

## بررسی تأثیر مقادیر و زمان‌های کاربرد کود آهن نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

فاطمه بیاتی<sup>۱\*</sup> - امیر آینه بند<sup>۲</sup> - اسفندیار فاتح<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۱

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کود آهن نانو آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار بود. فاکتور اول شامل پنج غلظت مختلف کود آهن (شاهد، کود آهن غیر نانو ۴ گرم در لیتر و سه غلظت نانو کود کلات آهن شامل ۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر) و فاکتور دوم شامل سه مرحله زمانی محلول پاشی کود آهن (مرحله رویشی در محدوده ظهور برگ بیستم، مرحله اوایل غنچه‌دهی و مرحله اوایل گلدهی) بود. عملکرد و اجزای عملکرد کمی و کیفی کلزا اندازه‌گیری شدند. نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد، استفاده از کود آهن نانو در مقایسه با کود آهن معمولی و همچنین زمان کاربرد کود آهن اثرات معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا داشت. در بین تیمارهای کود آهن، بیشترین عملکرد دانه (۴/۱۳ تن در هکتار) با کاربرد آهن نانو با غلظت ۶ گرم در لیتر به دست آمد که بهبود عملکرد دانه، نتیجه‌ی بهبود تعداد خورجین و وزن هزار دانه بود. همچنین محلول پاشی زود هنگام آهن نسبت به محلول پاشی دیر هنگام اثر بهتری بر عملکرد دانه داشت. با افزایش غلظت کود آهن، غلظت آهن دانه نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کلزا گیاهی است که به کمبود آهن حساس بوده و کاربرد آهن به فرم نانو حتی در غلظت‌های بالا اثر مثبتی بر عملکرد دانه و درصد روغن خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** عناصر ریزمغذی، غلظت آهن، درصد روغن، عملکرد دانه، کود نانو

### مقدمه

جذب نانو کودها و حتی نانو سموم آفت‌کش می‌باشد (۹). عناصر ریزمغذی اگرچه به مقدار کم مورد نیاز رشد و تولید گیاهان می‌باشند اما کمبود آن‌ها اثرات نامطلوبی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهان خواهد داشت (۱۳). از سوی دیگر کاربرد این عناصر به صورت محلول پاشی برگی به دلیل جذب سریع‌تر عناصر در اثر تماس مستقیم با سطح برگ و عدم واکنش و تثبیت عناصر در خاک نسبت به روش خاک کاربرد از تأثیرگذاری بیشتری بر عملکرد گیاهان زراعی برخوردار است. بنابراین محلول پاشی عناصر ریزمغذی در شرایط خاک‌های ایران در مقایسه با کاربرد آن‌ها در خاک به دلیل تأمین سریع نیاز گیاه، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب‌تر خواهد بود (۵).

در بین عناصر ریزمغذی، آهن نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی و تنفس گیاهان برخوردار می‌باشد. بنابراین کاربرد آن اثر مثبت بر تولید ماده خشک

با گذشت سال‌ها از وقوع انقلاب سبز و کاهش مجدد نسبت رشد تولیدات کشاورزی نسبت به رشد جمعیت جهان لزوم به کارگیری فناوری‌های نوین در کشاورزی بیش از هر زمان دیگر آشکار است. در حال حاضر فناوری نانو به عنوان یک فناوری پیش‌تاز در رفع مشکلات و کمبودها، در بسیاری از عرصه‌های علمی و صنعتی به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته به آن به اثبات رسانیده است. زیرا با استفاده از نانو ذرات و نانو پودرها می‌توان کاربرد کودها را کنترل شده‌تر و آزادسازی عناصر را با تأخیر زمانی مطلوبی فراهم نمود (۹). به علاوه دو ویژگی سطح ویژه و سطح واکنش‌کنندگی بالا، واکنش‌پذیری نانو ذرات را افزایش داده که نتیجه‌ی آن بهبود توان

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(Email: bayatizn65@gmail.com)

\*- نویسنده مسئول:

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز با مشخصات طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی اجرا شد. میانگین حداکثر و حداقل دما در منطقه به ترتیب ۳۴/۴ و ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد بود. مهم‌ترین خصوصیات خاک طبق جدول یک عبارتند از:

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف کود آهن بود که عبارتند از: شاهد (عدم کاربرد کود آهن)، کود آهن غیر نانو ۴ گرم در لیتر و سه غلظت نانو کود کلات آهن شامل ۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر بود. فاکتور دوم شامل سه مرحله زمانی محلول پاشی کود آهن بود که عبارتند از: مرحله رویشی در محدوده ظهور برگ بیستم، اوایل غنچه‌دهی و مرحله اوایل گلدهی (بر اساس تقسیم بندی سیلستر- برادلی) بود. از آن جا که ماهیت کلزا به گونه‌ای است که در اواخر گلدهی برگ‌های آن ریزش می‌کنند لذا محلول پاشی برگی برای کلزا باید تا قبل از ریزش برگ‌های آن صورت گیرد. بنابراین مبنای انتخاب این مراحل محلول پاشی، الگوی رشدی کلزا بود. کاربرد هر دو فرم آهن معمولی و نانو به صورت محلول پاشی صورت گرفت. کود آهن معمولی شامل کود سیکوسترین و منبع کود نانو مورد استفاده در این آزمایش نانو کود کلات آهن خضراء با متوسط اندازه ذرات ۳۰ نانومتری، تولیدی کشور ایران بود که دارای ۹٪ آهن، ۱٪ روی و ۱٪ منگنز بود. ویژگی‌های زراعی کلزا در این آزمایش عبارت بودند از: زمان کاشت ۲۲ آبان ماه، زمان برداشت سوم اردیبهشت ماه (با حداقل ریزش دانه به دلیل برداشت دستی و به موقع گیاه)، رقم کلزا هایولا ۴۰۱، تراکم کاشت ۶۰ بوته در متر مربع و مقدار N-P-K مصرفی به ترتیب برابر ۶۰-۷۵-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که به صورت کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. بذرها به صورت ردیفی کاشته شدند و آبیاری مزرعه به صورت سیفونی و به فاصله زمانی ۵ تا ۷ روز بسته به شرایط اقلیمی منطقه انجام گرفت.

گیاه خواهد داشت. در مقابل از مهم‌ترین اثرات کمبود آهن، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی است که نتیجه‌ی آن افزایش نسبی کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل بوده که در نهایت سبزیگی برگ‌ها و توان فتوسنتزی آن‌ها را کاهش می‌دهد (۷). بر این اساس استفاده از نانو کود کلات آهن می‌تواند به عنوان منبعی غنی و قابل اعتماد از آهن دو ظرفیتی برای گیاهان محسوب شود (۲۱). زیرا بسیار با دوام بوده و آهن خود را به تدریج در دامنه وسیعی از pH (از ۳ تا ۱۲) آزاد می‌سازد. ویژگی استفاده از این فرم از کود آهن (کلات نانو) این است که در ساخت آن از اتیلن استفاده نشده است. زیرا اتیلن ترکیبی است که باعث زودرسی گیاه و ریزش برگ‌ها می‌شود (۱۵). در رابطه با تأثیرگذاری کود آهن نانو بر گیاهان روغنی اظهار شده که افزایش غلظت کود نانو آهن با بهبود وزن برگ، وزن اندام‌های هوایی، همچنین وزن خشک غلاف‌ها و عملکرد دانه سویا (*Glycine max* L.) را به طور معنی‌داری افزایش داد (۱۷). همچنین اظهار شده که محلول پاشی برگی آهن باعث افزایش ۳۸ تا ۴۲ درصدی عملکرد بادام زمینی (*Arachis hypogaeae* L.) در خاک‌های آهکی شد (۱۸). به طور مشابه گزارش شده که محلول پاشی آهن اثر معنی‌داری بر تعداد بذر در کاسپیتول و عملکرد دانه زنونتیب‌های مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) داشت (۲۲). همچنین بیشترین عملکرد غلاف و عملکرد دانه در بادام زمینی در بالاترین غلظت محلول پاشی کود آهن گزارش شده است (۶). اظهار شده که با مصرف نانو کلات آهن، عملکرد روغن، درصد روغن و درصد پروتئین دانه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) به طور معنی‌داری افزایش یافت. به علاوه، بیشترین عملکرد و درصد روغن دانه آفتابگردان تحت تأثیر تیمار محلول پاشی نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی ایجاد گردید (۴).

با توجه به کمبود فراهمی آهن در خاک‌های قلیایی (مانند خوزستان) و از آن جا که دامنه محدودی بین اثرات سمیت و کمبود آهن در گیاهان وجود دارد، بنابراین توجه به نوع کود آهن و میزان مصرف آن ضروری می‌باشد. با این حال در رابطه با تأثیر کود آهن نانو و مقایسه‌ی غلظت‌های مناسب کود آهن نانو با فرم معمولی کود آهن، در کلزا (*Brassica napus* L.) پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر محلول پاشی کود آهن به دو شکل معمولی و نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا بود.

جدول ۱- مهم‌ترین خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش

عمق نمونه برداری (cm)	هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	اسیدیته pH	نیتروزن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	آهن قابل جذب (ppm)	بافت خاک
۰-۳۰	۲/۳-۲/۷	۷/۴	۰/۰۴۱	۹/۳	۲۰۴	۳/۱	لومی رسی

کلزا به کمبود آهن حساس بوده و کاربرد آن در مراحل اولیه دوره رشد که توان جذب برگ‌ها به واسطه‌ی سبزیگی مطلوب، بیشتر می‌باشد، از تأثیرگذاری بیشتری نیز بر صفت ارتفاع بوته برخوردار بوده است. به‌علاوه از آن‌جایی که سرعت افزایش ارتفاع در کلزا در مراحل رویشی بیشتر از مرحله غنچه‌دهی است، بنابراین تأثیر فراهمی مطلوب عناصر غذایی بر بهبود ارتفاع گیاه نیز بیشتر خواهد بود. گزارش کرده‌اند که کاربرد آهن بر ارتفاع بوته‌های کلزا اثر مثبت داشت. از جمله دلایل بهبود ارتفاع بوته‌های کلزا فراهمی مطلوب آهن در مراحل رویشی بوده که نتیجه‌ی آن توسعه‌ی بهتر سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری گزارش شده است (۸). پژوهش‌گران مختلفی به تأثیر مثبت کاربرد آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) بر ارتفاع بوته گیاهان و به دنبال آن بهبود عملکرد کل اشاره داشتند. برای مثال در کلزا بهبود ارتفاع گیاه و عملکرد کل با کاربرد آهن توسط پورغلام و همکاران (۱۶)، در بادام زمینی توسط گوهری و نیاسکی (۶) و همچنین در سویا توسط قاسمیان و همکاران (۱۲) گزارش شده است.

**تعداد خورجین در بوته:** بیشترین تعداد خورجین در بوته (۳۷۵) در بالاترین میزان کاربرد کود آهن نانو به دست آمده، در صورتی که عدم کاربرد کود آهن (شاهد) کمترین تعداد خورجین در بوته (۱۴۳) را تولید کرد (جدول ۳). از آن‌جایی که تعداد خورجین در بوته تابع مکان‌های مناسب استقرار بوده و آن هم تابعی از ارتفاع بوته و فراهمی آسیمیلات لازم برای تولید خورجین می‌باشد، بنابراین فراهمی بیشتر عناصر ریزمغذی همچون آهن به نظر می‌رسد با بهبود رشد و نمو گیاه نقش مؤثری در بهبود این صفت خواهند داشت. با توجه به نتایج این آزمایش کاربرد کود آهن قبل از گلدهی اثر مثبت بیشتری بر تشکیل گل و همچنین تبدیل آن به خورجین داشت، زیرا هر چه کاربرد کود آهن به لحاظ زمانی دیرتر انجام گیرد تعداد گل‌های باقی مانده بر روی گیاه کلزا و همچنین میزان احتمال تبدیل گل به خورجین کاهش می‌یابد.

مبارزه با آفات و علف‌های هرز مطابق عرف منطقه انجام گرفت. در نهایت عملکرد و اجزای عملکرد دانه و همچنین درصد روغن و غلظت آهن دانه اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری روغن دانه به روش کجدال صورت گرفت (۳). همچنین مقدار آهن دانه به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۱). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه‌ی میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### اجزای عملکرد کمتی

نتایج جدول تجزیه واریانس برای اجزای عملکرد کمتی نشان می‌دهد که اثر تیمار کود آهن بر کلیه‌ی صفات عملکرد کمتی در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بوده است (جدول ۲). بررسی اثر تیمار زمان محلول پاشی کود آهن نیز نشان می‌دهد که این تیمار بر صفات تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه و عملکرد کل در سطح احتمال ۱ درصد و بر صفت ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده ولی تیمار زمان محلول پاشی کود آهن اثر معنی‌داری بر صفت شاخص برداشت نداشت.

**ارتفاع بوته:** نتایج حاصل از مقایسات میانگین اجزای عملکرد کلزا حاکی از وجود تفاوت‌های معنی‌دار تحت تأثیر تیمارهای آزمایش می‌باشد. برای ارتفاع بوته مشخص شد که اگرچه کاربرد کود آهن باعث افزایش ارتفاع بوته‌های کلزا در مقایسه با عدم کاربرد شده، اما بین نوع کود آهن (آهن معمولی و نانو) و همچنین غلظت‌های مختلف کود آهن نانو تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود، هر چند که بیشترین غلظت کود آهن نانو بیشترین ارتفاع بوته (۱۶۲ سانتی‌متر) را تولید کرده است (جدول ۳). به علاوه محلول پاشی آهن در مراحل رویشی تأثیر بیشتری بر این صفت داشته است. به نظر می‌رسد گیاه

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عملکرد کلزا

میانگین مربعات		تعداد خورجین در بوته	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد دانه	وزن هزاردانه				
۴۸۵/۶۱ <sup>NS</sup>	۰/۱۶ <sup>NS</sup>	۵۱۲/۶۲ <sup>NS</sup>	۱۸۰/۲۶ <sup>NS</sup>	۲	تکرار
۱۲۰۲۳۲/۳۳**	۱/۴۱**	۶۶۴۱۸/۸۰**	۶۲۶/۶۶*	۴	مقدار کود آهن
۳۶۶۰/۹۱**	۰/۴۶*	۱۰۹۴۱/۱۵**	۶۱۹/۲۶*	۲	زمان محلول پاشی
۱۲۶/۹۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۶۱۸/۶۸ <sup>NS</sup>	۳۲/۱۸ <sup>NS</sup>	۸	برهمکنش تیمارها
۳۴۶/۹۴	۰/۱۲	۷۳۲/۵۲	۱۸۳/۱۷	۲۸	خطا
۷/۴۷	۷/۷۹	۷/۴۱	۸/۷۸		ضریب تغییرات (%)

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عملکرد کلزا

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
غلظت آهن	میزان روغن	شاخص برداشت	عملکرد کل		
۱۶۰۶/۸۳ <sup>NS</sup>	۰/۶۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۰۰۲ <sup>NS</sup>	۷۹۵/۶۰ <sup>NS</sup>	۲	تکرار
۷۹۰۴۸۹/۵۵**	۱۶۴/۵۸**	۰/۰۳۹**	۳۳۲۵۷۳/۵۲**	۴	مقدار کود آهن
۱۰۵۳۵۲/۲۰**	۶۵/۶۴**	۰/۰۰۰۰۰۳ <sup>NS</sup>	۱۹۴۳۵/۲۶**	۲	زمان محلول پاشی
۷۶۵۱۸/۵۴*	۰/۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۰۰۵ <sup>NS</sup>	۴۲۴/۸۳ <sup>NS</sup>	۸	برهمکنش تیمارها
۱۲۸۴/۶۸	۰/۹۲	۰/۰۰۰۰۰۶	۸۴۷/۴۶	۲۸	خطا
۵/۰۷	۶/۳۹	۵/۵۶	۷/۱۳		ضریب تغییرات (درصد)

NS، \*\* و \* - به ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

برگ‌های کلزا از تأثیرگذاری کمتری بر توان فتوسنتزی و تولید آسیمیلات در مقایسه با کاربرد زود هنگام آن برخوردار می‌باشد که احتمالاً این وضعیت در پر شدن مطلوب دانه‌ها کلزا تأثیر منفی گذاشته است، زیرا بخشی از پر شدن دانه مربوط به فتوسنتز جاری (به علت این که در گیاه کلزا گلدهی و غلاف‌دهی به طور هم‌زمان روی می‌دهد) و بخشی دیگر مربوط به انتقال مجدد مواد است. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد کود آهن در زمان نامناسب علاوه بر این که بر میزان فتوسنتز جاری اثر نامطلوب دارد، با کاهش کمیت آسیمیلات ذخیره شده احتمالاً اثر منفی بر انتقال مجدد نیز خواهد داشت. گزارش کرده‌اند که بهبود وزن هزار دانه کلزا در نتیجه‌ی کاربرد آهن در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد)، به علت فراهمی مطلوب ترکیبی از عناصر غذایی ریزمغذی و اصلی در مراحل زایشی کلزا بود. این فراهمی مطلوب در نهایت باعث بهبود تجمع آسیمیلات در بذرها شد که نتیجه‌ی آن تولید دانه‌های سنگین‌تر کلزا بود (۸).

گزارش شده است که افزایش غلظت کود آهن به صورت محلول پاشی از ۱/۵ تا ۴/۵ گرم در لیتر، تعداد غلاف در بوته و همچنین وزن غلاف‌ها را در بادام زمینی به طور معنی‌داری افزایش داد (۶). این پژوهش‌گران اظهار داشتند که افزایش فراهمی کود آهن اثر مثبت بر تعداد گل‌های بارور و همچنین درصد تبدیل گل به غلاف در بادام زمینی داشت که نتیجه‌ی آن افزایش تعداد غلاف‌های بارور در هر بوته بود.

**وزن هزار دانه:** این صفت از جمله صفات عملکردی است که دامنه تغییرات آن در مقایسه با سایر اجزای عملکرد کمتر می‌باشد. در این آزمایش نیز این وضعیت وجود داشت، اگرچه مشابه با سایر اجزای عملکرد، بیشترین (۴/۹۷ گرم) و کمترین (۳/۹۳ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب در کاربرد آهن نانو ۶ گرم در لیتر و شاهد می‌باشد، اما میزان اختلاف آن‌ها زیاد نیست (جدول ۳). دلیل دیگری برای شرایط فوق تفاوت اندک بین زمان‌های محلول پاشی است. به نظر می‌رسد کاربرد دیر هنگام کود آهن به واسطه‌ی جذب نامطلوب‌تر آن توسط

جدول ۳- اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

تیمارها	ارتفاع بوته (cm)	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (ton ha <sup>-1</sup> )	عملکرد کل (ton ha <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت (%)	میزان روغن (%)	غلظت آهن (mg kg <sup>-1</sup> )
مقدار کود آهن								
شاهد (عدم کاربرد کود آهن)	۱۴۰/۲۲ b	۱۴۳/۷۸d	۳/۹۳c	۱/۲۳e	۴/۰۴d	۳۰/۶۲d	۳۴/۵۱e	۴۰/۲۸e
آهن معمولی ۴ گرم در لیتر	۱۵۴/۸۸ a	۲۴۷/۴۴c	۴/۶۴ab	۱/۸۴d	۵/۰۹c	۳۶/۰۷c	۴۰/۱۸c	۸۸/۱۴c
آهن نانو ۲ گرم در لیتر	۱۵۴/۰۰ a	۲۴۷/۶۷c	۴/۴۱b	۲/۰۶c	۵/۱۸c	۳۹/۵۱b	۳۸/۲۸d	۸۱/۱۸d
آهن نانو ۴ گرم در لیتر	۱۵۸/۸۸ a	۳۱۱/۰۰b	۴/۷۴ab	۳/۱۸b	۷/۰۸b	۴۴/۹۷a	۴۲/۴۱b	۱۰۶/۷۰b
آهن نانو ۶ گرم در لیتر	۱۶۲/۰۰ a	۳۷۵/۰۰a	۴/۹۷a	۴/۱۳a	۸/۷۹a	۴۶/۹۶a	۴۵/۸۸a	۱۱۷/۱۳a
زمان‌های محلول پاشی								
مرحله رویشی (۲۰ برگی)	۱۵۹/۸۶ a	۲۹۴/۶۶a	۴/۷۱a	۲/۶۵a	۶/۴۱a	۳۹/۸۱a	۴۲/۴۰a	۷۷/۳۶c
مرحله اوایل غنچه‌دهی	۱۵۵/۰۰ ab	۲۵۸/۴۰b	۴/۵۵ab	۲/۴۷b	۶/۰۱b	۳۹/۵۷a	۴۰/۱۵b	۸۹/۱۱b
مرحله اوایل گلدهی	۱۴۷/۱۳ b	۲۴۱/۸۶b	۴/۳۶b	۲/۳۴b	۵/۶۹c	۳۹/۵۰a	۳۸/۲۳c	۹۳/۵۸a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بایوردی و مامدو (۸) اظهار داشتند که محلول پاشی آهن در مقایسه با شرایط کنترل و همچنین کاربرد کود آهن در خاک عملکرد دانه کلزا را به طور معنی‌داری افزایش داد. این پژوهش‌گران بهبود در عملکرد دانه را در نتیجه‌ی بهبود در صفاتی همچون ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه در ارتباط دانستند. هر چند در پژوهش دیگری اظهار شد که مهم‌ترین تأثیر کاربرد آهن افزایش در سرعت فتوسنتز و بهبود تداوم سطح برگ کلزا بوده است که نتیجه‌ی آن افزایش عملکرد دانه کلزا در مقایسه با شرایط عدم کاربرد آهن بود (۱۹).

**عملکرد کل:** در خصوص صفت عملکرد کل بیشترین (۸/۷۹) تن در هکتار) و کمترین (۴/۰۴) تن در هکتار) عملکرد کل کلزا به ترتیب در تیمار آهن نانو ۶ گرم در لیتر و شاهد به دست آمد (جدول ۳). به‌علاوه کاربرد زود هنگام کود آهن تأثیر مثبت بیشتری بر این صفت در مقایسه با کاربرد دیر هنگام آن داشت. محلول پاشی آهن در مرحله‌ی رویشی به واسطه‌ی گسترش سطح برگ و افزایش پتانسیل فتوسنتزی گیاه، موجب بزرگتر شدن ساختارهای رویشی، افزایش وزن و قطر ساقه‌ها، تولید تعداد بیشتری خورجین شده، که در نهایت این مسأله اثر مثبتی بر وضعیت وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه و همچنین عملکرد دانه داشته است. به طوری که مشاهده می‌شود در تیمار غلظت کود آهن بیشترین عملکرد دانه (۴/۱۳) تن در هکتار) حدود ۴ برابر کمترین عملکرد دانه (۱/۲۳) تن در هکتار) است. به عبارت دیگر کاربرد کود آهن عملکرد دانه را حدود ۴ برابر بهبود داده است. بنابراین بهبود رشد رویشی و به دنبال آن بهبود عملکرد دانه کلزا به واسطه‌ی محلول پاشی آهن در مرحله‌ی رویشی تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد کل کلزا داشته است. ابراهیمیان و بایوردی (۱۱) گزارش نمودند که کاربرد آهن باعث بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه آفتابگردان شد. این پژوهش‌گران اظهار داشتند که با کاربرد آهن وزن خشک برگ و ساقه بهبود یافت. که این بهبود در اندام‌های رویشی با بهبود در عملکرد دانه باعث بهبود عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در شرایط کاربرد آهن در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد) شد. به‌علاوه با افزایش غلظت آهن از ۲ به ۴ گرم در لیتر وزن خشک برگ و ساقه و همچنین عملکرد دانه نیز افزایش یافت.

**شاخص برداشت:** با توجه به نتایج این آزمایش تأثیر تیمار کاربرد کود آهن در مقابل عدم کاربرد و همچنین افزایش غلظت کود آهن نانو بر میزان تغییرات صفت شاخص برداشت بیشتر از تیمار زمان محلول پاشی است. به هر حال در تیمار غلظت کود آهن بیشترین (۴۶/۹۶ درصد) و کمترین (۳۰/۶۲ درصد) شاخص برداشت کلزا به ترتیب در کود آهن نانو ۶ گرم در لیتر و شاهد به دست آمده است. اما در مقابل تغییر در زمان محلول پاشی کود آهن تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). محلول پاشی آهن به یک میزان بر صورت

اظهار شده است که اثر زمان‌های مختلف محلول پاشی آهن بر وزن هزار دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. محلول پاشی آهن در مرحله‌ی آغاز ساقه رفتن و آغاز گلدهی با ۳/۴۶ گرم بیشترین میزان وزن هزار دانه را تولید نمود و پس از آن محلول پاشی آهن در مرحله آغاز ساقه روی با محلول پاشی آهن در مرحله آغاز گلدهی در یک گروه آماری قرار گرفتند. کاربرد آهن در مرحله آغاز ساقه روی و آغاز گلدهی از طریق افزایش فتوسنتز و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به اصلی‌ترین مخازن یعنی دانه‌ها موجب افزایش وزن هزار دانه کلزا گردید (۲).

**عملکرد دانه:** نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر تأثیر معنی‌دار کاربرد کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد (شاهد) و همچنین وجود تفاوت معنی‌دار بین کاربرد کود آهن نانو و غیر نانو است. بیشترین (۴/۱۳) تن در هکتار) و کمترین (۱/۲۳) تن در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب مربوط به کاربرد نانو کلات آهن با غلظت ۶ گرم در لیتر و عدم کاربرد آهن (شاهد) بود (جدول ۳). این واکنش‌ها را می‌توان به دو صورت تفسیر نمود. اول این که گیاه کلزا گیاهی است که نیاز به عناصر ریزمغذی به خصوص آهن داشته و واکنش مطلوبی نسبت به کاربرد آن نشان می‌دهد. به‌علاوه افزایش غلظت این عنصر نیز تا سطح مورد استفاده در این آزمایش توسط گیاه کلزا به خوبی جذب و بر فرایند تولید تأثیرگذار بوده است. اما در مقابل نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که کاربرد یا عدم کاربرد کود آهن و همچنین دامنه محدودی از غلظت‌های کود آهن نانو که به صورت محلول پاشی مورد استفاده قرار گرفت، بسیار بیشتر از زمان کاربرد آن بر عملکرد دانه تأثیرگذار بوده است، در واقع میزان واکنش‌پذیری عملکرد دانه کلزا به تیمار غلظت کود بیشتر از تیمار زمان محلول پاشی است. از سوی دیگر با توجه به اجزای عملکرد دانه می‌توان چنین بیان کرد که تیمارهایی که بیشترین عملکرد دانه را تولید کرده‌اند به طور متقابل بیشترین تعداد خورجین در هر بوته، وزن هزار دانه و همچنین بالاترین میزان شاخص برداشت را نیز داشته‌اند. بنابراین از این نتایج می‌توان چنین استنباط نمود که تأثیر مثبت کاربرد کود آهن صرفاً به یک جزء از اجزای عملکرد محدود نشده بلکه با بهبود مجموعه‌ای از اجزای عملکرد، در نهایت باعث بهبود عملکرد دانه نیز شده است. در رابطه با تأثیر کاربرد آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا اشاره شده که محلول پاشی برگی آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن به طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش داد (به ترتیب، ۳/۲ و ۲ تن در هکتار). از بین اجزای عملکرد نیز ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد آهن قرار گرفت، ولی تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و همچنین وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری نداشت. البته اظهار شد که محلول پاشی توأم آهن و روی کمتر از محلول پاشی مجزای آهن عملکرد دانه را نسبت به شرایط شاهد بهبود داد (۱۶).

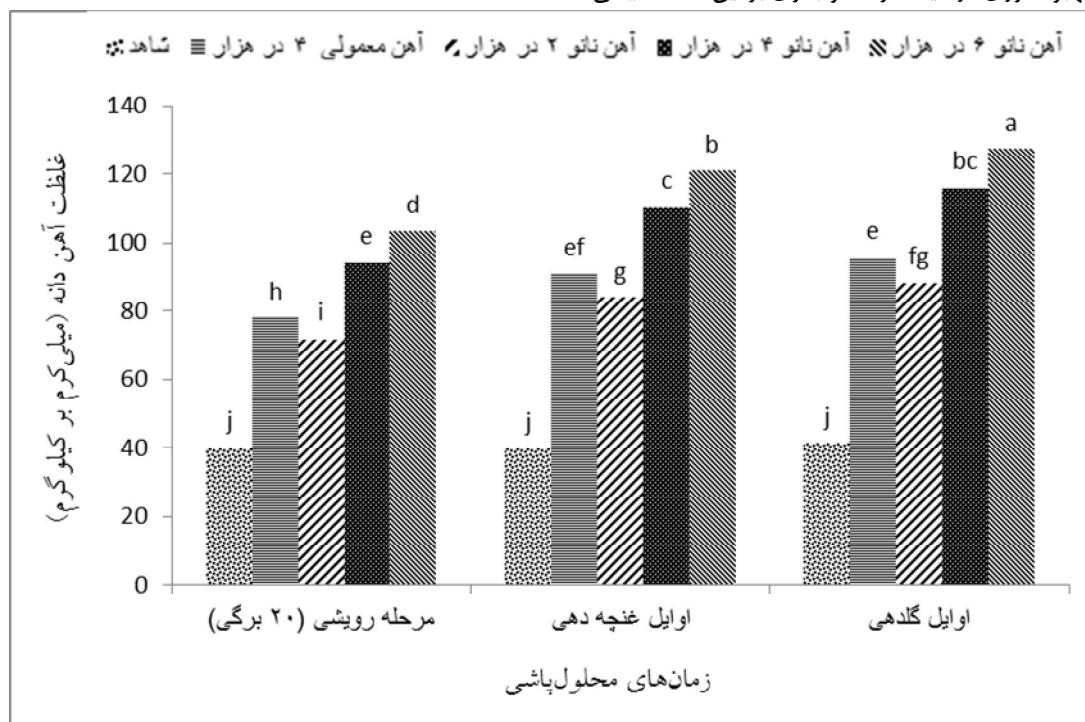
خواهد داشت. این نتیجه‌گیری از آن جهت قابل قبول است که ماهیت کلزا به گونه‌ای است که در اواخر گلدهی برگ‌های آن ریزش می‌کنند. بنابراین محلول پاشی دیر هنگام در شرایطی خواهد بود که نه تنها تأثیر مثبت بر سطح سبزینه گیاه نخواهد داشت به طور متقابل اثر قابل توجهی نیز بر فتوسنتز جاری گیاه برای تأمین انرژی مطلوب جهت تولید روغن فراهم نخواهد کرد. سینگ و سینه‌ها (۲۰) گزارش کردند که کاربرد آهن در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری درصد روغن دانه کلزا را بهبود داد. این پژوهش‌گران بهبود درصد روغن را ناشی از تأثیر مثبت آهن در فرآیند تشکیل اسیدهای چرب اظهار داشتند. آن‌ها بیان داشتند که کاهش در غلظت روغن کلزا ممکن است به علت فرآیند اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیر اشباع به وجود آید. زیرا روغن کلزا شامل مجموعه متنوعی از اسیدهای چرب اشباع (اسید پالمیتیک) و اسیدهای چرب غیر اشباع (مانند اسید اولئیک و اسید لینولئیک) می‌باشد. بر این اساس اظهار شده هر دو گروه اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع در دانه کلزا تحت تأثیر مدیریت کود به ویژه عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی قرار می‌گیرند (۱۹).

**غلظت آهن:** براساس نتایج این آزمایش بیشترین (۱۱۷/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین (۴۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت آهن دانه در تیمار غلظت کود آهن مصرفی به ترتیب در شرایط کاربرد آهن نانو ۶ گرم در لیتر و عدم کاربرد کود آهن (شاهد) به دست آمد (جدول ۳).

کسر شاخص برداشت یعنی عملکرد دانه و مخرج کسر یعنی عملکرد کل تأثیر گذار نبوده است، به طوری که با افزایش کاربرد کود آهن بهبود در عملکرد دانه بسیار بیشتر از بهبود در عملکرد کل بوده است. و این امر تأثیر بسزایی در افزایش شاخص برداشت کلزا داشته است. برتری در عملکرد نهایی هیبریدهای هاپولا را می‌توان در بالا بودن شاخص برداشت آن‌ها دانست (۱۱). پاکزی و همکاران (۲) گزارش نمودند که محلول پاشی آهن باعث بهبود شاخص برداشت کلزا شد.

### اجزای عملکرد کیفی

**درصد روغن:** نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که صفت درصد روغن تحت تأثیر کاربرد کود آهن با غلظت‌های مختلف، فرم کود آهن (نانو و غیر نانو) و زمان کاربرد آن قرار گرفته است. برای مثال در تیمار غلظت کود آهن بیشترین (۴۵/۸۸) و کمترین (۳۴/۵۱) درصد روغن در شرایط کاربرد آهن نانو ۶ گرم در لیتر و عدم کاربرد کود آهن (شاهد) به دست آمده است. همچنین مشخص شد که تأخیر در زمان کاربرد کود آهن تا مرحله گلدهی اثر کاهنده و معنی‌داری بر این صفت خواهد داشت. بنابراین بیشترین درصد روغن دانه‌ی کلزا (۴۲/۴۰) در کاربرد زود هنگام آن به دست آمده است (جدول ۳). از آنجایی که تولید روغن برای دانه‌های روغنی نیاز به انرژی بسیار بیشتری در مقایسه با تولید نشاسته در غلات دارد، بنابراین وجود سطح سبزینه مطلوب و فعال که توان فتوسنتزی بالایی داشته باشند به واسطه‌ی بهبود انرژی در گیاه، اثر مطلوب‌تری بر این صفت کیفی



شکل ۱- اثر غلظت و زمان محلول پاشی کود آهن بر میانگین غلظت آهن دانه کلزا

کمی و کیفی به جزء ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دانه دارا می‌باشند. بر این اساس بیشترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه مربوط به تعداد خورجین در بوته (۰/۹۳) و پس از آن مربوط به عملکرد کل (۰/۷۹) و وزن هزار دانه (۰/۷۸) می‌باشد. در حالی که کمترین همبستگی مثبت با عملکرد دانه را صفت غلظت آهن دانه دارا بود (۰/۶۱).

### نتیجه گیری

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد، استفاده از کود آهن نانو در مقایسه با کود آهن معمولی و همچنین زمان کاربرد کود آهن اثرات معنی‌دار بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا داشتند. در بین تیمارهای کود آهن بیشترین عملکرد دانه (۴/۱۳ تن در هکتار) با کاربرد آهن نانو ۶ گرم در لیتر در مرحله ۲۰ برگی به دست آمد، که این بهبود عملکرد دانه نتیجه‌ی بهبود تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه بود. همچنین محلول پاشی زود هنگام آهن نسبت به محلول پاشی دیر هنگام اثر بهتری بر عملکرد دانه داشت. با افزایش غلظت کود آهن مقدار آهن دانه نیز به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که کلزا گیاهی است که به کمبود آهن حساس بوده و کاربرد آهن به فرم نانو حتی در غلظت‌های بالا اثر مثبتی بر عملکرد دانه و درصد روغن دارد.

همچنین با تأخیر در زمان محلول پاشی کود آهن میزان غلظت این عنصر در دانه نیز افزایش یافت. برهمکنش تیمارهای آزمایش نیز نشان داد که بیشترین (۱۲۷/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین (۳۹/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) غلظت آهن دانه کلزا به ترتیب در کاربرد آهن نانو ۶ گرم در لیتر در مرحله اوایل گلدهی و همچنین عدم کاربرد آن به دست آمد (شکل ۱). افزایش غلظت آهن دانه می‌تواند در نتیجه‌ی بهبود تولید آسمیلات ناشی از فتوسنتز جاری و همچنین انتقال مجدد و مطلوب مواد به دانه‌ها باشد. این فرض از آن جا قابل توجیه است که چنانچه افزایش غلظت آهن با عدم بهبود عملکرد دانه همراه می‌شود، در آن صورت فرض تجمع بیش از حد آهن در دانه مطرح می‌گردد. بنابراین نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که هر دو صفت کیفی درصد روغن و غلظت آهن نانو به طور مطلوبی تحت تأثیر تیمار کاربرد آهن نانو حتی در غلظت بالا قرار گرفته‌اند. گزارش شده که کاربرد آهن به صورت محلول پاشی در مقایسه با کاربرد خاکی آن، غلظت آهن در اندام‌های هوایی کلزا را بهبود داد. بخشی از این بهبود ناشی از جذب آسان‌تر و سریع‌تر آهن توسط اندام‌ها در روش محلول پاشی در مقایسه با روش خاک کاربرد آن است. بنابراین فراهمی بهتر و سریع‌تر آهن در روش محلول پاشی از تخریب کلروفیل و به دنبال آن زردی برگ‌ها جلوگیری کرده است و فتوسنتز جاری گیاه به علت نقش مؤثر آهن در سیستم انتقال الکترون بهبود یافته است (۱۴).

**همبستگی صفات:** با توجه به نتایج جدول همبستگی صفات (جدول ۴)، مشخص می‌شود که در رابطه با عملکرد دانه بیشتر صفات

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

ارتفاع بوته	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد کل	شاخص برداشت	غلظت آهن	میزان روغن
۱							
	۱						
		۱					
			۱				
				۱			
					۱		
						۱	
							۱

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

## سپاسگزاری

آزمایشگاه شیمی تجزیه فرآورده‌های زراعی قدردانی می‌گردد.

بدین وسیله از پرسنل مزرعه تحقیقات دانشکده کشاورزی و

## منابع

- ۱- امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه ۹۸۲: ۱۲۰.
- ۲- پازکی، ع.، ا. شیرانی راد، د. حبیبی، ف. پاک نژاد و م. حاج سید هادی. ۱۳۸۸. اثر زمان‌های محلول‌پاشی آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پاییزه کلزا در شهر ری. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۵ (۱): ۳۱-۴۲.
- ۳- سام دلیری، م.، پ. مظلوم و ن. خدابنده. ۱۳۸۹. بررسی اثرات مقادیر مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر درصد روغن و پروتئین دانه در کلزا. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۶ (۴): ۸۵-۹۱.
- ۴- مرادی زاده زواره، م.، ح. شمسی محمود آبادی، و ا. مروتی. ۱۳۹۱. تأثیر مصرف نانو کلات آهن بر عملکرد آفتابگردان رقم سیرنا در منطقه میبد. اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک. ابرکوه. صفحات ۱۳۳-۱۲۸.
- ۵- ملکوتی، م. ج. و م. سپه. ۱۳۸۱. بهبود تغذیه دانه‌های روغنی گامی مؤثر جهت خود کفایی روغن مصرفی کشور. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. تهران.
- 6- Abdzad Gohari, A., and A. Noorhosseini Niyaki. 2010. Effects of iron and nitrogen fertilizers on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Astaneh Ashrafiyeh Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 9(3): 256-262.
- 7- Briat, J. F., C. Curie, and F. Gaymard. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology, 10: 276-282.
- 8- Bybordi, A., and G. Mamedov. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2(1): 94-103.
- 9- Chinnamuthu, C. R., and P. Murugesu Boopathi. 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal, 96 (1-6): 17-31.
- 10- Diepenbrock, W. 2006. Yield components of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Field crops Research, 67: 35-49.
- 11- Ebrahimian, E., and A. Bybordi. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. Middle East Journal of Scientific Research, 9(5): 621-627.
- 12- Ghasemian, V., A. Ghalavand, A. Soroosh zadeh, and A. Pirzad. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal Phytology, 2(11): 73-79.
- 13- Heidarian, A. R., H. Kord, Kh. Mostafavi, A. Parviz Lak, and F. Amini Mashhadi. 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L.) at different growth stages. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development, 3 (9): 189 -197.
- 14- Masoni, A., A. Evacoli, and M. Mavoti. 1996. Spectral of leaves deficient in iron, sulphur, magnesium and manganese. Agronomy Journal, 88(6):937-943.
- 15- Moghadam, A. R., H. Vattani, B. Baghaei, and N. Keshavarz. 2012. Effect of different levels of fertilizer nano-iron chelates on growth and yield characteristics of two varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Research Journal of Applied Sciences, 4(12): 4813-4818.
- 16- Pourgholam, M., N. Nemati, and M. Oveysi. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research, 4(4):186-189.
- 17- Sheykhbaglou, R., M. Sedghi, M. Tajbakhsh shishevan, and R. Sharifi. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Notulae Scientia Biologicae, 2(2): 112-113.
- 18- Singh, A. L., and B. D. Dayal. 1992. Foliar application of iron for recovering groundnut plants from lime induced iron deficiency chlorosis and accompanying losses in yield. Journal of Plant Nutrition, 15(9): 1421-1433.
- 19- Singh, S. 2000. Effect of Fe, Zn on growth of canola. Environmental Sci, 34(1-2): 57-63.
- 20- Singh, S., and S. Sinha. 2005. Accumulation of metals and its effects in (*Brassica juncea* L.) Czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicology and Environmental Safety, 62:118-127.
- 21- Sozer, N., and J. L. Kokini. 2008. Nano technology and its application in the food sector (Review). Trends in Biotechnology, 27 (2): 82-89.
- 22- Zareie, S., P. Golkar, and G. H. Mohammadi Nejad. 2011. Effect of nitrogen and iron fertilizers on seed yield and yield components of safflower genotypes. Journal of Agricultural Research , 6(16): 3924-3929.