به زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰
صفحه‌های ۱۲۶-۱۱۳

مقاله پژوهشی:

اثر محلول‌پاشی مواد نانو و اسید سالیسیلیک بر عملکرد کلزا بهاره تحت شرایط محدودیت آب

کامل ساجد گلجه[۱]، سعید خماری[۲*]، پریسا شیخ‌زاده مصدق[۳]، ناصر صباغ‌نیا[۴]، مهدی محب‌الدینی[۵]
۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۴. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۵. دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی مواد نانو و اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گیاه کلزا بهاره تحت شرایط محدودیت‌های مختلف آب انجام شد. برای این هدف آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیل در دو سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ و ۹۷- ۱۳۹۶ اجراشد. تیمارهای محدودیت آب شامل آبیاری کامل (تیمار شاهد) و قطع آبیاری در سه مرحله ساقه‌روی، گلدهی و دانه‌بندی و محلول‌پاشی مواد نانو به فرم نانودی‌اکسید سیلیکون ($nSiO_2$) در سه سطح صفر (شاهد)، ۶۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک (SA) در سه سطح صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار بودند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال بر صفات تعداد شاخه اصلی و فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه معنی‌دار بود. محدودیت آب منجر به کاهش تمام صفات مورداندازه‌گیری شد، با این حال کاربرد محلول‌پاشی منجر به بهبود صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. بالاترین عملکرد دانه به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش برابر ۲۷۰۵ و ۱۳۲۷ کیلوگرم در هکتار بود که از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون به‌همراه ۰/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در شرایط آبیاری نرمال به‌دست آمد و کم‌ترین میزان متعلق به عدم محلول‌پاشی در شرایط قطع آبیاری در مراحل گلدهی و ساقه‌روی بود.

کلیدواژه‌ها: اسید سالیسیلیک، عملکرد، کلزا، محدودیت آب، نانودی‌اکسیدسیلیکون.

The Effect of Foliar Application of Nano Material and Salicylic Acid on Spring Rapeseed Yield under Water Limitation Condition

Kamel Sajed Gollojeh[1], Saeid Khomari[2*], Parisa Sheikhzade-Mosadegh[3], Naser Sabaghnia[4], Mehdi Mohebodini[5]
1. Ph.D. Student, Department of Production and Plant Genetic Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Associate Professor, Department of production and Plant genetic engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. Assistant Professor, Department of production and Plant genetic engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4. Professor, Faculty of Agriculture, Department of Crop Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
5. Associate Professor Department of Horticulture, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Received: March 5, 2020 Accepted: July 29, 2020

Abstract
The present research is carried out to study the effects of foliar application of Nano material and Salicylic acid (SA) on some agronomy, yield, and yield components of spring rapeseed under different water limitation treatments. For this subject an experiment has been conducted as split plot based on a randomized complete block design with four replications at the research fields of Faculty of Agriculture and natural resource of Mohaghegh Ardabili University, during 2017 and 2018 growing years. Water limitation treatments include full irrigation (control), irrigation termination at stem elongation, flowering and *seed formation* stages, and foliar spray of Nano-Material in form of Nano-silicon dioxide ($nSiO_2$) at three levels of zero (control), 60, and 300 $mg.L^{-1}$ as well as salicylic acid (SA) at three levels of zero (control), 0.5, and 2.5 mM. The results of combined analysis show that the effect of year has been significant on main branch and sub branches number per plant, number of pod per plant, number of seed per pod, and seed yield traits. Water limitation has decreased all studied treats, so the foliar application improves growth traits, yield, and yield components of rapeseed plants. The highest seed yields have been 2705 and 3271 $kg.h^{-2}$, in first and second experiment years, respectively, which are from applying 300 $mg.L^{-1}$ with 0.5 $nSiO_2$ and/or 2.5 mM of SA at normal irrigation (control treatment). The lowest rate belongs to non-foliar application especially at irrigation termination at stem elongation, flowering stages.

Keywords: Nano Silicon dioxide, rapeseed, salicylic acid, water stress, yield.

* نویسنده مسئول Email: saeid.khomari@uma.ac.ir

۱. مقدمه

میزان آب قابل‌دسترس روزبه‌روز در حال کاهش است و این در حالی است که افزایش روزافزون تقاضا برای غذا به یکی از چالش مهم در سطح جهان تبدیل شده است (Warner & Jones, 2017). در نواحی مدیترانه‌ای نیمه‌خشک، محدودیت آب اغلب در مراحل بحرانی رشد گیاهان بهاره رخ می‌دهد و این محدودیت می‌تواند بر فرایندهای مختلف در گیاه از جمله دهیدراسیون سلول، ممانعت از توسعه و تقسیم سلول، طویل‌شدن ساقه، اندازه برگ، توسعه و گسترش ریشه، تغییرات روزنه‌ای، جذب عناصر غذایی در گیاهان اثرگذار بوده (Kaushal & Wani, 2016) و در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز و عملکرد نهایی شود (Khan *et al*., 2017). در بین گیاهان دانه روغنی، کلزا با ۱۸/٦ درصد از سطح برداشت، بالاترین میزان تولید (۱۸۰ هزار تن) را در سطح کشور دارد، با این‌حال با توجه به نیاز بالای کشور، بیش از ۹۰ درصد نیاز به روغن خوراکی از طریق واردات تأمین می‌شود (Anonymous, 2018). کلزا گیاه زراعی دانه روغنی غالب در ایران بوده و خطرات تولید پایین‌تری در مقایسه با سایر گیاهان دارد، لذا می‌تواند نقطه امیدی در توسعه کشت این گیاه در جهت تأمین روغن خام موردنیاز کشور به‌شمار رود (Sabaghnia *et al*., 2011).

عوامل تعیین‌کننده میزان محصول کلزا براساس اهمیت در چهار گروه اصلی ۱- منابع و آب و هوا، ۲- مدیریت و ژنتیک، ۳- کارایی زراعی و ٤- عوامل اجزای عملکرد قرار دارند (Assefa *et al*., 2018). گروه اول اساسی‌ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد بوده و سایر گروه‌ها را نیز تحت شعاع خود قرار می‌دهد، با این حال، محققین دریافته‌اند در کنار استفاده از ارقام و هیبریدهای متحمل به محیط‌های تنش‌زا، به‌کارگیری صحیح شیوه‌های به‌زراعی مانند تغذیه مناسب، مصرف تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و عناصر دخیل در بهبود مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، نقش مهمی در بهبود رشد و عملکرد کلزا به‌همراه مصرف بهینه آب آبیاری ایفا می‌کنند (Jones *et al*., 2016; Assefa *et al*., 2018).

اسید سالیسیلیک به‌صورت یک ملکول پیام‌رسان توانایی تنظیم جنبه‌های متعدد از پاسخ‌های گیاهی به تنش‌های زنده و غیرزنده را از طریق تشدید هم‌شنوایی[1] پیام‌رسانی با سایر مواد رشدی دارد (Jayakannan *et al*., 2015) و می‌تواند اثرات محافظتی در پاسخ گیاه به عوامل تنش‌زا تولید کند. تنظیم هدایت روزنه‌ای، روابط آب گیاه، جذب عناصر غذایی و دخالت در مکانسیم‌های تحمل گیاه به تنش از جمله اثرات اسید سالیسیلیک است (Hayat *et al*., 2010). اثرات مفید کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک روی گیاهان مختلف زراعی تحت محیط‌های تنش‌زا گزارش شده است. طی آزمایشی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاه کلزا منجر به بهبود رشد، عملکرد و ویژگی‌های مختلف مورفولوژیک در شرایط تنش‌زا شد (Parashar *et al*., 2014).

در سال‌های اخیر کاربردهای زراعی از ذرات نانو مفید در پژوهش‌های مزرعه‌ای موردتوجه قرار گرفته است، در میان نانوذرات، نانوسیلیکون توجه بیش‌تری را در بین سال‌های اخیر به‌دست آورده است (Janmohammadi *et al*., 2017). از طرفی مؤسسه بین‌المللی تغذیه گیاه[2] سیلیکون را به فهرست عناصر غذایی مفید اضافه کرده است (Ouellette *et al*., 2017). توافق عمومی مبنی بر اثرات مثبت کاربرد سیلیکون در فرم‌های مختلف بر رشد و نمو گیاهان به‌ویژه تحت شرایط محدودیت آب وجود دارد و بهبود عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله کلزا مشاهده شده است (Baybordi, 2016).

1. Cross Talk
2. International plant nutrition institute

سیلیکون سهم بالایی در بهره‌وری مناسب آب توسط گیاهان از طریق بهبود پتانسیل آب برگ، سرعت و میزان تعرق و فتوسنتز تحت شرایط تنش‌های غیرزنده دارد (Shen *et al*., 2010). ایجاد تحمل به تنش محدودیت آبی با مصرف سیلیکون به‌همراه آب آبیاری به دلیل وجود روابط بهبوددهنده[1] بین آنها، ثبات گیاه را در برابر محدودیت آب افزایش می‌دهد (Ahmed *et al*., 2011).

هورمون‌های گیاهی نقش تنظیم کارکردهای مختلف در گیاه را برعهده دارند، با این‌حال پژوهش‌ها نشان می‌دهند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در مقادیر مناسب می‌توانند به بهبود این کارکردها کمک کنند. از طرفی علی‌رغم قرارنگرفتن عنصر سیلیکون در بین عناصر ضروری، نقش موثر این عنصر در بهبود کارکردهای گیاهی به‌ویژه در شرایط تنش‌زا محیط ثابت شده است. لذا پژوهش اخیر با هدف روشن‌ساختن این اثرات در برخی خصوصیات رویشی و عملکرد کلزا با اعمال محدودیت آب انجام یافت.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ انجام یافت. محل اجرا با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ درجه شرقی در ارتفاع ۱۳۱۰ متری از سطح دریا واقع شده است.

طراحی آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار بود. بذر رقم کلزا (RGS×Okapi با ۹۹ درصد قوه نامیه و محتوی رطوبت ۸ درصد) از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار ردیف به طول ۳/۶ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و فاصله بین دو پشته ایجادشده توسط فاروئر ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. علف‌های هرز در چندین نوبت به‌وسیله وجین دستی و تنک‌کردن بوته‌ها در زمانی‌که ارتفاع بوته‌ها به ۱۵ سانتی‌متر رسید، انجام یافت. سطوح محدودیت آب (شاهد یا آبیاری کامل I.1، قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی I.2، قطع آبیاری در مرحله گلدهی I.3 و قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی I.4) در کرت‌های اصلی قرار گرفتند.

تیمارهای مواد نانو به‌صورت محلول‌پاشی برگی پودر نانودی‌اکسیدسیلیکون ($nSiO_2$) تعلیق شده در مقدار ۶۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد (محلول‌پاشی فقط با آب مقطر) و تیمارهای اسید سالیسیلیک (SA)[2] به‌صورت محلول‌پاشی برگی ۰/۵ میلی‌مولار و ۲/۵ میلی‌مولار و شاهد (آب مقطر) به‌صورت کرت فرعی در نظر گرفته شدند. ماده نانودی‌اکسیدسیلیکون از شرکت نانوپیشگام مشهد تهیه شد. آنالیز مورفولوژی و ساختار ذرات نانو به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشخص کرد که اندازه آن‌ها کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر بود (شکل ۱). فواصل آبیاری هر ده روز یکبار در طی دوره رشد در نظر گرفته شد. تیمارهای محلول‌پاشی در دو نوبت در مرحله گلدهی انجام یافت. ماده توئین- ۲۰ یک دهم درصد به محلول اسپری برای نمناک‌کردن بهتر برگ‌های کلزا و افزایش کارایی اسپری اضافه شد. واد نانو از شرکت نانوپیشگام مشهد تهیه شد و اسید سالیسیلیک از مواد خریداری‌شده از Merck آلمان بود. مراحل رشدی ذکرشده در بالا با استفاده از سیستم کد اعشاری مقیاس BBCH شناسایی و تعیین شد.

1. Synergistic

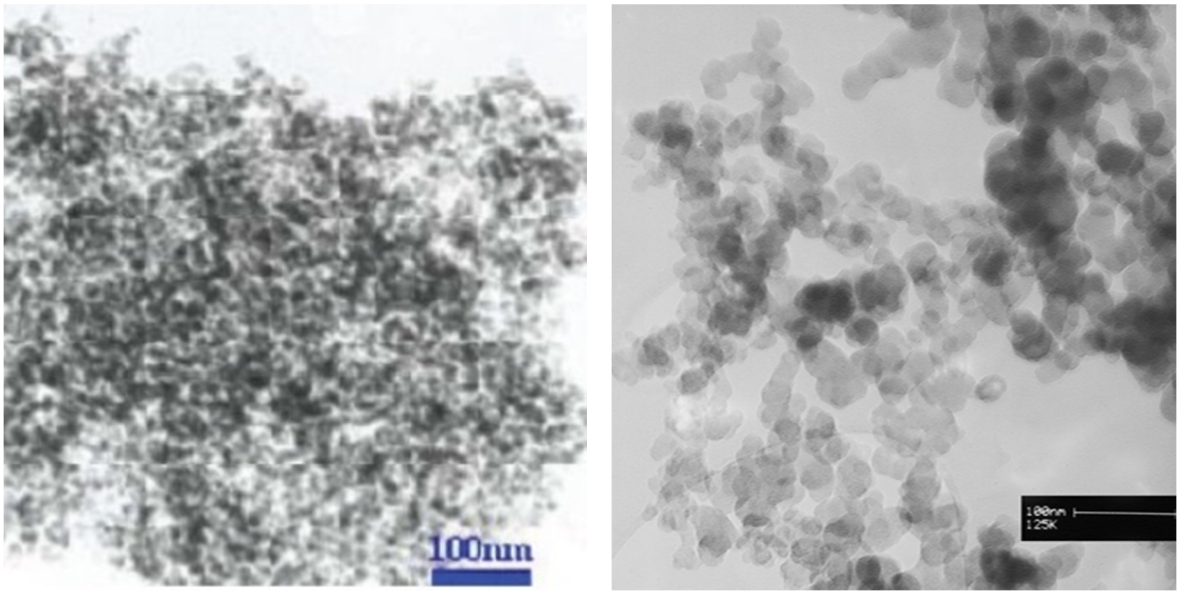
2. Salicylic acid

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

مشخصه	ماده آلی	pH	هدایت الکتریکی	مقدار شن	ماسه	رس	بافت خاک
واحد	درصد	–	($dS.m^{-1}$)	(%)	(%)	(%)	–
مقدار	۱/۲٤	۷/۹	۳/۳	٤۷	۳۰/۸	۲۲/۲	لومی

جدول ۲. حداکثر، حداقل دمای هوا و میزان بارندگی در طول فصل رشد گیاه کلزا طی دو سال آزمایش

ماه‌های رشد گیاه	سال اول آزمایش			سال دوم آزمایش		
	بارندگی (mm)	دمای بیشینه (ºC)	دمای کمینه (ºC)	بارندگی (mm)	دمای بیشینه (ºC)	دمای کمینه (ºC)
فرودین	۲۱/۷	۱٦/٥	۲/۷	۲۸/۲	۱٤/۳	۱/۰
اردیبهشت	۳۰/۲	۲۳/٤	۹/۱	٤٤/۸	۲۱/۲	۷/۸
خرداد	۲/٤	۲٤/٥	۱۱/۲	۱٥/۷	۲٥/۳	۱۰/٥
تیر	۹/۳	۲۷/۷	۱۳/۷	۳/۹	۲۹/۳	۱٥/٥
مرداد	۰/۸	۲۸/۳	۱۲/۸	۰/۹	۲٤/۱	۱۲/۹
شهریور	۰/۳	۲٥/٦	۱۰/۲	۹/۱	۲۳/۹	۱۰/۲



شکل ۱. تصاویر ذرات نانو دی اکسید سیلیکون با دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (سمت چپ) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (سمت راست).

براساس توصیه کودی میزان ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در سه مرحله زمان کاشت، ساقه‌روی و قبل از گلدهی و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در زمان کاشت به خاک داده شد.

سبزینگی کل برگ (شاخص SPAD) در تیمارهای مختلف با استفاده از دستگاه SPAD یا کلروفیل‌متر مدل (SPAD-502, Konica Minolta Sensing Ivc. Japan) در اوایل صبح اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، بوته‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، زمانی‌که بذرها از سبز به قهوه‌ای تغییر رنگ دادند، برداشت شدند. در مرحله برداشت، ۱۰ بوته از هر تکرار از تیمارها به‌طور تصادفی نمونه‌برداری و صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه تعیین شدند. داده‌های حاصل برای ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه و نیز شاخص برداشت که از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده به‌صورت درصد ثبت شدند. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) داده‌ها برای صفات موردبررسی با استفاده از سیستم تحلیل آماری (SAS 9.1 Institute 1988) انجام گرفت. برای انجام آزمون‌های آماری، توزیع آماره آزمون با فرض یکسان بودن واریانس‌های خطا لازم است برابری واریانس‌ها توسط «آزمون لون (Levene's Test)» بررسی شد و مشخص گردید واریانس خطاها یکسان بودند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) انجام یافت. برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد

۳. نتایج و بحث

از آنجایی‌که اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش در یک یا چند مورد معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۱)، لذا از میانگین اثرات متقابل معنی‌دار سه جانبه آبیاری× نانودی اکسید سیلیکون× اسید سالیسیلیک در دو سال به‌صورت جداگانه برای بیان نتایج استفاده گردید.

۳. ۱. صفات رویشی

۳. ۱. ۱. ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی آبیاری، نانودی‌اکسیدسیلیکون و سالیسیلیک در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار روی این صفت داشتند. اثرات متقابل آبیاری در سیلیکون و سالیسیلیک و نیز سال در اسید سالیسیلیک روی ارتفاع بوته اثر معنی‌دار نشان دادند (جدول۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش به‌صورت جداگانه در دو سال آزمایش نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته در سال اول و دوم (به‌ترتیب۱۴۰ و ۱۴۱/۹ سانتی‌متر) از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانودی اکسید سیلیکون به‌همراه ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در شرایط آبیاری نرمال به‌دست آمد، درحالی‌که عدم کاربرد نانودی‌اکسیدسیلیکون و اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی، کم‌ترین میزان این صفت (۸۰/۸ و ۸۲ سانتی‌متر به‌ترتیب در سال اول و دوم) را موجب شد (شکل ۲). با اعمال محدودیت آب ارتفاع بوته به‌ویژه با قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی نسبت به آبیاری نرمال کاهش معنی‌دار در هر دو سال آزمایش نشان داد. محلول‌پاشی نانودی‌اکسیدسیلیکون و اسید سالیسیلیک به‌ویژه در شرایط محدودیت شدید توانست موجب بهبود این صفت شود. افزایش تنش محدودیت آب به‌واسطه کاهش فتوسنتز و بیوماس گیاهی به‌طور معنی‌دار موجب کاهش معنی‌داری ارتفاع بوته در کلزا شد (Said-Al Ahl *et al.*, 2016). مرحله طویل‌شدن ساقه در گیاه کلزا حساسیت بیش‌تری به تنش کمبود آب دارد (Hosseini & Hassibi, 2011).

ثابت شده است که تنش منجر به افزایش غلظت اسید آبسیزیک می‌شود و این تنظیم‌کننده رشد گیاهی ازعوامل اصلی کاهش رشد ساقه می‌باشد (Vishwakarma *et al*., 2017). گزارش شده است که نانودی‌اکسیدسیلیکون موجب بهبود معنی‌دار ارتفاع بوته شد (Janmohammadi *et al*., 2017). بهبود پتانسیل آب، کاهش تعرق و افزایش فتوسنتز در شرایط تنش از اثرات مفید سیلیکون در افزایش رشد گیاه می‌باشد (Shen *et al*., 2010).

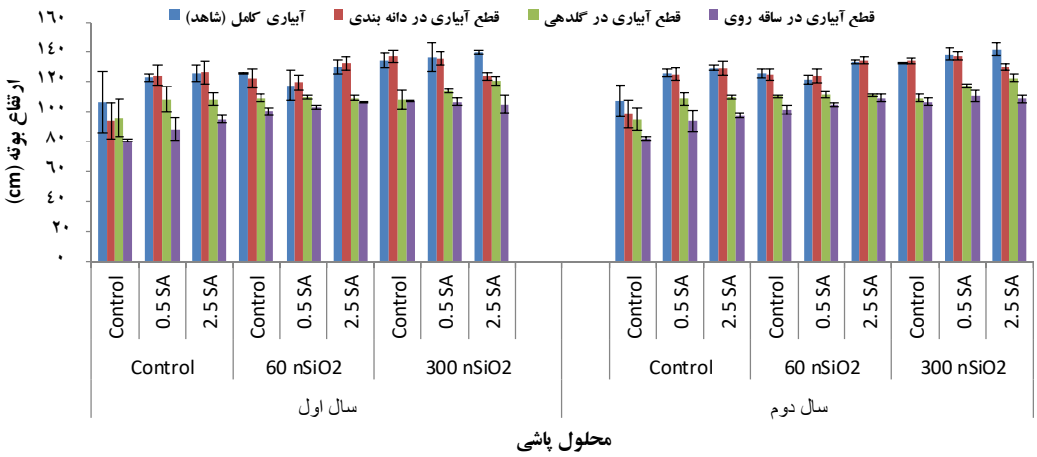
۳. ۱. ۲. تعداد شاخه در بوته

اثر سال بر تعداد شاخه اصلی و فرعی در بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در مجموع تعداد شاخه اصلی در سال دوم و تعداد شاخه فرعی در سال اول آزمایش از مقادیر بالاتر برخوردار بودند. مقایسه میانگین اثرات سه جانبه به‌طور جداگانه در سال اول و دوم نشان داد که بیش‌ترین تعداد شاخه اصلی با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانودی‌اکسیدسیلیون و ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در هر دو سال به‌دست آمد (۸/۵ و ۸/۹ عدد به‌ترتیب در سال اول و دوم). کم‌ترین میزان این صفت نیز متعلق به عدم محلول‌پاشی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و ساقه‌روی بود.

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آبیاری، نانودی‌اکسید سیلیکون و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا در دو سال

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	شاخه اصلی	شاخه فرعی	خورجین در بوته	دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	شاخص برداشت	شاخص سبزینگی
سال	۱	۲۷٤/۲ ns	۹/۰۵۹**	۱٤/۱۱*	۸٦۲۹/۷**	۲٦۳/۱**	۰/۰۲۰۵ ns	٥٦۲۷۹٥٦**	۲۲٥/۱ ns	۳۲۰/۰ ns
تکرار داخل سال	٦	۷٤/٦۹	۰/۰۷۱	۲/۲۷۲	۲٥۳/۱	۱۷/۰٥	۰/۱۲٦٥	۱٤۲٤٤۰	٦۷/۹۳	۱۰٤/۱
آبیاری	۳	۱۱۸۹۸**	۳۲/۹٤**	۳۹/۰۳**	۲٦٥٦۸**	۲٦٦/۹**	۰/۹٤۰۹**	۲۹۹۸۳۱۲۷**	۸٥۹/۱**	۲۸۲/۷**
سال× آبیاری	۳	٦/٥٥۸ ns	۱/٦۰۱ ns	۱/۹٦۸ ns	۲۱۳/۸ ns	۲۹/۹۱ ns	۰/۰۰۰٥ ns	٤۰۹۷۳۷*	۱۱/٥٤ ns	۲٤/۸۹ ns
تکرار× آبیاری داخل سال (خطا ۱)	۱۸	۸۸/۸۸	۰/٥۹۳	۱/٤٥٦	۳۸۰/۲	۱۰/٥۹	۰/۱۳۷٤	۱۲۱۱۳۸	۲۳/۷۲	۲۲/۰۳
نانو دی اکسید سیلیکون	۲	٦۰٥٤**	۱۰۲/۲**	۲٤۳/٦**	۲۲۹۱۰**	۲۱٦/۲**	۲/۸۸۲**	٦٦۷۰٦۱۳**	۹۱۷/۱**	٥۲/۹۷**
اسید سالیسیلیک	۲	۲۳۱٦**	۱٦/۸٥**	۳٦/۰۹**	٤۱۷۳/٥**	۱٤۸/۰**	۰/۷٥٥۸**	۲۱۷۱٤٥٤**	٦۳/۷۷**	۱٤۹/۰**
سیلیکون× سالیسیلیک	٤	۱۰۰۷**	٤/۲٦۹**	٦/۰۲۹**	٤٦٥/۸ ns	٦/٤٥٦ ns	۰/۱۱۹۸*	٤۷۱٤۳ ns	۱٥۱/٤**	۱۹۷/٤**
آبیاری× سیلیکون	٦	۱٦٤/٤**	۹/۲٦۳**	۱۰/۱۰**	٥٦٤/۷ ns	۳۰/۳۱*	۰/۷۰٦۸**	۲۳۱۱۹۷*	۱۷۹/٥**	۱٥/۱۲ ns
آبیاری× سالیسیلیک	٦	٤٦/۲۲**	۱/٥۰٤**	۳/٤۱۲**	۱۲۸/٥ ns	٤/۹۱۹*	۰/۱۳٦۳**	۱۳۱۷۱ ns	۷۲/۷۹**	٥/۳۷۹ ns
آبیاری× سیلیکون× سالیسیلیک	۱۲	۲۱۱/۷**	٤/۰۲۳**	۲/٦۸٤**	۱٦۷/٥ ns	۳/۳٦۸**	۰/۱۲۳۱**	۳۰۷۸۳**	٥۱/٤۰**	٦٦/٤۹**
سال× سیلیکون	۲	۲/٤۲٤ ns	۰/۱٦۷ ns	٤/۰۰۰**	٦۸۰/۷*	۲/۳۱۷ ns	۰/۰۰۳٤ ns	۳۲۱۳٥۹**	۱۷/٤٦**	٤/۹۷٦ ns
سال× سالیسیلیک	۲	۳٦/۳۸**	۰/۰۲٦ ns	۰/۱۳۷ ns	٦۰۳/۸*	۲٦/٤٥**	۰/۰۸۷۳**	٤۸۲۹۹٥**	۸/۱٤۷*	۷/٦۳٥ ns
سال× سیلیکون× سالیسیلیک	٤	۷/٥۹۹ ns	۰/۱٥۲ ns	۰/۱٥۹ ns	۸۸/۸٥ ns	٥/۰۳۱**	۰/۰۱٥۳ ns	۲۱۸٦۱**	٦/۷۷۹*	۹/٦٦۲ ns
سال× آبیاری× سیلیکون	٦	٤/۰۸٤ ns	۰/۰۸۲ ns	۰/۳۱۹ ns	۲۷۰/٤ ns	۳/۸۷۷**	۰/۰۰۳۲ ns	۳۸٦٤٤**	۸/۸٦۷*	٥/۹۷٦ ns
سال× آبیاری× سالیسیلیک	٦	۳/۰۸٤ ns	۰/۰٥۸ ns	۰/۲۸۳ ns	۱۱٥/۰ ns	۰/٦۹۹ ns	۰/۰۰٤۲ ns	۱۱٥۳۱*	۸/۲۷۹*	٦/۷٤٤ ns
سال× آبیاری× سیلیکون× سالیسیلیک	۱۲	۷/۰٥٥ ns	۰/۰٤۷ ns	۰/۱۹٦ ns	۱۳۳/٤ ns	۰/٦٥٤ ns	۰/۰۰٦۲ ns	۲۸٥۰ ns	۲/۰٥۱ ns	٤/٥٦۳ ns
اشتباه کل	۱۹۲	۲۱/۰۹	۰/۳۳۳	۱/۱٤۸	۱۲۷/٥	۳/٤۷۳	۰/۰٤۲٤	۱٥٦۳۰	۱۰/٦۳	٤/۹۹۷
ضریب تغییرات (%)		۳/۹٦	۹/۳۷	۱۳/۸	۸/۲۹	۷/۸۳	۸/۲۷	٦/۸۳	۱٤/٤	۳/۸۷

ns، * و **: نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.



شکل ۲. اثرات متقابل محدودیت آب (I) × نانودی اکسید سیلیکون ($nSiO_2$)× اسید سالیسیلیک (SA) بر صفت ارتفاع بوته کلزا طی دو سال آزمایش

از نظر تعداد شاخه فرعی نیز محدودیت شدید آبی به‌ویژه در شرایط عدم محلول‌پاشی کم‌ترین تعداد این صفت را موجب شد، درحالی‌که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی به‌ویژه گلدهی محلول‌پاشی با نانودی‌اکسیدسیلیکون و اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته کلزا گردید (۱۲/۱ و ۱۰/۶ عدد به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش) (داده‌ها نشان داده نشده است).

مطابق نتایج این آزمایش، گزارش شده است که بوته‌های کلزا با آبیاری کافی از تعداد شاخه بیش‌تر برخوردار بودند (Mehanna *et al.*, 2013). کاهش تعداد شاخه در گیاه کلزا در نتیجه تشدید محدودیت آب توسط پژوهش‌گران ثابت شده است (Said-Al Ahl *et al.*, 2016). دسترسی‌نداشتن بهآب کافی می‌تواند از طریق کاهش تقسیم سلولی و نمو تعداد شاخه‌ها را کاهش دهد (Nazar *et al.*, 2017). به‌واسطه دخالت اسید سالیسیلیک در تقسیم و توسعه سلولی و دارابودن اثرات بهبوددهنده با هورمون‌های رشد، قادر به افزایش تعداد شاخه در کلزا می‌باشد (Keshavarz & Modarres-Sanavy, 2016). بهبود ویژگی‌های رشدی در گیاهان زراعی از جمله برنج و کلزا با کاربرد سیلیکون تحت شرایط کم آبی توسط پژوهش‌گران گزارش شده است (Ullah *et al.*, 2012; Ullah *et al.*, 2017). ازآنجایی‌که گیاه کلزا دارای رشد نامحدود می‌باشد، به‌نظر می‌رسد امکان افزایش اندام‌های دخیل در زایش گیاه مانند تعداد شاخه فرعی که محل تشکیل اندام‌های زایشی می‌باشد با فراهم‌کردن شرایط مساعد و استفاده از مواد نانو و تنظیم‌کننده رشد امکان‌پذیر باشد.

۳. ۲. عملکرد دانه و اجزای آن

۳. ۲. ۱. تعداد خورجین و دانه

براساس نتایج تجزیه مرکب اثر سال و اثرات اصلی فاکتورهای آزمایش روی صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مجموع میانگین تعداد خورجین در بوته در سال اول نسبت به سال دوم کم‌تر و برعکس میانگین تعداد دانه در خورجین بیش‌تر بود. با ایجاد محدودیت آب در مراحل مختلف فنولوژیک از

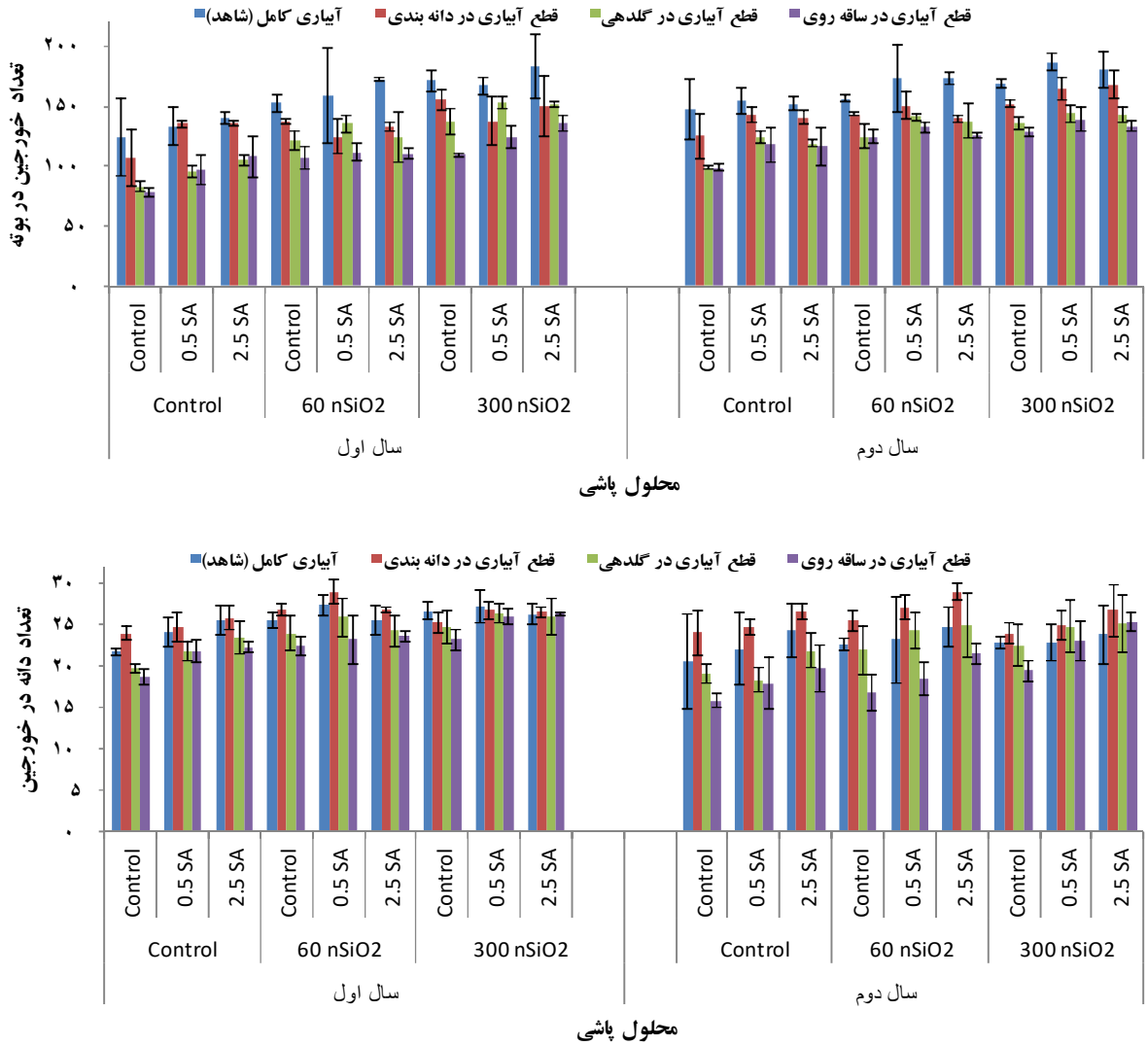
طریق قطع آبیاری از میزان این صفات به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. مقایسه میانگین حاصل از اثرات سه‌جانبه در دو سال جداگانه نشان داد که بالاترین میزان هر دو صفت در شرایط آبیاری کامل به‌ویژه با محلول‌پاشی مواد نانو و اسید سالیسیلیک به‌دست آمد، به‌طوری‌که تعداد خورجین در سال اول در بالاترین میزان (۱۸۳/۵ عدد در بوته) از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون به‌همراه ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد و در سال دوم بالاترین آن (۱۸٦/۳ عدد در بوته) متعلق به ترکیب تیماری آبیاری کامل× ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون× ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود (شکل ۳). بین تیمارهای آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی از نظر تعداد دانه در خورجین اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با کاربرد ٦۰ و یا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون بدون اختلاف آماری معنی‌دار بیش‌ترین میزان این صفت را سال اول دارا بود. با این‌حال کاربرد ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌همراه ٦۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون نتیجه بهتری نشان داد (شکل ۳).

کاهش دسترسی به آب کافی می‌تواند منجر به کاهش تعداد خورجین در بوته کلزا گردد (Nazar *et al*., 2017). در مطالعه‌ای مشاهده شد که وقوع محدودیت آب در طی مراحل گلدهی و دانه‌بندی به‌دلیل ریزش گل‌ها و باروری ناکافی منجر به افزایش خورجین‌های پوک شد که نتیجه آن کاهش تعداد دانه در خورجین بود (Said-Al Ahl *et al*., 2016). ازآنجایی‌که اسید سالیسیلیک در تقسیم و توسعه سلولی درگیر است و دارای اثرات بهبوددهنده با سایر هورمون‌ها می‌باشد قادر به افزایش تعداد خورجین و تعداد دانه در کلزا خواهد بود (Keshavarz & Modarres-Sanavy, 2016). محلول‌پاشی سیلیکون منجر به افزایش معنی‌دار صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در بوته‌های کلزا شد. اگرچه محدودیت آب در هر میزان منجر به کاهش اجزای عملکرد دانه در کلزا شد، اما به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی مواد نانو و اسید سالیسیلیک امکان بهبود این اجزا را فراهم می‌کنند. از طرفی مصرف مقادیر پایین از این مواد دارای نتایج مشابهی نسبت به محلول‌پاشی مقادیر بالاتر بود. در این خصوص پژوهش‌گران بیان داشتند که غلظت پایین از فیتوهورمون‌ها می‌توانند طیف وسیعی از فرایندهای رشدونمو در گیاه را کنترل نمایند (Yamamuro *et al*., 2016).

۳. ۲. ۲. وزن هزاردانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال روی وزن هزاردانه غیرمعنی‌دار بود، با این‌حال اثرات اصلی فاکتورهای آزمایش و اثرمتقابل سال× اسید سالیسیلیک روی وزن هزار دانه کلزا به لحاظ آماری معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین وزن هزاردانه در شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی به‌ویژه با محلول‌پاشی مواد نانو و اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (۳/۳۰ گرم با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدسیلیکون و ۲/۵ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک در آبیاری کامل و آبیاری در مرحله دانه‌بندی به‌ترتیب در سال‌های اول و دوم) (شکل ٤). کم‌ترین میزان این صفت نیز در هر دو سال متعلق به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی بود (۱/٦۳ گرم و ۱/٦۲ گرم به‌ترتیب در سال‌های اول و دوم)، اگرچه محلول‌پاشی در این شرایط توانست وزن دانه را تا سطح آبیاری کامل بدون محلول‌پاشی افزایش دهد (شکل ٤).



شکل ۳. اثرات متقابل محدودیت آب (I)× نانودی اکسید سیلیکون ($nSiO_2$)× اسید سالیسیلیک (SA) بر صفات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین کلزا طی دو سال آزمایش

بررسی‌ها نشان داده است که وزن هزاردانه در کلزا بسته به رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت خواهد بود، با این‌حال آبیاری در طی دوره‌های رشد سریع گیاهی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر اجزای عملکرد خواهد گذاشت (Dogana *et al.*, 2011). محدودیت آب ایجادشده در مرحله زایشی سبب کاهش در اجزای عملکرد از جمله وزن هزاردانه کلزا می‌شود، با این حال اثرات زیان‌بار تنش را با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و محلول‌پاشی عناصر به حداقل برسد (Raza *et al.*, 2017). مطابق نتایج این آزمایش، کاربرد نانودی‌اکسیدسیلیکون و اسید سالیسیلیک منجر به افزایش وزن هزاردانه در گیاه دانه‌روغنی آفتابگردان شد (Sabaghnia *et al.*, 2017; Janmohammadi *et al.*, 2017). در گیاه کلزا، وزن هزاردانه به‌طور معنی‌داری با کاربرد سیلیکون به‌واسطه حفظ وضعیت آب گیاه افزایش داد (Bybordi, 2016).

به‌طور معمول، اسید سالیسیلیک در غلظت‌های به‌نسبت پایین منجر به بهبود رشد و صفات مرتبط با عملکرد گیاه می‌شود (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011).

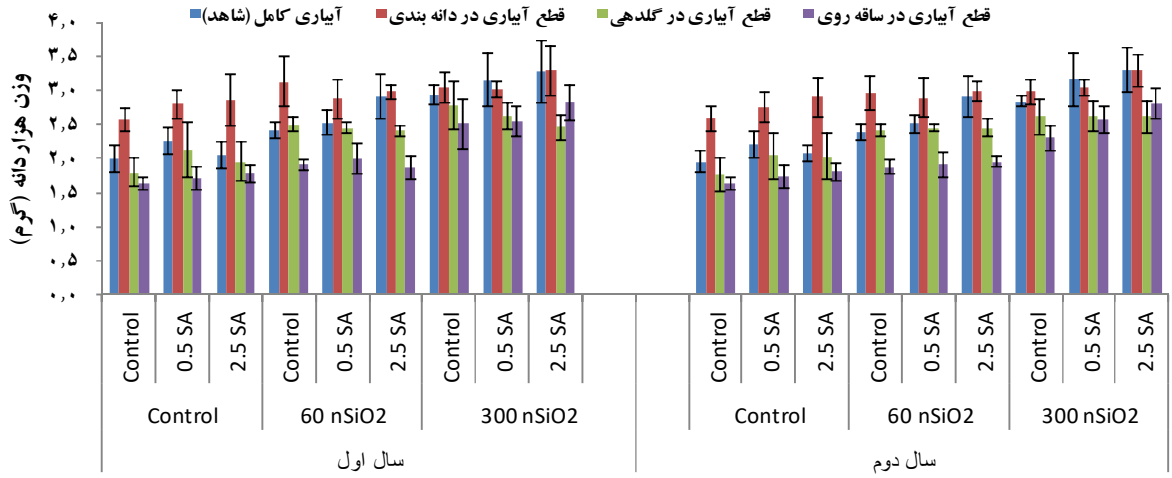
۳. ۲. ۳. عملکرد دانه

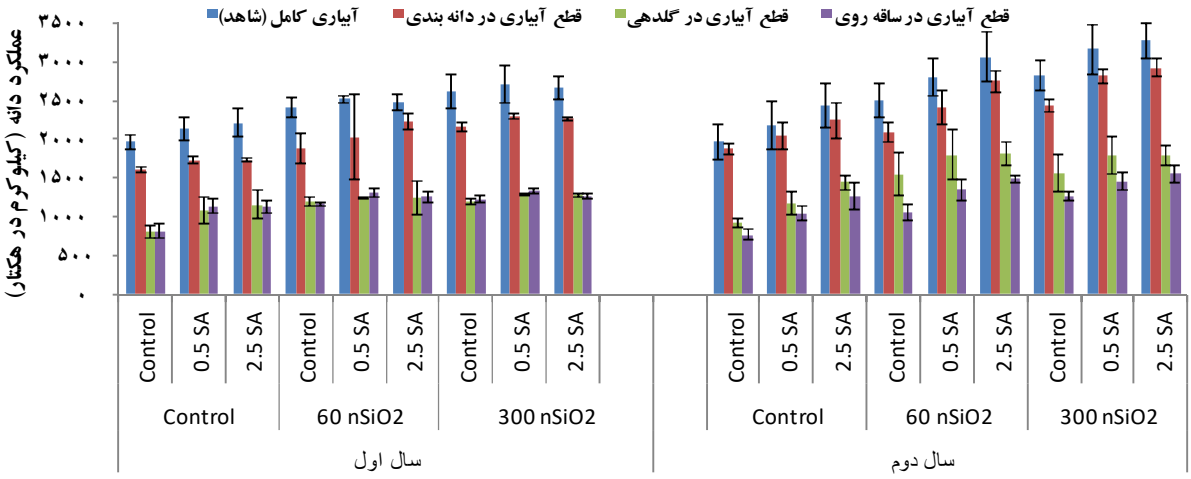
نتایج تجزیه مرکب حاکی از اثر معنی‌دار سال و فاکتورهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد روی عملکرد دانه کلزا بود. هم‌چنین اثر متقابل سال روی فاکتورهای آزمایش نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد دانه در واحد سطح در سال دوم در مجموع ۱٤/۲ درصد بیش‌تر از سال اول بود. براساس جدول (۱) میزان بارندگی در سال دوم آزمایش بالاتر از سال اول آزمایش بود. از طرفی ایجاد محدودیت آب با قطع آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیک منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ترکیبات مختلف تیماری در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری کامل) شد. براساس مقایسه میانگین اثرات سه‌جانبه در سال‌های آزمایش، در سال اول بالاترین عملکرد دانه (۲۷۰۵ کیلوگرم در هکتار) متعلق به ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون به‌همراه ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل بود، درحالی‌که با همین ترکیب مواد در شرایط قطع آبیاری در گلدهی و ساقه‌روی با کاهش حدود ۵۰ درصدی مواجه بود، با این حال محلول‌پاشی در بهترین حالت موجب بهبود ۳۸ درصدی عملکرد در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد. در سال دوم آزمایش، علی‌رغم بهبود نسبی در کلیه ترکیبات تیماری نسبت به سال اول، بالاترین عملکرد دانه از کاربرد بالاترین سطوح ترکیب تیماری در شرایط آبیاری نرمال به‌دست آمد و کم‌ترین میزان آن متعلق به عدم محلول‌پاشی به‌ویژه در شرایط محدودیت شدید آب بود (شکل ٤).

منابع غذایی و شرایط آب‌وهوایی عوامل اساسی اثرگذار بر عملکرد دانه می‌باشند (Assefa *et al*., 2018). در گیاه کلزا، تنش محدودیت آب با کاهش فشار تورگر و فتوسنتز که به‌طور عمده ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش محتوی کلروفیل، اختلال فعالیت آنزیم‌ها و تولید گونه‌های فعال اکسیژنی است، سبب خسارت اکسیداتیو به غشاها و اندامک‌های درون‌سلولی می‌شود، که نتیجه آن کاهش عملکرد دانه است (Raza *et al*., 2017). توافق عمومی مبنی بر اثرات مثبت کاربرد سیلیکون در تقلیل اثرات مخرب تنش‌های زنده و غیرزنده ذکرشده در بالا و بهبود رشد و نمو و عملکرد گیاهان از جمله کلزا به‌ویژه تحت شرایط محدویت آب وجود دارد (Parashar *et al*., 2014; Amin *et al*., 2016; Ullah *et al*., 2017; Janmohammadi *et al*., 2017; Baybordi, 2016; Said-Al Ahl *et al*., 2016). محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم تحت شرایط تنش موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در گیاه کلزا شد (Sadat Asilan, 2019). در آزمایش دیگر روی گیاه کلزا، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به بهبود رشد و عملکرد دانه در شرایط تنش‌زا شد (Parashar *et al*., 2014). عملکرد دانه و بهره‌وری آب زمانی‌که از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله اسید سالیسیلیک استفاده می‌شود، می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یابد و نیاز به آب را بین ۱۹ تا ٥٦ درصد کاهش دهد (Wakchaure *et al*., 2016). توانایی تنظیم جنبه‌های متعدد از پاسخ‌های دفاعی گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده (Jayakannan *et al*., 2015)، تنظیم هدایت روزنه‌ای، روابط آب گیاه، جذب عناصر غذایی و دخالت در مکانسیم‌های تحمل گیاه به تنش از جمله اثرات اسید سالیسیلیک است (Hayat *et al*., 2010). مشارکت سیلیکون در بهره‌وری مناسب آب توسط گیاهان از طریق بهبود پتانسیل آب برگ، سرعت و میزان تعرق و فتوسنتز تحت شرایط تنش‌زا (Shen *et al*., 2010) و ایجاد تحمل به تنش با مصرف سیلیکون به‌همراه آب آبیاری به‌دلیل وجود روابط بهبوددهنده بین آن‌ها، ثبات گیاه را در برابر محدودیت آب افزایش می‌دهد (Ahmed *et al*., 2011).

۳. ۳. شاخص برداشت

اثر سال بر شاخص برداشت کلزا معنی‌دار نبود. در بررسی مقایسات میانگین ترکیبات تیماری در سال‌ها، بالاترین شاخص برداشت از کاربرد ٦٠ میلی‌گرم بر لیتر نانودی‌اکسیدکربن به‌همراه ۰/۵ و یا ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی در هر دو سال به‌دست آمد. کم‌ترین آن نیز متعلق به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی و بدون محلول‌پاشی بود. شاخص برداشت در کلزا بسته به تیمار آبیاری اختلاف معنی‌دار نشان داد (Dogana *et al.*, 2011).



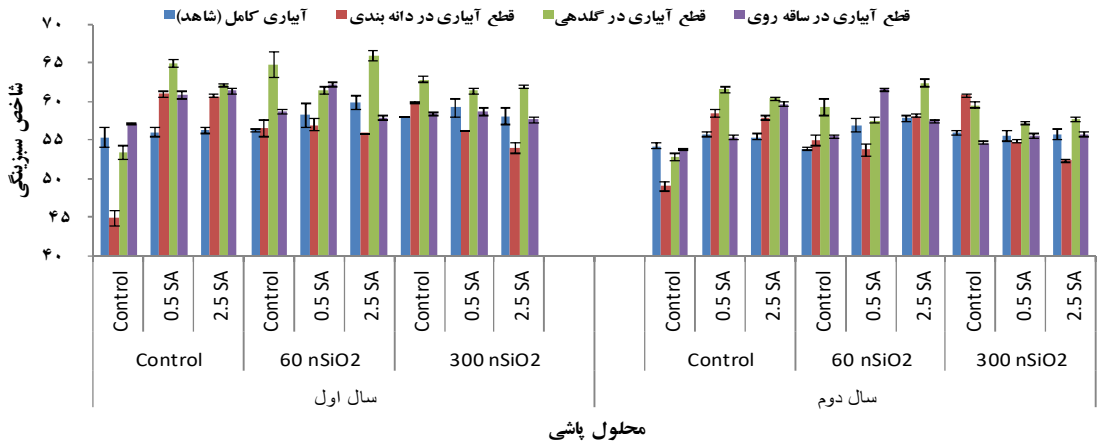


شکل ٤. اثرات متقابل محدودیت آب (I)× نانودی اکسید سیلیکون ($nSiO_2$)× اسید سالیسیلیک (SA) بر صفات وزن هزاردانه و عملکرد دانه کلزا طی دو سال آزمایش

طی آزمایشی، کاربرد سیلیکون اثر معنی‌دار روی شاخص برداشت کلزا داشت (Bybordi, 2016). نظر به این‌که این صفت حاصل تقسیم عملکرد اقتصادی به زیست‌توده است، لذا تغییرات ایجادشده در آن از محلول‌پاشی می‌تواند نتیجه غیرمستقیم از اثرات محلول‌پاشی روی عملکرد و زیست‌توده باشد.

۳. ٤. شاخص سبزینگی

شاخص سبزینگی یا عدد SPAD ابزاری است که به‌طور وسیع برای تعیین پاسخ‌های گیاهان به تغییرات محیطی و قابلیت سازش‌یابی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و ارتباط مستقیمی با میزان فتوسنتز در گیاه دارد. اثر سال بر شاخص سبزینگی (عدد SPAD) به لحاظ آماری معنی‌دار نبود، اما اثرات اصلی فاکتورها و اثرمتقابل آبیاری× نانودی اکسید سیلیکون× اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد روی این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). شکل (۵) بیانگر اثرات متقابل سه‌جانبه در دو سال آزمایش را نشان می‌دهد. مطابق شکل طیف این صفت از ٤٥ تا ٦٥ در سال اول متغیر بود، درحالی‌که در سال دوم آزمایش میزان آن بین ۵۰ تا ٦۰ قرار داشت. از نظر این صفت، تغییرات در بین ترکیبات تیماری در سطوح مختلف آبیاری در هر دو سال بالا بود، با این‌حال محلول‌پاشی با مواد نانو و اسید سالیسیلیک موجب بهبود آن در مقایسه با عدم محلول‌پاشی گردید و میزان آن در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌ویژه در سال اول بالا بود. براساس جدول (۱) کل میزان بارندگی به‌ویژه در مرحله گلدهی گیاه در سال اول نسبت به سال دوم کم‌تر بود، به‌عبارتی محدودیت آب در سال اول نسبت به سال دوم بالا بود. این موضوع به‌ویژه در مراحل گلدهی گزارش شده است که در شرایط محدودیت آب شاخص سبزینگی (عدد SPAD) در کلزا نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت (Yousefi *et al.*, 2016). افزایش عدد SPAD تحت شرایط تنش می‌تواند به‌واسطه کوچک‌ترشدن و فشرده‌شدن سلول برگ باشد (Siddique *et al.*, 2008).افزایش معنی‌دار عدد SPAD با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و نانودی‌اکسیدسیلیکون در گیاهان دانه‌روغنی توسط پژوهش‌گران گزارش شده است (Sabaghnia *et al.*, 2017; Janmohammadi *et al.*, 2017).



شکل ۵. اثرات متقابل محدودیت آب (I)× نانودی اکسید سیلیکون ($nSiO_2$)× اسید سالیسیلیک (SA) بر صفت شاخص سبزینگی کلزا طی دو سال آزمایش

٤. نتیجه‌گیری

با اعمال محدودیت آب به‌ویژه قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی و گلدهی خصوصیات رویشی کلزا به‌طور معنی‌دار نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافت، با این‌حال محلول‌پاشی با نانودی‌اکسیدسیلیکون و اسید سالیسیلیک توانست موجب بهبود این صفات شود. از نظر تعداد خورجین و نیز تعداد و وزن دانه، تیمارهای آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی نسبت به دو تیمار دیگر آبیاری، برتری معنی‌دار در هر دو شرایط محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی داشتند. در سال اول آزمایش ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون به‌همراه ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل بالاترین عملکرد دانه را موجب شد. محلول‌پاشی در بهترین حالت موجب بهبودی ۳۸ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد. در سال دوم آزمایش، علی‌رغم بهبود نسبی در کلیه ترکیبات تیماری نسبت به سال اول، بالاترین عملکرد دانه از کاربرد بالاترین سطوح ترکیب تیماری در شرایط آبیاری نرمال به‌دست آمد و کم‌ترین میزان آن متعلق به عدم محلول‌پاشی به‌ویژه در شرایط قطع آبیاری در مرحله ساقه‌روی بود. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد اگرچه خسارت ناشی از محدودیت آب به‌ویژه در مراحل ساقه‌روی و گلدهی به‌طور کامل از طریق محلول‌پاشی قابل جبران نیست، اما بهبود معنی‌دار عملکرد کلزا با محلول‌پاشی مواد نانو و تنظیم‌کننده رشد، مقابله با محدودیت آب را تا حد بالایی در دست‌یابی به عملکرد اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه ممکن می‌سازد.

٥. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٦. منابع

Ahmed, M., Ul-Hassen, F., & Khurshid, Y. (2011). Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agriculture and Water Management, 98,* 1808-1812.

Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., & Lee, D. J. (2018). Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply. *Silicon, 10,* 177-183.

Anonymous. Agriculture Iran Statistics. (2018). Agriculture-Economic aspects-Iran-Statistics.amar.maj.ir. 116 pp. (In Persian).

Assefa, Y., Vara-Prasad, P.V., Foster, C., Wright, Y., Young, S., Bradley, P., Stamm, M., & Ciampitti, I.A. (2017). Major management factors determining spring and winter canola yield in North America. *Crop Science, 58,* 1-16.

Bybordi, A. (2016). Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47*(7), 832-850.

Dogana, E., Copurb, O., Kahramanb, A., Kirnaka, H., & Guldurcm, E. (2011). Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Agriculture and Water Management, 98,* 1403-1408.

Hayat, S., Hasan, S.A., Yusuf, M., Hayat, Q., & Ahmad, A. (2010). Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vignaradiate. Environment Experimental Botany, 69,* 105-112.

Hosseini, M., & Hassibi, P. (2011). Effects of water deficit stress on several quantitative and qualitative characteristics of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Notulae Scientia Biologicae, 3,* 120-125.

Janmohammadi, M., Yousefzadeh, S., Dashti, Sh., & Sabaghnia, N. (2017). Effects of exogenous application of nano particles and compatible organic solutes on sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Botanica Serbica, 41* (1)*,* 37-46.

Jayakannan, M., Jayakumar, B., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. *Plant Growth Regulation*, *76* (1), 25-40.

Jones, C., & Olson-Rutz, K. (2016). Soil nutrient management for canola. EB0224. *Montana State University. Extention., Bozeman, Montana.*

Kaushal, M., & Wani, S. P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 231,* 68-78.

Keshavarz, H., & ModarresSanavy, S. A. M. (2016). How Salicylic Acid Modulate Photosynthetic Pigments, Yield and Yield Components of Canola Plant. *Journal of Genetic Resources, 2*(1), 1-9.

Khan, A., Anwar, Y., Hasan, M. M., Iqbal, A., Ali, M., & Alharby, H. F. (2017). Attenuation of drought stress in brassica seedlings with exogenous application of Ca^{2+} and H_2O_2. *Plants, 6, 20.*

Mehanna, H. M., Hussein, M. M., & Gaballah, M. S. (2013). Drought alleviation using glutathione in canola plants. *International Journal of Advanced Research, 2*(9), 679-685.

Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A., & Sareer, O. (2015). Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany, 98,* 84-94.

Ouellette, S., Goyette, M. H., Labbé, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A., Dorais, M., Deshmukh, R.K., & Bélanger, R.R. (2017). Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions, *Plant Science, 8,* 949. doi: 10.3389/fpls.2017.00949

Parashar, A., Yusuf, M., Fariduddin, Q., & Ahmad, A. (2014). Salicylic acid enhances antioxidant system in *Brassica Juncea* grown under different levels of manganese. *International of Journal of Biological and Micromoles, 70,* 551-558.

Raza, M.A.S., Shahid, A.M., Saleem, M.F., Khan, I.H., Ahmad, S., Ali, M., & Iqbal, R. (2017). Effects and management strategies to mitigate drought stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Zemdirbyste-Agriculture, 104*(1), 85-94.

Rivas-San Vicente, M., & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defense: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany, 62,* 3321-3338.

Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., & Moghaddam, M. (2011). Analysis on genetic contribution of some traits to seed yield in rapeseed by additive-dominance genetic method of mixed model. *Plant breeding and seed science, 62,* 57-61.

Sabaghnia, N., Janmohammadi, M., & Mohebodini, M. (2017). GGE-Biplot Analysis of Nano-Titanium Dioxide and Nano-Silica Effects on Sunflower. *International Journal of Agriculture and Food and Biosystems Engineering, 11*(7), 457-460.

Sadat Asilan, K. (2019). The effect of foliar application of calcium silicate on salt stress tolerance of two canola varieties. *Journal of crops improvement, 21*(4), 353-366.

Said-Al Ahl, H.A.H., Mehanna, H.M., & Ramadan, M.F. (2016). Impact of water regime and phosphorus fertilization and their interaction on the characteristics of rapeseed (*Brassica napus*) and fatty acid profile of extracted oil. *Communications in Biometry and Crop Science 11,* 64-76.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and Ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology, 167,* 1248- 1252.

Siddique, Z.S., Ajmal Khan, M., Gikim, B., & Hunag, J.S. (2008).Physiological responses of *brassica napus* genotypes to combines drought and salt stress. *Plant Stress, 2*(1), 78-83.

Ullah, F., Bano, A., & Nosheen, A. (2012). Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassicanapus* L.) under drought stress. *Journal of Botany, 44,* 1873- 1880.

Ullah, H., Luc, P. D., Gautam, A., & Datta, A. (2017). Growth, yield and silicon uptake of rice (*Oryza sativa*) as influenced by dose and timing of silicon application under water-deficit stress. *Archives of Agronomy and Soil Science, 3,* 318-330.

Vishwakarma, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R. K., Kumar, V., Verma, R., Upadhyay, R. G., Pandey, M., & Sharma. S. (2017). Abscisic Acid Signaling and Abiotic Stress Tolerance in Plants: A Review on Current Knowledge and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science, 8*(161), 1-12. doi: 10.3389/fpls.2017.00161

Wakchaure, G.C., Minhas, P.S., Ratnakumar, P., & Choudhary, R.L. (2016). Optimising supplemental irrigation for wheat (*Triticum aestivum* L.) and the impact of plant bio-regulators in a semi-arid region of Deccan Plateau in India. *Agricultural Water Management, 172,* 9-17.

Warner, K. J., &Jones, G. A. (2017).A population-induced renewable energy timeline in nine world regions. *Energy Policy. 101,* 65- 76. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.11.031.

Yamamuro, C., Zhu, J. K., & Yang, Z. (2016). Epigenetic modifications and plant hormone action. *Molecular Plant Review Papers, 9,* 57-70.

Yousefi, F., Hassibi, P., Roshanfekr, H., & Meskarbashee, M. (2016). Study of drought and salinity stress effect on some physiological characters of two canola (*Brassica napus* L.) varieties in Ahvaz. *Journal of Plant Productions, 38*(4), 1-12. (In Persian).