

تأثیر آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن بر شاخص‌های رشدی، جذب تابش و عملکرد گندم تحت شرایط دیم

حامد نریمانی^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*}، ندا عبادی^۱

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

اردبیل، ایران

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

چکیده

ساز و کارهای متعددی به منظور کاهش اثرات محدودیت آبی ایجاد شده تحت شرایط دیم در رشد گیاهان توسعه یافته‌اند و استفاده از آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن نقش مهمی را در بهبود عملکرد ایفا می‌نمایند. به منظور بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن بر شاخص‌های رشدی، جذب تابش و عملکرد گندم در شرایط دیم، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری شامل عدم آبیاری یا کشت دیم، آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن (بر مبنای کد ۴۵ از تقسیم بندی BBCH)، آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی (بر مبنای کد ۶۱ از تقسیم بندی BBCH) و محلول‌پاشی نانواکسید آهن در چهار سطح (عدم کاربرد نانواکسید آهن به عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید آهن) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن موجب حداکثر شاخص سطح برگ، درصد نور جذب شده، سرعت فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و ماده خشک کل نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم گردید. همچنین محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن، موجب افزایش ۳۸/۴۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم گردید. در مجموع چنین نتیجه‌گیری شد که کاربرد آبیاری تکمیلی و نانواکسید آهن می‌تواند به عنوان یک فاکتور مدیریتی مناسب برای افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آبی باشند.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی، عناصر کم مصرف

* نگارنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که بیش از نیمی از سطح کشت آن در کشور به صورت دیم است. در سال زراعی ۹۴ سطح برداشت گندم در کل کشور حدود ۵/۷ میلیون هکتار برآورد شده است که معادل ۵۰/۲۴ درصد از کل سطح محصولات زراعی و ۷۱/۸۶ درصد از کل سطح غلات کشور است. سهم اراضی آبی ۳۹/۱۵ درصد و اراضی دیم ۶۰/۸۵ درصد است و استان اردبیل با ۶/۳۶ درصد از کل اراضی گندم کشور، مقام هفتم را به خود اختصاص داده است (سیدشریفی و خلیل‌زاده، ۱۳۹۶). در بیشتر مناطق تحت کشت گندم دیم، آب به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی رشدی به حساب می‌آید. از این رو انجام آبیاری تکمیلی در چنین مناطقی که مقدار و پراکنش زمانی بارندگی نامتناسب است می‌تواند به پایداری عملکرد و رضایت بخش در دیم‌زارهای گندم منجر شود (Tavakkoli and Owise, 2002). به بیان دیگر با آبیاری تکمیلی می‌توان از آب‌های محدود حاصل از منابع تجدید شونده در مناطق دیم استفاده بهینه به عمل آورد (Oweis and Hachum, 2004). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد دانه تامین شود. زمان و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که شرایط مطلوب آبیاری، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، فتوسنتز خالص و عملکرد دانه گندم را افزایش داد ولی خشکی موجب کاهش سرعت رشد محصول،

سرعت رشد نسبی، سرعت فتوسنتز خالص و شاخص سطح برگ شد (Sharifi 2017). خرسندی و همکاران (۱۳۹۲) اظهار داشتند که انجام آبیاری تکمیلی موجب افزایش سرعت رشد نسبی ژنوتیپ‌های گندم نسبت به شرایط دیم شد. بهبود شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و دیگر شاخص‌های رشدی اثر زیادی در دستیابی به عملکرد بالا دارند (صداقت و همکاران، ۱۳۹۶). طوری که بهبود شاخص سطح برگ بر مقدار تابش دریافت شده توسط گیاه که تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی است تاثیر گذار است (Pradhan et al., 2018). مقدار ضریب خاموشی نیز به چگونگی توزیع برگ در سطح جامعه گیاهی، مقدار نور عبور یافته توسط جامعه گیاهی و شاخص سطح برگ بستگی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی دیگر از عوامل موثر در بهبود مقاومت گیاه به خشکی، تغذیه مناسب گیاهی است (Yeritsyan and Economakis, 2002). در این راستا آهن از عناصر کم‌مصرف ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود که در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین، فعالیت‌های آنزیمی گیاه و در ساختمان ناقل‌های الکترون نظیر سیتوکروم‌ها و پروتئین‌های مرتبط با فتوسنتز و تثبیت نیتروژن نقش اساسی دارد (هادی و همکاران، ۱۳۹۵). کمبود آهن و غیرقابل جذب بودن آن‌ها در خاک - های آهکی از مشکلات اصلی تولید محصولات کشاورزی است و یکی از شیوه‌های مناسب حل این مشکل، استفاده از محلول‌پاشی است (Debermann, 2006) و در این راستا عرضه آن

۱۳۵۰ متر با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. خاک این اراضی جزء خاک‌های لوم رسی است. pH خاک حدود ۷/۷ و عمق آن حدود ۷۰ سانتی‌متر می‌باشد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و مشخصات جوی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. فاکتور اول آبیاری تکمیلی در مراحل مختلف نموی گیاه (مرحله غلاف رفتن، مرحله سنبله‌دهی و عدم آبیاری یا کشت دیم)، فاکتور دوم شامل کاربرد سطوح نانو اکسید آهن (عدم کاربرد نانو اکسید آهن به عنوان شاهد و محلول پاشی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن) بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. کاشت در ۲۵ آبان ۱۳۹۵ و تاریخ برداشت در ۱۷ تیر ماه ۱۳۹۶ بود. رقم گندم مورد استفاده در این آزمایش رصد بود. به منظور برآورد شاخص‌های رشدی از جمله میزان بیوماس کل^۱ (TDM)، سرعت رشد محصول^۲ (CGR)، سرعت رشد نسبی^۳ (RGR) و سرعت فتوسنتز خالص^۴ (NAR)، از ۱۵۴ روز پس از کاشت و در فواصل زمانی هر ده روز یک بار تا زمان برداشت، نمونه‌برداری به روش تخریبی و از خطوط اصلی هر کرت از سطحی معادل ۰/۰۲ متر مربع انجام گرفت. نمونه‌ها ابتدا در آون الکتریکی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیش‌تر

به شکل نانو ذرات به دلیل آزاد سازی عناصر غذایی به صورت تدریجی و کنترل شده در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (Mazaherinia et al., 2010). عیسوند و همکاران (۱۳۹۳) مشاهده کردند که نانو اکسید آهن موجب افزایش وزن خشک کل، شاخص سطح برگ، سرعت فتوسنتز خالص و سرعت رشد محصول گندم شد.

با توجه به گستردگی مناطق تحت کشت گندم دیم و مواجه شدن بخشی از دوران رشدی این گیاه با محدودیت آبی، و از طرفی به دلیل کمبود عنصر کم‌مصرف آهن در بیشتر خاک‌ها و اهمیت محلول پاشی برگی این عنصر به صورت نانو ذرات در تعدیل بخشی از خشکی و همچنین بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم کنش توام این دو عامل (آبیاری تکمیلی و کم‌مصرف آهن)، موجب شد تا تاثیر آن‌ها بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشدی گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش

به منظور بررسی تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر شاخص‌های رشدی، جذب نور و عملکرد گندم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع از سطح دریا

1- Total Dry Matter (TDM)

2- Crop Growth Rate (CGR)

3- Relative Growth Rate (RGR)

4- Net Assimilation Rate (NAR)

(تا زمان تثبیت وزن خشک آن‌ها) قرار گرفته و سپس توزین شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک

مشخصه	شن	سیلت	رس	pH	فسفر	آهن	پتاسیم	هدایت الکتریکی	آهک	کربن آلی	نیتروژن
	(%)	(%)	(%)		میلی‌گرم بر کیلوگرم		(dS/m)			(%)	(%)
میزان	۳۱	۳۰	۳۹	۷/۷۶	۱۲/۲	۵/۱	۴۹۵	۱/۵۴	۵	۰/۸۵۸	۰/۰۸

جدول ۲- مشخصات جوی در طول دوره رشدی گندم (شش ماهه دوم سال ۱۳۹۵ و چهارماهه اول ۱۳۹۶)

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
بارندگی	۴/۸	۴۰/۳	۲۸/۹	۳/۴	۳۵/۲	۹/۴	۳/۳	۳۲/۹	۲/۴	۹/۳
میانگین حداقل دما	۶/۱	۱/۷	۴/۶	-۵/۱	-۸/۲	-۱/۴	۲/۱	۷/۴	۱۰	۱۲/۸
میانگین حداکثر دما	۱۸/۴	۱۲/۵	۳/۵	۵/۸	۰/۲	۹/۴	۱۴/۳	۲۱/۴	۲۴/۵	۲۶/۱
میانگین دمای روزانه	۱۲/۲	۷/۱	۰/۶	۰/۴	-۴	۴	۸/۲	۱۴/۴	۱۷/۳	۱۹/۵
میانگین رطوبت	۷۶	۷۵	۶۵	۶۴	۸۲	۶۹	۶۹	۶۲/۶	۶۸	۶۰/۶
مجموع ساعات آفتابی	۲۰۱/۳	۱۵۱/۴	۱۷/۸	۲۱۰/۹	۱۲/۹	۲۰۹/۱	۲۰۲/۷	۲۳۲/۶	۳۳۱/۷	۳۲۸/۳

ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل

رابطه ۵ $NAR = CGR/LAI$

در این روابط t فاصله زمانی بین مراحل نمونه برداری a، b و c ضرایب معادله هستند.

برای محاسبه میزان تابش جذب شده، یک هفته بعد از اعمال اولین آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن در فواصل زمانی هر ۱۰ روز یکبار تابش نور خورشید در بالا و داخل جامعه گیاهی در یک روز صاف و آفتابی، بدون باد و گرد و غبار و ابر در کف و بالای کانوپی بین ساعت ۱۴-۱۲ توسط دستگاه Sunscan مدل Delta-T Devices ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد. درصد تابش جذب شده بر اساس معادله زیر محاسبه شد (Hashemi-Dezfuli,)

در انجام محاسبه‌های مربوط به آنالیزهای رشد، بر اساس تجزیه رگرسیونی مربوطه مشخص شد که تغییرات وزن خشک گیاه از معادله درجه سه و شاخص سطح برگ از معادله درجه دو تبعیت می‌کند و با استفاده از روابط زیر زیست توده کل، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ^۱ (LAI) و سرعت فتوسنتز برآورد شدند (Karimi and Siddique, 1991).

رابطه ۱ $TDM = e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}$

رابطه ۲ $CGR = (b + 2ct + 3d^2)e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}$

رابطه ۳ $RGR = b + 2ct + 3dt^2$

رابطه ۴ $LAI = e^{(a+bt+ct^2)}$

1- Leaf Area Index (LAI)

$$GDD = \left[\sum_1^n \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] - T_b \right] \quad \text{رابطه ۸} \quad (1990)$$

Tmax حداکثر درجه حرارت روزانه، Tmin حداقل درجه حرارت روزانه، Tb درجه حرارت پایه و n تعداد روزها در یک محدوده زمانی معین است که در این مطالعه تعداد روز از زمان کاشت تا برداشت را شامل می‌شود. (Salazar-Gutierrez et al., 2013).

رابطه ۶ $100 \times [(I_0 - I_1)/I_0]$ = درصد تایش جذب شده که در آن I₀ و I₁ به ترتیب تابش در بالا و کف کانوپی و k ضریب خاموشی است که از فرمول زیر محاسبه شد (Gallo et al., 1993).

$$I_1 = I_0 \times e^{-KLAI} \quad k = -\ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) / LAI$$

برای محاسبه درجه روز از رابطه زیر استفاده شد.



شکل ۱- درجه روز تجمعی در طول دوره رشدی گندم (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

مربع) با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع برداشت شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

بیوماس کل (TDM): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر هر دو

قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر کرت تعدادی کیسه‌های پلاستیکی در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر قسمت‌ها قرار داده شد و تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده بود. بعد از برداشت بوته‌ها، برای اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، خارج سازی ریشه‌ها از کیسه‌ها (از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع) انجام شد. ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه (۰/۲ متر

جذب شده توسط گیاه افزایش یابد و همین امر موجب افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک (شکل ۲) می‌شود. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند محلول‌پاشی آهن موجب افزایش وزن خشک کل نسبت به تیمار محلول‌پاشی نشده گردید و این افزایش را به فتوسنتز بیشتر در نتیجه‌ی افزایش غلظت کلروفیل به‌خصوص کلروفیل a و نیز افزایش فعالیت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز دی فسفات کربوکسیلاز بواسطه‌ی کاربرد آهن نسبت دادند.

سرعت رشد محصول (CGR): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر هر دو فاکتور مورد بررسی در تمامی مراحل نمونه برداری بر سرعت رشد محصول معنی‌دار بود. روند تغییرات سرعت رشد محصول در تمامی تیمارهای مورد بررسی با گذشت زمان از مرحله کاشت افزایش قابل توجهی داشته و سپس از روند نزولی برخوردار شده و در نهایت منفی شد. البته این تغییرات در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم متفاوت بود (شکل ۳). محققان علت کاهش سرعت رشد محصول را در شرایط محدودیت آبی به زردی برگ‌ها، ریزش برگ‌ها، کاهش سطح برگ و درصد تابش جذب شده نسبت دادند (Sharifi, 2017). شیب کاهش سرعت رشد محصول در شرایط آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله‌دهی نسبت به شرایط دیم (بدون آبیاری) کندتر بود و دلیل این وضعیت احتمالا شیب ملایم‌تر کاهش سرعت فتوسنتز خالص در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن باشد

فاکتور مورد بررسی در تمامی مراحل نمونه برداری بر بیوماس کل معنی‌دار بود. بررسی روند تغییرات ماده خشک نشان داد که بیوماس کل در ابتدای فصل رشد در تمامی تیمارهای مورد بررسی از الگوی نسبتا یکسانی پیروی می‌کند (شکل ۲). به‌طوری که در کلیه ترکیبات تیماری، روند تغییرات ماده خشک کل در ابتدا کند بود ولی در ادامه فصل رشد با افزایش سطح برگ (شکل ۶) و فتوسنتز گیاه، تجمع ماده خشک شدت بیشتری به خود گرفت، سپس در انتهای دوره رشد از روند کاهشی برخوردار گردید (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد این کاهش ناشی از افزایش سن گیاه، پیری برگ‌ها، کاهش کلروفیل و عدم توانایی آن‌ها در ساخت مواد فتوسنتزی و در نهایت ریزش برگ‌ها باشد (کمری و همکاران، ۱۳۹۳). بیش‌ترین ماده خشک تولیدی (۱۶۶۶/۶۷ گرم در متر مربع) به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۵۶۶/۶۷ گرم در متر مربع) به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم تعلق داشت (شکل ۲ و جدول ۵). به‌نظر می‌رسد انجام آبیاری با تامین رطوبت مورد نیاز گیاه و افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۶) و توزیع مناسب‌تر پوشش گیاهی، قادر است ضمن افزایش درصد جذب تابش (جدول ۱۴ و شکل ۷)، تولید ماده خشک توسط کانوبی را افزایش دهد (Rahman, 1992). نتیجه مشابهی نیز توسط صداقت و همکاران (۱۳۹۶) گزارش شده است. کاندولیا و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که به‌دلیل نقش آهن در افزایش محتوای کلروفیل و شاخص سطح برگ موجب می‌شود تشعشع

که در شکل مشاهده می‌شود در تمامی ترکیبات تیماری سرعت رشد گیاه در مراحل اولیه بالا بوده و با گذشت زمان از روند نزولی برخوردار شده و در نهایت منفی شد (شکل ۴). زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند (Sharifi, 2017). در شرایط دیم سرعت رشد نسبی کاهش یافت و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و انجام آبیاری تکمیلی موجب افزایش سرعت رشد نسبی شد. بیش‌ترین سرعت رشد نسبی (۰/۱۴ گرم بر گرم در روز) در کاربرد ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۰/۰۸۲ گرم بر گرم در روز) در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم به‌دست آمد (شکل ۴ و جدول ۹). رضائیان‌زاده (۱۳۸۷) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی نخود موجب می‌شود که منحنی سرعت رشد نسبی با شیب کندتری کاهش یابد. میرزاوند و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه، به واسطه افزایش شاخص سطح برگ و سرعت فتوسنتز خالص موجب افزایش سرعت رشد نسبی نخود شد. در گزارش عیسوند و همکاران (۱۳۸۷)، استفاده از نانوآکسید آهن در گندم، سرعت رشد نسبی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

سرعت رشد نسبی (RGR): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد که اثر هر دو فاکتور مورد بررسی در تمامی مراحل نمونه برداری بر سرعت فتوسنتز خالص معنی‌دار بود.

(شکل ۳). چنین روندی به نظر می‌رسد ناشی از افزایش تدریجی و فزاینده‌ی جذب تشعشع خورشیدی همزمان با افزایش سطح برگ (شکل ۶) در اوایل فصل رشد باشد (Sharifi, 2017). به‌نظر می‌رسد انجام آبیاری تکمیلی با افزایش سطح برگ (شکل ۶)، موجب می‌شود نور بیشتری توسط گیاه دریافت شود که به بهبود سرعت فتوسنتز خالص (شکل ۵) و افزایش سرعت رشد گیاه منجر می‌شود. بیش‌ترین سرعت رشد محصول (۲۳/۱۸ گرم در متر مربع در روز) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۱۲/۳۳ گرم در متر مربع در روز) در عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم در ۱۹۴ روز پس از کاشت به‌دست آمد (شکل ۳ و جدول ۶). باید در نظر داشت که افزایش سطح برگ باعث افزایش میزان فتوسنتز می‌شود که به تبع آن سرعت رشد محصول نیز بالا می‌رود (خرسندی و همکاران، ۱۳۹۲). میرزاوند و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ی نخود به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و دریافت تشعشع بیشتر توسط گیاه، موجب شد سرعت رشد محصول نسبت به شرایط دیم افزایش یابد. شریفی (۲۰۱۷) نیز مشاهده کرد که در شرایط مطلوب آبیاری با افزایش شاخص سطح برگ و جذب نور، فتوسنتز و رشد محصول گندم افزایش می‌یابد.

سرعت رشد نسبی (RGR): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد که اثر هر دو فاکتور مورد بررسی در تمامی مراحل نمونه برداری بر سرعت رشد نسبی معنی‌دار بود. همانطور

اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی بسته شدن روزنه‌ها منجر به کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش سطح برگ و سرعت جذب خالص می‌شود. بایونلو جیمز و همکاران (۲۰۰۳) علت کاهش سرعت جذب خالص در شرایط محدودیت آبی را علاوه بر بسته شدن روزنه‌ها به کاهش توانایی گیاه در تخصیص مواد فتوسنتزی به فرآیند رشد و همچنین افزایش مصرف مواد فتوسنتزی در فرآیند تنفس نسبت دادند. به نظر می‌رسد بخشی از افزایش سرعت جذب خالص به نقش آهن در افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان (Kandoliya et al., 2018)، و افزایش بیشتر شاخص سطح برگ (عیسوند و همکاران، ۱۳۹۳) مرتبط باشد. رضائیان‌زاده (۱۳۸۷) اعلام کرد سرعت فتوسنتز خالص در شرایط آبیاری تکمیلی بالاتر و از شیب کاهش ملایم‌تری برخوردار بود و علت آن را به توزیع مناسب‌تر پوشش گیاهی و دریافت بهتر تشعشع توسط گیاه نسبت داد، از آنجایی که گلدهی مصادف با شروع سرعت بالای فتوسنتز و رشد گیاه است، از این رو آبیاری تکمیلی در این مرحله موجب بهبود فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه افزایش سرعت جذب خالص می‌شود. پارسا و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی با افزایش شاخص سطح برگ و توزیع مناسب پوشش گیاهی و بدنبال آن دریافت بهتر تشعشع توسط کانوپی گیاه، موجب افزایش سرعت فتوسنتز خالص در نخود شد. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۸) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آهن، سرعت فتوسنتز خالص را به علت جذب زیاد تشعشع خورشیدی در ذرت

بررسی روند تغییر سرعت فتوسنتز خالص در کاربرد نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در شکل ۵ نشان داد که در مراحل اولیه‌ی رشد، به دلیل حداقل رقابت نوری و سایه‌اندازی، میزان فتوسنتز خالص حداکثر است. ولی با گذشت زمان و بتدریج با افزایش سطح برگ و متعاقب آن سایه‌اندازی برگ‌ها، راندمان تولید در هر برگ کاهش یافته و از این رو سرعت فتوسنتز خالص با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن سرعت کاهش فتوسنتز خالص با شیب کندتری همراه بوده که به نظر می‌رسد دلیل آن با تاثیر مثبت آبیاری در حفظ کارایی فتوسنتز برگ‌ها مرتبط باشد. نتایج مشابهی نیز توسط رآی و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر اینکه سرعت فتوسنتز خالص در اوایل فصل رشد در حداکثر مقدار خود بوده و با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد گزارش شده است. سام دلیری و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند سرعت فتوسنتز خالص با افزایش سن گیاه یک افت نزولی نشان می‌دهد و شرایط تنشی حاکم در محیط موجب می‌شود که این روند کاهشی تسریع شود و زمانی که برگ‌های جدیدی اضافه می‌شوند به علت سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، وزن خشک به دست آمده به‌ازای واحد سطح برگ کاهش یابد. بیش‌ترین سرعت فتوسنتز خالص (۱۴/۸۲ گرم بر متر مربع در روز) در محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانواکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۸/۰۸ گرم بر متر مربع در روز) در عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم به‌دست آمد (شکل ۵ و جدول ۱۰). سودر و همکاران (۱۹۹۷)

دادند. پارسا و همکاران (۱۳۹۰) نیز مشاهده کردند که در شرایط آبیاری تکمیلی، با توزیع بهتر تشعشع و تشکیل سریعتر کانوپی به علت فراهمی رطوبت، ریزش برگ‌های تحتانی دیرتر اتفاق افتاده و در نهایت موجب افزایش شاخص سطح برگ در نخود می‌شود. شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند محلول‌پاشی سولفات آهن با افزایش تعداد برگ‌های فعال و سطح دریافت‌کننده نور، موجب افزایش ۱۵ درصدی شاخص سطح برگ و افزایش درصد جذب نور شد. سلیمانی و همکاران (۱۳۸۸) دلیل افزایش شاخص سطح برگ در شرایط محلول‌پاشی با آهن در ذرت علوفه‌ای را به افزایش محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز نسبت دادند.

درصد جذب تابش: همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد بیش‌ترین تابش جذب شده در تمامی مراحل نمونه‌برداری مربوط به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کم‌ترین آن در عدم محلول‌پاشی در شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۱۴). همان ترکیبات تیماری که شاخص سطح برگ (شکل ۶) در آن‌ها بیشتر بود. شاخص سطح برگ بالاتر در ابتدای رشد نقش مهمی در تولید ماده خشک دارد (Maio et al., 2016). میزان جذب تشعشع توسط گیاه وابسته به شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و آرایش فضایی اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد (Tohidi et al., 2012).

علوفه‌ای افزایش داد. همچنین عیسوند و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که استفاده از نانوآکسید آهن با افزایش دوام سطح برگ موجب افزایش سرعت فتوسنتز خالص در گندم شد.

شاخص سطح برگ (LAI): نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۱۱) نشان داد که اثر هر دو فاکتور مورد بررسی در تمامی مراحل نمونه برداری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به تنش خشکی در طول فصل رشد (شکل ۶) برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت و زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در شرایط دیم بسیار کمتر از آبیاری در مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی بود (شکل ۶). به طوری که در ابتدای فصل رشد میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن به سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به‌نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها، روند نزولی مشاهده شد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۲/۶۲) در کاربرد ۰/۹ گرم بر لیتر نانوآکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن در ۱۹۴ روز پس از کاشت و کم‌ترین آن (۰/۲۴) در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم در ۲۳۴ روز پس از کاشت به‌دست آمد (شکل ۶ و جدول ۱۲). خلیل‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) دلیل کاهش شاخص سطح برگ در شرایط محدودیت آبی را به افزایش سن گیاه، پیری برگ‌ها، کاهش محتوای نسبی کلروفیل و عدم توانایی آن‌ها در ساخت مواد فتوسنتزی نسبت

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر بیوماس کل گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات									درجه آزادی	منبع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)										
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴		
۷۵۲۹/۸۶*	۵۲۶۹/۴۴*	۱۶۸۷۷/۷۷**	۷۷۷۵/۶۹*	۷۷۰۲/۰۸**	۵۴۰۴/۸۶**	۲۵۵۶/۲۵*	۶۲۱۴/۵۸**	۶۴/۵۸ ^{NS}	۲	بلوک
۱۲۲۹۷۱۹/۴۴**	۱۸۹۶۰۵۲/۳۶**	۱۲۶۴۷۰۹/۰۲**	۶۸۸۸۵۹/۰۲**	۳۳۹۲۲۷/۰۸**	۱۹۹۳۵۲/۷۷**	۱۴۱۷۰۰/۰۰**	۲۷۹۱۸/۷۵**	۴۲۹۳/۷۵**	۲	آبیاری تکمیلی
۳۷۸۰۳۲/۴۰**	۳۱۴۱۰۰/۹۲**	۲۴۲۷۴۱/۶۶**	۱۴۳۷۰۸/۳۳**	۹۲۸۶۳/۶۵**	۸۸۵۴/۶۲**	۳۱۹۰۸/۱۰**	۲۱۹۴۳/۲۸**	۲۵۶/۲۵ ^{NS}	۳	نانو اکسید آهن
۱۶۷۱۵/۷۴**	۳۰۳۵۱/۶۲**	۴۴۴۵/۱۳*	۳۹۷۰/۱۳*	۲۷۶۲/۲۶*	۵۳۷۹/۶۲**	۱۶۵۷/۴۰*	۱۶۳۳/۵۶*	۱۹۱۵/۹۷**	۶	آهن×آبیاری
۱۸۹۰/۴۶	۱۳۸۸/۳۸	۱۷۱۶/۴۱	۲۳۶۵/۸۴	۱۵۳۱/۶۲	۷۸۱/۳۷	۷۷۸/۹۷	۹۵۵/۴۹	۴۰۶/۲۵	۲۲	خطا
۴/۱۹	۳/۱۶	۳/۴۳	۳/۹۱	۴/۵۰	۳/۹۰	۵/۴۱	۱۱/۳۹	۱۸/۸۲	-	ضریب تغییرات

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت رشد محصول گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات								درجه آزادی	منبع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									
۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴		
۷۴/۶۶**	۶/۲۵ ^{NS}	۶/۰۶ ^{NS}	۱۲۰/۱۳**	۱۰۳/۲۷**	۸۱/۵**	۶۵/۰۶**	۴۵/۰۲**	۲	بلوک
۳۰۰/۸۴**	۶۸۱/۴۴**	۸۶۹/۲۱**	۱۳۵/۳۴**	۱۲۸/۸۲**	۱۲۸/۳۱**	۱۳۶/۷۳**	۱۸۱/۴**	۲	آبیاری تکمیلی
۲۰/۲۶**	۵۸**	۱۴۰/۵**	۲۲/۸**	۱۶/۲۵**	۱۴/۶۹**	۳۶/۵۵**	۵۱/۳۳**	۳	نانو اکسید آهن
۱۹/۱۶**	۸۷/۶۳**	۸۴/۳۵**	۷/۷۲**	۱/۷۵**	۴/۳۵**	۳/۵۷**	۱۳/۹**	۶	آهن×آبیاری
۰/۹۴	۲/۵	۳/۲۳	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۷۲	۲۲	خطا
-۷/۷۸	-۴۳/۷۸	-۵۰/۵۵	۴/۳۲	۴/۲۲	۴/۸۳	۶/۰۱	۸/۸	-	ضریب تغییرات

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵-مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر بیوماس کل گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت) (گرم در متر مربع)									ترکیب تیماری
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴	
۵۶۶/۶۷ ^h	۶۶۰/۰۰ ^h	۷۲۱/۶۷ ⁱ	۸۱۶/۶۷ ^h	۵۷۰/۰۰ ^h	۵۲۳/۳۳ ^g	۳۵۶/۶۷ ⁱ	۱۴۳/۳۳ ^f	۱۴۶/۶۷ ^a	I ₁ ×Fe ₀
۱۰۱۶/۶۷ ^d	۱۱۸۳/۳۳ ^d	۱۲۶۰/۰۰ ^e	۱۳۳۵/۰۰ ^d	۹۱۶/۶۷ ^d	۷۳۰/۰۰ ^d	۵۲۵/۰۰ ^{de}	۲۵۶/۶۷ ^{cde}	۹۶/۶۷ ^c	I ₂ ×Fe ₀
۷۸۵/۰۰ ^f	۹۵۶/۶۷ ^f	۱۰۳۳/۳۳ ^g	۱۰۹۸/۳۳ ^f	۷۹۸/۳۳ ^{ef}	۵۶۷/۶۷ ^f	۴۴۸/۳۳ ^{fg}	۲۲۶/۶۷ ^e	۸۸/۳۳ ^c	I ₃ ×Fe ₀
۶۵۳/۳۳ ^g	۷۱۵/۰۰ ^h	۸۰۸/۳۳ ⁱ	۹۸۰/۰۰ ^g	۶۳۸/۳۳ ^g	۵۶۱/۶۷ ^{fg}	۴۰۰/۰۰ ^{hi}	۲۲۵/۰۰ ^e	۱۰۳/۳۳ ^{bc}	I ₁ ×Fe ₁
۱۲۷۵/۰۰ ^c	۱۶۶۱/۶۷ ^b	۱۴۸۰/۰۰ ^c	۱۴۲۱/۶۷ ^c	۹۸۵/۰۰ ^c	۷۶۰/۰۰ ^d	۶۱۱/۶۷ ^c	۳۰۰/۰۰ ^{bc}	۱۵۶/۶۷ ^a	I ₂ ×Fe ₁
۹۸۶/۶۷ ^{de}	۱۱۰۰/۰۰ ^e	۱۱۸۶/۶۷ ^f	۱۲۱۳/۳۳ ^e	۸۲۵/۰۰ ^e	۶۷۵/۰۰ ^e	۴۷۸/۳۳ ^{ef}	۲۶۳/۳۳ ^{cde}	۷۶/۶۷ ^c	I ₃ ×Fe ₁
۷۷۳/۳۳ ^f	۸۳۸/۳۳ ^g	۹۱۳/۳۳ ^h	۱۰۷۱/۶۷ ^f	۷۳۸/۳۳ ^f	۶۰۸/۳۳ ^f	۴۲۸/۳۳ ^{gh}	۲۴۳/۳۳ ^{de}	۱۰۵/۰۰ ^{bc}	I ₁ ×Fe ₂
۱۵۰۸/۳۳ ^b	۱۷۱۶/۶۷ ^b	۱۶۲۱/۶۷ ^b	۱۵۲۸/۳۳ ^b	۱۰۷۱/۶۷ ^{ab}	۹۲۱/۶۷ ^b	۶۶۸/۳۳ ^b	۳۲۳/۳۳ ^b	۱۰۶/۶۷ ^{bc}	I ₂ ×Fe ₂
۱۰۶۰/۰۰ ^d	۱۱۷۶/۶۷ ^d	۱۲۸۱/۶۷ ^e	۱۳۱۸/۳۳ ^d	۹۱۶/۶۷ ^d	۷۱۳/۳۳ ^{de}	۵۲۰/۰۰ ^{de}	۲۹۱/۶۷ ^{bcd}	۹۰/۰۰ ^c	I ₃ ×Fe ₂
۹۱۶/۶۷ ^e	۱۰۰۱/۶۷ ^f	۱۰۴۵/۰۰ ^g	۱۱۱۸/۳۳ ^f	۸۲۰/۰۰ ^e	۶۶۶/۶۷ ^e	۴۸۳/۳۳ ^{ef}	۲۷۳/۳۳ ^{bcde}	۱۳۳/۳۳ ^{ab}	I ₁ ×Fe ₃
۱۶۶۶/۶۷ ^a	۱۸۲۰/۰۰ ^a	۱۷۲۰/۰۰ ^a	۱۶۱۶/۶۷ ^a	۱۱۳۰/۰۰ ^a	۹۷۸/۳۳ ^a	۷۲۳/۳۳ ^a	۳۹۰/۰۰ ^a	۹۳/۳۳ ^c	I ₂ ×Fe ₃
۱۲۲۸/۳۳ ^c	۱۳۱۳/۳۳ ^c	۱۴۰۵/۰۰ ^d	۱۳۸۵/۰۰ ^{cd}	۱۰۲۵/۰۰ ^{bc}	۸۶۸/۳۳ ^c	۵۴۱/۶۷ ^d	۳۱۸/۳۳ ^b	۸۸/۳۳ ^c	I ₃ ×Fe ₃
۷۳/۶۲	۶۳/۰۹	۷۰/۱۵	۸۲/۳۶	۶۶/۲۶	۴۷/۳۳	۴۷/۲۶	۵۲/۳۴	۳۴/۱۳	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند. ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت رشد محصول گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت) (گرم در متر مربع در روز)								ترکیب تیماری
۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴	
-۹/۳۳ ^b	-۶/۱۶ ^{bc}	-۹/۵ ^f	۱۲/۳۳ ^g	۱۱ ^f	۹/۶۶ ^g	۵/۳۳ ^f	-۰/۳۳ ^f	I ₁ ×Fe ₀
-۱۶/۶۶ ^{de}	-۷/۶۶ ^{cd}	-۷/۵ ^f	۱۶ ^{cd}	۱۵/۴۵ ^c	۱۳/۸۸ ^c	۱۳/۱۲ ^b	۱۱/۳۳ ^{bc}	I ₂ ×Fe ₀
-۱۷/۱۶ ^{ef}	-۷/۶۶ ^{cd}	-۶/۵ ^{ef}	۱۴/۲۵ ^{ef}	۱۲/۱۶ ^e	۱۲/۰۳ ^{de}	۹/۱۶ ^e	۸/۰۳ ^e	I ₃ ×Fe ₀
-۶/۱۶ ^a	-۹/۳۳ ^{de}	-۱۷/۱۶ ^g	۱۲/۵۱ ^g	۱۱/۶۶ ^{ef}	۱۰/۱۶ ^g	۹/۵ ^{de}	۸/۱۶ ^e	I ₁ ×Fe ₁
-۱۸/۶۶ ^{fg}	۸/۱۶ ^a	۵/۸۳ ^b	۱۷/۱۵ ^c	۱۷/۹۶ ^b	۱۵/۲۵ ^b	۱۳/۳۳ ^b	۱۲ ^b	I ₂ ×Fe ₁
-۱۱/۳۳ ^c	-۸/۶۶ ^{cde}	-۲/۶۶ ^d	۱۴/۸۶ ^{de}	۱۴ ^d	۱۰/۶۶ ^{fg}	۹/۵ ^{de}	۸/۶۶ ^{de}	I ₃ ×Fe ₁
-۶/۵ ^a	-۷/۵ ^{cd}	-۱۵/۸۳ ^g	۱۳ ^g	۱۲ ^{ef}	۱۰/۶۶ ^{fg}	۱۰/۵ ^d	۸/۳۳ ^e	I ₁ ×Fe ₂
-۱۹/۸۳ ^g	۹/۵ ^a	۹/۳۳ ^a	۲۱/۴ ^b	۱۹/۳۳ ^a	۱۸/۵۱ ^a	۱۷ ^a	۱۶ ^a	I ₂ ×Fe ₂
-۱۱/۶۶ ^c	-۱۰/۵ ^e	-۳/۶۶ ^{de}	۱۵/۳۳ ^{de}	۱۴/۳۳ ^d	۱۲/۳۳ ^{de}	۱۱/۸۳ ^c	۹/۱۶ ^{de}	I ₃ ×Fe ₂
-۸/۵ ^b	-۴/۳۳ ^b	-۷/۳۳ ^f	۱۳/۳۳ ^{fg}	۱۲/۳۳ ^{ef}	۱۱/۳۳ ^{ef}	۱۰ ^{de}	۸/۶۶ ^{de}	I ₁ ×Fe ₃
-۱۵/۳۳ ^d	۱۰ ^a	۱۰/۳۳ ^a	۲۳/۱۸ ^a	۲۰/۱۱ ^a	۱۹/۲ ^a	۱۸ ^a	۱۶/۲ ^a	I ₂ ×Fe ₃
-۸/۵ ^b	-۹/۱۶ ^{de}	۲ ^c	۱۶/۵ ^c	۱۵/۶۶ ^c	۱۲/۶۶ ^d	۱۲/۳۳ ^{bc}	۱۰ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₃
۱/۶۴	۲/۶۷	۳/۰۴	۱/۱۵	۱/۰۴	۱/۰۶	۱/۱۸	۱/۴۴	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

جدول ۷- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت رشد نسبی گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات								درجه آزادی	منبع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									
۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴		
۰/۰۰۰۰۷۸**	۰/۰۰۰۰۰۷۴*	۰/۰۰۰۰۰۹۶*	۰/۰۰۰۰۶۱**	۰/۰۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۰۵۲**	۰/۰۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۰۰۵**	۲	بلوک
۰/۰۰۰۰۹۵**	۰/۰۰۰۰۵۹**	۰/۰۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۲۷**	۲	آبیاری تکمیلی
۰/۰۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۷۸**	۰/۰۰۰۰۰۲۴**	۰/۰۰۰۰۰۶۵**	۰/۰۰۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۱۷**	۳	نانو اکسید آهن
۰/۰۰۰۰۷۴**	۰/۰۰۰۰۰۷۳**	۰/۰۰۰۰۰۵۱**	۰/۰۰۰۰۰۲۱**	۰/۰۰۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۰۱۴**	۰/۰۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۰۱**	۶	آهن x آبیاری
۰/۰۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲	۲۲	خطا
۹/۰۴	۷/۴	۷/۰۳	۱/۹۶	۶/۷۵	۳/۸	۲/۳۹	۴/۴۷	-	ضریب تغییرات

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

جدول ۸- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت فتوسنتز خالص گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات								درجه آزادی	منبع تغییر
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									
۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴		
۴۹۴/۶۴**	۷۱/۸۲**	۸/۲۳*	۶۹/۸۹**	۱۰۰/۶۳**	۵۵/۰۵**	۲۰/۰۸**	۱۲/۶۱**	۲	بلوک
۱۰۵۴/۴۳**	۱۳۳۷/۸۴**	۶۶۲/۸۳**	۱۰۲/۶۷**	۸۳/۷۶**	۱/۳۶**	۹/۶۷**	۰/۹۱**	۲	آبیاری تکمیلی
۱۶۹۷/۶۷**	۱۵۴/۸۷**	۸۲/۳۳**	۷/۲۸**	۷/۷**	۱۴/۱۱**	۱۳/۳۹**	۸/۷۱**	۳	نانو اکسید آهن
۴۴۸/۸۲**	۹۸/۲۷**	۳۰/۸۸**	۲/۱۶**	۱/۱۵**	۳/۰۸**	۰/۴۷**	۰/۱۶**	۶	آهن x آبیاری
۱۱/۹۹	۴/۵۲	۲/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۰۷۷	۰/۰۷۵	۰/۰۳۵	۲۲	خطا
۱۰/۷۸	۷/۳۸	۵/۲۳	۴/۴۷	۳/۳۷	۲/۵۹	۴/۲۵	۳/۶۵	-	ضریب تغییرات

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

جدول ۹-مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت رشد نسبی گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت) (گرم بر گرم در روز)								ترکیب تیماری
۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴	
-۰/۰۱۵۶ ^f	-۰/۰۰۸۶ ^d	-۰/۰۱۱۸ ^e	۰/۰۳۵۱ ^g	۰/۰۰۸۵ ^h	۰/۰۳۸۳ ^b	۰/۰۵۵۴ ^{ef}	۰/۰۸۲ ^g	I ₁ ×Fe ₀
-۰/۰۲۶۴ ^h	-۰/۰۰۶۳ ^{cd}	-۰/۰۰۵۷۹ ^d	۰/۰۳۷۶ ^{bc}	۰/۰۲۲۷ ^c	۰/۰۳۲۹ ^{cde}	۰/۰۷۲۹ ^a	۰/۰۹۶ ^e	I ₂ ×Fe ₀
-۰/۰۱۹۹ ^g	-۰/۰۰۷۵۱ ^d	-۰/۰۰۶۴۹ ^d	۰/۰۳۱۹ ^h	۰/۰۳۲۵ ^a	۰/۰۲۵۲ ^g	۰/۰۶۸۲ ^b	۰/۰۹۴ ^{ef}	I ₃ ×Fe ₀
-۰/۰۰۹ ^{bcd}	-۰/۰۱۲۲ ^e	-۰/۰۱۹۲ ^g	۰/۰۴۲۸ ^a	۰/۰۱۲۷ ^g	۰/۰۳۴۱ ^{cd}	۰/۰۵۷۳ ^{de}	۰/۰۸۳ ^g	I ₁ ×Fe ₁
-۰/۰۱۵۲ ^f	-۰/۰۱۱۵ ^a	۰/۰۰۴ ^{ab}	۰/۰۳۶۷ ^{cde}	۰/۰۲۶ ^b	۰/۰۲۱۶ ^h	۰/۰۷۱۸ ^a	۰/۰۶۴ ^h	I ₂ ×Fe ₁
-۰/۰۱۰۸ ^d	-۰/۰۰۷۵۹ ^d	-۰/۰۰۲۲۱ ^c	۰/۰۳۸۵ ^b	۰/۰۲ ^d	۰/۰۳۴۴ ^c	۰/۰۵۹۷ ^{cd}	۰/۱۲۳ ^{bc}	I ₃ ×Fe ₁
-۰/۰۰۸۱ ^{ab}	-۰/۰۰۸۵۳ ^d	-۰/۰۱۶ ^f	۰/۰۳۷۵ ^{bcd}	۰/۰۱۹۱ ^d	۰/۰۳۵ ^c	۰/۰۵۶۵ ^e	۰/۰۸۸ ^{fg}	I ₁ ×Fe ₂
-۰/۰۱۲۹ ^e	-۰/۰۰۵۷۱ ^b	۰/۰۰۵۹ ^a	۰/۰۳۵۵ ^{fg}	۰/۰۱۵ ^{ef}	۰/۰۳۲۲ ^{def}	۰/۰۷۳۷ ^a	۰/۱۱۲ ^d	I ₂ ×Fe ₂
-۰/۰۱۰۴ ^{cd}	-۰/۰۰۸۵۳ ^d	-۰/۰۰۲۸۴ ^c	۰/۰۳۶۳ ^{def}	۰/۰۲۵ ^b	۰/۰۳۱۵ ^{ef}	۰/۰۵۷۸ ^{de}	۰/۱۱۸ ^{cd}	I ₃ ×Fe ₂
-۰/۰۰۸۸۵ ^{bc}	-۰/۰۰۴۱۸ ^c	-۰/۰۰۶۸۲ ^d	۰/۰۳۱ ^{hi}	۰/۰۲۰۷ ^{cd}	۰/۰۳۲۱ ^{def}	۰/۰۵۷۱ ^{de}	۰/۰۸۹ ^{efg}	I ₁ ×Fe ₃
-۰/۰۰۸۸۲ ^{bc}	-۰/۰۰۵۶۶ ^b	۰/۰۰۶۲ ^a	۰/۰۳۵۸ ^{efg}	۰/۰۱۴۳ ^{fg}	۰/۰۳۰۳ ^f	۰/۰۶۲ ^c	۰/۱۴۲ ^a	I ₂ ×Fe ₃
-۰/۰۰۶۷۲ ^a	-۰/۰۰۶۷۵ ^d	۰/۰۰۱۴۲ ^b	۰/۰۳ ⁱ	۰/۰۱۶۶ ^e	۰/۰۴۷ ^a	۰/۰۵۳۱ ^f	۰/۱۲۸ ^b	I ₃ ×Fe ₃
۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۷۷	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبه دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر سرعت فتوسنتز خالص گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت) (گرم بر متر مربع در روز)							
	۱۵۴	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۴	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۴
I ₁ ×Fe ₀	۴ ^f	۳/۵۹ ^h	۱۰ ^e	۱۱/۳۱ ^g	۸/۰۸ ^f	-۱۱/۵۲ ^e	-۲۱/۹۹ ^f	-۸۱/۴۲ ^g
I ₂ ×Fe ₀	۴/۳۹ ^{de}	۶/۰۲ ^e	۹/۱۲ ^f	۱۷ ^b	۱۳/۷۷ ^b	-۴/۰۶ ^{cd}	-۱۱/۷۱ ^{bc}	-۲۹/۸۴ ^{cd}
I ₃ ×Fe ₀	۴/۱۱ ^{ef}	۵/۵۳ ^{fg}	۹/۱۱ ^f	۱۲ ^{fg}	۱۱/۲۵ ^c	-۵/۵۴ ^d	-۱۶/۰۳ ^{de}	-۴۳/۶۶ ^f
I ₁ ×Fe ₁	۴/۳۲ ^{de}	۵/۰۸ ^g	۱۰/۲۳ ^e	۱۱/۶۷ ^{fg}	۸/۲۶ ^{ef}	-۱۷/۴۲ ^g	-۲۷/۷۱ ^g	-۳۲/۹۴ ^{de}
I ₂ ×Fe ₁	۴/۴۲ ^{de}	۶/۷۳ ^d	۹/۱۴ ^f	۱۷/۰۳ ^b	۱۳/۹۶ ^b	۳/۰۳ ^{ab}	۳/۰۳ ^a	-۲۵/۶۷ ^{bc}
I ₃ ×Fe ₁	۴/۵۸ ^d	۵/۹۷ ^{ef}	۱۰/۳۶ ^e	۱۳/۴۵ ^d	۱۳ ^b	-۲/۰۲ ^c	-۱۷/۷۲ ^{de}	-۳۵/۷۸ ^e
I ₁ ×Fe ₂	۵/۲ ^c	۶/۳۸ ^{de}	۱۰/۸۵ ^d	۱۲/۴۶ ^{ef}	۹/۰۹ ^{de}	-۱۴/۳۲ ^f	-۱۸/۵۲ ^{ef}	-۲۵/۵۳ ^{bc}
I ₂ ×Fe ₂	۶/۲۵ ^b	۸/۰۷ ^b	۱۲/۳۷ ^b	۱۷/۱۵ ^b	۱۳/۵۹ ^b	۴/۴۳ ^a	۴/۰۴ ^a	-۲۰/۹۲ ^{ab}
I ₃ ×Fe ₂	۵/۵ ^c	۶/۷۴ ^d	۱۱/۱۱ ^{cd}	۱۵ ^c	۱۴/۸۸ ^a	-۲/۳۱ ^c	-۱۹/۴ ^{ef}	-۲۶/۰۹ ^{bc}
I ₁ ×Fe ₃	۶ ^c	۷/۲۶ ^c	۱۱ ^{cd}	۱۳/۱۲ ^{de}	۹/۳۵ ^d	-۶/۱۵ ^d	-۱۰/۳۲ ^b	-۲۹/۱۹ ^{cd}
I ₂ ×Fe ₃	۶/۶۳ ^a	۸/۶۷ ^a	۱۳/۷۴ ^a	۱۸/۲ ^a	۱۴/۸۲ ^a	۵/۰۸ ^a	۴/۰۶ ^a	-۱۸/۸ ^a
I ₃ ×Fe ₃	۶/۱ ^b	۷/۵۱ ^c	۱۱/۴۵ ^c	۱۵/۳۳ ^c	۱۵ ^a	۱/۱ ^b	-۱۴/۵ ^{cd}	-۱۵/۳۱ ^a
LSD	۰/۳۱۷	۰/۴۶۵	۰/۴۷	۰/۸۲۸	۰/۹۱۳	۲/۴۷	۳/۶	۵/۸۶

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر شاخص سطح برگ گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									درجه آزادی	منبع تغییر
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴		
۰/۱**	۰/۹۲**	۱/۲**	۱/۷۳**	۱/۹۸**	۱/۷۵**	۱/۰۲**	۰/۶۲**	۰/۱۵**	۲	بلوک
۰/۳۹**	۰/۹۸**	۱/۹**	۲/۷۶**	۲/۴۹**	۲/۰۹**	۰/۰۸۴**	۰/۰۱۲**	۰/۱**	۲	آبیاری تکمیلی
۰/۰۵۷**	۰/۳۲**	۰/۴۵**	۰/۲۱**	۰/۳۵**	۰/۲۴**	۰/۳۴**	۰/۲۴**	۰/۰۹۲**	۳	نانو اکسید آهن
۰/۰۲۷*	۰/۰۱۴**	۰/۰۱*	۰/۰۱۱*	۰/۰۲۵**	۰/۰۴*	۰/۰۰۷۵**	۰/۰۰۳۲**	۰/۰۱۹**	۶	آهن×آبیاری
۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۷۲	۲۲	خطا
۷/۲۷	۴/۳۶	۵/۰۲	۴/۵۷	۴/۲۶	۴/۰۶	۲/۶۷	۲/۶۹	۴/۶۶	-	ضریب تغییرات

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

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر شاخص سطح برگ گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)									ترکیب تیماری
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۴	۱۵۴	
۰/۲۴۵ ^h	۰/۹۰۹ ^g	۱/۰۲۴ ^f	۱/۱۷۵ ^g	۱/۲۳۸ ^g	۱/۲۹۵ ^h	۱/۱۶۴ ^f	۰/۹۰۸ ^f	۰/۴۴۸ ^f	I ₁ ×Fe ₀
۰/۵۵۸ ^c	۱/۵۵۴ ^b	۱/۸۴۳ ^b	۲/۲۴۳ ^c	۲/۳۰۷ ^c	۲/۱۱۲ ^c	۱/۲۶۴ ^h	۰/۹۸۷ ^e	۰/۵۶۹ ^d	I ₂ ×Fe ₀
۰/۳۸۱ ^{ef}	۱/۰۱۸ ^f	۱/۱۷۲ ^e	۱/۷۹۲ ^e	۱/۹۳۴ ^e	۱/۷۷۵ ^{fg}	۱/۳۶۴ ^{fg}	۰/۹۳۸ ^{ef}	۰/۴۰۲ ^g	I ₃ ×Fe ₀
۰/۲۷۴ ^{gh}	۱/۰۵۲ ^f	۱/۱۶۲ ^e	۱/۲۹۷ ^g	۱/۳۵۵ ^g	۱/۳۶۳ ⁱ	۱/۳۳۳ ^{fg}	۱/۰۴۷ ^d	۰/۳۶۵ ^g	I ₁ ×Fe ₁
۰/۶۱۶ ^b	۱/۶۱۷ ^b	۱/۹۲ ^b	۲/۳۰۸ ^{bc}	۲/۳۷۸ ^{bc}	۲/۲۵۵ ^b	۱/۳۰۳ ^{gh}	۱/۰۸۷ ^d	۰/۷۵۳ ^b	I ₂ ×Fe ₁
۰/۴۰۸ ^{de}	۱/۳ ^{de}	۱/۳۱۷ ^d	۱/۸۲۲ ^e	۲/۰۱ ^{de}	۱/۸۵۵ ^{ef}	۱/۳۹۳ ^f	۱/۱۴۷ ^c	۰/۵۱۸ ^e	I ₃ ×Fe ₁
۰/۳۳ ^{fg}	۱/۲۰۴ ^e	۱/۳۰۷ ^d	۱/۵۵۸ ^f	۱/۷۳۴ ^f	۱/۶۰۵ ^h	۱/۴۸۴ ^e	۱/۱۸۶ ^c	۰/۶۶۱ ^c	I ₁ ×Fe ₂
۰/۶۷۳ ^b	۱/۷۶۳ ^a	۱/۱۰۶ ^a	۲/۴۴۹ ^{ab}	۲/۵۰۸ ^{ab}	۲/۴۴۱ ^a	۱/۵۱۴ ^{de}	۱/۱۵۶ ^c	۰/۸ ^a	I ₂ ×Fe ₂
۰/۴۵۹ ^d	۱/۴۴۱ ^c	۱/۵۸۶ ^c	۱/۹۱۶ ^e	۲/۱۲۵ ^d	۱/۹۴۵ ^{de}	۱/۶۰۴ ^c	۱/۲۶ ^b	۰/۶۸۲ ^c	I ₃ ×Fe ₂
۰/۳۶۷ ^{ef}	۱/۳۳۶ ^d	۱/۵۱۵ ^c	۱/۶۳۹ ^f	۱/۸۶۶ ^{ef}	۱/۷۰۷ ^{gh}	۱/۵۶۶ ^{cd}	۱/۳۰۵ ^{ab}	۰/۵۹۴ ^d	I ₁ ×Fe ₃
۰/۸۱۵ ^a	۱/۸۴۱ ^a	۲/۲۳۱ ^a	۲/۵۰۹ ^a	۲/۶۲۱ ^a	۲/۵۰۹ ^a	۱/۶۹۶ ^b	۱/۳۳۵ ^a	۰/۶۰۷ ^d	I ₂ ×Fe ₃
۰/۵۵۴ ^c	۱/۶۳۱ ^b	۱/۸۱۶ ^b	۲/۰۷۳ ^d	۲/۲۹۵ ^c	۲/۰۵۷ ^{cd}	۱/۸۴۶ ^a	۱/۳۵۵ ^a	۰/۵۲ ^e	I ₃ ×Fe ₃
۰/۰۵۸۴	۰/۱۰۲	۰/۱۳۴	۰/۱۴۷	۰/۱۴۶	۰/۱۳۱	۰/۰۶۶۲	۰/۰۵۲	۰/۰۴۵۶	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو

اکسید آهن. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

جدول ۱۳- روابط رگرسیونی تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر شاخص‌های رشدی گندم

شاخص سطح برگ	سرعت فتوسنتز خالص	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد محصول	بیوماس کل	ترکیب تیماری
$Y=-0.0006x^2+0.2169x-19.534$ $R^2=0.9532$	$Y=-0.0389x^2+13.744x-1198.8$ $R^2=0.9232$	$Y=1E-05x^2-0.0062x+0.7332$ $R^2=0.8884$	$Y=-0.0111x^2+3.9668x-347.56$ $R^2=0.6634$	$Y=-0.0043x^3+2.3228x^2-402.32x+22730$ $R^2=0.9505$	$I_1 \times Fe_0$
$Y=-0.001x^2+0.407x-37.777$ $R^2=0.914$	$Y=-0.021x^2+7.4979x-655.17$ $R^2=0.9409$	$Y=1E-05x^2-0.0071x+0.8409$ $R^2=0.918$	$Y=-0.0124x^2+4.2539x-349.84$ $R^2=0.8701$	$Y=-0.0072x^3+3.93x^2-684x+38703$ $R^2=0.9793$	$I_2 \times Fe_0$
$Y=-0.0009x^2+0.3524x-32.342$ $R^2=0.9582$	$Y=-0.0247x^2+8.7418x-761.28$ $R^2=0.9626$	$Y=1E-05x^2-0.0061x+0.7423$ $R^2=0.9172$	$Y=-0.0126x^2+4.3762x-368.58$ $R^2=0.8823$	$Y=-0.0064x^3+3.496x^2-610.05x+34668$ $R^2=0.9809$	$I_3 \times Fe_0$
$Y=-0.0006x^2+0.2494x-22.613$ $R^2=0.9175$	$Y=-0.0179x^2+6.166x-520.58$ $R^2=0.9011$	$Y=1E-05x^2-0.0069x+0.7952$ $R^2=0.8311$	$Y=-0.0051x^2+1.6005x-115.14$ $R^2=0.5357$	$Y=-0.004x^3+2.1272x^2-355.91x+19222$ $R^2=0.9332$	$I_1 \times Fe_1$
$Y=-0.001x^2+0.397x-36.631$ $R^2=0.8862$	$Y=-0.0196x^2+7.108x-629.26$ $R^2=0.8638$	$Y=-2E-06x^2-0.0002x+0.1607$ $R^2=0.8003$	$Y=-0.0157x^2+5.6184x-483.49$ $R^2=0.8562$	$Y=-0.0094x^3+5.2336x^2-944.65x+55726$ $R^2=0.9775$	$I_2 \times Fe_1$
$Y=-0.0009x^2+0.3413x-31.18$ $R^2=0.9457$	$Y=-0.0198x^2+8.1938x-713.88$ $R^2=0.9688$	$Y=3E-05x^2-0.0119x+1.2921$ $R^2=0.8882$	$Y=-0.0111x^2+3.866x-324.83$ $R^2=0.8497$	$Y=-0.006x^3+3.2679x^2-565.89x+31776$ $R^2=0.9796$	$I_3 \times Fe_1$
$Y=-0.0007x^2+0.2757x-24.761$ $R^2=0.955$	$Y=-0.015x^2+5.1694x-435.35$ $R^2=0.8889$	$Y=2E-05x^2-0.0074x+0.8411$ $R^2=0.8806$	$Y=-0.0056x^2+1.7892x-131.84$ $R^2=0.5612$	$Y=-0.0044x^3+2.3513x^2-395.12x+21423$ $R^2=0.9543$	$I_1 \times Fe_2$
$Y=-0.0011x^2+0.4264x-39.33$ $R^2=0.9098$	$Y=-0.0175x^2+6.3479x-558.29$ $R^2=0.8918$	$Y=2E-05x^2-0.0107x+1.1735$ $R^2=0.8992$	$Y=-0.0171x^2+6.0926x-520$ $R^2=0.8634$	$Y=-0.0067x^3+3.674x^2-638.33x+35838$ $R^2=0.9887$	$I_2 \times Fe_2$
$Y=-0.0009x^2+0.3471x-31.554$ $R^2=0.9643$	$Y=-0.0198x^2+7.0177x-607.97$ $R^2=0.9237$	$Y=2E-05x^2-0.0109x+1.199$ $R^2=0.8921$	$Y=-0.0113x^2+3.9234x-325.9$ $R^2=0.8496$	$Y=-0.0067x^3+3.6319x^2-630.17x+35490$ $R^2=0.9795$	$I_3 \times Fe_2$
$Y=-0.0008x^2+0.3068x-27.744$ $R^2=0.9418$	$Y=-0.0174x^2+6.1141x-524.68$ $R^2=0.9631$	$Y=2E-05x^2-0.0077x+0.8713$ $R^2=0.9283$	$Y=-0.0079x^2+2.7106x-219.78$ $R^2=0.7552$	$Y=-0.0046x^3+2.4702x^2-418.92x+22961$ $R^2=0.9814$	$I_1 \times Fe_3$
$Y=-0.0012x^2+0.4555x-42.165$ $R^2=0.9655$	$Y=-0.0175x^2+6.3432x-557.76$ $R^2=0.9114$	$Y=4E-05x^2-0.0161x+1.6949$ $R^2=0.8567$	$Y=-0.0161x^2+5.7587x-491.04$ $R^2=0.8776$	$Y=-0.0056x^3+3.0422x^2-516.35x+28044$ $R^2=0.9883$	$I_2 \times Fe_3$
$Y=-0.001x^2+0.398x-36.499$ $R^2=0.9682$	$Y=-0.0155x^2+5.5214x-477.51$ $R^2=0.8735$	$Y=3E-05x^2-0.0133x+1.4275$ $R^2=0.9024$	$Y=-0.0114x^2+3.982x-333.72$ $R^2=0.8506$	$Y=-0.0058x^3+3.0873x^2-521.01x+28252$ $R^2=0.9796$	$I_3 \times Fe_3$

دریافت تشعشع هم بیشتر می‌شود. هرگونه شرایط نامساعد محیطی مانند عدم تامین آب مطلوب مورد نیاز برای گیاه موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور می‌شود. در شرایط تنش شدید، کاهش شاخص سطح برگ موجب کاهش درصد تابش جذب شده می‌شود. بسته شدن سریع کانوپی، رسیدن سریع تر به مقدار حداکثر شاخص سطح برگ و اختصاص ماده خشک بیشتر به برگ‌ها، موجب بالاتر رفتن مقدار تشعشع دریافت شده می‌شود که مهم‌ترین عامل در بهبود عملکرد است (مداح یزدی و همکاران، ۱۳۸۷). در بررسی‌های شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) محلول‌پاشی سولفات آهن با افزایش تعداد برگ‌های فعال و شاخص سطح برگ، سطح دریافت‌کننده‌ی نور را افزایش داد که موجب افزایش ۱۲ درصدی میزان جذب نور نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی در آفتابگردان شد.

ضریب خاموشی: بررسی روند تغییرات ضریب خاموشی (شکل ۸) در پاسخ به آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در مدت فصل رشد نشان داد که ضریب خاموشی همواره در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن، کمتر از شرایط دیم بود که ممکن است علت آن افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۶) به دلیل محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن باشد که موجب کاهش میزان ضریب خاموشی شده است (شکل ۸). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱۴) نشان داد که نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی و اثر این دو عامل بر ضریب خاموشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۴). بررسی روند تغییرات ضریب

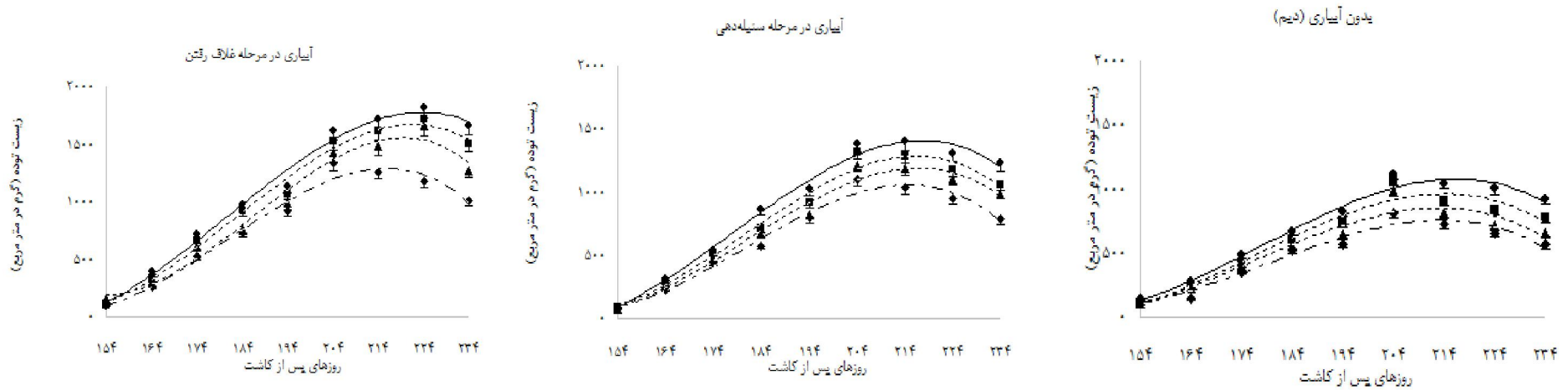
ضمن آنکه کمبود آب خاک، تولید ماده خشک گیاهان را به علت کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی ناشی از کاهش سطح برگ، پژمردگی، جمع شدن پهنک و در نهایت پیری زودرس برگ‌ها و همچنین کاهش کارایی تبدیل تشعشع جذب شده به ماده خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Earl and Davis, 2003). آنان با بررسی اثر مقادیر مختلف آب بر تولید ماده خشک ذرت مشاهده کردند که در تیمار کم آبیاری، سهم کاهش کارایی مصرف نور در تولید ماده خشک بیشتر از سهم کاهش جذب تشعشع بود.

بررسی روند تغییرات درصد تابش جذب شده شرایط محدودیت آبی (شکل ۶) در نشان داد این تغییرات در همه تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشتند؛ به طوری که درصد تابش جذب شده در مراحل ابتدایی نمونه برداری زیاد بود، ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. البته بر اثر محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی، روند تغییرات درصد تابش جذب شده نوسان کمتری نشان داد، به طوری که در همه تیمارهای آزمایش شده بیش‌ترین درصد تابش جذب شده (۹۱) مربوط به محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن در ۱۹۴ روز پس از کاشت و کم‌ترین آن (۴۲/۶۴) به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط دیم در ۲۳۴ روز بعد از کاشت به دست آمد (جدول ۱۴). یک گیاه برای استفاده مناسب از انرژی نور خورشید باید بتواند حداکثر نور را توسط بافت‌های سبز جذب نماید. با افزایش سطح برگ، میزان

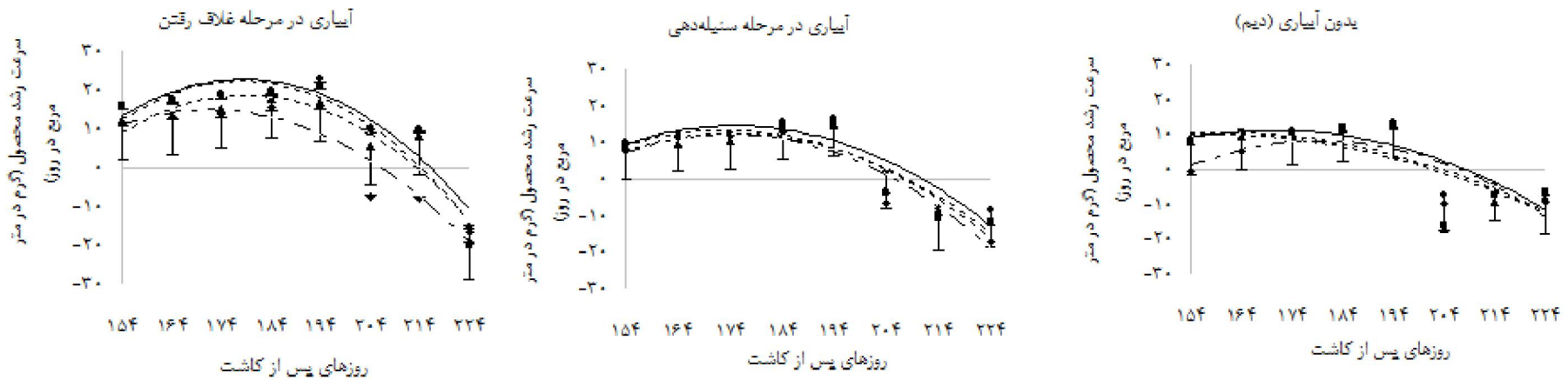
سانتی متر مکعب در ۰/۲ متر مربع) در محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و کمترین آن (به ترتیب ۱۰/۵۰ گرم و ۲۸/۳۳ سانتی متر مکعب در ۰/۲ متر مربع) در عدم محلول پاشی در شرایط دیم به دست آمد (جدول ۱۷). در تنش رطوبتی خفیف با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود CO₂ به کلروپلاست سلول‌های مزوفیل برگ، فتوسنتز کاهش یافته (در حدود ۲۵ درصد) و در نهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها شده که این رخداد، کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه را به دنبال دارد (Hosseinzadeh *et al.*, 2016). از آنجا که با کاهش محتوای رطوبت خاک، پسابدگی پروتوپلاسم توام با کاهش آماس سلول اتفاق می‌افتد، اندازه سلول و سرعت تقسیم سلولی روند کاهشی شدیدی پیدا می‌کند که منجر به کاهش میزان رشد و سطح فتوسنتزکننده گیاه می‌شود. گیاه در شرایط بدون تنش خشکی از وضعیت آماس سلولی مناسبی برخوردار است که در این شرایط، پتانسیل فشار لازم برای توسعه سلول و تقسیم آن فراهم می‌باشد (رستگار و همکاران، ۱۳۹۵)، ولی در شرایط تنش خشکی محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم ایجاد می‌شود، در نتیجه رشد و سرعت توسعه ریشه کاهش یافته و در نتیجه تولید اندام هوایی کمتر و انرژی موجود از طریق فتوسنتز کاهش می‌یابد (رستگار و همکاران، ۱۳۹۵). عقیقی شاهرودی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که وزن و حجم ریشه استویا با محلول پاشی آهن افزایش پیدا می‌کند.

خاموشی (شکل ۸) نشان داد که بیشترین ضریب خاموشی (۱/۳۱) مربوط به عدم محلول پاشی تحت شرایط دیم و کمترین آن (۰/۶۳۲) مربوط به محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن بود (جدول ۱۵). به نظر می‌رسد پیدایش، رشد و توسعه و در نهایت پیری اندام هوایی گیاه و نیز عوامل اقلیمی موثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه، ضریب خاموشی را تحت تاثیر قرار داده‌اند (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۴). کینری و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند که شاخص سطح برگ بیشتر یا تراکم سطح برگ بیشتر در لایه‌های فوقانی کانوپی منجر به جذب نور بیشتر شده و ضریب خاموشی کم‌تر می‌شود. نتایجی مشابهی نیز توسط حسن (۲۰۰۵) مبنی بر اینکه شاخص سطح برگ بیشتر منجر به کاهش ضریب خاموشی می‌شود گزارش شده است. تغییرات شاخص سطح برگ (شکل ۶) با گذشت زمان روند نزولی داشت که این امر موجب افزایش ضریب خاموشی شد (شکل ۸). بقائی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب، افزایش شاخص سطح برگ موجب کاهش ضریب خاموشی شد. در بررسی جباری و همکاران (۱۳۸۹) بر روی گلرنگ کمترین ضریب خاموشی در شرایط آبیاری تکمیلی به دست آمد.

وزن خشک و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نانو اکسید آهن، آبیاری تکمیلی و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر وزن و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن و حجم ریشه (به ترتیب ۲۹/۱۷ گرم و ۷۰/۱۶



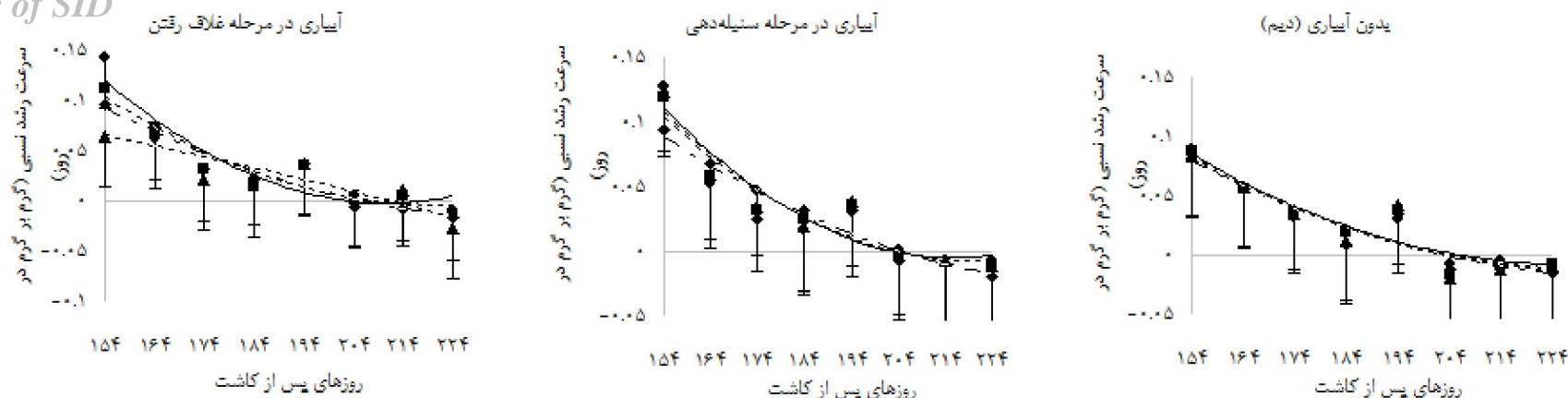
شکل ۲- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات بیوماس کل گندم



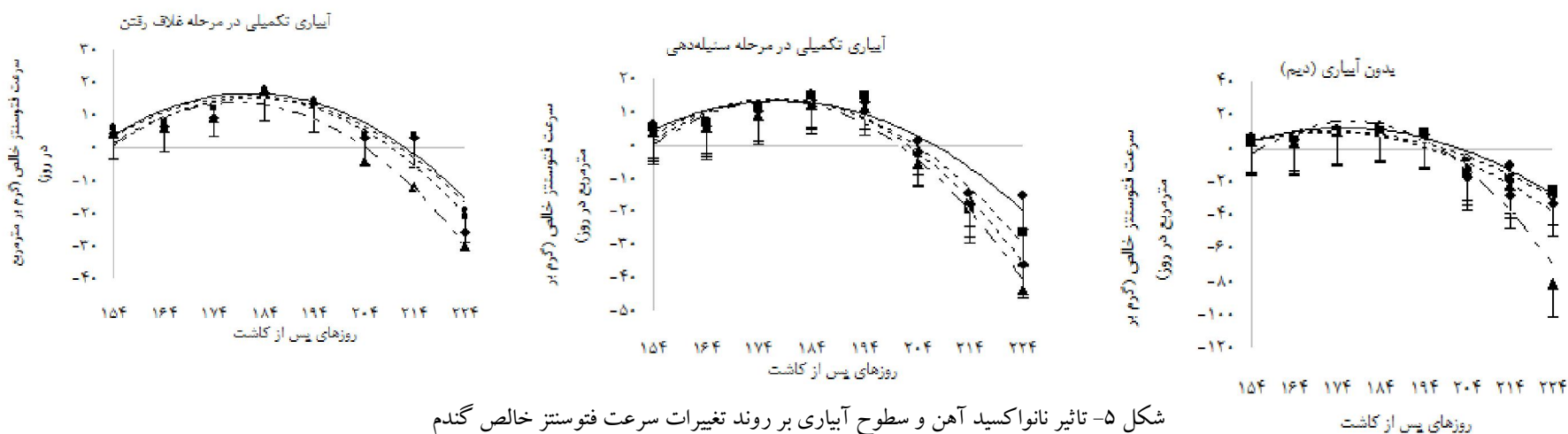
شکل ۳- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد محصول گندم

روز پس از کاشت	۱۵۴	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۴	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۴	۲۳۴
GDD جمعی	۵۲۴	۶۳۷/۲	۷۶۲/۹	۹۲۸/۸	۱۰۸۸/۷	۱۲۷۱	۱۴۵۶/۲	۱۶۳۶	۱۸۴۳/۴

مقادیر مشاهده شده ۲ گرم بر لیتر ▲ مقادیر پیش بینی شده ۲ گرم بر لیتر مقادیر مشاهده شده عدم محلول پاشی ♦ مقادیر پیش بینی شده عدم محلول پاشی - - -
 مقادیر مشاهده شده ۱۶ گرم بر لیتر ■ مقادیر پیش بینی شده ۱۶ گرم بر لیتر - - - - مقادیر مشاهده شده ۹ گرم بر لیتر ● مقادیر پیش بینی شده ۹ گرم بر لیتر —



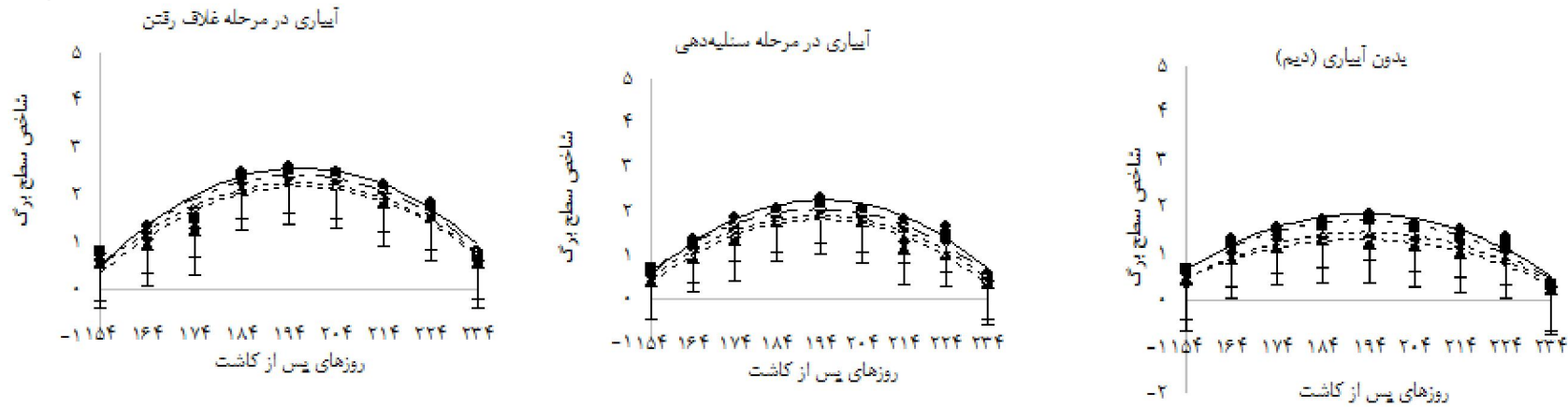
شکل ۴- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی گندم



شکل ۵- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات سرعت فتوسنتز خالص گندم

روز پس از کاشت	۱۵۴	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۴	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۴	۲۳۴
GDD جمععی	۵۲۴	۶۳۷/۲	۷۶۲/۸	۹۲۸/۸	۱۰۸۸/۷	۱۲۷۱	۱۴۵۶/۲	۱۶۳۶	۱۸۴۳/۴

▲ مقادیر مشاهده شده ۲/۲ گرم بر لیتر ▲ مقادیر بیش بینی شده ۲/۲ گرم بر لیتر
 ● مقادیر مشاهده شده ۹/۹ گرم بر لیتر ● مقادیر بیش بینی شده ۹/۹ گرم بر لیتر
 ■ مقادیر مشاهده شده ۶/۶ گرم بر لیتر ■ مقادیر بیش بینی شده ۶/۶ گرم بر لیتر
 ◆ مقادیر بیش بینی شده عدم محلول پاشی ◆ مقادیر مشاهده شده عدم محلول پاشی



شکل ۶- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات شاخص سطح برگ گندم

روز پس از کاشت	۱۵۴	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۴	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۴	۲۳۴
تجمعی GDD	۵۲۴	۶۳۷/۲	۷۶۲/۹	۹۲۸/۸	۱۰۸۸/۷	۱۲۷۱	۱۴۵۶/۲	۱۶۳۶	۱۸۴۳/۴

جدول ۱۴- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر درصد تابش جذب شده و ضریب خاموشی گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

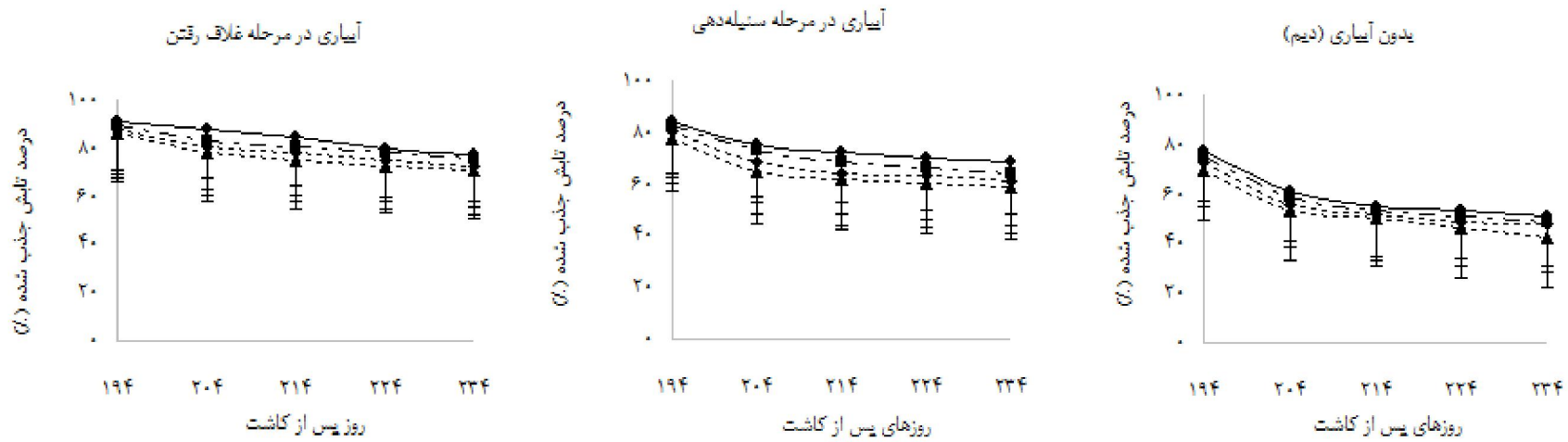
میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییر						
ضریب خاموشی					درصد تابش جذب شده							
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)					مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)							
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴			
ns	۰/۲۶**	۰/۰۰۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۵ ^{ns}	۱/۴۶ ^{ns}	۲/۴۱ ^{ns}	۲/۹۴**	۱/۹ ^{ns}	۰/۶۲ ^{ns}	۲	بلوک	
۰/۰۰۰۱۱	۰/۸۶**	۰/۱۵**	۰/۱۷**	۰/۱۲**	۰/۰۷۶**	۲۱۵۱/۶**	۲۱۰۲/۲۵**	۲۱۸۳/۹۹**	۱۸۹۲/۷۷**	۶۵۲/۶۳**	۲	آبیاری تکمیلی
۰/۰۶۶**	۰/۰۲۱**	۰/۰۲۶**	۰/۰۲۹**	۰/۰۲۱**	۱۱۲/۲۱**	۱۰۴/۳۳**	۱۰۹/۶۱**	۱۴۴/۱**	۶۷/۵۴**	۳	نانو اکسید آهن	
۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲۳**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۶۳**	۰/۰۰۵۹*	۲/۹۸*	۱۰/۳**	۶/۵۲**	۲/۲۳**	۱/۵۲**	۶	آهن x آبیاری	
۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۲۲	۱/۲۷	۰/۸۴	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۳۷	۲۲	خطا	
۵/۱۲	۹/۴	۶/۶۱	۱۰/۰۲	۶/۳۱	۸/۱۳	3/4	۸/۷	۵/۱۱	۷/۰۵	-	ضریب تغییرات	

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

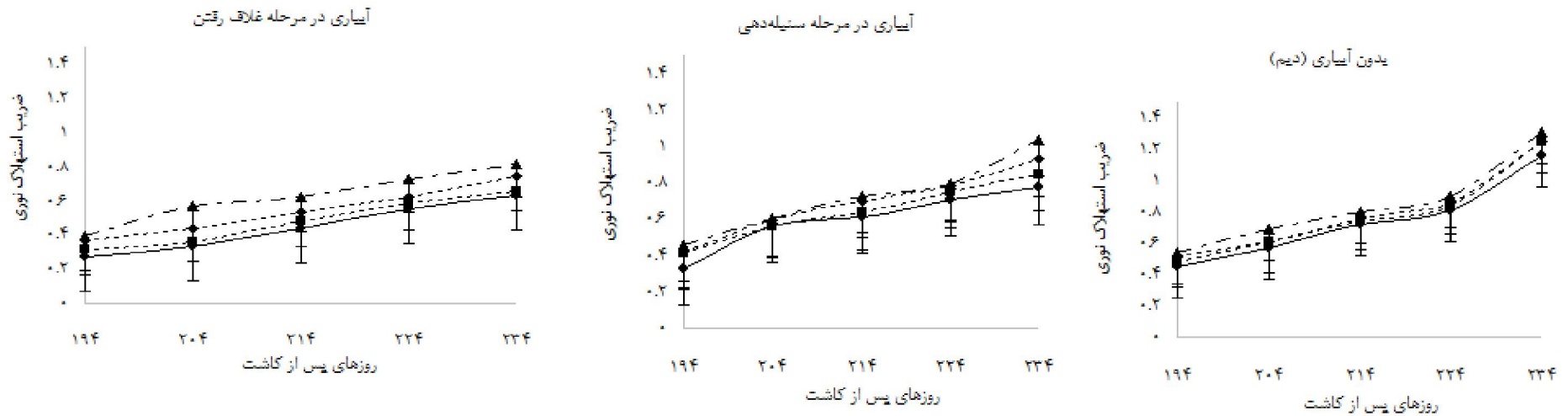
جدول ۱۵- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر درصد تابش جذب شده و ضریب خاموشی گندم در مراحل مختلف نمونه برداری

ضریب خاموشی					درصد تابش جذب شده					ترکیب تیماری
مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)					مراحل نمونه برداری (روز بعد از کاشت)					
۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	۲۳۴	۲۲۴	۲۱۴	۲۰۴	۱۹۴	
۱/۳۱ ^a	۰/۸۹۶ ^a	۰/۷۹۷ ^a	۰/۶۸۶ ^a	۰/۵۳۵ ^a	۴۲/۶۴ ⁱ	۴۶/۶۳ ^j	۵۰/۶۷ ^j	۵۳/۶۱ ⁱ	۶۹/۸۶ ^k	I ₁ ×Fe ₀
۰/۸۱۹ ^f	۰/۷۳۲ ^{fg}	۰/۶۲ ^{fg}	۰/۵۶۸ ^d	۰/۳۹۳ ^{fg}	۷۰/۶۷ ^b	۷۲/۸۸ ^d	۷۵/۱۲ ^d	۷۸/۲۶ ^d	۸۶/۳۶ ^d	I ₂ ×Fe ₀
۱/۰۳ ^d	۰/۷۹۵ ^d	۰/۷۲۲ ^d	۰/۵۹۹ ^{bc}	۰/۴۵۵ ^{bc}	۵۸/۹۶ ^f	۴۸/۰۲ ^h	۶۲/۲۱ ^h	۶۴/۹۸ ^h	۷۷/۵۴ ^h	I ₃ ×Fe ₀
۱/۲۵ ^b	۰/۸۶ ^{ab}	۰/۷۶۲ ^b	۰/۶۱۲ ^b	۰/۵۲۳ ^a	۴۷/۶۷ ^h	۴۸/۸ ^k	۵۱/۹۲ ^k	۵۵/۷ ^k	۷۲/۶۷ ^j	I ₁ ×Fe ₁
۰/۷۴۳ ^g	۰/۶۲۶ ^h	۰/۵۳۱ ^h	۰/۴۴۲ ^e	۰/۳۷ ^g	۷۲/۵۵ ^b	۷۵/۰۱ ^c	۷۸/۲۵ ^c	۸۰/۲۵ ^c	۸۹/۷۴ ^c	I ₂ ×Fe ₁
۰/۹۲۸ ^e	۰/۷۸۳ ^{de}	۰/۷۰۲ ^e	۰/۵۹ ^c	۰/۴۲۴ ^{de}	۶۱/۰۹ ^e	۶۳/۴ ^g	۶۴/۳۱ ^g	۶۸/۸۶ ^g	۸۰/۳۹ ^g	I ₃ ×Fe ₁
۱/۲۴ ^b	۸۴۳ ^{bc}	۰/۷۴۲ ^c	۰/۶۰۷ ^{bc}	۰/۴۷۷ ^b	۴۸/۹۹ ^{gh}	۵۱/۰۷ ^j	۵۳/۲۷ ^j	۵۸/۵۴ ^j	۷۵/۳۸ ⁱ	I ₁ ×Fe ₂
۰/۶۶ ^h	۰/۵۸۶ ⁱ	۰/۴۸۶ ⁱ	۰/۳۵۹ ^f	۰/۳۱۵ ^h	۷۵/۸۳ ^a	۷۷/۸۶ ^b	۸۰/۸۷ ^b	۸۳/۲۶ ^b	۸۹/۱۴ ^b	I ₂ ×Fe ₂
۰/۸۴۲ ^f	۰/۷۵۳ ^{ef}	۰/۶۳۴ ^f	۰/۵۶ ^d	۰/۴۱۱ ^{ef}	۶۴/۲۸ ^d	۶۶/۴۴ ^f	۶۸/۳۴ ^f	۷۲/۹۸ ^f	۸۲/۵۹ ^f	I ₃ ×Fe ₂
۱/۱۵ ^c	۰/۷۱ ^g	۰/۷۱۵ ^{de}	۰/۵۶۸ ^d	۰/۴۴۸ ^{cd}	۵۰/۸۸ ^g	۵۳/۷۳ ^j	۵۵/۰۳ ^j	۶۱/۲۶ ^j	۷۷/۳۴ ^h	I ₁ ×Fe ₃
۰/۶۳۷ ^h	۰/۵۵۱ ⁱ	۰/۴۳۷ ^j	۰/۳۳۱ ^g	۰/۲۷ ^j	۷۷/۷۳ ^a	۷۹/۹۹ ^a	۸۴/۵۲ ^a	۸۷/۷۵ ^a	۹۱ ^a	I ₂ ×Fe ₃
۰/۷۷۲ ^g	۰/۶۱۲ ^g	۰/۶۱۲ ^g	۰/۵۶۲ ^d	۰/۳۲۷ ^h	۶۸/۳۹ ^c	۷۰/۱۱ ^e	۷۲/۷۱ ^e	۷۵/۴۷ ^e	۸۴/۵۲ ^e	I ₃ ×Fe ₃
۰/۰۴۰	۰/۰۳۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۲/۰۱	۱/۵۵	۰/۹۸	۱/۳۷	۱/۰۳	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.



شکل ۷- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات درصد تابش جذب شده برگ گندم



شکل ۸- تاثیر نانو اکسید آهن و سطوح آبیاری بر روند تغییرات ضریب خاموشی گندم

روز پس از کاشت	۱۹۴	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۴	۲۳۴
تجمعی GDD	۱۰۸۸/۷	۱۲۷۱	۱۴۵۶/۲	۱۶۳۶	۱۸۴۳/۴

---●--- Fe 0 (gr/L)
-●- Fe 0.3 (gr/L)
-■- Fe 0.6 (gr/L)
-▲- Fe 0.9 (gr/L)

است می‌تواند اثر کمتری در تعدیل و یا بهبود عملکرد داشته باشد. در این بررسی 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 غلاف رفتن و کم‌ترین آن (۳۲۶/۵ گرم در متر مربع) در حالت عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۱۷). به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد دانه در انجام آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن، با بهبود شاخص‌های رشدی و افزایش تابش جذب شده مرتبط باشد. زیرا حداکثر شاخص سطح برگ و درصد جذب نور در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن بدست آمد. نتایج مشابهی نیز در بررسی‌های شریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰) مبنی بر افزایش عملکرد دانه در محلول‌پاشی با سولفات آهن به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و درصد جذب نور گزارش شده است. در این راستا، رضائیان‌زاده (۱۳۸۷) گزارش کردند انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی با افزایش شاخص‌های رشدی و بهبود سرعت و دوره پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه نخود شد. غفاری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب، افزایش وزن خشک ریشه موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری محدود شد. پارسا و همکاران (۱۳۹۰) اظهار داشتند که آبیاری تکمیلی به دلیل افزایش شاخص‌های رشدی نظیر تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نانو اکسید آهن، آبیاری تکمیلی و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۶). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری تکمیلی در نانو اکسید آهن، نشان می‌دهد که در تیمارهای دارای آهن، عملکرد در آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی مشابه عملکرد تحت شرایط دیم بود در حالیکه در حالت عدم کاربرد آهن، عملکرد دیم کمتر بود. بالاترین عملکرد دانه در تمامی ترکیب‌های تیماری متعلق به آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن و استفاده از نانو اکسید آهن بود. مرحله غلاف رفتن از مهم‌ترین و حساس‌ترین مراحل رشد زایشی در غلاتی مانند گندم است که در تشکیل دانه نقش اساسی دارد و به نظر می‌رسد انجام آبیاری تکمیلی در این مرحله به دلیل حساسیت بالای این مرحله به کمبود آب، قادر است بخشی از کاهش عملکرد دانه تحت شرایط دیم را جبران نماید ضمن آنکه استفاده از نانو اکسید آهن به دلایل مختلفی نظیر بهبود مقاومت گیاه به خشکی (Yeritsyan and Economakis, 2002) و فعالیت‌های متابولیسمی مرتبط با آهن نظیر سیتوکروم‌ها (هادی و همکاران، ۱۳۹۵)، افزایش محتوای کلروفیل و شاخص سطح برگ (Kandoliya et al, 2018) که از عوامل موثر در افزایش تشعشع جذب شده در گیاه و بهبود فتوسنتز به حساب می‌آیند می‌تواند بهبود عملکرد دانه کمک نماید. در حالی که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله‌دهی که از حساسیت کمتری به کمبود آب در مقایسه با مرحله غلاف رفتن برخوردار

رشد محصول، سرعت رشد نسبی و فتوستتز خالص موجب افزایش عملکرد دانه در نخود شد.

جدول ۱۶- تجزیه واریانس تاثیر نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر حجم ریشه، وزن خشک ریشه و عملکرد دانه گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		حجم ریشه	وزن خشک ریشه
بلوک	۲	۲۶/۶۸۷۵**	۲/۰۲۱۹۶۹۴ ^{ns}
آبیاری تکمیلی	۲	۸۹۸/۱۴۵۸۳۳**	۱۵۷/۷۲۴۱۳۶۱**
نانو اکسید آهن	۳	۶۳۶/۹۵۱۳۸۹**	۸۲/۵۰۵۸۳۲۴**
آهن×آبیاری	۶	۳۲/۸۶۸۰۵۶**	۳۰/۷۰۱۹۵۴۶**
خطا	۲۲	۳/۲۴۸۱۰۶	۱/۱۹۴۵۸۱۶
ضریب تغییرات	-	۸/۳	۴/۵

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

جدول ۱۷- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول پاشی نانو اکسید آهن و آبیاری تکمیلی بر حجم ریشه، وزن خشک ریشه و عملکرد گندم

حجم ریشه (در ۰/۲ متر مربع)	وزن خشک ریشه (در ۰/۲ متر مربع)	عملکرد (گرم در متر مربع)	
۲۸/۳۳ ^h	۱۰/۵۰ ^h	۳۲۶/۵۰ ^d	I ₁ ×Fe ₀
۵۱/۸۳ ^e	۲۵/۷۶ ^{bcd}	۴۱۲/۵۰ ^b	I ₂ ×Fe ₀
۴۸/۵۰ ^f	۲۳/۷۳ ^{ef}	۳۵۳/۰۰ ^c	I ₃ ×Fe ₀
۵۰/۴۳ ^g	۲۱/۷۷ ^g	۳۴۲/۵۰ ^c	I ₁ ×Fe ₁
۵۸/۵۰ ^c	۲۶/۶۹ ^{bc}	۴۲۱/۵۷ ^b	I ₂ ×Fe ₁
۵۰/۱۶ ^{ef}	۲۴/۲۹ ^{def}	۳۲۶/۵۰ ^c	I ₃ ×Fe ₁
۴۸/۳۳ ^f	۲۳/۱۶ ^{fg}	۳۴۸/۷۰ ^c	I ₁ ×Fe ₂
۶۳/۵۰ ^b	۲۷/۶۰ ^{ab}	۴۴۰/۲۰ ^a	I ₂ ×Fe ₂
۵۵/۱۶ ^d	۲۵/۴۱ ^{cde}	۳۴۸/۷۰ ^c	I ₃ ×Fe ₂
۵۵/۱۶ ^d	۲۵/۴۰ ^{cde}	۳۷۵/۰۰ ^c	I ₁ ×Fe ₃
۷۰/۱۶ ^a	۲۹/۱۷ ^a	۴۵۲/۰۰ ^a	I ₂ ×Fe ₃
۶۳/۳۳ ^b	۲۶/۷۴ ^{bc}	۳۷۵/۰۰ ^c	I ₃ ×Fe ₃
۳/۰۵	۱/۸۵	۱۴/۷۰	LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب عدم آبیاری (دیم)، آبیاری در مرحله غلاف رفتن و آبیاری در مرحله سنبله دهی. Fe₀، Fe₁، Fe₂ و Fe₃ به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید آهن و مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

نتیجه گیری

غذایی کم مصرفی مانند آهن که از عناصر مهم و تاثیر گذار در بهبود خیلی از فرایندهای مهم فیزیولوژیکی و شاخص سطح برگ می باشد با مشکل مواجه شود، ولی استفاده از آبیاری تکمیلی و آهن به دلیل بهبود شاخص سطح برگ موجب شد تا درصد تایش جذب شده افزایش یافته و همین امر منجر به بهبود دیگر شاخص های رشدی نظیر بیوماس کل در واحد سطح، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص که از عوامل مهم و تاثیر گذار بر عملکرد بودند افزایش یابد که در مجموع منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله غلاف رفتن بیشترین عملکرد دانه ای گندم دیم را در مقایسه با عدم آبیاری و آبیاری تکمیلی در مرحله سنبله دهی به خود اختصاص داد. در شرایط دیم به دلیل کمبود رطوبت خاک، کاهش سطح برگ، پژمردگی، جمع شدن پهنک و در نهایت پیری زودرس برگها، موجب می شود تا کارایی تبدیل تشعشع جذب شده به ماده خشک کاهش یابد. ضمن آنکه در چنین شرایطی جذب عناصر

منابع

- بقائی نرگس، شکوه فر علیرضا، مجدم مانی، ساکی نژاد طیب . ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری و تراکم بوته بر ضریب استهلاک نوری ذرت دانه ای رقم ۷۰۴ در شرایط اهواز. پژوهش های زراعی در حاشیه کویر ۱۱ (۱): ۹-۱۶
- پارسا مهدی، گنجعلی علی، رضائیان زاده الیاس، نظامی احمد . ۱۳۹۰. تاثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و شاخص های رشد سه رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) در منطقه مشهد. نشریه پژوهش های زراعی ایران ۹ (۳): ۳۱۰-۳۲۱
- جباری ماشاله، عبادی علی، توبه احمد، مصطفایی حسین . ۱۳۸۹. تاثیر آبیاری تکمیلی بر مراحل فنولوژیکی، میزان کلروفیل، درصد جذب تابش، ضریب استهلاک نوری و عملکرد دانه در ارقام گلرنگ بهاره. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. تهران، دانشگاه شهید بهشتی. ۲-۴ مرداد ماه.
- حسینی رقیه سادات، گالشی سراله، سلطانی افشین، کلاته مهدی، زاهد محبوبه . ۱۳۹۳. اثر کود نیتروژن بر ضریب خاموشی و کارایی استفاده از تشعشع در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.). پژوهش های زراعی ایران ۱۳ (۱): ۴۴-۵۲
- خرسندی هادی، غفاری عبدالعلی، تاج بخش شیشوان مهدی، زادحسن اسماعیل . ۱۳۹۲. ارزیابی شاخص های رشد چند ژنوتیپ گندم نان تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. نشریه زراعت دیم ایران ۱ (۴): ۱۰۳-۶۹
- خلیل زاده راضیه، سید شریفی رئوف، جلیلیان جلال . ۱۳۹۶. تاثیر سایکوسل و تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد بر عملکرد، شاخص های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط محدودیت آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۶ (۲۱): ۲۶۶-۲۴۷

- رستگار سمیه، ذاکری امید، ذاکری بتول. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر رشد رویشی و تغییرات بیوشیمیایی شش گونه زینتی گرمسیری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۵ (۱۶): ۱۶۴-۱۵۷
- رضائیانزاده الیاس. ۱۳۸۷. تاثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های رشدی سه رقم نخود (*Cicer arietinum L.*) پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۴۵-۹۴
- رضوانی حسین، اصغری جعفر، احتشامی سید محمدرضا، کامکار بهنام. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات توزیع عمودی سطح برگ ارقام گندم دیم در رقابت با علف هرز خردل و حشب در گرگان. نشریه زراعت دیم ایران ۴ (۱): ۴۵-۹۴
- ساجدی نورعلی، اردکانی محمدرضا. ۱۳۸۷. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی و آهن بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۶ (۱): ۹۹-۱۱۰
- سلیمانی علی، فیروزی مرتضی، نارنجانی لیلا. ۱۳۸۸. تاثیر محلول‌پاشی عنلصر کم مصرف بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی موثر بر رشد و عملکرد ماده خشک گیاه ذرت علوفه‌ای. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۹ (۳): ۳۴۰-۳۴۷
- سیدشریفی رئوف، خلیل‌زاده راضیه. ۱۳۹۶. تولید غلات. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ایران. اردیبهشت ۱۳۹۶. ۴۱۰ صفحه
- شریعتمداری محمدحسین، زمانی غلامرضا، سیاری محمدحسن. ۱۳۹۰. اثرات شوری و محلول‌پاشی آهن بر شاخص سطح برگ، درصد جذب نور و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۹ (۲): ۲۸۵-۲۹۳
- صداقت نعمت‌اله، پیردشتی همت‌اله، راحمی کاریزکی علی، صفی‌خانی سعید. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص‌های رشد دو رقم اصلاح شده و بومی برنج (*Oryza sativa L.*) در مدیریت‌های مختلف آبی. اکوفیزیولوژی گیاهی ۹ (۲۹): ۶۵-۷۹
- عقیقی شاهرودی مهدی، امیدی حشمت، طباطبایی سیدجلال. ۱۳۹۶. اثر محلول‌پاشی آهن، بور و سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudian* Bertonii). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی ۱۲ (۴۷): ۱-۱۸
- عیسوند حمیدرضا، اسماعیلی علیرضا، محمدی مراد. ۱۳۹۳. بررسی اثر سطوح مختلف نانواکسید آهن بر برخی ویژگی‌های کمی، کیفی و فیزیولوژیک چهار رقم گندم پاییزه کشور (*Triticum aestivum L.*) در وضعیت اقلیمی خرم‌آباد. علوم گیاهان زراعی ایران ۴۵ (۲): ۲۸۷-۲۹۸
- غفاری مهدی، تورچی محمود، ولزاده مصطفی، شکبیا محمدرضا. ۱۳۹۳. خصوصیات فیزیولوژیک پایدار کننده عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط آبیاری محدود. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۴ (۴): ۹۷-۱۰۸

کریمی مهدی، عزیزی مهدی . ۱۳۷۳. آنالیزهای رشد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۱۱ صفحه

کمری حسین. ۱۳۹۳. تاثیر تلقیح با باکتری‌های محرک رشدی و نانو اکسید روی بر عملکرد، دوره پر شدن دانه و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک تربیتکاله، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۳۹ صفحه

مداح یزدی وحید، سلطانی افشین، کامکار بهنام، زینلی ابراهیم . ۱۳۸۷. فیزیولوژی مقایسه‌ای گندم و نخود: شاخص سطح برگ، دریافت و استفاده از نشعشع و توزیع ماده خشک به برگ‌ها. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵(۴): ۴۵-۵۵

میرزاوند معصومه، عزیزی، خسرو، ابدالی مسلم، اسماعیلی احمد، حیدری سعید . ۱۳۹۰. بررسی تاثیر تکنیک‌های زراعی (آرایش کاشت و آبیاری تکمیلی) بر شاخص‌های رشدی نخود (*Cicer arietinum* L.). فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۳(۲): ۱۶۹-۱۵۹

هادی هاشم، سیدشریفی رئوف، نامور علی . ۱۳۹۵. محافظ‌های گیاهی و تنش‌های غیر زیستی. انتشارات دانشگاه ارومیه. ۳۴۱ صفحه

Bayuelo-Jimenez JS, Debouck DG, Lynch JP. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Research 80: 207-222

Debermann AR. 2006. Extension soil fertility. In: Ferguson, R. B. (2006). Fertilizer recommendations for soybean. UNL Soil Fertility. Available online at: <http://soil.fertility.unl.edu>

Dwyer LM, Stewart DW, Hamilton RI, Houwing L. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agronomy Journal 84: 430-438

Earl HJ, Davis R. 2003. Drought stress effects on maize. Agronomy Journal 95: 688-696

Gallo KP, Daugherty CST, Wiegand CL. 1993. Errors in measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. Agronomy Journal 85: 1222-1228

Hashemi-Dezfuli A. 1990. Manipulation of crowding stress in corn. Ph. D. Dissertation. University of Massachusetts. Amherst. U. S. A

Hassan AA. 2005. Effect of plant population on yield and yield components of eight Egyptian maize hybrids. Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University 51: 11-10.

Hosseinzadeh SR, Amiri H, Ismaili A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54 (1): 87-92

Jones HG. 1992. Plants and Microclimate, 2nd Edition. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press, Cambridge

Kandoliya RU, Sakarvadiya HL, Kunjadia BB. 2018. Effect of zinc and iron application on leaf chlorophyll, carotenoid, grain yield and quality of wheat in calcareous soil of Saurashtra region. International Journal of Chemical Studies 6(4): 2092-2096

Karimi MM, Siddique HM. 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research 42: 13-20

- Kiniry J, Simpson, CE, Schubert AM, Reed JD. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. *Field Crops Research* 91: pp. 297.
- Mazaherinia S, Astarai AR, Fotovat A, Monshi A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal* 7(1): 36-40
- Miao QJ, Rosa RD, Shi H, Paredes P, Zhu L, Dai J, Goncalves M, Pereira LS. 2016. Modeling water use, transpiration and soil evaporation of spring wheat-maize and spring wheat-sunflower relay intercropping using the dual crop coefficient approach. *Agricultural Water Management* 168: 211-229
- Oweis T, Hachum A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity for dry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress 26th Sept. to 1st Oct
- Pradhan S, Sehgal VK, Bandyopadhyay KK, Panigrahi P, Parihar CM, Jat SL. 2018. Radiation interception, extinction coefficient and use efficiency of wheat crop at various irrigation and nitrogen levels in a semi-arid location. *Indian Journal Plant Physiology* 23(3): 416-425
- Rahman MM. 1992. Growth analysis of chickpea genotypes in relation to grain filling period and yield potential in Bangladesh; Bangladesh. *Journal of Botany* 21(2): 225-231
- Rai AK, Dixit JP, Gaur D, Paliwal DK, Sharma K. 2018. Effect of wheat [*Triticum aestivum* (L.)] varieties under fertility levels and seed rates on physiological parameter, nutrient content and uptake of crop plant. *International Journal of Asian Studies* 6(5): 1165-1172
- Salazar-Gutierrez MR, Johnson J, Chaves-Cordoba B, Hoogenboom G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production* 7(4): 1735-8043
- Sam Dalirie M, Seyed Sharifi R, Farzaneh S. 2010. Evaluation of yield, dry matter accumulation and leaf area index in wheat genotypes as affected by terminal drought stress. *Journal of Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38(1): 182-186
- Sharifi P. 2017. Studying Maize Growth Indices in Different water Stress Conditions and the use of Humic Acid. *Biomed Pharmacol Journal* 10(1): 303-310
- Sowder CM, Tarpley L, Vietor DM, Miller FR. 1997. Leaf photo assimilation and partitioning in stress-tolerant sorghum. *Crop Science* 37: 833-838
- Tavakkoli AR, Owise TY. 2002. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agriculture Water Management* 65: 225-236
- Tohidi M, Nadery A, Siadat S, Lak S. 2012. Variables productivity of light interception in grain maize hybrids at various amount of nitrogen. *World Applied Sciences Journal* 16: 86-93
- Yeritsyan N, Economakis C. 2002. Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. *Acta Horticulture* 576: 277-283
- Zaman E, Abdul Karim M, Nasimul Bari Md, Akter N, Ahmed JU. 2016. Growth and yield performance of selected wheat varieties under water deficit conditions. *The Bangladesh Journal of Scientific Research* 29(2): 163-170

Effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on growth indices, radiation absorption and yield of wheat under rainfed condition

H. Narimani¹, R. Seyyed Sharifi^{2*}, N. Ebadi¹

1- Msc student, Department of Agronomy, Mohaggeg Ardabili university, Ardabil, Iran

2- Department of Agronomy, Mohaggeg Ardabili university, Ardabil, Iran

Several strategies have been developed in order to decrease water limitation effects under rain fed condition on plant growth. Among them, use of supplementary irrigation and nano iron oxide play a very important role on yield improvement. So, in order to study the effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on growth indices, radiation absorption and yield of wheat under rain fed condition, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil in 2016. Factors of experiment were included irrigation in three levels (no irrigation as rain fed, supplementary irrigation at heading stage or according with 45 BBCH code, supplementary irrigation at booting stage or according with 61 BBCH code), foliar application of nano iron oxide in four levels (without nano iron oxide as control, foliar application of 0.3, 0.6 and 0.9 g L⁻¹). The results showed that 0.9 g L⁻¹ nano iron oxide application and supplementary irrigation at booting stage was caused the maximum of leaf area index, percentage of light absorbed, net assimilation rate, crop growth rate, relative growth rate and total dry matter compared to non-application of nano iron oxide under rain fed condition. Also, foliar application of 0.9 g L⁻¹ nano iron oxide and supplementary irrigation at booting stage increased grain yield by 38.43% compared to no application of nano iron oxide under rain fed condition. Generally, it seems that application of supplementary irrigation and nano iron oxide can be considered as appropriate management factors for increasing grain yield under water limitation conditions.

Keywords: Crop Growth Rate, extinction coefficient, leaf area index, microelement

* Corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com Received:2018/09/03 Accepted:2019/01/19