تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان

نصرت اله عباسی[1*]، جواد چراغی[2] و سمیه حاجی‌نیا[3]

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 پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۹**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی با کودهای شیمیایی و نانوکلات‌های آهن و روی بر غلظت کلروفیل، کارآیی مصرف نور و عملکرد دانه دو رقم گندم نان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی مرکز زرین‌آباد طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی در هفت سطح (شاهد، محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی با کودهای آهن و سولفات روی اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل و حداکثر شاخص سطح برگ به‌ترتیب 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. محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی) به‌دست آمد. در رقم چمران، بیشترین مقدار کارآیی مصرف نور ۲/۳۰ گرم بر مگاژول با کاربرد نانو کلات آهن به‌دست آمد که ۱۰/۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. بیشترین مقدار کارایی مصرف نور در رقم کوهدشت (۲/۴۵ گرم بر مگاژول) با محلول‌پاشی سولفات روی + کلات آهن و کمترین مقدار آن (۲/۰۸ گرم بر مگاژول) در گیاهان شاهد به‌دست آمد. محلول‌پاشی با نانو کلات روی + نانو کلات آهن و کلات آهن + سولفات روی عملکرد دانه گندم رقم چمران را به‌ترتیب ۲۷/۴۴ و ۱۵/۹۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. در رقم کوهدشت، نانو کلات روی و آهن تاثیر معنی‌داری بر علکرد دانه گندم رقم کوهدشت نداشتند.

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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 به‌منظور 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 به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند (Chinnamuthu and Murugesa Boopathi, 2009). Firoozi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در مرحله پنجه‌زنی در لاین‌های L5 و L16 به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه در عدم محلول‌پاشی در رقم سیمره و محلول‌پاشی در مرحله دانه‌بندی در لاین L7 به‌دست آمد. Ghasemi و همکاران (۲۰۱۳) در گندم گزارش کردند که محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی منجر به بهبود عملکرد اقتصادی گیاه گندم گردیده است. Gomaa و همکاران (۲۰۱۵) در گندم نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی با آهن و روی موجب افزایش عملکرد گندم گردید. کمیت و چگونگی تشبیت 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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 به‌شدت 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 به‌عنوان 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 می گردد (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. محلول‌پاشی نانو اکسید روی موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش فیلوکرون در گیاه تریتیکاله گردید (کمری و همکاران، ۱۳۹۳). Rawashdeh و Sala (۲۰۱۵) افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی با محلول‌پاشی آهن در گندم گزارش کردند. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی از یک‌سو و انرژی و هزینه‌های تولید از سوی دیگر و همچنین مسئله تأمین غذای کافی و با کیفیت مناسب برای جمعیت، تحقیق در زمینه به‌کار 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 محلول‌پاشی 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 پهله 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

۱۴ درجه سانتیگراد بود. بافت خاک محل آزمایش لوم ـ 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 (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	ماده آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن	روی
					(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
لوم-رسی	۰/۷۶	۷/۷۰	۱/۵۰	۰/۰۷	۲۳/۱۷	۳۵۶	۱/۶۷	۰/۳۲

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل دو رقم گندم چمران و کوهدشت، فاکتور دوم محلول‌پاشی در هفت سطح شاهد، محلول‌پاشی 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 ۳×۴ 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 نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله یک سوم قبل از کاشت و بقیه در زمان ساقه رفتن به‌صورت 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 به‌ترتیب ۳۴۴۲۸ و ۲۹۹۳۶) تهیه گردید. مطابق دستورالعمل شرکت سازنده کود و نتایج آزمون خاک محلول‌پاشی نانو کودهای آهن و روی به‌ترتیب با غلظت‌های ۲ و ۲/۵ در هزار، طی دو مرحله ساقه رفتن و مرحله سنبله‌دهی استفاده گردید. محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با سم‌پاش دستی و قبل از طلوع آفتاب انجام شد تا جذب محلول بهتر صورت بگیرد و تبخیر محلول به حداقل برسد. به‌منظور تعیین وزن خشک کل و سطح برگ پس از مرحله پنجه‌دهی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از پنج بوته به‌طور 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):

رابطه ۱: $A= L\times W\times 0.5$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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 ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت زمان ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط ترازو توزین گردید. به‌منظور بیان تغییرات شاخص سطح برگ گندم نسبت به روزهای کاشت از رابطه لجستیک ـ پیک (رابطه ۲) استفاده گردید (حسین‌پناهی و همکاران، ۱۳۸۹):

رابطه ۲: $Y= a+ b\times4\times(\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$

در این رابطه a: عرض از مبداء، 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):

رابطه ۳: $TDM=EXP\ (aX^2+bX+c)$

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 حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به‌دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان، محاسبه گردید:

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

I0: 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 (۰/۰۵)، K: ضریب خاموشی نور در گندم (۰/۵۰) 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*

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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× محلول‌پاشی) بر عملکرد دانه، برش‌دهی اثرات رقم× محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی بر غلظت کلروفیل، حداکثر شاخص سطح برگ، ماده خشک و عملکرد دانه دو رقم گندم

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

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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. Yadav و Kumar Sharma (۲۰۱۸) افزایش مقدار سطح برگ و کلروفیل با کاربرد سولفات روی در گیاه جو گزارش دادند. در آزمایش دیگری محلول‌پاشی 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 می شود. 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 محلول‌پاشی و رقم بر غلظت کلروفیل، حداکثر شاخص سطح برگ و ماده خشک گندم

محلول‌پاشی	غلظت کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	حداکثر شاخص سطح برگ	حداکثر ماده خشک (گرم بر مترمربع)
شاهد	۹/۷۳^{e}	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^{abc}	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}	۷۸۲^{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

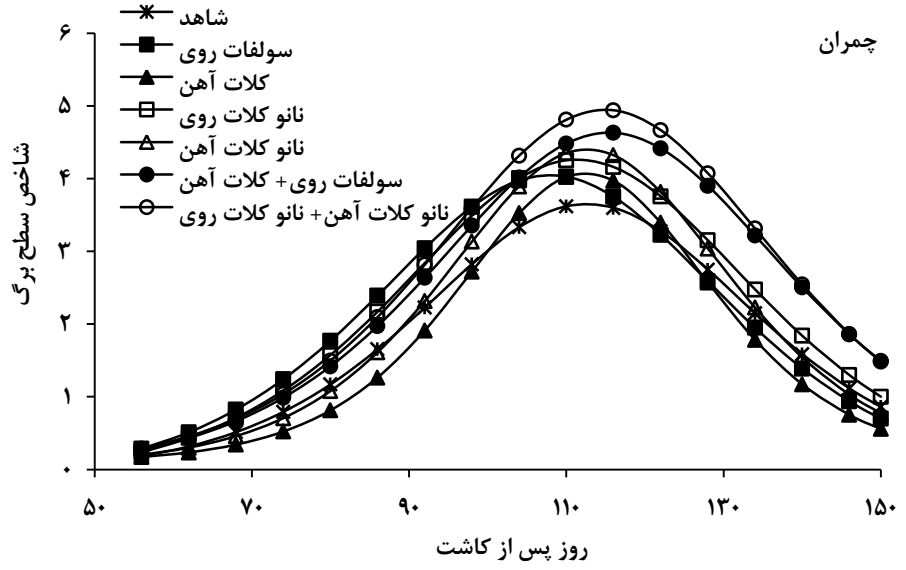
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1398.11.43.5.4]

شاخص سطح برگ

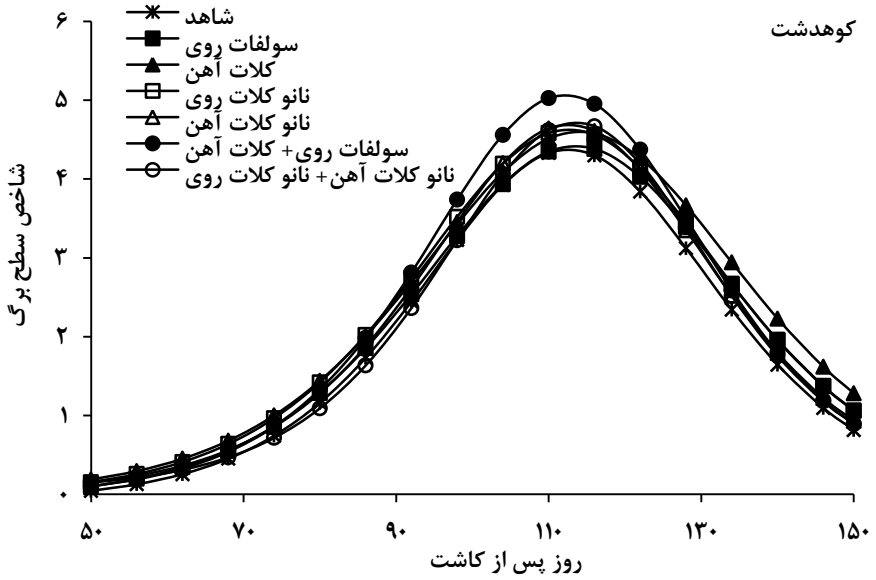
نتایج این آزمایش نشان دهنده روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، برای تمامی تیمارها در هر دو رقم گندم بود. به‌طوری‌که در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ گندم به کندی افزایش یافت و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و در حدود ۱۱۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار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



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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]



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

در رقم چمران، شاخص سطح برگ با محلول‌پاشی آهن و روی افزایش یافت و این امر منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی تاج‌پوشش و افزایش عملکرد شد. شاخص سطح برگ فاکتور اصلی تعیین کننده نفوذ نهایی نور در گیاه می‌باشد 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 بافت‌های سبز جذب نماید. با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم بیشتر می‌شود (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد محلول‌پاشی با نانو کلات‌های 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 می‌توان 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 برگ‌ها قابل توجیه است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج آزمایش‌های 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 می‌شود (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 غلظت‌های بالای آن داشت. عیسوند و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن سبب بهبود شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گندم گردید. احتمالاً با فعال شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل‌سازی افزایش یافته که در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز اتفاق می‌افتد و در نهایت منجر به افزایش تعداد برگ گردیده است. محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و روی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

بیشترین اثر را شاخص سطح برگ داشت که این عکس‌العمل، نقش آهن و روی را در افزایش میزان کلروفیل نشان می‌دهد و به‌دنبال 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 محلول‌پاشی با کلات آهن در مرحله پنجه‌دهی در رقم ریجاب وکمترین مقدار در رقم رشید بدون محلول‌پاشی به‌دست آمده است.

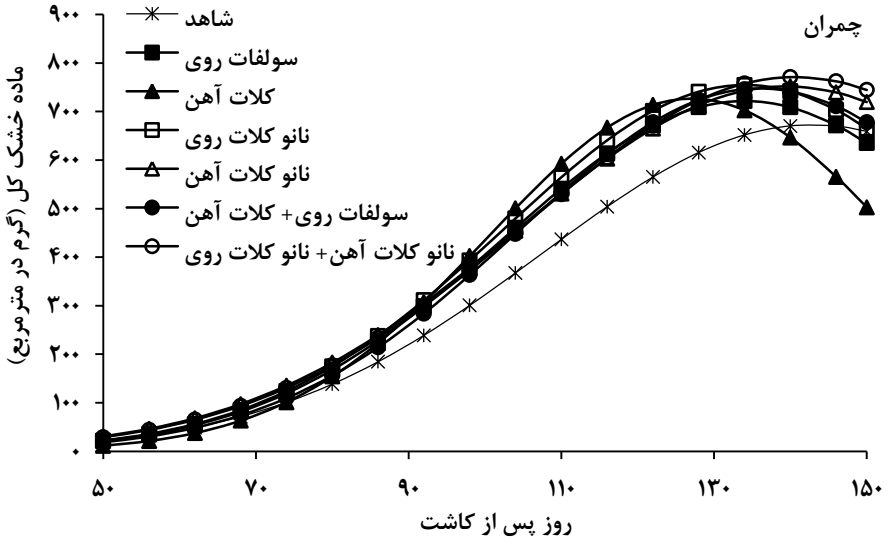
ماده خشک کل

در هر دو رقم گندم، روند تجمع ماده خشک گندم در تمامی تیمارها تقریباً مشابه بود، به‌طوری 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، محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی) به‌دست آمد (شکل ۴). در رقم کوهدشت، بیشترین و کمترین تجمع ماده خشک گندم به‌ترتیب با محلول‌پاشی توأم کلات آهن و سولفات روی (۸۲۶ گرم بر متر مربع) و گیاهان شاهد (۷۲۵ گرم بر متر مربع) به‌دست آمد (شکل ۵). به‌طور کلی حداکثر تجمع ماده خشک در رقم کوهدشت حاصل گردید که ۱۰/۲۴ درصد بیشتر از رقم چمران بود (جدول ۳). بین محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی شدند (جدول ۳). با توجه به اثرات مثبت محلول‌پاشی بر سطح برگ و جذب نور بدیهی است که ماده خشک با کاربرد محلول‌پاشی آهن و روی در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی آهن و روی به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آن‌ها تأثیر مثبت بیشتری بر تجمع ماده خشک در رقم چمران داشت. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانو کود 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

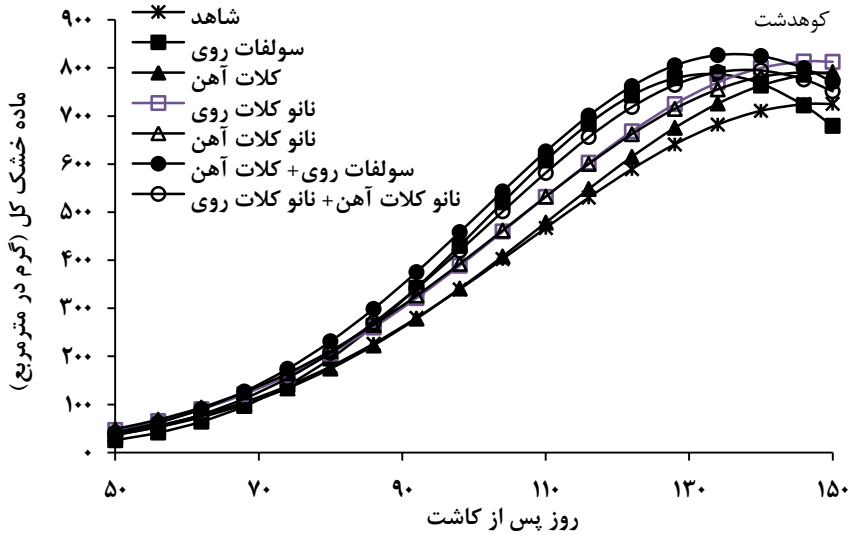
برگ میزان کلروفیل برگ افزایش یافته و فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی خواهد داشت (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۳). هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، گزارش‌های متعددی وجود دارد که کاربرد نانو کودها در مقایسه با فرم معمول آن‌ها، تأثیر بیشتری در تجمع ماده خشک در گیاه به همراه خواهد 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. به‌طوری‌که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن موجب افزایش ۲۲ و ۲۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی گندم به‌ترتیب در ارقام نیک‌نژاد و اینیا شد و در مقابل، موجب کاهش ۱۹ و ۱۱ درصدی به‌ترتیب در ارقام روشن و مغان ۲ گردید. فتحی و زاهدی (۱۳۹۳) گزارش کردند که محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی اکسید آهن و اکسید روی نسبت به تیمار محلول‌پاشی نشده به‌ترتیب ۱۴ و ۱۵ درصد افزایش یافت. در مطالعه دیگری در ذرت مشخص شد که که عناصر کم مصرف از جمله آهن بیشتر در فعالیت‌های متابولیکی تأثیرگذار بوده و به‌طور 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 محلول‌پاشی بر ماده خشک کل گندم رقم چمران طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۷

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]



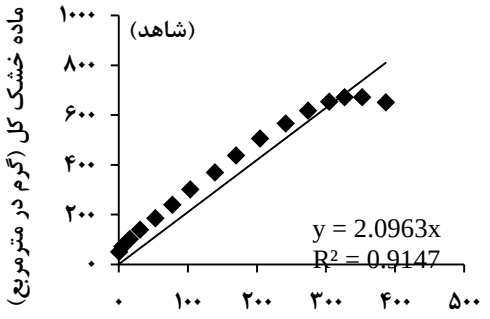
شکل ۴: تأثیر محلول‌پاشی بر ماده خشک کل گندم رقم کوهدشت طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۷

کارایی مصرف نور

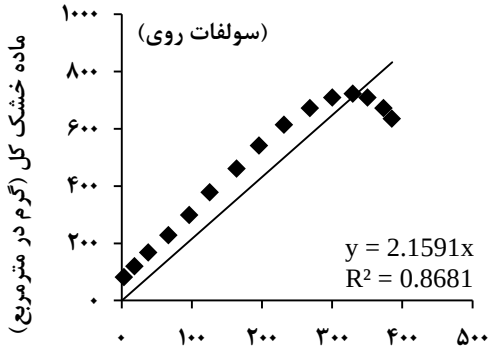
نتایج نشان داد که در هر دو رقم در تمام تیمارها، ارتباط بین تولید ماده خشک گندم و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی به‌صورت خطی و ضریب همبستگی آن بین ۰/۹۵ تا ۰/۷۰ متغیر بود (شکل‌های ۵ و ۶). در رقم چمران، مقدار کارایی مصرف نور در طول فصل رشد از ۲/۰۹ گرم بر مگاژول در تیمار بدون محلول‌پاشی تا ۲/۳۰ گرم بر مگاژول در تیمار محلول‌پاشی با نانو کلات آهن متغیر بود و کارآیی 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 به‌دست آمد که ۱۰/۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی بود (شکل ۵). با کاربرد نانو کلات آهن + نانو کلات روی میزان کارایی مصرف نور به‌ترتیب ۲/۱۸ گرم بر مگاژول مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴/۳۴ درصد بیشتر بود (شکل ۵). بیشترین مقدار کارآیی 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 به‌دست آمد (شکل ۶). میزان کارایی مصرف نور در رقم کوهدشت تحت شرایط سولفات روی + آهن و نانوکلات آهن + نانو کلات روی به‌میزان 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 می‌باشد. حسینی و همکاران (۱۳۹۳) مقدار کارایی مصرف نور در ارقام گندم N81-18، رقم فلات و رقم تجن به‌ترتیب 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 می‌باشد. مطالعات انجام شده نشان داد، شرط اول افزایش عملکرد و تولید بالا در نتیجه بهینه‌سازی جذب از طریق شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang *et al*., 2008).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

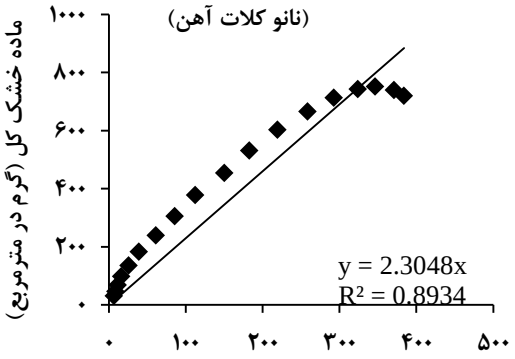
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]



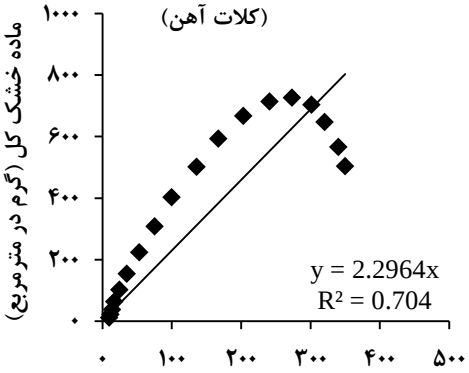
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



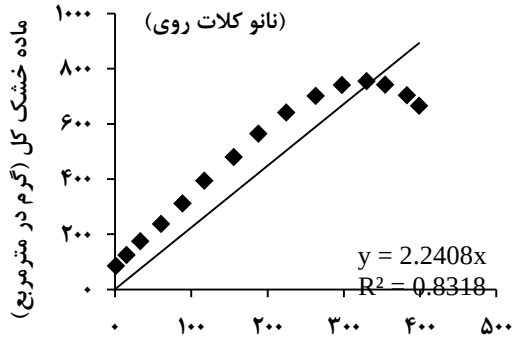
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



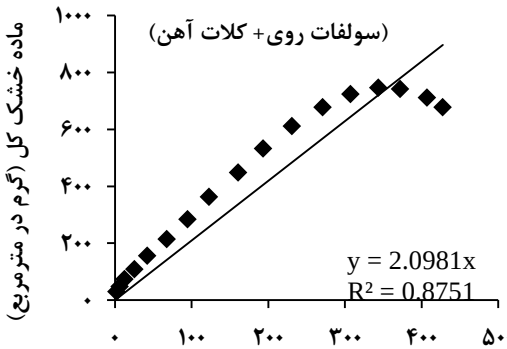
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



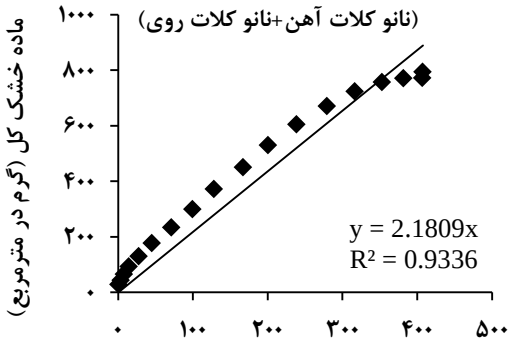
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



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



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

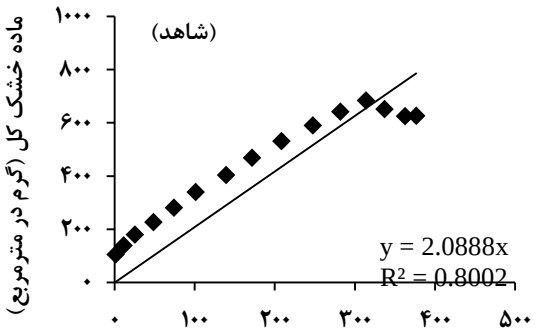


مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)

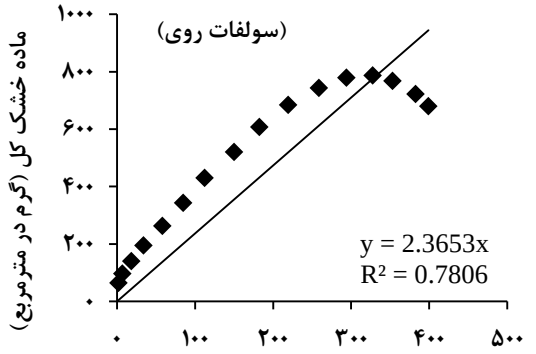
شکل ۵: تأثیر محلول‌پاشی بر کارایی مصرف نور گندم رقم چمران طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

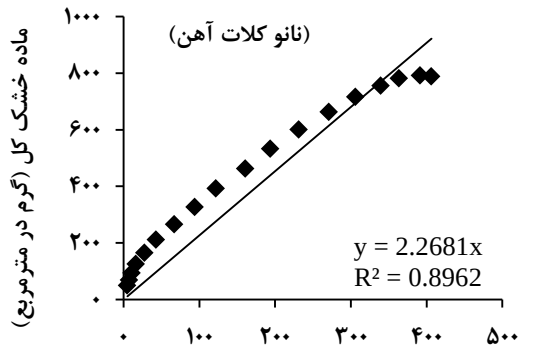
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]



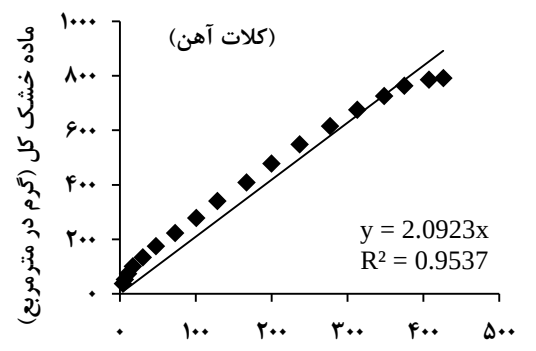
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



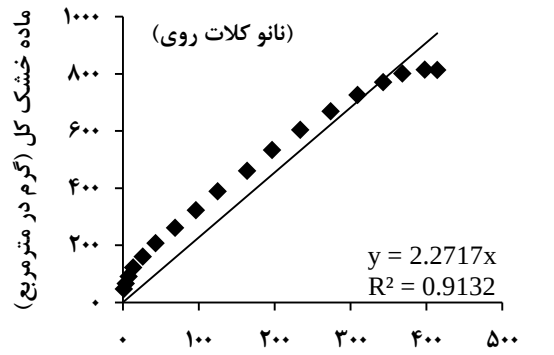
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



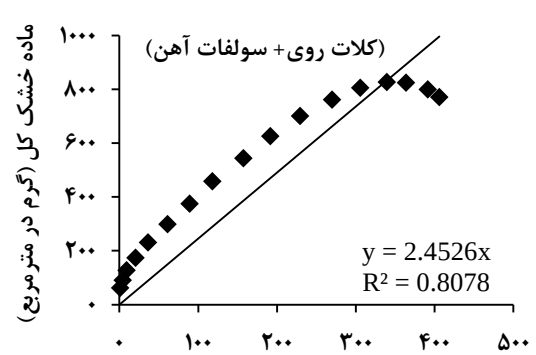
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



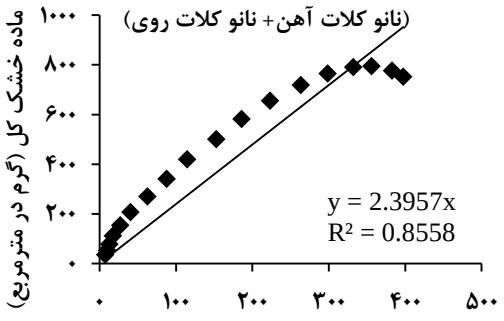
مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (مگاژول بر متر مربع)



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 محلول‌پاشی بر کارایی مصرف نور گندم رقم کوهدشت طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

به‌عبارت دیگر، اگر یک گیاه بتواند ضمن دریافت نور بیشتر، آن را با ضریب بالاتری به زیست‌توده تبدیل کند، در تولیدماده خشک و عملکرد موفق‌تر خواهد بود. با افزایش غلظت کلروفیل برگ با محلول‌پاشی 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.

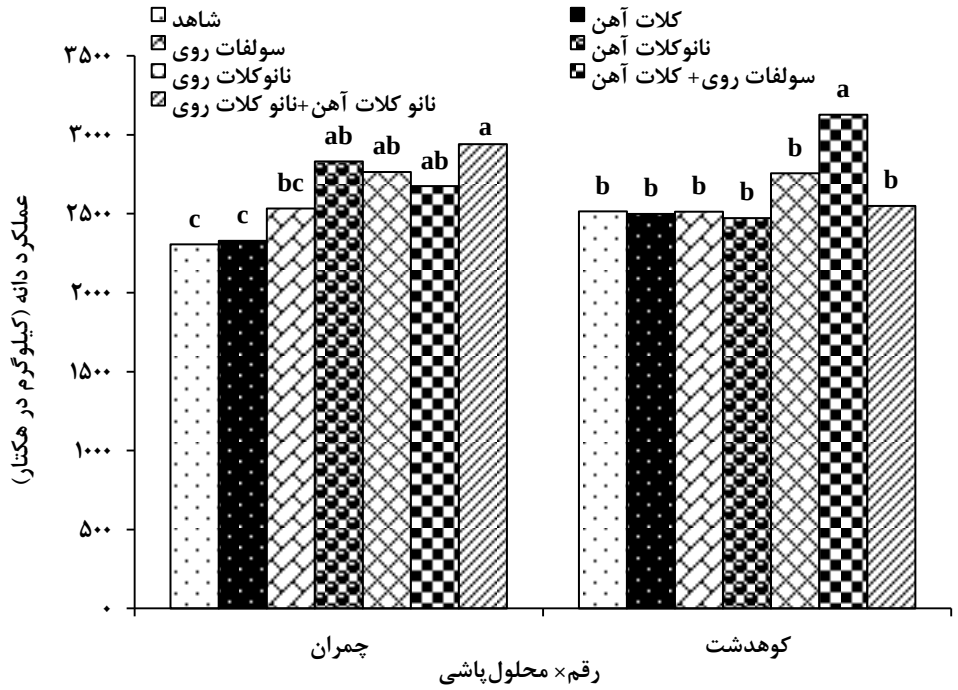
عملکرد دانه

محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی با نانو کلات روی+ نانو کلات آهن به‌دست آمد؛ که با تیمارهای محلول‌پاشی کلات آهن+ سولفات روی، نانوکلات آهن و نانو کلات روی در یک گروه آماری قرار داشتند. محلول‌پاشی با نانو کلات روی+ نانو کلات آهن و کلات آهن+ سولفات روی عملکرد دانه گندم رقم چمران را به‌ترتیب 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 علکرد 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 به‌دلیل 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 محلول‌پاشی با نانوکلات آهن و روی را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در این تیمار به‌واسطه کاربرد محلول‌پاشی نسبت داد که به نظر می‌رسد این افزایش شاخص سطح برگ به‌دلیل 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 به‌نظر می‌رسد. افزایش عملکرد دانه با استفاده از ریزمغذی‌ها می‌تواند علت‌های متفاوتی داشته باشد که از آن جمله می توان 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

آن‌جایی که آهن و روی جزء عناصر ضروری در فرآیند فتوسنتز می‌باشند، از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و روی با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به‌علت 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 محلول‌پاشی با روی موجب بهبود عملکرد گندم گردید.



شکل ۷: تأثیر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه دو رقم گندم

(مقایسه میانگین‌ها در دو رقم به‌صورت جداگانه انجام شده است).

نتیجه‌گیری کلی

شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در هر دو رقم چمران و کوهدشت تحت تأثیر محلول‌پاشی قرار گرفتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و کارایی مصرف تابش در رقم چمران با کاربرد محلول‌پاشی نانو کلات روی + نانو کلات آهن به‌دست 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 کوهدشت شد. محلول‌پاشی با کودهای نانو و معمولی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم رقم چمران داشت. اما نانو کودها تأثیر معنی‌داری بر رقم کوهدشت نداشت. ارقام گندم چمران و کوهدشت پاسخ متفاوتی به تغذیه آهن و روی به شکل کلات معمولی و نانو

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

نشان دادند، به‌گونه‌ای 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 محلول‌پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کنجد در شرایط تنش خشکی. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۴۰): ۷۴-۵۵.

حسین‌پناهی، ف.، کوچکی، ع.، نصیری‌محلاتی، 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، رق.، 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. ص۲۷۴.

شریعتمداری، م.ح.، زمانی، غ.ر. و سیاری، م.ح. ۱۳۹۰. اثرات شوری و محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی 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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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

کشاورز افشار، ر.، چائی‌چی، م.ر.، علی‌پور جهانگیری، ع.، انصاری جوینی، م.، مقدم، ح.، احتشامی، س.م.ر. و خاوازی، ک. ۱۳۹۰. اثر محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲ (۳): ۵۸۴-۵۷۵.

کمری، ح.، سید شریفی، ر.، صدقی. م. ۱۳۹۳. اثر محلول‌پاشی نانواکسید روی و کاربرد باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک تریتیکاله. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶: ۵۲-۳۷.

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

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

Arnon, I. 1975. Physiological principles of dry land crop production. Physiological Aspects of Dry land Farming. US Gupta, ed. Oxfrd 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 qravensis* 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 Murugesa 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, Beijig, China. p. 1-6.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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., Motallebifar, 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 productivit.y 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., Sedaghathoor, S. and Mahboub-Khomami, A. 2013. Effect of application of iron fertilizer in two methods foliar and soil application on growth characteristics of *Spathyphyllum 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 fertilizaers (macro and micro element) on quantity and quality of essential oil and other byproducts of Rosa domascena Mill. in Iran. Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29 (4): 747-759.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]

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. Cheraghi[2] and S. Hajinia[3]

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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.5.4]