دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۷
http://arpe.gonbad.ac.ir

تأثیر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن بر عملکرد و غلظت عناصر ریزمغذی دانه گندم تحت شرایط کاربرد نیتروژن

عزت‌اله اسفندیاری[1*]، رعنا طاهری[2]، مجید عبدلی[3]
[1,2,3]گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۲

چکیده

مقدمه: کمبود آهن و نیتروژن محدودیت اصلی در تولید گندم است و یک نگرانی جهانی در مورد تغذیه انسان می‌باشد. از طرفی با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا و تأمین امنیت غذایی، غلات مهم‌ترین منبع انرژی و پروتئین در تغذیه انسان می‌باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن بر کیفیت و عملکرد دانه گندم در شرایط کاربرد و بدون کاربرد نیتروژن انجام گردید.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن و نیتروژن بر عملکرد و کیفیت دانه گندم، یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا شد. در این مطالعه، هفت سطح محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن (بدون کاربرد (شاهد)، $Fe-SO_4$، Fe-EDTA، Fe-Citrate، Fe-EDDHMA، Fe-EDDHSA و Fe-EDDHA) و دو سطح مصرف نیتروژن (عدم کاربرد و کاربرد ۱ درصد وزنی به حجمی اوره در محلول اسپری) در نظر گرفته شدند. پس از برداشت وزن میانگره پدانکل، وزن میانگره پنالتیمیت، طول پدانکل، طول پنالتیمیت، ارتفاع بوته، تعداد سنبلچه بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، غلظت روی در دانه، غلظت آهن در دانه، غلظت مس در دانه و غلظت منگنز در دانه اندازه‌گیری شدند.

*نویسنده مسئول: esfand1977@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

نتایج: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فرم‌های مختلف آهن بر طول پنالتیمیت، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، غلظت آهن در دانه و غلظت منگنز در دانه معنی‌دار بود. محلول‌پاشی نیتروژن بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز وزن میانگره پنالتیمیت، طول پدانکل، طول پنالتیمیت، ارتفاع بوته، تعداد سنبلچه بارور، وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود و آن‌ها را افزایش داد. اثر متقابل فرم‌های مختلف آهن و محلول‌پاشی نیتروژن بر غلظت آهن در دانه معنی‌دار بود. بیشترین میزان غلظت آهن در دانه به میزان ۱۲۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک از کاربرد Fe-EDDHMA همراه با محلول‌پاشی نیتروژن حاصل گردید و کمترین میزان غلظت آهن در دانه به میزان ۸۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک از تیمار شاهد بدست آمد.

نتیجه‌گیری: به‌خاطر سهولت استفاده، ارزان و در دسترس بودن سولفات آهن برای کشاورزان، توصیه می‌گردد این فرم آهن به‌همراه نیتروژن برای تولید عملکرد مناسب و بهبود خصوصیات کیفی دانه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، عناصر ریزمغذی، غنی‌سازی زیستی، آهن، نیتروژن، گندم

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) بی‌شک یکی از محصولات استراتژیک می‌باشد که بیش از ۴۵ درصد پروتئین و ۵۵ درصد کالری جمعیت جهان از جمله کشور ایران را تأمین می‌کند. این در حالی است که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و عمدتاً دارای خاک‌های آهکی است. مطابق بررسی‌های انجام شده، در این خاک‌ها مقدار بی‌کربنات کلسیم زیاد و میزان مواد آلی پایین است؛ در نتیجه دارای سطوح پایین نیتروژن و به طبع عناصر ریزمغذی کمتری می‌باشد، که این عوامل سبب افت محصول تولیدی گندم در این شرایط می‌گردد.

یکی از عوامل مهم در افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی از جمله گندم مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی است. در مورد تأثیر مصرف کود نیتروژن در غلات مطالعات متعددی صورت گرفته است (Barge, 2002; Hatfield and Prueger, 2004; Fan *et al*., 2004). نیتروژن به‌دلیل وظایف متعددی که در فرآیندهای حیاتی گیاه دارد، عنصری است که بیش از سایر عناصر دیگر کمبود آن موجب محدودیت تولید گیاهان زراعی می‌گردد. در این ارتباط جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2014) در مطالعات خود بر روی گیاه شوید نشان داد که اثر نیتروژن بر عملکرد تر و خشک اندام هوایی، بیوماس خشک گیاه، وزن تر و خشک ساقه و برگ، نسبت وزن تر و خشک برگ به ساقه، ارتفاع بوته، قطر ساقه و وزن هزار دانه معنی‌دار بود و سبب افزایش مقدار تمام صفات به جز وزن تر و خشک ریشه شد. هم‌چنین بیان شده که نیتروژن از طریق افزایش اجزای عملکرد در غلات مثل تعداد سنبله

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در نهایت سبب افزایش عملکرد می‌گردد (Davis *et al*., 2002; Hatfield and Prueger, 2004).

بررسی‌های نشان می‌دهد که کاربرد عناصر ریزمغذی تأثیر بسزایی بر عملکرد دارد؛ حتی اگر سبب بهبود عملکرد نگردد؛ ولی مصرف عناصر ریزمغذی موجب افزایش محتوای عناصر در دانه شود، می‌تواند سهم ویژه‌ای در سلامت جوامع بشری که از این محصولات تغذیه می‌کنند، داشته باشد. در این بین کمبود عنصر آهن یکی از مشکلات اساسی خاک‌های آهکی است (Lucena and Chaney, 2007). در بسیاری از گیاهان زراعی کمبود آن موجب ایجاد عکس‌العمل‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متعددی می‌گردد (Nikolic and Romheld, 1999). به‌طوری که کمبود آهن موجب کاهش فتوسنتز و اختلال در سیستم انتقال الکترون می‌شود (Bennett, 1993). هم‌چنین کمبود آن تنظیم سرعت تشکیل سیگما-آمینولوولینیک اسید[2] (پیش ماده سنتز کلروفیل)، سنتز تیلاکوئید و بسیاری از پروتئین‌های آهن‌دار منجمله سیتوکروم‌ها و آنزیم روبیسکو را مختل می‌کند (Imsande, 1998; Expert, 2007; Eisvand and Ashouri, 2010; Broadly *et al*., 2012). در خاک‌های آهکی که حاوی مقادیر زیادی از کربنات کلسیم هستند، کمبود و اختلال در جذب عناصری مانند آهن، روی و فسفر بسیار به چشم می‌خورد (Malakoti and Tehrani, 1999). این امر نه تنها بر روی تولیدات کشاورزی تأثیر منفی دارد؛ بلکه به کمبود آهن و روی در بدن انسان که یکی از شایع‌ترین مشکلات تغذیه‌ای جامعه بشری است، منجر می‌گردد (Cesco *et al*., 2002).

برای رفع کمبود آهن در گیاهان از فرم‌های مختلف کودهای حاوی آهن استفاده می‌شود. در این بین کلات‌ها نسبت به سایر منابع نظیر سولفات‌ها و اکسیدها دارای برتری‌هایی هستند که می‌توان به پایداری بیشتر، جذب مناسب توسط گیاه، خطر مسمومیت کمتر برای بافت‌های گیاهی و حلالیت مناسب اشاره کرد (Foth and Eliss, 1997; Zuo and Zhang, 2011; Adeli and Rafiei, 2016). در ارتباط با اثر کاربرد فرم‌های مختلف آهن تحقیقات متفاوتی بر روی انواع گیاهان زراعی صورت گرفته است؛ به‌طوری که عادلی و رفیعی (Adeli and Rafiei, 2016) طی تحقیقات خود اظهار داشتند که مصرف خاکی آهن به فرم کلات آهن از منبع سکوسترین ۱۳۸ (Fe-EDDHA) مناسب برای سویا است و در شرایط تنش خشکی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش کم آبی را کاهش دهد و موجب بهبود رشد و عملکرد دانه گردد. ضیائیان و ملکوتی (Ziaeian and Malakouti, 2006) طی مطالعات مزرعه‌ای در خاک آهکی گزارش کردند که استفاده از عناصر ریزمغذی از جمله آهن سبب افزایش عملکرد گندم می‌شود.

[2] δ-Aminolevulinic acid

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

سایر محققین نیز به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط کاربرد آهن اشاره کرده‌اند (Chaudry *et al*., 2007; Abbas *et al*., 2009). با توجه به اینکه در خاک‌های آهکی کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باعث رسوب و کاهش جذب عنصر فوق می‌گردد. بنابراین، پژوهشگران بیشتری محلول‌پاشی را بخاطر کارایی بیشتر نسبت به کاربرد خاکی گزارش کرده‌اند (Borowski and Michalek, 2011; Davarpanah *et al*., 2013). در این مورد ملکی و همکاران (Maleki *et al*., 2016) گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و بهبود پروتئین دانه بادام زمینی در خاک قلیایی را در پی داشت. در تحقیق دیگری مشخص شده که در محلول‌پاشی برگی آهن به آسانی روی سطح برگ باقی می‌ماند و جذب آن توسط گیاه زیاد می‌شود (Borowski and Michalek, 2011). در این ارتباط بیان شده که محلول‌پاشی گیاهان با کلات آهن (Fe-EDDHA) منجر به افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای کلروفیلی در گیاه زراعی و باغی می‌شود (Larbi *et al*., 2006; Borowski and Michalek, 2011).

از سویی علاوه‌بر تأثیر کودهای حاوی آهن بر صفات زراعی و عملکرد توجه به بحث غنی‌سازی عناصر ریزمغذی در دانه گیاهان زراعی و میوه درختان از نظر تغذیه جامعه بشری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا کبرایی و همکاران (Kobraee *et al*., 2012) طی تحقیقات خود بر روی گیاه سویا بیان کردند که کاربرد آهن تأثیری بر غلظت روی نداشت؛ در حالی‌که به‌طور قابل توجهی سبب افزایش غلظت آهن در برگ و دانه شد؛ ولی در مقابل سبب کاهش غلظت منگنز در برگ و دانه گردید. هم‌چنین دمیرکیران (Demirkiran, 2005) و شی و همکاران (Shi *et al*., 2010) بیان کردند که کاربرد آهن سبب غنی‌سازی دانه و انباشت آهن در قسمت هوایی گندم شد. از طرفی جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2014) بیان کردند که کاربرد نیتروژن سبب افزایش غلظت و جذب آهن در اندام هوایی گیاه شوید گردید. با توجه به اهمیت موضوع و اینکه اثر فرم‌های مختلف آهن با کاربرد نیتروژن به‌طور همزمان کمتر ارزیابی شده است و هم‌چنین به‌خاطر اهمیت کلیدی گندم در تغذیه مردم جهان، هدف از این مطالعه بررسی فرم‌های مختلف آهن بر عملکرد و ارزش غذایی گندم در شرایط کاربرد نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۳ در دانشگاه مراغه به‌صورت گلدانی در خاک آهکی (دارای ۲۰ درصد کربنات کلسیم) به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل: ۱) محلول‌پاشی فرم‌های مختلف آهن در هفت سطح (بدون کاربرد (شاهد)، $Fe\text{-}SO_4$، Fe-EDTA، Fe-Citrate، Fe-EDDHMA، Fe-EDDHSA

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

و Fe-EDDHA) و ۲) مصرف نیتروژن در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد ۱ درصد وزنی به حجمی اوره در محلول اسپری) بودند. محلول‌های تهیه شده در مراحل بوتینگ + اوایل شیری شدن دانه اسپری شدند. میزان مصرف آهن در تمامی انواع فرم‌های به کاربرده شده معادل ۰/۲۵ درصد وزنی به حجمی موجود در Fe-EDTA بود. لازم به‌ذکر است که فرم‌های Fe-EDDHSA و Fe-EDDHMA در واقع نمونه‌های اصلاح شده ترکیب Fe-EDDHA هستند.

در این تحقیق براساس آزمون خاک (جدول ۱) قبل از کاشت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب از منابع نیترات کلسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) و پتاسیم دی‌هیدروژن (۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) مصرف گردید. هم‌چنین برای رفع کمبود گوگرد و روی موجود در خاک از سولفات پتاسیم (۲۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) و سولفات روی (۲ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک) بهره گرفته شد. سپس در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی میزان ۳/۵ کیلوگرم خاک ریخته شد؛ به‌طوری که برای این تحقیق ۵۶ گلدان آماده شد.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Results of physiochemical properties of soil used in experiment

بافت Texture	اسیدیته pH	فسفر P (ppm)	منیزیم Mg (ppm)	کلسیم Ca (ppm)	پتاسیم K (ppm)
Clay-loam	7.2	6.1	22.8	46	360
هدایت الکتریکی EC (ds/m)	کربنات کلسیم $CaCO_3$ (%)	روی Zinc (mg/kg soil)	مس Cu (mg/kg soil)	آهن Fe (mg/kg soil)	
2.3	20	0.6	0.7	3.12	

رقم گندم مورد استفاده رقم بهاره کوهدشت بود که رقم غالب کشت شده در منطقه بود (Esfandiari *et al*., 2016). در تاریخ ۱۸ فروردین ماه ۱۳۹۳ در هر یک از گلدان‌ها ۱۰ عدد بذر در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متری کشت گردید که تمامی بذور در گلدان‌ها جوانه‌زده و به‌صورت گیاهچه استقرار پیدا کردند که تا انتهای آزمایش حفظ گردید. لازم به‌ذکر است که در تمامی مراحل آزمایش از کاشت تا برداشت از آب دیونیزه برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد تا از اضافه شدن عناصر بویژه عنصر آهن به خاک ممانعت گردد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی بوته‌های گندم برداشت و صفات مرفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد به‌همراه میزان تجمع عناصر ریزمغذی در دانه اندازه‌گیری شدند. ارتفاع بوته فاصله بین سطح زمین تا نوک سنبله در نظر گرفته شد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

برای اندازه‌گیری میزان تجمع عناصر ریزمغذی در دانه، نمونه‌های دانه پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن در آون مورد آسیاب قرار گرفتند. از پودر حاصل میزان ۰/۵ گرم توزین و به‌وسیله کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خاکستر شد. نمونه‌های خاکستر در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (۲ نرمال) حل شده و به مدت ۴۵ دقیق روی هات‌پلات در دمای ۷۵ سانتی‌گراد قرار گرفتند و در نهایت با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و عصاره‌گیری با عبور دادن محلول از کاغذ صافی انجام گرفت. در عصاره‌های به‌دست آمده میزان عناصر ریزمغذی از جمله روی، آهن، مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300 Shimadzu) اندازه‌گیری شدند (Emami, 1996). آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد فرم‌های مختلف آهن بر روی وزن خشک میانگره پدانکل معنی‌دار نبود؛ در حالی که کاربرد نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر صفت فوق در سطح پنج درصد داشت (جدول ۲). هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد فرم‌های مختلف آهن و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک میانگره پنالتیمیت نداشت است (جدول ۲). نتایج نشان داد که کاربرد نیتروژن سبب افزایش وزن خشک میانگره پدانکل شد؛ به طوری که از ۵۵/۹ میلی‌گرم در شرایط عدم کاربرد به ۶۱/۱ میلی‌گرم در شرایط کاربرد نیتروژن رسید و افزایش ۹/۳ درصدی را در پی داشت (جدول ۳). نیتروژن از جمله عناصری است که در تمام دوره رشد و نمو گیاه مورد نیاز است و تأثیر بسزایی بر رشد و تولید دارد؛ به طوری که این عنصر در ساختمان مولکول‌های پروتئینی، آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها، اسیدهای نوکلئیک و سیتوکروم‌ها نقش دارد (Regina, 2008; Kumar *et al*., 2013)، از این‌رو برطرف شدن کمبود نیتروژن در گیاه می‌تواند تأثیر مثبتی بر میزان کربوهیدارت‌های تولید شده طی فرآیند فتوسنتز و انباشت ماده خشک در قسمت‌های مختلف بوته، بهبود عملکرد و دیگر فرآیندهای کلیدی گیاه داشته باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد فرم‌های مختلف آهن به جزء صفت طول پنالتیمیت بر روی صفات طول پدانکل و ارتفاع بوته غیرمعنی‌دار بود و کاربرد نیتروژن نیز تأثیر معنی‌داری بر صفات طول پدانکل و پنالتیمیت و ارتفاع بوته نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشانگر این مطلب بود که در بین فرم‌های مختلف آهن مصرفی فرم‌های سولفات آهن ($Fe\text{-}SO_4$) و کلات آهن به فرم Fe-EDTA و Fe-EDDHSA به‌ترتیب با ۱۸/۷، ۱۸/۶ و ۱۸/۶ سانتی‌متر بیشترین میزان طول پنالتیمیت را داشتند؛ در حالی که فرم Fe-EDDHA با ۱۶/۱ سانتی‌متر کمترین میزان را داشت (جدول ۴).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد آهن و نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی دانه گندم

Table 2- Analysis of variance (MS) of the effect of iron and nitrogen application on morphological traits of grain wheat

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	وزن میانگره پدانکل Peduncle weight	وزن میانگره پنالتیمیت Penultimate weight	طول پدانکل Peduncle length	طول پنالتیمیت Penultimate length	ارتفاع Height
تکرار Replication (R)	3	2.55 ns	29.9 ns	1.53 ns	0.275 ns	1.08 ns
آهن Iron (Fe)	6	68.1 ns	19.5 ns	6.74 ns	0.584 *	6.48 ns
نیتروژن Nitrogen (N)	1	374.1 *	59.1 ns	4.87 ns	0.650 ns	2.18 ns
آهن × نیتروژن Fe × N	6	23.8 ns	5.20 ns	2.09 ns	0.136 ns	4.22 ns
خطا Error	38	59.8	26.3	4.27	0.212	4.23
ضریب تغییرات CV (%)		13.2	14.6	11.5	6.79	5.77

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد نیتروژن بر صفات زراعی دانه گندم

Table 3- Mean comparison of the effect of nitrogen application on agronomy and quality traits of grain wheat

نیتروژن Nitrogen application	وزن میانگره پدانکل Peduncle weight (mg)	تعداد دانه در سنبله Number of grain/spike	عملکرد دانه Grain yield (g/plant)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g/plant)
عدم کاربرد Non-Nitrogen	55.9 b	8.75 b	0.291 b	0.621 b
کاربرد Nitrogen use	61.1 a	10.4 a	0.337 a	0.695 a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد آهن بر صفات زراعی دانه گندم

Table 4- Mean comparison of the effect of iron application on agronomy traits of grain wheat

کاربرد آهن Iron application	طول پنالتیمیت Penultimate length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grain/spike	شاخص برداشت Harvest index (%)
بدون کاربرد (کنترل) Non-Fe	17.8 ab	9.09 ab	46.1 abc
سولفات آهن Fe-SO_4	18.7 a	10.9 a	49.4 ab
کلات آهن Fe-EDTA	18.6 a	10.2 a	47.8 abc
سیترات آهن Fe-Citrate	18.1 ab	9.35 ab	45.4 c
Fe-EDDHMA	17.9 ab	8.03 b	45.7 bc
Fe-EDDHSA	18.6 a	9.63 ab	48.1 abc
سکوسترین آهن 138 Fe-EDDHA	16.1 b	10.1 a	49.7 a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

این امر نشانگر تأثیر متفاوت فرم‌های آهن مصرفی بر روی صفت یاد شده است. با توجه به اینکه عوامل کلات کننده‌ای مانند EDTA، DTPA و HEEDTA فاقد حلقه‌های فنولیک هستند؛ بنابراین، برای اصلاح کمبود آهن از طریق ریشه در خاک‌های آهکی مناسب نیستند؛ ولی کلات EDTA بیشتر در محلوپاشی قابل توصیه است. از طرفی بیان شده که کودهای جامد آهن که معمولاً با عامل EDDHA به‌صورت کلات در آمده باشند باید به‌صورت خاکی یا آب-کود مصرف شوند و مناسب برای محلول‌پاشی نیستند (Zarin kafsh, 1998; Rout and Sahoo, 2015). مطابق با این اصل، در این آزمایش از خاک آهکی استفاده شده بود که کاربرد سولفات آهن ($Fe-SO_4$) و کلات‌های آهن (به فرم Fe-EDTA و Fe-EDDHSA) به‌صورت محلول‌پاشی کارایی و تأثیر بهتری بر صفات مورفولوژیکی نسبت به سایر کلات‌ها داشته است.

صفات زراعی: نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی نشان داد که کاربرد نیتروژن بر روی تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد؛ و هم‌چنین کاربرد فرم‌های مختلف آهن فقط بر تعداد دانه در سنبله در سطح پنج درصد تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد نیتروژن سبب افزایش تعداد دانه در سنبله شد؛ به‌طوری که میزان این صفت را ۱۸/۹ درصد افزایش داد (جدول ۳). در مورد عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز روند مشابهی مشاهده شد؛ به‌طوری که کاربرد نیتروژن به‌ترتیب سبب افزایش ۱۵/۸ و ۱۱/۹ درصدی صفات فوق گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مؤید این مطلب بود که فرم‌های سولفات آهن ($Fe-SO_4$) و کلات آهن به فرم Fe-EDTA و Fe-EDDHA بیشترین تعداد دانه در سنبله را بدست آوردند و فرم Fe-EDDHMA کمترین میزان صفت فوق را داشت (جدول ۴).

در این ارتباط شهسواری و صفاری (Shahsavar and Safari, 2005) بیان کردند که کاربرد نیتروژن سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گندم شد. این امر نشانگر تأثیر بسزای نیتروژن به‌عنوان یکی از عناصر ضروری مورد نیاز در فرآیندهای گیاهی است. سایر محققین نیز به افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر افزایش مصرف کود نیتروژن اشاره کرده‌اند (Camberato and Bock, 2001; McDonald, 2002). بیست و همکاران (Bist *et al*., 2000) گزارش کردند که مصرف نیتروژن با افزایش اجزای عملکرد (از جمله تعداد چتر در بوته، تعداد بذر در چتر و وزن هزار دانه) باعث افزایش عملکرد بذر در گیاه شوید می‌شود. مشخص شده است که کمبود نیتروژن در زمان تلقیح گیاه موجب عدم دانه‌بندی مناسب می‌شود (McDonald, 2002; Giovanni *et al*., 2004; Hosseini *et al*., 2011)، پس در حد مناسب بودن نیتروژن از این امر جلوگیری می‌کند و افزایش تعداد دانه را در پی خواهد داشت.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد آهن و نیتروژن بر صفات زراعی دانه گندم

Table 5- Analysis of variance (MS) of the effect of iron and nitrogen application on agronomy traits of grain wheat

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	تعداد سنبلچه بارور Number of fertile spikelet	تعداد دانه در سنبله Number of grain/spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication (R)	3	0.084 ns	1.21 ns	1.91 ns	0.0007 ns	0.003 ns
آهن Iron (Fe)	6	0.626 ns	6.56 *	6.47 ns	0.006 ns	0.014 ns
نیتروژن Nitrogen (N)	1	0.713 ns	39.5 **	12.8 ns	0.028 **	0.076 **
آهن × نیتروژن Fe × N	6	0.139 ns	2.46 ns	1.26 ns	0.002 ns	0.007 ns
خطا Error	38	0.308	2.91	5.99	0.004	0.009
ضریب تغییرات CV (%)		10.4	17.8	7.46	19.2	14.8

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

افزایش عملکرد دانه به‌طور غیرمستقیم به عملکرد بیولوژیک و به‌طور مستقیم به تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه ارتباط دارد که در این تحقیق یکی از عوامل کلیدی افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد کود نیتروژن به‌خاطر افزایش تعداد دانه در سنبله است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر کاربرد فرم‌های مختلف آهن بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶). در مورد شاخص برداشت، بین فرم‌های مختلف آهن مصرفی اختلاف مشهودی وجود داشت؛ به طوری که کلات آهن به فرم Fe-EDDHA و سیترات آهن (Fe-Citrate) به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت را داشتند (جدول ۴). کلات EDDHA دارای سه ایزومر شامل: ۱) اورتو-اورتو، ۲) اورتو-پارا و ۳) پارا-پارا می‌باشد که نوع این ایزومرها بستگی به موقعیت گروه هیدروکسیل (OH) روی چرخه فنلی EDDHA دارد. نکته قابل توجه اینکه در ایزومر اورتو-پارا، آهن با ۴ پیوند به عامل کلات کننده متصل می‌گردد؛ ولی در ایزومر اورتو-اورتو برای افزایش حفاظت آهن، ۶ پیوند با عامل کلات‌کننده برقرار می‌شود. بنابراین بالا بودن درصد ایزومر اورتو-اورتو در کود سبب پایداری بیشتر آهن و جذب بیشتر آن توسط گیاه در مدت زمان طولانی تحت خاک‌های آهکی و شرایط قلیایی می‌شود (Zarin kafsh, 1998).

مطابق با نتایج این تحقیق بیان شده است که مصرف کافی کلات آهن به فرم Fe-EDDHA به‌طور مؤثری کلروز را کاهش و عملکرد را در سویا افزایش داد (Wiersma, 2005). تحقیقات آمالیوتیس و همکاران (Amaliotis *et al*., 2002) نشان داد که رابطه معنی‌داری بین میزان آهن و ماده خشک تولیدی گیاه وجود دارد؛ به‌طوری که در اثر مصرف آهن، مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل)، سرعت فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش یافته و این امر سبب افزایش سطح کربن‌گیری و در نتیجه میزان ماده خشک تولیدی در گیاه می‌گردد. با توجه به اینکه شاخص برداشت از نسبت بین عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک حاصل می‌گردد پس احتمالاً کاربرد آهن از طریق افزایش عملکرد دانه سبب افزایش شاخص برداشت شده است. از طرفی آهن در ساختمان رنگدانه‌های فتوسنتزی و زنجیره انتقال الکترون طی فرآیند فتوسنتز نقش حیاتی دارد (Ahmadi *et al*., 2005; Frey and Reed, 2012)، پس کاربرد آهن سبب افزایش کلروفیل (Kumawat *et al*., 2006) و فعالیت فتوسنتز شده و در نهایت افزایش عملکرد دانه را در پی داشته که متعاقباً سبب افزایش شاخص برداشت شده است.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد آهن و نیتروژن بر صفات کیفی دانه گندم

Table 6- Analysis of variance (MS) of the effect of iron and nitrogen application on quality traits of grain wheat

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	شاخص برداشت Harvest index	غلظت روی در دانه Zn/grain	غلظت آهن در دانه Fe /grain	غلظت مس در دانه Cu/grain	غلظت منگنز در دانه Mn/grain
تکرار Replication (R)	3	0.878 ns	133.9 ns	661.1 ns	13.8 ns	26.9 ns
آهن Iron (Fe)	6	24.4 *	264.5 ns	1744.6 **	15.8 ns	66.9 **
نیتروژن Nitrogen (N)	1	27.3 ns	1504.2 *	11034.6 **	86.3 *	147.8 **
آهن × نیتروژن Fe × N	6	1.73 ns	122.1 ns	1222.8 **	12.1 ns	36.5 ns
خطا Error	38	10.8	211.5	280.0	13.2	18.7
ضریب تغییرات CV (%)		6.91	29.4	14.4	24.8	13.2

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

صفات کیفی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده آهن و نیتروژن بر غلظت آهن و منگنز دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند و هم‌چنین اثر ساده نیتروژن بر غلظت روی و مس در دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود ولی اثر ساده آهن بر روی دو صفت فوق معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشانگر این مطلب بود که کلات آهن به فرم Fe-EDDHMA بیشترین غلظت آهن در دانه را موجب شد و در بین بقیه فرم‌های آهن مصرفی (کلات و سولفات) با شاهد اختلاف آماری وجود نداشت (جدول ۷). در این بین کلات آهن به فرم Fe-EDDHA کمترین غلظت منگنز در دانه را در مقایسه با سایر فرم‌های مصرفی آهن داشت (جدول ۷).

غلظت کمتر آهن در بافت گیاهی تحت تیمار کاربرد کلات آهن به فرم Fe-EDDHA احتمالاً به خاطر فاکتور رقت و توزیع آهن جذب شده در مقدار بیشتری ماده خشک گیاهی است. در این ارتباط عادلی و رفیعی (Adeli and Rafiei, 2016) طی تحقیقات خود بر روی گیاه سویا اظهار داشتند که مصرف کلات آهن موجب بالا رفتن میزان این عنصر در دانه شد. تحقیقات مختلف نشان داده است که با مصرف کودهای محتوی آهن بر غلظت آهن در دانه و کلش گندم افزوده می‌شود (Ziaeyan and Malakouti, 2001; Balali and Malakouti, 2002; Kobraee *et al*., 2012).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد آهن بر صفات کیفی دانه گندم

Table 7- Mean comparison of the effect of iron application on quality traits of grain wheat

کاربرد آهن Iron application	غلظت آهن در دانه Fe of grain (mg/kg DW)	غلظت منگنز در دانه Mn of grain (mg/kg DW)
بدون کاربرد (کنترل) Non-Fe	101.7 b	32.3 a
سولفات آهن Fe-SO_4	116.2 b	36.0 a
کلات آهن Fe-EDTA	111.3 b	32.6 a
سیترات آهن Fe-Citrate	120.5 b	33.2 a
Fe-EDDHMA	147.1 a	35.0 a
Fe-EDDHSA	107.4 b	32.9 a
سکوسترین آهن ۱۳۸ Fe-EDDHA	109.4 b	26.9 b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد نیتروژن بر صفات کیفی دانه گندم

Table 8- Mean comparison of the effect of nitrogen application on agronomy and quality traits of grain wheat

کاربرد نیتروژن Nitrogen application	غلظت روی در دانه Zn of grain (mg/kg DW)	غلظت آهن در دانه Fe of grain (mg/kg DW)	غلظت مس در دانه Cu of grain (mg/kg DW)	غلظت منگنز در دانه Mn of grain (mg/kg DW)
عدم کاربرد Non-Nitrogen	44.0 b	102.1 b	5.34 b	31.0 b
کاربرد Nitrogen use	54.5 a	130.4 a	7.85 a	34.3 a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

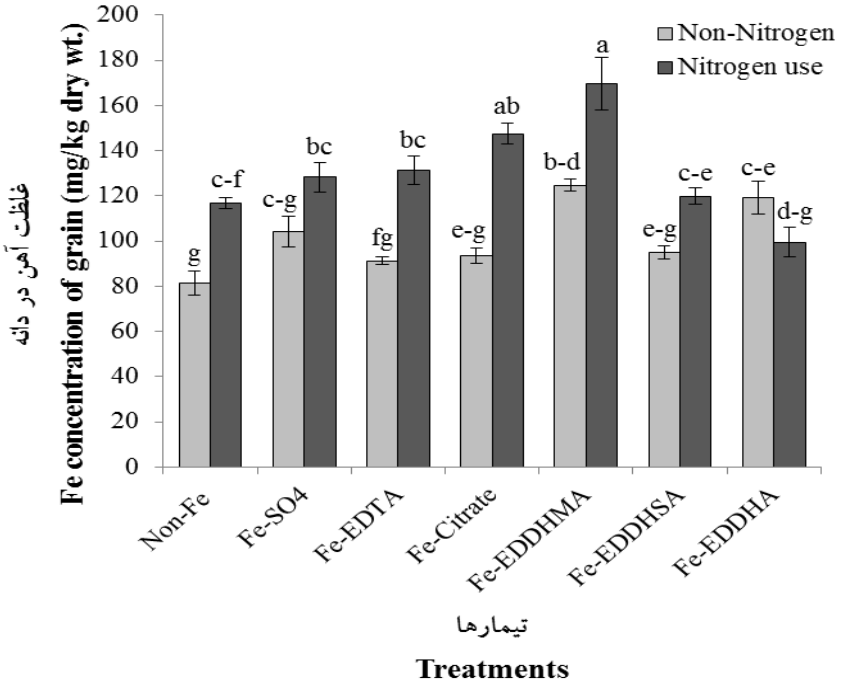
هم‌چنین دمیرکیران (Demirkiran, 2005) در بررسی روش‌ها مختلف مصرف آهن در گندم گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن موجب جذب بیشتر آهن در اندام‌های هوایی می‌شود که پیامد آن انباشت بیشتر عنصر فوق است. عیسوند و همکاران (Eisvand *et al*., 2014) در بررسی دزهای مختلف آهن مصرفی بر روی ارقام مختلف گندم بیان کردند که بیشترین مقدار آهن انباشته شده در دانه از دز ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام در رقم مردشت حاصل شد. کبرایی و همکاران (Kobraee *et al*., 2012) بیان کردند که کاربرد آهن تأثیری بر غلظت عنصر روی نداشت در حالی که به طور قابل توجهی سبب افزایش غلظت آهن در برگ و دانه شد ولی در مقابل سبب کاهش غلظت منگنز در برگ و دانه گردید.

نتایج مؤید این مطلب بود که کاربرد نیتروژن سبب افزایش غلظت عناصر انباشته شده در دانه داشته شد؛ به‌طوری که به ترتیب سبب افزایش ۲۳/۹، ۲۷/۷، ۴۷/۰ و ۱۱/۰ درصدی غلظت عناصر روی، آهن، مس و منگنز در دانه گردید (جدول ۸). این نتایج نشانگر این مطلب است که کاربرد نیتروژن به فرم اوره اثر سینرژیکی[3] بر جذب عناصر ریز مغذی گذاشته و سبب انباشت عناصر فوق شده است. به‌طور کلی کیفیت و میزان غنی‌سازی عناصر ریزمغذی در دانه می‌تواند تحت تأثیر اثر برهمکنش با سایر عناصر معدنی قرار گیرد. به‌طوری که شی و همکاران (Shi *et al*., 2010) اظهار کردند که کاربرد کود نیتروژن افزایش محتوای آهن، روی و مس دانه گندم را موجب شد در حالیکه بر غلظت منگنز در دانه بی تأثیر بود. براساس تحقیقات کریمیان (Karimian, 1995) مصرف نیتروژن موجب افزایش غلظت و جذب عناصر ریزمغذی‌ها مخصوصاً عنصر روی در گیاه ذرت می‌شود. در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است که نیتروژن با حرکت و میزان جذب عناصر ریزمغذی درون گیاه مرتبط است (Feiziasl and Valizadeh, 2004; Manasek *et al*., 2013). میزان انباشت ریزمغذی‌ها در دانه گندم تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند: ۱) جذب عناصر از خاک به ریشه، ۲) انتقال از ریشه به ساقه و ۳) انتقال مجدد از ساقه (بخش‌های رویشی) به دانه گندم قرار می‌گیرد.

نتایج اثر متقابل کاربرد آهن و نیتروژن بر غلظت آهن دانه نشان داد که در تمامی فرم‌های آهن مصرفی کاربرد نیتروژن سبب افزایش میزان آهن انباشته شده در دانه شد ولی در فرم Fe-EDDHA کاربرد نیتروژن تأثیری بر غلظت آهن دانه نداشت بلکه تا حدودی میزان آن را کاهش داد (شکل ۱). این امر احتمالاً بخاطر واکنش بین ترکیبات موجود در این فرم آهن با نیتروژن می‌باشد که اثر بازخوری در پی داشته است.

[3] Synergistic

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد آهن و نیتروژن بر غلظت آهن در دانه گندم

Figure 1- Mean comparison of interactions between iron and nitrogen application on Fe concentration of grain wheat

(Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test)

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، کاربرد آهن و نیتروژن سبب افزایش عملکرد و صفات زراعی و بهبود غنی‌سازی عناصر ریزمغذی در دانه شد. در این بین کاربرد فرم‌های سولفات آهن (Fe-SO_4) و کلات آهن (Fe-EDTA) بیشترین تأثیر را بر طول پدانکل و تعداد دانه در سنبله داشتند. به‌طور کلی کاربرد آهن به‌همراه با نیتروژن سبب انباشت بیشتر آهن در دانه شد که فرم Fe-EDDHMA بیشترین غلظت آهن را در دانه به‌همراه کاربرد نیتروژن بدست آورد. باتوجه به اینکه باید از بین منابع مختلف کود آهن، از کودی استفاده کرد که جذب بیشتری داشته باشد تا هم در کاهش مصرف کود و هم در کاهش هزینه‌های تولید در سیستم‌های کشاورزی مؤثر باشد. بر همین اساس به‌خاطر سهولت استفاده، ارزان و در دسترس بودن سولفات آهن برای کشاورزان، توصیه می‌گردد این

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

فرم آهن به‌همراه نیتروژن جهت حصول عملکرد مناسب و بهبود خصوصیات کیفی دانه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

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.

Adeli S., Rafiei M. 2016. Study of qualitative and quantitative characteristics of soybean in response to soil and foliar application of iron under drought stress conditions. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3 (1): 75-88. (In Persian).

Ahmadi A., Ehsanzadeh P., Jabbari F. 2005. Introduction to plant physiology. Tehran University Press, 653 p. (In Persian).

Amaliotis D., Velemis D., Bladenopoulou S., Karapetsas N. 2002. Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. Acta Horticulturae, 567: 447-450.

Balali M.R., Malakouti M.J. 2002. Effects of different methods of micronutrient application on the uptake of nutrients in wheat grains in 10 provinces. Iranian Journal of Soil and Water Sciences, 15 (2): 1-11. (In Persian).

Barge G.L. 2002. Comparing source, rate and crop rotation effects on corn yield response to nitrogen on lakebed soils. Available from: http://www.Ohioline.Osu.Edu/Sc190/pdf/Sc 190, pdf, 22 June 2008, 12.26 PM. Extension Research Bulletin, 187.

Bennett W.F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. In: Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Bennett W.F. (Ed.) St. Paul, MN: The APS Press, The American Phytopathological Society, Pp: 1-7.

Bist L.D., Kewland C.S., Sobaran S. 2000. Effect of planting geometry and level of nitrogen on growth and yield quality of European Dill (*Anethum graveolans*). Indian Journal of Horticulture, 57: 351-355.

Borowski E., Michałek S. 2011. The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica, 10 (2): 183-193.

Broadley M., Brown P.I.C., Rengel Z., Zhao F. 2012. Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Elsevier, Amsterdam.

Camberato J.J., Bock B.R. 2001. Spring wheat response to enhanced a monium supply. Agronomy Journal, 82: 467-473.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

Cesco S., Nikolic M., Römheld V., Varanini Z., Pinton R. 2002. Uptake of ^{59}Fe from soluble ^{59}Fe-humate complexes by cucumber and barley plants. Plant and Soil, 241 (1): 121-128.

Chapman H.D., Pratt P.F. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. Riverside, CA: Division of Agricultural Sciences, University of California.

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.

Davarpanah S., Akbari M., Askari M.A., Babalar M., Naddaf M.E. 2013. Effect of iron foliar application (Fe-EDDHA) on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate cv."Malas-e-Saveh". World of Sciences Journal, 4: 179-187.

Davis J.G., Westfall D.G., Mortvedt J.J., Shanahan J.F. 2002. Feertilizing winter wheat. Agronomy Journal, 84: 1198-1203.

Demirkiran A.R. 2005. Determination of Fe, Cu and Zn contents of wheat and corn grains from different growing site. Journal of Animal and Veterinary Advances, 8 (8): 1563-1567.

Duncan D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics, 11 (1): 1-42.

Eisvand H.R., Ashouri P. 2010. Stress Physiology. Lorestan University publications, 288 p. (In Persian).

Eisvand H.R., Esmaeili A., Mohammadi M. 2014. Effects of iron oxide nanoparticles on some quantity, quality and physiological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) at Khoramabad climate. Iranian Journal of Field Crop Science, 45 (2): 287-298. (In Persian).

Emami A. 1996. Methods of plant analysis. Technical Bulletin No. 982, Soil and Water Research Institute, Tehran, 130 p. (In Persian).

Esfandiari E., Abdoli M., Mousavi S.B., Sadeghzadeh B. 2016. Impact of foliar zinc application on agronomic traits and grain quality parameters of wheat grown in zinc deficient soil. Indian Journal of Plant Physiology, 21(3): 263-270.

Expert D. 2007. Iron and plant disease. In: Mineral nutrition and plant disease. Datnoff L.E., Elmer W.H., Huber D.M. (eds.), St. Paul, MN: The American Phytopathological Society, Pp: 119-137.

Fan X., Li F., Liu F., Kumar D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. Journal of Plant Nutrition, 27 (5): 853-862.

Feiziasl V., Valizadeh R. 2004. Effect of urea liquid fertilizer spraying at different plant growth stages on grain quality and quantity in Sardari dryland wheat (*T. aestivum* L.). Iranian Journal of Agriculture Science, 35 (2): 301-311. (In Persian).

Foth D.H., Eliss B.G. 1997. Soil fertility. CRC Press, Boca Raton, Florida.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

Frey P.A., Reed G.H. 2012. The ubiquity of iron. ACS Chemical Biology, 7: 1477-1481.

Giovanni G., Silvano P., Giovanni D. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bredd-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy, 34: 321-332.

Hatfield J.L., Prueger J.H. 2004. Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. Crop Science, 26: 156-168.

Hosseini R., Galeshi S., Soltani A., Kalateh M. 2011. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. Electronic Journal of Crop Production, 4 (1): 187-199. (In Persian).

Imsande J. 1998. Iron, sulfate, and chlorophyll deficiencies: A need for an integrative approach in plant physiology. Physiologia Plantarum, 103: 139-144.

Jafari F., Golehin A., Shafiei S. 2014. The effects of nitrogen and foliar application of iron amino chelate on yield and growth indices of dill (*Anethum graveolans* L.) medical plant. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 17: 1-12. (In Persian).

Karimian N. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 18 (10): 221-226.

Kobraee S., NoorMohamadi G., Heidari Sharif Abad H., DarvishKajori F., Delkhosh B. 2012. Apply of zinc, iron and manganese fertilizer on leaf and grain elements concentration and relationship it's with economic and biological yield of soybean. Journal of Plant and Ecosystem, 8 (2): 39-51. (In Persian).

Kumar K.V., Sudarshan M.R., Dangi K.S., Reddy S.M. 2013. Character association and path coefficient analysis for seed yield in quality protein maize *Zea mays* L. Journal of Research ANGRAU, 41 (2): 153-157.

Kumawat R.N., Rathore P.S., Nathawat N.S., Mahatma M. 2006. Effect of sulphur and iron on enzymati activity and chlorophyll content of mungbean. Journal of Plant Nutrition, 29: 1451-1467.

Larbi A., Abadia A., Abadia J., Morales F. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. Photosynthesis Research, 89: 113-126.

Lucena J.J., Chaney R.L. 2007. Response of cucumber plants to low doses of different synthetic iron chelates in hydroponics. Journal of Plant Nutrition, 30: 795-809.

Malakoti M.J., Tehrani M.M. 1999. Effects of micro-nutrients on the yield and quality of agricultural products (micro nutrients with macro effects). Tarbiat Modarres University Publication, 229 p. (In Persian).

Maleki S., Pirdashti H., Safarzadeh Vishkiaie M.T. 2016. Response of yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) to iron and sulphur

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]

application. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3 (1): 59-74. (In Persian).

Manasek J., Losak T., Prokes K., Hlusek J., Vitezova M., Skarpa P., Filipcik, R. 2013.Effect of nitrogen and potassium fertilization on micronutrient content in grain maize (*Zea mays* L.). Acta Universitatis Agriculturae at Silviculturae Mendelianae Brunensis, 1: 123-128.

McDonald G.K. 2002. Effects of nitrogen fertilizer on the growth grain yield and grain protein concentration of wheat. Australian Journal of Agricultural Research, 43: 949-967.

Nikolic M., Romheld V. 1999. Mechanism of Fe uptake by the leaf symplast: Is Fe inactivation in leaf a cause of Fe deficiency chlorosis? Plant and Soil, 215: 229-237.

Regina H. 2008. Influence of Macro-and Micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. Food Control, 19: 36-43.

Rout G.R., Sahoo S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. Reviews in Agricultural Science, 3: 1-24.

Shahsavar N., Safari M. 2005. The effects of N on yield components on three wheat cultivars yield. Pagohesh and Sazandegi Journal, 66: 124-140. (In Persian).

Shi R., Zhang Y., Chen X., Sun Q., Zhang F., Rcemheld V., Zou C., 2010. Influence oflong-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Cereal Science, 51: 165-170.

Wiersma J.V. 2005. High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. Agronomy Journal, 97: 924-934.

Zarin kafsh M. 1998. Fundamentals of soil science and the environment associated with the plant. Islamic Azad University Press, 809 p. (In Persian).

Ziaeian 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.

Ziaeyan A.H., Malakouti M.J. 2001. Determination of critical level of iron (Fe) in wheat farms and its effects on the yield and grain fortification in highly calcareous soils of Iran. Iranian Journal of Soil and Water Sciences (Special issue: Agronomy). 12 (13): 45-56. (In Persian).

Zuo Y., Zhang F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. Plant and Soil, 339: 83-93.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-02-10]