

## بررسی اثر سطوح مختلف نانواکسید آهن بر برخی ویژگی‌های کمی، کیفی و فیزیولوژیک چهار رقم گندم پاییزه کشور (*Triticum aestivum*) در وضعیت اقلیمی خرم‌آباد

حمیدرضا عیسوند<sup>۱\*</sup>، علیرضا اسماعیلی<sup>۲</sup> و مراد محمدی<sup>۳</sup>

۱، استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، ۲، دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳، دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.  
(تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۷ - تاریخ تصویب: ۹۳/۳/۲۰)

### چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی عنصر ریزمغذی نانواکسید آهن بر عملکرد کیفی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم، آزمایشی در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل بررسی شده شامل چهار رقم گندم پاییزه و چهار سطح کود نانواکسید آهن (۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) به همراه شاهد بودند. محلول پاشی در دو مرحله (شروع ساقه‌روی و ظهور سنبله) انجام گرفت. نتایج نشان داد که ارقام آذر، مرو دشت، شیراز و لاین M-79-7 از نظر صفات دوام سطح برگ، شاخص سرعت فتوسنتز خالص، سرعت رشد، سرعت رشد نسبی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، رسوب SDS، درصد پروتئین دانه و مقدار آهن دانه تفاوت معناداری داشتند. در بین ارقام بررسی شده، رقم مرو دشت از نظر عملکرد دانه (۶/۴ تن در هکتار حاصل تیمار محلول پاشی ۲۵۰ پی‌پی‌ام آهن)، مقدار پروتئین دانه (۱۵/۳۹ درصد حاصل تیمار محلول پاشی ۵۰۰ پی‌پی‌ام آهن) و رقم‌ها بودند. اما از نظر حجم رسوب SDS، رقم شیراز (با حجمی معادل ۷۴/۳۳ میلی‌متر حاصل تیمار محلول پاشی ۷۵۰ پی‌پی‌ام آهن) از بقیه ارقام برتر بود. به طور کلی محلول پاشی نانواکسید آهن سبب بهبود صفات بررسی شده شد. به طوری که در این آزمایش غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام نانواکسید آهن برای بهبود SDS و مقدار آهن دانه و غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام آن برای دوام سطح برگ بهتر از سایر غلظت‌های استفاده شده بود. با توجه به نقش آهن در فیزیولوژی گیاه و همچنین مشکلاتی که خاک‌های آهکی در تأمین آهن کافی برای گیاه دارند، استفاده از کود آهن به صورت نانواکسید می‌تواند ضمن بهبود رشد و عملکرد کمی گندم سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای آن از نظر آهن و پروتئین نیز شود.

**واژه‌های کلیدی:** پروتئین دانه، رسوب SDS، سرعت فتوسنتز خالص، گندم، نانواکسید آهن.

### مقدمه

صنعتی دارد و ۱۰ درصد به‌عنوان بذر برای کاشت به کار می‌رود. مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده گندم جهان، چین، هند، آمریکا، روسیه، فرانسه، کانادا، آلمان، اوکراین و استرالیا هستند (FAO, 2012). بنا به گزارش (1992) Graham et al. و Cakmak (1999)، کمبود عناصر ریزمغذی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان عامل محدودیت رشد بسیاری از

بر اساس اطلاعات منتشرشده سازمان خواربار و کشاورزی جهان (فائو) سطح زیر کشت گندم جهان ۲۱۶/۶ میلیون هکتار و مقدار تولید آن ۶۷۴/۸ میلیون تن با میانگین عملکرد ۳۱۱۵ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2012). از کل گندم تولیدی سالانه جهان، حدود ۷۵ درصد آن برای تهیه نان مصرف می‌شود، ۱۵ درصد مصارف

کیفی خمیر برای تولید محصول نهایی آرد نان را سبب می‌شوند (Payne *et al.*, 1984).

بنابر گزارش Masoni *et al.*, (1996)، با افزایش عناصر آهن و گوگرد، غلظت کلروفیل برگ در همه گیاهان تحت آزمایش افزایش پیدا کرد و در نتیجه این افزایش کلروفیل، انعکاس و درصد نور عبوری از برگ کاهش یافت، ولی جذب نور توسط گیاه زیاد شد و در نتیجه عملکرد افزایش یافت. تحقیقات نشان داده است که نانو اکسید آهن به‌طور معناداری رشد بادام زمینی و فتوسنتز آن را افزایش می‌دهد. نانو اکسید آهن در مقایسه با تیمارهایی مانند کود آلی و سیترات آهن، انتقال مواد را تسهیل کرد و انتقال آهن به برگ‌ها را افزایش داد (Liu *et al.*, 2005). Naik (1984) نیز اثر آهن را در گیاهان بررسی کرد و اظهار داشت آهن عامل مهمی در تولید کربوهیدرات‌ها است و کمبود آن به کاهش تولید نشاسته و قند در گیاه منجر می‌شود که علت آن کاهش کلروفیل و در نتیجه، کاهش فتوسنتز است. Lu *et al.*, (2002) گزارش کردند نانومواد، فعالیت ریشه سویا و آنزیم نیترات ردکتاز را افزایش می‌دهد و نیز سبب افزایش توانایی سویا در جذب و استفاده از آب و کود می‌شود. Modaihsh (1997) گزارش کرد که کاربرد محلول‌پاشی ریز مغذی‌ها بر گندم تأثیرات بیشتر یا برابر با کاربرد آنها در خاک به‌منظور برطرف کردن کمبود این عناصر در خاک می‌تواند داشته باشد. کاربرد محلول‌پاشی عناصر آهن، منگنز، روی و منیزیم سبب افزایش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کلس و کربوهیدرات‌های دانه در گندم می‌شود (Kassab *et al.*, 2004). Fawzi *et al.*, (1993) گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن در گیاهان لگوم (نخودفرنگی و لوبیای چشم‌بلیلی) موجب افزایش ارتفاع، طول میانگره، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک گیاه و وزن دانه شد. Gupta (1994) نشان داد که کاربرد کود آهن به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت ۲ در هزار از منبع سولفات آهن، محصول گندم را به‌مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به مصرف آن به‌صورت جامد افزایش داده است. محلول‌پاشی آهن موجب افزایش پارامترهای رشد در طول پر شدن دانه و عملکرد نهایی دانه در سویا شد (Caliskan *et al.*, 2008).

گیاهان است. کمبود عناصر کم‌مصرف در اراضی زیر کشت غلات گسترش جهانی دارد و میلیون‌ها هکتار از اراضی قابل کشت دنیا دچار کمبود یک یا چند عنصر غذایی کم‌مصرف هستند (Welch, *et al.*, 1991). کاربرد مواد ریزمغذی یکی از راه‌های مؤثر برای افزایش کیفیت محصولات کشاورزی است. از این‌رو تلاش در جهت استفاده از عناصر ریزمغذی و همچنین ترکیبات جدید این عناصر ضروری است. کمبود آهن و بعضی از عناصر کم‌مصرف گیاهان و غیرقابل جذب بودن آنها در خاک-های آهکی از مشکلات اصلی تولید محصولات کشاورزی است. به‌دلیل وجود آهک در این خاک‌ها، گیاه قادر به استفاده از آهن نیست و کلروز یک مشکل ناشی از سطوح پایین آهن در خاک است. رفع حالت کلروز اغلب نیازمند ترکیبی از شیوه‌های مدیریتی، شامل انتخاب ارقام مناسب، تنظیم صحیح تراکم بذر، کاربرد ترکیبات آهن و استفاده از محلول‌پاشی آهن روی برگ‌ها است (Debermann, 2006). آهن عنصری ضروری برای تشکیل کلروفیل و تعدادی از آنزیم‌ها است و در فرایندهای مربوط به اکسیداسیون، آزاد کردن انرژی از کربوهیدرات‌ها و نشاسته و تبدیل نیترات به آمونیوم در گیاهان نیز دخالت دارد. دیگر تأثیر ضروری آهن در متابولیسم نوکلئیک اسیدها است. مقدار آهن مورد نیاز بافت‌های گیاهان ۲۵۰-۵۰ پی‌پی‌ام است و کمبود آن هنگامی رخ می‌دهد که مقدار آن به کمتر از ۵۰ پی‌پی‌ام در وزن خشک گیاه برسد (Nisar *et al.*, 1996). استفاده از عناصر ریزمغذی به‌صورت محلول‌پاشی به‌ویژه در خاک‌های قلیایی از روش‌های مناسب است.

عمده‌ترین مصرف گندم در دنیا، تهیه آرد و پخت نان از گندم است. با توجه به اهمیت پروتئین در تعیین خصوصیات کیفی نان، تحقیقات زیادی در این مورد اجرا شده است، از جمله، Fowler *et al.*, (1990) مقدار پروتئین را به‌همراه سرعت تکامل خمیر و سختی دانه، سه متغیر اصلی در پیش‌بینی خواص کیفی نان معرفی کردند. این محققان تغییرات درصد پروتئین را عامل توجیه‌کننده بخش بزرگی از تنوع حجم نان دانسته‌اند. پروتئین‌های ذخیره‌ای گندم از دسته پرولامین‌ها هستند که وضعیت الاستیکی، کشسانی و چسبندگی خاصی به خمیر در حال توسعه می‌دهند. این پروتئین‌ها خواص

بارندگی اغلب در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار روی می‌دهد. یک نمونه مرکب از خاک مزرعه برای تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

همچنین به دلیل نیاز خاک مزرعه به نیتروژن و پتاسیم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به همه کرت‌های آزمایشی، در زمان عملیات کاشت پس از نم‌کاری و گاوری شدن زمین در اواسط اسفند ۱۳۸۸ اضافه شد. این تحقیق با استفاده از چهار رقم گندم پاییزه (*Triticum aestivum*) و چهار سطح کود نانو اکسید آهن (۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) به همراه شاهد (محل‌پاشی با آب خالص) اجرا شد. ارقام گندم شامل آذر، مرودشت، شیراز و لاین M79-7 بودند که از محل بانک ژن دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران تهیه شدند. کود آهن به کاررفته از منبع نانو اکسید آهن با درصد خلوص ۹۹ و با قطر ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر بود.

استفاده از نانو اکسید آهن به عنوان ترکیب جدیدی از عناصر ریزمغذی، شیوه جدیدی از تأمین عناصر مورد نیاز گیاه است. متأسفانه مطالعات اندکی در مورد کاربرد نانو مواد در کشاورزی انجام گرفته است که اجرای تحقیقات در این زمینه را ضرورت می‌بخشد. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر سطوح مختلف نانو اکسید آهن بر عملکرد کمی، کیفی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چهار رقم گندم پاییزه در وضعیت اقلیمی خرم‌آباد بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۷۰ متر از سطح دریا و به صورت کرت خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ انجام گرفت. متوسط بارندگی سالیانه ۵۲۰ میلی‌متر و متوسط دما، ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد در سال است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	درصد کربن آلی	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	آهن (ppm)	منگنز (ppm)	روی (ppm)	مس (ppm)	اسیدپته	درصد آهک
لومی رسی	۰/۶۶	۴/۲	۳۲۰	۵/۲	۵/۶	۰/۴۸	۱	۷/۶	۳۲/۲

مطالعه صفت پروتئین دانه از دستگاه کج‌دال و آهن از دستگاه جذب اتمی<sup>۱</sup> مدل AA-670 ساخت شرکت شیماتزو ژاپن استفاده شد.

برای تعیین صفات فیزیولوژیک CGR، RGR<sup>۲</sup>، NAR<sup>۳</sup> و LAD<sup>۴</sup> از معادلات زیر استفاده شد:

۱. سرعت رشد محصول (CGR)

$$(1) \text{CGR} = (\Delta W / \Delta T) (1/A)$$

۲. سرعت رشد نسبی (RGR)

$$(2) \text{RGR} = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$$

برای آماده‌سازی بستر کاشت، ابتدا زمین مورد نظر در پاییز شخم زده شد. سپس در آبان عملیات دیسک و پشت‌بندی انجام گرفت. عملیات کاشت پس از گاوری شدن زمین در اواخر آبان ۱۳۸۹ صورت گرفت. کرت‌های آزمایشی به طول ۴ متر و فاصله بین خطوط کشت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه به صورت جوی و پشته و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. محل‌پاشی در دو مرحله (شروع ساقه‌روی و شروع گلدهی) و صبح زود صورت گرفت. نمونه برداری برای مطالعه صفات فیزیولوژیک در دو مرحله (یک هفته بعد از اعمال تیمارهای کودی) انجام گرفت. به منظور مطالعه عملکرد دانه در پایان رسیدگی فیزیولوژیک محصول از هر کرت آزمایشی با رعایت تأثیرات حاشیه‌ای یک متر مربع به صورت تصادفی برداشت شد. برای

1. Atomic absorption
2. Crop Growth Rate
3. Relative growth rate
4. Net Assimilation Rate
5. Leaf area duration

M-79-7 × غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام اختلاف معناداری نداشت (شکل ۱). کمترین مقدار عملکرد دانه در لاین M-79-7 در غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام به مقدار ۳/۲۵ تن در هکتار و همچنین رقم شیراز در وضعیت عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. روند افزایش عملکرد با مصرف آهن در آزمایش حاضر نیز مشاهده شد، اما مقادیر بیشتر آن تأثیر زیادتری بر عملکرد نداشت و حتی روند کاهش مشاهده شد (شکل ۱). Ziaeian & Malakouti (2006) طی اجرای ۲۵ آزمایش مزرعه‌ای در خاک‌های آهنی نشان دادند که استفاده از عناصر ریزمغذی از جمله آهن سبب افزایش عملکرد گندم می‌شود. Chaudry *et al.* (2007) گزارش کردند که کاربرد آهن و بُر به‌تنهایی یا در حالت ترکیبی همراه با مقدار پایه‌ای از NPK سبب افزایش عملکرد گندم شد. Abbas *et al.* (2009) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه گندم با مصرف آهن تا ۱۲ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک کاربرد توأم با مقادیر توصیه‌شده NPK افزایش می‌یابد، اما مقادیر بیشتر آهن اثر معناداری بر عملکرد دانه نداشت. Sharma & Lal (1993) نیز افزایش عملکرد گندم را در قبال مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی تأیید کردند.

Modaihsh (1997) گزارش کرد که محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر روی گندم می‌تواند تأثیرات بیشتر یا برابر با کاربرد آنها در خاک به‌منظور رفع کمبود این عناصر در خاک داشته باشد. کاربرد محلول‌پاشی عناصر آهن، منگنز، روی و منیزیم سبب افزایش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کلش و کربوهیدرات‌های دانه در گندم شد (Kassab *et al.*, 2004). نتایج Sheykhbaglou *et al.* (2010) نشان داد که کاربرد نانوآکسید آهن سبب افزایش عملکرد دانه در سویا می‌شود.

آهن علاوه بر تأثیر در سیستم اکسیداسیون و احیا (سیتوکروم در کلروپلاست و میتوکندری)، به‌عنوان کوفاکتور در آنزیم‌های مهمی نظیر کاتالازها و پروکسیدازها تأثیر دارد و نیز تنظیم سرعت تشکیل سیگما-آمینولولینیک اسید (پیش‌ماده سنتز کلروفیل) از وظایف آهن است (Eisvand & Ashouri, 2010). از این‌رو برطرف شدن کمبود آهن در گیاه می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود عملکرد و دیگر کارکردهای گیاه داشته باشد.

۳. سرعت جذب خالص (NAR)

$$(3) NAR = CGR/LAI$$

W: معرف وزن خشک؛ و T<sub>2</sub>: معرف زمان است (Sarmadnia & Kouchaki, 1997).

۴. دوام سطح برگ (LAD)

$$(4) LAD = (LAI_1 + LAI_2)(T_2 - T_1)/2$$

که در آن T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> فاصله زمانی دو نمونه‌برداری برحسب روز؛ LAI<sub>1</sub> شاخص سطح برگ در شروع خوشه رفتن و LAI<sub>2</sub> شاخص سطح برگ در ۱۸ روز بعد از شروع خوشه رفتن. در این مطالعه برای تعیین کیفیت آرد از آزمون حجم رسوب SDS<sup>۱</sup> (Axford *et al.*, 1979) استفاده شد. واحد اندازه‌گیری آزمون حجم رسوب میلی‌متر بود. برای تعیین مقدار آهن دانه از دستگاه اتمیک ابزیشن (ساخت شرکت شیماتزوی ژاپن مدل AA-670) استفاده شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و ترسیم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel 2007 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن و در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی نشان داد که اثر رقم (به‌جز برای شاخص برداشت که معنادار نبود) بر عملکرد دانه و بیولوژیک در سطح ۵ درصد معنادار بود. در مقابل اثر محلول‌پاشی آهن تنها بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنادار بود و بر بقیه صفات کمی اثر معناداری نداشت (جدول ۲). اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی آهن نیز بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد و بر شاخص برداشت در سطح ۵ درصد معنادار بود، درحالی‌که عملکرد بیولوژیک در سطح معناداری تحت تأثیر متقابل قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از رقم مرودشت و تیمار محلول‌پاشی آهن در غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام به‌مقدار ۶/۴ تن در هکتار حاصل شد که با تیمارهای رقم مرودشت × غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام و لاین

1. Sodium dodecyl sulfat (SDS) test

شاخص برداشت

اثر متقابل رقم و تیمار محلول پاشی بر شاخص برداشت معنادر بود. بیشترین شاخص برداشت به مقدار ۶۳/۲۷ مربوط به لاین M-79-7 در وضعیت محلول پاشی آهن با غلظت ۲۵۰ پی پی ام بود که با تیمارهای شاهد و غلظت ۵۰۰ پی پی ام خود تفاوت معناداری نشان نداد. کمترین مقدار مربوط به رقم شیراز در وضعیت عدم مصرف آهن بود (با شاخص برداشت ۳۹/۶۸). در غلظت‌های (۱۰۰۰ و ۵۰۰ پی پی ام) شاخص برداشت در همه ارقام مشابه بود و تفاوت معناداری نداشت. با توجه به نتایج، اعمال غلظت‌های آهن برای هر رقم نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد (شکل ۲).

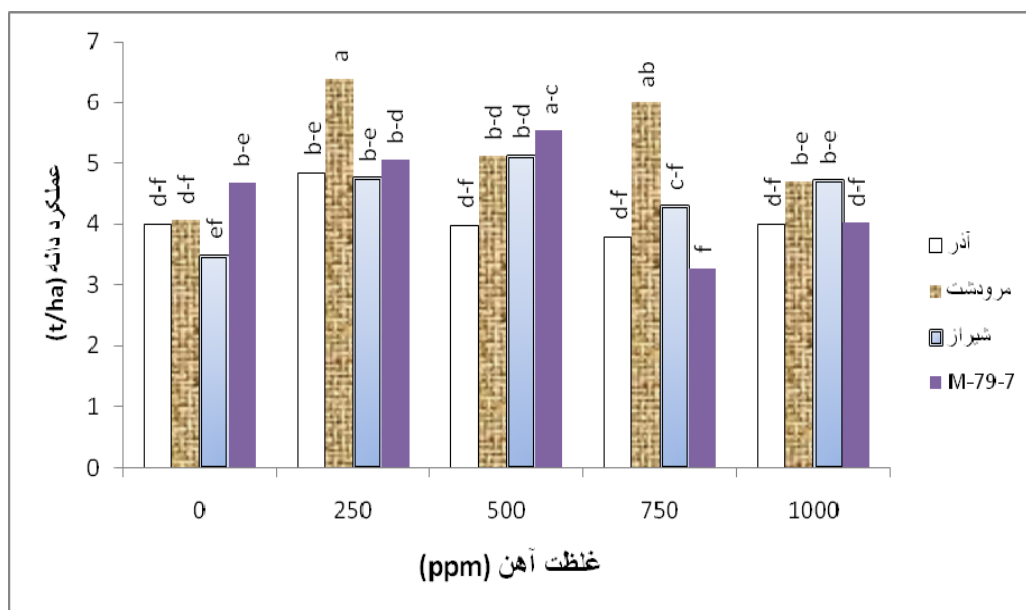
عملکرد بیولوژیک

اثر رقم بر عملکرد بیولوژیک معنادر بود. اما با اینکه بیشترین عملکرد بیولوژیک (۹/۵ تن در هکتار) از تیمار محلول پاشی آهن با غلظت ۵۰۰ پی پی ام حاصل شد، تفاوت معناداری بین تیمارها از نظر عملکرد بیولوژیک مشاهده نشد (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم مرودشت بود که با رقم آذر و لاین M-79-7 تفاوت معناداری داشت، ولی با رقم شیراز در یک گروه آماری قرار گرفتند. اگرچه اثر متقابل رقم و غلظت آهن برای عملکرد بیولوژیک معنادر نبود، بیشترین مقدار مربوط به رقم مرودشت در غلظت ۲۵۰ پی پی ام آهن بود (۱۱/۹ تن در هکتار) (شکل ۳).

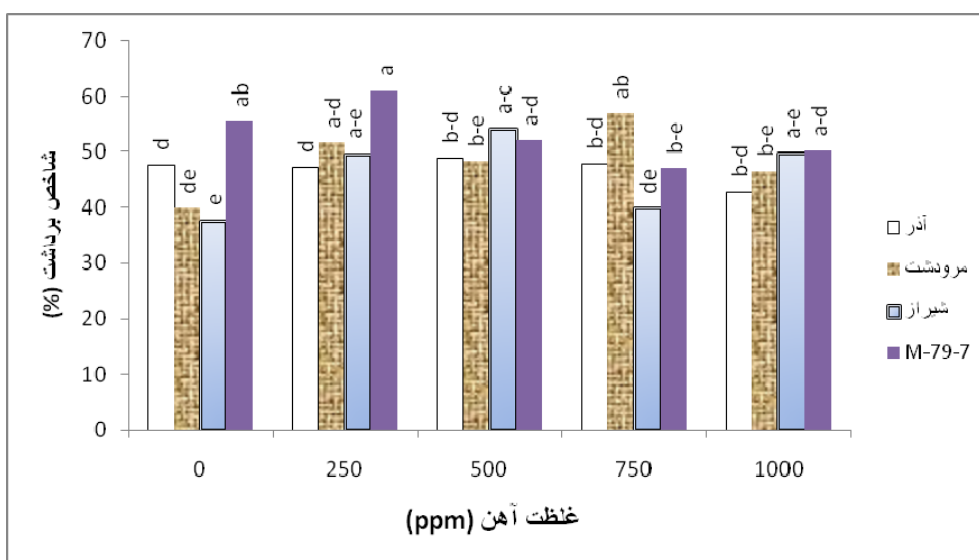
جدول ۲. میانگین مربعات جدول تجزیه واریانس صفات عملکرد دانه، بیولوژیک و شاخص برداشت گندم تحت تأثیر سطوح مختلف نانو اکسید آهن

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۸۱۱ <sup>ns</sup>	۳/۵۰ <sup>ns</sup>	۷۵/۲۵ <sup>ns</sup>
رقم (A)	۳	۳/۴۱۸*	۱۵/۶۱*	۱۴۹/۳۶ <sup>ns</sup>
خطا	۶	۰/۳۸۵	۳/۲۹	۳۹/۷۹
محلول پاشی آهن (B)	۴	۲/۹۳۳**	۱/۹۶ <sup>ns</sup>	۱۰۳/۰۳ <sup>ns</sup>
A×B	۱۲	۱/۲۸۶**	۲/۷۳ <sup>ns</sup>	۹۰/۳۵*
خطا	۳۲	۰/۲۷۲	۱/۸۲	۴۰/۸۴
ضریب تغییرات (/)	-	۱۱/۳۶	۱۴/۷۴	۱۲/۵۹

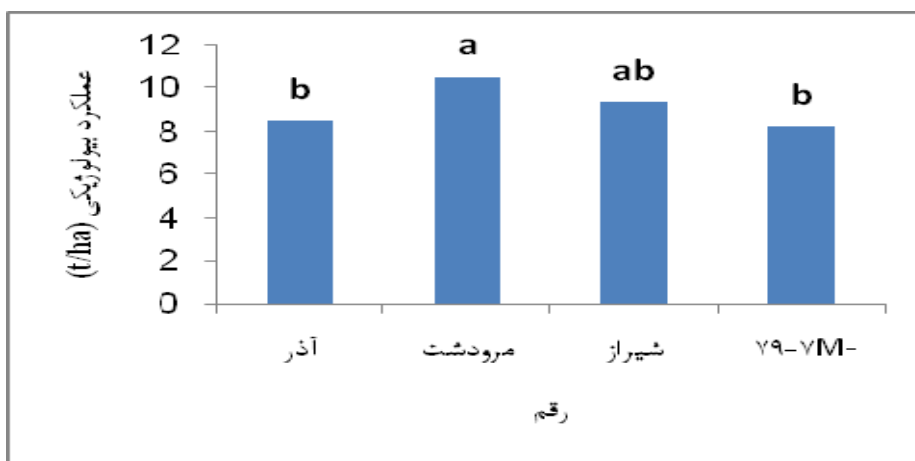
ns، \*\* و \*\*\* به ترتیب نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معناداری.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع رقم و تیمار محلول پاشی آهن بر عملکرد دانه گندم



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع رقم و تیمار محلول پاشی آهن بر شاخص برداشت گندم



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع رقم بر عملکرد بیولوژیک گندم

پی پی ام از سایر ارقام بیشتر بود (۱۵/۳۹ درصد) که با غلظت ۷۵۰ پی پی ام در این رقم و همچنین با غلظت های ۲۵۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام در رقم شیراز اختلاف معناداری نداشت. اما کمترین درصد پروتئین دانه مربوط به رقم آذر و در وضعیت عدم محلول پاشی (۱۰/۷۳ درصد) بود که با غلظت های ۵۰۰ و ۷۵۰ پی پی ام خود اختلاف معناداری نشان نداد. ممکن است کارایی جذب آهن از خاک و همچنین انتقال آن به دانه در رقم شیراز نسبت به بقیه ارقام بالاتر باشد، زیرا در تیمار عدم محلول پاشی آهن توانست درصد پروتئین دانه بیشتری داشته باشد (جدول ۴).

برخی پژوهشگران معتقدند نوع یا کیفیت پروتئین های ذخیره ای به مراتب مؤثرتر از مقدار آنها

### صفات کیفی

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی نشان داد که اثر رقم (به جز درصد پروتئین دانه که در سطح ۱ درصد معنادار بود) در سطح ۵ درصد برای مقدار SDS و درصد آهن دانه معنادار بود، اما اثر محلول پاشی آهن برای درصد پروتئین دانه معنادار نبود. رسوب SDS در سطح ۱ درصد و مقدار آهن دانه در سطح ۵ درصد معنادار نشان داد. اثر متقابل رقم × محلول پاشی آهن (به جز برای رسوب SDS که معنادار نبود) برای درصد پروتئین و آهن دانه در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳).

### درصد پروتئین دانه

مقایسه میانگین ها نشان داد درصد پروتئین دانه رقم مرودشت در تیمارهای محلول پاشی آهن با غلظت ۵۰۰

مورد نیاز گیاه را تأمین کند و از این طریق سبب بهبود واکنش‌های فیزیولوژیک درگیر در سنتز پروتئین‌هایی شود که در رسوب SDS نقش دارند.

#### آهن دانه

نتایج نشان داد در وضعیت عدم محلول‌پاشی آهن گرچه مقدار آهن دانه در لاین M-79-7 بیشتر از بقیه بود، در کل تفاوت معناداری بین ارقام در وضعیت عدم محلول‌پاشی وجود نداشت؛ به طوری که کمترین مقدار مربوط به رقم مرودشت و سپس رقم آذر بود. در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۲۵۰ پی‌پی‌ام نیز روند همانند وضعیت شاهد بود، با این تفاوت که مقدار آهن دانه در همه آنها اندکی افزایش داشت و افزایش در رقم مرودشت معنادار بود. در تیمار ۵۰۰ پی‌پی‌ام رقم آذر نسبت به وضعیت شاهد افزایش معناداری داشت و با افزایش آهن به ۷۵۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام کاهش نشان داد. از بین ارقام استفاده‌شده تنها در مرودشت و لاین M-79-7 با افزایش غلظت آهن تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به طور پیوسته در آهن دانه آنها افزایش مشاهده شد، اما در آذر و شیراز وضعیت چنین نبود. بیشترین مقدار آهن دانه از غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام در رقم مرودشت به دست آمد (جدول ۴). Khan *et al.* (2006) نشان دادند که در اثر تغذیه گیاه گندم با کودهای معدنی، مقدار مس، آهن، منگنز و روی در کاه و دانه آن افزایش یافت. تحقیقات نشان داده است که نانو اکسید آهن به طور معناداری رشد بادام زمینی و فتوسنتز آن را افزایش می‌دهد. نانو اکسید آهن در مقایسه با تیمارهایی مانند کود آلی و سیترات آهن انتقال مواد را تسهیل کرد و انتقال آهن به برگ‌ها را افزایش داد (Liu *et al.*, 2005). بنا بر گزارش (1990) Mohamad *et al.*، با استفاده از روش توأم محلول‌پاشی و خاک کاربرد آهن، عملکرد و مقدار آهن دانه افزایش یافت.

#### صفات فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس بررسی صفات فیزیولوژیک نشان داد که اثر رقم (به جز سرعت فتوسنتز خالص که در سطح ۱ درصد معنادار بود) برای سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول و دوام سطح برگ در سطح ۵

است، ولی اغلب محققان ثابت کرده‌اند که هم کیفیت و هم کمیت این پروتئین‌ها با کیفیت نانوائی گندم ارتباط دارد (Garg *et al.*, 2006). پروتئین‌های ذخیره‌ای گندم از دسته پرولامین‌ها است که وضعیت الاستیکی، کشسانی و چسبندگی خاصی به خمیر در حال توسعه می‌دهد. این پروتئین‌ها بهبود خواص کیفی خمیر برای تولید محصول نهایی آرد نان را سبب می‌شوند (Payne *et al.*, 1984). در گزارش Ziaiean & Malakouti (2006) مشاهده شد که با مصرف عناصر ریزمغذی، عملکرد دانه، کاه، وزن هزاردانه و مقدار پروتئین دانه گندم افزایش می‌یابد. اگر آهن گیاه کاهش یابد، تعداد ریبوزوم‌ها و پروتئین‌سازی هم کاهش می‌یابد. همچنین کمبود آهن در ریشه‌ها با تغییرات مورفولوژیکی نظیر ممانعت از طویل شدن ریشه، افزایش قطر مناطق انتهایی ریشه و افزایش تارهای کشنده همراه است (Eisvand & Ashouri, 2010).

#### مقدار رسوب SDS

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم  $\times$  غلظت آهن نشان داد که رقم شیراز در سطح غلظت ۷۵۰ پی‌پی‌ام با ۷۴/۳۳ میلی‌متر، بیشترین؛ و رقم مرودشت در وضعیت عدم محلول‌پاشی کمترین مقدار رسوب SDS را داشتند (شکل ۴). از آنجا که این رسوب با کیفیت نانوائی همبستگی مثبت دارد (Eisvand, 2002)، در وضعیت این آزمایش، ارقام استفاده‌شده به خصوص رقم‌های شیراز و مرودشت به محلول‌پاشی آهن از نظر رسوب SDS پاسخ بهتری دادند و نسبت به عدم محلول‌پاشی (تیمارهای شاهد) رسوب بیشتری داشتند. پس می‌توان انتظار داشت که کیفیت نانوائی با اعمال محلول‌پاشی آهن افزایش یابد (جدول ۴). عناصر ریزمغذی با اینکه در مقادیر کم در گیاهان وجود دارند، فعال‌کننده بیش از ۱۰۰ آنزیم هستند. استنباط این است که گیاه بدون مقدار کافی ریزمغذی‌ها قادر به بقا نیست، زیرا وجود آنها برای سنتز DNA و RNA و متابولیسم کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها ضروری است. آنها در آزادسازی دی‌اکسید کربن و کارکرد ویتامین‌ها نیز عامل مهمی به شمار می‌روند (Marschner, 1995). بنابراین تغذیه گیاه گندم با آهن از طریق محلول‌پاشی می‌تواند آهن

درصد، و اثر محلول پاشی آهن (به جز دوام سطح برگ که در سطح ۱ درصد معنادار بود)، برای سرعت فتوسنتز خالص، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول معنادار نبود. همچنین اثر متقابل رقم × محلول پاشی آهن برای تمام صفات فیزیولوژیکی تحت بررسی معنادار نبود (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین مربعات جدول تجزیه واریانس صفات رسوب SDS، پروتئین دانه و مقدار آهن دانه گندم تحت تأثیر سطوح

**مختلف نانوآکسید آهن**

منابع تغییر	درجه آزادی	رسوب SDS	درصد پروتئین دانه	آهن دانه
تکرار	۲	۱۰/۰ <sup>NS</sup>	۴/۷۲ <sup>NS</sup>	۲۳۳۴/۷۵*
رقم (A)	۳	۱۸۱/۱۱*	۱۹/۸۴**	۲۹۵/۶۶*
خطا	۶	۳۲/۹۲	۲	۵۹/۰۷
محلول پاشی آهن (B)	۴	۱۰۸/۶۰*	۲/۵۵ <sup>NS</sup>	۱۷۴۸/۶۹**
A×B	۱۲	۳۱/۸۷**	۴/۲۵**	۳۰۸/۸۲**
خطا	۳۲	۳۵/۵۳	۱/۱۹	۹۲/۴۰
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۲۹	۸/۵۸	۵/۳۴

NS، \*\* و \*\*\* به ترتیب نشان دهنده معناداری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معناداری.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و محلول پاشی آهن صفات رسوب SDS، پروتئین دانه و مقدار آهن دانه گندم تحت تأثیر

**سطوح مختلف نانوآکسید آهن**

تیمار	رسوب SDS (میلی متر)	درصد پروتئین دانه (%)	آهن دانه (پی پی ام)
آذر ۰ پی پی ام (شاهد)	۵۹/۰۰ d	۱۰/۷۳ i	۱۵۸/۰ f g
آذر ۲۵۰ پی پی ام	۵۸/۶۷ d	۱۱/۴۳ hi	۱۷۷/۱ c-f
آذر ۵۰۰ پی پی ام	۶۰/۶۷ b-d	۱۱/۰۹ i	۱۹۲/۸ a-d
آذر ۷۵۰ پی پی ام	۶۱/۳۳ b-d	۱۰/۹۶ i	۱۷۲/۴ d-g
آذر ۱۰۰۰ پی پی ام	۶۰/۶۷ b-d	۱۱/۷۳ hi	۱۷۷/۴ c-f
مرودشت ۰ پی پی ام (شاهد)	۵۷/۳۳ d	۱۲/۳۱ gh	۱۵۲/۴ g
مرودشت ۲۵۰ پی پی ام	۷۱/۰۰ a-c	۱۱/۶۶ hi	۱۷۹/۱ b-f
مرودشت ۵۰۰ پی پی ام	۵۹/۳۳ cd	۱۵/۳۹ a	۱۷۷/۳ c-f
مرودشت ۷۵۰ پی پی ام	۶۵/۶۷ a-d	۱۴/۷۱ ab	۱۹۲/۵ a-d
مرودشت ۱۰۰۰ پی پی ام	۶۸/۳۳ a-d	۱۱/۷۶ hi	۲۰۴/۴ a
شیراز ۰ پی پی ام (شاهد)	۶۱/۳۳ b-d	۱۳/۵۵ c-e	۱۶۲/۸ e-g
شیراز ۲۵۰ پی پی ام	۷۱/۳۳ ab	۱۴/۸۹ ab	۱۶۷/۴ e-g
شیراز ۵۰۰ پی پی ام	۶۸/۳۳ a-d	۱۲/۴۸ f-h	۱۷۶/۵ c-g
شیراز ۷۵۰ پی پی ام	۷۴/۳۳ a	۱۴/۱۲ b-d	۲۰۲/۴ ab
شیراز ۱۰۰۰ پی پی ام	۶۷/۳۳ a-d	۱۴/۵۲ a-c	۱۸۱/۳ a-f
M-79-7 پی پی ام (شاهد)	۶۲/۳۳ b-d	۱۲/۳۲ gh	۱۷۱/۶ d-g
M-79-7 پی پی ام	۶۸/۰۰ a-d	۱۳/۶۳ c-e	۱۸۴/۵ a-e
M-79-7 پی پی ام	۶۱/۳۳ b-d	۱۲/۸۶ e-g	۱۸۰/۰ a-f
M-79-7 پی پی ام	۶۵/۳۳ a-d	۱۳/۴۳ d-f	۱۹۴/۴ a-d
M-79-7 پی پی ام	۶۱/۰۰ b-d	۱۱/۱۶ i	۱۹۸/۹ a-c

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنادار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.

**سرعت فتوسنتز خالص (NAR)**

روی گندم اعمال شد، کمترین مقدار NAR از تیمار روی و آهن حاصل شد، درحالی که بیشترین آن از تیمار بُر و سپس مس به دست آمد. Shukla & Warsi (2000) نشان دادند که کاربرد NPK همراه با عناصر ریزمغذی سبب افزایش NAR در گندم شد. در تحقیقی درباره ذرت، تیمارهایی که در آنها از عناصر کم مصرف به ویژه سولفات روی و ترکیب سولفات روی و آهن استفاده شد، در طول فصل رشد دارای NAR بیشتری نسبت به شاهد بودند و در اواخر دوره رشد NAR در تیمار شاهد با شیب تندی کاهش یافت (Sajedi & Ardakani, 2008).

سرعت فتوسنتز خالص نشان دهنده ظرفیت گیاه در افزایش ماده خشک بر حسب سطح فتوسنتزی است، بنابراین به طور کلی معرف کارایی فتوسنتز است. نتایج مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که سرعت فتوسنتز خالص در رقم شیراز به طور معناداری بیش از رقم آذر و لاین M-79-7 بود، اما با رقم مرودشت تفاوت معناداری نداشت. اما کمترین مقدار سرعت فتوسنتز خالص مربوط به لاین M-79-7 بود (شکل ۴). در تحقیق Nadim et al., (2012) از بین تیمارهای روی، آهن، بُر و مس، که



**سرعت رشد محصول (CGR)**

سرعت رشد محصول به تجمع ماده خشک در واحد زمان اشاره دارد و عوامل مختلفی نظیر دما، شدت تشعشع، سن گیاه و فراهمی آب و مواد غذایی بر آن مؤثرند. ارقام استفاده شده در تحقیق، سرعت رشد متفاوتی از خود نشان دادند. سرعت رشد رقم مرودشت در حالی که از بقیه ارقام بیشتر بود، با رقم شیراز تفاوت معناداری نداشت. کمترین سرعت رشد محصول مربوط به لاین M-79-7 بود (شکل ۵). در گزارش *et al.* Nadim (2012)، کاربرد آهن، روی، مس و بُر تأثیر معناداری بر CGR گندم رقم Gomai-8 نداشت، البته

بیشترین آن از تیمار بُر و کمترین آن از تیمار مس حاصل شده بود. همچنین کاربرد عناصر ریزمغذی ذکر شده به روش قرار دادن نواری در کنار ردیف کشت توانست اثر مثبت بیشتری در مقایسه با استفاده از آنها به صورت خاک کاربرد و اسپری داشته باشد. *Nataraja et al.* (2006) اثر مثبت کود روی به صورت خاک کاربرد بر CGR گندم را گزارش کردند. استفاده از تیمارهای سولفات روی و ترکیب سولفات روی و آهن بر روی ذرت، سرعت رشد محصول را افزایش داد. ریزش برگ‌ها نیز دیرتر از شاهد شروع شد (Sajedi & Ardakani, 2008).

جدول ۵. میانگین مربعات جدول تجزیه واریانس صفات سرعت فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی گندم تحت

**تأثیر سطوح مختلف نانو اکسید آهن**

منابع تغییر	درجه آزادی (df)	سرعت فتوسنتز خالص	سرعت رشد محصول	سرعت رشد نسبی	دوام سطح برگ
تکرار	۲	۳/۹۷ <sup>ns</sup>	۹/۸۱ <sup>ns</sup>	۱/۳۱ <sup>ns</sup>	۷۹/۸۱۲ <sup>ns</sup>
رقم (A)	۳	۳۸/۵۵ <sup>**</sup>	۴۶۸/۲ <sup>*</sup>	۱۴/۵۶ <sup>*</sup>	۳۰۵/۵۳۷ <sup>*</sup>
خطا	۶	۲/۶۶	۵۵/۸۹	۱/۶۸	۳۵/۹۲۶
محلول پاشی آهن (B)	۴	۲/۰۴ <sup>ns</sup>	۸/۳۸ <sup>ns</sup>	۱/۸۹ <sup>ns</sup>	۱۱۲/۰۹۷ <sup>**</sup>
A×B	۱۲	۴/۴۹ <sup>ns</sup>	۷۱/۱۲ <sup>ns</sup>	۲/۷۳ <sup>ns</sup>	۴۸/۷۵۹ <sup>ns</sup>
خطا	۳۲	۴/۸۱	۵۸/۴۳	۱/۷۲	۲۵/۸۶۴
ضریب تغییرات (/)	-	۱۸/۸	۱۵/۵	۱۷/۲۵	۹/۴۳

\*\*\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معناداری.

**سرعت رشد نسبی (RGR)**

در حالی که CGR مقدار مطلق رشد را اندازه می‌گیرد، RGR بیانگر افزایش وزن خشک گیاه در یک فاصله زمانی معین بر مبنای وزن خشک اولیه است. نتایج مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که ارقام سرعت رشد نسبی متفاوتی داشتند، به طوری که سرعت رشد رقم شیراز از بقیه ارقام بیشتر بود، اما با رقم مرودشت تفاوت معناداری نداشت. کمترین RGR در لاین M-79-7 مشاهده شد (جدول ۶). در گزارش Sajedi & Ardakani (2008)، استفاده از عناصر کم‌مصرف روی و آهن بر روی ذرت، سرعت رشد نسبی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و در مرحله خمیری در تیمارهایی که از سولفات روی استفاده شد، سرعت رشد نسبی بیشتر از بقیه تیمارها بود.

**دوام سطح برگ (LAD)**

دوام سطح برگ معرف مقدار و دوام سطح برگ در یک دوره معین اندازه‌گیری است. نتایج مقایسه میانگین اثر

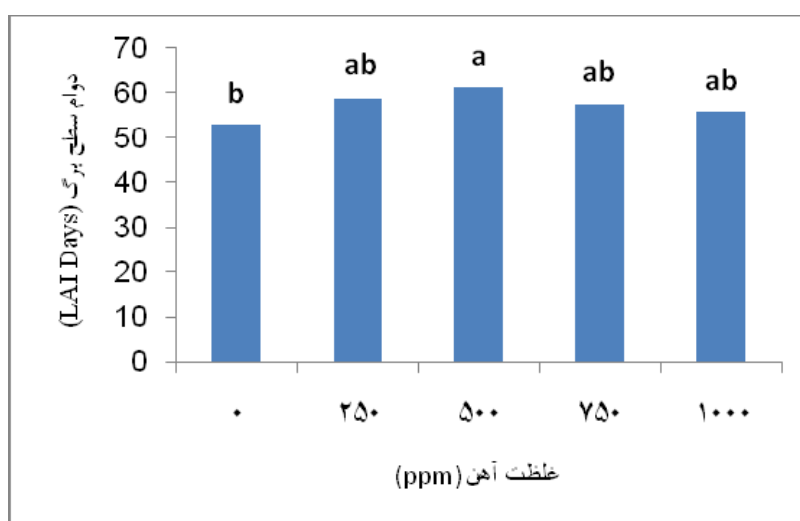
رقم نشان داد که رقم مرودشت بیشترین دوام سطح برگ را داشت که با رقم آذر تفاوت معناداری نشان نداد. اما کمترین مقدار مربوط به رقم شیراز بود (جدول ۶). این موضوع ممکن است ریشه در پتانسیل ژنتیکی هر یک از این ارقام داشته باشد. اثر تیمار محلول پاشی آهن نیز بر این صفت معنادار بود. محلول پاشی آهن سبب بهبود دوام سطح برگ در همه ارقام شد. بیشترین دوام سطح برگ از تیمار ۵۰۰ پی‌پی‌ام محلول پاشی آهن به دست آمد (شکل ۶). در تحقیقی دوام سطح برگ تا ۴۹ روز پس از کاشت تحت تأثیر کودهای آهن، روی، بُر و مس قرار نگرفت، اما در مرحله ۹۸ روز بعد از کاشت تفاوت تیمارها معنادار بود و بیشترین دوام سطح برگ گندم از تیمار روی و آهن به دست آمد که از دیگر تیمارها بیشتر بود. در ضمن تأثیرگذاری کوددهی به روش خاک کاربرد متمرکز (در کنار ردیف‌های کاشت)، از روش مخلوط کردن با خاک یا محلول پاشی بیشتر بود (Nadim *et al.*, 2012).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر رقم صفات رسوب SDS، پروتئین دانه و مقدار آهن دانه گندم تحت تأثیر سطوح

مختلف نانو اکسید آهن

تیمار	سرعت فتوسنتز خالص (g/m <sup>2</sup> /day)	سرعت رشد محصول (g/m <sup>2</sup> /day)	سرعت رشد نسبی (g/g/day)	دوام سطح برگ (LAI days)
آذر	۴۰/۴۴۶ b	۱۹۸/۱۸۹ bc	۳۷/۷۱۸ bc	۵۸/۴۲۱ ab
مرودشت	۶۲/۴۴۷ ab	۲۷۰/۶۸۳ a	۴۴/۲۱۹ ab	۶۳/۰۴۹ a
شیراز	۶۹/۶۹۸ a	۲۶۴/۶۴۹ ab	۵۰/۸۲۹ a	۵۲/۳۷۵ b
M-79-7	۳۷/۲۹۹ b	۱۵۴/۱۱۵ c	۲۷/۷۰۱ c	۵۵/۶۹۴ bc

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنادار براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر محلول پاشی آهن بر دوام سطح برگ گندم

### نتیجه‌گیری کلی

وضعیت اقلیمی خرم‌آباد تفاوت مشاهده شد. از بین آنها رقم مرودشت از نظر عملکرد دانه (۶/۴) تن در هکتار حاصل تیمار محلول پاشی ۲۵۰ پی‌پی‌ام آهن، مقدار پروتئین دانه (۱۵/۳۹) درصد حاصل تیمار محلول پاشی ۵۰۰ پی‌پی‌ام آهن) و مقدار آهن دانه (۲۰۲/۴ پی‌پی‌ام حاصل تیمار محلول پاشی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام آهن) برتر از سایر ارقام بود. اما از نظر حجم رسوب SDS، رقم شیراز (با حجمی معادل ۷۴/۳۳ میلی‌متر حاصل تیمار محلول پاشی ۷۵۰ پی‌پی‌ام آهن) از بقیه ارقام برتر بود.

نظر به وظایف مهم آهن در گیاه، رفع کمبود آن بسته به اینکه کمبود در چه حدی باشد، سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی خواهد شد. محلول پاشی آهن در وضعیتی که این عنصر به دلایل مختلف از طریق خاک به خوبی توسط گیاه جذب نشود، راه حل مناسبی برای برطرف کردن کمبودهای تغذیه‌ای این عنصر و عناصر مشابه است. نتیجه تحقیق حاضر نیز تأییدی بر این موضوع است. البته نتایج نشان داد که واکنش ارقام مختلف به کاربرد این تیمار یکسان نیست. بین ارقام به کاررفته در این تحقیق از نظر بسیاری از صفات بررسی شده در

### REFERENCES

1. Abbas, G., Khan, M. Q., Khan, M. J., Hussain, F. & Hussain I. (2009). Effect of iron on the growth and yield contributing parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Science*, 19, 135-139.
2. Axford, D. W. E., McDermott, E. E. & Red-man, D. G. (1979). Note on the sodium dodecyl sulfate test of bread-making quality; Comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chemistry*, 69, 229-230.
3. Cakmak, I., Kalayci, M., Brauni, H. J., Kilinc, Y. & Yilmaz, A. (1999). Zn deficiency as a practical problem in plant and human. G. D. (Ed). Res. bull.
4. N Nutrition in Turkey: A Nato-Science for stability project. *Field Crop Research*, 60, 175-188.

5. Caliskan, S., Ozkoya, I., Caliskan, M. E. & Arslan, M. (2008). The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crop Research*, 108, 126-132.
6. Chaudry, E. H., Timmer, V., Javed, A. S. & Siddique, M. T. (2007). Wheat response to micronutrients in rainfed areas of Punjab. *Soil and Environment Journal*, 26, 97-101.
7. Debermann, A. R. (2006). Extension soil fertility. In: Ferguson, R. B. (2006). *Fertilizer recommendations for soybean*. UNL Soil Fertility. Available online at: <http://soil.fertility.unl.edu>
8. Eisvand, H. R. (2002). *Effect of drought stress and timing of nitrogen application on growth, yield, baking quality and the pattern of storage proteins expression in wheat grain (Triticum aestivum var Mahdavi)*. Msc. Thesis, University of Tehran. (In Persian with abstract English).
9. Eisvand, H. R. & Ashouri, P. (2010). Stress physiology. Lorestan University publications. (In Persian).
10. FAO. (2012). FAOSTAT | © FAO Statistics Division.
11. Fawzi, A. F. A., El-Fouly, M. M. & Moubarak, Z. M. (1993). The need of grain legumes for iron, manganese and zinc fertilization under Egyptian soil conditions: Effect and uptake of metalosates. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 813-823.
12. Fowler, D. B., Brydon, j. & Delaroche, I. A. (1990). Environmental and genotype influence on grain protein concentration of wheat and rye. *Agronomy Journal*, 82, 655-664.
13. Graham, R. D., Alscher, J. S. & Haynes, S. C. (1992). Selecting Zinc-efficient cereals genotypes for soils of low Zn status. *Plant Soil*, 146, 241-250.
14. Gupta, R. B., Bekes, F. & Popincout, Y. (1994). Biochemical basis of flour properties in bread wheat. *Cereal Science*, 21, 103-116.
15. Kassab, O. M., Zeing, H. A. E. & Ibrahim M. M. (2004). Effect of water deficit and micronutrients foliar application on the productivity of the wheat plants. *Journal of Agricultural Research*, 29, 925-932
16. Khan, H., Hassan, Z. U. & Maitlo, A. A. (2006). Yield and micronutrients content of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under a multi-nutrient fertilizer Hal-Tonic. *Intl. Journal of Agricultural Biological*, 8, 366-370.
17. Liu, X. M., Zhang, F. R., Feng, Z. B., Zhang, Sh. Q., He, X. Sh., Wang, R. & Wang, Y. (2005). Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant nutrition and fertilizer Science*, 11, 14-18.
18. Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wen, J. Q., Wu, G. R. & Tao, M. (2002). Research of the effect of nano materials on germination and growth enhancement of Glycin max and its mechanism. *Soybean Sciences*, 21, 168- 171.
19. Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plant. 2nd Edn., Academic Press Ltd., London, UK.
20. Masoni, M., Ercoli, L. & Mriotti, M. (1996). Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium and manganese. *Agronomy Journal*, 88, 937-943.
21. Modaihsh A. S. (1997). Foliar application of chelated and non-chelated metals for supplying micronutrients to wheat grown on calcareous soil. *Experimental Agriculture*, 33, 237-245.
22. Nadim, M. A., Awan, I. U., Baloch, M. S., Khan, E. A., Naveed, K. & Khan, M. A. (2012). Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to different micronutrients and their application methods. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22, 113-119.
23. Naik, G. R. (1984). Inactive iron in sugarcane leaves and its influence on enzymatic reactions and chloroplast metabolism. *Journal of Plant Nutrition*, 7, 785-788.
24. Nataraja, T. H., Halepyati, A. S., Pujari, B. T. & Desai, B. K. (2006). Influence of phosphorus levels and micronutrients on the physiological parameters of wheat. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 19, 685-687.
25. Nisar, A., Rashid, M. & Vase, A. G. (1996). Fertilizer and their use in Pakistan. Planning Commission, NFDC. Govt of Pakistan, 45.
26. Payne, P. I., Holt, L. M., Jackson, E. A. & Law, C. N. (1984). Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society of Landon. Series B, Biological Sciences*, 304, 359-371.
27. Sajedi, N. & Ardakani, M. R. (2008). Effect of different levels of nitrogen , iron and zinc on physiological indices and forage yield of maize (*Zea mays* L.) in Markazi province. *Iraninan journal of agricultural Research*, 6, 99-110.
28. Sarmadnia, G. & Koucheki, A. (1997 ). Crop physiology. Jihad Daneshgahi Press, Mashad, Iran, pp 467.
29. Sharma, S. & Lal, F. (1993). Estimation of critical limit of DTPA-Zinc for wheat in pellusterts of southern Ragastan. *Journal of Indian Soc. Soil Science*, 41, 197-198.
30. Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M. & Seyed sharifi, R. (2010). Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic Traits of Soybean. *Not Science Biological*, 2 , 112-113.

31. Shukla, S. K. & Warsi, A. S. (2000). Effect of sulphur and micronutrients on growth, nutrient content and yield of wheat. *Indian Journal Agricultural Research*, 34, 203-205.
32. Tronsmo, K. M., Faergestod, E. M., Schofield, J. D. & Magnus, E. M. (2003). Wheat protein quality in relation to baking performance evaluation by Chorleywood bread process and a hearth bread baking test. *Cereal Science*, 38, 205-215.
33. Uhlen, A. K., Sahlstorum, S., Magnus, E. M., Fargestad, E. M., Dieseth, J. A. & Ringlund, K. (2004). Influence of genotype and protein content on the baking quality of hearth bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 887-894.
34. Welch, R. M., Allaway, W. H., House, W. A. & Kubota, J. (1991). Geographic distribution of trace element problems. PP. 31-37, In: J.J. Mortvedt (Ed.) *Micronutrients in agriculture* (2nd ed). *Soil sci, soc. Am. Madison*.
35. Zeleny, L. (1947). A simple sedimentation test for estimating the bread baking quality and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chemistry Journal*, 24, 465-475.
36. Ziaecian A. H. & Malakouti, M. J. (2006). Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. *Plant Nutrition. Food Security and Sustainability Agro-ecosystems*, 92, 840-841.
37. Liu, X. M., Zhang, F. R., Feng, Z. B., Zhang, Sh. Q., HE, X. Sh., Wang, R. & Wang, Y. (2005). Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant nutrition and Fertilizer Science*, 11, 14-18.
38. Mohamad, W., Iqbal, M & Shal, S. M. (1990). Effect of mode of application of zinc and iron on yield of wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, 6, 6, 615-618.
39. Nadim, M. A., Awan, I. U., Baloch, M. S., Khan, E. A., Naveed, K. & Khan, M. A. (2012). Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to different micronutrients and their application methods. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22, 113-119.