



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال هفتم/ شماره چهارم/ ۱۳۹۹ (۴۶۳ - ۴۷۵)

DOI: 10.22124/JMS.2020.4643

## بهبود و احیای کیفیت بذرهای حاصل از گیاه مادری کلزا (*Brassica napus*) با ترکیبات محرک رشد تحت فواصل مختلف آبیاری

پرویز حسینی<sup>۱</sup>، کامران محسنی فر<sup>۲\*</sup>، مجید رجایی<sup>۳</sup>، تیمور بابایی نژاد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۰

### چکیده

تیمار بذر با استفاده از ترکیبات محرک رشد یکی از روش‌های محتمل برای بهبود و احیای کیفیت بذر می‌باشد. این پژوهش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ انجام گردید. عامل اصلی شامل فواصل مختلف آبیاری در سه سطح (فواصل آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) و عامل فرعی شامل ترکیبات محرک رشد در شش سطح شاهد و محلول پاشی اسید آمینه، فولویک اسید، عصاره جلبک دریایی، کود هیومیک اسید و تلفیق ترکیبات محرک رشد بود. نتایج نشان داد که فواصل آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر به ترتیب به میزان ۱۱/۰ و ۲۸/۰۱ درصد نسبت به آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی گردید. همچنین افزایش فواصل آبیاری سبب افزایش هدایت الکتریکی بذر گردید. در سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، حداکثر جوانه‌زنی به ترتیب با میانگین ۸۷ و ۸۵ درصد در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد و اسید آمینه مشاهده شد. ترکیبات محرک رشد سبب بهبود وزن خشک گیاهچه شد. در شرایط آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۳/۱۰ و ۴۲/۷۱ درصدی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز گردید. در مجموع با توجه به تأثیر مثبت تلفیق ترکیبات محرک رشد در بهبود و احیای کیفیت بذرهای حاصل از گیاه مادری کلزا می‌توان مصرف این ترکیبات را در شرایط تنش خشکی توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: آلفا آمیلاز، اسید آمینه، تخلیه رطوبتی، عصاره جلبک دریایی

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- عضو هیأت علمی گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

\*نویسنده مسئول: mohsenifar@live.com

## مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. گیاهی روز بلند، سرمدوست و یکساله می‌باشد. کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی است که کشت آن در ایران به دلایل متعددی از جمله دامنه سازگاری وسیع آن با شرایط آب و هوایی نقاط مختلف کشور، بالابودن درصد و کیفیت روغن، پتانسیل بالای تولید، تحمل نسبی به خشکی، مورد کاشت قرار می‌گیرد (Zada et al., 2013). کلزا با داشتن اسیدهای چرب با ارزش و پروتئین‌های حاوی اسیدهای آمینه مورد نیاز بدن انسان و با داشتن ۴۰-۴۹ درصد روغن و ۳۵-۳۹ درصد پروتئین، از گیاهان مهم صنعتی به‌شمار می‌رود (Flakelar et al., 2015). امروزه اگرچه رقم‌های اصلاح‌شده کلزا دارای قوه نامیه بالایی می‌باشند، ولی به‌دلیل وجود تنش‌های محیطی، تولید گیاهچه در آن‌ها با مشکل روبرو می‌شود و درصد ظهور گیاهچه کاهش خواهد یافت. بنابراین شناخت دقیق این مکانیسم‌ها نیازمند مطالعات بیش‌تر است (Balouchi et al., 2014).

جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک گیاهان است که تعیین‌کننده میزان تولید هر محصول می‌باشد. جوانه‌زنی بذر، سبز شدن و رشد گیاهچه در گیاهان زراعی به عواملی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر بستگی دارد (Elouaer and Hannachi., 2012). بنابراین افزایش هر یک از این دو مولفه می‌تواند سبب افزایش قدرت اولیه بذر شود. هر یک از این مولفه‌ها خود دارای چند مولفه دیگر هستند. زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی، حداکثر مقدار جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی به‌عنوان اجزای جوانه‌زنی شناخته می‌شوند (Soltani et al., 2001). تقریباً تمام واکنش‌های متابولیک سلول تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته، بنابراین تولید و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه سنتز پروتئین کاهش و در نهایت بر رشد سلول تأثیر می‌گذارد (Farooq et al., 2009). تنش خشکی روی گیاه مادری با تأثیر بر انتقال مواد ذخیره‌ای از گیاه به بذر و سنتز ترکیبات آلی، سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شود (Attarzadeh et al., 2019a). محققان گزارش کردند که تنش‌های محیطی می‌تواند در طول دوره رشد گیاه مادری بر کیفیت بذر تولیدی موثر باشد. وقوع تنش پس از رسیدگی فیزیولوژیک، اما قبل از برداشت می‌تواند

باعث کاهش جوانه‌زنی و بنیه بذر شود (Hamidi et al., 2016). قاسمی گلعدانی و قاسمی (Ghassemi-Golezani and Ghassemi, 2013) کاهش جوانه‌زنی بذر خود در اثر اعمال تنش خشکی روی گیاه مادری را گزارش نمودند.

رطوبت موجود بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم آب قابل استفاده نامیده می‌شود. آب سهل‌الوصول بخشی از آب قابل استفاده است که گیاه بدون مواجهه با تنش آن را جذب می‌کند و از حاصل ضرب مقدار آب قابل استفاده در ضریبی کم‌تر از یک تحت عنوان حد تخلیه مجاز به‌دست می‌آید. مقدار آب سهل‌الوصول خاک هم متأثر از خصوصیات خاک همچون منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیک خاک و هم متأثر از ویژگی‌های گیاه همچون شاخص سطح برگ، تراکم و عمق ریشه‌دوانی و هدایت روزنه‌ای می‌باشد. حد مجاز تخلیه رطوبتی خاک یک مقدار تجربی بوده و به‌طور معمول از ۰/۳ برای گیاهان با ریشه کم عمق و تبخیر و تعرق بالا و تا ۰/۷ برای گیاهان با ریشه عمیق و تبخیر و تعرق پایین متغیر است. استفاده از مقدار ۰/۵ برای بسیاری از محصولات عمومیت دارد (Meskini Vishkaei et al., 2017). درحالی‌که فائو (FAO, 1979) حد تخلیه مجاز را برای کلزا ۰/۶ گزارش کرده است، مسکینی و همکاران (Meskini Vishkaei et al., 2017) در شرایط گلخانه و مدل‌سازی مقدار ۰/۴۴ را برای خاک لوم شنی گزارش کردند.

ترکیبات محرک رشد یکی از راه‌های بسیار امیدوارکننده برای غلبه بر تنش خشکی است. در واقع تعریف ترکیبات محرک رشد شامل بر هر ماده‌ای است که برای گیاه مفید می‌باشد و به‌صورت طبیعی جهت افزایش رشد، توسعه صفات کیفی و افزایش تحمل به تنش زیست محیطی استفاده می‌شود (Halpern et al., 2015). ترکیبات محرک رشد می‌توانند مواد طبیعی موجود در خاک باشند که ناشی از تجزیه بقایای گیاهان و حیوانات هستند و از فعالیت متابولیک میکروارگانیسم‌های خاک و با استفاده از این مواد اولیه به‌دست می‌آیند (Rose et al., 2014). عصاره جلبک دریایی، هیومیک و فولیک اسید مثال‌های بسیار مناسبی برای این ترکیبات هستند (Kocira et al., 2013). نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که انواع مختلف اسیدهای آمینه، تحمل

محرك رشد در شرایط فواصل مختلف آبیاری بررسی گردد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش پاسخ جوانه‌زنی و بنبه بذرهای حاصل از گیاه مادری کلزا تحت تأثیر ترکیبات محرك رشد گیاهی در شرایط تنش خشکی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب در سال ۱۳۹۷ بررسی شد. این آزمایش به صورت اسپلینت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی اعمال فواصل‌های مختلف آبیاری شامل سه سطح (آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک) و عامل فرعی شش سطح ترکیبات محرك رشد شامل شاهد (بدون ترکیبات محرك رشد)، محلول‌پاشی اسید آمینه با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گل‌دهی، کاربرد کود هیومیک اسید به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله از رشد (آبیاری دوم و خروج از رزت)، محلول‌پاشی فولویک اسید با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گل‌دهی، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گل‌دهی و تلفیق ترکیبات محرك رشد بود. ترکیبات اشاره شده، همگی از منبع تجاری مورد تایید موسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح جدول ۱ تعیین شد.

### جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

Table 1. Analysis of soil physical and chemical testing

عمق Depth (cm)	بافت texture	کربن آلی O.C (%)	pH	EC (dS/m)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
0-30	لوم Loam	0.55	8.3	1.05	0.09	12	165

پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره به صورت پیش‌کاشت و بعد از تهیه زمین با خاک مخلوط گردید. توصیه‌های تکمیلی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بعد از دوره رشد رزت و ۱۰۰ کیلوگرم اوره دیگر در دوره قبل از گلدهی مطابق توصیه بخش‌های تحقیقاتی خاک و آب استفاده گردید. رقم مناسب توسط بخش تحقیقات بذر و نهال در منطقه (RGS003) تهیه و ضمن ضدعفونی نمودن آن با

گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند. در رابطه با نقش‌های اسیدهای آمینه می‌توان به مواردی از جمله تنظیم انتقال یون‌ها، تنظیم بازشدن روزنه‌ها و عمل به‌عنوان اسمولیت اشاره کرد (Anjum *et al.*, 2014). همچنین مصرف هیومیک اسید باعث افزایش دوام سطح برگ شده که این امر مواد فتوسنتزی بیش‌تری را جهت پرکردن دانه‌ها فراهم کرده و سبب افزایش کیفیت بذرها می‌گردد (Khan *et al.*, 2012). محققان با محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید فولیک روی گندم گزارش کردند که اثر تسریع‌کنندگی اسید هیومیک و اسید فولیک روی گیاهان در درجه اول به خاطر تأثیر بر فعالیت آنزیم  $ATPase-H^+$  بوده و در نتیجه انتقال انرژی و نسبت جذب نیترات را در گیاه افزایش می‌دهد (Taimur *et al.*, 2018). نتایج بررسی‌ها نشان داده که کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث افزایش رشد گیاه و بهبود تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی می‌شود. عصاره جلبک تأثیر مفیدی روی گیاهان به دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند سیتوکنین، اکسین، ویتامین‌ها و آمینواسیدها دارد (Battacharyya *et al.*, 2015). با توجه به این که تنش خشکی و کمبود آب عامل محدودکننده‌ای برای رشد بسیاری از گیاهان زراعی محسوب می‌شود و از سوی دیگر با وجود گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت ترکیبات محرك رشد به‌عنوان القاکننده افزایش تحمل به تنش خشکی، در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد تا خصوصیات جوانه‌زنی و کیفیت بذرهای حاصل از گیاه مادری کلزا در ارتباط با تأثیر تعدیل‌کنندگی ترکیبات

در زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بود، شخم و بلافاصله با دیسک بستر بذر آماده گردید. با توجه به طرح آماری تعداد ۵۴ واحد آزمایشی (کرت) به ابعاد ۶×۲ متر با حاشیه دو متر توسط مرزبند احداث گردید. با توجه به نتایج آزمون خاک، اقلیم و پتانسیل تولیدی منطقه نسبت به توصیه کودی تلفیقی اقدام گردید. مقادیر ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات

آبیاری و میزان ۵۷۴۰، ۵۲۱۳ و ۴۳۱۰ متر مکعب در هکتار بود.

در هنگام رسیدگی کلزا، بذرها برداشت شد. سپس بذره‌های حاصل از این پژوهش برای هر تیمار به‌طور جداگانه مورد آزمون استاندارد جوانه‌زنی قرار گرفت. تعداد ۲۵ عدد بذر سالم به‌طور تصادفی از هر تیمار انتخاب گردید و پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه، به درون پتری‌دیش‌های ۹۰ میلی‌متری استریل‌شده بر روی کاغذ صافی منتقل شد. سپس آب مقطر به‌وسیله پیپت پنج سی‌سی به درون هر پتری‌دیش ریخته شد. در ادامه پتری‌دیش‌ها به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس انتقال داده شده و به مدت ۱۴ روز تعداد بذور جوانه‌زده شمارش شد. بذری جوانه‌زده در نظر گرفته شد که ریشه‌چه آن دو میلی‌متر از پوسته بذر خارج شده بود. در روز آخر جوانه‌زنی تعداد کل بذره‌های جوانه‌زده، شمارش شد. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ۱۵ عدد بذر در هر پتری با خط‌کش اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن‌ها بر حسب میلی‌متر گزارش گردید. وزن خشک گیاهچه (وزن خشک ریشه‌چه+وزن خشک ساقه‌چه) پس از قرار گرفتن در آن ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. برای محاسبه حداکثر جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی سبز شدن از نرم افزار Germiné استفاده شد (Soltani *et al.*, 2001). در این برنامه زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی ( $D_{50}$ ) با استفاده از روش درون‌یابی خطی در منحنی جوانه‌زنی جمع‌می‌محاسبه شد. سرعت جوانه‌زنی ( $R_{50}$ ) به‌صورت عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ مورد بررسی قرار گرفت.

$$R_{50}=1/D_{50} \quad (\text{رابطه ۲})$$

یکنواختی جوانه‌زنی (GU) مدت زمانی که طول جوانه‌زنی از ۱۰ درصد ( $D_{10}$ ) به ۹۰ درصد ( $D_{90}$ ) برسد، هرچه این مدت زمان کمتر باشد نشان‌دهنده جوانه‌زنی یکنواخت‌تر (هم‌زمان) بذور می‌باشد که از طریق معادله دو محاسبه شد (Soltani *et al.*, 2001). هم‌چنین شاخص بنیه بذر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید (Abdul baki and Anderson, 1973).

$$SVI=(GP/100)\times(SI+RL) \quad (\text{رابطه ۳})$$

قارچ‌کش کاپتان با تراکم توصیه‌شده توسط بخش تحقیقات تهیه بذر و نهال منطقه (۵ کیلوگرم در هکتار) توسط ردیف کار (۲۵ سانتی‌متر بین ردیف و ۷-۵ سانتی‌متر روی ردیف) کشت شد. مبارزه با علف‌های هرز با عملیات مکانیکی انجام شد. تیمارهای محلول‌پاشی مطابق آنچه در بالا معرفی شده اعمال گردید. بعد از کاشت بذرها، تمام کرت‌ها آبیاری گردید. پس از سبز شدن کامل گیاهچه‌ها (در مرحله ۲ تا ۳ برگی)، تیمارهای آبیاری اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. رطوبت تخلیه ۴۰ درصد آب قابل استفاده خاک به‌عنوان تیمار شاهد و سایر تیمارها شامل آبیاری تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده و تخلیه ۸۰ درصد آب قابل استفاده خاک بود. برای دستیابی به این تیمارها زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار به‌منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده انجام شد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه بر حسب متر مکعب و آبیاری تعیین شد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت از طریق رابطه ۱ محاسبه و آبیاری هر تیمار تا رسیدن به نقطه رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد. میزان آب مصرفی توسط هر کرت آزمایشی به‌وسیله پارشال فلوم نصب‌شده در مزرعه اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد (Attarzadeh *et al.*, 2019b).

$$I_g=[(\theta_{fc}-\theta_{pwp})\times t\times\rho\times D\times A\times 100]/E_a \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه،  $\theta_{fc}$  میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی خاک،  $\theta_{pwp}$  میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی،  $t$  درصد تخلیه رطوبت خاک (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)،  $\rho$  وزن مخصوص ظاهری خاک،  $D$  عمق توسعه ریشه (متر)،  $A$  مساحت کرت (متر مربع)،  $I_g$  میزان آب آبیاری و  $E_a$  راندمان آب آبیاری می‌باشد در نظر گرفته شد. تعداد آبیاری و مقدار آب مصرفی برای تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب ۷، ۵ و ۴ نوبت

دو گرم از بذرها در فاز دوم جوانه‌زنی (مرحله پس از آبنوشی اولیه بذر به مدت ۲۴ ساعت) جهت اندازه‌گیری فعالیت آلفا آمیلاز استفاده شد و میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر خوانده شد. میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بذرها کلزا بر اساس واحد نانومتر بر ثانیه گزارش شد. در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گردید.

### نتایج و بحث

#### حداکثر جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر حداکثر جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار بود، هم‌چنین این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲).

که در آن SVI، بنیه بذر، GP، درصد جوانه زنی، SL، طول ساقچه‌چه به میلی‌متر و RL، طول ریشه‌چه به میلی‌متر می‌باشند.

برای انجام آزمون هدایت الکتریکی از هر تیمار سه تکرار ۱۰۰ بذری به صورت تصادفی جدا گردید. در ابتدا وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به صورت جداگانه در داخل ظروف در بسته با فویل آلومینیومی حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر، به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شده و یک ظرف محتوی آب دو بار تقطیر شده بدون بذر نیز به عنوان شاخصی از کیفیت آب (شاهد) در نظر گرفته شد. ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش ظروف محتوی آب دوبار تقطیر شده در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا از لحاظ دما به تعادل برسند. بعد از مدت ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (EC متر)، هدایت الکتریکی هر ظرف اندازه‌گیری شد. سپس میزان هدایت الکتریکی هر گرم نمونه بذر با استفاده فرمول هدایت الکتریکی تعیین شد، که به صورت عدد خوانده شده از EC متر تقسیم بر وزن خشک ۱۰۰ عدد بذر به دست آمد. در پایان هدایت الکتریکی بر اساس درصد گزارش شد (ISTA, 2003). به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز از روش زئو (Xiao et al., 2006) استفاده شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	حداکثر جوانه‌زنی Germination maximum	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی Time to start 50% germination	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	بنیه‌ی بذر Vigor seed
تکرار Repeat	2	420 **	0.0010 ns	103 ns	397 **	0.795 **
فواصل آبیاری Irrigation intervals(a)	2	797 **	0.0054 **	573 **	5920 **	2.13 **
خطای Error a a	4	136	0.0003	32	164	0.357
ترکیبات محرک رشد Growth stimulator compounds (b)	5	278 **	0.00040 ns	43 ns	127 **	0.238 *
a × b	10	54.9 *	0.00014 ns	13 ns	26 ns	0.084 ns
خطای Error b b	30	20.9	0.0007	76.4	31.2	0.065
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.4	9.7	10.0	11.0	9.4

\*, \*\*, و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

ns, \*\*, and \* is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

میانگین حداکثر جوانه‌زنی تحت تأثیر اثرات متقابل دو عامل نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف ترکیبات محرک رشد در سطح آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی وجود نداشت (جدول ۳).

از سوی دیگر اثر فواصل آبیاری بر سرعت جوانه‌زنی کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر ترکیبات محرک رشد و برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه

جوانه‌زنی با پایداری در ساختار غشا و فعالیت‌های متابولیک آنزیم‌ها در بذر مرتبط است (Attarzadeh *et al.*, 2019a).

### زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی

اثر فواصل آبیاری بر زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر ترکیبات محرک رشد و برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). کم‌ترین زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده گردید، هر چند که از لحاظ آماری با سطوح ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). تیمار ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب افزایش زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر کلزا به میزان ۱۳/۷۷ درصد نسبت به تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی گردید. اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر یکنواختی جوانه‌زنی کلزا معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲).

با افزایش فواصل آبیاری یکنواختی جوانه‌زنی بذر کلزا کاهش یافت، به طوری که بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی بذر کلزا در تیمار ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی به دست آمد (جدول ۴). از سوی دیگر تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۷ درصدی یکنواختی جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد، هر چند که از لحاظ آماری با ترکیبات محرک رشد عصاره جلبک دریایی، اسید فولیک و اسید آمینه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). بنابراین کم‌ترین میزان یکنواختی جوانه‌زنی کلزا در شاهد بدون ترکیبات محرک رشد به دست آمد (جدول ۵).

کاهش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر و کاهش برخی خصوصیات مرتبط با بهبود و احیا کیفیت جوانه‌زنی بذر در اثر تنش خشکی روی گیاه مادری در دوره تکوین بذر گزارش شده است (Ghassemi-Golezani and Ghassemi, 2013). محققان نیز کاهش کیفیت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر ناشی از افزایش فواصل آبیاری گیاه مادری را در مراحل مختلف رسیدگی بذر گزارش کردند (Attarzadeh *et al.*, 2019a).

در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی حداکثر جوانه‌زنی در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد با میانگین ۹۲ درصد بود که نسبت به شاهد اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به سطوح دیگر ترکیبات محرک رشد تفاوت معنی‌داری نداشت. هم‌چنین حداکثر جوانه‌زنی در سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد و اسید آمینه به ترتیب با میانگین ۸۷ و ۸۵ درصد مشاهده شد. پس از آن تیمار اسید هیومیک و اسید فولیک به ترتیب با میانگین ۷۹ و ۷۷ درصد جوانه‌زنی، نسبت به تیمار برتر در گروه بعدی آماری قرار گرفتند. هم‌چنین کم‌ترین جوانه‌زنی با میانگین ۵۹ درصد در شاهد به دست آمد که نسبت به سطوح ترکیبات محرک رشد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی بذرهای کلزا با افزایش فواصل آبیاری روند کاهشی را نشان داد، به طوری که در تیمار آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، سرعت جوانه‌زنی ۰/۲۹۶ در روز بود، اما تیمار آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش ۱۱ درصدی سرعت جوانه‌زنی گردید (جدول ۴). از سوی دیگر بین فواصل آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۴).

تنش خشکی در زمان رسیدگی بذر با تغییر در غشاهای سلولی بذر توانسته بر قابلیت جوانه‌زنی بذر اثر بگذارد. بنابراین تیمار آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سرعت جوانه‌زنی بذرهای کلزا را کاهش داد. محققان کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی را ناشی از جذب کم‌تر آب توسط گیاه مادری و در نهایت بذر گزارش کردند (Hamidi *et al.*, 2016). هم‌چنین کاهش بیان سنتز هورمون‌ها و آنزیم‌های موثر در جوانه‌زنی که منجر به کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی می‌گردد، از اثرات دیگر تنش خشکی می‌باشد (Kafi and Mahdavi-Damghani, 2000). از سوی دیگر ترکیبات محرک رشد می‌توانند از طریق ایجاد تعادل در سطح آنزیم‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد باعث بهبود مولفه‌های جوانه‌زنی گردند (Jardin, 2015). به طوری که در شرایط فواصل آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی ترکیبات محرک رشد عصاره جلبک دریایی، اسید آمینه و تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش درصد جوانه‌زنی گردید. محققان گزارش کردند که تغییرات سرعت و درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه و آلفا‌آمیلاز بذرهای کلزا تحت تأثیر برهم‌کنش فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد

**Table 3. Comparison of mean germination percent, time to start 50% germination, root length, Seedling dry weight and alpha- amylase canola seeds interactions affected by irrigation intervals and growth stimulator compounds**

فواصل آبیاری (تخلیه رطوبتی) Irrigation intervals (Available moisture depletion)	ترکیبات محرک رشد Growth stimulator compounds	حداکثر جوانه‌زنی (درصد) Germination maximum (percent)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling dry weight (g)	آلفا‌آمیلاز (نانومتر بر ثانیه) Alpha- amylase (nM .sec <sup>-1</sup> )
40 %	1	85 a	1.42 b	0.034 c	0.41 a
	2	92 a	1.50 b	0.037 ab	0.44 a
	3	87 a	1.47 b	0.036 bc	0.41 a
	4	89 a	1.43 b	0.037 ab	0.41 a
	5	86 a	1.53 b	0.034 c	0.43 a
	2+3+4+5	92 a	1.66 a	0.038 a	0.44 a
60 %	1	81 b	1.33 b	0.029 d	0.29 c
	2	90 ab	1.40 ab	0.036 ab	0.35 ab
	3	87 ab	1.36 b	0.030 cd	0.31 bc
	4	86 ab	1.40 ab	0.030 cd	0.30 c
	5	85 ab	1.43 ab	0.033 bc	0.35 ab
	2+3+4+5	92 a	1.50 a	0.038 a	0.38 a
80 %	1	59 c	0.83 e	0.020 c	0.21 b
	2	85 a	0.96 cd	0.034 a	0.33 a
	3	79 ab	0.90 de	0.029 b	0.23 b
	4	77 ab	1.06 bc	0.029 b	0.24 b
	5	70 b	1.13 b	0.027 b	0.34 a
	2+3+4+5	87 a	1.26 a	0.035 a	0.36 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

۱: شاهد، ۲: اسید آمینه، ۳: اسید هیومیک، ۴: اسید فولیک، ۵: عصاره جلبک دریایی.

1: Control, 2: Amino acid, 3: Humic acid, 4: Fulvic Acid, 5: Containing seaweed extract.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و هدایت الکتریکی بذرهای کلزا تحت تأثیر فواصل آبیاری

**Table 4. Comparison of mean germination rate, germination uniformity, vigor seed, stem length, seedling dry weight and electrical conductivity canola seeds affected by irrigation intervals**

فواصل آبیاری (تخلیه رطوبتی) Irrigation intervals (Available ) moisture depletion)	سرعت جوانه‌زنی (در روز) Germinati on rate (per day)	زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) Time to start 50% germination (hour)	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) Germination uniformity (hour)	بنیه بذر Vigor seed	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	هدایت الکتریکی (درصد) Electrical conductivity (percent)
40 %	0.296 a	81.44 b	38.33 b	2.97 a	1.12 a	36.75 b
60 %	0.281 a	86.00 b	42.33 b	2.85 ab	1.07 a	39.41 b
80 %	0.261 b	92.66 a	71.55 a	2.32 b	0.72 b	48.36 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

یکنواختی جوانه‌زنی بذر شوند ( Masondo *et al.*, 2018). بنابراین بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده گردید. هم‌چنین ترکیبات محرک رشد عصاره جلبک دریایی، اسید فولیک و اسید آمینه در سطح پایین‌تر توانست سبب بهبود یکنواختی جوانه‌زنی بذر شوند.

مشابه با نتایج سایر محققان، تیمار ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب افزایش زمان تا شروع ۵۰ درصد جوانه‌زنی و کاهش یکنواختی جوانه‌زنی بذر کلزا گردید. از سوی دیگر ترکیبات محرک رشد می‌توانند از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله سنتز هورمون‌های گیاهی و بالا نگه داشتن میزان فعالیت آنزیم‌ها سبب ظهور سریع گیاهچه و

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و هدایت الکتریکی بذرهای کلزا تحت تأثیر ترکیبات محرک رشد

**Table 5. Comparison of mean germination rate, germination uniformity, vigor seed, stem length, seedling dry weight and electrical conductivity canola seeds affected by growth stimulator compounds**

ترکیبات محرک رشد Growth stimulator compounds	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) Germination uniformity (hour)	بنیه بذر Vigor seed	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) (cm) Shoot length	هدایت الکتریکی (درصد) Electrical conductivity (percent)
1	56.0 a	2.75 abc	0.85 c	45.4 a
2	49.5 c	2.55 c	1.00 ab	40.1 b
3	53.5 ab	2.54 c	0.92 bc	41.6 ab
4	51.8 abc	2.67 bc	0.95 abc	41.8 ab
5	47.1 c	2.55 a	1.02 ab	39.8 b
2+3+4+5	46.3 c	2.83 ab	1.07 a	40.1 b

۱: شاهد، ۲: اسید آمینه، ۳: اسید هیومیک، ۴: اسید فولیک، ۵: عصاره جلبک دریایی.

1: Control, 2: Amino acid, 3: Humic acid, 4: Fulvic Acid, 5: Containing seaweed extract.

### طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر طول ریشه‌چه گیاهچه کلزا معنی‌دار بود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۶). در سطح آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تلفیق ترکیبات محرک رشد با میانگین ۱/۶۶ سانتی‌متر مشاهده گردید، که نسبت به ترکیبات دیگر محرک رشد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده گردید که نسبت به شاهد و اسید هیومیک به ترتیب ۱۲/۷۸ و ۱۰/۲۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). در سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده گردید. پس از آن تیمار عصاره جلبک دریایی و اسید فولیک نسبت به تیمار برتر در گروه بعدی آماری قرار گرفتند.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر طول ساقه‌چه گیاهچه کلزا معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۶). طول ساقه‌چه با افزایش فواصل آبیاری روند کاهشی نشان داد، به طوری که در سطح آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، طول ساقه‌چه در شاهد ۱/۱۲ سانتی‌متر بود و سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش ۵۵/۵۵ درصد طول ساقه‌چه گردید (جدول ۴). همچنین طول ساقه‌چه در تیمار آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. از سوی دیگر بیش‌ترین طول ساقه‌چه در تیمار

### بنیه بذر

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر بنیه بذر کلزا معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). تغییرات بنیه بذر با افزایش فواصل آبیاری روند کاهشی را نشان داد، به طوری که بنیه بذر در آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی ۲/۹۷ بود، اما آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش ۲۸/۰۱ درصد آن گردید (جدول ۴). همچنین بنیه بذر در تیمار آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. نتایج به دست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که بیش‌ترین بنیه بذر کلزا در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد با میانگین ۲/۸۳ مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج حاصل حاکی از این است که افزایش فواصل آبیاری به ویژه آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی منجر به تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد. کاهش ضخامت پوسته بذر و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی در اثر تنش خشکی روی گیاه مادری به وجود آمده و در نتیجه سبب کاهش بنیه بذر گیاهان می‌گردد (Atarod et al., 2012). بهبود کیفیت جوانه‌زنی و بنیه بذر ناشی از ترکیبات مختلف از جمله داشتن هورمون‌های رشد مانند سیتوکنین، اکسین، ویتامین‌ها و آمینواسیدها در ترکیبات محرک رشد می‌باشد (Masondo et al., 2018). محققان گزارش کردند که سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید فولیک به دلیل وجود ترکیبات هورمونی سبب بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و بنیه بذر گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea*) گردید (Azadbakht et al., 2018).



گیاهچه گردید، اما تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب بهبود وزن خشک گیاهچه در سطوح مختلف آبیاری شد. به نظر می‌رسد که در تیمارهای آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی به دلیل تحرک کم مواد غذایی و انتقال کم- تر آن‌ها به بذر سبب کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک نتیجه سبب کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه گردیده است. محققان گزارش کردند که افزایش فواصل آبیاری از طریق اختلال در جذب آب در مراحل مختلف رشد باعث کاهش و یا عدم انتقال مواد غذایی به لپه‌ها در مراحل مختلف رسیدگی بذر شده که در نهایت منجر به کاهش رشد و تولید گیاهچه‌های ضعیف می‌گردد (Hadi et al., 2010). گزارش شده است که ترکیبات محرک رشد از جمله اسید آمینه و فولیک اسید از طریق جذب بیش‌تر عناصر غذایی از جمله نیتروژن توسط گیاه مادری سبب بهبود رشد بذر شده است (Azadbakht et al., 2018). هم‌چنین ترکیبات محرک رشد، مقدار اکسین و سیتوکینین را در شرایط تنش‌های محیطی در گیاه افزایش می‌دهند و سبب رشد بهتر گیاهچه نسبت به شاهد می‌شوند (Masondo et al., 2018). بنابراین افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و بالاتر بودن وزن خشک گیاهچه کلزا در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد تاییدی بر این مدعاست.

تلفیق ترکیبات محرک رشد با میانگین ۱/۰۷ سانتی‌متر مشاهده گردید، این در حالی بود که این صفت از لحاظ آماری با ترکیبات محرک رشد عصاره جلبک دریایی و اسید فولیک و اسید آمینه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). کم‌ترین میزان طول ساقه‌چه کلزا در شاهد بدون ترکیبات محرک رشد به دست آمد (جدول ۵). اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود، هم‌چنین این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در سطح آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه در تلفیق ترکیبات محرک رشد با میانگین ۰/۰۳۸ گرم مشاهده گردید که نسبت به شاهد ۱۱/۷۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). محلول‌پاشی اسید آمینه و فولیک اسید در سطح پایین‌تر از تلفیق ترکیبات محرک رشد توانست وزن خشک گیاهچه کلزا را بهبود دهد. مشابه با تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، در سطح آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه در تلفیق ترکیبات محرک رشد به دست آمد. پس از آن تیمار اسید آمینه توانست سبب افزایش وزن خشک گیاهچه در سطح آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی گردد (جدول ۳). اگرچه افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش وزن خشک

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

Table 6. Analysis of variance (mean squares) for studied traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	آلفا آمیلاز Alpha- amylase
تکرار Repeat	2	0.032 **	0.045 ns	0.00003 **	362 **	0.0022 *
فواصل آبیاری Irrigation intervals (a)	2	1.14 **	0.855 **	0.00022 **	665 **	0.0910 **
خطای خطای Error a	4	0.042	0.013	0.000012	71.7	0.0033
ترکیبات محرک رشد Growth stimulator compounds (b)	5	0.086 **	0.055 *	0.00010 **	39.3*	0.0139 **
a × b	10	0.011 *	0.006 ns	0.00001 **	14.1 ns	0.0021 **
خطای خطای Error b	30	0.004	0.017	0.000003	14.9	0.0005
ضریب تغییرات (C.V. (%))		5.0	13.6	5.5	9.3	6.8

ns و \*\* و \*\*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار

ns and \*\*\* is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۶). هدایت الکتریکی بذرهای کلزا با افزایش فواصل آبیاری روند افزایشی را نشان داد، به طوری که تیمار آبیاری ۸۰ (۴). نتایج به دست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی بذرهای کلزا در سطح آبیاری ۴۰ و

### هدایت الکتریکی و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر هدایت الکتریکی بذرهای کلزا معنی‌دار بود، اما این صفت تحت درصد تخلیه رطوبتی سبب افزایش هدایت الکتریکی نسبت به آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی گردید (جدول

۲۰۱۵). بنابراین کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی در بذور کلزا به دلیل تأثیر منفی تنش خشکی بر فعالیت این آنزیم می‌باشد. از سوی دیگر ترکیبات محرک رشد به خصوص عصاره جلبک دریایی، اسید آمینه و تلفیق ترکیبات محرک رشد از طریق ایجاد تعادل در سطح آنزیم‌ها (Jardin, 2015) سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز گردید.

### نتیجه‌گیری کلی

افزایش فواصل آبیاری از طریق کاهش میزان رطوبت در دسترس، تشکیل و نمو بذر روی پایه مادری را تحت تأثیر قرار داده است. تنش خشکی روی گیاه مادری می‌تواند سبب ایجاد اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به بذرها شود. بنابراین تیمار آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها را کاهش داد. افزایش فواصل آبیاری از طریق تخریب ساختار غشای سلول سبب افزایش نشت‌پذیری غشاهای سلولی و هدایت الکتریکی بذرها می‌گردد. به طوری که تیمار آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی با افزایش هدایت الکتریکی بذرها و کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز سبب ایجاد تغییر در بنیه بذرها را کلزا شده است. نتایج به دست آمده دیگر در این پژوهش نشان می‌دهد که با اعمال تنش خشکی، ترکیبات محرک رشد بیش‌تر تأثیرگذار بود. به طوری که در فواصل آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی ترکیبات محرک رشد به خصوص عصاره جلبک دریایی، اسید آمینه و تلفیق ترکیبات محرک رشد با افزایش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز سبب بالابردن درصد جوانه‌زنی گردید. احتمالاً ترکیبات محرک رشد با تأثیر بر ساختار غشا و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش کیفیت خصوصیات جوانه‌زنی شده است. بنابراین با توجه به تأثیر مثبت تلفیق ترکیبات محرک رشد در بهبود و احیای کیفیت بذرها حاصل از گیاه مادری کلزا می‌توان در شرایط تنش خشکی توصیه نمود.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئول ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب قدردانی می‌گردد.

۶۰ درصد تخلیه رطوبتی از لحاظ آماری فاقد تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۴). از سوی دیگر کم‌ترین هدایت الکتریکی در تیمار عصاره جلبک دریایی با میانگین ۳۹/۸ درصد مشاهده گردید، هر چند که از لحاظ آماری با ترکیبات دیگر محرک رشد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). هم‌چنین کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی کلزا در شاهد بدون ترکیبات محرک رشد به دست آمد (جدول ۵). اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز معنی‌دار بود، از سوی دیگر این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در سطح آبیاری ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف ترکیبات محرک رشد وجود نداشت (جدول ۳). در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده گردید که نسبت به شاهد و اسید فولیک به ترتیب ۳/۳۱/۰ و ۲۶/۶۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). در سطح آبیاری ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده گردید و پس از آن تیمار عصاره جلبک دریایی و اسید آمینه به- ترتیب با میانگین فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز ۰/۳۴ و ۰/۳۳ نانومتر بر ثانیه، نسبت به تیمار برتر در گروه بعدی آماری قرار گرفتند.

افزایش فواصل آبیاری در مراحل مختلف رسیدگی باعث تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد. بنابراین در این شرایط نشت مواد از پوسته بذر افزایش یافته که این امر به علت پوسته آسیب‌دیده بذر، سهولت پاره شدن پوسته و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی است (Atarod et al., 2012). هم‌چنین تنش خشکی از طریق تخریب ساختار غشا سبب افزایش تراوش مواد درون سیتوپلاسم شده و در نتیجه هدایت الکتریکی بیش‌تری خواهند داشت (Attarzadeh et al., 2019a). افزایش نشت مواد از غشا بر متابولیسم سلولی اثر مخرب دارد و منجر به تغییر ماهیت آنزیم‌ها و از دست‌رفتن فعالیت آن‌ها می‌شود (Morales-Cedillo et al., 2015). آنزیم آلفاآمیلاز از آنزیم‌های حیاتی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در فرایند جوانه‌زنی است که کاهش فعالیت آن می‌تواند باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر گردد (Papenfus et al., )

## منابع

- Abdul Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Journal of Crop Science*, 13: 630-633. **(Journal)**
- Anjum, N.A., Gill, S.S. and Gill, R. 2014. *Plant Adaptation to Environmental Change: Significance of Amino Acids and Their Derivatives* (CABI). **(Book)**
- Atarod, H., Irannejad, H., Shirani Rad, A.H., Amiri, R. and Akbari, Gh. 2012. Assessment of drought stress and planting date effects applied on original plant, on its seed electrical conductivity rate. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(2): 242-247. (In Persian)**(Journal)**
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A. and Rajaie, M. 2019a. Response of germination and electrical conductivity of seeds produced by *Echinacea purpurea's* mother plants under the influence of biological fertilizers and drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8(1): 185-200. (In Persian)**(Journal)**
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M. and Salehi, A. 2019b. Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas* fluorescent bacterium under different irrigation regimes. *Journal of Environmental Management*, 231: 182-188. **(Journal)**
- Azadbakht, F., Amini Dehaghi, M. and Ahmadi, K.H. 2018. Effect of humic acid and folic acid on seed germination properties of *echinacea purpurea* under salt stress conditions. *Journal of Seed Research*, 8(3): 29-42. (In Persian)**(Journal)**
- Balouchi, H.R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi Dehnavi, M. and Yadavi, A.R. 2014. Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *brassica napus*. *Journal of Plant Research*, 26(4): 397-411. (In Persian)**(Journal)**
- Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P. and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 39-48. **(Journal)**
- Elouaer, M.A. and Hannachi, C. 2012. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 6: 76-84. **(Journal)**
- FAO, 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome. **(Handbook)**
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, SMA. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185-212. **(Journal)**
- Flakelar, C.L., Lockett, D.J., Howitt, J.A., Dorana, G. and Prenzler, P.D. 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42: 179-186. **(Journal)**
- Ghassemi-Golezani, K. and Ghassemi, S. 2013. Effects of water supply on seed development and quality of chickpea cultivars. *Plant Breeding and Seed Science*, 67: 37-44. **(Journal)**
- Hadi, H., Daneshian, J., Hamidi, A., Asgharzade, A. and Zarghami, R. 2010. Effect of rhizobacteria on seedling characteristics of seeds produced under deficit irrigation. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 86: 42-50. (In Persian)**(Journal)**
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T. and Yermiyahu, U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, 129: 141-174. **(Journal)**
- Hamidi, A., Daneshian, J. and Asgharzadeh, A. 2016. A review of drought stress on mother plant effect on soybean seed germination and vigour improvement by some beneficial soil microorganisms treatment assessment. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 3(2): 109-124. (In Persian)**(Journal)**
- ISTA, 2003. *Handbook for seedling evaluation* (3rd.ed). International Seed Testing Association Zurich, Switzerland, 223 pp. **(Handbook)**
- Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196: 3-14. **(Journal)**
- Kafi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 2000. Mechanism of Tolerance to Environmental Stress in Sowings Plant. Ferdowsi University of Mashhad, 467 pp. (In Persian)**(Book)**
- Khan, A., Guramni, A.R., Khan, M.Z., Hussain, F., Akhtar, M.E. and Khan, S. 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Chemical Society of Pakistan*, 6: 56-63. **(Journal)**

- Kocira, A., Kornas, R. and Kocira, S. 2013. Effect assessment of Kelpak sl on the Bean yield. Journal of Central European Agriculture, 14(2): 67-76. **(Journal)**
- Masondo, N.A., Kulkarni, M.G., Finnie, J.F. and Staden, J.V. 2018. Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147: 43-48. **(Journal)**
- Meskini Vishkaei, F., Mohammadi, M.H., Neishabouri, M.R. and Shekari, F. 2017. A model to estimate soil water depletion coefficient using plant and soil properties. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48: 749-758. (In Persian)**(Journal)**
- Morales-Cedillo, F., Gonzalez-Solis, A., Gutiérrez-Angoa, L., Cano-Ramírez, D.L. and Gavilanes-Ruiz, M. 2015. Plant lipid environment and membrane enzymes: the case of the plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase. Plant Cell Reports, 34: 617-629. **(Journal)**
- Papenfus, H.B., Kulkarni, M.G., Posta, M., Finnie, J.F. and Staden, J.V. 2015. Smoke-isolated trimethylbutenolide inhibits seed germination of different weed species by reducing amylase activity. Weed Science, 63: 312-20. **(Journal)**
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R. and Cavagnaro, T.R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.S. (Ed.), Advances in Agronomy, 124: 37-89. **(Journal)**
- Soltani, A., Galashi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2001. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science, 30: 51-60. **(Journal)**
- Taimur, A., Khan, R. and Khattak, T.N. 2018. Effect of humic acid and fulvic acid based liquid and foliar fertilizers on the yield of wheat crop. Journal of Plant Nutrition, 1-8. **(Journal)**
- Xiao, Z., Storms, R. and Tsang, A. 2006. A quantitative starch-iodine method for measuring alpha amylase and glucoamylase activities. Analytical Biochemistry, 351: 146-148. **(Journal)**
- Zada, M., Zakir, N. Rabbani, M.A. and Shinwari, Z.K. 2013. Assessment of genetic variation in Ethiopian mustard (*Brassica Carinata* A. Braun) germplasm using multivariate techniques. Pakestianian Journal Botony, 45: 583-593. **(Journal)**



## Improvement and regeneration of canola seeds (*Brassica napus*) with growth promoting compounds under different irrigation intervals

Parviz Hosseini<sup>1</sup>, Kamran Mohsenifar<sup>\*1</sup>, Majid Rajaie<sup>1,2</sup>, Teimour Babaeinezhad<sup>1</sup>

Received: September 14, 2019

Accepted: December 31, 2019

### Abstract

The use of growth promoting compounds is one of the possible ways to improve and restore seed quality. This study was conducted as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications in 2019. The main plots consisted of three irrigation intervals (irrigation at 40, 60 and 80% of available moisture depletion) and the subplots were different growth promoting compounds in six levels consisted of control, soil application of humic acid and foliar spray of amino acid, fulvic acid, seaweed extract and the combination of growth stimulants. Results showed that irrigation regime of 80% available moisture depletion decreased germination rate and seed vigor by 11.0% and 28.01% compared to 40% depletion respectively. Increase of irrigation intervals also increased seed electrical conductivity. At the irrigation level of 80% moisture depletion, maximum germination with the means of 87% and 85% was observed in the combination of growth stimulants and spray of amino acids respectively. Growth stimulants improved seedling dry weight. Under irrigation conditions of 60 and 80% moisture depletion, the combination of growth stimulants increased the alpha-amylase activity by 31.03 and 71.42% respectively. On the whole, considering the positive effects of growth promoting compounds on improving and regenerating the seeds of canola they can be recommended in drought stress conditions.

**Keywords:** Alpha-amylase; Amino acid; Available moisture depletion; Seaweed extract

### How to cite this article

Hosseini, P., Mohsenifar, K., Rajaie, M. and Babaeinezhad, T. 2021. Improvement and regeneration of canola seeds (*Brassica napus*) with growth promoting compounds under different irrigation intervals. Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(4): 463-475. (In Persian)(**Journal**)  
DOI: [10.22124/JMS.2020.4643](https://doi.org/10.22124/JMS.2020.4643)

### COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

\*Corresponding author: mohsenifar@live.com