشک و نیز بازگسیل ذخیره شده در اندام‌های رویشی در مراحل پیش از گرده‌افشانی است (Borras *et al.*, 2004). تحت شرایط تنش خشکی، بخشی از کاهش فتوسنتز از راه بازگسیل مواد ذخیره‌ای جبران می‌شود که خود به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده است (Yang and Zhang, 2006). در گندم پس از فتوسنتز جاری می‌توان به کربوهیدرات‌های غیرساختاری ذخیره‌شده در بخش‌های رویشی (از جمله ساقه) به عنوان منبع تامین کربوهیدرات برای پر کردن دانه اشاره کرد (Ehdaie *et al.*, 2008) که حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد از کل وزن خشک ساقه را تشکیل می‌دهند (Ruuska *et al.*, 2006). فوکار و همکاران (Fokar *et al.*, 2006) گزارش کردند که با افزایش سرعت پیر شدن برگ‌ها در شرایط تنش گرمای پس از گرده‌افشانی و محدودیت آبی، سهم بازگسیل مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه افزایش می‌یابد. مهرپویان و همکاران (Mehrpooyan *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند در شرایط مطلوب آبیاری، مقدار ماده خشک انتقال یافته در گندم کم‌تر از شرایط تنش خشکی بود.

آبیاری تکمیلی، به معنای انجام آبیاری در زراعت دیم، در مراحل بحرانی رشد گیاه است که در آن بارندگی برای تامین رطوبت کافی و یا رشد بهینه گیاه کم می‌باشد (ESCWA and ICARDA, 2003). زی‌ژنلی و همکاران (Li *et al.*, 2004) نشان دادند که آبیاری در مرحله زایشی گندم تاثیر مهمی بر رشد و عملکرد دانه دارد. محدودیت آبی موجب کاهش عملکرد و بر هم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه و به دنبال آن، کمبود عناصر ریزمغذی مانند آهن در خاک می‌شود. یکی از راه‌های موثر در جبران کمبود این عنصر در خاک، محلول‌پاشی آن به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آهن است، زیرا در حالت نانو، ذرات به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند. در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه‌های

شرقی و $38^{\circ}15'$ عرض شمالی بود. خاک این اراضی دارای بافت لوم رسی است که pH آن در حدود ۷/۷ و عمق خاک نیز در حدود ۷۰ سانتی متر است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و در آن، دو فاکتور آبیاری در سه سطح (آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی یا چکمه‌ای شدن، آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی و شاهد بدون آبیاری یا کشت دیم) و نانو اکسید آهن در چهار سطح (شاهد بدون کاربرد نانو اکسید آهن و محلول پاشی 0.13 ، 0.16 و 0.19 گرم در لیتر نانو اکسید آهن) بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیف‌های ۲۰ سانتی متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. کلیه عملیات زراعی در طول رشد و نمو گیاهان مطابق معمول انجام شد و صفات مورد مطالعه هر یک در زمان مناسب خود اندازه‌گیری شدند.

مقدار آنتوسیانین با روش واگنر (Wagner, 1979) اندازه‌گیری شد. 0.1 گرم از بافت تازه برگ پرچم در هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی (متانول خالص کلریدریک اسید به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به طور کامل سائیده شد و عصاره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول روشناور در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد.

تاثیر آبیاری تکمیلی و نانو اکسید آهن بر انتقال ماده خشک گندم فتوسنتزی و مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابند (Morales et al., 1995). در بررسی فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz et al., 2015)، کاربرد کود کلات آهن در شرایط آبیاری موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گلرنگ شد. همچنین در مطالعه عزیزخانی (Azizkhani, 2015)، نانو کود آهن موجب کاهش میزان پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید در توت فرنگی شد. امیری‌نژاد و همکاران (Amirinejad et al., 2016) نیز مشاهده کردند که در شرایط بهینه آبیاری، محلول پاشی آهن موجب کاهش مقدار مالون‌دی‌آلدهید نسبت به شرایط تنش خشکی شد.

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و اهمیت آبیاری تکمیلی و کاربرد نانو اکسید آهن در تعدیل آثار ناشی از کمبود آب بر عملکرد گندم دیم و نیز بررسی‌های محدود انجام شده در زمینه برهم‌کنش آن‌ها، پژوهش حاضر انجام شد که هدف از آن، ارزیابی تاثیر این عوامل بر انتقال ماده خشک، عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی مانند محتوای پراکسید هیدروژن، آنتوسیانین و مالون‌دی‌آلدهید بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد و در آن، گندم رقم رصد که از همین ایستگاه تهیه شد، مورد بررسی قرار گرفت. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد، با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و دارای مختصات جغرافیایی $48^{\circ}20'$ طول

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil physicochemical properties of the experimental field

EC (dS.m ⁻¹)	mg.kg ⁻¹						pH	%		
	Organic carbon	CaCO ₃	N	P	K	Fe		Sand	Silt	Clay
1.54	0.858	5	0.08	12.2	495	5.1	7.76	31	30	39

جدول ۲- مشخصات هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گندم (شش ماهه دوم سال ۱۳۹۵ و چهارماهه اول ۱۳۹۶)

Table 2. Meteorological characteristics of the region during wheat growing season (2016-2017)

Parameter	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July
Rainfall (mm)	4.8	40.3	28.9	3.4	35.2	9.4	3.3	32.9	2.4	9.3
Average min. temperature (°C)	6.1	1.7	4.6	-5.1	-8.2	-1.4	2.1	7.4	10	12.8
Average max. temperature (°C)	18.4	12.5	3.5	5.8	0.2	9.4	14.3	21.4	24.5	26.1
Average daily temperature (°C)	12.2	7.1	0.6	0.4	-4	4	8.2	14.4	17.3	19.5
Average moisture (%)	76	75	65	64	82	69	69	62.6	68	60.6
Total sunny hours	201.3	151.4	170.8	210.9	120.9	209.1	202.7	232.6	331.7	328.3

Reference: Meteorological Organization of Ardabil Province

$$DMT = DMA - DMM \quad (۱)$$

که در آن، DMT میزان بازگسیل بر حسب گرم در متر مربع، DMA بیشینه ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM ماده خشک اندام هوایی (به جز دانه) در بلوغ است.

$$CDMAG = \frac{DMT}{GY} \times 100 \quad (۲)$$

در این رابطه، CDMAG سهم فرآیند بازگسیل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان بازگسیل بر حسب گرم در متر مربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع است.

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad (۳)$$

در این رابطه، SDMT میزان بازگسیل از ساقه بر حسب گرم در متر مربع، SDMA حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول و SDMM وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CSAG = \frac{SDMT}{GY} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن، CSAG سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان بازگسیل از ساقه بر حسب گرم در متر مربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع است.

$$CP = GY - DMT \quad (۵)$$

در این رابطه، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در متر مربع، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع و DMT میزان بازگسیل بر حسب گرم در متر مربع است.

$$SSPG = \frac{CP}{GY} \times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه، CCPG سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در متر مربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع است.

عملکرد دانه نیز با برداشت سطحی از مزرعه معادل ۰/۲ متر مربع (با رعایت اثر حاشیه از دو خط اصلی هر واحد آزمایشی به طول ۵۰ سانتی متر و فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی متر) اندازه‌گیری شد.

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم با روش الکسیوا و همکاران (Alexieva et al., 2001) اندازه‌گیری شد. به این صورت که یک گرم نمونه برگ، خرد و درون فالکن‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن پنج میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد اضافه شد. نمونه هموزنیزه شده با سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به میکروتیوب‌های دو میلی‌لیتری منتقل و به آن‌ها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم اضافه شد. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Alexieva et al., 2001).

میزان پراکسیداسیون لیپیدی برگ پرچم بر اساس روش استوارت و بولی (Stewart and Bewley, 1980) اندازه‌گیری شد. در حدود ۰/۵ گرم از برگ پرچم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. دو میلی‌لیتر از محلول روشن‌آور حاصل با چهار میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل شد. نمونه‌ها دوباره ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت شد.

برای برآورد میزان بازگسیل مواد از اندام‌های رویشی گیاه به دانه، نمونه‌برداری از زمان پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک‌بار و در هر مرحله با رعایت اثر حاشیه‌ای، از سطحی معادل ۰/۰۲ متر مربع (۱۰ سانتی‌متر طولی در فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر) انجام شد. ساقه، برگ و دانه بوته‌های برداشت‌شده، تفکیک و بعد از قرار دادن در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. میزان انتقال ماده خشک، سهم فرآیند بازگسیل از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه از طریق روابط زیر محاسبه شدند (Barnett and Pearce, 1983). در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. اهدایی و وینز (Ehdaei and Wanies, 1996) نیز در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی بازگسیل در گندم، فرض مشابهی را در نظر گرفتند.

نتایج و بحث

مالون دی آلدئید: نانو اکسید آهن، آبیاری تکمیلی و برهم کنش این دو عامل بر محتوای مالون دی آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای مالون دی آلدئید (۰/۲۲ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم محلول پاشی تحت شرایط دیم و کمترین آن (۰/۰۳ نانومول بر گرم وزن تر برگ) در محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول ۵). افزایش مالون دی آلدئید نشان داد که تحت تنش خشکی ساختار غشا آسیب دیده و لیپیدهای آن آزاد شده است. از طرف دیگر، با وجود ترکیبات ROS که تحت تنش افزایش می‌یابند، این لیپیدها پراکسیده شده و مالون دی آلدئید تولید می‌شود. وجود سیستم آنتی‌اکسیدان قوی موجب کاهش ترکیبات ROS و به نوعی موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود (Zafari et al., 2012). تانکتورک و تانکتورک (Tuncturk and Tuncturk, 2006) افزایش مقدار مالون دی آلدئید در شرایط کمبود آهن را به افزایش تاثیر تنش اکسیداتیو نسبت دادند. فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz et al., 2011) نیز گزارش کردند که محلول پاشی و کاربرد خاکی کلات آهن تحت شرایط تنش رطوبتی، موجب کاهش ۲۴ درصدی مالون دی آلدئید در گلرنگ شد و توانست تاثیر تنش رطوبتی را جبران کند. ممکن است محتوای افزایش یافته مالون دی آلدئید به علت تخریب غشا در نتیجه تنش اکسیداتیو القا شده به وسیله انواع اکسیژن فعال باشد (Amirinejad et al., 2016) که منجر به صدمات و نابودی سلول‌ها شده و به دنبال آن افزایش هدایت الکتریکی برگ و محتوای مالون دی آلدئید را به همراه دارد (Shobeiri et al., 2015). بررسی هدایت الکتریکی برگ پرچم نیز نشان داد که در همان ترکیب تیماری که میزان هدایت الکتریکی افزایش یافته بود (جدول ۳)، محتوای مالون دی آلدئید نیز بیش تر بود. هونگ و جی-یان (Hong and Ji-Yan, 2007) اظهار داشتند که محلول پاشی آهن با فعال کردن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و حفظ اسیدهای چرب غیراشباع، تاثیر منفی رادیکال‌های آزاد را کاهش داد و همین امر منجر به کاهش مالون دی آلدئید شد. در بررسی عزیزخانی (Azizkhani, 2015) کاربرد نانو کود آهن با کاهش میزان پراکسید هیدروژن، موجب کاهش محتوای مالون دی آلدئید در توت فرنگی شد. بخشی از کاهش میزان

مالون دی آلدئید در شرایط محلول پاشی با آهن را می‌توان به تاثیر آهن بر محتوای آنتوسیانین نسبت داد، به طوری که محلول پاشی نانو اکسید آهن منجر به افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ۵)، بهبود ساختار غشا، کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۳) و کاهش محتوای مالون دی آلدئید شد. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط لنگ و همکاران (Leng et al., 2000) مبنی بر اینکه افزایش محتوای آنتوسیانین نقش مهمی در حفظ ساختارهای حساسی مانند غشاها دارد، مطابقت داشت. همچنین، افزایش بازگسیل مواد در شرایط خشکی می‌تواند به علت کاهش فتوسنتز طی دوره پر شدن دانه‌ها به دلیل تجزیه کلروفیل باشد (Janmohammadi et al., 2011)، ولی محلول پاشی با نانو اکسید آهن از طریق افزایش محتوای آنتوسیانین، حفظ پایداری غشای سلولی (Leng et al., 2000)، کاهش مالون دی آلدئید (جدول ۵) و جلوگیری از زوال کلروفیل (Leng et al., 2000)، موجب بهبود فتوسنتز و افزایش فتوسنتز جاری (جدول ۵) و کاهش بازگسیل مواد (جدول ۶) شد و در نهایت عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۵).
پراکسید هیدروژن: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن (۰/۴۸ میکرومول بر وزن تر برگ) در عدم محلول پاشی نانو اکسید آهن تحت شرایط دیم و کمترین آن (۰/۲ میکرومول بر وزن تر برگ) در محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول ۵).
 سطح پراکسید هیدروژن گیاهان تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد. افزایش پراکسید هیدروژن موجب کاهش تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش مالون دی آلدئید و افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و فعالیت آنزیم‌های مختلف آنتی‌اکسیدان تحت شرایط کمبود آب می‌شود (Ashraf et al., 2015). این احتمال وجود دارد که در شرایط دیم و عدم محلول پاشی نانو اکسید، محدودیت دی‌اکسید کربن بیش تر شده باشد. از این رو به نظر می‌رسد با کاهش غلظت دی‌اکسید کربن کلروپلاستی، تنفس نوری افزایش یافته و در نتیجه تولید پراکسید هیدروژن نیز افزایش یابد (Yordanov et al., 2003). در این شرایط برای جلوگیری از مسیر چرخه الکترون کلروپلاستی، گیاهان عالی مسیر تنفس نوری را با تولید دوباره NADP⁺ به راه می‌اندازند (Shao et al., 2008)، از طرفی به نظر می‌رسد که به دلیل نقش موثری که آهن در تشکیل و افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان دارد، بهبود فعالیت فتوسنتز

می‌شود (Shao *et al.*, 2008) که می‌تواند مانعی برای تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و جلوگیری از آسیب‌های سلولی باشد و به پایداری گیاه در شرایط تنش کمک کند.

گیاه موجب می‌شود تولید دوباره NADP^+ توسط چرخه فتوسنتزی ادامه یافته و تولید پراکسید هیدروژن کاهش یابد. افزون بر این، تولید پراکسید هیدروژن در گیاه موجب فعال شدن برخی متابولیت‌های گیاهی یا هورمون‌ها و آنزیم‌ها

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم گندم

Table 3. Analysis of variance the effects of nano iron oxide and supplementary irrigation on Electrical conductivity flag leaf of wheat

Treatment [†]	Sampling stages (day after planting)									
	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230
$I_1 \times Fe_0$	173.20	170.97	189.97	187.57	196.18	198.07	234.63	244.74	272.27	271.9
$I_2 \times Fe_0$	69.70	79.37	77.01	91.48	94.52	99.15	115.68	133.83	139.54	152.64
$I_3 \times Fe_0$	84.43	108.74	108.38	123.89	128.73	150.76	149.84	172.9	183.24	186.64
$I_1 \times Fe_1$	117.35	130.77	139.14	144.49	152.40	166.56	170.31	185.19	231.47	245.42
$I_2 \times Fe_1$	58.67	60.64	66.42	66.93	73.06	77.37	97.53	103.96	111.74	121.61
$I_3 \times Fe_1$	84.43	92.79	108.38	100.65	103.63	119.86	123.55	130.06	142.04	146.13
$I_1 \times Fe_2$	100.57	119.63	120.52	125.48	128.46	135.72	136.68	151.09	158.16	166.12
$I_2 \times Fe_2$	51.76	47.84	54.81	55.61	63.29	64.95	75.56	91.92	97.84	109.11
$I_3 \times Fe_2$	81.02	79.91	95.03	86.76	95.91	106.22	114.7	118.2	128.44	136.40
$I_1 \times Fe_3$	78.62	103.49	107.20	110.02	114.09	115.52	117.85	122.09	127.23	153.31
$I_2 \times Fe_3$	31.19	37.42	44.21	40.46	46.65	53.45	50.62	54.5	74.46	98.89
$I_3 \times Fe_3$	71.24	69.60	81.99	75.72	78.09	87	89.7	103.21	107.81	123.90
LSD	9.54	7.45	14.94	18.77	15.56	14.58	15.86	8.85	8.36	6.75

[†]: Fe_0 , Fe_1 , Fe_2 and Fe_3 are no-application and application of 0.3, 0.6 and 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide, respectively, and I_1 , I_2 and I_3 are no-irrigation (rainfed) and supplementary irrigation at booting and heading stages, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر صفات بیوشیمیایی و انتقال ماده خشک گندم

Table 4. Analysis of variance the effect nano iron oxide and supplementary irrigation on biochemical traits and dry matter remobilization of wheat

Source of variations	df	Mean squares					
		Malondialdehyde	Hydrogen peroxide	Anthocyanin	Dry matter remobilization	Contribution of remobilization in grain yield	Dry matter remobilization from stem
Replication	2	0.0049**	0.0096*	0.000003 ^{ns}	60.22 ^{ns}	176.03**	2.11 ^{ns}
Irrigation (I)	2	0.041**	0.082**	0.0001**	3053.09**	541.04**	2405.58**
Iron (Fe)	3	0.007**	0.022**	0.00005**	1431.02**	150.97**	629.62**
Fe × I	6	0.00024**	0.00049**	0.00002**	83.77 ^{ns}	4.50 ^{ns}	17.51**
Error	22	0.000021	0.00014	0.0000024	71.44	9.01	3.57
CV (%)	-	4.05	3.35	9.74	11.10	14.02	3.20

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 4. Continued

جدول ۴- ادامه

Source of variations	df	Mean squares					
		Contribution of stem reserve in grain yield	Current photosynthesis	Contribution of current photosynthesis in grain yield	Spike length	No. of grain per spike	Grain yield
Replication	2	137.23**	63770.88**	176.03**	10.25**	28.58**	67565.11**
Irrigation (I)	2	381.78**	48718.96**	541.04**	2.42**	82.75**	28746.77**
Iron (Fe)	3	67.71**	5000.22**	150.97**	0.29**	10.59*	1089.08**
Fe × I	6	2.22 ^{ns}	302.54*	4.50 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.009 ^{ns}	240.59*
Error	22	1.71	94.23	9.01	1.41	1.61	75.39
CV (%)	-	7.84	3.24	3.81	1.7	6.2	2.31

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

آنتوسیانین داشته است که با جلوگیری از آسیب به کلروفیل (Leng *et al.*, 2000)، موجب بهبود فتوسنتز گیاه (Yousefzadeh *et al.*, 2016) طی مرحله پر شدن دانه‌ها و افزایش بازگسیل مواد به واسطه افزایش فتوسنتز جاری به دانه شده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. **هدایت الکتریکی:** بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در پاسخ به خشکی در طول فصل رشد نشان داد که هدایت الکتریکی برگ پرچم در اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی نسبت به شاهد در اکثر مراحل کاهش یافت (شکل ۱)، به طوری که در ۲۳۰ روز پس از کاشت، بیش‌ترین هدایت الکتریکی (۲۷۱/۹۰ میکروزیمتس بر مترمربع) مربوط به عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم و کم‌ترین آن (۹۸/۸۹ میکروزیمتس بر مترمربع) از محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط دیم و عدم کاربرد نانو اکسید آهن، می‌تواند ناشی از آسیب وارده بر غشای سلولی و کاهش مقاومت و یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌شوند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره و موجب افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). بررسی محتوای مالون‌دی‌آلدهید نشان داد که در همان ترکیب تیماری که مقدار مالون‌دی‌آلدهید حداکثر بود، میزان هدایت الکتریکی برگ پرچم نیز افزایش یافت (جدول ۵). مرادی تلاوت و همکاران (Moradi Telavat *et al.*, 2018) نیز نشان دادند که با افزایش محتوای پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون غشا در شرایط تنش در برنج، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و نشت الکترولیتی افزایش یافت. زاگو و اوتیزا (Zago and Oteiza, 2001) اظهار داشتند که عناصر روی و آهن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان نقش مهمی را در تعدیل رادیکال‌های آزاد و تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی ایفا می‌کنند. از این رو به نظر می‌رسد محلول‌پاشی آهن با افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش رطوبتی (از راه افزایش تولید آنزیم‌های حذف کننده رادیکال‌های آزاد) موجب می‌شوند گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه شده و در نتیجه درصد نشت کم‌تری داشته باشد.

با محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ۵) که یکی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است، با از میان بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش اثر تنش اکسیداتیو، میزان پراکسید هیدروژن کاهش یافت. کاهش پراکسید هیدروژن (جدول ۵)، مالون‌دی‌آلدهید و هدایت الکتریکی برگ (جدول‌های ۳ و ۵) و افزایش پایداری کلروفیل به واسطه تولید سیدروفورها توسط آهن (Etemadi *et al.*, 2014)، موجب افزایش فتوسنتز جاری و عملکرد دانه شد (جدول ۵). امرایی و همکاران (Amraei *et al.*, 2017) گزارش کردند که شرایط بهینه آبیاری نسبت به شرایط تنش خشکی، میزان پراکسید هیدروژن را به دلیل افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش داد. در بررسی عزیزخانی (Azizkhani, 2015)، کاربرد نانو کود آهن در توت فرنگی موجب کاهش میزان پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید شد.

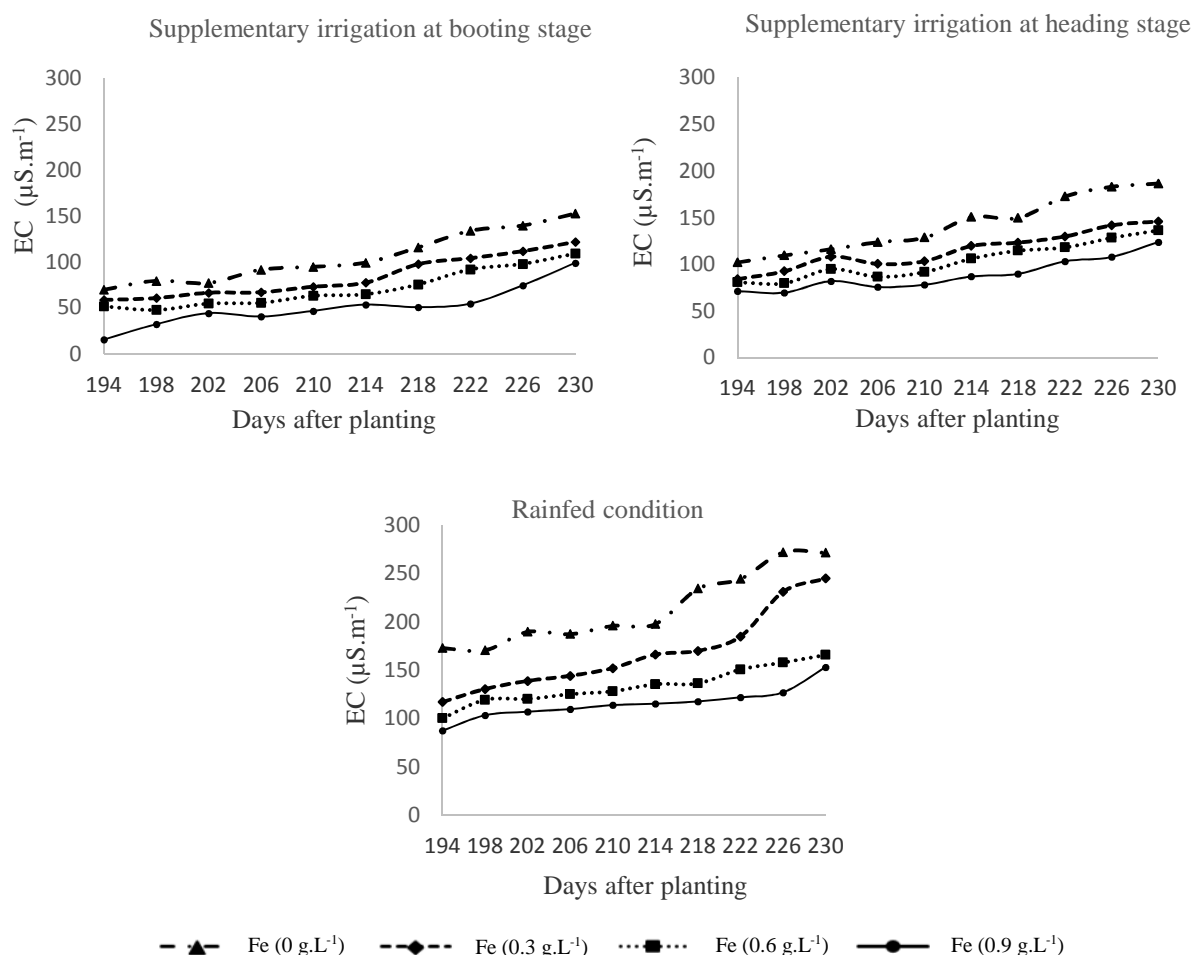
مقدار آنتوسیانین: معنی‌دار شدن تاثیر نانو اکسید آهن، آبیاری تکمیلی و برهم‌کنش این دو عامل بر مقدار آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین (۰/۰۲۷۶ میکرومول بر وزن تر برگ) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۰/۰۱۲۳ میکرومول بر وزن تر برگ) در عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم به دست آمد (جدول ۵). آنتوسیانین‌ها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند و به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Lin-Wang *et al.*, 2010). محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2016) گزارش کردند که نانو اکسید آهن موجب افزایش میزان آنتوسیانین برگ نعنای فلفلی شد. همچنین، در بررسی فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz *et al.*, 2015) کاربرد کلات آهن در شرایط آبیاری موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گلرنگ شد. افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن می‌تواند از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری کند و به طور غیرمستقیم موجب افزایش آنتوسیانین شود، زیرا آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها محافظت می‌کنند (Leng *et al.*, 2000) و موجب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گندم می‌شوند. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانو کلات آهن تاثیر مثبت بر افزایش میزان

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نانو اکسید آهن و آبیاری بر برخی صفات گندم

Table 5. Comparison of means for the effects of nano-iron oxide and irrigation on some wheat traits

Treatment [†]	Malondialdehyde ($\mu\text{mol.gFW}^{-1}$)	Hydrogen peroxide ($\mu\text{mol.gFW}^{-1}$)	Anthocyanin ($\mu\text{mol.gFW}^{-1}$)	Dry matter remobilization from stem (g.m^{-2})	Contribution of current photosynthesis (g.m^{-2})	Yield (g.m^{-2})
I ₁ ×Fe ₀	0.22	0.48	0.0123	81.7	224	326.5
I ₂ ×Fe ₀	0.09	0.33	0.0159	57.6	336.16	412.5
I ₃ ×Fe ₀	0.13	0.4	0.0132	65	260.83	353
I ₁ ×Fe ₁	0.19	0.44	0.0129	77.5	245.83	342.5
I ₂ ×Fe ₁	0.06	0.3	0.0163	47.2	357.5	421.57
I ₃ ×Fe ₁	0.11	0.36	0.0148	64.16	259.33	326.5
I ₁ ×Fe ₂	0.15	0.43	0.0137	71.33	263	348.7
I ₂ ×Fe ₂	0.05	0.26	0.0181	4.66	378.5	440.2
I ₃ ×Fe ₂	0.1	0.31	0.0156	57.1	281	348.7
I ₁ ×Fe ₃	0.13	0.38	0.0143	64	271.16	375
I ₂ ×Fe ₃	0.03	0.2	0.0276	35.96	414	452
I ₃ ×Fe ₃	0.08	0.28	0.0166	46.36	294.83	375
LSD	0.007	0.02	0.0026	3.2	16.43	14.7

[†]: Fe₀, Fe₁, Fe₂ and Fe₃ are no-application and application of 0.3, 0.6 and 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide, respectively, and I₁, I₂ and I₃ are no-irrigation (rainfed) and supplementary irrigation at booting and heading stages, respectively.



شکل ۱- روند تغییرات هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم در شرایط سطح ثابت آبیاری و سطوح مختلف نانو اکسید آهن
Figure 1. Changing process of electrical conductivity (EC) of flag leaf under constant irrigation level and different levels of nano-iron oxide conditions

بتواند بخشی از نیاز شدید مخزن (دانه‌ها) را جبران کند (Abbaspour *et al.*, 2012).

پاپاکوستا و جیانس (Papakosta and Gayians, 1991) اظهار داشتند که تنش خشکی پس از گلدهی، فتوسنتز را محدود می‌کند، در چنین شرایطی عملکرد تا حد زیادی به بازگسیل مواد فتوسنتزی به دانه بستگی دارد. داویدسون و چوالیر (Davidson and Chevalier, 1992) سهم ذخایر کربوهیدراتی ساقه در عملکرد نهایی دانه را در شرایط عادی حدود ۱۲ درصد و در شرایط تنش خشکی حدود ۴۰ درصد گزارش کردند یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2001) گزارش کردند که افزایش فراهمی آب و مصرف نیتروژن از راه ایجاد تاخیر در پیری برگ‌ها، موجب افزایش سهم فتوسنتز جاری و کاهش مشارکت مواد خشک ذخیره شده در تولید دانه می‌شود. رضایی مرادعلی و همکاران (Rezaei Morad Aali *et al.*, 2014) نیز بیان کردند که تشدید تنش رطوبتی، سهم بازگسیل در پر شدن دانه را تا ۲۳ درصد افزایش داد. در بررسی جشنی و همکاران (Jashni *et al.*, 2017)، محلول پاشی آهن در کلزا به دلیل بهبود فتوسنتز گیاه و دیررس شدن آن، موجب کاهش قابل توجه میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. در گیاهان تحت آبیاری بهینه و تنش خشکی شدید به ترتیب بالا بودن فتوسنتز جاری و کم بودن میزان مواد ذخیره‌ای موجب کاهش میزان بازگسیل ماده خشک شد (Lak *et al.*, 2014).

میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه: مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح آبیاری و محلول پاشی نانو اکسید آهن نشان داد که بیشترین میزان انتقال ماده خشک و سهم آن در عملکرد دانه (به ترتیب ۹۱/۹۲ گرم در مترمربع و ۲۷/۵۷ درصد) تحت شرایط دیم و کمترین آن‌ها (به ترتیب ۶۰/۰۲ گرم در مترمربع و ۱۴/۲۵ درصد) در آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول ۶). همچنین بیشترین و کمترین میزان انتقال ماده خشک (به ترتیب ۹۰/۳۳ و ۶۱ گرم در مترمربع) و سهم فرآیند بازگسیل در عملکرد دانه (به ترتیب ۲۶ و ۱۶/۵۴ درصد) به ترتیب در بدون محلول پاشی و محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن به دست آمد (جدول ۶). بدیهی است که میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه، بیش تر تحت تاثیر روابط منبع و مخزن و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Seyed Sharifi and Nazarly, 2014). به نظر می‌رسد که در شرایط بهینه و دسترسی به منابع کافی، فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد و در نتیجه تعادل منبع و مخزن تا حدود زیادی حفظ می‌شود و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مخزن مورد استفاده قرار گیرد. ولی در شرایط تنش یا محدودیت آبی، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مخزن بیش تر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیک موجود بین منبع و مخزن، میزان انتقال ماده خشک از منبع افزایش می‌یابد تا شاید

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر انتقال ماده خشک، سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه و مشارکت فتوسنتز جاری در عملکرد گندم

Table 6. Comparison of means for the effects of nano-iron oxide and supplementary irrigation on dry matter remobilization, contribution of remobilization in grain yield and contribution of current photosynthesis in grain yield of wheat

Treatment [†]	Dry matter remobilization (g.m ⁻²)	Contribution of remobilization in grain yield (%)	contribution of stem reserve in grain yield (%)	Contribution of current photosynthesis in grain yield (%)	
Nano-iron oxide (g.lit ⁻¹)	Fe ₀	90.33	26	19.65	73.99
	Fe ₁	81.3	23.19	18.01	76.8
	Fe ₂	71.7	19.88	15.75	80.11
	Fe ₃	61	16.54	13.34	83.46
LSD	-	8.26	2.93	1.28	2.93
Irrigation	I ₁	91.92	27.57	22.16	72.42
	I ₂	60.02	14.25	10.89	85.74
	I ₃	76.3	22.38	17.01	77.62
LSD	-	7.15	2.54	1.1	2.54

[†]: Fe₀, Fe₁, Fe₂ and Fe₃ are no-application and application of 0.3, 0.6 and 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide, respectively, and I₁, I₂ and I₃ are no-irrigation (rainfed) and supplementary irrigation at booting and heading stages, respectively.

کربوهیدرات‌ها از ساقه گندم در شرایط نامساعد محیطی بیش از شرایط نرمال (بدون تنش) می‌باشد که می‌تواند ناشی از کاهش فتوسنتز به‌واسطه بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی باشد. در شرایط تنش، سهم ذخائر بخش‌های رویشی به‌ویژه ساقه در تولید عملکرد، به خاطر کاهش فتوسنتز جاری، افزایش می‌یابد (Lak et al., 2014). پیک و همکاران (Peik et al., 2014) نیز گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی نسب به شرایط دیم موجب کاهش سهم بازگسیل از ساقه گندم شد.

میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد

دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان فتوسنتز جاری (۴۱۴ گرم در متر مربع) در شاهد بدون محلول‌پاشی تحت شرایط دیم و کم‌ترین آن (۲۲۴ گرم در متر مربع) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۵). مدحج و همکاران (Modhej et al., 2011) بیان داشتند با وجود اینکه در شرایط بهینه، فتوسنتز جاری بیش‌ترین سهم را در وزن دانه ژنوتیپ‌های گندم دارد، ولی در برخی پژوهش‌ها مشخص شده است که سهم بازگسیل مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی و گرمای پایان فصل افزایش می‌یابد. اگرچه احتمال کاهش میزان بازگسیل در شرایط نامساعد محیطی پایان فصل، به دلیل کاهش میزان وزن خشک اندام‌های رویشی وجود دارد، ولی جبران اثر منفی تنش گرما و خشکی بر میزان تولید جاری مواد فتوسنتزی، از طریق افزایش سهم بازگسیل مواد ذخیره شده در مراحل پیش از گرده‌افشانی تا حدودی امکان‌پذیر است.

میزان بازگسیل از ساقه و سهم این فرآیند در عملکرد

دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان بازگسیل از ساقه (۸۱/۷۰ گرم در متر مربع) در شاهد بدون محلول‌پاشی تحت شرایط دیم و کم‌ترین آن (۳۵/۹۶ گرم در متر مربع) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۵). پیک و همکاران (Peik et al., 2014) گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی نسب به شرایط دیم موجب کاهش میزان بازگسیل از ساقه گندم شد. جشنی و همکاران (Jashni et al., 2017) گزارش کردند که محلول‌پاشی عنصر آهن با بهبود فتوسنتز گیاه و افزایش محتوای عناصر کم‌مصرف دانه موجب کاهش وابستگی گیاه به بازگسیل مواد شد، طوری‌که کارایی بازگسیل از ساقه به دانه نسبت به شاهد به‌شدت کاهش یافت.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (به ترتیب ۲۲/۱۶ و ۱۰/۸۹ درصد) تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۶)، همچنین بیش‌ترین (۱۹/۶۵ درصد) سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه در بدون محلول‌پاشی و کم‌ترین آن (۱۳/۳۴ درصد) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن به‌دست آمد (جدول ۶). کومار و همکاران (Komar et al., 2006) بیان داشتند که با افزایش کمبود آب، سهم ماده خشک ذخیره شده در ساقه‌ها و به‌ویژه برگ‌ها برای پر شدن دانه افزایش می‌یابد. مهرپویان و همکاران (Mehrpooyan et al., 2012) گزارش کردند که در مجموع میزان، کارایی و سهم بازگسیل

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر طول سنبله و تعداد دانه در سنبله گندم

Table 7. Comparison of means for the effects of nano-iron oxide and irrigation levels on number of grain per spike and spike length

Treatment [†]		Spike length (cm)	No. of grain per spike
Nano-iron oxide (g.lit ⁻¹)	Fe ₀	8.25	18.88
	Fe ₁	8.36	20.22
	Fe ₂	8.49	20.77
	Fe ₃	8.68	21.44
LSD	-	0.14	0.51
Irrigation level	I ₁	8.02	17.66
	I ₂	8.91	22.91
	I ₃	8.41	20.41
LSD	-	0.12	1.07

[†]: Fe₀, Fe₁, Fe₂ and Fe₃ are no-application and application of 0.3, 0.6 and 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide, respectively, and I₁, I₂ and I₃ are no-irrigation (rainfed) and supplementary irrigation at booting and heading stages, respectively.

موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شد. بخشی از افزایش طول سنبله را در شرایط آبیاری تکمیلی می‌توان به افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت داد، زیرا آبیاری تکمیلی به دلیل جلوگیری از خشک شدن دانه کرده منجر به افزایش تعداد گل‌های تلقیح شده و افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود (Luigi *et al.*, 2008) که در نهایت منجر به افزایش طول سنبله می‌شود.

در مورد تعداد دانه در سنبله نیز انجام آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله (۸/۹۱ سانتی‌متر) نسبت به کشت دیم (۸/۰۲ سانتی‌متر) شد (جدول ۷). هم‌چنین محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن موجب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شد (جدول ۷). لیوگی و همکاران (Luigi *et al.*, 2008) کاهش تعداد دانه در سنبله را به اثر سوء تنش خشکی در باروری تخمک‌ها و طی شدن سریع‌تر مراحل نمو گیاه نسبت دادند. در مطالعه تاتاری و همکاران (Tatari *et al.*, 2012) آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی با حفظ گلچه‌های تولیدی در گیاه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله شد. سیدشرفی و خلیل‌زاده (Seyed Sharifi and Khalilzadeh, 2017) گزارش کردند که تعداد گلچه‌هایی که در گیاه پس از شروع رشد سریع سنبله و ساقه باقی می‌ماند و سرعت رشد طبیعی دارند، با قابلیت دسترسی به آب متناسب است.

عملکرد دانه: در این بررسی عملکرد دانه تحت تاثیر نانو اکسید آهن، آبیاری تکمیلی و برهم‌کنش این دو عامل قرار گرفت (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد دانه در واحد سطح (۴۵۲ گرم در متر مربع) به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۳۲۶/۵۰ گرم در متر مربع) به عدم محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط دیم تعلق داشت (جدول ۶). البته عملکرد دانه، اختلاف آماری معنی‌داری بین دو ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله آبستنی با محلول‌پاشی ۰/۶ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری در مرحله آبستنی نداشت (جدول ۵). کاهش عملکرد تحت شرایط دیم، ممکن است به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و بازگسیل مواد ذخیره شده از بخش‌های مختلف گیاهی از جمله ساقه‌ها باشد (Entz and Flower, 1990). مادح‌خاکسار و همکاران (Madeh Khaksar *et al.*)

همان‌تارانجان و گرای (Hemantaranjan and Gray, 1988) نشان دادند که مصرف آهن به‌دلیل نقش آن در ساختار کلروفیل موجب افزایش و تداوم بیش‌تر فتوسنتز جاری می‌شود. مادح‌خاکسار و همکاران (Madeh Khaksar *et al.*, 2014) نیز کاهش فتوسنتز جاری ناشی از تنش خشکی نسب به شرایط آبیاری (بدون تنش) را به کاهش مخازن پذیرنده مواد فتوسنتزی و کاهش سطح فتوسنتز کننده نسبت دادند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد (۷۲/۴۲ درصد)، تحت شرایط دیم و بیش‌ترین آن (۸۵/۷۴ درصد) در آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی به‌دست آمد (جدول ۶)، هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد (به ترتیب ۸۳/۴۶ و ۷۳/۹۹ درصد) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن و شاهد بدون محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۶). نمروری و همکاران (Namarvari *et al.*, 2013) گزارش کردند که در شرایط آبیاری به‌دلیل انجام فتوسنتز کامل، مواد مورد نیاز برای پر شدن دانه تامین می‌شود و میزان بازگسیل کاهش می‌یابد و انجام آبیاری موجب افزایش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه می‌شود. در مقابل، در شرایط تنش به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی، فتوسنتز جاری کاهش و در نتیجه مواد مورد نیاز برای پر شدن دانه از طریق بازگسیل ماده خشک افزایش می‌یابد. مادح‌خاکسار و همکاران (Madeh Khaksar *et al.*, 2014) نشان دادند که در شرایط آبیاری به‌دلیل توسعه برگ بیش‌تر در طول دوره رویشی، مواد بیش‌تری در بخش‌های مختلف گیاه ذخیره شد و از آن‌جا که به‌دلیل تامین آب کافی، دوام سطح برگ بیش‌تری داشت، از این‌رو با جذب نور بیش‌تر و انجام واکنش‌های فتوسنتزی، موجب بهبود فتوسنتز جاری و افزایش سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد شد.

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله: بررسی تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی نشان داد که اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر طول سنبله معنی‌دار نبود (جدول ۴). انجام آبیاری تکمیلی در مرحله چکمه‌دهی موجب افزایش ۱۱ درصدی طول سنبله نسبت به کشت دیم شد (جدول ۷). هم‌چنین محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن موجب افزایش طول سنبله نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۷). شمسی و همکاران (Shamsi *et al.*, 2010) گزارش کردند که تنش آبی

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که سهم فرایند انتقال ماده خشک به‌ویژه در شرایطی که گیاه با محدودیت آبی زیادی مواجه است، نقش زیادی در عملکرد دانه گندم دارد. تحت شرایط دیم و بدون محلول‌پاشی، انتقال ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه افزایش یافت، ولی کاربرد نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی موجب کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی شد. همچنین، کاربرد توام آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید آهن موجب افزایش عملکرد دانه، میزان آنتوسیانین و فتوسنتز جاری و کاهش هدایت الکتریکی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی تحت شرایط دیم شد.

(al., 2014) افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری را به افزایش فتوسنتز جاری از طریق افزایش سطح برگ و بهبود فتوسنتز که منجر به افزایش سهم فتوسنتز جاری نسبت به بازگسیل مواد در عملکرد دانه می‌شود، نسبت دادند. همانتارانجان و گرای (Hemantaranjan and Gray, 1988) نشان دادند که مصرف آهن به‌دلیل نقش آن در ساختار کلروفیل، موجب تدوam بیش‌تر فتوسنتز جاری شده و از این طریق موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. بخشی از بهبود عملکرد در شرایط کاربرد نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله آبستنی را می‌توان به کاهش میزان پراکسید هیدروژن تولیدی نسبت داد که موجب کاهش هدایت الکتریکی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (جدول‌های ۳ و ۵) که به نوعی موجب افزایش پایداری غشا و بهبود شرایط گیاه و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود (جدول ۵).

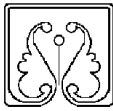
References

- Abbaspour, S. 2011.** Effects of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield and some agronomic characteristics of triticale. M. Sc. Dissertation, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Persian).
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. 2001.** The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell and Environment** 24: 1337-1344.
- Amirinejad, M., Akbari, G. A., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M. and Naimi, M. 2016.** Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. **Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)** 17 (4): 855-866. (In Persian with English Abstract).
- Amraei, B., Paknejad, F., Ebrahimi, M. A. and Sobhanian, H. 2017.** Effects of methanol spraying on some biochemical and physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. **Journal of Plant Ecophysiological Research** 12 (45): 81-94. (In Persian with English Abstract).
- Ashraf, M. A., Rasheed, R., Hussain, I., Iqbal, M., Haider, M. Z., Parveen, S. and Sajid, M. A. 2015.** Hydrogen peroxide modulates antioxidant system and nutrient relation in maize (*Zea mays* L.) under water-deficit conditions. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61 (4): 507-523.
- Azizkhani, Sh. 2014.** Effects of iron on morphology train of strawberry cultivar Ventana in non-soil culture. M. Sc. Dissertation, University of Lorestan, Khorramabad, Iran. (In Persian).
- Barnett, K. H. and Pearce, P. B. 1983.** Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science** 23: 101-109.
- Borras, L., Slafer, G. A. and Otegui, M. E. 2004.** Seed dry weight response to source-sink manipulation in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. **Field Crops Research** 86: 131-146.
- Davidson, D. J. and Chevalier, P. M. 1992.** Storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stems of spring wheat. **Crop Science** 32: 186-190.
- ESCWA and ICARDA. 2003.** Enhancing agricultural productivity through on-farm water-use efficiency: An empirical case study of wheat production in Iraq. Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), United Nations, New York. 34 p.

- Ehdaei, B. and Wanies, G. 1996.** Genetic variation for contribution of pre anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. **Journal of Genetics and Breeding** 50: 47-56.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A. and Wainies, J. G. 2008.** Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserve to grain yield in wheat. **Field Crops Research** 106: 34-43.
- Entz, M. H. and Flower, D. B. 1990.** Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to postanthesis environmental stress. **Crop Science** 30: 1119-1123.
- Etemadi, F., Madah Hosseini, S., Dashti, H. and Akhgar, A. 2014.** Investigation of the effect of plant growth promoting *rhizobacteria* on some growth indices and yield parameters of safflower under different soil salinity levels. **Journal of Crop Production and Processing** 4 (11): 77-87. (In Persian with English Abstract).
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M. and Heshmati, S. 2015.** Study the effect of iron chelate on chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in Safflower under deficit irrigation condition. **Iranian Journal of Field Crop Science** 46 (1): 137-145. (In Persian with English Abstract).
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavi, S. A. M. and Heshmati, S. 2011.** The effects of soil and foliar application of Fe on some biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under two irrigation regimes. **Iranian Journal of Field Crop Science** 42 (3): 509-518. (In Persian with English Abstract).
- Fokar, M., Blum, A. and Nguyen, H. T. 2006.** Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. **Euphytica** 104 (1): 9-15.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. 2010.** Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry** 48 (12): 909-930.
- Hasheminasab, H., Assad, M. T. and Emam, Y. 2013.** Effect of drought stress on antioxidant enzymes and cell death related traits in resistant and susceptible wheat cultivars at grain filling stage. **Journal of Crop Production and Processing** 3 (9): 1-14. (In Persian with English Abstract).
- Heidari, N., Pouryousef, M. and Tavakoli, A. 2015.** Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). **Journal of Plant Research** 27 (5): 829-839. (In Persian with English Abstract).
- Hemantaranjan, A. and Gray, O. K. 1988.** Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality *Triticum aestivum* L. **Journal of Plant Nutrition** 11: 1439-1452.
- Hong, W. and Ji-Yan, J. 2007.** Effects of zinc deficiency and drought stress on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). **Agricultural Science in China** 6 (8): 988-995.
- Janmohammadi, M., Ahmadi, A. and Poustini, K. 2011.** Effect of leaf area reduction and nitrogen application on stomatal characteristics of flag leaf and grain yield of wheat under deficit irrigation. **Journal of Crop Production** 3 (4): 177-194.
- Jashni, R., Fateh, E. and Aynehband, A. 2017.** Effect of thiobacillus and nitrocarra biological fertilizers and foliar application of zinc and iron on some qualitative characteristic and remobilization of rapeseed (*Brassica napus* L.). **The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)** 40 (1): 1-15. (In Persian with English Abstract).
- Komar, R., Sarawagi, A. K., Ramos, C., Amarante, S. T., Isail, A. M. and Wade, L. J. 2006.** Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. **Field Crops Research** 96 (2-3): 455-465.
- Lack, S., Naderi, A., Saidat, S. A., Ayenehband, A., Nour Mohammadi, G. and Moosavi, S. 2008.** The effects of different levels of irrigation, nitrogen and plant population on yield, yield components and dry matter remobilization of corn at climatical conditions of Khuzestan. **Journal of Water and Soil Science** 11 (42):1-14. (In Persian with English Abstract).
- Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H. and Deng, X. 2000.** Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. **Scientia Horticulturae** 83: 43-50.
- Li, Z. Z., Li, W. D. and Li, W. L. 2004.** Dry-period irrigation and fertilizer application affect water use and yield of spring wheat in semi- arid region. **Agricultural Water Management** 65 (2): 133-143.
- Lin-Wang, K., Bolitho, K., Grafton, K., Kortstee, A., Karunairetnam S., McGhie, T., Espley, R., Hellens, R. and Allan, A. 2010.** An R₂R₃ MYB transcription factor associated with regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway in Rosaceae. **BMC Plant Biology** 10: 50.

- 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.
- Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneband, A. and Lack, Sh. 2014.** Interaction deficit irrigation and irrigation-cut on reserve materials redistribution, current photosynthesis, and its relation with yield of grain maize. **Crop Physiology Journal** 6 (22): 53-68. (In Persian with English Abstract).
- Mehrpouyan, M., Zakavati, B. and Ajalli, J. 2012.** A survey on reserve remobilization from different aerial organs in 10 wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under with and without drought stress conditions. **Journal of Crop Production and Processing** 2 (3): 69-82. (In Persian with English Abstract).
- Miller, G., Suzuki, N. and Ciftci-Yilmaz, S. 2010.** Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant Cell and Environment** 33: 453-467.
- Modhej, A., Emam, Y. and Ayeneband, A. 2011.** Effect of nitrogen levels on source restriction and the pattern of assimilate redistribution to grains in wheat genotypes under post-anthesis heat stress conditions. **Iranian Journal of Field Crops Research** 9 (3): 474-485. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadi, M., Majnoun Hosseini, N. and Dashtaki, M. 2016.** Effects of nano-ferric oxide and zinc sulfate on chlorophyll, anthocyanin, flavonoid and leaf mineral elements of peppermint (*Mentha piperita* L.) at Karaj climatic conditions. **Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants** 32 (5): 770-783. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2007.** Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. **Pakistan Journal of Biological Science** 10: 3835-3840.
- Moradi Telavat, M. R., Alamisaeed, Kh., Karmollachaab, A. and Hasanvand, H. 2018.** Response antioxidant enzymes, lipid peroxidation and cell death of rice cultivars to salinity stress. **Journal of Plant Process and Function** 6(19): 293-302.
- Morales, F., Abadia, A. and Abadia, J. 1995.** Characterization of the xanthophylls cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet. **Plant Physiology** 94: 607-613.
- Namarvari, M., fathi, G., Bakhshandeh, A., Gharineh, M. H. and Jafari, S. 2013.** The effect of irrigation timing and different fertilizer systems (NPK application) and manure on remobilization and current photosynthesis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Production** 36(2): 99-109. (In Persian with English Abstract).
- Papakosta, D. K. and Gayians, A. A. 1991.** Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. **Agronomy Journal** 83: 864-870.
- Peak, A., Sasani, Sh., Jalali Honarmand, S., Saeidi M. and Rajabi, R. 2014.** The effects of supplementary irrigation and source limitation on dry matter remobilization of stem in grain at new bread genotypes. Proceedings of the 13th National Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. (In Persian).
- Rezaei Morad Aali, M., Eivazi, A. R., Mohammadi, S. and Shir-Alizadeh, Sh. 2014.** Effect of drought stress on dry matter remobilization and grain yield of winter bread wheat genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 15 (3): 272-315. (In Persian with English Abstract).
- Ruuska, S., Rebetzke, G. J., Van Herwaarden, A. F., Richards, R. A., Fettell, N. A., Tabe, L. and Jenkins, C. 2006.** Genotypic variation for water soluble carbohydrate accumulation in wheat. **Functional Plant Biology** 33: 799-809.
- Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2017.** Cereal crops production. University of Mohagheh Ardabili Press. 410 p. (In Persian).
- Seyed Sharifi, R. and Nazarly, H. 2014.** Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production** 23 (3): 45-57.
- 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.

- Shao, H. B., Chu, L. Y., Shao, M. A., Abdul Jaleel, C. and Hong-Mei, M. 2008.** Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comptes Rendus Biologist** 331: 433-441.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S. and Pessarakli, M. 2012.** Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany** 14: 1-26.
- Shobeiri, S. S., Habibi, D., Kashani, A., Paknejad, F. and Jafari, H. 2015.** Study of physiological traits of grass pea with barely in pure and mixed cropping under dry land and irrigated conditions. **Applied Field Crop Research (Pajouhesh and Sazandegi)** 28 (107): 91-98. (In Persian with English Abstract).
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. and Masia, A. 2004.** Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. **Plant Science** 166: 293-302.
- Stewart, R. C. and Beweley, J. D. 1980.** Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. **Plant Physiology** 65: 245-248.
- Tatari, M., Ahmadi, M. M. and Abbasi Alikamar, R. 2012.** Effect of supplemental irrigation on growth and yield of wheat. **Iranian Journal of Agricultural Research** 1 (2): 455-448. (In Persian with English Abstract).
- Tuncturk, R. and Tuncturk, M. 2006.** Effects of different phosphorous levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences** 2 (6): 336-340.
- Wagner, G. J. 1979.** Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. **Plant Physiology** 64: 88-93.
- Yang, J., Jianhua, Z., Zhiqing, W., Qingsen, Z. and Wei, W. 2001.** Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. **Field Crops Research** 71: 47-55.
- Yang, J. and Zhang, J. 2006.** Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist** 169: 223-236.
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2003.** Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology** 187-206.
- Yousefzadeh, S., Naghdibadi, H., Sabaghnia, N. and Janmohammadi, M. 2016.** The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). **Journal of Medicinal Plants** 4 (60): 152-160. (In Persian with English Abstract).
- Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R. and Noorbakhsh, S. N. 2012.** Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). **Acta Physiologiae Plantarum** 34 (2): 561-568.
- 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.
- Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. and Xia, X. J. 2010.** Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. **Plant Science** 179 (3): 202-208.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 9, No. 1, Spring 2019 (1-16)

Effects of supplementary irrigation and nano-iron oxide on dry matter remobilization, yield and some biochemical traits of wheat under rainfed conditions

Hamed Narimani¹ and Raouf Seyed Sharifi^{2*}

Received: September 4, 2018

Accepted: February 4, 2019

Abstract

To study the effects of supplementary irrigation and nano-iron oxide on dry matter remobilization, yield and some biochemical traits of wheat under rainfed conditions, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil, Ardabil, Iran, in 2016. The experimental factors were included irrigation in three levels (no-irrigation check or rainfed and supplementary irrigation at heading and booting stages) and foliar application of nano-iron oxide in four levels (no-application as check and foliar application of 0.3, 0.6 and 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide). The results showed that 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide foliar application and supplementary irrigation at booting stage increased current photosynthesis and decreased dry matter remobilization from stem and air parts. Also, foliar application of 0.9 g.L⁻¹ nano-iron oxide and supplementary irrigation at booting stage decreased hydrogen peroxide content, malondialdehyde and electrical conductivity of flag leaf, but grain yield increased about 38.43% compared to no-application of nano-iron oxide under rainfed conditions.

Keywords: Antosyanin, Hydrogen peroxide, Malondialdehyde, Microelement, Water limitation

1. M. Sc. Graduated, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com