



## تأثیر نانو اکسید مولیبدن بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و زراعی کلزای پاییزه تحت تنش کم آبی

میترا رستمی هیر<sup>۱</sup>، پریسا شیخ زاده<sup>۲\*</sup>، سعید خماری<sup>۲</sup>، ناصر زارع<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری زراعت، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

و مربی دانشگاه جامع علمی- کاربردی اردبیل، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

### چکیده

**سابقه و هدف:** تنش کم آبی یکی از رایج ترین تنش های غیرزیستی است که رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی مانند کلزا را کاهش می دهد. استفاده از ریز مغذی ها در گیاهان دانه روغنی، به عنوان یکی از راهکارهای بسیار مفید و کارآمد در شرایط تنش خشکی است که ضمن افزایش عملکرد دانه، به افزایش تحمل گیاه منجر می شود. بر همین اساس، این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد برگ نانو اکسید مولیبدن بر برخی از صفات فیزیولوژیک و زراعی کلزای پاییزه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل انجام گرفت.

**مواد و روش ها:** به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانو اکسید مولیبدن بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکردی کلزا تحت تنش خشکی انتهای فصل، این آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. تیمارهای مورد مطالعه شامل آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی) به عنوان کرت اصلی و محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن (عدم محلول پاشی (صفر)، محلول پاشی با غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر) به عنوان کرت فرعی بودند. صفات اندازه گیری شده شامل شاخص سبزینگی، محتوای نسبی آب برگ، میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ ها و میزان مالون دی آلدئید، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد و عملکرد روغن بودند.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش معنی دار شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان نشت الکترولیت ها و مالون دی آلدئید در بوته های کلزا گردید که در نهایت موجب کاهش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه شد. انجام محلول پاشی بوته های کلزا با غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن در شرایط تنش خشکی موجب بهبود شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب برگ و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشا، عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار شاهد گردید. کاربرد ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن در شرایط تنش خشکی انتهای فصل سبب افزایش ۳۱/۶ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۱۰/۰۹ درصدی وزن هزار دانه، ۲۸/۳۷ درصدی عملکرد دانه و ۲۷/۷۱ درصدی عملکرد روغن دانه در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی گردید. در شرایط آبیاری کامل بیش ترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد خورجین در بوته با کاربرد ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن به دست آمد.

\*مسئول مکاتبه: sheikhzadehmp@gmail.com

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی تأثیر منفی بر رشد و عملکرد کلزای پاییزه داشت. محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با نانواکسید مولیبدن در شرایط مساعد و نامساعد محیطی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر صفات فیزیولوژیک و زراعی اندازه‌گیری شده در کلزا داشت. این امر باعث بهبود عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی گردید. در بین تیمارهای محلول‌پاشی، بیش‌ترین افزایش در صفات فیزیولوژیک و عملکردی کلزا در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی در تیمار کاربرد ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید مولیبدن به‌دست آمد. بنابراین، محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید مولیبدن برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی و بهبود عملکرد دانه و روغن پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** دانه‌های روغنی، عملکرد روغن، عناصر ریزمغذی، کاربرد برگی.

### مقدمه

در بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در خورجین می‌گردد (۱۵). باتوجه به این که کاهش رطوبت خاک در تمام مراحل رشدی گیاه به‌خصوص مرحله گلدهی و پرشدن دانه، باعث کاهش جذب آب، مواد مغذی و انتقال آن به گیاه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود؛ استفاده بهینه از کودهایی مانند ریزمغذی‌ها در گیاهان دانه روغنی، به‌عنوان یکی از راهکارهای بسیار مفید و کارآمد در شرایط تنش خشکی بوده که ضمن بهبود عملکرد دانه، به افزایش مقاومت گیاه منجر می‌شود (۱۶).

عناصر غذایی کم‌مصرف (ریزمغذی) عناصر بسیار لازم و اساسی برای رشد و نمو گیاهان هستند که کاربرد آن‌ها موجب افزایش عملکرد محصول، ارتقای خصوصیات کیفی، غنی‌سازی محصولات کشاورزی و تولید بذر با قدرت بالا می‌گردد (۳۱). در بین ریزمغذی‌ها، مولیبدن (Mo) به‌عنوان یک کوفاکتور، در فعالیت آنزیم‌های موجود در متابولیسم نیتروژن از جمله، نیترات ردوکتاز و نیتروژناز موثر بوده و به‌این‌ترتیب در احیای نیترات و تبدیل آن به آمونیوم ایفای نقش می‌کند (۳۷). همچنین، مولیبدن به‌عنوان یک عنصر القاکنده مقاومت و افزایش تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند تنش کم‌آبی، تنش شوری، دمای پایین در گیاهان مختلف به‌شمار می‌آید (۵۰). اگرچه مصرف کودها (کاربرد برگی و خاکی) نقش بنیادی در افزایش محصولات کشاورزی دارند

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه‌روغنی بوده که به‌علت سازگاری بالا با شرایط مختلف آب و هوایی، تولید عملکرد بالا و دارا بودن روغنی با کیفیت مطلوب (با بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع) نسبت به بقیه محصولات دانه روغنی به‌عنوان یک گیاه صنعتی مهم در جهان به‌شمار می‌رود (۴۷). کلزا به‌دلیل دارا بودن روغن و کتجاله‌ای با کیفیت بالا، رتبه سوم را در تولید روغن نباتی (پس از سویا و نخل روغنی) و رتبه پنجم را در تولید پروتئین دارد (۲۳، ۴۴). همچنین، این گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی، ۱۲/۸ درصد از میزان کل تولید جهانی دانه‌های روغنی (بالغ بر ۶۹/۲ میلیون تن) را به خود اختصاص داده است (۲). به‌همین دلیل، توسعه سطح زیر کشت کلزا و بهبود عملکرد این محصول به‌عنوان یکی از محورهای اساسی طرح خودکفایی دانه‌های روغنی به منظور تأمین نیازهای مصرفی کشور و کاهش وابستگی به واردات مواد غذایی مطرح است.

از حساس‌ترین مراحل رشدی به تنش خشکی در کلزا مرحله گلدهی و تشکیل خورجین‌ها می‌باشند، به‌طوری‌که وقوع تنش خشکی در این مرحله بیش‌ترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه دارد؛ زیرا وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی، موجب کاهش بیش‌تر صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد خورجین

با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه عرض جغرافیایی و به ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی در طول دوره آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

پس از برداشت محصول سال قبل، عملیات آماده‌سازی مزرعه شامل شخم، دیسک‌زنی و نیز ایجاد جوی و پشته در اواسط شهریور انجام گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل تیمارهای آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله پنجاه درصد گل‌دهی تا انتهای دوره رشدی) به عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی با نانوآکسید مولیبدن در سه سطح (عدم محلول‌پاشی (صفر)، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان کرت فرعی بودند. در این آزمایش از بذرها کلزای پاییزه رقم هیبرید گارو که از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اردبیل (به دلیل مرسوم بودن کشت آن در شهرستان اردبیل) تهیه شده بود، استفاده گردید. رقم گارو از هیبریدهای آلمانی کلزا و دارای تیپ پاییزه است. هر کرت آزمایشی دارای شش خط کاشت به طول ۵ متر بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی ردیف ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها به صورت دستی، در ۲۸ شهریور ۱۳۹۷ در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متری از سطح خاک با تراکم ۸۰ بذر در مترمربع کاشته شدند.

اما کارایی آن‌ها نسبتاً پایین بوده و لازم است فناوری جدیدی برای افزایش کارایی آن‌ها استفاده گردد (۱۲). یکی از راهکارها، استفاده از نانوکودها است که با داشتن اندازه کوچک و سطح تماس بالا می‌توانند تأثیر به‌سزایی در بهبود عملکرد گیاهان زراعی و نیز کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف مواد شیمیایی در اراضی زراعی داشته باشند (۸، ۱۳).

با توجه به نیاز بالای کشور به تأمین روغن، افزایش عملکرد در واحد سطح دانه‌های روغنی به یکی از اهداف کشاورزی در کشور مبدل گردیده است. کمبود آب و مواجه شدن مراحل حساس رشد و نمو کلزا (گلدهی و تشکیل خورجین) با تنش کم‌آبی، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود، لذا هر عاملی که سبب جبران و یا تعدیل اثرات تنش خشکی انتهای فصل شود، می‌تواند نقطه امید در توسعه کشت این گیاه باشد. با در نظر گرفتن سهم کلزا در تولید روغن خوراکی، نقش عنصر مولیبدن در مقابله با تنش خشکی و اثرات مثبت استفاده از نانوکودها، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تنش خشکی انتهای فصل و کاربرد سطوح مختلف نانوآکسید مولیبدن بر برخی خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و عملکردی کلزا در کشت پاییزه انجام شد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نانوآکسید مولیبدن بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک، زراعی و عملکردی کلزا تحت تنش خشکی انتهای فصل، این آزمایش در طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شمال شرق شهر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

Table 1- Physical and chemical characteristics of the farm soil at the depth of 0-30 cm

بافت خاک Soil Texture	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	پتاسیم (پی پی ام) K (ppm)	فسفر (پی پی ام) P (ppm)	نیتروژن (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS m <sup>-1</sup> )
لومی رسی (Clay loam)	30.8	53.75	15.5	202.5	11.83	0.06	0.44	7.6	2.68

جدول ۲- میانگین دما و مجموع بارندگی ماهانه در طول فصل رشد کلزا در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸

Table 2- Monthly average temperature and monthly total rainfall of the growing season, 2018-2019

ماه Month	پارامترهای هواشناسی (Meteorological parameters)					
	میانگین حداقل دما (سانتی گراد) Minimum temperature (°C)	میانگین حداکثر دما (سانتی گراد) Maximum temperature (°C)	میانگین دما (سانتی گراد) Mean temperature (°C)	رطوبت نسبی (درصد) Average humidity (%)	مجموع بارندگی (میلی متر) Total Participation (mm)	مجموع ساعات آفتابی Total sunshine hours
	مهر September-October	6.9	19.9	12.21	83.12	10.92
آبان October -November	1.8	12.34	6.45	84.6	26.92	114.6
آذر November -December	-0.32	10.7	4.41	79.3	28.98	101.1
دی December-January	-4.7	6.40	0.36	67.9	19.76	177.6
بهمن January-February	-5.1	7.85	0.66	76.4	49.59	164.5
اسفند February- March	-3.2	10.01	2.60	73.4	24.94	158.3
فروردین March-April	0.64	13.7	6.44	75.4	44.65	152.1
اردیبهشت April-May	3.32	19.6	11.22	67.0	24.77	259
خرداد May-June	7.75	25.6	17.14	60.6	18.48	289.7
تیر June-July	10.27	25.9	18.45	66.7	0.11	331.1

این صورت که آبیاری بوته‌های کلزا تا اواخر اردیبهشت ۱۳۹۸ صورت گرفت و بعد از آن تا انتهای دوره رشدی، آبیاری بر روی تیمارهای تنش خشکی انجام نگرفت؛ اما در تیمار آبیاری کامل، به‌طور مداوم و براساس عرف منطقه، آبیاری تا انتهای فصل رشد انجام شد. به عبارت دیگر، بعد از قطع آبیاری در تیمار

اولین آبیاری بعد از کاشت بذرها و مراحل بعدی آبیاری برحسب نیاز گیاه، شرایط آب و هوایی و اعمال تیمارها انجام گرفت. کلیه تیمارها به‌طور یکنواخت و براساس عرف منطقه تا مرحله گلدهی آبیاری شدند. در مرحله پنجاه درصد گلدهی برای تیمارهای تنش خشکی، قطع آبیاری اعمال گردید. به

به مدت ۲۴ ساعت به آونسی با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد منتقل و وزن خشک (Dw) آن‌ها توزین شد. محتوای رطوبت نسبی با قرار دادن مقادیر به دست آمده در رابطه ۱ محاسبه شد (۲۰).

رابطه ۱:

$$RWC \% = [(Fw - Dw) / (Tw - Dw)] \times 100$$

برای انجام آزمون هدایت الکتریکی مواد نشست یافته از برگ‌ها (EC)، از هر واحد آزمایشی تعداد پنج بوته که الگوی کرت بودند برداشت و پس از انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه، ۱۰ دیسک برگ‌ها با استفاده از سوراخ کن دستی به قطر ۱۰ میلی متر تهیه گردید. دیسک‌های هر تکرار پس از توزین، به‌طور جداگانه در داخل ارلن‌های محتوای ۵۰ میلی لیتر آب مقطر با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، ریخته شده و درب آن‌ها برای جلوگیری از ورود گرد و غبار بسته شدند. این ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری گردیدند. در پایان آب موجود در ارلن‌ها به لوله آزمایشی تمیزی انتقال داده شد و هدایت الکتریکی آن‌ها با استفاده از EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه EC از فرمول زیر استفاده شد (۲۲).

رابطه ۲:

$$EC (\mu S cm^{-1} g^{-1}) = EC_s - EC_0 / F_w$$

که در آن، EC هدایت الکتریکی مواد نشست یافته از برگ‌ها،  $EC_0$  هدایت الکتریکی آب مقطر (به‌عنوان شاهد)،  $EC_s$  هدایت الکتریکی قرائت شده از نمونه‌ها و  $F_w$  وزن تر نمونه می‌باشند

به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد در انتهای فصل رشد، در هر واحد آزمایشی ۲ ردیف کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان اثر حاشیه منظور گردید و نمونه‌برداری‌ها فقط از ۴ ردیف وسطی به‌طور تصادفی از ۱۰ بوته صورت گرفت. ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ی جانبی (تعداد

تنش خشکی، برای تیمار آبیاری کامل دو مرحله آبیاری اضافی (از مرحله گلدهی تا پرشدن دانه) صورت گرفت. اعمال تیمار نانوآکسید مولیبدن ( $Nano-MoO_3$ ) با غلظت‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی برگ‌ها در طی دو نوبت (در مرحله ۶-۸ برگ‌ها و مرحله گلدهی) با سم‌پاش پشتی به‌صورت دستی انجام شد. برای افزایش کارایی محلول‌پاشی و جلوگیری از جمع شدن محلول در یک نقطه و ایجاد برگ سوختگی از توئین ۲۰ استفاده گردید. جهت اعمال تیمار عدم کاربرد نانوآکسید مولیبدن، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام پذیرفت. برای افزایش راندمان جذب نانوآکسید مولیبدن، محلول‌پاشی هنگام صبح صورت گرفت تا رطوبت نسبی هوا بالاتر باشد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز مزرعه به‌طور متوالی با دست و جین شدند.

یک هفته بعد از انجام محلول‌پاشی در مرحله گلدهی (نوبت دوم)، اندازه‌گیری میزان شاخص سبزی‌نگی کل برگ با استفاده از دستگاه SPAD-502, Konica Minolta Sensing Inc. (مدل SPAD-502, Konica Minolta Sensing Inc. Japan)، مالون‌دی‌آلدئید (۱۸)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) (۲۰) و هدایت الکتریکی مواد نشست یافته از برگ‌ها (EC) (۲۲) برای تیمارهای مختلف انجام گرفت. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ، از هر واحد آزمایشی به تعداد پنج برگ جوان و کامل به‌طور تصادفی برداشت و پس از قرار گرفتن در فلاسک حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال یافت. در آزمایشگاه با کمک دستگاه سوراخ‌کن دستی، از هر نمونه برگ‌ها دو دیسک به قطر ۱۰ میلی متر تهیه و وزن تر نمونه‌ها (Fw) با ترازو اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. پس از سپری شدن این مدت، نمونه‌ها از آب مقطر خارج و وزن آماس (Tw) آن‌ها تعیین گردید. پس از آن، نمونه‌ها

و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن موجب افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ‌ها گردید؛ اما بین تیمار عدم‌کاربرد و تیمارهای محلول‌پاشی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱). اگرچه در شرایط آبیاری کامل تأثیر نانوآکسید مولیبدن بر شاخص سبزی‌نگی معنی‌دار نبود، اما انجام محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف آن در شرایط تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی برگ‌های کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی گردید. نتایج برش دهی (جدول ۴) نشان داد که فقط در تیمار قطع آبیاری، غلظت‌های مختلف نانوآکسید مولیبدن اثر معنی‌داری بر شاخص سبزی‌نگی برگ‌های کلزا داشت. به طوری که در شرایط تنش خشکی کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار عدم‌کاربرد نانوآکسید مولیبدن بود (شکل ۱). اگرچه قطع آبیاری در مرحله انتهای فصل باعث کاهش ۲۰ درصدی شاخص سبزی‌نگی برگ‌های کلزای پاییزه گردید، اما انجام محلول‌پاشی بوته‌ها با نانوآکسید مولیبدن شاخص سبزی‌نگی را در حدود ۱۵/۱۱ تا ۱۷/۵۳ درصد افزایش داد (شکل ۱).

تنش کم‌آبی باعث افزایش روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل می‌شود (۵)، به عبارت دیگر، در شرایط تنش کم‌آبی، گیاه با بسته نگه داشتن روزه‌ها در طی روز باعث اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستم II شده و فتولیز آب باعث افزایش الکترون می‌گردد. این الکترون‌های اضافی، با تولید اکسیژن فعال موجب خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها شده که این موضوع در نهایت سبب کاهش محتوای کلروفیل گیاه می‌گردد؛ بنابراین، یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش مقدار کلروفیل‌ها، تخریب آن‌ها توسط گونه‌های فعال اکسیژنی از جمله پراکسید هیدروژن است (۳۸).

شاخه‌ی فرعی منتهی به خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه تعیین گردید. در زمان رسیدگی کامل، برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح با حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از طرفین از سطحی معادل یک مترمربع برداشت انجام شد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. برای اندازه‌گیری درصد روغن دانه از دستگاه سوکسله استفاده شد و عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه تعیین گردید.

پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه، محاسبات برای پارامترهای لازم انجام و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل، برش‌دهی تجزیه واریانس صورت گرفت. همچنین، جهت رسم شکل از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

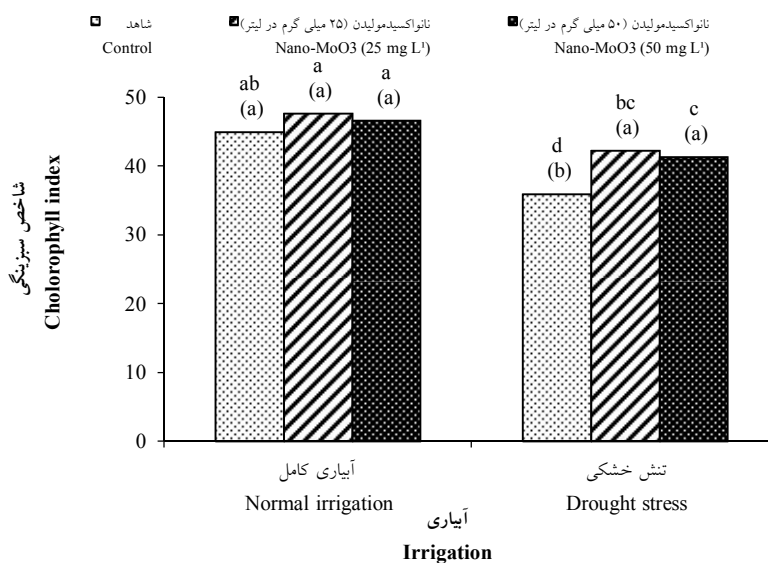
**شاخص سبزی‌نگی:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی با نانوآکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری × نانوآکسید مولیبدن در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص سبزی‌نگی معنی‌دار بود. در شرایط آبیاری کامل، شاخص سبزی‌نگی برگ‌های کلزای پاییزه به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط اعمال تنش خشکی در انتهای فصل رشد بود (شکل ۱). در شرایط آبیاری کامل، انجام محلول‌پاشی برگ‌های کلزای پاییزه با غلظت‌های ۲۵

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و نانواکسید مولیبدن بر شاخص سبزیگی، مالوندی آلدئید، هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب برگ کلزا  
Table 3- Analysis of variance the effects of irrigation and molybdenum oxide nanoparticles (Nano-MoO<sub>3</sub>) treatments on chlorophyll index, MDA, EC and RWC of oilseed rape leaves

منابع تغییر S.o.v	درجه آزادی df	میانگین مربعات mean of squares			
		شاخص سبزیگی	محتوای نسبی آب برگ	هدایت الکتریکی	مالوندی آلدئید
		Chlorophyll Index	RWC	EC	MDA
بلوک Block	2	4.84	18.42	10.94	0.00101
آبیاری Irrigation (I)	1	192.73**	790.82**	1592.36**	0.1971**
خطای اصلی Error a	2	2.702	18.85	43.508	0.0022
نانواکسید مولیبدن Nano-MoO <sub>3</sub>	2	35.66**	51.14*	5.132**	0.0126**
آبیاری × مولیبدن I × Nano-MoO <sub>3</sub>	2	9.52*	16.24 <sup>ns</sup>	30.87 <sup>ns</sup>	0.00073 <sup>ns</sup>
خطای فرعی Error b	8	2.012	10.81	18.03	0.00029
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.3	4.56	10.08	2.83

\*, \*\*, و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می باشند.

\*, \*\*, and ns are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant, respectively



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی با نانواکسید مولیبدن بر شاخص سبزیگی برگ کلزا (میانگین های دارای حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش دهی را نشان می دهد)

Figure 1- The effects of irrigation and foliar application of molybdenum oxide nanoparticles treatments on chlorophyll index of oilseed rape leaves (The means with the same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $p \leq 0.05$ ). The letters outside the parentheses show the mean comparison of overall interactions and the letters inside the parentheses show the mean comparison by slicing method)

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف نانو اکسید مولیبدن در هر سطح آبیاری

Table 4- The mean of squares of the interaction slicing for different molybdenum oxide nanoparticles levels at each irrigation levels

سطوح آبیاری Irrigation levels	درجه آزادی df	شاخص سبزیگی Chlorophyll index	ارتفاع بوته Plant height	شاخه جانبی Number of branches	خورجین در بوته Pods per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد روغن Oil yield
آبیاری کامل Normal irrigation	2	5.35 <sup>ns</sup>	22.91 <sup>**</sup>	1.85 <sup>*</sup>	272.85 <sup>**</sup>	0.112 <sup>ns</sup>	6433 <sup>ns</sup>	2265.9 <sup>ns</sup>
تنش خشکی Drought stress	2	39.83 <sup>**</sup>	22.57 <sup>**</sup>	7.35 <sup>**</sup>	776.07 <sup>**</sup>	2.227 <sup>**</sup>	22.30 <sup>**</sup>	42787 <sup>**</sup>

۵). اگرچه تنش خشکی انتهای فصل سبب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ‌های کلزا گردید، اما با کاربرد نانو اکسید مولیبدن، RWC برگ‌ها افزایش یافت. در بین تیمارهای مورد مطالعه، بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ‌ها با محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد. بین تیمار عدم کاربرد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن اختلاف معنی‌داری از نظر RWC مشاهده نگردید (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ (RWC): محتوای نسبی آب برگ، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) و محلول‌پاشی با نانو اکسید مولیبدن (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت اما تأثیر اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین میانگین RWC (۷۸/۶۴ درصد) در تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۶۵/۳۸ درصد) در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی مشاهده گردید به‌طوری‌که اعمال تنش خشکی انتهای فصل موجب کاهش ۱۶/۸۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ در کلزای پاییزه شد (جدول

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر هدایت الکتریکی، محتوای نسبی آب و مالون دی آلدهید برگ کلزا تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و نانو اکسید مولیبدن  
Table 5- Mean comparison of EC, RWC and MDA of oilseed rape leaves affected by irrigation and molybdenum oxide nanoparticles treatments

تیمارها Treatments	محتوای نسبی آب برگ (درصد) RWC (%)	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ )	مالون دی آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تر) MDA ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{Fw}$ )
آبیاری کامل Normal irrigation	78.64a	32.68a	0.4989b
تنش خشکی Drought stress	65.38b	51.50b	0.7082a
شاهد (صفر) Control	70.31b	46.64a	0.6559a
۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن 25 mg L <sup>-1</sup> Nano MoO <sub>3</sub>	75.38a	41.45ab	0.5698b
۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن 50 mg L <sup>-1</sup> Nano MoO <sub>3</sub>	70.33b	38.92b	0.5849b

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

In each column, means with similar letter are not significantly different based on the LSD test at 5% probability level.



۵). کم ترین میزان هدایت الکتریکی برگ های کلزا با کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن حاصل شد که به طور معنی داری کم تر از تیمار شاهد بود اما اختلاف معنی داری با تیمار ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن نداشت (جدول ۵).

از دست دادن آب گیاه از راه تعرق در شرایط تنش خشکی، باعث چروکیدگی شدن غشای سلول و تخریب آن می شود. از طرف دیگر، افزایش میزان گروه های فعال اکسیژنی از عوامل مهم پراکسیداسیون لیپیدی و نتیجه آن افزایش نفوذ پذیری غشای سلول ها است که این امر سبب افزایش نشت الکترولیت ها می گردد (۴۶). افزایش هدایت الکتریکی در اثر تنش خشکی توسط عبید و همکاران (۲۰۱۸) در گندم و توسط لئو و همکاران (۲۰۱۳) در ذرت نیز گزارش شده است (۱،۳۰). پایین بودن میزان نشت یونی شاخصی برای استحکام غشاها می باشد؛ بنابراین، حفظ پایداری غشاها در شرایط تنش خشکی، نشان دهنده سازوکارهای کنترلی در تحمل گیاه به تنش خشکی است. مولیبدن از طریق افزایش در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، غشا را در مقابل صدمات ناشی از تنش محافظت کرده و از طریق افزایش پایداری غشا، از نشت الکترولیت ها جلوگیری می کند (۶). افزایش پایداری غشا و کاهش نشت الکترولیت در اثر کاربرد مولیبدن توسط لئو و همکاران (۲۰۱۳) در ذرت و وئو و همکاران (۲۰۱۴) در گندم نیز گزارش شده است (۳۰، ۴۸).

**محتوای مالون دی آلدئید:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به صفت مالون دی آلدئید، تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، ولی تأثیر اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن بر این صفت معنی دار نگردید (جدول ۳). بیش ترین میزان مالون دی آلدئید در شرایط قطع آبیاری مشاهده شد که

به نظر می رسد کاهش RWC، ناشی از کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه ها در شرایط خشک باشد (۴۱). در مطالعات انجام شده در گلرنگ و جو نیز کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که مطابق با نتایج تحقیق حاضر است (۲۸، ۳۴). مولیبدن با تنظیم اسمزی از طریق افزایش تجمع اسمولیت هایی مانند پرولین و پروتئین محلول و کاهش آسیب به غشای سلول و افزایش ثبات و پایداری آن باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ ها می شود (۴۸). یوئه و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش نمودند مولیبدن با تأثیر بر سنتز هورمون ABA و بستن روزنه ها از اتلاف آب از مسیر تعرق جلوگیری کرده و باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ می شود (۴۹).

**هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ ها:** تیمارهای آبیاری و محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن تأثیر معنی داری بر صفت هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ در سطح احتمال یک درصد داشت ولی تأثیر اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن بر این صفت معنی دار نگردید (جدول ۳). قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل موجب افزایش معنی دار میزان نشت الکترولیت ها در برگ های کلزای پاییزه گردید. با اعمال تنش خشکی آخر فصل میزان نشت الکترولیت ها به بیرون از سلول در برگ های کلزا در حدود ۵۷/۵۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵). بیش ترین میزان نشت الکترولیت ها در برگ های کلزای پاییزه در تیمار عدم محلول پاشی مشاهده گردید. در حالی که با انجام محلول پاشی بوته ها با غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن، میزان هدایت الکتریکی برگ های کلزای پاییزه کاهش یافت که این کاهش به ترتیب در حدود ۱۶/۵۵ و ۱۱/۱۲ درصد نسبت به تیمار عدم محلول پاشی بود (جدول

نشان‌دهنده افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در شرایط تنش می‌باشد. اگرچه، با قطع آبیاری در مرحله گلدهی مقدار مالون‌دی‌آلدهید نسبت به شرایط آبیاری کامل ۴۱/۹۱ درصد افزایش یافت (جدول ۵)، اما انجام محلول‌پاشی بوته‌ها با نانوآکسید مولیبدن در هر دو غلظت، منجر به کاهش معنی‌دار مقدار مالون‌دی‌آلدهید گردید. محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن به ترتیب باعث کاهش ۱۵/۱۱ و ۱۲/۱۳ درصدی مالون‌دی‌آلدهید نسبت به تیمار شاهد شد. اگرچه بین دو غلظت از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید با کاربرد ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن به دست آمد (جدول ۵).

افزایش تولید ترکیباتی چون مالون‌دی‌آلدهید در اثر تنش خشکی در سطح سلولی، یکی از نشانه‌های پراکسیده شدن چربی‌های دیواره سلولی و شدت تنش اکسایشی است، زیرا افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در اثر تنش‌های محیطی و واکنش‌پذیری بالای آن‌ها منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و در نتیجه وارد آمدن خسارت به غشا می‌شود (۱۰). افزایش تولید مالون‌دی‌آلدهید در اثر تنش خشکی در سویا و گندم نیز گزارش شده است (۴۸،۹). کاربرد مولیبدن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول در ذرت شد (۳۰) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

**ارتفاع بوته:** برطبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آبیاری، محلول‌پاشی با نانوآکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی با نانوآکسید مولیبدن در سطح احتمال پنج درصد بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۶). انجام آبیاری کامل و معمول منطقه سبب طولی شدن

بوته‌های کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار قطع آبیاری گردید (شکل ۲ الف). نتایج حاصل از برش‌دهی (جدول ۴) نشان داد که در هر دو سطوح آبیاری، غلظت‌های مختلف نانوآکسید مولیبدن اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کلزا داشت. در شرایط تنش خشکی تیمار عدم محلول‌پاشی کم‌ترین ارتفاع بوته را دارا بود، اما با انجام محلول‌پاشی بوته‌های کلزای پاییزه با غلظت‌های مختلف نانوآکسید مولیبدن سبب شد تا ارتفاع بوته‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد. بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن و آن هم بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۲ الف). در شرایط آبیاری کامل کاربرد غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌های کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد گردید. اما بین تیمار شاهد و کاربرد غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲ الف). در شرایط آبیاری کامل، با افزایش غلظت نانوآکسید مولیبدن از ۲۵ به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر مثبت و معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده نشد که این امر نشان‌دهنده آن است که در این شرایط گیاه به غلظت پایین مولیبدن برای بهبود رشد رویشی نیاز دارد.

علت کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی، کاهش شاخص کلروفیل (شکل ۱) و در نتیجه اختلال در فرایند فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه می‌باشد، این امر در نهایت باعث توقف طولی شدن سلول‌ها و کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (۶).

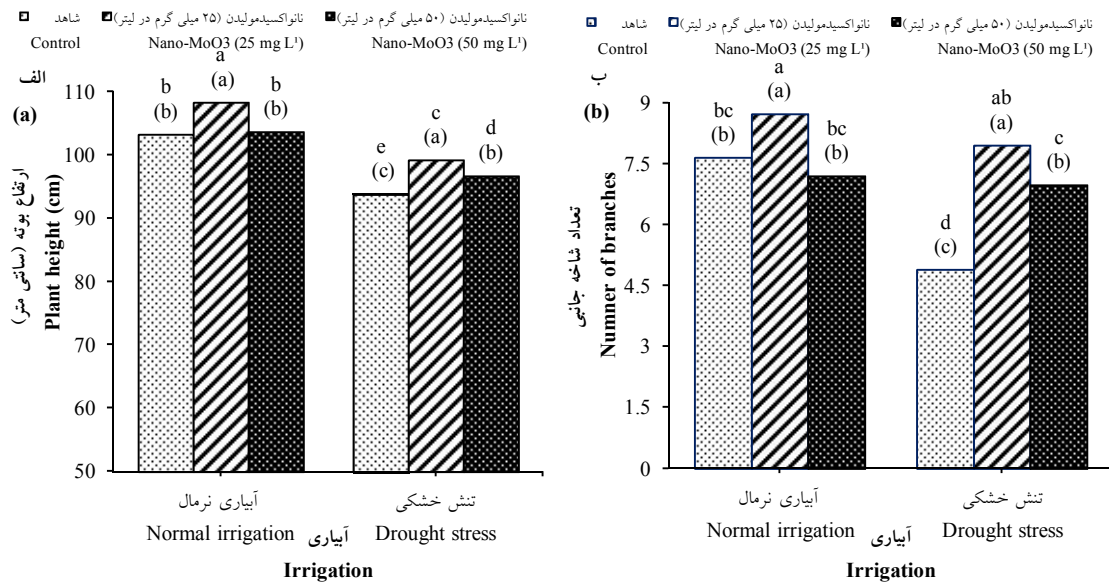
جدول ۶ - تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و نانو اکسید مولیبدن بر صفات زراعی و عملکردی کلزا

Table 6. Analysis of variance the effects of irrigation and molybdenum oxide nanoparticles (Nano MoO<sub>3</sub>) treatments on agronomic and yield traits of oilseed rape

منابع تغییرات S.O.V		میانگین مربعات mean of squares									
درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of branches	تعداد خورجین در بوته Pods per plant	تعداد دانه در خورجین Grains per pod	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	
2	0.236	0.55	31.98	1.40	0.0094	0.16756	6504.1	1.4405	1.101	1164.07	
1	325**	7.031**	982.7**	68.83**	6.906**	5.38466*	80264**	3.633 <sup>ns</sup>	53.52*	27144**	
2	1.42	0.37.4	38.67	2.068	0.014	0.035972	665.16	0.429	0.207	393.4	
2	41.71**	6.507**	975.5**	40.98**	0.229*	1.097214	10667**	2.607 <sup>ns</sup>	2.901 <sup>ns</sup>	26153**	
2	2.76*	2.701*	73.40*	3.81 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	1.242296*	120060*	4.863 <sup>ns</sup>	0.213 <sup>ns</sup>	18898*	
8	0.440	0.343	15.09	1.73	0.050	0.226402	20707	2.62	0.784	4022.82	
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)											
	6.5	8.04	3.55	8.18	6.63	6.81	6.22	4.89	2.23	6.89	

\*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می باشد.

\* \*\* and <sup>ns</sup> are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant respectively



شکل ۲- تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید مولیبدن بر ارتفاع بوته (الف) و تعداد شاخه‌های جانبی (ب) کلزا (میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد)

Figure 2- The effects of irrigation and foliar application of molybdenum oxide nanoparticles treatments on plant height (a) and the number of branches (b) oilseed rape (The means with the same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $p \leq 0.05$ ). The letters outside the parentheses show the mean comparison of overall interactions and the letters inside the parentheses show the mean comparison by slicing method)

محلول‌پاشی با نانواکسید مولیبدن (سطح احتمال یک درصد) و نیز اثر متقابل آبیاری × نانواکسید مولیبدن (سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت. نتایج حاصل از برش‌دهی (جدول ۴) نشان داد که غلظت‌های مختلف نانومولیبدن در هر دو سطوح آبیاری، اثر معنی‌داری بر شاخه جانبی کلزا داشتند. قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل موجب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در کلزای پاییزه گردید (شکل ۲ ب). در شرایط آبیاری کامل، بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی متعلق به تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسید مولیبدن بود که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار عدم‌کاربرد بود. در این شرایط، بین تیمار شاهد و تیمار کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسید مولیبدن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اما در شرایط قطع آبیاری، محلول‌پاشی غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر

همچنین، در شرایط کمبود آب ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلولی ارتفاع گیاه کم می‌شود (۲۹). حسین و همکاران (۲۰۱۸) در آفتابگردان و نصراله‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) در ذرت گزارش نمودند که در اثر اعمال تنش خشکی، ارتفاع بوته در این گیاهان کاهش می‌یابد که مطابق نتایج این پژوهش است (۲۱، ۳۳). نانواکسید مولیبدن با افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ (شکل ۱)، باعث افزایش توان فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد رویشی در گیاه می‌شود (شکل ۲ الف). افزایش ارتفاع بوته در اثر محلول‌پاشی با نانواکسید مولیبدن توسط داشادی و همکاران (۲۰۲۰) در نخود و کندیل و همکاران (۲۰۱۳) در لوبیا نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۶).

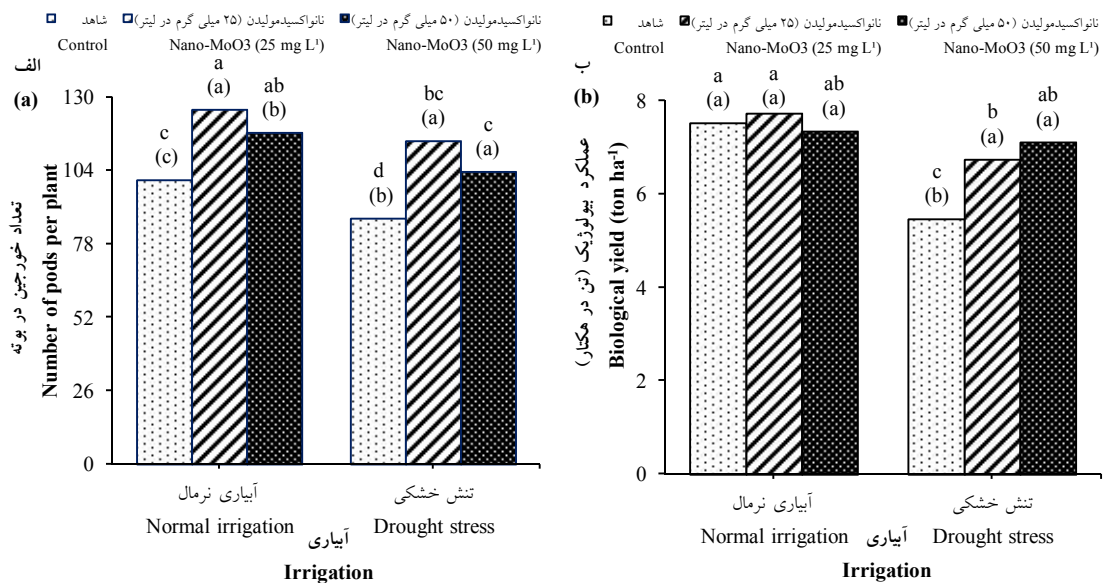
شاخه جانبی: بر طبق نتایج حاصل از جدول ۶، شاخه جانبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری،

افزایش معنی دار تعداد خورجین در بوته های کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد نانو اکسید مولیبدن شد. در بین تیمارهای محلول پاشی شده، بیشترین تعداد خورجین در بوته مربوط به بوته های محلول پاشی شده با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن بود که اختلاف معنی داری از نظر این صفت با تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن نداشت (شکل ۳ الف). اگرچه کاهش آب در مرحله گلدهی باعث کاهش ۱۳/۵۵ درصدی تعداد خورجین در بوته گردید، اما تحت این شرایط انجام محلول پاشی بوته های کلزا با غلظت های مختلف نانو اکسید مولیبدن سبب شد تا تعداد خورجین به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد. بیشترین تعداد خورجین در بوته در تیمار ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن مشاهده شد که به طور معنی داری بیش تر از تیمار شاهد بود. بین غلظت های نانو اکسید مولیبدن از نظر تعداد خورجین در بوته اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۳ الف).

کاهش در تعداد خورجین احتمالاً به دلیل کاهش در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی در زمان وقوع تنش در نتیجه کاهش شاخص سبزیگی (شکل ۱) و کمبود عرضه مواد فتوسنتزی برای تخصیص مناسب به خورجین های تولید شده و یا در حال رشد بوده است (۹). افزایش تعداد خورجین در بوته در اثر محلول پاشی با مولیبدن در نخود توسط داشادای و همکاران (۲۰۲۰) و در لوبیا توسط کندیل و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۶).

نانو اکسید مولیبدن موجب افزایش معنی دار تعداد شاخه های جانبی در بوته های کلزای پاییزه شد. در شرایط اعمال تنش خشکی نیز کاربرد غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید مولیبدن سبب تولید بیشترین تعداد شاخه جانبی گردید که به طور معنی داری بیش تر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود (شکل ۲ ب). یکی از دلایل کاهش تعداد شاخه جانبی در اثر اعمال تنش خشکی، کاهش شاخص سبزیگی (شکل ۱) است. کاهش کلروفیل منجر به کاهش میزان تولید مواد فتوسنتزی می شود که نتیجه آن کاهش گسترش اندام های رویشی از جمله شاخه های جانبی است. در اثر تنش خشکی کاهش تعداد شاخه جانبی در نخود و گندم و افزایش تعداد شاخه در اثر کاربرد مولیبدن در ماش و گندم نیز گزارش شده است (۴، ۳، ۱۷).

**تعداد خورجین در بوته:** طبق نتایج به دست آمده در جدول ۶، اثر تیمارهای آبیاری، محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی دار بود (جدول ۶). در تمام تیمارهای مورد مطالعه کمترین تعداد خورجین در بوته در تیمار تنش خشکی انتهای فصل مشاهده شد که به طور معنی داری کم تر از تیمار آبیاری کامل بود (شکل ۳ الف). نتایج حاصل از برش دهی (جدول ۴) نشان داد که هم در شرایط آبیاری کامل و هم در قطع آبیاری، تعداد خورجین در بوته به طور معنی داری تحت تأثیر غلظت های مختلف نانو اکسید مولیبدن قرار گرفت. در شرایط آبیاری کامل کاربرد غلظت های مختلف نانو اکسید مولیبدن موجب



شکل ۳- تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید مولیبدن بر تعداد خورجین در بوته (الف) و عملکرد بیولوژیک (ب) کلزا (میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد)

Figure 3- The effects of the irrigation and foliar application of molybdenum oxide nanoparticles treatments on the number of pods per plant (a) and biological yield (b) of oilseed rape (The means with the same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $p \leq 0.05$ ). The letters outside the parentheses show the mean comparison of overall interactions and the letters inside the parentheses show the mean comparison by slicing method)

عدم محلول‌پاشی بود. بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین (۱۷/۶۸ عدد) با کاربرد ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید مولیبدن به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود (جدول ۷). کاهش تعداد دانه در خورجین در کلزا به دلیل تأثیر منفی تنش بر گرده افشانی می‌باشد که باعث عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌گردد که این امر می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در خورجین باشد (۴۴). نانواکسید مولیبدن از طریق اثری که بر تشکیل گل و رشد و فعالیت دانه‌های گرده دارد بر تعداد دانه تشکیل شده موثر است (۲۵). براساس مطالعات انجام شده در نخود و سویا، تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف گردیده اما با انجام محلول‌پاشی بوته‌ها با مولیبدن این صفت افزایش یافت (۱۱، ۱۹).

**تعداد دانه در خورجین:** صفت تعداد دانه در خورجین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت ولی تأثیر اثر متقابل آبیاری  $\times$  نانواکسید مولیبدن بر روی این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۶). قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین گردید. در بوته‌های محلول‌پاشی نشده (شاهد) تعداد دانه در خورجین به‌طور معنی‌داری کم‌تر از بوته‌های محلول‌پاشی شده با نانواکسید مولیبدن بود. در حالی که محلول‌پاشی بوته‌ها با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانواکسید مولیبدن، سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین شد که این افزایش به ترتیب در حدود ۳۵/۱۶ و ۳۴/۱۰ درصد نسبت به تیمار

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آبیاری و نانو اکسید مولیبدن بر تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه کلزا

Table 7- Mean Comparison of the number of grains per pod, 1000-grain weight and Oil percentage of oilseed rape affected by irrigation and molybdenum oxide nanoparticles treatments

تیمارها Treatments	تعداد دانه در خورجین Number of grains per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	درصد روغن (درصد) Oil percentage (%)
آبیاری کامل Normal irrigation	18.05 a	4.0 a	41.35 a
تنش خشکی Drought stress	14.14 b	2.7 b	37.91 b
شاهد (صفر) Control	13.08 b	3.27 b	39.74 a
۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن 25 mg L <sup>-1</sup> Nano MoO <sub>3</sub>	17.68 a	3.60 a	40.27 a
۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن 50 mg L <sup>-1</sup> Nano MoO <sub>3</sub>	17.53 a	3.26 b	38.89 a

در هر ستون میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری باهم ندارند.

In each column, means with similar letter are not significantly different based on the LSD test at 5% probability level.

پایین بودن شاخص سبزیگی برگها (شکل ۱)، کاهش فرایند فتوسنتز و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی جهت پرشدن دانهها و همچنین، کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه می باشد (۴۲). در تحقیقات انجام شده در عدس و سویا کاهش وزن دانه در اثر تنش خشکی نیز گزارش شده است که با یافته های این تحقیق مطابقت دارد (۱۹، ۴۵). در اثر استفاده از ریزمغذی مولیبدن در گیاه گندم و سویا، وزن هزاردانه نیز به طور معنی داری افزایش یافت که با یافته های این تحقیق مطابقت دارد (۱۷، ۱۹).

**عملکرد بیولوژیک:** تأثیر سطوح آبیاری، محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن و اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۶). با قطع آبیاری در مرحله گلدهی، عملکرد بیولوژیک کلزا کاهش یافت. در بین تیمارهای مورد مطالعه کمترین میانگین عملکرد بیولوژیک (۵/۴۶ تن در هکتار) در تیمار تنش خشکی بدون محلول پاشی مشاهده شد که به طور معنی داری کم تر از عملکرد بیولوژیک (۷/۵۲ تن در هکتار) در تیمار آبیاری کامل بود (شکل ۳ ب). در شرایط آبیاری کامل محلول پاشی بوته ها با غلظت ۲۵

**وزن هزاردانه:** صفت وزن هزاردانه کلزا به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) و محلول پاشی با نانو اکسید مولیبدن (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت ولی تأثیر اثر متقابل آبیاری × نانو اکسید مولیبدن بر این صفت معنی دار نگردید (جدول ۶). قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل موجب کاهش معنی دار وزن هزاردانه شد، به طوری که میانگین وزن هزاردانه کلزا از ۴ گرم به ۲/۷ گرم کاهش یافت. کمترین وزن هزاردانه در تیمار عدم محلول پاشی مشاهده گردید، در حالی که انجام محلول پاشی بوته ها با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن، سبب شد تا وزن هزاردانه کلزا به طور معنی داری نسبت به تیمار عدم محلول پاشی افزایش یابد. بین تیمار شاهد و محلول پاشی با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۷).

وزن هزاردانه آخرین جزء از اجزای عملکرد است که تعیین می شود و تنها جزئی از اجزای عملکرد است که به شرایط محیطی دوره پس از گلدهی بستگی دارد (۲۷). دلیل پایین بودن وزن هزاردانه در تیمار قطع آبیاری در طول دوره گلدهی،

با نانوآکسید مولیبدن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری  $\times$  محلول پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۶). در تمام تیمارهای مورد مطالعه، عملکرد دانه کلزا با قطع آبیاری در مرحله گلدهی به طور معنی داری کاهش یافت (شکل ۴ الف). در شرایط آبیاری کامل محلول پاشی بوته های کلزای پاییزه با غلظت های مختلف نانوآکسید مولیبدن موجب افزایش عملکرد دانه کلزا گردید. بیش ترین عملکرد دانه (۲۵۴۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به بوته های محلول پاشی شده با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن بود که اختلاف معنی داری با سایر تیمار های مورد مطالعه نداشت. نتایج برش دهی (جدول ۴) نشان داد که فقط در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل، کاربرد غلظت های مختلف نانوآکسید مولیبدن، اثر معنی داری بر عملکرد دانه کلزا داشت. با وجود کاهش ۲۴/۳۵ درصدی عملکرد دانه با قطع آبیاری در مرحله گلدهی، محلول پاشی بوته های کلزا با غلظت های مختلف نانوآکسید مولیبدن سبب شد تا عملکرد دانه به طور معنی داری در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی افزایش یابد. در این شرایط، عملکرد دانه در بوته های محلول پاشی شده با غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب در حدود ۲۸/۳۷ تا ۲۳/۲۴ درصد نسبت به عملکرد دانه بوته های شاهد افزایش یافت (شکل ۴ الف).

کمبود آب در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر تشکیل خورجین (شکل ۳ الف) و وزن هزاردانه (جدول ۷)، موجب کاهش عملکرد دانه در کلزا شد؛ زیرا زمان گل دهی، زمان تشکیل مخازن فیزیولوژیک و زمان تعیین ظرفیت برای ذخیره سازی عرضه فتوسنتز است (۱۴). از آنجایی که عدم دسترسی به آب کافی در مرحله گل دهی باعث کاهش این مخازن می شود، عملکرد کلزا به طور قابل توجهی کاهش می یابد (۱۵). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در عدس و

میلی گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در کلزای پاییزه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ میلی گرم بر لیتر نانوآکسید مولیبدن شد، اما اختلاف معنی داری بین غلظت های مختلف نانوآکسید مولیبدن مشاهده نگردید. نتایج برش دهی (جدول ۴) نشان داد که فقط در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل، کاربرد غلظت های مختلف نانوآکسید مولیبدن اثر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک کلزا داشت. در شرایط قطع آبیاری، محلول پاشی بوته های کلزا با نانوآکسید مولیبدن سبب افزایش معنی دار عملکرد بیولوژیک گردید. با افزایش غلظت نانوآکسید مولیبدن عملکرد بیولوژیک نیز افزایش یافت به طوری که بیش ترین عملکرد بیولوژیک در بوته های محلول پاشی شده با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد؛ اما، بین تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳ ب).

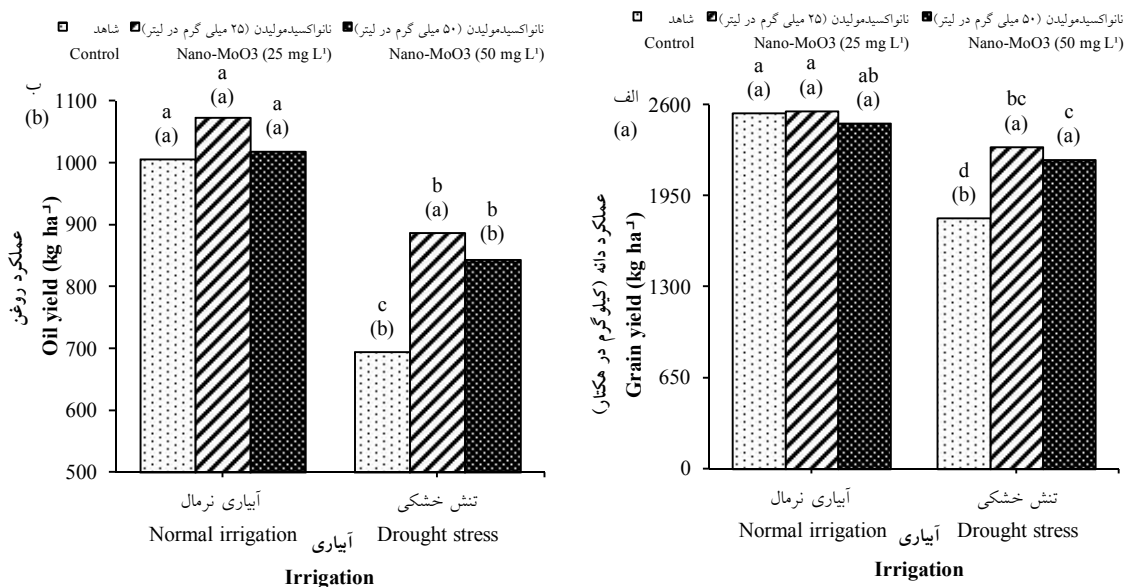
در شرایط تنش خشکی، پیری زودرس اندام های فتوسنتز کننده و همچنین، کم شدن فتوسنتز جاری باعث کاهش کل زیست توده گیاه می شود (۳۵). کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی در نخود و عدس نیز گزارش شده است (۱۱، ۴۶). افزایش ۲۰/۹ و ۱۵/۳ درصدی عملکرد بیولوژیک بوته های کلزا در اثر محلول پاشی با نانوآکسید مولیبدن می تواند ناشی از افزایش ارتفاع بوته (شکل ۲ الف) و تعداد شاخه جانبی (شکل ۲ ب) باشد. نتایج تحقیقات حسن پور و همکاران (۲۰۱۵) در گندم و کنجد و همکاران (۲۰۱۳) در لوبیا نیز، افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر کاربرد مولیبدن را نشان دادند (۱۷، ۲۶).

**عملکرد دانه:** براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها (جدول ۶)، صفت عملکرد دانه به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، محلول پاشی



بالتر می‌باشند، به دلیل دارا بودن تعداد برگ بیش تر و در نتیجه داشتن سطح فتوسنتزکننده بالاتر، دارای عملکرد دانه بیش تری نیز می‌باشند (۴۰). افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از مولیبدن در گندم توسط حسن پور و همکاران (۲۰۱۵) و در لوبیا توسط کندیل و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است (۱۷، ۲۶).

ذرت نیز مشاهده شده است (۳۳، ۴۵). این افزایش می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت نانو اکسید مولیبدن در بهبود ارتفاع بوته (شکل ۲ الف)، تعداد خورجین در بوته (شکل ۳ الف)، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه (جدول ۷) باشد. شیخ و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند بوته‌هایی که دارای ساقه‌هایی با ارتفاع



شکل ۴- تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با نانو اکسید مولیبدن بر عملکرد دانه (الف) و عملکرد روغن دانه (ب) کلزا (میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد)

Figure 4- The effects of irrigation and foliar application of molybdenum oxide nanoparticles treatments on grain yield (a) and grain oil yield (b) of oilseed rape (The means with the same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $p \leq 0.05$ ). The letters outside the parentheses show the comparison of overall mean interactions and the letters inside the parentheses show the mean comparison by slicing method)

آبیاری، محلول‌پاشی با نانو اکسید مولیبدن (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آبیاری  $\times$  محلول‌پاشی (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت (جدول ۶). قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش معنی‌دار درصد روغن نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید. درصد روغن دانه در اثر قطع آبیاری در حدود ۸/۳۱ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۷). اگرچه کاربرد نانو اکسید مولیبدن به‌طور معنی‌داری بر درصد روغن کلزا را تحت تأثیر قرار نداد، اما بوته‌های کلزای محلول‌پاشی شده با غلظت ۲۵

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی با نانو اکسید مولیبدن و اثر متقابل آبیاری  $\times$  محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (جدول ۶).

درصد روغن و عملکرد روغن: فقط تأثیر تیمار آبیاری بر صفت درصد روغن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود؛ اما محلول‌پاشی با نانو اکسید مولیبدن و اثر متقابل آبیاری  $\times$  محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت. عملکرد روغن دانه کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای

رسیدگی از طریق تأثیر بر وزن هزاردانه (جدول ۷) باعث کاهش درصد روغن دانه می‌شود (۷). کاهش درصد روغن دانه در اثر قطع آبیاری در مرحله گلدهی در پنبه و گلرنگ نیز گزارش شده است (۲۴، ۳۹). صفت عملکرد روغن دانه حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه است. قطع آبیاری در مرحله گلدهی با تأثیر بر ارتفاع بوته (شکل ۲ الف)، تعداد خورجین در بوته (شکل ۳ الف) و تعداد دانه در خورجین (جدول ۷) باعث کاهش عملکرد و متعاقباً عملکرد روغن دانه گردید. افزایش ۲۷/۷۱ و ۲۱/۵۲ درصدی عملکرد روغن دانه ی کلزا در شرایط قطع آبیاری به‌ترتیب با کاربرد غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن می‌تواند به تأثیر مثبت نانوآکسید مولیبدن در افزایش عملکرد دانه (شکل ۴ الف) مربوط باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش شاخص سبزی‌نگی و محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها و مالون‌دی‌آلدید در بوته‌های کلزا گردید که این موضوع موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شد. اما در این شرایط، با انجام محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با نانوآکسید مولیبدن تأثیر منفی ناشی از تنش خشکی کاهش یافته حتی موجب افزایش صفات فیزیولوژیک و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشا شده و در نتیجه بهبود این صفات باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی کلزا گردید. محلول‌پاشی غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی (قطع آبیاری از زمان گلدهی) مؤثر بودند، به‌طوری که بیش‌ترین میزان شاخص سبزی‌نگی، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد دانه و عملکرد

میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن درصد روغن بیش‌تری نسبت به بوته‌های شاهد داشتند. عدم تأثیر معنی‌دار مولیبدن بر درصد روغن در آفتابگردان نیز گزارش شده است (۴۳). نتایج برش‌دهی (جدول ۴) نشان داد که فقط در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل، کاربرد غلظت‌های مختلف نانوآکسید مولیبدن، اثر معنی‌داری بر عملکرد روغن دانه‌ی کلزا داشت. در تمام تیمارهای مورد مطالعه با اعمال تنش خشکی انتهای فصل، عملکرد روغن دانه ی کلزا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد روغن دانه با انجام آبیاری کامل حاصل شد (شکل ۴ ب). در شرایط آبیاری کامل، انجام محلول‌پاشی بوته‌ها با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن موجب افزایش عملکرد روغن دانه گردید؛ اما بین تیمار عدم‌کاربرد و تیمارهای محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۴ ب). اگر چه قطع آبیاری در مرحله انتهای فصل باعث کاهش ۳۰/۹۶ درصدی عملکرد روغن گردید، اما محلول‌پاشی بوته‌های کلزا با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن دانه شد. بیش‌ترین عملکرد روغن از دانه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از عملکرد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های شاهد بود اما اختلاف معنی‌داری با عملکرد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسید مولیبدن در این شرایط نداشت (شکل ۴ ب).

در طول دوره پر شدن دانه ابتدا پروتئین و سپس روغن تشکیل می‌شود. تنش خشکی با تسریع

خشکی می شود. به نظر می رسد که غلظت بهینه محلول پاشی مولیبدن در این گیاه در حدود ۲۵ میلی گرم بر لیتر باشد. به عبارت دیگر، مولیبدن در غلظت های کم مورد نیاز گیاه بوده و مقادیر بالاتر آن از نظر تأثیر گذاری بر رشد و عملکرد گیاه و نیز اقتصادی سودمند نخواهد بود. براین اساس می توان مقادیر کم مولیبدن را به منظور کاهش خسارت ناشی از خشکی به کشاورزان توصیه کرد.

روغن و همچنین، کم ترین میزان مالون دی آلدئید و هدایت الکتریکی در تیمار محلول پاشی با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو اکسید مولیبدن هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط قطع آبیاری به دست آمد ولی درصد افزایش و یا کاهش این صفات در شرایط تنش بیش از شرایط آبیاری کامل بود. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد محلول پاشی بوته های کلزا با غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید مولیبدن باعث بهبود رشد و عملکرد کلزا به ویژه تحت شرایط تنش

### منابع

- and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. J. Crop. Improv. 20: 1. 31-43. (In Persian)
- Ashraf, M., and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environ. Exp. Bot. 63: 1-3. 266-273.
  - Aytac, Z., Gulmezoglu, N., Sirel, Z., Tolay, I., and Torun, A.A. 2014. The effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca. 42: 1. 202-208.
  - Bahrololomi, S., Raeini Sarjaz, M., and Pirdashti, H. 2019. The effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes, malondialdehyde, soluble protein and leaf total nitrogen contents of soybean (*Glycine max* L.). Environ. Stresses Crop Sci. 12: 1. 17-28. (In Persian)
  - Daei, H.P., Zhang, P.P., Lu, C., Gia, G.L., Song, H., Ren, X.M., Chen, J., Wei, A.Z., Feng, B.L., and Zhang, S.Q. 2011. Leaf senescence and reaction oxygen species metabolism of Broomcornmillet (*Panicum miliaceum* L.) under drought condition. Aust. J. Crop Sci. 5: 12. 1655-1660.
  - Dashadi, M., and Rasaei, A. 2020. Investigation of different levels of molybdenum and nitrogen on yield and
  - Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L., and Dai, T. 2018. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). Sci. Rep. 8: 1. 1-15.
  - Ahmadi, B., Shirani Rad, A.H., and Khorgami, A. 2014. The effect of plant population densities and cultivars on forage yield, qualitative traits and growth indices in canola forage (*Brassica napus* L.). Eur. J. Zool. Res. 3: 1. 62-70.
  - Ali Khan, Q., Alam, S., Farooq, M., Wakeel, A., and Haider, F.U. 2019. Monitoring the role of molybdenum and seed priming on productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.). J. Res. Ecol. 7: 1. 2417-2427.
  - Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., and Gangali, A. 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on morphological traits and yield components of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions. Iranian J. Field Crops Res. 8: 1. 157-166. (In Persian)
  - Andrade, F.H., and Ferreiro, M.A. 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. Field Crop Res. 48: 155-165.
  - Ardehshiri, T., and Jahan Bin, S. 2018. Effect of foliar application of nano-iron

21. Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., and Nawaz, A. 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agric. Manage. Water*. 201: 152-166.
22. ISTA. 2017. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
23. Jaber, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R., and Abdollahi, A. 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phenological stages. *Sci. Agric*. 12: 3. 144-148.
24. Kafi, M., and Rostami, M. 2009. Yield characteristics and oil content of three safflowers. *J. Field Crops Res*. 5: 1. 121-132. (In Persian)
25. Kamali Moghadam, A., Ghanavati, N., and Malakuti, M. 2015. The influence of fertilizers ammonium molybdate and sodium silicate on the quantity and quality of wheat. *Crop Physiol. J*. 27: 7. 95-103. (In Persian)
26. Kandil, H., Gad, N., and Abdelhamid, M.T. 2013. Effects of different rates of phosphorus and molybdenum application on two varieties common bean of (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Technol*. 3: 3. 8-16.
27. Koochaki, A., and Sarmadnia, G. 2008. Crop physiology. *Jehad Daneshgahi Publication of Mashhad*. 467 p. (Translated in Persian)
28. Kurowska, M.M., Wiecha, K., Gajek, K., and Szarejko, I. 2019. Drought stress and re-watering affect the abundance of TIP aquaporin transcripts in barley. *Plos one*. 14: 12. 1-16.
29. Lalinia, A.A., Hoseini, N.M., Galostian, M., Bahabadi, S.E., and Khameneh, M.M. 2012. Echophysiological impact of water stress on growth and development of mung bean. *Int. J. Agron. Plant Prod*. 3: 12. 599-607.
30. Liu, Y., Li, Y., Zhang, J., Xiao, Y., Yue, Y., Duan, L., Zhang, M., and Li, Z. 2013. Overexpression of Arabidopsis molybdenum cofactor sulfurase gene confers drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Plos One*. 8: 1. 1-12.
- yield components of chickpea cultivars. *Crop Physiol. J*. 46: 12. 81-96. (In Persian)
12. DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol*. 5: 2. 91.
13. Ekinci, M., Dursun, A., Yildirim, E., and Parlakova, F. 2014. Effects of nanotechnology liquid fertilizers on the plant growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 13: 3. 135-141.
14. Emam, Y., and M. Niknejhad. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. 571 p. (In Persian)
15. Godarzi, A., Bazrafshan, F., Zare, M., Faraji, H., and Safahani Langeroodi, A.R. 2017. Studying the effect of drought stress on yield and physiological characteristics in genotypes of canola (*Brassica napus* L.). *Helix*. 7: 2. 1250-1258.
16. Hansel, F.D., Amado, T.J.C., Diaz, D.A.R., Rosso, L.H.M., Nicoloso, F.T., and Schorr, M. 2017. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. *Agron. J*. 109: 6. 2936-2944.
17. Hasanpor, J., Kanani, S., and Teimouri, S. 2015. Effects of molybdenum (Mo) spraying on morphophysiological characteristics of wheat under drought stress condition. *Agron. J*. 28: 106. 45-54. (In Persian)
18. Heath, R.L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys*. 125: 1. 189-198.
19. Heidarzade, A., Esmaeili, M., Bahmanyar, M., and Abbasi, R. 2016. Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. *J. Exp. Biol. Agric. Sci*. 4: 1. 37-46.
20. Holaday, A.S., Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1992. Effects of water deficit on gas-exchange parameters and ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase activation in wheat. *Environ. Exp. Bot*. 32: 4. 403-410.

- hirsutum* L.) under drought stress and normal conditions using GGEBiplot and GTBiplot method in birjand. J. Crop Breed. 8: 19. 144-134. (In Persian)
40. Sheikh, F., Toorchee, M., Valizadeh, M., Sakiba, M.R. and Pasban Eslam, B. 2005. Evaluation of drought tolerance in spring rapeseed (*Brassica* sp.). J. Agri. Knowl. 15.1: 163-174. (In Persian)
  41. Siddique, M.R.B., Hamidand, A., and Islam, M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. 41: 35-39.
  42. Sinaki, J., Majidi Heravan, M.E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 2: 417-422.
  43. Skarpa, P., Kunzova, E., and Zukalova, H. 2013. Foliar fertilization with molybdenum in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant. Soil Environ. 59: 4. 156-161.
  44. Tohidi-Moghaddam, M.J., and Pourdad, S.S. 2011. Genotype  $\times$  environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. Euphytica. 180: 3. 321-335.
  45. Vafaei, M., Parsa, M., Nezami, A., Ganjeali, A., and Noroozi Sharaf, A. 2019. Effect of drought stress on leaf chlorophyll fluorescence, yield, yield components and economic water use efficiency of selected lentil genotypes. J. Crop Improv. 21: 2. 131-148. (In Persian)
  46. Waraich, E.A., Ahmad, R., and Ashraf, M.Y. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Aust. J. Crop Sci. 5: 6. 764-777.
  47. Warner, K.J., and Jones, G.A. 2017. A population-induced renewable energy timeline in nine world regions. Energy Policy. 101: 65-76.
  48. Wu, S., Hu, C., Tan, Q., Nie, Z., and Sun, X. 2014. Effects of molybdenum on water utilization, antioxidative defense system and osmotic-adjustment ability in winter wheat (*Triticum*
  31. Malakouti, M. J., and Tehrani, M.M. 2005. The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of micro-element products has a major impact. Tarbiat Modares University Press. 398 p.
  32. Michel, D.C., Vasques, I.C.F., Araújo, G.D.C.R., Castro, J.L., Assis, L.L.R., Reis, R.H.C.L., Souza Silva, M.L., and Faquim, V. 2020. Influence of Molybdenum doses in inoculation and mineral fertilization in cowpea beans. Biosci. J. 36: 1. 102-112.
  33. Nasrollahzade, V., Yusefi, M., Ghasemi, A., and Bandehhagh, A. 2017. Grain yield, yield components and relative water content in maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress and two mycorrhizal fungi. J. Agri. Sci. Sustain Prod. 27: 4. 81-92. (In Persian)
  34. Pasban Eslam, B. 2020. Some eco-physiological and agronomic responses of several salinity tolerant safflower varieties to water deficit stress. J. Agri. Sci. Sustain Prod. 30: 2. 145-155. (In Persian)
  35. Pireivatlou, A.S., Dehdar Masjedlou, B., and Ramiz, T.A. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. Afr. J. Agric. Res. 5: 20. 2829-2836.
  36. Qin, S., Hu, C., Tan, Q., and Sun, X. 2017. Effect of molybdenum levels on photosynthetic characteristics, yield and seed quality of two oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Soil Sci. Plant Nutr. 63: 2. 137-144.
  37. Rana, M.S., Bhantana, P., Imran, M., Saleem, M.H., Moussa, M.G., Khan, Z., Khan, I., Alam, M., Abbas, M., Binyamin, R., and Afzal, J. 2020. Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. Ann. Environ. Sci. Toxicol. 4: 1. 32-44.
  38. Schutz, M., and Fangmeir, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. Environ Pollut. 114: 187-194.
  39. Sedigh, S., Zabet, M., Ghaderi, G., and Samadzadeh, A. 2017. Dentification of superior varieties of cotton (*Gossypium*

50. Zhang, M., Hu, C., Zhao, X., Tan, Q., Sun, X., Cao, A., and Zhang, Y. 2012. Molybdenum improves antioxidant and osmotic-adjustment ability against salt stress in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*). *Plant Soil*. 355: 1. 375-383.
49. Yue, Y., Zhang, M., Zhang, J., Duan, L., and Li, Z. 2011. Arabidopsis LOS5/ABA3 overexpression in transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* cv. *Xanthi-nc*) results in enhanced drought tolerance. *Plant Sci*. 181: 4. 405-411.
- aestivum*) under drought stress. *Plant Physiol. Biochem*. 83: 365-374.