

تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی

و عملکرد دانه دو رقم گندم نان

نصرت اله عباسی^{۱*}، جواد چراغی^۲ و سمیه حاجی نیا^۳

(۱) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(۳) استاد مدعو گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول: abbasinosrat@gmail.com

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد.

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی با کودهای شیمیایی و نانوکلات های آهن و روی بر غلظت کلروفیل، کارایی مصرف نور و عملکرد دانه دو رقم گندم نان، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی مرکز زرین آباد طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول پاشی در هفت سطح (شاهد، محلول پاشی با کلات آهن، نانو کلات آهن، سولفات روی، نانو کلات روی، کلات آهن + سولفات روی و نانو کلات آهن + نانو کلات روی) و فاکتور دوم دو رقم گندم (چمران و کوهدشت) بود. نتایج نشان داد محلول پاشی با کودهای آهن و سولفات روی اثر معنی داری بر غلظت کلروفیل و حداکثر شاخص سطح برگ به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد داشتند. حداکثر شاخص سطح برگ در سطح آماری ۱ درصد در رقم کوهدشت ۷/۲۱ درصد بیشتر از رقم چمران بود. محلول پاشی با نانو کلات آهن توأم با نانو کلات روی حداکثر تجمع ماده خشک (۷۸۲ گرم در متر مربع) را به خود اختصاص داد. کمترین میزان ماده خشک ۶۸۱ گرم در متر مربع نیز در گیاهان شاهد (عدم محلول پاشی) به دست آمد. در رقم چمران، بیشترین مقدار کارایی مصرف نور ۲/۳۰ گرم بر مگاژول با کاربرد نانو کلات آهن به دست آمد که ۱۰/۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. بیشترین مقدار کارایی مصرف نور ۲/۳۰ گرم بر مگاژول با کاربرد نانو کلات آهن + سولفات روی + کلات آهن و کمترین مقدار آن (۲/۰۸ گرم بر مگاژول) در گیاهان شاهد به دست آمد. محلول پاشی با نانو کلات روی + نانو کلات آهن و کلات آهن + سولفات روی عملکرد دانه گندم رقم چمران را به ترتیب ۲۷/۴۴ و ۱۵/۹۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. در رقم کوهدشت، نانو کلات روی و آهن تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه گندم رقم کوهدشت نداشتند.

واژه های کلیدی: سولفات روی، کلات آهن، کلروفیل و نانو کود.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی است و ۴۰ درصد از انرژی و غذای مورد نیاز مردم جهان را تامین می‌کند. با رشد جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۰ تقاضا برای گندم به بیش از ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت (Wei et al., 2014). عناصر ریزمغذی، نقش حیاتی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند و سهم مهمی در افزایش عملکرد محصول دارند (Dewal and Pareek, 2004). بعضی عناصر غذایی کم‌مصرف همانند روی و آهن، برای رشد گیاه ضروری هستند و در فرآیندهای فیزیولوژیکی، مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت کاهش کمی و کیفیت محصول شود. کمبود آهن در اغلب خاک‌های ایران مشهود است (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸). مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، عدم کاربرد کودهای دارای عناصر کم‌مصرف، وجود خاک‌های آهکی با ماده آلی کم و کشت متناوب اراضی سبب تشدید کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های زیر کشت غلات کشور گردیده است (Firoozi et al., 2018). امروزه روند روبه افزایش تخریب منابع آب، خاک و محیط‌زیست در اثر کاربرد بی‌رویه مواد شیمیایی در کشاورزی و روش‌های رایج تولید مواد غذایی در جهان موجب توجه و ترغیب محققان به بخش کشاورزی پایدار گردیده است (Avis et al., 2008). در این راستا، استفاده از نانو کودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی موثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد (Cui et al., 2006). با به‌کارگیری نانو کودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند (Chinnamuthu and Murugesu Boopathi, 2009). Firoozi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تأثیر محلول پاشی نانو کلات سوپرپلاس با غلظت دو در هزار بر عملکرد ۱۸ رقم و لاین گندم دوروم (*Triticum turgidum* var. durum) گزارش دادند، بیشترین عملکرد دانه با محلول پاشی عناصر ریزمغذی در مرحله پنجه‌زنی در لاین‌های L5 و L16 به دست آمد و کمترین عملکرد دانه در عدم محلول پاشی در رقم سیمره و محلول پاشی در مرحله دانه‌بندی در لاین L7 به دست آمد. Ghasemi و همکاران (۲۰۱۳) در گندم گزارش کردند که محلول پاشی با عناصر ریزمغذی منجر به بهبود عملکرد اقتصادی گیاه گندم گردیده است. Goma و همکاران (۲۰۱۵) در گندم نیز گزارش کردند که محلول پاشی با آهن و روی موجب افزایش عملکرد گندم گردید. کمیت و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در اکوسیستم‌های زراعی تحت تأثیر نوع و چگونگی مدیریت اعمال شده، قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2008). کارایی جذب نور توسط یک گیاه تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش محیط، ضریب استهلاک نور و در نهایت کارایی

مصرف نور می‌باشد (Holt, 2005). کارایی استفاده از نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده می‌باشد. در شرایط بدون تنش، تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang et al., 2008). یکی از بارزترین اثرات عناصر ریزمغذی آهن و روی می‌تواند افزایش شاخص سطح برگ باشد. بازده فتوسنتز و ساختار و عملکرد دستگاه فتوسنتزی به شدت به آهن وابسته است. اگر آهن به مقدار کافی و قابل جذب، در دسترس گیاه نباشد تولید کلروفیل در برگ کاهش می‌یابد. آهن در ساختمان سیتوکروم به عنوان ناقل الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس و عملیات اکسیداسیون و احیا و ساخت کلروفیل دخالت دارد. وجود آهن در سنتز پروتئین لازم است و از آنجایی که نقش عمده آهن در سنتز پروتئین‌های همراه کلروفیل است کمبود آن ساختار کلروپلاست و میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Briat et al., 2015). مصرف عنصر روی میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش سطح برگ و عملکرد می‌گردد (Dewal and Pareek, 2004). بنابراین عناصر ریزمغذی آهن و روی آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ باعث افزایش جذب تشعشع شده و کارایی مصرف نور را افزایش می‌دهند. گزارش‌های محدودی مبنی بر اثر عناصر ریزمغذی آهن و روی به فرم معمول و نانو بر کارایی مصرف نور در گندم وجود دارد. محلول پاشی نانو اکسید روی موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش فیلوکرون در گیاه تریتیکاله گردید (کمری و همکاران، ۱۳۹۳). Sala و Rawashdeh (۲۰۱۵) افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی با محلول پاشی آهن در گندم گزارش کردند. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی از یک سو و انرژی و هزینه‌های تولید از سوی دیگر و همچنین مسئله تأمین غذای کافی و با کیفیت مناسب برای جمعیت، تحقیق در زمینه به کار بردن روش‌هایی که منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود را ضروری ساخته است. با توجه به اهمیت دو عنصر آهن و روی در تغذیه گندم، این تحقیق با هدف بررسی اثرات محلول پاشی کودهای شیمیایی و نانو کلات‌های روی و آهن بر عملکرد و کارایی مصرف نور در دو رقم گندم چمران و کوه‌دشت اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی مرکز زرین‌آباد واقع در شهرستان دهلران بخش زرین‌آباد شهر پهل با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۷ درجه و ۶۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷۶۳ متر از سطح دریا، طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. در طول دوره رشد مجموع بارندگی ۳۷۸ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط

۱۴ درجه سانتیگراد بود. بافت خاک محل آزمایش لوم - رسی و سال قبل از اجرای آزمایش زیر کشت ذرت بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک)

بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	ماده آلی (درصد)	نیترژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن روی
لوم-رسی	۰/۷۶	۷/۷۰	۱/۵۰	۰/۰۷	۲۳/۱۷	۳۵۶	۱/۶۷ ۰/۳۲

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل دو رقم گندم چمران و کوهدشت، فاکتور دوم محلول پاشی در هفت سطح شاهد، محلول پاشی با کلات آهن، نانو کلات آهن، سولفات روی، نانو کلات روی، کلات آهن + سولفات روی و نانو کلات آهن + نانو کلات روی بود. عملیات کاشت گندم در تاریخ ۲۰ آذر ماه در کرت‌هایی با ابعاد ۴×۳ متر مربع شامل ۱۵ ردیف به طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت، دو سانتی‌متر بود. بذر ارقام گندم چمران و کوهدشت از شرکت خدمات کشاورزی ولیعصر دشت عباس واقع در شهرستان دهلران تهیه شده بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، کود شیمیایی نیترژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله یک سوم قبل از کاشت و بقیه در زمان ساقه رفتن به صورت پخش سطحی مورد استفاده قرار گرفت. نانو کودهای آهن (۹ درصد آهن) و روی (۱۲ درصد) از شرکت خضراء (صدور احرار شرق) با شماره ثبت کودی نانو کود آهن و روی به ترتیب ۳۴۴۲۸ و ۲۹۹۳۶ تهیه گردید. مطابق دستورالعمل شرکت سازنده کود و نتایج آزمون خاک محلول پاشی نانو کودهای آهن و روی به ترتیب با غلظت‌های ۲ و ۲/۵ در هزار، طی دو مرحله ساقه رفتن و مرحله سنبله‌دهی استفاده گردید. محلول پاشی کلات آهن (Fe-EDTA) با غلظت ۲ در هزار و سولفات روی با غلظت ۴ در هزار طی مراحل ساقه رفتن و سنبله‌دهی صورت گرفت. در تیمار شاهد برگ‌ها با آب محلول پاشی شدند. محلول پاشی با سم پاش دستی و قبل از طلوع آفتاب انجام شد تا جذب محلول بهتر صورت بگیرد و تبخیر محلول به حداقل برسد. به منظور تعیین وزن خشک کل و سطح برگ پس از مرحله پنجه‌دهی، نمونه برداری‌های تخریبی از پنج بوته به طور کاملاً تصادفی و با در نظر گرفتن اصول حاشیه از هر یک از کرت‌ها، هر ۱۵ روز یک بار تا انتهای دوره رشد برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. برای تعیین شاخص سطح برگ طول و عرض (پهن‌ترین قسمت برگ) برگ‌ها اندازه‌گیری شد و در ۰/۵ ضرب شد (Sobhani and Shirani, 2000):

$$A = L \times W \times 0.5$$

رابطه ۱:

در این رابطه، A سطح برگ، L طول برگ و W عرض برگ می‌باشد. همچنین جهت تعیین وزن خشک کل گندم نیز ابتدا نمونه‌ها در دمای 70°C درجه سانتی‌گراد در آون به مدت زمان 48 ساعت خشک و سپس توسط ترازو توزین گردید. به‌منظور بیان تغییرات شاخص سطح برگ گندم نسبت به روزهای کاشت از رابطه لجستیک - پیک (رابطه ۲) استفاده گردید (حسین‌پناهی و همکاران، ۱۳۸۹):

$$Y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d))^2 \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه a : عرض از مبدا، b : زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c : حداکثر شاخص سطح برگ و d : نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x : زمان بر حسب روزهای پس از کاشت است. جهت ارزیابی تغییرات ماده خشک گندم در زمان رابطه سیگموییدی (رابطه ۳) بهترین برازش را به داده‌های به‌دست آمده داشت (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۷):

$$\text{TDM} = \text{EXP}(aX^2 + bX + c) \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این رابطه TDM تجمع ماده خشک برحسب گرم در متر مربع، a ، b ، c ضرایب رابطه x ، زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

جهت محاسبه میزان جذب و کارایی مصرف تابش ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی زرین‌آباد به روش ارائه شده توسط Goudriaan و Van Laar (۱۹۹۴) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی گرفته شده از ایستگاه هواشناسی مرکز دهلران (سایت هواشناسی استان ایلام، ۱۳۹۷) اصلاح و نور جذب شده روزانه برای گندم بر اساس رابطه ۴ محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2005). سپس تشعشع جذب شده از حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به‌دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان، محاسبه گردید:

$$I_{\text{abs}} = I_0 \times (1-p) \times (1 - \exp(-k \times \text{LAI})) \quad \text{رابطه ۴:}$$

I_0 : مقدار تشعشع رسیده به بالای تاج پوشش گندم (مگاژول بر مترمربع)، I_{abs} : مقدار تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش گندم (مگاژول بر مترمربع)، p : ضریب انعکاس ($0/05$)، K : ضریب خاموشی نور در گندم ($0/50$) و LAI : شاخص سطح برگ است (Olesen *et al.*, 2002). کارایی مصرف نور بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیونی بین ماده خشک (گرم در متر مربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه گردید (Tsubo *et*

(al., 2005). در مرحله گل‌دهی غلظت کلروفیل کل مطابق روش Arnon (۱۹۴۹) با استفاده از استون ۸۰ درصد اندازه گیری شد. جذب نوری کلروفیل در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و غلظت کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد. برای تعیین عملکرد دانه در اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ با لحاظ حاشیه، سطحی معادل دو متر مربع برداشت شد.

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن اثرات برهمکنش (رقم × محلول پاشی) بر عملکرد دانه، برش‌دهی اثرات رقم × محلول پاشی بر اساس رقم و مقایسه میانگین‌ها به روش Lsmeans در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای برازش منحنی‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Slide Write و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر محلول پاشی با عناصر ریزمغذی بر غلظت کلروفیل، حداکثر ماده خشک و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر حداکثر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. رقم اثر معنی‌داری بر حداکثر شاخص سطح برگ، ماده خشک و عملکرد دانه داشت. همچنین برهمکنش تیمارها بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس اثرات محلول پاشی بر غلظت کلروفیل، حداکثر شاخص سطح برگ، ماده خشک و عملکرد دانه دو رقم گندم

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد دانه	حداکثر ماده خشک	حداکثر شاخص سطح برگ	غلظت کلروفیل		
۴۰۹۹۸ ^{ns}	۱۳۲۴ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۴/۹۰ ^{ns}	۲	بلوک
۲۸۰۸۸۷ ^{**}	۸۱۷۷ ^{**}	۰/۵۷۴ [*]	۳۳/۷۵ ^{**}	۶	محلول پاشی
۴۸۱۶۵ ^{ns}	۳۲۱۲۱ ^{**}	۱/۰۶۷ [*]	۰/۰۳ ^{ns}	۱	رقم
۲۱۹۱۹۲ ^{**}	۵۲۵ ^{ns}	۰/۱۸۰ ^{ns}	۱/۰۷ ^{ns}	۶	رقم × محلول پاشی
۳۶۴۱۰	۸۲۱	۰/۲۰۱	۳/۱۰	۲۶	خطای آزمایشی
۱۷/۱۵	۱۹/۷۷	۱۰/۰۸	۱۳/۷۶	-	ضریب تغییرات (درصد)
برش‌دهی اثرات برهم‌کنش (رقم × محلول پاشی) بر اساس رقم					
۳۳۰۷۷۳ ^{**}	-	-	-	۶	رقم چمران
۱۶۹۳۰۸ ^{**}	-	-	-	۶	رقم کوه‌دشت

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار.

غلظت کلروفیل برگ

بیشترین غلظت کلروفیل با کاربرد نانو کلات آهن و روی حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۶۱ درصد بیشتر بود. کاربرد سولفات روی توأم با کلات آهن میزان کلروفیل ۴۲/۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۳). دو رقم چمران و کوهدشت از نظر غلظت کلروفیل برگ تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۳). Ghafari و Razmjoo (۲۰۱۳) گزارش دادند کاربرد نانو اکسید آهن و سولفات آهن مقدار کلروفیل a, b و کل را در مقایسه با تیمار شاهد در گیاه گندم دوروم افزایش داد. Kumar Sharma و Yadav (۲۰۱۸) افزایش مقدار سطح برگ و کلروفیل با کاربرد سولفات روی در گیاه جو گزارش دادند. در آزمایش دیگری محلول پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش غلظت کلروفیل برگ در برنج گردید (Zayed et al., 2011). آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد، بنابراین کمبود یا فعالیت کم آهن در گیاه باعث می‌شود که کلروفیل در مقادیر کافی تولید نشود و برگ‌ها رنگ پریده شوند و کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود. بدون کلروفیل کافی، برگ‌ها قادر به تولید ترکیبات فتوسنتزی مورد نیاز برای رشد و نمو نیستند. این امر موجب کاهش رشد می‌شود. در بعضی موارد کاهش فتوسنتز ناشی از کاهش کلروفیل سبب بازدارندگی کامل از تشکیل برگ‌های جدید و در نتیجه کاهش محصول گیاه می‌شود (Mohamadipoor et al., 2013).

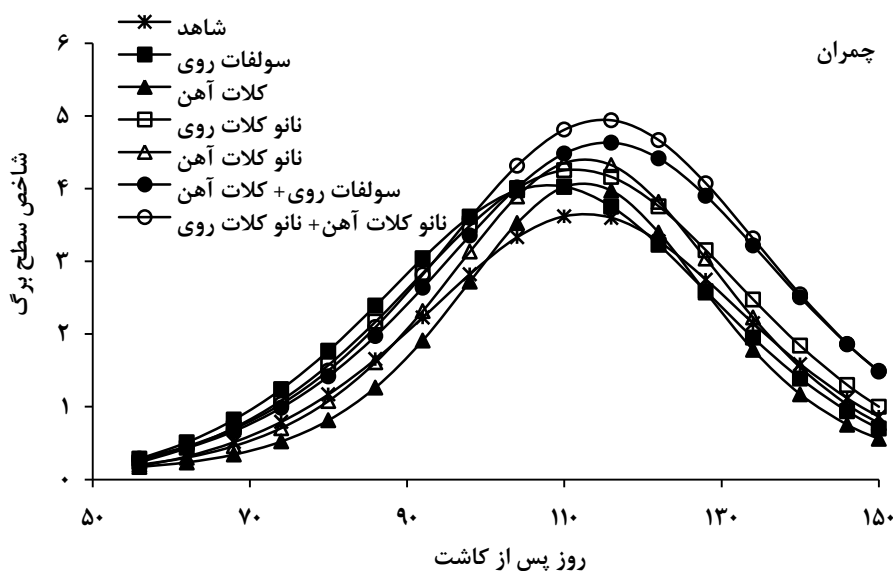
جدول ۳: اثرات محلول پاشی و رقم بر غلظت کلروفیل، حداکثر شاخص سطح برگ و ماده خشک گندم

محلول پاشی	غلظت کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	حداکثر شاخص سطح برگ	حداکثر ماده خشک (گرم بر مترمربع)
شاهد	۹/۷۳ ^c	۳/۹۸ ^c	۶۸۱ ^b
سولفات روی	۱۰/۹۶ ^{de}	۴/۲۱ ^{bc}	۷۵۴ ^a
کلات آهن	۱۳/۲۸ ^{bc}	۴/۳۱ ^{abc}	۷۵۸ ^a
نانو کلات روی	۱۱/۶۶ ^{cd}	۴/۴۲ ^{bc}	۷۸۴ ^a
نانو کلات آهن	۱۳/۶۸ ^{bc}	۴/۶۷ ^{ab}	۷۷۱ ^a
سولفات روی + کلات آهن	۱۳/۸۷ ^b	۴/۷۴ ^{ab}	۷۸۶ ^a
نانو کلات روی + نانو کلات آهن	۱۵/۶۹ ^a	۴/۸۲ ^a	۷۸۳ ^a
LSD (0.05)	۲/۰۸۹	۰/۵۳۳	۳۴/۰۲
رقم			
چمران	۱۲/۸۱ ^a	۴/۲۹ ^b	۷۳۲ ^b
کوهدشت	۱۲/۷۶ ^a	۴/۶۱ ^a	۸۰۷ ^a
LSD (0.05)	۱/۱۱	۰/۲۸۵	۱۸/۱۹

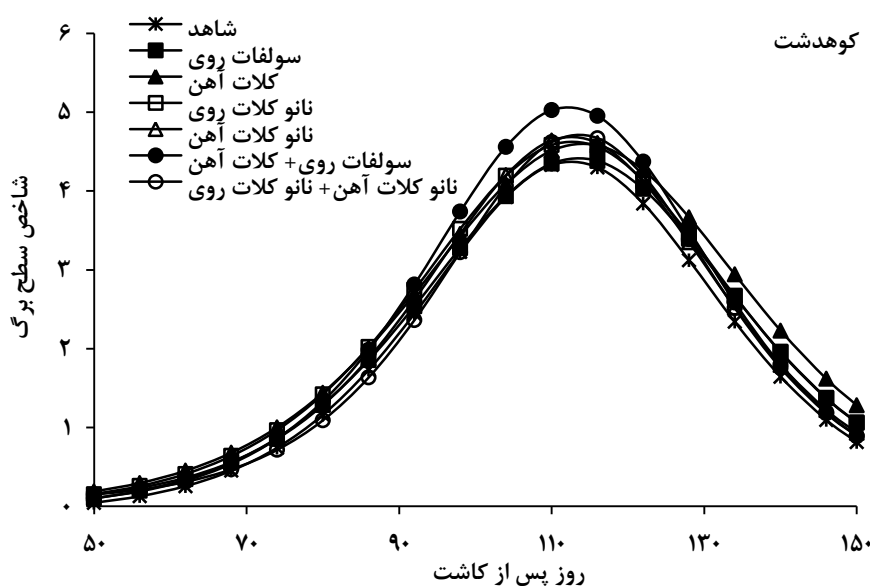
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

شاخص سطح برگ

نتایج این آزمایش نشان دهنده روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، برای تمامی تیمارها در هر دو رقم گندم بود. به طوری که در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ گندم به کندی افزایش یافت و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و در حدود ۱۱۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین تاج پوشش شاخص سطح برگ روند نزولی پیدا کرد (شکل‌های ۱ و ۲). محلول پاشی با کودهای آهن و سولفات روی تأثیر بیشتری بر شاخص سطح برگ رقم چمران در مقایسه با رقم کوهدشت داشتند. در رقم چمران، بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۸۱) مربوط به محلول پاشی نانو کلات آهن توأم با نانو کلات روی بود، که نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) ۳۲/۸۸ درصد افزایش یافت (شکل ۱). در رقم کوهدشت، محلول پاشی با کلات آهن + سولفات روی، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ ۵/۰۲ را به خود اختصاص داد. شاخص سطح برگ در این تیمار نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) به میزان ۱۶/۰۴ درصد افزایش نشان داد. این میزان افزایش در تیمار نانو کلات روی توأم با آهن، ۷/۸۴ درصد بود (شکل ۲). محلول پاشی با سولفات روی، کلات آهن، نانو کلات روی، نانو کلات آهن، سولفات روی + کلات آهن، نانو کلات روی + نانو کلات آهن نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) حداکثر شاخص سطح برگ را به ترتیب به میزان ۵/۷۷، ۸/۲۹، ۱۱/۰۵، ۱۷/۳۳، ۱۹/۰۹ و ۲۱/۱۰ درصد افزایش دادند (جدول ۳).



شکل ۱: تأثیر محلول پاشی بر شاخص سطح برگ گندم رقم چمران طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۷



شکل ۲: تأثیر محلول پاشی بر شاخص سطح برگ گندم رقم کوهدشت طی سال زراعی ۱۳۹۷-۹۶

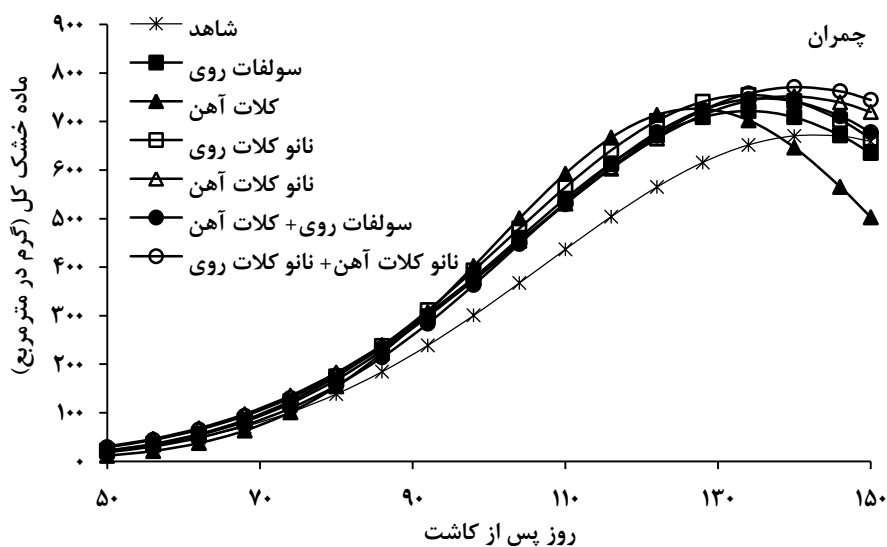
در رقم چمران، شاخص سطح برگ با محلول پاشی آهن و روی افزایش یافت و این امر منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی تاج پوشش و افزایش عملکرد شد. شاخص سطح برگ فاکتور اصلی تعیین کننده نفوذ نهایی نور در گیاه می باشد که بر فتوسنتز، تعرق و تجمع ماده خشک اثر دارد. اگر یک گیاه بخواهد از انرژی نور خورشید استفاده کارآمد کند، باید بتواند حداکثر تشعشع نور خورشید را توسط بافت های سبز جذب نماید. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم بیشتر می شود (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد محلول پاشی با نانو کلات های آهن و روی و کلات معمولی آهن و سولفات روی، شاخص سطح برگ گندم افزایش داد که این افزایش در تیمارهای نانو کلات بیشتر بود که علت این امر را می توان به حلالیت بیشتر و قابلیت فراهمی بیشتر نانو کلات آهن در مقایسه با فرم معمول آن نسبت داد. کاربرد عنصر روی و آهن باعث افزایش شاخص سطح برگ گندم گردید که با توجه به نقش این عناصر در تأمین مواد غذایی برای گیاه و نیز سنتز کلروفیل در برگ ها قابل توجه است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج آزمایش های فتحی و زاهدی (۱۳۹۳) مطابقت دارد. عناصر غذایی نظیر آهن با افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه در نتیجه افزایش کلروفیل برگ سبب افزایش سرعت رشد، اندازه برگ و نیز افزایش تعداد و سطح برگ گیاه می شود (Borlina et al., 2001). امیرجانی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش دادند کاربرد ۱/۵ میکرومولار نانو اکسید روی بیشترین تأثیر مثبت بر سطح برگ و تولید گندم در مقایسه با غلظت های بالای آن داشت. عیسوند و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند محلول پاشی با نانو اکسید آهن سبب بهبود شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گندم گردید. احتمالاً با فعال شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل سازی افزایش یافته که در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز اتفاق می افتد و در نهایت منجر به افزایش تعداد برگ گردیده است. محلول پاشی با نانو کلات آهن و روی

بیشترین اثر را شاخص سطح برگ داشت که این عکس العمل، نقش آهن و روی را در افزایش میزان کلروفیل نشان می‌دهد و به دنبال آن فتوسنتز گیاه افزایش می‌یابد که خود منجر به افزایش بیشتر شاخص سطح برگ می‌گردد. Kahrariyan و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند بیشترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار محلول پاشی با کلات آهن در مرحله پنجه‌دهی در رقم ریجاب و کمترین مقدار در رقم رشید بدون محلول پاشی به دست آمده است.

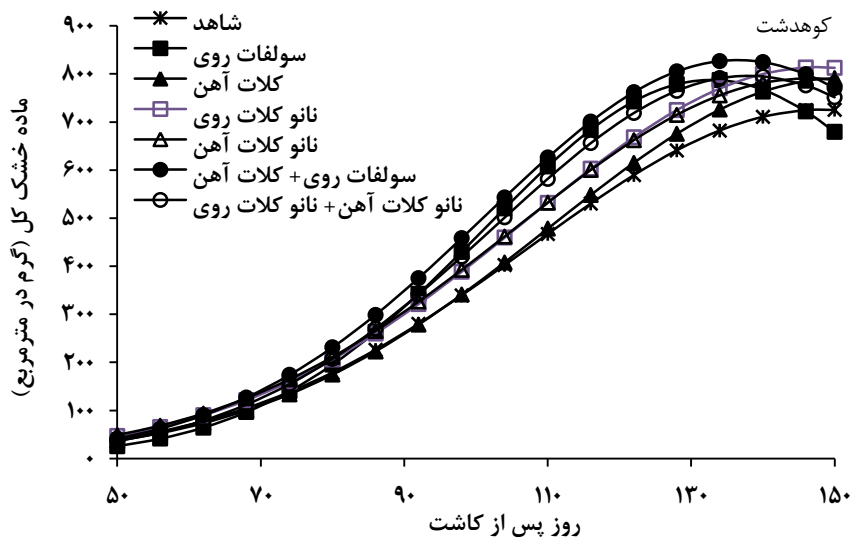
ماده خشک کل

در هر دو رقم گندم، روند تجمع ماده خشک گندم در تمامی تیمارها تقریباً مشابه بود، به طوری که تا ورود ۵۰ درصد بوته‌ها به مرحله ساقه رفتن تجمع ماده خشک کند بود و پس از آن تا اواسط مرحله پر شدن دانه تجمع ماده خشک سریع بود و بعد از آن به دلیل ریزش برگ‌ها و شروع فرآیندهای رسیدگی گیاه، کاهش اندکی نشان داد. از حدود ۸۰ روز پس از کاشت اختلاف میان تیمارهای مختلف از لحاظ تغییرات ماده خشک نمود پیدا کرد و در حدود ۱۳۰ روز پس از کاشت به بیشترین مقدار خود رسید و از آن پس روند تقریباً کاهشی را دنبال کرد (شکل‌های ۴ و ۵). در رقم چمران، محلول پاشی با نانو کلات آهن توأم با نانو کلات روی حداکثر تجمع ماده خشک (۷۷۱ گرم در متر مربع) را به خود اختصاص داد. کمترین میزان آن (۶۷۰ گرم در متر مربع) نیز در گیاهان شاهد (عدم محلول پاشی) به دست آمد (شکل ۴). در رقم کوه‌دشت، بیشترین و کمترین تجمع ماده خشک گندم به ترتیب با محلول پاشی توأم کلات آهن و سولفات روی (۸۲۶ گرم بر متر مربع) و گیاهان شاهد (۷۲۵ گرم بر متر مربع) به دست آمد (شکل ۵). به طور کلی حداکثر تجمع ماده خشک در رقم کوه‌دشت حاصل گردید که ۱۰/۲۴ درصد بیشتر از رقم چمران بود (جدول ۳). بین محلول پاشی عناصر آهن و روی به صورت معمول و نانو تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و باعث افزایش حداکثر ماده خشک در گندم در مقایسه با عدم محلول پاشی شدند (جدول ۳). با توجه به اثرات مثبت محلول پاشی بر سطح برگ و جذب نور بدیهی است که ماده خشک با کاربرد محلول پاشی آهن و روی در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی افزایش یابد. تجمع ماده خشک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد، که می‌تواند تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. افزایش سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (کشاورز افشار و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج نشان داد که محلول پاشی آهن و روی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آن‌ها تأثیر مثبت بیشتری بر تجمع ماده خشک در رقم چمران داشت. به نظر می‌رسد محلول پاشی نانو کلات آهن و روی سبب دسترسی بهتر عناصر غذایی، افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه شده و افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی موجب افزایش ماده خشک می‌شود. آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد. با افزایش آهن در

برگ میزان کلروفیل برگ افزایش یافته و فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی خواهد داشت (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۳). هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، گزارش‌های متعددی وجود دارد که کاربرد نانو کودها در مقایسه با فرم معمول آن‌ها، تأثیر بیشتری در تجمع ماده خشک در گیاه به همراه خواهد داشت. اسدی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند واکنش ارقام گندم (نیک‌نژاد، اینیا، روشن و مغان ۲) از نظر تغذیه گیاهی با اکسید روی به شکل نانو ذرات یکسان نبود. به طوری که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن موجب افزایش ۲۲ و ۲۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی گندم به ترتیب در ارقام نیک‌نژاد و اینیا شد و در مقابل، موجب کاهش ۱۹ و ۱۱ درصدی به ترتیب در ارقام روشن و مغان ۲ گردید. فتحی و زاهدی (۱۳۹۳) گزارش کردند که محلول پاشی آهن و روی به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن‌ها تأثیر بیشتری بر رشد ذرت داشت و وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت (*Zea mays L.*) در اثر محلول پاشی اکسید آهن و اکسید روی نسبت به تیمار محلول پاشی نشده به ترتیب ۱۴ و ۱۵ درصد افزایش یافت. در مطالعه دیگری در ذرت مشخص شد که عناصر کم مصرف از جمله آهن بیشتر در فعالیت‌های متابولیکی تأثیرگذار بوده و به طور غیرمستقیم با افزایش سرعت رشد گیاه، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (ساجدی و اردکانی، ۱۳۸۷). محمدخانی و روزبهانی (۱۳۹۴) در نتیجه پژوهش خود اظهار داشتند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش ماده خشک در ذرت گردید.



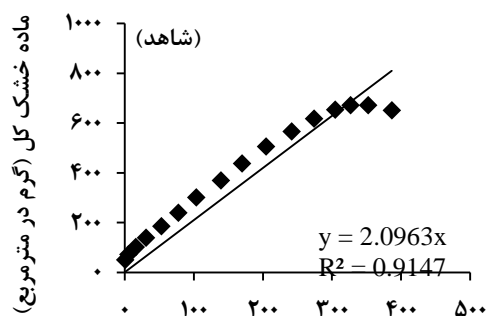
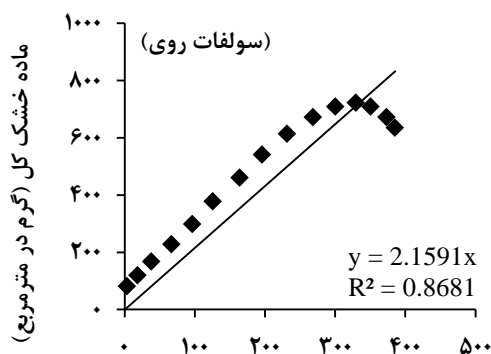
شکل ۳: تأثیر محلول پاشی بر ماده خشک کل گندم رقم چمران طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۷



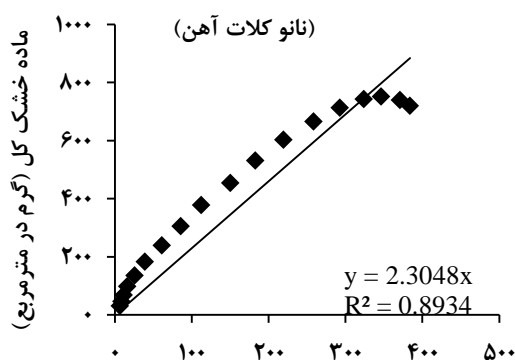
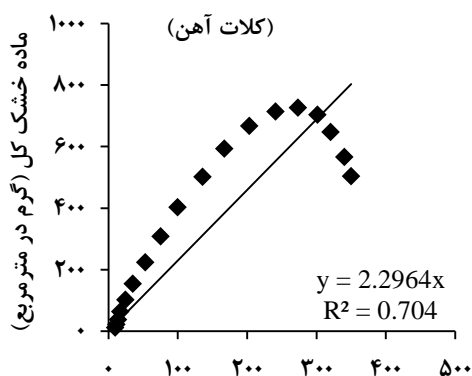
شکل ۴: تأثیر محلول پاشی بر ماده خشک کل گندم رقم کوهدشت طی سال زراعی ۱۳۹۷-۹۶

کارایی مصرف نور

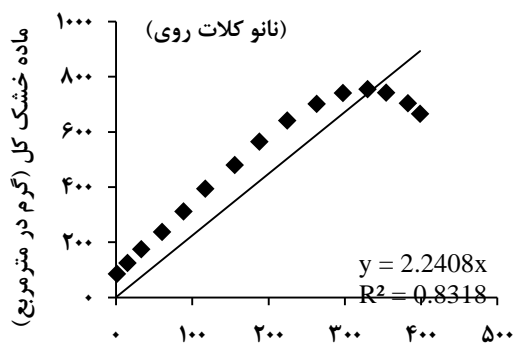
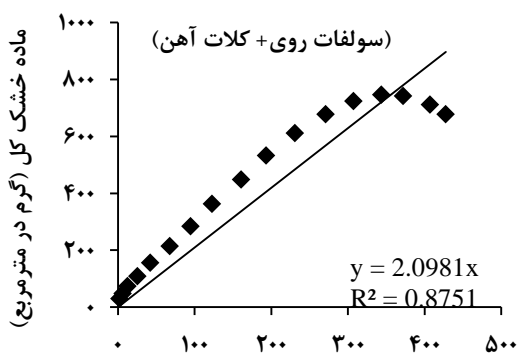
نتایج نشان داد که در هر دو رقم در تمام تیمارها، ارتباط بین تولید ماده خشک گندم و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی به صورت خطی و ضریب همبستگی آن بین ۰/۹۵ تا ۰/۷۰ متغیر بود (شکل های ۵ و ۶). در رقم چمران، مقدار کارایی مصرف نور در طول فصل رشد از ۲/۰۹ گرم بر مگاژول در تیمار بدون محلول پاشی تا ۲/۳۰ گرم بر مگاژول در تیمار محلول پاشی با نانو کلات آهن متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (شکل ۵). در رقم چمران، بیشترین مقدار کارایی مصرف نور ۲/۳۰ گرم بر مگاژول با کاربرد نانو کلات آهن به دست آمد که ۱۰/۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بدون محلول پاشی بود (شکل ۵). با کاربرد نانو کلات آهن + نانو کلات روی میزان کارایی مصرف نور به ترتیب ۲/۱۸ گرم بر مگاژول مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴/۳۴ درصد بیشتر بود (شکل ۵). بیشترین مقدار کارایی مصرف نور در رقم کوهدشت ۲/۴۵ گرم بر مگاژول تحت شرایط سولفات روی + آهن و کمترین مقدار آن ۲/۰۸ گرم بر مگاژول در گیاهان شاهد به دست آمد (شکل ۶). میزان کارایی مصرف نور در رقم کوهدشت تحت شرایط سولفات روی + آهن و نانوکلات آهن + نانو کلات روی به میزان ۱۷/۳۵ و ۱۴/۷۳ درصد بیشتر بود (شکل ۶). مقادیر گزارش شده برای کارایی مصرف نور گندم در مطالعات مختلف بسته به شرایط آزمایش متفاوت می باشد. حسینی و همکاران (۱۳۹۳) مقدار کارایی مصرف نور در ارقام گندم N81-18، رقم فلات و رقم تجن به ترتیب ۲/۰۳، ۱/۶۸ و ۱/۹۵ گزارش دادند. یکی از مواردی که نقش مهمی در تولید ماده خشک و عملکرد دانه دارد، مصرف نور می باشد. مطالعات انجام شده نشان داد، شرط اول افزایش عملکرد و تولید بالا در نتیجه بهینه سازی جذب از طریق شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور می باشد (Zhang et al., 2008).



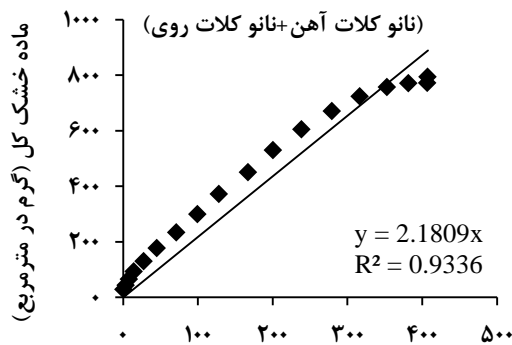
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع) مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع) مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

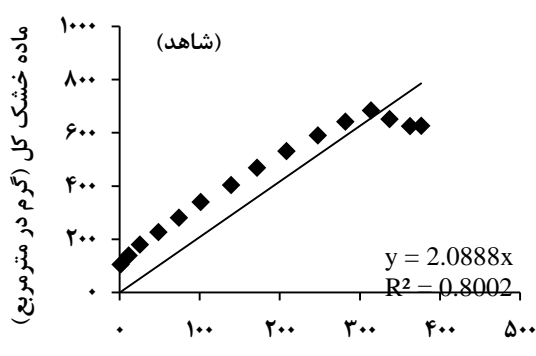
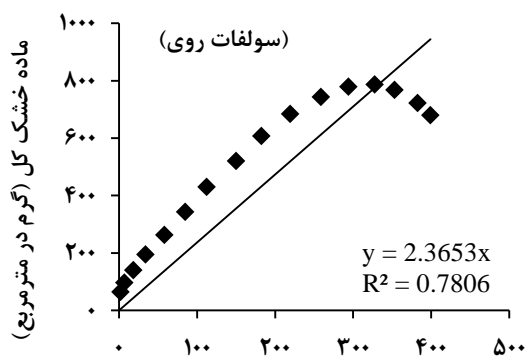


مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع) مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



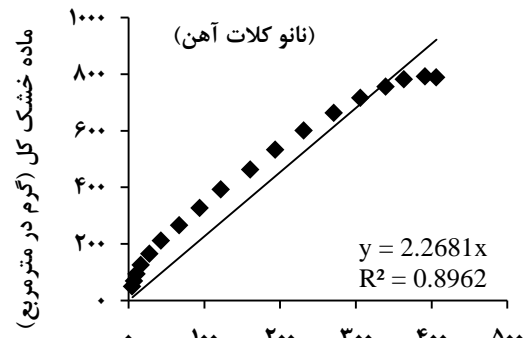
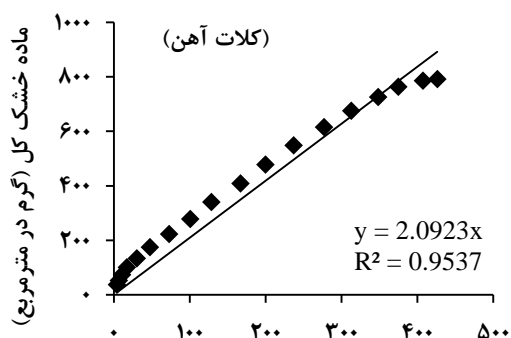
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

شکل ۵: تأثیر محلول پاشی بر کارایی مصرف نور گندم رقم چمران طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶



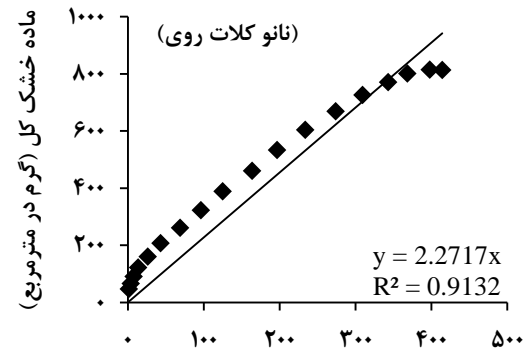
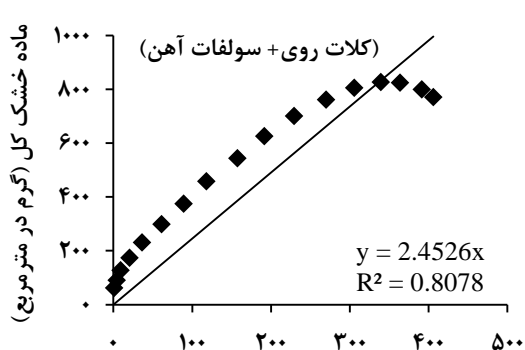
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



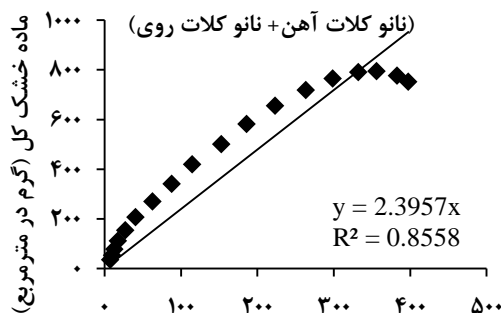
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

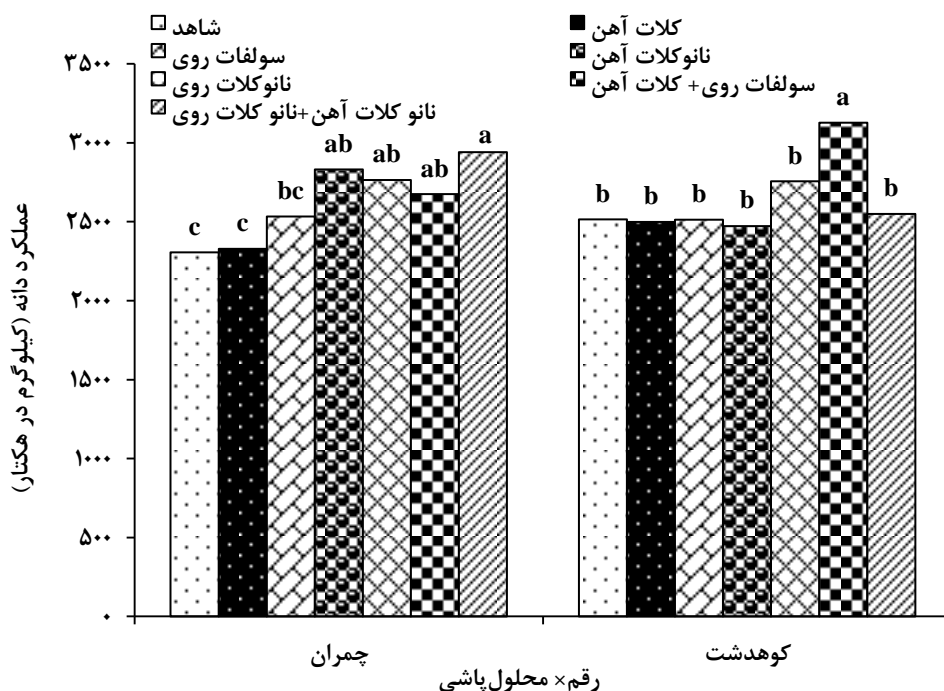
شکل ۶: تأثیر محلول پاشی بر کارایی مصرف نور گندم رقم کوهدشت طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

به عبارت دیگر، اگر یک گیاه بتواند ضمن دریافت نور بیشتر، آن را با ضریب بالاتری به زیست‌توده تبدیل کند، در تولید ماده خشک و عملکرد موفق‌تر خواهد بود. با افزایش غلظت کلروفیل برگ با محلول پاشی آهن و روی در نتیجه این افزایش کلروفیل، انعکاس و درصد نور عبوری از برگ کاهش یافت، اما جذب نور توسط گیاه زیاد شد در نتیجه عملکرد افزایش یافت.

عملکرد دانه

محلول پاشی با کودهای نانو و معمولی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم رقم چمران داشت. بیشترین عملکرد دانه گندم رقم چمران (۲۹۴۰ کیلوگرم در هکتار) در محلول پاشی با نانو کلات روی + نانو کلات آهن به دست آمد؛ که با تیمارهای محلول پاشی کلات آهن + سولفات روی، نانو کلات آهن و نانو کلات روی در یک گروه آماری قرار داشتند. محلول پاشی با نانو کلات روی + نانو کلات آهن و کلات آهن + سولفات روی عملکرد دانه گندم رقم چمران را به ترتیب ۲۷/۴۴ و ۱۵/۹۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۷). در رقم کوه‌دشت، نانو کودهای روی و آهن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم رقم کوه‌دشت نداشتند. کاربرد توأم کلات آهن + سولفات روی باعث افزایش عملکرد دانه گندم رقم کوه‌دشت به میزان ۲۴/۴۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد گردید (شکل ۷). افزایش شاخص سطح برگ گیاه به دلیل افزایش جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی گیاه موجب افزایش عملکرد دانه گندم گردید. یافته‌های بسیاری بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی اشاره دارد (Ghobady et al., 2011). بخشی از افزایش عملکرد دانه رقم چمران در تیمار محلول پاشی با نانو کلات آهن و روی را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در این تیمار به واسطه کاربرد محلول پاشی نسبت داد که به نظر می‌رسد این افزایش شاخص سطح برگ به دلیل افزایش فتوسنتز جاری موجب بهبود عملکرد شده است. فراهمی عناصر غذایی از طریق تأثیر بر فرآیندهای رشد گیاه زراعی، می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردد (Baghai and Maleki Farahani, 2014). Sabori و Sadeghi (۲۰۱۷) گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه در ترکیب نانو کلات آهن و روی مشاهده شد. Ghafari و Razmjoo (۲۰۱۳) گزارش نمودند که کاربرد کود به فرم نانو در مقایسه با فرم معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه گندم داشت. ایوبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) گزارش دادند نانو کلات آهن از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه از جمله افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب‌تر گیاه فراهم نموده، لذا افزایش عملکرد دانه در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد. افزایش عملکرد دانه با استفاده از ریزمغذی‌ها می‌تواند علت‌های متفاوتی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آهن، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش غلظت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن اشاره کرد (Rahmani et al., 2013). از

آن جایی که آهن و روی جزء عناصر ضروری در فرآیند فتوسنتز می باشند، از نتایج به دست آمده می توان چنین استنباط نمود که محلول پاشی با نانو کلات آهن و روی با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به علت کمک به افزایش رشد رویشی، بهبود سیستم فتوسنتزی، افزایش کلروفیل و سطح برگ منجر به افزایش کارایی برگ طی فتوسنتز شده که نتیجه آن افزایش عملکرد است. Saha و همکاران (۲۰۱۵) در گندم نیز گزارش کردند که محلول پاشی با روی موجب بهبود عملکرد گندم گردید.



شکل ۷: تأثیر محلول پاشی بر عملکرد دانه دو رقم گندم (مقایسه میانگین‌ها در دو رقم به صورت جداگانه انجام شده است).

نتیجه گیری کلی

شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در هر دو رقم چمران و کوهدهشت تحت تأثیر محلول پاشی قرار گرفتند. به طوری که بیشترین شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و کارایی مصرف تابش در رقم چمران با کاربرد محلول پاشی نانو کلات آهن + نانو کلات روی به دست آمد. کاربرد توأم سولفات روی و آهن منجر به بهبود شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و کارایی مصرف تابش در گیاه گندم رقم کوهدهشت شد. محلول پاشی با کودهای نانو و معمولی تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد دانه گندم رقم چمران داشت. اما نانو کودها تأثیر معنی داری بر رقم کوهدهشت نداشت. ارقام گندم چمران و کوهدهشت پاسخ متفاوتی به تغذیه آهن و روی به شکل کلات معمولی و نانو

نشان دادند، به گونه‌ای که در میان صفات مورد بررسی، در شرایط کلات آهن معمولی و سولفات روی، حداکثر میزان عملکرد دانه مربوط به رقم کوهدشت بود.

منابع

- اسدی، م.، زاهدی، م.، اهتمام، م.ح. و خوشگفتارمنش، ا.ح. ۱۳۹۵. اثر کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات بر رشد و محتوای یونی چهار رقم گندم تحت تنش شوری. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۷ (۲۵): ۳۳-۲۵.
- امیرجانی، م.ر.، عسکری مهرآبادی، م. و عزیزمحمدی، ف. ۱۳۹۵. بررسی اثر نانو ذرات اکسید روی بر ویژگی‌های رویشی، مقدار عناصر و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گندم. مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۸ (۲۷): ۴۸-۳۳.
- ایوبی‌زاده، ن.، امینی‌دهقی، م.، مسعود سینکی، ج. و رضوان، ش. ۱۳۹۷. اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کنگد در شرایط تنش خشکی. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۴۰): ۷۴-۵۵.
- حسین پناهی، ف.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر. ۱۳۸۹. ارزیابی جذب و کارایی مصرف تابش در کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی. مجله بوم‌شناسی کشاورزی. ۲ (۱): ۵۴-۴۵.
- حسینی، ر.، گالشی، س.، سلطانی، ا.، کلاته، م. و زاهد، م. ۱۳۹۳. اثر کود نیتروژن بر ضریب خاموشی و کارایی استفاده از تشعشع در ارقام گندم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲ (۱): ۵۲-۴۴.
- ساجدی، ن. و اردکانی، م.ر. ۱۳۸۷. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی و آهن بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۶ (۱): ۱۱۰-۹۹.
- سرمدنیا، غ.ح. و کوچکی، ع.ر. ۱۳۸۷. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۲۷۴.
- شریعتمداری، م.ح.، زمانی، غ.ر. و سیاری، م.ح. ۱۳۹۰. اثرات شوری و محلول پاشی آهن بر شاخص سطح برگ، درصد جذب نور و رابطه آن‌ها با عملکرد دانه آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۹ (۲): ۲۹۳-۲۸۵.
- فتحی، ع.ر. و زاهدی، م. ۱۳۹۳. اثر محلول پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو ژنوتیپ ذرت در شوری‌های متفاوت خاک. نشریه پژوهش‌های ذرت. ۱۲ (۱): ۲۱۰-۱۱۷.
- فتحی امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م. و حشمتی، س. ۱۳۹۳. اثر روش‌های مصرف کلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان روغن دانه گلرنگ بهاره رقم گلدشت در شرایط کم آبیاری. مجله علوم زراعی ایران. ۱۶ (۴): ۳۱۶-۳۰۸.

عیسوند، ح.ر.، اسماعیلی، ع. و محمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر سطوح مختلف نانو اکسید آهن بر برخی ویژگی های کمی و کیفی و فیزیولوژیک چهار رقم گندم پاییزه کشور در وضعیت اقلیمی خرم آباد. نشریه علوم گیاهان زراعی. ۴۵ (۲): ۲۷۸-۲۹۸.

کشاوری افشار، ر.، چائی چی، م.ر.، علی پور جهانگیری، ع.، انصاری جوینی، م.، مقدم، ح.، احتشامی، س.م.ر. و خواززی، ک. ۱۳۹۰. اثر محلول پاشی باکتری های محرک رشد گیاه بر عملکرد علفه و دانه سورگوم علفه ای رقم اسپیدفید. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲ (۳): ۵۷۵-۵۸۴.

کمری، ح.، سید شریفی، ر.، صدقی، م. ۱۳۹۳. اثر محلول پاشی نانو اکسید روی و کاربرد باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد و ویژگی های مورفوفیزیولوژیک تربیتکاله. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶: ۳۷-۵۲.

محمدخانی، ال. و روزبهانی، ا. ۱۳۹۴. مدیریت مصرف کود ورمی کمپوست و نانو کود آهن در بهبود عملکرد ذرت دانه ای. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ۱۳۱-۱۲۳.

موسیوند، م.، خورگامی، ع. و رفیعی، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر غلظت آهن، بر رشد و اجزا عملکرد در ژنوتیپ های مختلف سویا. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴: ۳۵-۴۵.

Arnon, I. 1975. Physiological principles of dry land crop production. Physiological Aspects of Dry land Farming. US Gupta, ed. Oxford Press.

Avis, T.J., Grave, V., Antoun, H. and Tweddell. R.J. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biology and Biochemistry 40: 1733-1740.

Baghai, N. and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 1 (2): 156-169.

Borlina, M.N., Bovi, O.M., Granja, N.P. and Carmello, Q.A. 2001. Essential oil production and quality of *Mentha graveolens* L. in nutrient solution. Acta Horticulture 548: 181-188.

Briat, J.F., Dubos, C. and Gaymard, F. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends in Plant Scienc 20 (1): 33-40.

Chinnamuthu, C.R. and Murugesu Boopathi, P. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal 96 (1-6): 17-31.

Cui, H.C., Sun, Q., Liu, J. and Gu, W. 2006. Applications of nano-technology in agrochemical formulation. Perspective challenges and strategies, Institute of environment and sustainable development in agriculture. Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing, China. p. 1-6.

Dewal, G.S. and Pareek, R.G. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy 49: 160-162.

Firoozi, Y., Feizi, H., Mehraban, A. and Alipanah, M. 2018. Effects of foliar application time of nano-micronutrients on quantity and qualitative traits in rainfed durum wheat genotypes in Moghan. Journal of Field Crops Research 16(1): 97-112.

Ghafari, H. and Razmjoo, J. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (11): 2997-3003.

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M. and Hadadzadeh, H. 2013. The effectiveness of foliar applications of synthesized zinc-amino acid chelates in comparison with zinc sulfate to increase yield and grain nutritional quality of wheat. European Journal of Agronomy 45: 68-74.

Goudriaan, J. and Van Laar, H. H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press.

Ghobady, M., Jahanbin, S., Motalebifar, R. and Parvizi, K. 2011. Effects of Biological phosphate fertilizers on yield of potato. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 21 (2): 117-130.

Gomaa, M. A., Radwan, F. I., Kandil, E. E, El-Zweek, S. M. A. 2015. Effect of some macro and micronutrients application methods on productivity and quality of Wheat (*Triticum aestivum* L.). Middle East Journal of Agriculture Research 4(1): 1-11.

Holt, S. J. 2005. Plant response to light: A potential tool for weed management. Weed Science 43: 474-482.

Kahrariyan, B., Yeganehpoor, F., Beyginiya, V. and Samadiyan, F. 2013. Effect of FE foliar application on morphological and physiological traits of different dryland wheat cultivars. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 12 (1): 1583-1589.

Mohamadipoor, R., Sedagathoor, S. and Mahboub-Khomami, A. 2013. Effect of application of iron fertilizer in two methods foliar and soil application on growth characteristics of *Spathiphyllum illusion*. European Journal of Experimental Biology 3 (1): 232-240.

Olesen, J. E., Berntsen, J., Hansen, E. M., Petersen, B. M. and Petersen, J. 2002. Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. European Journal of Agronomy 16: 279-294.

Rahmani, A., Mirza, M. and Tabaei Aghdai, S. R. 2013. Effects of different fertilizers (macro and micro element) on quantity and quality of essential oil and other byproducts of *Rosa damascena* Mill. in Iran. Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29 (4): 747-759.

Rawashdeh, H. and Sala, F. 2015. Effect of Some Micronutrients on Growth and Yield of Wheat and its Leaves and Grain Content of Iron and Boron. Bulletin USAMV series Agriculture 72 (2): 503-508.

Saha, S., Mandal B., Hazra, G. C., Dey, A., Chakraborty, M., Adhikari, B., Mukhopadhyay, S. K. and Sadhukhan, R. 2015. Can agronomic bio-fortification of zinc be benign for iron a cereals. Journal of Cereal Science 65: 186-191.

Sabori, M. and Sadeghi, M. 2017. Effects of vermicompost and the nano chelate fertilizer on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under no irrigation condition. Eco-physiology Plant 30 (8): 63-72.

Sobhani, A. and Shirani, A. H. 2000. The guide of determination crops leaf area index. Seed and Plant Improvement Institute.

Tsubo, M., Walker, S. and Ogindo, H. O. 2005. A simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.

Wei, L., Bai, S., Li, J., Hou, X., Wang, X., Li, H., Zhang, B., Chen, W., Liu, D., Liu, B. and Zhang, H. 2014. QTL positioning of thousand wheat grain weight in qaidam basin. Open Journal of Genetics 4: 239-244.

Yadav, N., and Kumar Sharma, Y. 2018. Enhancement of Zn density in Barley (*Hordeum vulgare*) grain: A Physiological approach. Asian Journal of Plant Science and Research 8 (4): 13-17.

Zayed, B. A., Salem, A. K. M. ad El Sharkawy, H. M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal Agricultural Science 7 (2): 179-184.

Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B. and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.

Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars

N. Abbasi^{1*}, J. Cheraghi² and S. Hajinia³

- 1) Assistant Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam University, Ilam, Iran.
- 2) M.Sc. Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam University, Ilam, Iran.
- 3) Lecturer of Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding author: abbasinosrat@gmail.com

This article is extracted from an M.Sc. thesis.

Received date: 2019.02.06

Accepted date: 2019.06.09

Abstract

In order to investigate the effect of fertilizer application with chemical fertilizers and iron and zinc nano-Chelates on chlorophyll concentration, light utilization efficiency and grain yield of two bread wheat cultivars, a factorial experiment based on a randomized complete blocks design with three replications was conducted in the field research of Jihad Agriculture Center of Zarrin Abad Center during 2016-2017 cropping year. Experimental factors included seven levels of spraying (control, spraying with iron chelate, iron nano chelate, zinc sulfate, zinc nano chelate, iron chelate + zinc sulfate and nano iron chelate + zinc nano chelate) and second factor two wheat cultivars (Chamran and Koohdasht). The results showed that foliar application with iron fertilizers and zinc sulfate had a significant effect on chlorophyll concentration and maximum leaf area index at 1 and 5 percent probability levels, respectively. The maximum leaf area index at the statistical level of 1 percent in Koohdasht cultivar was 21.7 percent higher than Chamran cultivar. Foliar application with nano-chelates of iron with zinc nano chelate has reached the maximum dry matter accumulation (782 gram per meter square). The least dry matter was obtained at 681 gram per meter square in control plants (non-spraying). In Chamran cultivar, the maximum amount of radiation use efficiency was 30.2 gram per mega Joule with the use of iron nano chelate, which was 27.10 percent more than control plant. The highest amount of light consumption in Koohdasht cultivar (45.2 gram per mega Joule) under zinc sulfate + iron chelate foliar application and its lowest value (08.2 gram per mega Joule) was obtained in control plants. Spraying with nano chelate zinc + nano chelate of iron and iron chelate + zinc sulfate increased the grain yield of wheat cultivar Chamran by 44.27 and 95.15 percent, respectively, compared to control treatment. In Koohdasht cultivar, zinc and iron nano chelate had no significant effect on grain wheat agronomy in Koohdasht cultivar.

Keywords: Zinc sulfate, Iron chelate, Chlorophyll and Nano-fertilizer.