



## مطالعه کیفیت و عملکرد دانه کلزا رقم هایولا ۴۰۱ با کود مرکب آهن، روی و منگنز تحت تنش قطع آبیاری

خوشناز پاینده<sup>۱\*</sup>، مانی مجدم<sup>۲</sup>، نازلی دروگر<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۴

### چکیده

به منظور مطالعه خواص کیفی و عملکرد دانه کلزا رقم هایولا ۴۰۱ در واکنش به محلول پاشی کود ریزمغذی مرکب آهن، روی و منگنز تحت تنش قطع آبیاری، این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در منطقه آب و هوایی حمیدیه به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش قطع آبیاری در دو سطح آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی در کرت‌های اصلی و محلول پاشی کود مرکب ریزمغذی آهن، روی و منگنز در چهار سطح شامل عدم محلول پاشی (شاهد) و محلول پاشی با غلظت‌های دو در هزار، چهار در هزار و شش در هزار در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان تنش قطع آبیاری بر شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، میزان پروتئین دانه، عملکرد پروتئین، درصد آهن و روی دانه تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین با افزایش غلظت کود ریزمغذی، عملکرد دانه، میزان پروتئین دانه، عملکرد پروتئین، درصد آهن و روی دانه افزایش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب و محلول پاشی با غلظت شش در هزار بالاترین مقادیر به دست آمد که این نتایج با تیمار محلول پاشی با غلظت چهار در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۲۹۰/۴ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب و محلول پاشی چهار در هزار به دست آمد. در این آزمایش محلول پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش خسارت ناشی از تنش قطع آبیاری بر عملکرد دانه و نیز افزایش درصد آهن و روی دانه گردید. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت اگرچه تنش قطع آبیاری باعث کاهش رشد و عملکرد کلزا شد ولی استفاده از عناصر ریزمغذی به میزان چهار در هزار توانسته تا ۲۵٪ کاهش عملکرد را جبران کند.

واژه‌های کلیدی: درصد پروتئین، شاخص سطح برگ، عملکرد پروتئین، درصد آهن

### مقدمه

عناصر غذایی، کاهش نقل و انتقال عناصر در داخل گیاه و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Azeri Nasrabadi and Godarzi et al., 2007). گودرزی و همکاران (Attardi, 2007) با بررسی اثر تنش قطع آبیاری بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلزا گزارش نمودند که توقف آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه کلزا موجب کاهش ۳۵ و ۱۸ درصد عملکرد دانه می‌شود. داوری (Davari, 2017) با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد کلزا نشان داد کمترین

کلزا در میان دانه‌های روغنی، در جهان بیشترین میزان تولید را در دهه‌های اخیر داشته و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فرآورده‌های روغن نباتی احراز کرده است (FAO, 2013). عملکرد محصولات زراعی در بسیاری از مناطق توسط تنش‌های محیطی زنده یا غیرزنده محدود شده و به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه محصولات زراعی مشاهده می‌شود. رطوبت کم در هر یک از مراحل مختلف رشد موجب کاهش جذب آب،

کلزا داشت بالاترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی با روی و آهن مشاهده شد، اما کمترین این صفت از تیمار عدم محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به دست آمد.

با توجه به اثرات مثبت عناصر ریزمغذی در بهبود پاسخ گیاهان به تنش قطع آبیاری، تحقیق حاضر به‌منظور بررسی کیفیت و عملکرد دانه کلزا در واکنش به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی تحت تنش قطع آبیاری طراحی و اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان حمیدیه در استان خوزستان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا انجام شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متر نمونه‌برداری شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). از نظر آب و هوایی منطقه حمیدیه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های معتدل و کوتاه دارد (جدول ۲).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش قطع آبیاری در دو سطح آبیاری مطلوب (آبیاری بر اساس عرف منطقه ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت)، قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تا پایان دوره در کرت-های اصلی و محلول‌پاشی کود کامل ریزمغذی (حاوی عناصر ریزمغذی روی ۱/۵٪، آهن ۲/۵٪ و منگنز ۰/۵٪) در چهار سطح شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با غلظت-های دو در هزار، چهار در هزار، شش در هزار در کرت‌های فرعی اعمال شد. مجموع کرت‌های آزمایشی شامل ۳۲ کرت بود و ابعاد هر کرت شامل پنج‌متر طول و هفت ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین بوته‌های روی ردیف پنج سانتی‌متر با تراکم ۶۷ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. بین دو کرت فرعی یک متر (معادل یک ردیف نکاشت) و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد.

عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتاً عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه بکار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به‌صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰٪ هم‌زمان با کاشت و ۵۰٪ در مرحله ساقه‌دهی به‌صورت سرک)، کود فسفر نیز بر اساس ۶۰ کیلوگرم فسفر خالص و کود پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار

عملکرد دانه با میانگین (۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) از قطع آبیاری در مرحله گلدهی حاصل شد. دانیل و تربیوی (Daniel and Triboi, 2008) نیز در گیاه گندم گزارش نمودند تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری می‌گردد، آنان دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود. کودهای ریزمغذی حاوی عنصر روی که یکی از ریزمغذی‌های ضروری موردنیاز برای رشد مطلوب گیاه است در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی درون گیاه دخالت دارد. کمبود آن مهم‌ترین مشکل گیاهان از نظر ریزمغذی به‌خصوص در خاک-هایی که از pH بالایی برخوردارند است (Alloway, 2008)؛ زیرا در تشکیل اسیدایندول‌اسیتیک دخالت و رشد گیاه را تنظیم می‌کند. به‌علاوه این عنصر باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود به‌طوری‌که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Ma et al., 2017). رفع کمبود روی در شروع گلدهی، شدت اثرات کمبود روی را بر باروری دانه کرده و تولید دانه کاهش می‌دهد و باعث افزایش تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و قدرت حیات بذر می‌شود (Pandey et al., 2006).

همچنین آهن یکی دیگر از عناصر ضروری اما کم‌مصرف و دارای نقش مهمی در تثبیت نیتروژن و فعالیت برخی آنزیم-ها نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز است. نقش آهن در ساخت کلروفیل، تولید کربوهیدرات‌ها، تنفس، احیای شیمیایی نیترات و سولفات، تبدیل نیتروژن نیتراته به اسیدهای آمینه، حیاتی است (Ruiz et al., 2000). پورغلام و همکاران (Pourgholam et al., 2013) با محلول‌پاشی آهن در گیاه کلزا گزارش نمودند که میزان آهن فعال درون گیاه و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز که برای چرخه اسیدهای آمینه لازم است و در نتیجه پروتئین و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد.

هدایت‌پور و همکاران (Hedayatpur et al., 2014) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن بر عملکرد کمی و کیفی کلزا گزارش نمودند که بیشترین درصد پروتئین به میزان ۳۷/۷٪ مربوط به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن به میزان چهار گرم در لیتر بود. چولوا و کیلوج (Kieloch and Cholewa, 2015) با بررسی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر کلزا نشان دادند که استفاده از محلول‌پاشی حاوی کود روی و آهن، اثر بهینه‌ای بر صفات

شد). برای تعیین درصد پروتئین دانه در زمان برداشت نهایی ابتدا درصد نیتروژن دانه به وسیله دستگاه کج‌دال که شامل مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون بود، اندازه‌گیری شد (Jones et al., 1991). برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه نیز با ضرب کردن درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ میزان پروتئین موجود در دانه به دست آمد (Emami, 1996). با ضرب درصد پروتئین هر تیمار در عملکرد دانه آن، عملکرد پروتئین برای هر تیمار محاسبه شد (Keeney and Nelson, 1982). میزان عناصر روی و آهن در دانه توسط دستگاه جذب اتمی مدل (Perkin 400) انجام گرفت (Emami, 1996).

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده گردید.

K<sub>2</sub>O از منبع سولفات پتاسیم به صورت پایه در هنگام تهیه زمین بود. بعد از آماده‌سازی زمین، کاشت بذر در تاریخ بیستم آبان ماه ۱۳۹۶ به صورت دستی انجام شد. رقم مورد استفاده از نوع هایولا ۴۰۱ بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی - آباد دزفول تهیه گردید. جهت محلول‌پاشی از کود مایع میکرو کیمیا که حاوی عناصر ریزمغذی روی ۱/۵٪، آهن ۲/۵٪ و منگنز ۰/۵٪ بود در مرحله ساقه‌روی در نسبت‌های دو، چهار و شش سی‌سی در یک لیتر آب تهیه و با دستگاه سم‌پاش دست‌پاش گلخانه‌ای انجام گرفت. اولین آبیاری بعد از کاشت بذر انجام شد. کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. در نهایت برداشت نهایی در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷ در مساحتی معادل ۱/۵ مترمربع انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه از محاسبه وزن کل دانه‌های مربوط به ردیف‌های سوم، چهارم و پنجم از سطحی معادل ۱/۵ مترمربع به دست آمد (عملکرد دانه با رطوبت ۱۰٪ تعیین

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Some physical and chemical properties of field's soil

عمق خاک SoilDepth	فسفر Phosphorus	روی Zinc	آهن Fe	منگنز Mn	pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی Organic carbon	بافت خاک Soil texture
(cm)	ppm	ppm	ppm	ppm		(dc/m)	(%)	لومی‌رسی
0-30	9.4	0.32	9.8	1.4	7.1	3.62	0.6	Clay loam

Table 2. Meteorological properties of the test site

جدول ۲. مشخصات هواشناسی محل آزمایش

متوسط تبخیر سال زراعی Average crop evaporation(mm)	Temperatures(°C)		درجه حرارت	مجموع بارندگی سال زراعی Total rainfall of cropping season (mm)
	کمینه minimum	بیشینه maximum	میانگین mean	
359.15	6	50	26.5	180.4

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ

کمترین مقدار شاخص سطح برگ در کلزا مربوط به اعمال تنش در مرحله خورجین‌دهی بود، زیرا بخش مهمی از رشد رویشی در مرحله زایشی صورت می‌گیرد بنابراین قطع آبیاری در این مرحله بر توسعه سطح برگ به‌طور جبران‌ناپذیری اثر گذاشت. با تنش قطع آبیاری، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد افکاری و همکاران (Afkari Bejehbaj et al., 2009) این نتایج را تأیید می‌کنند. مقایسه میانگین محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به

تأثیر تنش قطع آبیاری و کاربرد عناصر ریزمغذی بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد؛ اما برهمکنش این دو عامل بر شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ به تیمار آبیاری مطلوب و کمترین میزان صفت به تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی اختصاص یافت (جدول ۴).

ریزمغذی نظیر روی در افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان اشاره نمود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

#### عملکرد دانه

نتایج نشان داد اثر تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج برهمکنش تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی چهار در هزار و کم‌ترین عملکرد دانه از تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و عدم محلول‌پاشی (شاهد) حاصل شد (شکل ۱).

در پژوهش حاضر نیز چون تنش از مرحله گلدهی آغاز و تا پایان دوره رشد ادامه داشته است، گیاه در هر دو مرحله خورجین‌دهی و پر شدن دانه تحت تنش قطع آبیاری بوده پس کاهش زیاد عملکرد دانه در اثر تنش قطع آبیاری در این پژوهش به دلیل کاهش تعداد دانه در خورجین است و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش خسارت ناشی

تیمار کاربرد محلول بود شش در هزار بود که با تیمار چهار در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین شاخص سطح برگ به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد)، اختصاص داشت (جدول ۴). روند افزایشی شاخص سطح برگ، تحت تأثیر افزایش عناصر ریزمغذی به‌خوبی بیانگر اثر مثبت این عناصر بر این صفت است. به نظر می‌رسد بیشتر بودن شاخص سطح برگ در تیمارهای کاربرد عناصر ریزمغذی این باشد که اثر سطوح مختلف کودهای میکرو بر روی رشد رویشی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای دارد. توسعه سطح برگ از طریق بهبود تعداد، اندازه و سطح برگ‌ها به کمک مواد تغذیه‌ای فراهم می‌شود که این امر باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود که این نتایج با یافته‌های مردان و کاظمی (Mardan and Kazemi, 2011) مطابقت داشت. نتایج تحقیقات میرطالبی و همکاران (Mirtalebi et al., 2012) مؤید آن است که عناصر ریزمغذی به دلیل جذب بهتر بعضی عناصر مانند نیتروژن، باعث افزایش فعالیت‌های حیاتی گیاه، افزایش جذب نیتروژن و درنهایت افزایش شاخص سطح برگ گیاه می‌شود. همچنان که مورتود (Mortvedth, 2003) نیز به نقش مثبت عناصر

جدول ۳. میانگین مربعات صفات تحت تأثیر تنش قطع آبیاری و عناصر ریزمغذی

Table 3. Mean square of traits under drought stress and micronutrient

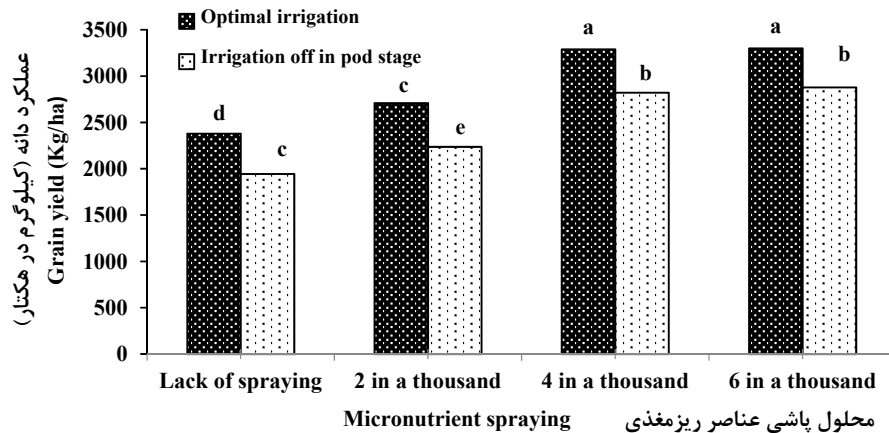
S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه Grain yield	درصد پروتئین Protein percentage	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد پروتئین Protein yield	درصد روی Zn percent	درصد آهن Fe percent
تکرار	3	0.051 <sup>ns</sup>	291 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	5.38 <sup>ns</sup>	26.81 <sup>ns</sup>	23.05 <sup>ns</sup>	1758.54 <sup>ns</sup>	
تنش قطع آبیاری (DS)	1	2.728*	120690.8**	33.37*	123.95**	1106.04**	630.52**	914.09**	
خط اصلی	3	0.371	9854.23	3.42	9.54	16.5	15.78	17.73	
عناصر ریزمغذی (M)	3	1.732*	115880.5**	21.76**	4.38 <sup>ns</sup>	957.08**	535.64**	862.71**	
اثرات متقابل DS×M	3	0.136 <sup>ns</sup>	98660.2**	0.38 <sup>ns</sup>	2.85 <sup>ns</sup>	79.32 <sup>ns</sup>	<sup>ns</sup> 1.78	7.04 <sup>ns</sup>	
خط فرعی	18	0.135	9140.3	2.63	6.43	13.47	8.75	11.17	
ضریب تغییرات (%)	-	7.95	3.54	7.49	6.93	6.34	11.55	5.01	

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد  
ns, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر تنش قطع آبیاری و عناصر ریزمغذی

Treatments	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص برداشت Harvest Index	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein Yield(g.m <sup>-2</sup> )	روی دانه Grain Zn (mg.kg)	آهن دانه Grain Fe (mg.kg)
تنش قطع آبیاری						
<b>Irrigation cut stress</b>						
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	5.17 a	37.23 a	20.14 b	62.77 a	29.28 a	69.42 a
قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی Irrigation off in pod stage	4.08 b	35.94 b	23.17 a	52.87 b	22.07 b	63.85 b
عناصر ریزمغذی						
<b>Micronutrient</b>						
عدم محلول پاشی (شاهد) Lack of spraying	4 b	36.14 a	19.24 c	43.67 c	21.01 c	61.18 c
محلول پاشی دو در هزار 2% spraying	4.04 b	36.76 a	21.07 b	52.72 b	24.18 b	64.07 b
محلول پاشی چهار در هزار 4% spraying	5.17 a	36.54 a	22.88 ab	68.06 a	28.03 a	70.12 a
محلول پاشی شش در هزار 6% spraying	5.28 a	36.94 a	23.46 a	71.17 a	30.16 a	71.35 a

ns, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱. نمودار اثر متقابل تنش قطع آبیاری و عناصر ریزمغذی

Fig. 1. Interactions between irrigation cut stress and micronutrient on grain

شاخص کلروفیل و کاروتنوئیدها را کاهش می‌دهد. در این رابطه افشانی و همکاران (Afshani et al., 2015) بر گیاه کلزا در شرایط کم آبیاری گزارش نمودند که عدم آبیاری در مرحله گلدهی و عدم محلول پاشی منجر به کاهش تعداد دانه در خورجین گردید. محلول پاشی روی، تأثیر مثبت بر تعداد خورجین در بوته داشت. بیشترین وزن هزار دانه از ترکیب

از تنش بر عملکرد دانه گردید (Masoud Sinaki et al., 2007). از طرفی گودرزی و همکاران (Godarzi et al., 2017) در کلزا گزارش نمودند که توقف آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه کلزا موجب کاهش ۳۵ و ۱۸٪ عملکرد دانه می‌شود. تنش قطع آبیاری فعالیت آنزیم کاتالاز، پرولین و کربوهیدرات را افزایش می‌دهد و رطوبت نسبی برگ و

(Bahrani et al., 2009)، آن را تأیید می‌کند. در این رابطه دانیل و تریبوی (Daniel and Triboi, 2008) به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آن‌ها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آنجائی که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است لذا درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد که این نتایج با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت. از طرفی نورمحمدی و همکاران (Normohamadi et al., 2010) اظهار نمودند که هنگام بروز تنش خشکی شدت تنفس افزایش یافته و جذب مواد تقلیل و در نتیجه هیدرات‌های کربن ذخیره شده کاهش و پروتئین افزایش می‌یابد. از طرفی شیخ‌بیگلو و همکاران (Sheykhbagloo et al., 2008) در خصوص کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد ذرت دانه‌ای تحت تنش آب نشان دادند بیشترین درصد پروتئین دانه از تیمار محلول‌پاشی در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر درصد پروتئین نشان داد که بیشترین درصد پروتئین مربوط به تیمار شش در هزار (میانگین ۲۳/۴۶٪) که با تیمار چهار در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین درصد پروتئین به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد)، (میانگین ۱۹/۲۴٪) اختصاص یافت (جدول ۴). افزایش درصد پروتئین را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که عناصر ریزمغذی مخصوصاً عنصر روی در تقسیم سلولی بافت‌های مرستمی، متابولیسم قندها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و همچنین به‌عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند و آنزیم‌ها قسمت اعظم از مواد پروتئینی را تشکیل می‌دهند (Marschner, 1995). بر این اساس تحقیقات افشانی و همکاران (Afshani et al., 2015) در گیاه کلزا بیشترین درصد پروتئین (۲۶/۸) از کاربرد روی و کمترین درصد پروتئین (۲۳/۶) از شاهد حاصل شد. هدایت‌پور و همکاران (Hedayatpur et al., 2014) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن بر عملکرد کمی و کیفی کلزا گزارش نمودند که بیشترین درصد پروتئین به میزان ۳۷/۷٪ مربوط به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن به میزان چهار گرم در لیتر بود. پورغلام و همکاران (Pourgholam et al., 2013) در کلزا گزارش نمودند که

تیماری آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول‌پاشی آهن به دست آمد. کمترین عملکرد دانه در هکتار از ترکیب تیماری عدم آبیاری در مرحله گلدهی و عدم محلول‌پاشی به دست آمد.

### شاخص برداشت

نتایج نشان داد اثر تنش قطع آبیاری بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و کمترین شاخص برداشت به تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی اختصاص یافت (جدول ۴). شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین بخش‌های رویشی گیاه و دانه است. از آنجایی که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. به نظر می‌رسد همچنان که ریچاردز و همکاران (Richards et al., 2002) معتقدند شاخص برداشت در شرایط خشکی تابع مقدار آب استفاده شده پس از گرده‌افشانی بوده که هر چه بیشتر باشد شاخص برداشت نیز بیشتر خواهد بود. در این رابطه بیگزاده و همکاران (Beigzadeh et al., 2013) گزارش نمودند که تنش قطع آبیاری شاخص برداشت و عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

### درصد پروتئین دانه

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اثر تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر درصد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما برهمکنش این دو عامل بر درصد پروتئین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تنش قطع آبیاری بر درصد پروتئین نشان داد که بیشترین درصد پروتئین (میانگین ۲۳/۱۷٪) مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و کمترین درصد پروتئین (میانگین ۲۰/۱۴٪) به تیمار آبیاری مطلوب اختصاص یافت (جدول ۴). در این تحقیق تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش تجمع کربوهیدرات و افزایش درصد پروتئین دانه گردید که خود عاملی مؤثر در تعیین کیفیت دانه کلزا به‌حساب می‌آید که بحرانی و همکاران

به مولکول‌های پروتئین، کلروفیل و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و همین امر باعث کاهش عملکرد پروتئین در گیاه می‌گردد (Daniel and Triboni, 2008). تحقیقات نشان می‌دهد مصرف برخی از عناصر ریزمغذی و از همه مهم‌تر عنصر روی، باعث افزایش پروتئین خام در اندام‌های هوایی و دانه ذرت می‌شود (Ghotavi et al., 2011). در این رابطه احمدی (Ahmadi, 2010) با بررسی اثر عناصر ریزمغذی روی بر گیاه کلزا نشان داد که محلول‌پاشی عملکرد پروتئین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2013) با بررسی عنصر ریزمغذی روی گزارش کردند محلول‌پاشی صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و عملکرد پروتئین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

#### میزان روی دانه

نتایج داده‌ها نشان داد که غلظت روی دانه تحت تأثیر تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما برهمکنش این دو عامل بر غلظت روی دانه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین غلظت روی دانه مربوط به تیمار آبیاری مطلوب (میانگین ۲۹/۲۸٪) و کمترین غلظت روی دانه به تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (میانگین ۲۲/۰۷٪) اختصاص یافت (جدول ۴). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود غلظت عنصر روی در شرایط مطلوب رطوبتی در حد کیفیت بوده است، ولی تنش خشکی موجب کاهش غلظت عنصر ضروری فوق شده است. در شرایط تنش کمبود آب به علت محدودیت جذب عنصر روی، میزان این عنصر در دانه کاهش می‌یابد (Rafiee et al., 2004). در واقع کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اختلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌گردد. بر طبق اظهارات گراهام و وب (Graham and Webb, 1991) غلظت عناصر در دانه با تشدید تنش خشکی کاهش یافت، علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است. همچنین اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر غلظت روی دانه نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه مربوط به تیمار شش در هزار (میانگین ۳۰/۱۶٪) که با تیمار چهار در هزار تفاوت معنی‌

میزان آهن فعال درون گیاه و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز که برای چرخه اسیدهای آمینه لازم است و در نتیجه پروتئین را افزایش می‌دهد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

#### عملکرد پروتئین

نتایج نشان داد اثر عملکرد پروتئین تحت اثر تنش قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما برهمکنش این دو عامل بر عملکرد پروتئین معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین عملکرد پروتئین از تیمار آبیاری مطلوب و کمترین عملکرد پروتئین ۱۰۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی حاصل شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد بیشتر بودن عملکرد پروتئین در تیمار آبیاری مطلوب بیشتر بودن عملکرد دانه باشد. همچنان که پژوهشگران اظهار داشتند عملکرد پروتئین تابعی از دو مؤلفه، مقدار پروتئین و عملکرد دانه است و تغییرات عملکرد پروتئین اساساً مربوط به تغییرات عملکرد دانه است (Ghotavi et al., 2011) که این نتایج با یافته‌های حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. برخی از محققین بیان کردند که به هنگام بروز تنش خشکی شدت تنفس افزایش‌یافته و جذب مواد تغذیه‌ای و در نتیجه هیدرات‌های کربن ذخیره‌شده کاهش و عملکرد پروتئین به علت افزایش درصد پروتئین کاهش می‌یابد (Normohamadi et al., 2010). نتایج تحقیقات براتی و غدیری (Barati and Ghadiri, 2016) مؤید آن است که عملکرد پروتئین دانه با افزایش سطح تنش قطع آبیاری کاهش یافت، اما این کاهش فقط در شرایط تنش قطع آبیاری و دیم نسبت به آبیاری کامل معنی‌دار بود. بر طبق اظهارات ادواردس و هارتل (Edwards and Hartel, 2011) تنش قطع آبیاری در مرحله زایشی کلزا باعث افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد پروتئین نشان داد که بیشترین عملکرد پروتئین مربوط به تیمار شش در هزار که با تیمار چهار در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد پروتئین به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد)، اختصاص یافت (جدول ۴). در بیان علت افزایش در محتوی پروتئین بذور با کاربرد عناصر ریزمغذی روی و آهن باید گفت که این عناصر به‌طور مستقیم در هر دو پروسه بیان ژن و سنتز پروتئین نقش دارند. محققان به این نتیجه رسیدند که شاید کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود که در نتیجه باعث صدمات اکسیداتیو

داری نداشت و کمترین غلظت روی دانه به تیمار عدم محلول-پاشی (شاهد)، (میانگین  $0.21/0.1$ ) اختصاص یافت (جدول ۳). میزان عناصر ریزمغذی در دانه بستگی به مقدار جذب این عناصر به‌وسیله ریشه در طی مرحله توسعه دانه و انتقال مجدد این عناصر از بافت گیاه به دانه از طریق آوند آبکش دارد و مقدار انتقال مجدد از این طریق بستگی زیادی به حرکت هر عنصر در آوند آبکش دارد و عنصر روی انتقال مجدد قابل توجهی از برگ‌ها به دانه دارد (Alloway, 2008). در این رابطه سعیدی‌ابواسحقی و یدوی (Saeedi, Abooshaghi and Yadavi, 2016) گزارش نمودند محلول‌پاشی آهن و روی غلظت این عناصر در دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین بیشترین میزان روی دانه ( $38/77$  میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار محلول‌پاشی و کمترین میزان روی در دانه ( $25/57$  میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار شاهد بود.

#### میزان آهن دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت آهن دانه مربوط به تیمار آبیاری مطلوب (میانگین  $0.69/42$ ) و کمترین غلظت آهن دانه به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (میانگین  $0.63/85$ ) اختصاص یافت (جدول ۴). مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر، جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمز همگی، کم‌وبیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد. اگرچه بعضی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار، به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی، بازهم روند جذب و انتقال بعضی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد؛ اما از سوی دیگر، جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند جذب منفی نشان می‌دهند (Taiz and Zeiger, 1998). غلظت عناصر در دانه با تشدید تنش خشکی کاهش یافت، علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است که این نتایج با یافته‌های (Greaves and

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد استفاده از محلول-پاشی عناصر ریزمغذی نظیر آهن و روی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و غنی‌سازی دانه از روی و آهن در شرایط تنش قطع آبیاری داشته باشد. با توجه به خشک‌سالی و بحران کم‌آبی در استان خوزستان، فقر غذایی خاک‌های استان به‌ویژه از نظر عناصر ریزمغذی نظیر روی و آهن، محلول‌پاشی عناصر جهت بالا بردن میزان عناصر کم‌مصرف در گیاه یک روش منطقی کاربرد کود است؛ بنابراین، در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان نمود که به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد کیفی و صفات زراعی، کشت گیاه کلزا با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به میزان چهار در هزار در شرایط رطوبتی مناسب پیشنهاد می‌گردد.



## قدردانی

گیاه کلزا تحت تنش قطع آبیاری «استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تأمین گردیده است که بدین وسیله قدردانی می گردد.

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان «کاربرد عناصر ریزمغذی بر مؤلفه های تولیدی و فیزیولوژیکی

## منابع

- Afkari Bejehbaj, A., Qasrov, N., Yarnia, M., 2009. Effects of drought stress and potassium on some of the physiological and morphophysiological traits of sunflower cultivars. *Journal of food, Agriculture and Environment*. 7(3 – 4), 448 – 451.
- Afshani, S., Amirnia, R., Hadi, H., 2015. The effect of iron and zinc spray application on yield and yield components of autumn canola under low irrigation conditions. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 13(1), 52-43. [In Persian with English summary].
- Ahmadi, M., 2010. Effect of zinc and nitrogen fertilizer rate on yield and yield components of oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 7(3), 259-264.
- Alloway, B.J., 2008. *Zinc in Soils and Crop Nutrition* (2th ed.). Brussels: International Zinc Association (IZA), 136p.
- Azeri Nasrabadi, A., Attardi, B., 2007. Final report on the effects of different irrigation water on the yield of two forage sorghum cultivars. *Institute of Soil and Water Research*. 15p. [In Persian].
- Bahrani, A., Heidari Sharif Abad, H., Tahmasebi Savestani, Z., Moafpourian, GH., and Ayenehband, A., 2009. Wheat (*Triticum aestivum* L.) response to nitrogen and postanthesis water deficit. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 6(2), 231-239.
- Barati, A., Ghadiri, H., 2016. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and protein content of two barley cultivars. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*. 6 (20), 208-191. [In Persian with English summary].
- Beigzadeh, S., Fatahi, K., Sayedi, A., Fatahi, F., 2013. Study of the effects of late-season drought stress on yield and yield components of irrigated barley lines within Kermanshah province temperate regions. *World Applied Programming*. 3(6), 226-231.
- Bybordy, 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.
- Daniel, C., Triboi, E., 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. *European Journal of Agronomy*. 16, 1-12.
- Davari, A., 2017. Influence of drought stress on plant height, biological yield and grain yield of rapeseed in Khash region. *International Journal of Agriculture and Biosciences*. 6(1), 4-6.
- Edwards, J., Hartel, K., 2011. *Canola Growth and Development*. Department of Primary Industries, State of New South Wales Through, Sydney, Australia.
- Emami, A., 1996. *Methods of Plant Analysis*. Soil and Water Research Institute, Publication No. 982, Vol. 1. . [In Persian].
- FAO., 2013. *Food outlook*. Global Market Analysis. Available in: <http://www.fao.org/foodoutlook.com>. (accessed march 2014).
- Ghotavi, H., Moafpourian, Gh., Bahrani, A., 2011. Effect of zinc sulfate spraying and irrigation intervals on yield, yield components and corn protein content. *Journal of Plant Ecophysiology*. 4 (1), 80-92. [In Persian with English summary].
- Gobarah, M. E., Haggag, W. M., Tawfik, M. M., Amal, G. A., Ebtesam, E. A., 2015. Effect of Zn, Mn, and organic manures applications on yield, yield components and chemical constituents of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in newly sandy soil. *International Journal of ChemTech Research*. 8(4), 2120-2130.
- Godarzi, A., Bazrafshan, F., Zare, M., Faraji, H., Safahani Langeroodi, A.R., 2017. Studying the effect of drought stress on yield and physiological characteristics in genotypes of

- canola (*Brassica napus* L.). Helix Scientific Explorer. 8, 1250-1258.
- Graham, R.D., Webb, M.J., 1991. Micronutrients and plant disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman L.M., Welch, R.M. (eds.), Micronutrients in Agriculture. pp. 329-370. Madison, WI: Soil Science Society of America Book Series No. 4.
- Greaves, G.E., Wang, Y., 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 20(4), 353-365.
- Hedayatpur, R., Movahedi Dehnavi, M., Khadem Hamzah, H.R., Morshedi, S.M., 2014. Effect of foliar application of zinc and iron on yield quantity and quality of canola (*Brassica napus* Cv. Talaye), in Zarghan region, Fars. *Journal of Oil Plant Production*. 1 (1), 43-33. [In Persian].
- Jones, R.J., Roessler, J., Outtar, S., 1995. Thermal environment during endosperm cell division and grain filling in maize. Effects on kernel growth and development in Vitro. *Crop Science*. 35, 762-769.
- Jones, J., Wolf, B., Mills, H.A., 1991. *Plant Analysis Handbook, Micro-macro*. Publishing, Inc, Athens, GA.
- Keeney, D. R., & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-Inorganic Forms. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph 9, Part 2* (2nd ed., pp. 643-698). Madison, WI: ASA, SSSA.
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y., Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Front Plant Science*. 8, 860-869.
- Malcoti, M.G., Tehrani, M.M., 2008. The Role of Micronutrients in Increasing the Yield and Improving the Quality of Agricultural Products. Tarbiat Modares University, 292p. [In Persian].
- Mardan, R., Kazemi, Sh., 2011. Response of morphological characteristics and biological function of barley to low element (iron, zinc and Cu). The First National Conference on Modern Topics in Agriculture at Saveh University. [In Persian].
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition, Academic Press Inc London. 891p.
- Mirtalebi, S.H., Khajapur, M.R., Hosseini, S.M., Soleimani, A., 2012. Effect of zinc sulfate on growth and development of wheat cultivars in northern Fars province. *Journal of Plant Ecophysiology*. 4(2), 47-61. [In Persian with English summary].
- Mortvedt, J., 2003. *Efficient Fertilizer Use Micronutrient*. Florida University Published. 166p.
- Mousavi, H., Lack, S.H., Alavi Fazel, M., 2013. Analysis of correlation and stepwise regression between grain protein yield and related traits of maize in conditions of drought stress and zinc sulfate spraying. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(23), 2783-2788.
- Normohamadi, Gh., Siadat, A.S., Kashi, A., 2010. *Crop Growing*. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. 446p. [In Persian].
- Pandey, N., Pathak, G.C., Sharma, C.P., 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 20, 89-96.P.
- Payegozar, Y., 2008. Effect of foliar application of micro nutrient on quantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. Master's thesis, Department of Agriculture, University of Zabol. [In Persian].
- Pourgholam, M., Nemat, N., Oveysi, M., 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on proline, protein and nitrogen leaf of rapeseed (*Brassica napus*). *Annals of Biological Research*, 4 (7), 200-203.
- Rafiee, M., Nadian, H., Normohammadi, Gh., Karimi, M., 2004. Effects of drought stress and zinc and phosphorus on total concentration and concentration of elements in corn. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 35(1), 235-243. [In Persian with English summary].
- Riazi, H., Haghnia, G.H., 2008. *Principles and Perspectives of Mineral Nutrition of Plants*. Isfahan University Press. 416p. [In Persian].
- Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Herwaarden, A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42, 111-121.
- Ruiz, J.M., Baghour, M., Romero, L., 2000. Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the

- response of some bioindicators. *Journal of Plant Nutrition*. 23(11-12), 1777-1786.
- Saeedi Abooshaghi, R.A., Yadavi, A.R., 2016. The effect of iron and zinc irrigation and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of red bean. *Journal of Iranian Cereals Research*, 6 (1), 54-65. [In Persian with English summary].
- Sheykhbagloo, N., Hassanzadeh Gorttpeh, A., Baghestani, M., Zand, B., 2008. Study the effect of Zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of graincorn under water stress. *Electronic Journal of Crop Production*. 2(2), 59-74. [In Persian with English summary].
- Sienkiewicz-Cholewa, U., Kieloch, R., 2015. Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rape seeds (*Brassica napus* L.). *Plant, Soil and Environment*. 4(61), 164-170.
- Singh, B, Singh, Y., Sadana, U.S., Meelu, O.P., 2000. Effect of green manure, wheat straw and organic manures on DTPA extractable Fe, Mn, Zn and Cu in a calcareous sandy loam soil at field capacity and under waterlogged conditions. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 40(1), 114-118.
- Taiz, L., Zeiger, E., 1998. *Plant Physiology* (2nd ed). Sinaye Associates Inc. Publisher Sonderland Massachusetts. 757p.