

## Study of different levels of iron chelate and nano-iron chelate on fatty acid composition and oil percentage of rapeseed (*Brassica napus*) in different growth stages

Fatemeh Nejadhabibvash<sup>\*1</sup>, Arsalan Pirvash<sup>2</sup>, Ali Heidarzadeh<sup>3</sup>

1. Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Iran. 2. Department of Medicinal Plants, Shahid Bakeri Higher Education Center of Miandoab, Urmia University, Iran. 3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran.

(Received: January 27, 2021 - Accepted: March 7, 2021)

### ABSTRACT

In order to evaluate the effect of foliar application of iron chelate and nano- chelate on rapeseed oil profile (*Brassica napus*), a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications and seven treatments was conducted in 2018. studied Factors included different concentrations of iron in the forms of chelate and nano- chelate at seven levels (distilled water (control), one, two and three grams per liter of iron chelate and one, two and three grams per liter of nano-iron chelate) and time of foliar application at two levels (vegetative and beginning of flowering stages). The results showed that oil percentage was affected by the application of iron fertilizer with different concentrations (iron chelate and nano- chelate) and its consumption time, except for the 1 g.L<sup>-1</sup> iron chelate fertilizer, which the time of fertilizer application did not affect the percentage of rapeseed oil. Application of 1 g.L<sup>-1</sup> iron chelate in the vegetative growth stage and also the beginning of flowering (delayed foliar spraying) were the superior treatment to increase the percentage of rapeseed oil, so that it increased 77% and 75% of the oil content compared to the control treatment, respectively. The highest amount of cis-9-oleic acid was observed with the application of 1 and 2 g.L<sup>-1</sup> iron chelate in the vegetative stage (54.3% and 35.4% increase compared to the control). The superior treatments increasing the amount of linoleic acid were 2 and 1 g.L<sup>-1</sup> iron chelate in the vegetative growth stage (11.62 and 12.55% increase compared to the control, respectively). Application of 2 g.L<sup>-1</sup> nano-iron chelate in the vegetative growth stage and 3 g.L<sup>-1</sup> nano-iron chelate in the beginning of flowering (with 5.3 and 4.5% increase compared with the control, respectively) produced the highest amount of palmitic acid. According to the results, to increase the unsaturated fatty acids such as oleic and linoleic acids, foliar application of iron fertilizer in the form of chelate in the vegetative stage is recommended.

**Keywords:** Brassicaceae, fatty acid, linoleic acid, nano fertilizer.

### اثر سطوح مختلف کلات و نانوکلات آهن بر ترکیبات اسیدچرب و درصد روغن کلزا (*Brassica napus*) در مراحل مختلف رشدی

فاطمه نژاد حبیب‌وش<sup>\*۱</sup>، ارسلان پیروش<sup>۲</sup> - علی حیدرزاده<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ۲- دانش‌آموخته گروه گیاهان دارویی، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، ۳- دانش‌آموخته گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷)

### چکیده

با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی با کلات و نانوکلات آهن بر ترکیبات اسیدچرب کلزا (*Brassica napus*) رقم هایولا، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. عوامل مورد بررسی شامل غلظت‌های مختلف آهن به صورت ترکیبات کلات و نانوکلات آهن در هفت سطح (آب مقطر (شاهد)، یک، دو و سه گرم در لیتر کلات آهن و یک، دو و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن) و زمان محلول‌پاشی در دو سطح (مرحله رویشی و شروع گلدهی) بود. نتایج نشان داد که صفت درصد روغن، تحت تأثیر کاربرد کود آهن با غلظت‌های مختلف آهن (کلات آهن و نانوکلات آهن) و زمان مصرف آن قرار گرفت، به استثنای غلظت یک گرم در لیتر کود کلات آهن که زمان مصرف کود، تأثیری بر درصد روغن کلزا نداشت. تیمار یک گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی و همچنین شروع گلدهی (محلول پاشی با تأخیر)، تیمار برتر جهت افزایش درصد روغن کلزا بودند، به طوری که باعث افزایش به ترتیب ۷۷ و ۷۵ درصدی میزان روغن نسبت به تیمار شاهد شدند. بیشترین مقدار سیس-۹-اولئیک اسید، با کاربرد یک و دو گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رویشی (۵۴/۳ و ۳۵/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد. تیمار یک و دو گرم کلات آهن در مرحله رشد رویشی، تیمار برتر جهت افزایش میزان اسید لینولئیک (به ترتیب ۱۱/۶۲ و ۱۲/۵۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. بیشترین میزان اسید پالمیتیک، به محلول پاشی دو گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله شروع گلدهی (به ترتیب با ۵/۳ و ۴/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. طبق نتایج این تحقیق، جهت افزایش اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اسید اولئیک و اسید لینولئیک، محلول‌پاشی کود آهن به فرم کلاته و در مرحله رویشی توصیه می‌شود.

\* Corresponding author E-mail: f.nejadhabibvash@urmia.ac.ir

**واژه‌های کلیدی:** اسیدچرب، اسید لینولئیک، تیره شب‌بو، نانو کود.

## مقدمه

عملکرد گیاه می‌شود (Eleyan *et al.*, 2012). مصرف خاکی عناصر ریز مغذی، علاوه بر پایین بودن کارایی جذب آن‌ها توسط گیاه، از لحاظ اقتصادی نیز بسیار پرهزینه است. از این رو می‌توان از روش‌های جایگزین برای فراهم کردن عناصر مورد نیاز گیاه استفاده کرد. روش محلول‌پاشی عناصر مغذی، یکی از روش‌های مناسب برای این کار است. تأثیر مثبت تغذیه گیاه با کلات آهن در مقالات متعددی گزارش شده است؛ برای مثال، در بین تیمارهای مختلف (دو، سه و چهار در هزار از منبع کلات) تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد پروتئین دانه بادام زمینی گزارش شده است و بالاترین درصد پروتئین دانه مربوط به تیمار سه و چهار در هزار کلات آهن بوده است (Maleki *et al.*, 2009). از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها (Nano fertilizers) برای تغذیه گیاهان است (Rezaei *et al.*, 2009). نتایج نشان می‌دهد که جایگزینی کود آهن تهیه شده با فناوری نانو در مقایسه با کودهای آهن رایج در غلظت مناسب یا کمتر از کود معمولی آهن می‌تواند باعث افزایش رشد کمی و کیفی گیاه ریحان شود (Peyvandi *et al.*, 2011). نانوکودهای استفاده شده برای تغذیه گیاهان، به سرعت و به صورت کامل جذب گیاه می‌شوند و به خوبی نیازها و کمبودهای گیاه را مرتفع می‌سازند (Mazloumi *et al.*, 2012). در همین رابطه در مورد تأثیرگذاری نانوکود آهن بر گیاهان روغنی اظهار شده است که افزایش غلظت نانو کود آهن، به‌طور معنی‌داری با بهبود وزن برگ و اندام‌های هوایی و همچنین وزن خشک غلاف‌ها و عملکرد دانه سویا (*Glycine max L.*) ارتباط دارد (Sheykhbaglou *et al.*, 2010). در پژوهشی روی کلزا مشخص شد که محلول‌پاشی با نانوکلات آهن، موجب افزایش عملکرد دانه و درصد روغن کلزا می‌شود (Bahrami & Pourreza, 2014). محققان با مصرف نانوکلات آهن در آفتابگردان (*Helianthus annus L.*)، عملکرد و درصد روغن و درصد پروتئین دانه را به‌طور

کلزا (*Brassica napus L.*) از اعضای خانواده شب بو و یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان است. علاوه بر تولید روغن، برگ‌ها و ساقه‌های این گیاه به دلیل دارا بودن فیبر کم و پروتئین زیاد، علوفه‌ای با کیفیت خوب تولید می‌کند و می‌تواند در غذای حیوانات استفاده شود (Banuelos, 2012). روغن، مهم‌ترین ویژگی کیفی کلزا است. استفاده از روغن کلزا که اسیدهای چرب مفیدی دارد و جایگزینی آن با روغن‌های غیرگیاهی و گیاهی مضر می‌تواند تأثیر مثبتی بر سلامتی انسان داشته باشد، از بروز بیماری‌های قلبی و عروقی و دیابت پیشگیری کند (Dehghan Shahreza, 2000; Naito *et al.*, 2016) و در کاهش کلسترول بد نفس مثبتی ایفا نماید (Ellegard *et al.*, 2005). روغن و کنجاله کلزا، جایگزین بسیار خوبی برای روغن و کنجاله سویا است (Amin & Khalil, 2005). دانه کلزا حاوی حدوداً ۴۰ درصد روغن است و کنجاله حاصل از روغن‌کشی آن، ۳۵ تا ۴۰ درصد پروتئین دارد (Raymer, 2002). ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا شامل هفت درصد اسیدهای چرب اشباع، ۶۶ درصد اسیدهای چرب تک غیر اشباع و ۲۷ درصد اسیدهای چرب چند غیراشباعی است و ارقام کلزا از نظر ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه تفاوت معنی‌داری با هم دارند (Kadivar *et al.*, 2010). بخش عمده‌ای از ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل می‌دهد (Ohara *et al.*, 2009). نسبت اسیدلینولئیک به اسیدلینولئیک، یک به دو می‌باشد که برای مصرف انسان مناسب است (Salmanian & Mousavi, 2006).

آهن، نقش اساسی در متابولیسم کلروفیل‌ها دارد و به عنوان کوفاکتور در بسیاری از پروتئین‌های دخیل در فعالیت سلولی از قبیل تنفس، فتوسنتز و تمایز سلولی شرکت دارد (Broadly *et al.*, 2012). کمبود آهن می‌تواند کارایی اندامک‌های فتوسنتزی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Frey & Reed, 2012). مطالعات محققین نشان داده است که کاربرد آهن باعث افزایش

ترکیبات کلات و نانوکلات آهن در هفت سطح (آب مقطر (شاهد)، یک، دو و سه گرم در لیتر کلات آهن و یک، دو و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن) و زمان محلول پاشی در دو سطح (مرحله رویشی و شروع گلدهی) بود. مرحله رویشی در محدوده چهار تا پنج برگگی و مرحله شروع گلدهی (بر اساس تقسیم بندی سیلوستر برادلی) بود. به دلیل اینکه ماهیت کلزا به گونه‌ای است که در اواخر گلدهی، برگ‌های آن ریزش می‌کنند، بنابراین محلول پاشی برگگی برای کلزا باید تا قبل از ریزش برگ‌های آن انجام گیرد. از این رو، مبنای انتخاب این مراحل برای محلول پاشی، الگوی رشدی کلزا بود. هر دو فرم آهن معمولی و نانو به صورت محلول پاشی به کار رفت. کود آهن معمولی مورد استفاده در این آزمایش شامل سیکوسترین و منبع کود نانو، نانوکلات آهن خضرا با اندازه ذرات ۳۰ نانومتری، محصول کشور ایران بود که دارای یک درصد منگنز، یک درصد درصد روی و نه درصد آهن بود. قبل از انجام آزمایش، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۱ آورده شده است.

معنی داری بالا بردند. به علاوه، بیشترین عملکرد و درصد روغن دانه آفتابگردان تحت تأثیر تیمار محلول پاشی نانو کلات آهن، در مرحله ساقه‌دهی ایجاد شده است (Moradi Zadeh Zavareh *et al.*, 2012). با توجه به تأثیر مطلوب ترکیبات نانو بر رشد و نمو محصولات دانه روغنی و همچنین با در نظر گرفتن اهمیت گسترش کشت گیاهان دانه روغنی، این تحقیق با هدف ارزیابی و تعیین اثر محلول پاشی کود آهن به دو شکل کلات و نانوکلات بر خصوصیات کمی و کیفی اسیدهای چرب و حداکثر درصد روغن دانه در مراحل مختلف رشدی به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی منابع مختلف آهن بر اسیدهای چرب روغن کلزا رقم هایولا در زمان‌های رشدی مختلف، آزمایشی به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در گلخانه زرین گیاه ارومیه در سال ۱۳۹۷ طراحی و اجرا شد. گلخانه مورد استفاده دارای دمای متوسط روزانه و شبانه به ترتیب، ۲۴ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود. عوامل مورد بررسی شامل غلظت‌های مختلف آهن به صورت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این مطالعه

Table 1- Physicochemical properties of the experimental soil site

Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	EC (dS/m)	O.M. (%)	Fe (mg/kg)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
Clay	14	35	38	7.5	0.75	1.3	1.5	0.14	13	360

۶۵ درجه سلسیوس در آون تا رسیدن به وزن ثابت خشک نگهداری شدند. با هدف روغن گیری، دانه‌های خشک شده از هر یک از تیمارها، ابتدا وزن شدند و با دستگاه سوکسله و حلال مناسب به مدت چهار ساعت روغن آن استخراج شد. ترکیبات شیمیایی و اسیدهای چرب روغن با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی آنالیز و مشخص شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS ورژن نه و تجزیه واریانس با استفاده از رویه GLM انجام شد و مقایسه میانگین بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال یک درصد صورت گرفت.

برای کاشت ابتدا بذرها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد ضدعفونی و سپس چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند و پس از آماده‌سازی در سینی‌های مخصوص کشت شدند. بذرها بعد از جوانه‌زنی به گلدان‌های دو و نیم کیلوگرمی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر منتقل شدند. در هر گلدان سه بوته کشت شد و از زمان کاشت تا پایان، گلدان‌ها به صورت مرتب، هر سه روز یک بار آبیاری شدند. پس از مشاهده زردی کامل، خورجین‌های گیاهان هر گلدان از ساقه جدا و در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند. سپس کل گیاه از محل طوقه قطع شد و ریشه‌ها نیز از خاک جدا شدند و پس از شستشو با آب مقطر در دمای

## نتایج و بحث

### درصد روغن

شکل ۱ نشان دهنده تأثیر محلول پاشی کلات آهن و نانوکلات آهن بر مقدار روغن کلزا در دو مرحله رشد رویشی و شروع گلدهی است. همچنین، نتایج تجزیه واریانس برای درصد روغن نشان داد که اثر تیمار کود آهن بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که صفت درصد روغن، تحت تأثیر کاربرد کود آهن با غلظت‌های مختلف و فرم کود آهن (کلات آهن و نانو کلات آهن) و زمان مصرف آن قرار گرفت، به استثنای غلظت یک گرم در لیتر کود کلات آهن که زمان مصرف کود، تأثیری بر درصد روغن کلزا نداشت (شکل ۱). تیمارهای یک گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی و همچنین شروع گلدهی (محلول پاشی با تاخیر)، تیمار برتر جهت افزایش درصد روغن کلزا بودند، به طوری که باعث افزایش به ترتیب ۷۷ و ۷۵ درصدی میزان روغن نسبت به تیمار شاهد شدند؛ این دو تیمار از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. بعد از آن‌ها به ترتیب، تیمارهای سه گرم در لیتر کلات آهن و یک گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله شروع گلدهی (محلول پاشی با تاخیر) به ترتیب با ۶۲ درصد و ۲۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، بیشترین درصد روغن کلزا را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). تیمار یک گرم در لیتر نانوکلات آهن در شروع گلدهی، از نظر آماری با سه گروه اول (یک گرم کلات آهن در مرحله رشد رویشی و گلدهی و سه گرم کلات آهن در مرحله شروع گلدهی) اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۱). محتوای چربی دانه‌ها عمدتاً توسط ژنتیک تعیین می‌شود (Tanska *et al.*, 2009; Wittkop *et al.*, 2009; Ambrosewicz-Walacik *et al.*, 2015)؛ اگرچه ممکن است تحت تأثیر شرایط محیطی تغییر کند (Ozturk, 2010; Sychaj-Fabisiak *et al.*, 2011; Faraji, Singh, 2012; Varényiová and Duksay, 2016) & Sinha (2005) گزارش کردند که کاربرد آهن در مقایسه با شاهد، درصد روغن دانه کلزا را به طور معنی‌داری بهبود داد و نتایج مطالعات حاضر در تطابق

با یافته‌های آن محققین می‌باشد. در همین رابطه، افزایش عملکرد روغن در کلزا با محلول پاشی آهن و روغن (Bahrani, 2015) و محلول پاشی سولفات روی مشاهده شد (Ebrahimian & Bybordi, 2001). نتایج Baghri *et al.* (2015) نیز حاکی از افزایش درصد روغن کنجد در اثر استفاده از کود نانو بود. همچنین نتایج تحقیقات Saffari (2005) نیز نشان دهنده اثر مثبت محلول پاشی آهن و روغن بر درصد روغن کلزا بود.

### اسیدهای چرب

خواص کیفی کلزا هر چند ژنتیکی است، ولی تحت تأثیر عوامل محیطی خصوصاً عناصر غذایی نیز قرار می‌گیرد (Dai *et al.*, 2008; Hua, 2012). نتایج این آزمایش نشان داد که اثر تیمار کود آهن بر تمام اسیدهای چرب مورد مطالعه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مطالعه حاضر روی تأثیر کودهای کلات آهن در مرحله رشد رویشی و گلدهی بر روی ترکیب اسیدهای چرب کلزا در شکل ۲ (a-e) آورده شده است. بررسی اثر تیمار زمان محلول پاشی کود آهن نیز نشان داد که این تیمار بر تمام صفات مورد بررسی به جز اسید مریستیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

همچنین اثر متقابل زمان محلول پاشی و سطوح مختلف کود آهن (کلات آهن و نانوکلات آهن) بر تمام صفات مورد مطالعه به جز اسید مریستیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

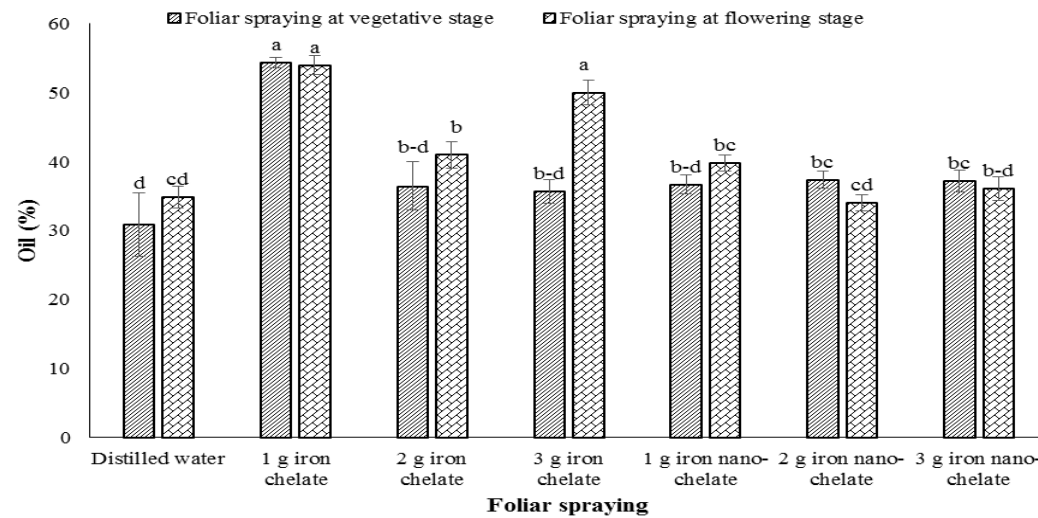
بیشترین میزان اسید پالمیتیک به تیمارهای دو گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله شروع گلدهی (به ترتیب با ۵/۳ و ۴/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. تیمارهای یک و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی، کمترین مقدار این اسید چرب را به خود اختصاص دادند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج Bybordi & Mamedov (2010) مبنی بر این که کاربرد دو عنصر روی و آهن به صورت برگ‌پاش سبب افزایش معنی‌دار اسید پالمیتیک نسبت به شاهد شده بود، همخوانی داشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان روغن و اسیدهای چرب کلزا، تحت تأثیر محلول پاشی کلات و نانو کلات آهن و زمان محلول پاشی  
of foliar application. Table 2. Variance analysis of canola oil and fatty acids affected by foliar application of iron chelate and nan chelate and time

S.O.V	d.f	Mean Squares											
		Oil	cis-9-olaic acid	Linoleic acid	Palmitic acid	Stearic acid	Arachidic acid	Linolelaidic acid	Heptacosanoic acid	Myristic acid	Linolenic acid	Myristoleic acid	cis-11-eicosanoic acid
Block	2	18.83 <sup>ns</sup>	3.06 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	2.02 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.0000002 <sup>ns</sup>
Foliar spraying (F)	6	294.71 <sup>**</sup>	771.41 <sup>**</sup>	48.81 <sup>**</sup>	5.76 <sup>**</sup>	1.1614 <sup>**</sup>	129.45 <sup>**</sup>	3368.29 <sup>**</sup>	29.51 <sup>**</sup>	0.6443 <sup>**</sup>	1.224 <sup>**</sup>	0.15276 <sup>**</sup>	0.00007202 <sup>**</sup>
Time of foliar spraying (T)	1	96.34 <sup>**</sup>	3017.18 <sup>**</sup>	182.96 <sup>**</sup>	22.50 <sup>**</sup>	0.1613 <sup>**</sup>	18.56 <sup>**</sup>	49.57 <sup>**</sup>	1.03 <sup>**</sup>	0.0003 <sup>ns</sup>	1.379 <sup>**</sup>	0.15276 <sup>**</sup>	0.00007202 <sup>**</sup>
FT	6	50.37 <sup>**</sup>	848.60 <sup>**</sup>	49.65 <sup>**</sup>	9.68 <sup>**</sup>	0.1682 <sup>**</sup>	20.23 <sup>**</sup>	1335.77 <sup>**</sup>	1.03 <sup>**</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	1.223 <sup>**</sup>	0.15276 <sup>**</sup>	0.00007202 <sup>**</sup>
Error	26	12.33	0.93	0.11	0.04	0.0003	0.40	3.60	0.02	0.0001	0.002	0.00001	0.0000002
(/.) C.V		8.80	10.58	15.23	5.91	7.41	4.51	3.83	14.34	7.38	23.66	4.35	11.78

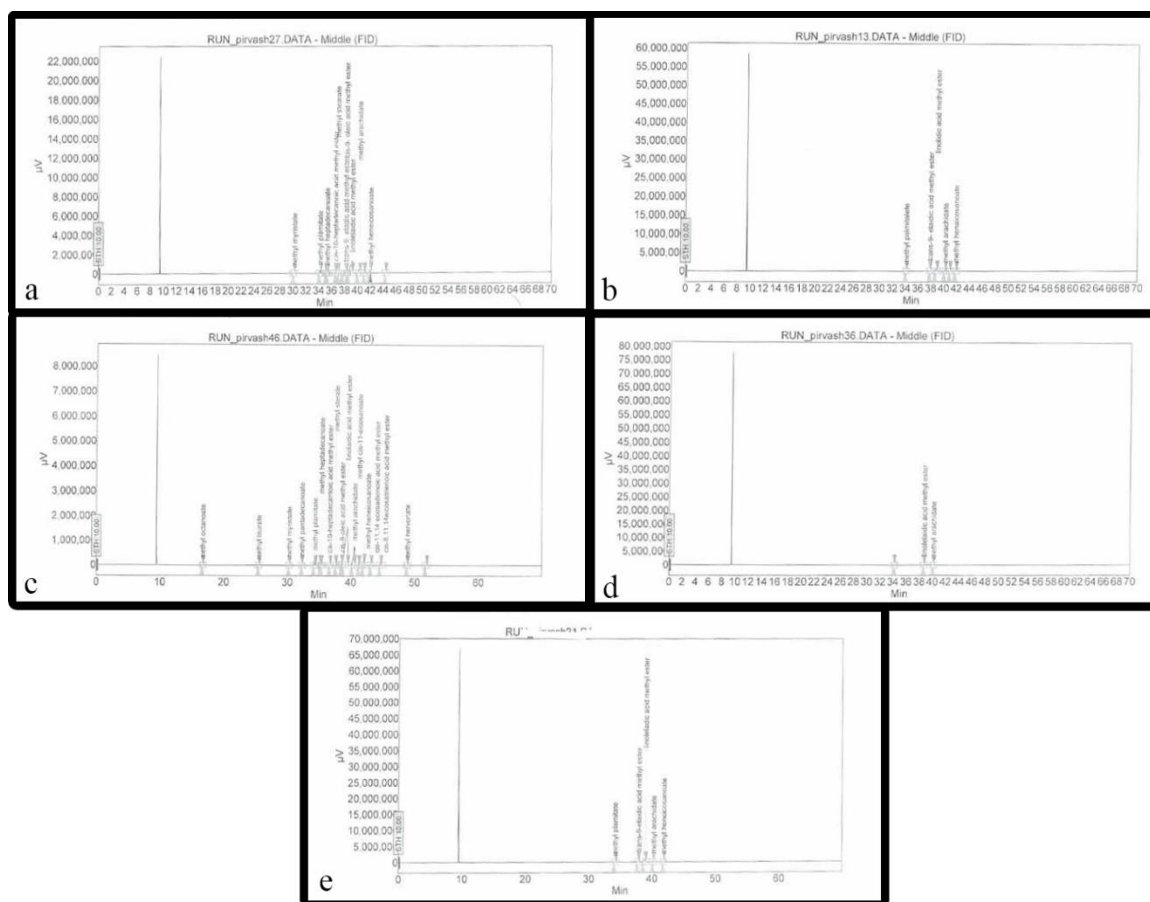
ns و \*\*: به ترتیب غیر معنی داری و معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and \*\*: non significant and significant at 1% of probability level, respectively.



شکل ۱- برهمکنش محلول پاشی کلات و نانو کلات آهن در غلظت‌های مختلف و زمان محلول پاشی روی درصد روغن کلزا. حروف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

Figure 1. Interaction effects of foliar application of different concentrations of iron chelate and nano chelate and foliar application time on canola oil percentage. (Similar letters indicate non significant differences at 1% of probability level).



شکل ۲- کروماتوگرام مربوط به تیمارهای مختلف. نمودارهای a-e به ترتیب: کروماتوگرام مربوط به شاهد، یک گرم در لیتر کلات آهن در مرحله گلدهی، یک گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله رویشی و یک گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله رویشی می باشند.

Figure 2. Chromatograms of different treatments. A-e :control chromatogram, 1 g/L iron chelate at the flowering stage, 1 g/L nano-iron chelate at the flowering stage, 1 g/L iron chelate at the vegetative stage, and 1 g/L nano-iron chelate at the vegetative stage, respectively.

رویشی (به ترتیب، با  $\frac{2}{6}$  و  $\frac{1}{6}$  درصد افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد که تفاوت این دو معنی‌دار بود. تیمارهای یک و دو گرم در لیتر کلات آهن با  $\frac{5}{44}$  درصد اسیدچرب اسید آراشیدیک، کمترین میزان را نشان دادند و بین این دو تیمار تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشت (جدول ۳). محلول پاشی گیاهان با یک و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله شروع گلدهی، باعث افزایش میزان اسید آراشیدیک نسبت به شاهد (به ترتیب شش و سه درصد نسبت به شاهد) شد که این دو تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (جدول ۳).

میانگین اسید چرب اسید میریستیک در گیاهان شاهد،  $\frac{0}{87}$  درصد بود که با محلول پاشی کلات آهن و نانوکلات آهن در هر دو مرحله رشد رویشی و شروع

بیشترین مقدار اسید استتاریک مربوط در تیمار شاهد ( $\frac{1}{15}$  درصد) مشاهده شد و با کاربرد کودهای کلات آهن و نانوکلات آهن در هر سه غلظت در هر دو مرحله رشد، مقدار آن کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). میزان این اسید چرب در تیمار کاربرد دو گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی،  $\frac{0}{8}$  درصد بود که در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد. در نمونه روغن استحصال شده از سایر تیمارهای مورد مطالعه در هر دو مرحله رشد رویشی و شروع گلدهی، این اسیدچرب یافت نشد (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳، بیشترین میزان اسیدچرب اسید آراشیدیک در تیمارهای کاربرد دو و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله رشد

افزایش معنی‌داری نشان داد، ولی محلول‌پاشی کود نانو در غلظت دو گرم در لیتر، باعث کاهش میزان لینولائیدیک اسید در مقایسه با شاهد شد، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). محلول پاشی با تاخیر (شروع گلدهی)، هیچ گونه افزایشی در میزان اسیدچرب اسید لینولائیدیک ایجاد نکرد و حتی کاهش میزان آن در تیمارهای یک گرم در لیتر کلات آهن و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار اسید لینولئیک، به کاربرد تیمار دو گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی (۲/۴ درصد) تعلق داشت.

در نمونه روغن استحصال شده از گیاهان تیمار شده با بقیه تیمارها در هر دو مرحله رشد، اسید لینولئیک شناسایی نشد؛ بنابراین بهترین تیمار جهت حصول مقدار بالای اسید لینولئیک، محلول پاشی کلزا با غلظت دو گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی بود. همچنین مقایسه میانگین نتایج به دست آمده نشان داد که اسیدهای چرب اسید مریستولئیک و سیس-۱۱-اسید ایکوزانولئیک در نمونه روغن گیاهان کلزای مورد مطالعه یافت نشدند، ولی به ترتیب با محلول‌پاشی با سه گرم در لیتر کلات آهن و یک گرم در لیتر نانو کلات آهن در مرحله شروع گلدهی، این اسیدهای چرب در روغن به میزان جزئی (به ترتیب، ۰/۸۴ درصد و ۰/۱۸ درصد) شناسایی شدند.

به نظر می‌رسد که نانوکلات آهن به علت سطح ویژه بالا، حلالیت زیاد و کمپلکس خاص آن، قابلیت زیادی جهت جذب توسط گیاه دارد، زیرا با استفاده از این نانوکود، آب و دی‌اکسیدکربن محیط جذب شده و اکسیژن و قند تولید می‌شود، بنابراین فتوسنتز گیاه افزایش پیدا می‌کند و با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی وزن دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد (Monica & Cremonini, 2009)؛ در نتیجه ضمن افزایش عملکرد دانه و روغن، اسیدهای چرب نیز افزایش نشان داد.

گلدهی میزان آن کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳).

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار سیس-۹-اولئیک اسید با کاربرد کودهای یک و دو گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رویشی (۵۴/۳ و ۳۵/۴ درصد) افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۳). کمترین میزان این اسید چرب در تیمارهای یک، دو و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی مشاهده شد که در این بین، کاربرد غلظت‌های یک، دو و سه گرم در لیتر نانوکلات آهن، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. کاربرد کود کلات آهن و نانوکلات آهن در هر سه غلظت در شروع گلدهی، تأثیر معنی‌دار آماری بر میزان اسیدچرب سیس-۹-اسید اولئیک در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی با کود) نداشتند (جدول ۳). کاربرد غلظت‌های مختلف کود نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی، تأثیر معنی‌داری در میزان اسید لینولئیک نداشتولی غلظت‌های مختلف کود کلات آهن، تأثیر معنی‌دار بر میزان آن اسید چرب داشتند. بیشترین مقدار ترکیب اسید لینولئیک مربوط به کاربرد دو و یک گرم کلات آهن در مرحله رشد رویشی (به ترتیب، ۱۱/۶۲ و ۱۲/۵۵ درصد) افزایش نسبت به شاهد) بود و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد و تیمارهای یک، دو و سه گرم در لیتر نانوکلات در مرحله رشد رویشی و تمام غلظت‌های کلات آهن و نانوکلات آهن مورد استفاده برای محلول‌پاشی در مرحله شروع گلدهی مشاهده شد (جدول ۳).

بیشترین میزان اسید لینولائیدیک مربوط به کاربرد تیمارهای یک و سه گرم نانوکلات آهن در مرحله رشد رویشی بود که به ترتیب، هشت و هفت درصد افزایش نسبت به شاهد داشت که این دو با هم تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند (جدول ۳). تیمار یک گرم در لیتر کلات آهن در مرحله رشد رویشی، کمترین میزان اسید چرب را نسبت به نمونه شاهد (۰/۸۲ درصد) به خود اختصاص داد (جدول ۳). با محلول‌پاشی هر سه غلظت کلات آهن در مرحله رشد رویشی، میزان اسیدچرب اسید لینولائیدیک در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. با کاربرد تیمار نانوکلات آهن یک گرم در لیتر در مرحله رشد رویشی، میزان این اسیدچرب

جدول ۳- مقایسه میانگین اسیدهای چرب کلزا، تحت تأثیر برهمکنش محلول پاشی آهن و زمان محلول پاشی

Table 3. Mean comparison of canola fatty acids affected by interaction of iron foliar application and time of application

Treatments		cis-9-Oleic acid (%)	Linoleic acid (%)	Palmitic acid (%)	Stearic acid (%)	Arachidic acid (%)	Linolelaidic acid (%)	Heptacosanoic acid (%)	Linolenic acid (%)	Linolenic acid (%)	Myristoleic acid (%)	Myristic acid	cis-11-eicosanoic acid (%)
Foliar spraying at vegetative stage	Distilled water	1.16 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	3.76 <sup>c</sup>	1.155 <sup>a</sup>	16.16 <sup>d</sup>	5.95 <sup>a</sup>	71.16 <sup>b</sup>	0.129 <sup>b</sup>	0.129 <sup>b</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	1 g iron chelate	49.13 <sup>a</sup>	11.62 <sup>b</sup>	1.40 <sup>e</sup>	0.000 <sup>c</sup>	5.44 <sup>g</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.82 <sup>f</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	2 g iron chelate	49.35 <sup>a</sup>	12.55 <sup>a</sup>	2.64 <sup>d</sup>	0.883 <sup>b</sup>	5.44 <sup>g</sup>	0.00 <sup>e</sup>	22.18 <sup>e</sup>	2.408 <sup>a</sup>	2.408 <sup>a</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	3 g iron chelate	23.5 <sup>b</sup>	5.44 <sup>c</sup>	4.12 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	10.31 <sup>f</sup>	2.20 <sup>b</sup>	24.30 <sup>de</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	1 g iron nano-chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.000 <sup>c</sup>	16.87 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>e</sup>	76.65 <sup>a</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	2 g iron nano-chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	5.74 <sup>a</sup>	0.000 <sup>c</sup>	20.78 <sup>a</sup>	0.00 <sup>e</sup>	68.29 <sup>bc</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
Foliar spraying at flowering stage	3 g iron nano-chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.000 <sup>c</sup>	19.12 <sup>b</sup>	0.00 <sup>e</sup>	75.82 <sup>a</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	Distilled water	1.55 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	3.76 <sup>c</sup>	1.155 <sup>a</sup>	16.16 <sup>d</sup>	5.95 <sup>a</sup>	71.16 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.870 <sup>a</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	1 g iron chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	3.84 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	10.64 <sup>f</sup>	0.00 <sup>e</sup>	25.40 <sup>d</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	2 g iron chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	3.79 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	10.27 <sup>f</sup>	0.00 <sup>e</sup>	24.70 <sup>de</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	3 g iron chelate	0.00 <sup>c</sup>	0.15 <sup>d</sup>	3.72 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	14.97 <sup>e</sup>	0.00 <sup>e</sup>	70.55 <sup>bc</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.844 <sup>a</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>
	1 g iron nano-chelate	0.82 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	3.60 <sup>c</sup>	0.016 <sup>c</sup>	17.59 <sup>c</sup>	0.00 <sup>e</sup>	67.63 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.018 <sup>bc</sup>	0.018 <sup>a</sup>
2 g iron nano-chelate	1.59 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	3.76 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	16.71 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>e</sup>	69.58 <sup>bc</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	
3 g iron nano-chelate	0.53 <sup>c</sup>	0.24 <sup>d</sup>	5.42 <sup>a</sup>	0.000 <sup>c</sup>	17.08 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>e</sup>	25.39 <sup>d</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.020 <sup>b</sup>	0.000 <sup>b</sup>	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different at the 1 % of probability level.



### اسیدهای چرب اشباع

نتایج مطالعه پروفیل اسیدهای چرب نشان داد که میزان پنج اسید چرب اشباع یعنی اسید پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، اسید هپتاکوزانوئیک و میریستیک روغن بذر گیاهان کلزا دریافت کننده کود آهن در مرحله رشد رویشی، به ترتیب، ۵/۷۴-۰/۰۰، ۱/۱۵-۰/۰۰، ۲۰/۸۷-۵/۴۴، ۵/۹۵-۰/۰۰ و ۰/۸۷-۰/۰۰ درصد (جدول ۳) و گیاهانی که در مرحله گلدهی با کود آهن محلول پاشی شدند، به ترتیب، ۵/۴۲-۳/۷۶، ۱/۱۵-۰/۰۰، ۱۷/۰۸-۱۰/۲۷، ۵/۹۵-۰/۰۰ و ۰/۸۷-۰/۰۰ درصد بود (جدول ۳). در این زمینه گزارش شده است که در روغن دانه کلزا، مقدار اسید پالمیتیک از ۵/۵ تا ۵/۱ درصد و اسید استئاریک از ۱/۴ تا ۱/۵ درصد متغیر بوده است (Pospisil *et al.*, 2007). همچنین، اسیدهای چرب مهم استئاریک و اسید پالمیتیک به طور مشترک در ۱۰ رقم کلزا مشاهده شد و مقادیر آنها به ترتیب، ۲/۲-۰/۱۵ درصد و چهار تا هشت درصد تعیین شد (Nasr *et al.*, 2006). دلیل متفاوت بودن محدوده اسیدهای چرب در روغن دانه کلزا در آزمایش-ها می تواند استفاده از ارقام و هیبریدهای مختلف کلزا باشد که از لحاظ ژنتیکی متفاوت هستند. کیفیت روغن دانه کلزا به میزان زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی (Enjalbert *et al.*, 2013) و نوع رقم (Nasr *et al.*, 2006; Javidfar *et al.*, 2006) قرار می گیرد.

### اسیدهای چرب غیر اشباع

میانگین درصد اسیدهای چرب غیر اشباع استحصال شده (شامل اسید لینولئیک، اسید لینولنیک، اسید لینوالائیدیک، اسید مرستولئیک و سیس-۱۱-اسید ایکوزانوئیک) از روغن بذر های هایولا که در مرحله رشد رویشی گیاهان محلول پاشی شدند، به ترتیب، ۱۲/۵۵-۰/۰۰، ۲/۴۰-۰/۰۰، ۷۶/۶۵-۰/۸۲، ۰/۰۰-۰/۰۰ و ۰/۰۰-۰/۰۰ درصد بود (جدول ۳) و میانگین درصد این اسیدهای چرب غیر اشباع استحصال شده از روغن بذر هایولا که در مرحله شروع گلدهی گیاهان محلول پاشی شدند، به ترتیب، ۰/۲۴-۰/۰۰، ۱۲۹-۰/۰۰، ۷۱/۱۶-۲۴/۷۰، ۰/۸۴-۰/۰۰ و ۰/۰۱-۰/۰۰ بود (جدول ۳).

نتایج حاصل از یک تحقیق، نشان داد که مقدار اسید لینولئیک در روغن دانه ارقام و هیبریدهای کلزا، ۱۹/۶ تا ۲۰/۵ درصد است (Pospisil *et al.*, 2007) که با نتایج مطالعه حاضر، تفاوت دارد. همانند یافته های تحقیقاتی دیگر محققان، در این آزمایش نیز روند متفاوتی از تأثیر آهن بر ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا مشاهده شد (Govarts & Lemey, 2000; Daniel *et al.*, 2001). همبستگی ساده پیرسونی بین صفات مورد مطالعه بررسی شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که بین مقدار اسید چرب سیس-۹-اولئیک اسید و اسید لینولئیک، همبستگی مثبت معنی دار و بین درصد روغن و میزان اسید استئاریک، همبستگی منفی معنی دار وجود داشت. همچنین بین درصد روغن، مقدار اسید آراشیدیک، سیس-۹-اسید اولئیک و اسید لینولئیک همبستگی منفی معنی دار و بین درصد روغن و مقدار اسید چرب اسید لینوالائیدیک، سیس-۹-اسید اولئیک و اسید لینولئیک همبستگی منفی معنی دار وجود داشت. همبستگی مثبت و معنی داری بین مقدار اسید لینوالائیدیک و اسید آراشیدیک وجود داشت و بین میزان اسید هپتاکوزانوئیک و درصد روغن همبستگی منفی معنی دار و با اسید استئاریک همبستگی مثبت معنی دار وجود داشت. بین میزان اسید مرستیک و اسید هپتاکوزانوئیک همبستگی مثبت معنی دار وجود داشت. میزان اسید لینولنیک با سیس-۹-اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید استئاریک همبستگی مثبت معنی دار داشت و میزان اسید لینولنیک با اسید آراشیدیک، همبستگی منفی معنی دار داشت. میزان مرستولئیک اسید با درصد روغن همبستگی مثبت معنی دار داشت و میزان سیس-۱۱-اسید ایکوزانوئیک با هیچ کدام از صفات مورد مطالعه همبستگی معنی دار آماری نداشت (جدول ۴).

نتایج مطالعات بر روی آفتابگردان نشان داده است که اسید اولئیک با اسیدهای چرب اسید لینولئیک و اسید پالمیتیک همبستگی منفی و معنی دار داشت (Flagella *et al.*, 2002)؛ طی مطالعه بر روی کلزا نتایج مشابهی به دست آمده است (Moller & Schierholt, 2002; Abdul & Fayyazul, 2006) که با نتایج تحقیق حاضر، تفاوت دارد.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی

Table 4. Correlation coefficients between studied traits.

Traits	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
A	1.00											
B	0.22	1.00										
C	0.22	0.99**	1.00									
D	-0.11	-0.24	-0.24	1.00								
E	-0.40**	0.16	0.16	0.06	1.00							
F	-0.43**	-0.81**	-0.81**	0.15	-0.10	1.00						
G	-0.43**	-0.67**	-0.67**	-0.12	0.16	0.83**	1.00					
H	-0.41**	-0.12	-0.14	-0.16	0.81**	0.12	0.26	1.00				
J	-0.15	0.63**	0.67**	-0.10	0.44**	-0.51**	-0.28	-0.10	1.00			
K	0.36*	-0.15	-0.13	0.08	-0.14	0.05	0.22	-0.13	-0.08	1.00		
L	-0.19	-0.13	-0.14	0.09	0.58**	0.13	0.23	0.65**	-0.08	-0.08	1.00	
M	-0.01	-0.13	-0.14	0.06	-0.13	0.20	0.19	-0.13	-0.08	-0.08	-0.06	1.00

\* و \*\*: به ترتیب بیانگر همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد. حروف A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L و M: به ترتیب، بیانگر درصد روغن، سیس ۹- اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید آراشیدیک، اسید لینولائیدیک، اسید هپتاکوزانویک، اسید مرستیک، اسید لینولنیک، اسید مرستولئیک و اسید ایکوزانویک می‌باشند.

\* and \*\*: Significant correlation at 5% and 1% of probability levels, respectively. A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L and M: indicate the percentage of oil, cis-9-oleic acid, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid, arachidic acid, linoleic acid, heptacosanoic acid, myristic acid, linolenic acid, myristolic acid and eicosanoic acid, respectively.

گفت که محلول پاشی نانوکلات آهن، باعث کمک به

### نتیجه‌گیری کلی

صنایع روغن، جلوگیری از اثرات مخرب آلاینده‌های زیست محیطی و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. این پژوهش توانسته است با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع، افزایش عملکرد روغن، کمیت و کیفیت روغن کلزا را بهبود بخشد. به طور کلی، افزایش درصد اسیدچرب لینولئیک حاکی از بهبود ارزش روغن در تغذیه مستقیم می‌باشد.

بر اساس نتایج آزمایش حاضر، محلول پاشی کود آهن به فرم کلاته و با غلظت یک و دو گرم در لیتر و در مرحله رویشی برای افزایش اسیدهای چرب غیر اشباع مانند اسید اولئیک و اسید لینولئیک توصیه می‌شود. با توجه به ضروری بودن اسید لینولئیک و اسید اولئیک برای بدن انسان و میزان بالای آن‌ها در روغن کلزا می‌توان

### REFERENCES

1. Abdul, M. & Fayyazul, H. (2006). Effects of sulphur on fatty acid accumulation in Brassica cultivars. *International Journal Agriculture Biological*, 8(5), 588-592.
2. Ambrosewicz-Walacik, M., Tańska, M. & Rotkiewicz, D. (2015). Phospholipids of rapeseeds and rapeseed oils: factors determining their content and technological significance a review. *Food Reviews International*, 31(4), 385-400.
3. AL-lahham, O., El Assi, N. M. & Fayyad, M. (2007). Translocation of heavy metals to tomato (*Solanum lycopersicom* L.) fruit irrigated with treated wastewater. *Journal of Scientia Horticulturae*, 113(3), 250-254.
4. Amin, R. & Khalil, S. K. (2005). Effect of pre and post emergence herbicides and row spacing on canola. *Sarhad Journal of Agriculture*, 21(2), 165-170.
5. Bahrani, A. M. & Pourreza, A. (2014). Effects of micronutrients on seed yield and oil content of *Brassica napus* L. CV Talaeh. *Botany*, 43(2), 231-233.
6. Broadly, M., Brown, P. I. C., Rengel, Z. & Zhao, F. (2012). *Function of nutrient: micronutrient. In: Marschner Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, Amsterdam.
7. Bybordi, A. & Mamedov, G. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for Canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 94 -103.
8. Bagheri, M., Shamsi, H. & Marvuti, A. (2015). Effect of nano iron chelates on yield and amount iron and rate oil of sesame cultivare Darab 14. *Journal of Plant Ecophysiology*, 18(6), 69-79. (In Persian)
9. Banuelos, G. S., Bryla, D. R. & Cook, C. G. (2002). Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central California. *Industrial Crop and Products*, 15(3), 237-245.

10. Bahrani, A. (2015). Effect of some micro and macro nutrients on seed yield and oil content of rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of Chemical Environmental and Biological Sciences*, 3(1), 71-74.
11. Daniel, J., Miralles, B., Ferro, C. & Slafer, A. (2001). Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Research*, 71(3), 211-223.
12. Dai, W., Niu, Y. Z., Guo, S. X. & Jiang, J. (2008). Analysis of heterosis and combining ability in oil content in *Brassica napus* L. under different environments. *SW Chin. Journal of Agricultural Science*, 21(3), 158-185.
13. Ellegard, L., Andersson, H. & Bosaeus, I. (2005). Rapeseed oil, olive oil, plant sterols, and cholesterol metabolism: an ileostomy study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(12), 1374-1378.
14. Ebrahimian, E. & Bybordi, A. (2001). 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.
15. Eleyan, S. E. D., Abodahab, A. A., Abdallah, A. M. & Rabeh., H. A. (2014). Effect of foliar application of manganese and iron on growth characters, yield and fiber properties of some Egyptian cotton cultivars (*Gossypium barbadense* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7: 1283-1292.
16. Enjalbert, J. N., Zheng, S. Johnson, J. J. Mullen, J. L. Byrne, P. F. & McKay, J. K. (2013). Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 47, 176-185.
17. Frey, P. A. & Reed, G. H. (2012). The ubiquity of iron. *The American Chemical Society Chemical Biology*, 7(9), 1477-1481.
18. Faraji, A. (2012). Oil concentration in canola (*Brassica napus* L.) as a function of environmental conditions during seed filling period. *International Journal of Plant Sciences*, 6(3), 267-278.
19. Flagella, Z., Rotunnon, T., Tarantino, E., Di-Caterina, R. & Decaro, A. (2002). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to sowing date and water regime. *European Journal Agronomy*, 17(3), 221-230.
20. Food and Agriculture Organization (FAO). (2007). from [http://www. faostat.fao.org /site/567/efault.aspx](http://www.faostat.fao.org/site/567/efault.aspx). Last access on.
21. Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Fishing and culture yearbook*. FAO Publication. Rome, Italy.
22. Govarts, C. & Lemey, J. (2000). Characterization of triglycerides isolated from Jojoba oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77(12), 1325-1328.
23. Hua, W., Li, R. J., Zhan, G. M., Liu, J., Li, J., Wang, X. F., Liu, G. H. & Wang, H. Z. (2012). Maternal control of seed oil content in *Brassica napus*: the role of silique wall photosynthesis. *The Plant Journal*, 69(3), 432-444.
24. Javidfar, F., Reipley, F. Zeinaly, H. Abdmishani, S. Shah Nejat Boushehri, A. A. Tavakol Afshari, R. Alizadeh, B. & Jafarieh, E. (2007). Heritability of fatty acids composition in spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture and Science*, 17(3), 57-64. (In Persian)
25. Kadivar, S. H., Ghavami, M. Gharachorloo, M. & Delkhosh, B. (2010). hemical Evaluation of Oil Extracted from Different Varieties of Colza. *Food Technology & Nutrition*, 7 (2), 19-29. (In Persian)
26. Khajehpour, M. R. (2005). *Industrial Crops*. Jahade-e-Daneshghahi Isfahan Press. (In Persian)
27. Maleki, S., Safrzad, H. M. N. & Pirdashtieh. A. (2009). The influence of iron and sulfur application on the quality properties of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *First National Conference on Oil Seeds*, 23 Septembere, The scientific pole of oil seeds, Isfahan, Iran, From <https://civilica.com/doc/98755/>. (In Persian)
28. Mazlomi M., Pirezad, A. & Zardoshti, M. (2012). Allocation ratio of photosynthate to different parts of sugar beet plant affected by nano-iron foliar application at varying growth stages. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2, 121- 128.
29. Moradi Zadeh Zavareh, M., Shamsi Mahmood, H. & Abadi, Maruti, A. (2012). Effect of Iron Nano Chelate Application on Sunflower Yield of Sirena Cultivar in Meybod. *First National Conference on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Regions*, 16 May, Islamic Azad University of Abarkouh, Abarkouh, Iran, pp. 128-133. (In Persian)
30. Monica, R. C. & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *International journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics*, 62(2), 161-165.
31. Moller, C. & Schierholt, A. (2002). Genetic variation of palmitate and oil content in a winter oilseed rape doubled haploid population segregating for oleat content. *Crop Science*, 42 (2), 379-384.
32. Mousavi, S. R. & Rezaei, M. (2011). Nanotechnology in agriculture and food production. *Journal Applied Environmental Biological Sciences*, 1(10), 414-419. (In Persian)

33. Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S. & Boopathy, P. M. (2006). Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of black gram in an Alfisol. *In The 18th World Congress of Soil Science*, 9-15 July, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
34. Naito, Y., Konishi, C. & Ohara, N. (2000). Blood coagulation and osmolar tolerance of erythrocytes in stroke-prone spontaneously hypertensive rats given rapeseed oil or soybean oil as the only dietary fat. *Toxicology Letters*, 116(3), 209-215.
35. Nasr, N., Khayami, M. Heidary, R. & Jameie, R. (2006). Genetic diversity among selected varieties of *Brassica napus* (Cruciferea) based on biochemical composition of seeds. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, Water and Soil Science, 32(1), 37-40. (In Persian)
36. Ohara, N., Naito, Y., Kasama, K., Shindo, T., Yoshida, H., Nagata, T. & Okuyama, H. (2009). Similar changes in clinical and pathological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or fatty acid composition-based interesterified canola oil mimic. *Food and Chemical Toxicology*, 47(1), 157-162.
37. Ozturk, O. (2010). Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 132-141.
38. Pospisil, M., Skevin, D. Mustapic, Z. Nakic, N. Butorac, J. & Matijevic, D. (2007). Fatty acid composition in oil of recent rapeseed hybrids and 00-cultivars. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72(3), 187-193.
39. Peyvandi, M., Bird, H. & Mirza, M. (2011). Comparison of the effect of iron nano chelate with iron chelate on growth parameters and activity of basil antioxidant enzymes *Ocimum Basilicum*, *Cellular Molecular Biotechnology*, 1(4), 89-98. (In Persian)
40. Rezaei, R., Hosseini, S. M., Sha'ban Ali Femi, H. & Safa, L. (2009). Identifying and Analyzing Barriers to Nanotechnology Development in Iran's Agricultural Sector from the Perspective. *Journal of Science and Technology Policy*, 2(1), 17-26. (In Persian)
41. Raymer, P. L. (2002). Canola: an emerging oilseed crop. *Trends in New Crops and New Uses*, 1, 122-126.
42. Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved soils. In: Sparks, D.L. (Eds), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. Journal of Soil Science Society of America*, 5, 417-435.
43. Sheykhabglou, R., M. Sedghi, M. Tajbakhsh shishevan. & Sharifi, R. (2010). Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2), 112-113.
44. Spychaj-Fabisiak, E., Murawska, B. & Pacholczyk, L. (2011). Values of quality traits of oilseed rape seeds depending on the fertilisation and plant density. *Journal of Elementology*, 16(1), 115-124.
45. Saffari, H. (2005). Evaluation of the effect of method and optimal consumption of micronutrient fertilizers containing iron and zinc on quantitative and qualitative yield and percentage of canola oil. *Proceedings of the Scientific and Applied Seminar on Iranian Vegetable Oil Industry*, 17 July., Iranian Vegetable Oil Industries Association, Tehran, Iran, pp. 98. (In Persian)
46. Salmanian, A. S. & Mousavi, A. (2006). *Rapeseed transgenic plant with tolerance to glyphosate herbicide*, Registration Number: 350618.
47. Tanska, M., Rotkiewicz, D. & Ambrosewicz, M. (2009). Technological value of selected polish varieties of rapeseed. *Polish Journal of Natural Sciences*, 24(2), 122-132.
48. Varényiová, M. & Ducsay, L. (2016). Effect of increasing spring doses of nitrogen on yield and oil content in seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 19(2), 29-34.
49. Wittkop, B., Snowdon, R. J. & Friedt, W. (2009). Status and perspectives of breeding for enhanced yield and quality of oilseed crops for Europe. *Euphytica*, 170(1-2), 131-140.