نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۱۳۰-۱۰۹

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681009

تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و متانول و فرسودگی پس از برداشت بر عملکرد دانه و بنیه بذور حاصله کلزا رقم Hyola401

سیداحمد کلانتراحمدی[1*] و احمدعلی شوشی دزفولی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر تنش خشکی، محلول پاشی با اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک و متانول و فرسودگی بذر پس از برداشت بر عملکرد دانه و بنیه بذر کلزا، دو آزمایش مجزا به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی گیاه مادری در شرایط مزرعه‌ای و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با توجه به شرایط انبارداری انجام گردید. در شرایط مزرعه‌ای فاکتور اصلی در سه سطح شامل آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به‌عنوان شاهد (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و عامل فرعی نیز در ۱۰ سطح، شامل (اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول، متانول با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی، و شاهد به‌صورت محلول‌پاشی با آب مقطر) بودند. بذور حاصل از گیاه مادری نیز در شرایط بدون انبارداری (شاهد) و یک ماه انبارداری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار گرفتند. کاربرد اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط آبیاری مطلوب موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۲۹ درصد نسبت به عدم کاربرد مواد مؤثر بر رشد در شرایط آبیاری مطلوب گردید. اثر تیمارهای مزرعه‌ای گیاه مادری بر وزن ریشه‌چه، وزن ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی روزانه، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص وزنی قدرت بذر و کارایی استفاده از ذخایر تحت شرایط بدون انبارداری و یک ماه انبارداری معنی‌دار بودند. قطع آبیاری گیاه مادری، کاهش وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه را هم در شرایط انبارداری و هم بدون انبارداری به‌دنبال داشت. در شرایط بدون انبارداری و یک ماه انبارداری بیشترین درصد جوانه‌زنی از کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآسکوربیک در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد. در شرایط یک ماه انبارداری نیز حداقل درصد جوانه‌زنی مربوط به عدم کاربرد مواد مؤثر بر رشد و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بود. تحت شرایط یک ماه انبارداری بذور حاصل از گیاهان مادری محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک در تمام تیمارهای آبیاری از شاخص وزنی قدرت بذر بیشتری برخوردار بودند.

واژگان کلیدی: انبارداری، تنش خشکی، جوانه‌زنی بذر، فرسودگی.

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** a.kalantarahmadi@areeo.ac.ir

مقدمه

خشکی از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که تاثیر نامطلوبی بر تولید محصولات و کیفیت آنها داشته و منجر به محدودیت‌های اسمزی، یونی و غذایی و همچنین تاخیر در رشد، اختلالات متابولیک و تنش اکسیداتیو در گیاهان گردیده (Turkan, 2011) و بر روی بذر و تولید آن تاثیرگذار می‌باشد (Galeshi and Bayat Tork, 2006). کیفیت بذر یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در امر تولید محصولات زراعی می‌باشد که تحت تاثیر پارامترهای زیادی از جمله محیط، تغذیه گیاه مادری، شرایط رسیدگی و آسیب‌های مکانیکی قرار می‌گیرد. شرایط نامناسب انبارداری منجر به زوال بذر شده و این زوال سبب کاهش کیفیت بذر، قدرت حیات، ظرفیت جوانه‌زنی و سبزشدن می‌گردد. امروزه بسیاری از دانه‌ها را پس از برداشت در مدت زمان‌های طولانی در انبار نگهداری می‌کنند که موجب افزایش نفوذپذیری غشا، نشت الکترولیت و فرسودگی دانه و در نهایت کاهش کیفیت و استقرار بذر می‌شود (Basra *et al*., 2003). از این رو شرایط انبارداری متفاوت می‌تواند سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان شود (Marshal and Lewis, 2004). به‌عبارت دیگر بذور بر اساس اینکه نحوه تولید و شرایط نگهداری آنها چگونه بوده است، دارای کیفیت و بنیه متفاوتی هستند و این شرایط می‌تواند بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر تاثیرگذار باشد (Forcella *et al*., 2000). بعد از ساختار ژنتیکی، فرسودگی بذر ناشی از انبارداری بیشترین تاثیر را بر قدرت بذر دارد (Pirredda *et al*., 2020). طی فرآیند فرسودگی، اولین مؤلفه‌ای که کاهش می‌یابد، کیفیت بذر می‌باشد که بر کاهش ظرفیت جوانه‌زنی و قدرت حیات بذر نیز تاثیرگذار خواهد بود. قدرت بذر نیز یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی بذر می‌باشد که کاهش آن آسیب‌های جدی را برای بذر بدنبال خواهد داشت (Basra *et al*., 2003). در شرایط انبارداری تغییراتی از جمله کاهش تنفس، اکسیداسیون چربی‌ها و از دست رفتن فعالیت‌های آنزیمی اتفاق می‌افتد. فرآیند زوال بذر حتی در صورت نگهداری بذر در شرایط مطلوب نیز اجتناب ناپذیر بوده و در نهایت بذر قابلیت جوانه‌زنی را از دست می‌دهد (Alivand *et al*., 2013). شیرانی‌راد و همکاران (Shirani Rad *et al*., 2012) در آزمایشی که بر روی کلزا انجام دادند، بدین نتیجه دست یافتند که قطع آبیاری و تاریخ کاشت تاثیری بر بنیه بذر ارقام کلزا در شرایط مزرعه ندارد اما تحت شرایط آزمایشگاهی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تاثیر قرار گرفتند. تحت شرایط تنش گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت موجب سمیت زدایی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al*., 2015a). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک هورمون طبیعی گیاهی در تنظیم فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاهان نقش داشته (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017) و کاربرد آن باعث کاهش تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن شده و در نهایت افزایش تحمل گیاه به تنش‌ها را به‌دنبال دارد (Kalantar Ahmadi *et al*., 2015 b). سالیسیلیک اسید همچنین بر افزایش برخی هورمون‌ها نظیر اکسین، سیتوکینین و کاهش نشت یونی تاثیرگذار می‌باشد (Shakirova *et al*., 2003). نقش مثبت سالیسیلیک اسید بر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی نیز گزارش شده است (Tasgin *et al*., 2003). تاثیر کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک به غلظت کاربردی آن، روش استفاده

و وضعیت گیاه (مرحله نمو، تعادل اکسیداتیو و سازگاری) بستگی داشته باشد (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2015 a). مجردی و همکاران اظهار داشتند که پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید سبب بهبود آثار منفی تنش خشکی می‌شود (Mojaradi *et al.*, 2020). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید تقویت سیستم دفاعی گیاه در شرایط تنش خشکی را بدنبال دارد (Chamani *et al.*, 2018). آسکوربات یکی از متابولیت‌های مهم در گیاهان می‌باشد که به‌عنوان یک آنتی اکسیدانت به همراه دیگر سیستم‌های آنتی اکسیدانی عمل کرده و از گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند و کاربرد آن می‌تواند یک استراتژی برای بهبود تحمل به تنش‌های غیرزنده باشد (Guo *et al.*, 2005). افزایش سطح اسید آسکوربیک سلولی به‌عنوان یک آنتی اکسیدانت می‌تواند موجب کاهش تنش اکسیداتیو شده (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2015 a) و به‌عنوان پیش‌تیمار بذر موجب افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر تحت شرایط نامساعد محیطی و بیشتر شدن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در بذر گردد (Ansari *et al.*, 2013). آسیب رساندن به غشای سلولی، چربی‌ها و پروتئین‌ها یکی از شناخته شده‌ترین اثرات گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2015 a) و تاثیر بازدارندگی کاربرد اسید آسکوربیک بر پراکسیداسیون لیپیدها و بهبود سیستم دفاعی گیاه تحت تنش آب نیز گزارش شده است (Shao *et al.*, 2008). پرایمینگ بذر با اسید آسکوربیک نیز موجب بهبود رشد گیاهان می‌شود و این نشان می‌دهد که اسید آسکوربیک در کاهش آثار مضر تنش خشکی به گیاه کمک می‌کند (Malik and Ashraf, 2012). کاربرد متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی سبب افزایش عملکرد، تسریع رسیدگی، کاهش اثر خشکی و کاهش نیاز آبی آنها می‌شود (Khaki-Moghadam and Rokhzadi, 2015). همچنین، نقش مهم متانول در کاهش اثر تنش‌های ناشی از تنفس نوری نیز گزارش شده است (Downie *et al.*, 2004). با وجود اینکه متانول به‌دلیل افزایش میزان دی اکسیدکربن درون سلولی و فتوسنتز از تاثیر مثبتی بر فاز رویشی گیاهان برخوردار می‌باشد (Ramberg *et al.*, 2002)، اما دارای اثرات بازدارنده‌ای بر خصوصیات جوانه‌زنی می‌باشد (Ahmadpour *et al.*, 2015). از جمله مشکلات بذر دانه‌های روغنی، پایین بودن پتانسیل انبارداری و تسریع سرعت زوال آنها می‌باشد. شرایط نامناسب رطوبت و دمای انبار فرایند زوال را شدت بخشیده و در نتیجه بذور زوال یافته و فرسوده از کیفیت مناسبی جهت کشت برخوردار نخواهند بود (Bewley *et al.*, 2013).

با توجه به بررسی‌های انجام شده و اهمیت نقش شرایط گیاه مادری و انبارداری پس از برداشت و با در نظر گفتن اینکه تولید بذر کلزای بهاره (رقم Hyola401، شاهد منطقه) مورد نیاز کشور در استان خوزستان انجام می‌شود، این آزمایش به مورد اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رابطه بین بذور به‌دست آمده از گیاه مادری تحت تاثیر قطع آبیاری و کاربرد مواد مؤثر بر رشد و همچنین فرسودگی پس از برداشت آزمایشی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول به مورد اجرا گذاشته شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی گیاه مادری در سال

زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. فاکتور اصلی در سه سطح شامل آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به‌عنوان شاهد (آبیاری مطلوب) و قطع آبیاری در دو مرحله گلدهی (تنش شدید) و خورجین‌دهی (تنش ملایم) بود. عامل فرعی محلول‌پاشی در ۱۰ سطح شامل (اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول، متانول با غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی و شاهد به‌صورت محلول‌پاشی با آب مقطر) بود. مشخصات تیمارهای آزمایشی در جدول ۱ ارایه شده است. محلول‌پاشی مواد مؤثر بر رشد در دو مرحله غنچه‌دهی و شروع گلدهی انجام گردید. رقم مورد آزمایش نیز Hyola401 بود. لاین‌های پدری و مادری جهت تولید بذر هیبرید در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ توسط شرکت شهید رجایی دزفول کشت در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ جهت اجرای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. بذور حاصل از گیاه مادری در دو آزمایش مستقل، بدون انبارداری (شاهد) و یک ماه انبارداری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس (Sun *et al*., 2014) مورد ارزیابی قرار گرفتند. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۲ ارایه شده است. بر طبق نتایج حاصل از تجزیه خاک مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به‌صورت پایه مصرف گردید. مقدار نیتروژن مصرفی نیز به میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. کود نیتروژن در سه مرحله (یک سوم قبل از کاشت، یک سوم در مرحله ساقه رفتن و یک سوم در اوایل گلدهی) به‌طور مساوی مصرف گردید.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آزمایشی اعمال شده بر گیاه مادری در شرایط مزرعه

Table 1- Characteristics of Studied Treatments imposed on maternal plant on farm

کرت‌های اصلی (Main-plots)		
S1:**آبیاری مطلوب** (شاهد) S1: Optimum irrigation (Control)	S2 :**قطع آبیاری در مرحله گلدهی** (تنش شدید خشکی) S2: Cessation irrigation at flowering stage (Severe drought stress)	S3 :**قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی** (تنش ملایم خشکی) S3: Cessation irrigation at silique stage (Mild drought stress)
کرت‌های فرعی (Sub-plots)		
AsA1: 100 $mg.lit^{-1}$ **اسید آسکوربیک** AsA1: Ascorbic acid (100 $mg.lit^{-1}$)	AsA2: 200 $mg.lit^{-1}$ **اسید آسکوربیک** AsA2: Ascorbic acid (200 $mg.lit^{-1}$)	AsA3: 300 $mg.lit^{-1}$ **اسید آسکوربیک** AsA3: Ascorbic acid (300 $mg.lit^{-1}$)
Sa1: 100µ mol **اسید سالیسیلیک** Sa1: Salicylic acid (100µ mol)	Sa2: 200µ mol **اسید سالیسیلیک** Sa2: Salicylic acid (200µ mol)	Sa3: 300µ mol **اسید سالیسیلیک** Sa3: Salicylic acid (300µ mol)
Me1: 10% **متانول** Me1: Methanol (10%)	Me2: 20% **متانول** Me2: Methanol (20%)	Me3: 30% **متانول** Me3: Methanol (30%)
Control: Distilled water		Control: **محلول پاشی با آب مقطر** (شاهد)

با توجه به اینکه تمام کرت‌های فرعی در کرت‌های اصلی وجود دارند، تعداد کل تیمارهای آزمایشی ۳۰ عدد می‌باشد.

With all the sub-plots included in main-plots, there are a total of 30 treatments in this experiment.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Characteristics of physical and chemical properties of the soil used in the experiment

بافت خاک Soil texture	**اسیدیته** pH	**هدایت الکتریکی** EC	**کربن آلی** OC (%)	**فسفر** P ($mg.kg^{-1}$)	**پتاسیم** K ($mg.kg^{-1}$)
لومی-رسی Clay loam	7.64	0.57	0.72	8.5	178

قبل از کاشت از علف‌کش ترفلان و به میزان ۲ لیتر در هکتار به‌منظور دفع علف‌های هرز به صورت خاک مصرف استفاده شد و سپس با استفاده از فاروئر ردیف‌هایی با عرض ۷۵ سانتی‌متر ایجاد شد. آرایش کاشت به‌صورت ۲ ردیف روی پشته ۷۵ سانتی‌متری با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع بود. عملیات داشت و کنترل علف‌های هرز در طول فصل رشد برحسب نیاز انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صفات تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات مذکور در آنها اندازه‌گیری گردید. عملکرد دانه نیز پس از حذف حاشیه (دو خط کناری هر کرت و ۱ متر ابتدا و انتهای هرکرت)، از سطحی به مساحت ۴/۸ متر مربع برداشت گردید. بذور به‌دست آمده از تیمارهای اعمال شده بر گیاه مادری در دو آزمایش مستقل (بدون انبارداری و یک ماه انبارداری) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذرهای حاصل از تیمار مزرعه به آزمایشگاه منتقل شد و برای انجام تیمار انبارداری، بذرها به مدت یک ماه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند (Sun *et al*., 2014). در ادامه بذرهای تیمار شده به روش روی کاغذ درون پتری‌دیش قرار داده شده و به ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس (مطابق با قوانین ISTA) انتقال داده شدند. دوره جوانه‌زنی کلزا ۷ روز بود و شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز دوم کاشت آغاز و به‌طور مرتب تا روز هفتم ادامه پیدا کرد.

اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی

وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه: برای اندازه‌گیری این صفت از نمونه‌های درون پتری‌دیش بعد از ۷ روز جوانه‌زنی به‌طور تصادفی ۱۰ عدد گیاهچه انتخاب و پس از جدا نمودن ریشه‌چه و ساقه‌چه در درون آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا کاملاً خشک شوند و سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۲ گرم وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

درصد جوانه‌زنی: بعد از قرار دادن بذور درون پتری‌دیش، آنها را در درون ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و در تاریکی قرار داده شده و در ادامه به‌طور روزانه روند جوانه‌زنی آنها بر اساس خروج ریشه‌چه ۲ میلی‌متری محاسبه شده و بعد از ۷ روز (مطابق با قوانین ISTA) جوانه‌زنی نهایی، تعداد گیاهچه‌های عادی و غیره عادی نیز محاسبه شد. براساس تقسیم‌بندی AOSA گیاهچه‌های غیر عادی شامل گیاهچه‌های بدون سیستم ریشه اولیه، با ریشه‌های ثانویه ضعیف و گیاهچه‌های دارای جوانه انتهایی آسیب دیده یا یک لپه از بین رفته، در نظر گرفته شدند. درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد جوانه زنی} = \frac{\text{جوانه زنی نهایی}}{\text{تعداد بذور کشت شده}} \times 100$$

متوسط جوانه‌زنی روزانه: متوسط جوانه‌زنی روزانه یکی دیگر از شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی روزانه بوده که به روش هانتر (Hunter, 1984) استفاده گردید.

$$\text{متوسط جوانه زنی روزانه} = \frac{1}{\text{تعداد روزها تا رسیدن به حداکثر جوانه زنی نهایی}}$$

سرعت جوانه‌زنی روزانه: سرعت جوانه‌زنی که عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه است طبق رابطه زیر محاسبه شد (Maguire, 1962).

$$\text{سرعت جوانه زنی روزانه} = \frac{1}{\text{متوسط جوانه زنی روزانه}}$$

شاخص وزنی قدرت گیاهچه: شاخص‌های وزنی قدرت گیاهچه، مطابق روش عبدالباکی و

اندرسون (Abdul-Baki and Anderson, 1973) اندازه‌گیری و محاسبه شد.

وزن خشک گیاهچه × قابلیت جوانه زنی = شاخص وزنی قدرت

کارآیی استفاده از ذخایر بذر: کارآیی استفاده از ذخایر (SRUE)، مقدار استفاده از ذخایر (SRUR)، و کسر ذخایر مصرف شده بذر (FUSR) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Sedghi *et al*., 2010).

SRUR= SDW-RSDW
SRUE= SFDW/SRUR

که در آنها SDW: وزن خشک بذر (گرم)، RSDW: وزن خشک باقی‌مانده بذر بر حسب گرم (بدون ریشه‌چه و ساقه‌چه)، SFDW: مجموع وزن خشک و تر گیاهچه بر حسب گرم بودند.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که اثر ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی مواد مؤثر بر رشد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. اثر ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه نیز معنی‌دار بودند (جدول ۳).

تعداد خورجین در بوته: مقایسه میانگین‌های مربوط به قطع آبیاری نشان داد که تعداد خورجین در بوته در شرایط آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی به ترتیب ۵۱/۱، ۳۲ و ۴۶/۵ بود. قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی در مقایسه با شاهد، موجب کاهش تعداد خورجین در بوته به میزان ۳۸ و ۹ درصد گردید. تنش در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی به‌دلیل عرضه کمتر مواد فتوسنتزی، باعث ریزش گل و خورجین‌های در حال رشد می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017). بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی شده نیز حداکثر (۵۱/۸۳) و حداقل (۳۵/۸۹) تعداد خورجین در بوته متعلق به محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۳۰۰ میکرومول) و شاهد (آب مقطر) بود (شکل ۱). افزایش رشد ناشی از مصرف اسید آسکوربیک در شرایط تنش و بدون تنش، در اثر افزایش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها می‌باشد و با توجه به این موضوع به نظر می‌رسد که اثر مثبت اسید آسکوربیک بر رشد گیاه، باعث افزایش تعداد خورجین شده است (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017). افزایش تعداد خورجین در تیمار متانول ۳۰ درصد را نیز می‌توان به تاثیر متانول بر بالا رفتن میزان کلروفیل نسبت داد (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017) و این امر افزایش عملکرد دانه را بدنبال دارد (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017; Zbiec *et al*., 2003). کاربرد سالیسیلیک اسید بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه از جمله تغییر در میزان فتوسنتز خالص، محتوای کاروتنوئیدها، کلروفیل و قندهای محلول (Kalantar Ahmadi *et al*., 2015a) نیز تاثیر داشته و باعث افزایش تعداد خورجین در بوته می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017).

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی نشان داد که حداکثر وزن هزار دانه (۴/۲ گرم) به قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول‌پاشی متانول (۳۰٪) اختصاص یافت. اندازه نهایی دانه در مقایسه با اجزای عملکرد که زودتر تشکیل می‌شوند، کمتر تغییر می‌کند و از این رو یک راه برای رسیدن به بالاترین عملکرد دانه این است که تا جایی که اندازه گیاه زراعی اجازه می‌دهد تعداد

زیادی دانه در خورجین حفظ شود و سپس اجازه داده شود تا شرایط محیطی غالب، سرعت و دوام پرشدن دانه را تعیین کنند. واکنش وزن هزار دانه نسبت به تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود. متناسب با افزایش طول مدت تنش ناشی از قطع آبیاری از وزن هزار دانه کاسته نشد (Kalantar Ahmadi and Fathi, 2014). این مسئله را می‌توان به نحوه تاثیر مواد مؤثر بر رشد نیز نسبت داد. متانول می‌تواند از طریق افزایش میزان کلروفیل و تاخیر در پیری برگ‌ها با تاثیر روی محرک‌های تولید اتیلن در گیاه به افزایش وزن دانه کمک کند (Ivanova *et al*., 2001).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید)، با افزایش میزان اسید آسکوربیک از وزن هزار دانه کاسته می‌شود، اما در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی، افزایش غلظت اسید آسکوربیک باعث افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (شکل ۲). به‌عبارت دیگر تاثیر محلول‌پاشی در شرایط مختلف رطوبتی بر وزن هزار دانه متفاوت بود. افزایش وزن دانه می‌تواند به‌دلیل افزایش فتوسنتز و انتقال آسیمیلات‌ها به دانه‌ها همراه با کاهش تاثیر تنش خشکی ناشی از تاثیر اسید آسکوربیک باشد. دولت آبادیان و همکاران (Dolatabadian *et al*., 2010) نیز گزارش دادند که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، آثار مخرب تنش خشکی را کاهش داده و موجب بهبود رشد و تولید و افزایش وزن دانه در شرایط مطلوب و تنش خشکی شد. تاثیر مفید سالیسیلیک اسید بر وزن هزار دانه در شرایط تنش می‌تواند به‌دلیل انتقال آسیمیلات‌های بیشتر به دانه در طول دوره پر شدن دانه باشد (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017). واکنش وزن هزار دانه نسبت به کاربرد متانول در شرایط قطع آبیاری مثبت بود و کاربرد متانول افزایش وزن هزار دانه را سبب گردید (شکل ۲). واکنش وزن هزار دانه نسبت به کاربرد متانول در شرایط قطع آبیاری مثبت بود و کاربرد متانول افزایش وزن هزار دانه را سبب گردید (شکل ۲).

عملکرد دانه: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای آزمایشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۴۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) به شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اختصاص یافت. کمترین عملکرد دانه (۱۹۱۱/۱ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم محلول‌پاشی مشاهده گردید (شکل ۳). تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی کاربرد متانول (۳۰٪) نسبت به سایر تیمارها برتر بود (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد که اثر مثبت متانول ۳۰ درصد بر عملکرد دانه از طریق تاثیر بر افزایش محتوای کاروتنوئیدها که در افزایش تحمل تنش مؤثر هستند، بوده است (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017). با کاهش شدت تنش (قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی) تاثیر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه مشهودتر بود و افزایش غلظت اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) افزایش عملکرد دانه را به‌دنبال داشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که با کاهش میزان شدت تنش و افزایش کاربرد اسید آسکوربیک می‌توان از کاهش بیشتر عملکرد دانه جلوگیری نمود. دولت آبادیان و همکاران (Dolatabadian *et al*., 2010) نیز گزارش دادند که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، آثار مخرب تنش خشکی را کاهش داده و موجب بهبود رشد و تولید و افزایش وزن دانه در شرایط مطلوب

و تنش خشکی شد. در شرایط آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت کمتر در مقایسه با غلظت‌های بالاتر، تاثیر بهتری بر عملکرد دانه داشت، اما در تیمار تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی)، واکنش گیاه به سطوح بالاتر سالیسیلیک اسید مثبت بود (شکل ۳). افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد در اثر مصرف سالیسیلیک اسید به‌دلیل تاثیر آن بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، بهبود رشد و انتقال مواد پرورده از منبع به مخزن بوده (Grown, 2012) و غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید اثر بازدارنده داشتند (Fariduddin *et al*., 2003).

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که تحت شرایط بدون انبارداری و یک ماه انبارداری (جدول ۴) اثر متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص وزنی قدرت گیاهچه و کارآیی استفاده از ذخایر بذر معنی‌دار بود.

وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه: حداکثر وزن ریشه‌چه (۰/۰۲۸ گرم) در شرایط بدون انبارداری به آبیاری مطلوب گیاه مادری و محلول‌پاشی متانول (۳۰٪) اختصاص یافت (شکل ۴). واکنش گیاه مادری در شرایط مختلف رطوبتی نسبت به محلول‌پاشی متفاوت بود، به گونه‌ای که در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) کاربرد سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط بدون انبارداری از بیشترین تاثیر در افزایش وزن ریشه‌چه برخوردار بود، اما در شرایط تنش ملایم خشکی کاربرد متانول (۲۰٪) سبب افزایش وزن ریشه‌چه در شرایط بدون انبارداری گردید (شکل ۴). در شرایط یک ماه انبارداری نیز بیشترین وزن ریشه‌چه (۰/۰۴ گرم) به تنش شدید خشکی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (۲۰۰ میکرومول) اختصاص یافت (شکل ۵). بررسی شکل ۵ نشان می‌دهد که تحت شرایط یک ماه انبارداری وزن ریشه‌چه در مقایسه با شرایط بدون انبارداری کاهش یافته و این امر نشان‌دهنده اهمیت شرایط انبارداری می‌باشد. بالاتر بودن وزن ریشه‌چه در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید و اسید آسکوربیک تحت شرایط یک ماه انبارداری ممکن است به‌دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی سالیسیلیک اسید و اسید آسکوربیک بر افزایش آنتی اکسیدانت‌ها باشد (Shalata and Neumann, 2001; Kalantar Ahmadi *et al*., 2015b). تحت شرایط بدون انبارداری (شاهد) بیشترین وزن ساقه‌چه (۰/۰۶۵ گرم) به گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، متانول (۲۰٪) و سالیسیلیک اسید (۳۰۰ میکرومول) و تنش ملایم خشکی اختصاص یافت (شکل ۶). تحت شرایط یک ماه انبارداری نیز حداکثر وزن ساقه‌چه در گیاهان مادری تحت شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و همچنین متانول (۳۰٪) اختصاص یافت (شکل ۷). درشرایط تنش شدید خشکی نیز محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و متانول (۱۰٪) از بیشترین تاثیر در افزایش وزن ساقه‌چه در تیمار یک ماه انبارداری برخوردار بود (شکل ۷). به‌طورکلی، در شرایط یک ماه انبارداری وزن ساقه‌چه (شکل ۷) به میزان بیشتری در مقایسه با وزن ریشه‌چه کاهش یافت (شکل ۵). شرایط رشدی گیاه مادری و شرایط تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی کلزا سبب کاهش

عملکرد دانه می‌شود (Kalantar Ahmadi and Shoushi Dezfouli, 2019)، اما محدودیت آب در زمان رشد گیاه مادری تاثیری بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه ندارد (Gharineh *et al.*, 2004).

درصد جوانه‌زنی: در شرایط بدون انبارداری گیاه مادری تحت شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از بالاترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰٪) برخوردار بود (شکل ۸). تحت شرایط یک ماه انبارداری نیز همین تیمار مزرعه‌ای از بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸٪) برخوردار بود (شکل ۹). بذر جهت جوانه‌زنی، ظهور و استقرار گیاهچه قوی و سالم نیاز به انرژی دارد که باید به‌وسیله اکسیداسیون مواد ذخیره‌ای موجود در بذر تامین گردد. هسو و همکاران (Hsu *et al.*, 2003) نشان دادند که درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر فرسودگی کاهش می‌یابد. کاهش درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر فرسوده شدن بذر در اثر تنش قطع آبیاری و انبارداری را می‌توان به افزایش پراکسیداسیون لیپیدها نسبت داد. کوچک بودن بذر کلزا و در نتیجه محدود بودن ذخایر غذایی آن، همچنین حساسیت بذر دانه‌های روغنی به شرایط محیطی که موجب پیری و فرسودگی سریع بذرها در مدت نگهداری در انبار می‌شود از جمله عوامل مرتبط با کیفیت بذر هستند که موجب بروز عدم جوانه‌زنی کافی بذر در خاک شده و ضعف رشد و نمو اولیه گیاهچه و در نتیجه کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود و در نتیجه استقرار آنها را محدود می‌کند (Hamidi *et al.*, 2008).

سرعت جوانه‌زنی روزانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۱/۹۷) به شرایط تنش ملایم و کاربرد متانول (۳۰٪) تحت شرایط بدون انبارداری اختصاص یافت. کمترین سرعت جوانه‌زنی (۱/۶۶) تحت شرایط بدون انبارداری نیز در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده گردید (شکل ۱۰). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که تحت شرایط یک ماه انبارداری بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۱/۷۳) به آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی متانول با غلظت (۱۰٪ و ۲۰٪) اختصاص یافت (شکل ۱۱). فرسودگی ناشی از انبارداری موجب تاخیر در فرآیندهای متعدد جذب آب و شروع فعالیت‌های آنزیمی می‌گردد و به دنبال این پدیده سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند. متفاوت بودن واکنش شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی نسبت به شرایط مزرعه‌ای گیاه مادری بیانگر این مسئله می‌باشد که تاثیر تیمارهای مزرعه‌ای و شرایط پس از برداشت بر واکنش‌ها و تغییرات درونی بذر اثر متفاوتی دارد. بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی بذوری که تحت شرایط آبیاری مطلوب بوده و با متانول محلول‌پاشی شده‌اند را می‌توان به افزایش فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به دانه نسبت داد (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2017). محلول‌پاشی متانول می‌تواند کارآیی جذب عناصر غذایی را افزایش داده (Downie *et al.*, 2004) و از این طریق سبب بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی گردد (Mehrafarin *et al.*, 2011).

متوسط جوانه‌زنی روزانه: تحت شرایط بدون انبارداری بیشترین متوسط جوانه‌زنی روزانه (۰/۶) به شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اختصاص یافت (شکل ۱۲). در شرایط یک ماه انبارداری نیز حداکثر میزان جوانه‌زنی روزانه (۰/۵۸) در شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد اسید آسکوربیک (۱۰۰

میلی‌گرم در لیتر) مشاهده گردید (شکل ۱۳). در دانه‌های روغنی به علت پراکسیداسیون سریع لیپیدها در طی انبارداری ماندگاری این بذرها به شدت کاهش یافته و سبب زوال سریع بذر می‌شود. فرایند زوال بذر این گیاهان حتی در شرایط مطلوب نگهداری نیز اجتناب ناپذیر است. این فرایند ابتدا کیفیت فیزیولوژیکی بذر را تحت تاثیر قرار می‌دهد، لذا افت قوه نامیه و پارامترهای مرتبط با بنیه بذر از خصوصیات بذرهای زوال یافته می‌باشد (Eisvand and Alizadeh, 2002). تاثیر مثبت اسید آسکوربیک در بهبود فرایندهای جوانه‌زنی را به علت تاثیر کاهنده آن بر انواع اکسیژن فعال می‌باشد. آنها همچنین بیان کردند اسید آسکوربیک در فرایند جوانه‌زنی تاثیر بیشتری نسبت به سالیسیلیک اسید دارد به طوری‌که در پژوهش آنها متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در اثر کاربرد اسید آسکوربیک بیشتر از سالیسیلیک اسید بود (Alivand *et al.*, 2013).

شاخص وزنی قدرت گیاهچه: بالاترین شاخص وزنی قدرت گیاهچه (۰/۱۶) در شرایط بدون انبارداری به شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد سالیسیلیک اسید (۳۰۰ میکرومول) اختصاص یافت. همچنین، گیاه مادری تحت تنش ملایم که با متانول (۳۰٪) محلول‌پاشی شده بودند از بالاترین شاخص وزنی قدرت گیاهچه (۰/۱۳) برخوردار بود (شکل ۱۴). این نتیجه می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که تحت شرایط متفاوت رطوبتی تاثیر مواد مختلف بر ترکیبات بذر می‌تواند متفاوت باشد. در شرایط یک ماه انبارداری نیز حداکثر شاخص وزنی قدرت گیاهچه (۰/۱۱) به شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد متانول (۳۰٪) اختصاص یافت (شکل ۱۵). گیاهان مادری تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید) و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید (۱۰۰ میکرومول) توانستند شرایط یک ماه انبارداری را بهتر تحمل کنند و از بیشترین شاخص وزنی قدرت گیاهچه (۰/۱۰) برخوردار بود (شکل ۱۵). پیری بذر حتی در شرایط مناسب نگهداری نیز اتفاق می‌افتد و رفته رفته بذر توانایی جوانه‌زنی خود را از دست می‌دهد. پیری در ابتدا کیفیت فیزیولوژیکی بذر را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین قوه نامیه در بذرهای پیر کاهش می‌یابد (Barsa *et al.*, 2003). در این پژوهش آسیب‌های ناشی از تنش در هنگام تشکیل بذر و نگهداری در انبار موجب پیری زودرس شده و شاخص وزنی قدرت بذر را کاهش داد. از آن‌جایی که کاربرد سالیسیلیک اسید (Shalata and Neumann, 2001)، اسید آسکوربیک (Anjum *et al.*, 2010) و متانول (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2015b) موجب کاهش نشت یونی می‌شوند، بنابراین با بهبود پایداری غشا منجر به افزایش قدرت بذر و در نتیجه استقرار بهتر گیاهچه می‌شود. جوانه‌زنی سریع، یکنواخت و کامل بذرها، موجب سبزشدن مطلوب و رشد اولیه سریع گیاهان می‌شود و رشد اولیه مطلوب نیز منجر به دریافت بیشتر نور خورشید و افزایش عملکرد می‌گردد (Rabiei and Bayat, 2009)، اما کاهش قوه زیست و قدرت بذر در اثر فرسودگی ناشی از شرایط آب و هوایی در حد فاصل بعد از رسیدگی و قبل از برداشت مشکلات مهمی را در تولید بذر ایجاد می‌کند. به طوری‌که در پژوهش حاضر موجب کاهش قدرت بذر شده است. شرایط نامساعد محیطی (تنش خشکی) نیز به طور غیرمستقیم فرآیندهای افزایش قدرت بذر را تحت تأثیر قرار داده و عواقب آن در عملکرد توده‌های بذری بعد از برداشت و بعد از کشت در شرایط مزرعه‌ای ظاهر می‌گردد

(Bhatia *et al*., 2010; Oskouei *et al*., 2014). به‌طورکلی می‌توان اظهار داشت که بذور حاصل از بوته‌هایی که تحت تنش می‌باشند به‌دلیل محدودیت انتقال مواد به دانه و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه سبب تولید بذرهایی با ذخایر کم و چروکیده می‌شوند که حاصل آن در قدرت بذر نمایان می‌شود.

کارآیی استفاده از ذخایر: مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که تحت شرایط بدون انبارداری حداکثر کارایی استفاده از ذخایر (۳۶/۵) به شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد سالیسیلیک اسید (۳۰۰ میکرومول) اختصاص یافت(شکل ۱۶). تحت شرایط یک ماه انبارداری نیز بالاترین کارایی استفاده از ذخایر (۳۱/۳۸) نیز متعلق به شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (۳۰۰ میکرومول) بود (شکل ۱۷). این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش مدت زمان انبارداری منجر به کاهش کارایی استفاده از ذخایر غذایی شده است. مقدار استفاده از ذخایر بذر، حاصل تفاضل بین وزن خشک اولیه و وزن خشک باقی‌مانده بذر است و بیانگر میزان استفاده از ذخایر بذر در تنفس است که در نهایت به‌صورت وزن خشک گیاهچه ظاهر می‌گردد. به عبارت دیگر، هر قدر گیاهچه حاصل از بذر وزن خشک بیشتری داشته باشد، اتلاف تنفسی ذخایر کمتر و کارایی تبدیل آن به مواد ساختمانی بیشتر خواهد بود (Rezaei *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تولید بذر هیبریدهای بهاره کلزا در استان خوزستان و وجود تنش‌های محیطی در طول دوره رشد باید از قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی اجتناب گردد. با در نظر گرفتن نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که کاربرد مواد مؤثر بر رشد در زمان رشد گیاه مادری چه در شرایط مطلوب و چه تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاه مادری می‌شود. تحت شرایط متفاوت رطوبتی تاثیر مواد مؤثر بر رشد بر ترکیبات بذر متفاوت می‌باشد. گیاه مادری تحت شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی شده با اسید آسکوربیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) هم در شرایط بدون انبارداری و هم یک ماه انبارداری از بیشترین درصد جوانه‌زنی برخوردار بود. کاربرد متانول و سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی بیشترین تاثیر را بر درصد جوانه‌زنی در شرایط بدون انبارداری و یک ماه انبارداری بدنبال داشت.

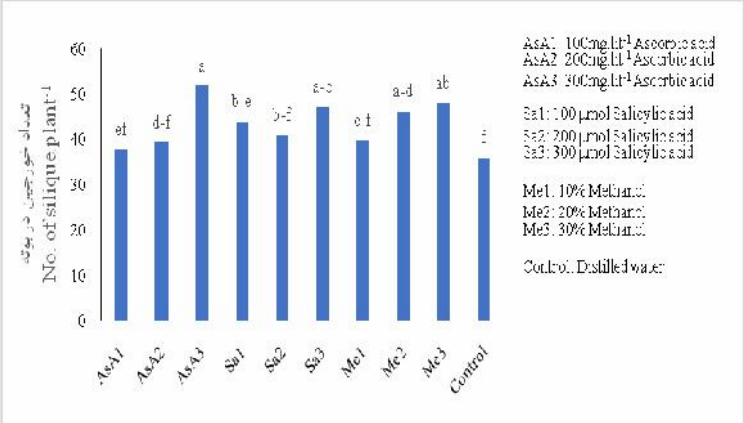
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و محلول‌پاشی گیاه مادری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در شرایط مزرعه

Table 3- ANOVA of cessation irrigation and foliar spray of maternal plant on seed yield and yield components on farm

منابع تغییرات S.O.V.		درجه آزادی df	تعداد خورجین در بوته No. of silique. Plant^{-1}	وزن هزار دانه Thousand seeds weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار	Replication	2	21.23ns	0.54*	331878.19ns
آبیاری	irrigation	2	3030**	0.85**	9045276.26**
خطا	Error	4	34.99	0.35	479797.64
محلول پاشی	Foliar spray	9	254**	0.5**	977908.79**
آبیاری× محلول پاشی	irrigation × Foliar spray	18	41.74ns	0.58**	331723.59**
خطا	Error	54	70.07	0.16	1012734.73
ضریب تغییرات	C.V. (%)		19.56	11.28	14.19

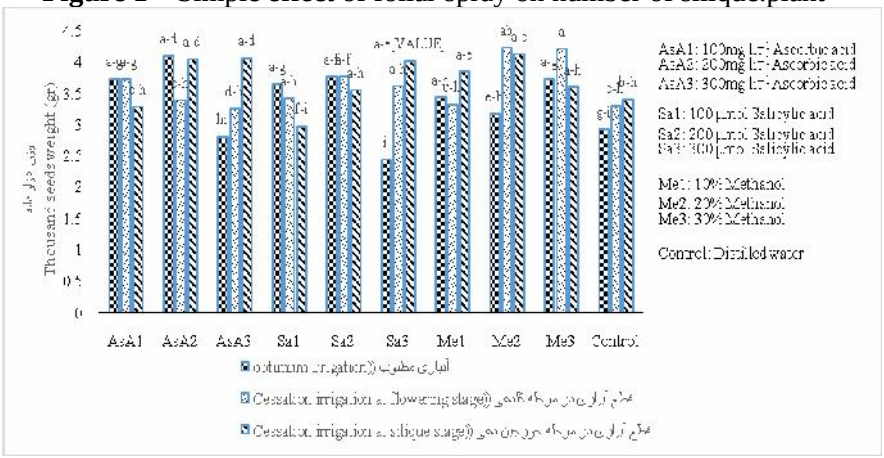
* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

*and**: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.



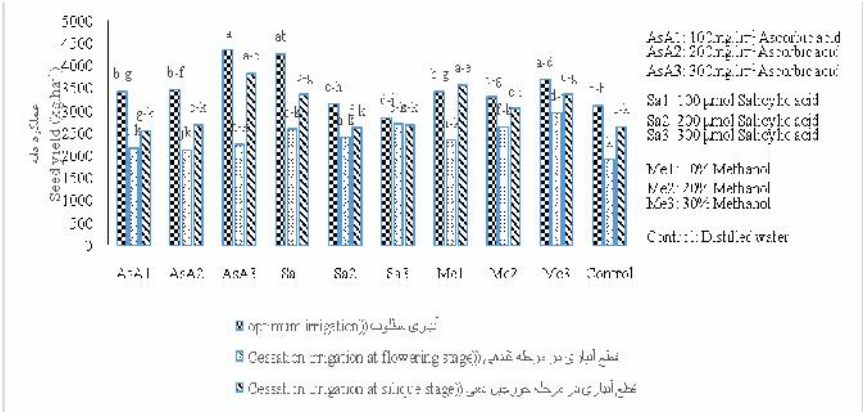
شکل ۱– اثر ساده محلول‌پاشی بر تعداد خورجین در بوته

Figure 1 – Simple effect of foliar spray on number of silique.plant^{-1}



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه

Figure 2- Mean comparison of irrigation × foliar spray on thousand seeds weight



شکل ۳- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد دانه

Figure 3- Mean comparison of irrigation × foliar spray of growth regulators on seed yield

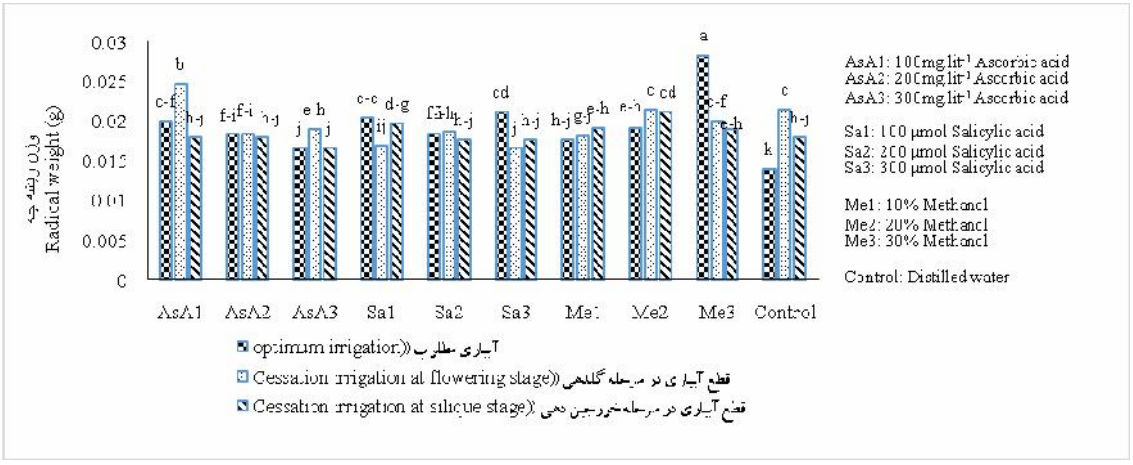
جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات آبیاری و محلول‌پاشی گیاه مادری تحت شرایط بدون انبارداری بر شاخص‌های جوانه‌زنی

Table 4- ANOVA of irrigation and foliar spray of maternal plant under no-storage condition on germination indices

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	وزن ریشه‌چه Radical weight	وزن ساقه‌چه Plumule weight	درصد جوانه زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی روزانه Speed daily germination	متوسط جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	شاخص وزنی قدرت گیاهچه Weight vigor index	کارایی استفاده از ذخایر Seed reserves use efficiency
آبیاری Irrigation (I)	2	0.13**	0.44**	7.77ns	0.03ns	0.02ns	30.42**	2.19ns
محلول پاشی Foliar spray(F)	9	0.6**	0.11**	48.14**	0.19**	0.17**	35.9**	34.26*
F × I	18	0.48**	0.13**	36.48**	0.14**	0.13**	18.15**	69.3**
خطا Error	60	0.007	0.02	12.22	0.05	0.04	3.88	16.25
ضریب تغییرات C.V. (%)		4.58	9.39	3.76	4.02	3.76	15.09	18.37

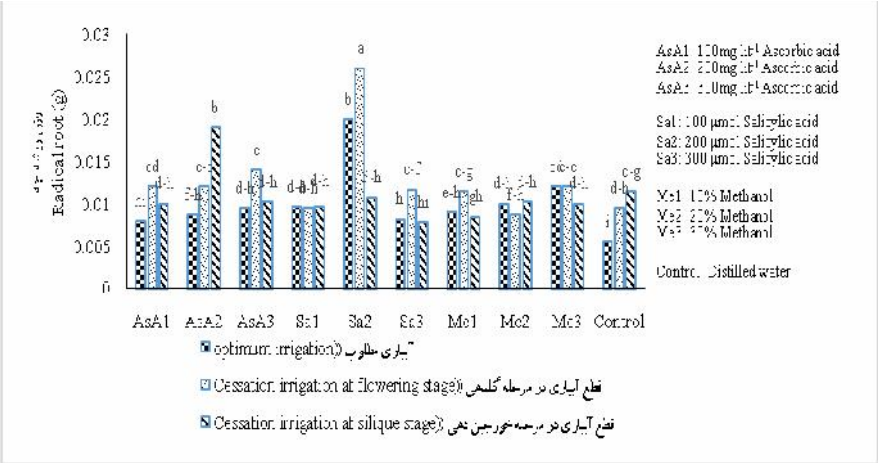
* و** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ ns : غیر معنی‌دار.

*and**: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant.



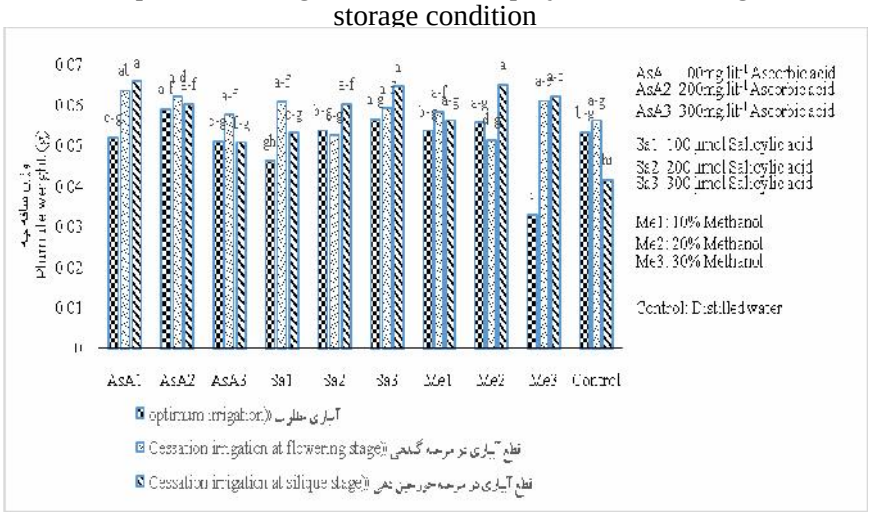
شکل ۴- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن ریشه‌چه تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 4- Mean comparison of irrigation and foliar spray on radical weight under no-storage condition



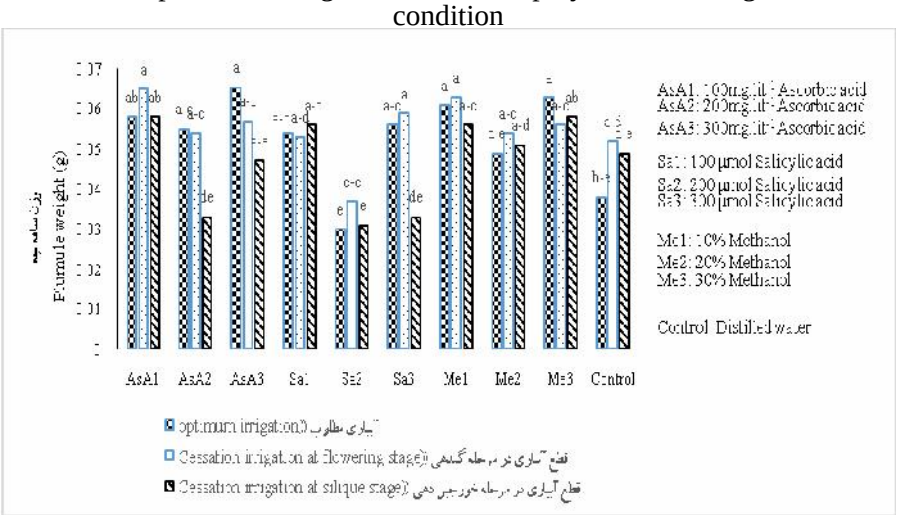
شکل ۵- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن ریشه‌چه تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 5- Mean comparison of irrigation and foliar spray on radical weight under one-month storage condition



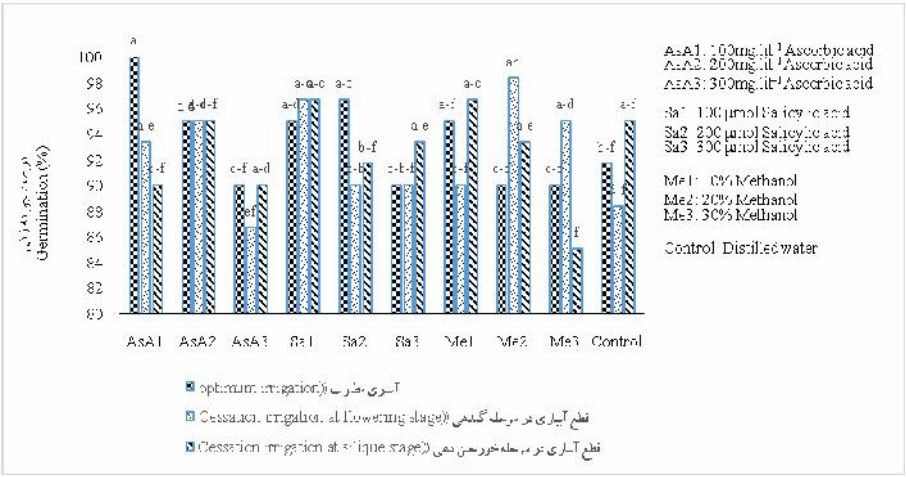
شکل ۶- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن ساقه‌چه تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 6- Mean comparison of irrigation and foliar spray on shoot weight under no-storage condition



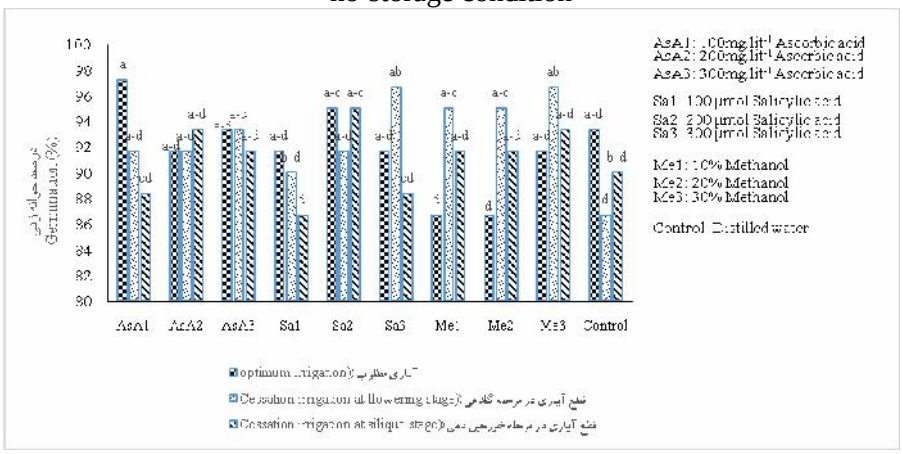
شکل ۷- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر وزن ساقه‌چه تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 7- Mean comparison of irrigation and foliar spray on shoot weight under one-month storage condition



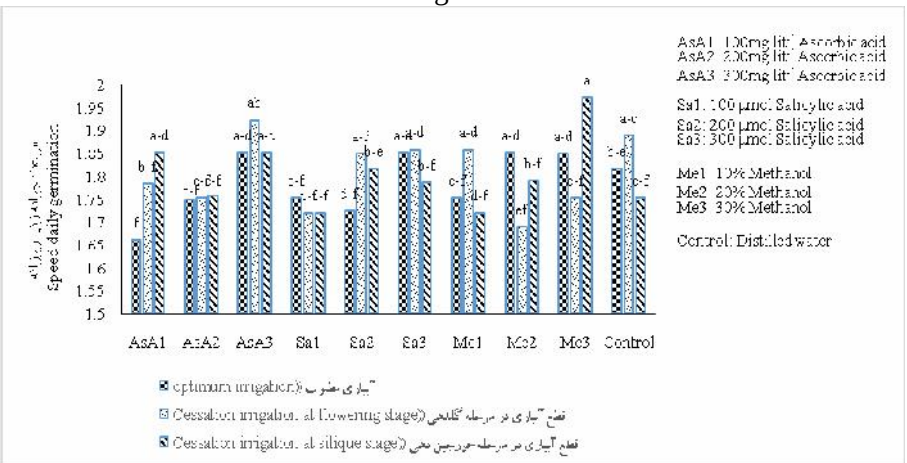
شکل ۸- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر درصد جوانه‌زنی تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 8- Mean comparison of irrigation and foliar spray on germination percentage under no-storage condition



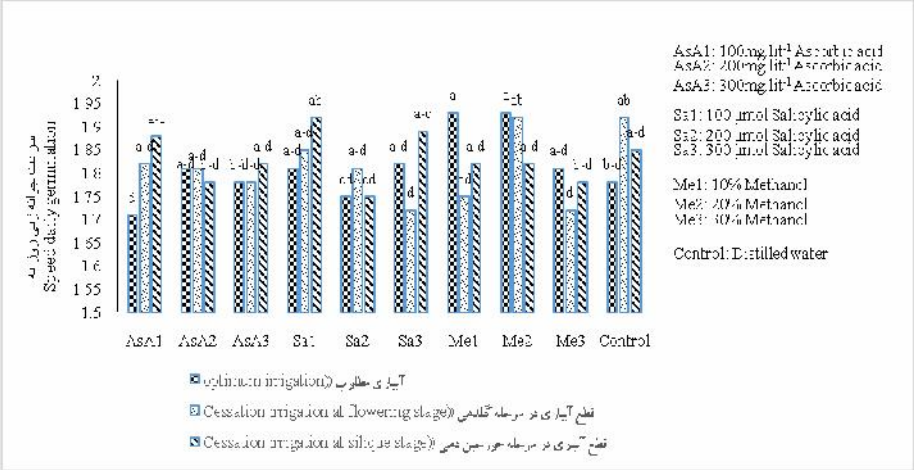
شکل ۹- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر درصد جوانه‌زنی تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 9- Mean comparison of irrigation and foliar spray on germination percentage under one-storage condition



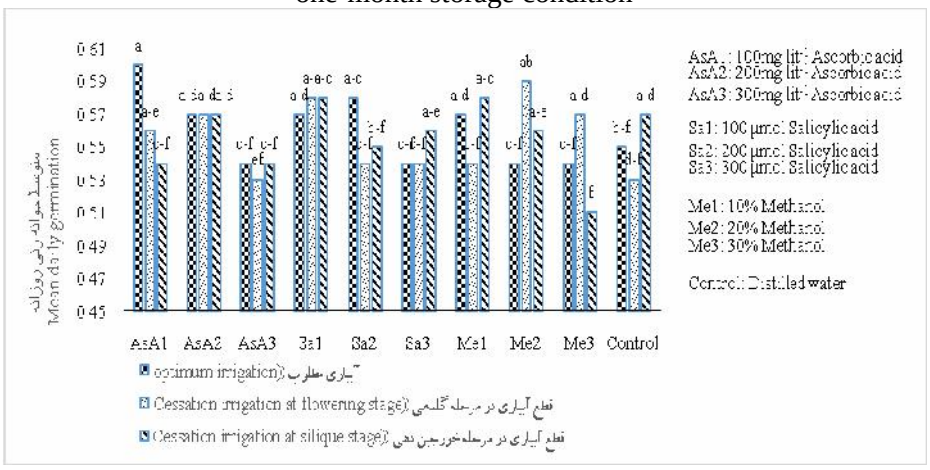
شکل ۱۰- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر سرعت جوانه‌زنی روزانه تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 10- Mean comparison of irrigation and foliar spray on speed daily germination under no-storage condition



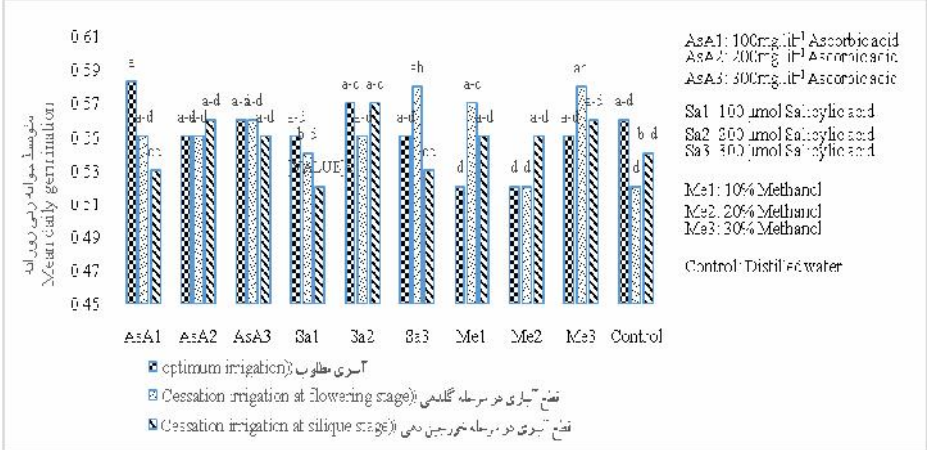
شکل ۱۱- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر سرعت جوانه‌زنی روزانه تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 11- Mean comparison of irrigation and foliar spray on speed daily germination under one-month storage condition



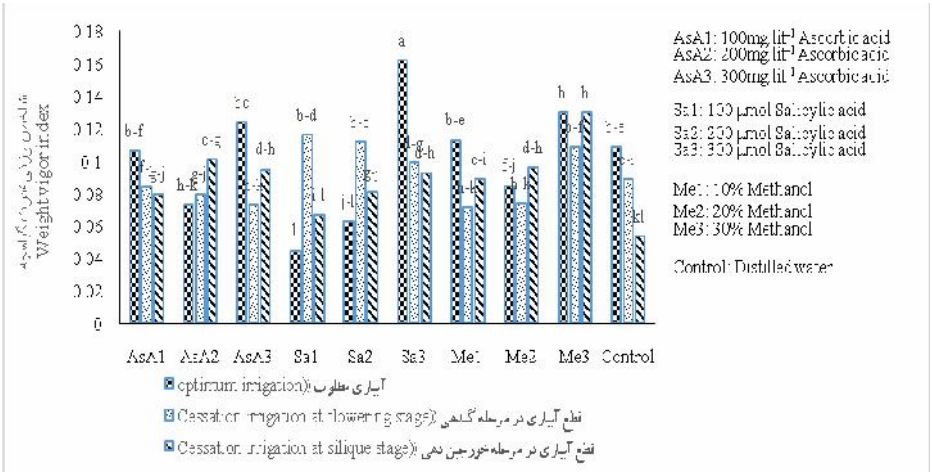
شکل ۱۲- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر متوسط جوانه‌زنی روزانه تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 12- Mean comparison of irrigation and foliar spray on mean daily germination under no-storage condition



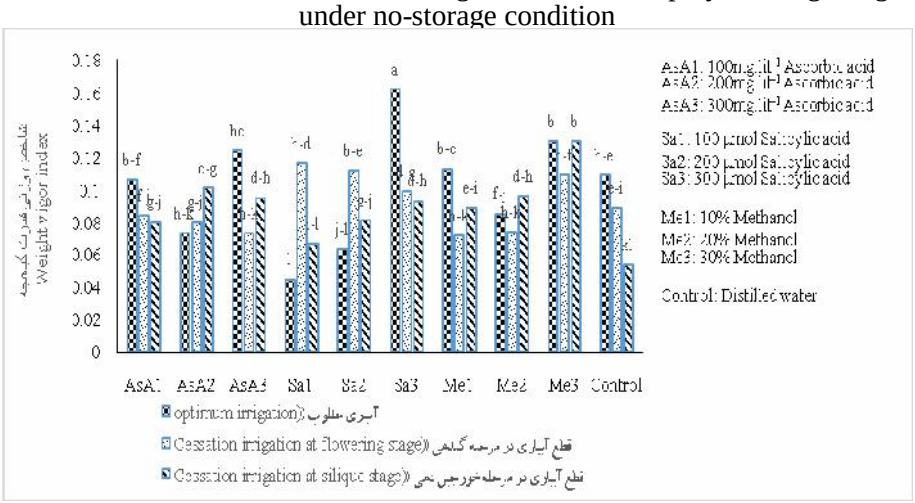
شکل ۱۳- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول پاشی بر متوسط جوانه‌زنی روزانه تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 13- Mean comparison of irrigation and foliar spray on mean daily germination under one-month storage condition



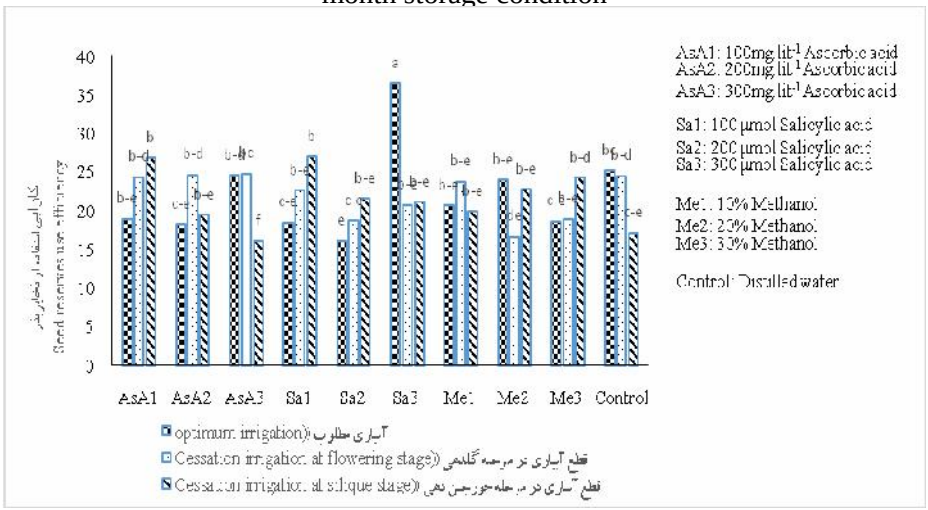
شکل ۱۴- اثر متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص وزنی قدرت گیاهچه تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 14- Interaction effect of cessation irrigation and foliar spray on weight vigor index under no-storage condition



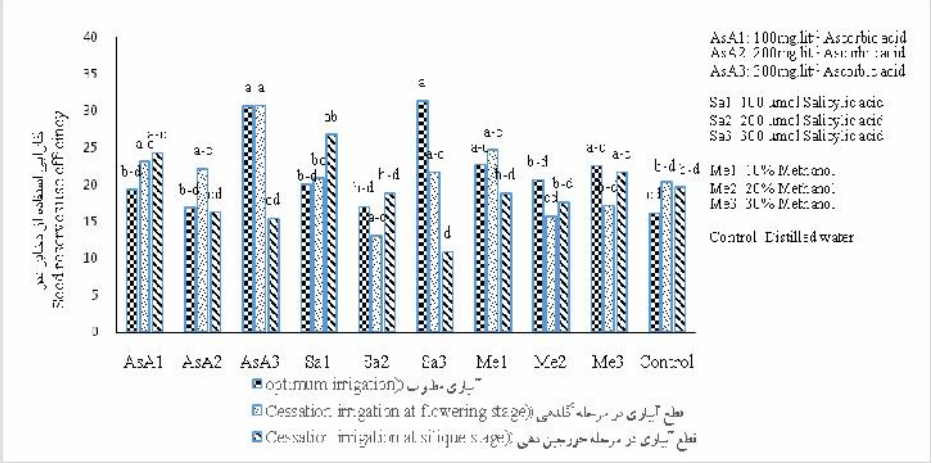
شکل ۱۵- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص وزنی قدرت گیاهچه تحت یک ماه انبارداری

Figure 15- Mean comparison of irrigation and foliar spray on weight vigor index under one-month storage condition



شکل ۱۶- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر کارآیی استفاده از ذخایر تحت شرایط بدون انبارداری

Figure 16- Mean comparison of irrigation and foliar spray on seed reserves use efficiency under no-storage condition



شکل ۱۷- مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری و محلول‌پاشی بر کارآیی استفاده از ذخایر تحت شرایط یک ماه انبارداری

Figure 17- Mean comparison of irrigation and foliar spray on seed reserves use efficiency under one-month storage condition

References منابع مورد استفاده

- Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science.* 13(6): 630-633.
- Ahmadpour, R., S. Hosseinzadeh, N. Armand, E. Fani, and F. Noedoust. 2015. Effect of methanol on germination characteristics of lentil (Lens culinaris) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*. 2(1): 83-96. (In Persian).
- Alivand, R., R. Tavakol Afshari, and F. Sharifzadeh. 2013. Effects of gibberellin, salicylic acid, and ascorbic acid on improvement of germination characteristics of deteriorated seeds of *Brassica napus*. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 43 (4): 561-571. (In Persian).
- Anjum, N.A., S.H. Umar, and M.T. Chan. 2010. Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants. *Springer Dordrecht Heidelberg London New York*. 462p.
- Ansari, O., M.S. Azadi, F. Sharif-Zadeh, and E. Younesi. 2013. Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry.* 9 (3): 61-71.
- Basra, S.M.A., N. Ahmad, M. Khan, N. Iqbal, and M.A. Cheema. 2003. Assessment of cottonseed deterioration during accelerated ageing. *Seed Science Technology*. 31 (3): 531-540.
- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. Seed physiology of development, germination and dormancy. 3rd Edition. *Springer New York*, 392 pages.
- Bhatia, V. S., S. Yadav, K. Jumrani, and K.N. Guruprasad. 2010. Field deterioration of soybean seed: Role of oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Journal of Plant Biology*. 32 (2): 179-190.

- Chamani, F., E. Tohhidinejad and M. Mohayeii. 2018. Effect of Salicylic Acid on Morpho-agronomical Traits of Guar (Cyamopsis tetragonoloba L.) under Drought Stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12 (4): 569-580.
- Dolatabadian, A., S.A.M. Modarresi Sanavy, and K.S. Asilan. 2010. Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*. 2: 45-50.
- Downie, A., S. Miyazaki, H. Bohnert, P. John, J. Coleman, M. Parry, and R. Haslam. 2004. Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Phytochemistry*. 65(16): 2305-2316.
- Eisvand, H.R., and M.A. Alizadeh. 2002. Evaluation some physiological quality characters (percentages of germination, speed of germination & vigore index) of *Dracocephalum moldavica* L., by accelerated agin test. *Iranian Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research.* 11: 249-256. (In Persian).
- Fariduddin, Q., S. Hayat, and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*. 41: 281-284.
- Forcella, F., R.L. Benech Arnold, R. Sanchez, and C.M. Ghersa. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67: 123-139.
- Galeshi, S.A., and Z. Bayat Tork. 2006. Effect of post anthesis drought stress on seed vigor in two wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*. 12 (6): 1-7. (In Persian).
- Gharineh, M.H., A.M. Bakhshndeh, and K. Ghassemi Golezani. 2004. Vigour and seed germination of wheat cultivar in Khuzestan environment condition. *Journal of Agricultural Science*. 27: 1. 65-75. (In Persian).
- Grown, B.A.O.S.P. 2012. Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant grown under newly reclaimed sandy soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 6: 82-89.
- Guo, Z., H. Tan, Z. Zhu, S. Lu, and B. Zhou. 2005. Effect of intermediates on ascorbic acid and oxalate biosynthesis of rice and in relation to its stress resistance. *Plant Physiology, Biochemistry*. 43: 955-962.
- Hamidi. A., D. Roodi, V. Asgari, and S. Hajilooi. 2008. Study on applicability of controlled deterioration vigour test for evaluation of seed vigour and field performance relationship of three oil-seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. *Seed and Plant*. 24 (4): 677-705. (In Persian).
- Hsu, C.C., C.L. Chen, J.J. Chen, and J.M. Sung. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulturae*. 98 (3): 201-212.
- Hunter, E.A., C.A. Glasbey, and R.E.L. Naylor. 1984. The analysis of data from germination tests. *Journal of Agricultural Science*. 102 (1): 207-213.
- Ivanova, E.G., N.V. Dornina, and Y.A. Trotsenko. 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. *Journal of Microbiology*. 70: 392-397.
- Kalantar Ahmadi, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S. Jahanbakhsh, and S.A. Siadat. 2015 b. Changes in enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense mechanisms of

canola seedlings at different drought stress and nitrogen levels. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 39 (5): 601-612.

- Kalantar Ahmadi, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S. Jahanbakhsh, S.A. Siadat, and H. Tavakoli. 2015 a. Effects of irrigation deficit and application of some growth regulators on defense mechanisms of canola. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 43(1): 124-130.
- Kalantar Ahmadi, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S.A. Siadat, and S. Jahanbakhsh. 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Hyola 401). *Iranian Journal of Crop Sciences.* 18(3): 196-217. (In Persian).
- Kalantar Ahmadi, S.A., and A.A. Shoushi Dezfouli. 2019. Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassicanapus* L.) cv. Hyola401 under drought stress condition. *Journal of Crop Sciences*. 21(3): 237-253. (In Persian).
- Kalantar Ahmadi, S.A., and G. Fathi. 2014. Determination of stopping irrigation time for canola genotypes in North Khouzestan conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 45(3): 355-365. (In Persian).
- Khaki-Moghadam, A., and A. Rokhzadi. 2015. Growth and yield parameters of safflower (Carthamus tinctorius) as influenced by foliar methanol application under well-watered and water deficit conditions. *Environmental and Experimental Biology*. 13(2): 93-97.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*. 2: 176-177.
- Malik, S., and M. Ashraf. 2012. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. *Soil and Environment.* 31(1): 72-77.
- Marshal, A.H., and D.N. Lewis. 2004. Influence of seed storage conditions on seedling emergence, seedling growth and dry matter production of temperate forage grasses. *Seed Science and Technology*. 32: 493-501.
- Mehrafarin, A., H. N. Badi, G. Noormohammadi, S. Rezazadeh, and A. Qaderi. 2011. Effects of environmental factors and methanol on germination and emergence of Persian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *African Journal of Agricultural Research.* 6 (19): 4631-4641.
- Mojaradi, T., M.R. Yavarzadeh and F. Shirzady. 2020. Effects of Seed Priming of Salicylic Acid and Foliar Application of Brassinostroid on Yield and some Physiological Traits of Fennel (Foeniculum vulgare Mill.) under Water Deficit Condition. *Journal of Crop Ecophysiology*. 14 (2): 193-216. (In Persian).
- Oskouei, B., E. Majidi Heravan, A. Hamidi, F. Moradi, and A. Moghadam, 2014. Effect of planting date on yield and germination indices of different shapes of hybrid maize seeds (Zea mays L. cv. Single cross 704). International Journal of Biosciences. 5 (12): 512-517. (In Persian).
- Pirredda, M., M.E. González-Benito, C. Martín, and S. Mira. 2020. Genetic and epigenetic stability in rye seeds under different storage conditions: Ageing and oxygen effect. *Plants*. 9(3): 393.

- Rabiei, B., and M. Bayat. 2009. A study of seed germination and seedling growth indices of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars through seed vigour tests. *Iranian Journal of Field Crop Science.* 40 (2): 93-104. (In Persian).
- Ramberg, H.A., J.S.C. Bradley, C. Olson, J.N. Nishio, J. Markwell, and J.C. Osterman. 2002. The role of methanol in promoting plant growth. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 1: 113-126.
- Rezaei, M., M. Sedghi, and R. Seyed Sharifi. 2014. Effect of seed priming on reserve mobilization of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seeds under salinity stress. *Research in Crop Ecosystems.* 1(2): 55-62. (In Persian).
- Sedghi, M., A. Nemati, and B. Esmaielpour. 2010. Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 22 (2): 130-139.
- Shakirova, F.M., A.R. Sakhabutdinova, M.V. Bezrukova, R.A. Fatkhutdinova, and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 164(3): 317-322.
- Shalata, A., and P.M. Neumann. 2001. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*. 52: 2207-2211.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, C.X. Zhao. 2008. Water deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331: 215-225.
- Shirani Rad, A.H., H. Atarodi, and H. Jabari. 2012. Investigation of irrigation regime and sowing date effect on seed vigor of rapeseed cultivars with accelerated ageing test. *Electronic Journal of Crop Production*. 5(2): 57-73. (In Persian).
- Sun, K., F. Jian, D.S. Jayas, and N.D. White. 2014. Quality changes in high and low oil content canola during storage: Part I– Safe storage time under constant temperatures. *Journal of Stored Products Research.* 59: 320-327.
- Tasgin, E., O. Atic, and B. Nalbantoglu. 2003. Effect of salicylic acid on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation*. 41: 231-236.
- Turkan, I. 2011. Plant responses to drought and salinity stress. Vol 57 - 1st Edition. Development in a post-genomic era. Advances in Botanical Research. 593p.
- Zbiec, I., S. Karczmarczyk, and C. Podsiadło. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities.* 6: 1-5.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681009

Effects of Drought Stress and Foliar Application of Ascorbic acid, Salicylic acid, Methanol and Post-Harvest Storage on Seed Yield and Seed Vigor of Hyola401 Rapeseed Cultivar

Seyedahmad Kalantarahmadi[1*], and Ahmad Ali Shoushi Dezfouli[1]

Received: May 2019 , Revised: 5 December 2020, Accepted: 8 December 2020

Abstract

To investigate the effect of drought stress and foliar application of ascorbic acid, salicylic acid and methanol, and post-harvest seed deterioration, two separate experiments were carried out as split plot based on randomized complete block design with three replications on maternal plants in field conditions and a factorial based on completely randomized design considering by using seed under storage conditions. The main plots were consisted of three irrigation levels, irrigation after 60 mm evaporation from basin, considered as control treatment (optimum irrigation), cessation of irrigation at flowering and silique stages, and sub plots consisted of 10 levels of foliar application, (100, 200, 300 $mg.lit^{-1}$ ascorbic acid, 100, 200, 300 µmol salicylic acid, 10, 20, 30 vol% methanol and the foliar application with distilled water as control treatment). Seeds obtained of maternal plant were evaluated under no-storage (control) and storage at $40^{\circ C}$ for one month. The results showed that foliar application of ascorbic acid (300 $mg.lit^{-1}$) increased seed yield by 29% under optimum irrigation as compared with non foliar application under the same irrigation condition. Cutting off irrigation of maternal plant decreased radical and plumule weights under both no-storage and one-month storage conditions. The maximum germination percentage belonged to foliar application of ascorbic acid (300 $mg.lit^{-1}$) under optimum irrigation condition at both no-storage one-month stored seed. The minimum germination percentage belonged to no use of growth regulators application and cessation irrigation at flowering stage. Maternal plants which sprayed with ascorbic acid contained the highest seed weight vigor index at all irrigation treatments.

Key words: Deterioration, Drought stress, Seed germination, Storage.

1- Assistant Professor, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.
**Corresponding Author: a.kalantarahmadi@areeo.ac.ir*