



Improving Germination and Seed Vigor of Two Wheat Cultivars in Different Irrigation Regimes with the Use of Methyl Jasmonate

Hamidreza Balouchi^{1✉} | Zahra Javadipour² | Mohsen Movahhedi Dehnavi³ | Alireza Yadavi⁴ | Mahmood Attarzadeh⁵

1. Corresponding Author, Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Faculty, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: balouchi@yu.ac.ir
2. Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Faculty, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Faculty, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4. Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Faculty, Yasouj University, Yasouj, Iran.
5. Agronomy and Plant Breeding Department, Agricultural Faculty, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: March 07, 2022
Received in revised form:
March 04, 2023
Accepted: March 14, 2023
Published online: September
23, 2023

Keywords:

Germination percentage,
gluten,
growth regulator,
seed vigor,
starch.

ABSTRACT

One of the most important factors in reducing vigor of seed is the occurrence of water stress during seed development on mother plant. Also, the use of growth regulators in environmental stresses leads to the production of seeds with better germination ability. In order to study the effect of methyl jasmonate on germination indices and vigor of two bread wheat cultivars under different irrigation regimes, an experiment was conducted as a split factorial in a RCBD design in two growing seasons (2015 and 2017). In this experiment, different irrigation regimes including normal irrigation (control), irrigation cut off from bolting stage and irrigation cut off from the grain milking stage were investigated as the main factor, and two wheat cultivars Sirvan and Pishtaz and 0, 50, 100, and 150 μm of methyl as sub plots. The results showed that in both cultivars, germination indices decreased by stress, but application of 100 μM methyl jasmonate increased the germination percentage, germination rate, length and weight vigor, gluten and seed starch content in both years compared to the control. On average, at different levels of irrigation cut off and full irrigation, Sirvan cultivar showed higher germination percentage and rate than Pishtaz cultivar. Also, irrigation cut off from bolting stage had the greatest negative effect on the seed formed in the mother plant in different wheat cultivars. Overall, the results showed that among the treatments, the best methyl jasmonate application with a concentration of 100 mM was able to moderate the effects of drought stress and improve germination and qualitative traits of seed under stress and non-stress conditions and Sirvan had higher seed quality.

Cite this article: Balouchi, H., Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., & Attarzadeh, M. (2023). Improving germination and seed vigor of two wheat cultivars in different irrigation regimes with the use of methyl jasmonate. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 81-96. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.340100.654899.





بهبود جوانه‌زنی و بنیه بذره‌های دو رقم گندم در رژیم‌های آبیاری متفاوت با کاربرد متیل جاسمونات

حمیدرضا بلوچی^۱✉ | زهرا جوادی پور^۲ | محسن موحدی دهنوی^۳ | علیرضا یدوی^۴ | محمود عطارزاده^۵

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: balouchi@yu.ac.ir
۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۵. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

بنیه بذر،

تنظیم کننده رشد،

درصد جوانه‌زنی،

گلوتن،

نشاسته.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش بنیه بذر، وقوع تنش رطوبتی در طی نمو بذر روی گیاه مادری می‌باشد. همچنین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در تنش‌های محیطی سبب تولید بذرهایی با قابلیت جوانه‌زنی بهتر می‌شود. به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی دو رقم گندم نان با متیل جاسمونات تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذره‌های تولیدی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های آبیاری کامل، قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و قطع آبیاری از مرحله شیری شدن دانه بود. عامل فرعی دو رقم سیروان و پیشتاز و محلول‌پاشی با صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات بود. نتایج نشان داد که در هر دو رقم شاخص‌های جوانه‌زنی با اعمال تنش کاهش یافتند، ولی کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات نسبت به شاهد سبب افزایش صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه طولی و وزنی، میزان گلوتن و نشاسته بذر در هر دو سال شد. در سطوح مختلف قطع آبیاری و آبیاری کامل، رقم سیروان به‌طور میانگین درصد و سرعت جوانه‌زنی بیشتری نسبت به رقم پیشتاز نشان داد. همچنین قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن، بیشترین تاثیر منفی روی بذر تشکیل شده در گیاه مادری در ارقام مختلف گندم داشت. به‌طور کلی محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار تا حدودی توانست اثرات ناشی از تنش خشکی در گیاه مادری را تعدیل کند و باعث بهبود صفات جوانه‌زنی و کیفی بذره‌های تولیدشده در شرایط تنش و بدون تنش شود و رقم سیروان از کیفیت بذر بیشتری برخوردار بود.

استناد: بلوچی، ح.ر.، جوادی پور، ز.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع.، و عطارزاده، م. (۱۴۰۲). بهبود جوانه‌زنی و بنیه بذره‌های دو رقم گندم در

رژیم‌های آبیاری متفاوت با کاربرد متیل جاسمونات. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۸۱-۹۶. DOI:

10.22059/ijfcs.2023.340100.654899



۱. مقدمه

بذر به‌عنوان یکی از عوامل مهم در توسعه کشاورزی و افزایش تولید محصولات زراعی است. از این‌رو تولید بذر با کیفیت بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شرایط رشدی سخت مانند آب و هوای خشک می‌تواند عملکرد دانه را به‌شدت کاهش دهد (Passioura, 2006). تنش خشکی به‌طور مستقیم و غیر مستقیم با اثر بر متابولیسم بذر سبب کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای به‌دست‌آمده شده و با افزایش این تنش‌ها سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Soltani *et al.*, 2008). تقریباً کلیه واکنش‌های متابولیکی و هورمونی سلول تحت تأثیر کمبود آب قرار گرفته و تولید و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه آن سنتز پروتئین کاهش یافته و حتی در تنش‌های شدید از بین رفته و در نهایت بر رشد سلول اثر می‌گذارد (Kafi & Mahdavi Damghani, 2002). Zafari *et al.* (2017) بیان کردند که هرچه مواد غذایی بذرهای مادری بیشتر باشد، میزان رشد ساقچه‌ها و ریشه‌چه بیشتر خواهد بود و همچنین گیاهچه‌های قوی و سالم بیشتری تولید خواهد شد؛ ولی تنش خشکی با کاهش مواد ذخیره‌ای بذور مادری و کاهش وزن دانه منجر به کاهش رشد ساقچه‌ها و ریشه‌چه شده و در نهایت منجر به تولید گیاهچه‌های ضعیف می‌شود.

تنش خشکی روی گیاه مادری با تأثیر بر انتقال مواد ذخیره‌ای از گیاه به بذر، سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شود (Attarzadeh *et al.*, 2019). همچنین گزارش شده است که تنش‌های محیطی می‌تواند در طول دوره رشد گیاه مادری گندم بر کیفیت بذر تولیدی موثر باشد. به‌طوری‌که (Ahmadi & Baker, 2001) نیز در بررسی اثر تنش خشکی روی گندم به این نتیجه رسیدند که مکانیزم‌های سنتز نشاسته در شرایط تنش خشکی حساس‌تر از مکانیزم‌های سنتز پروتئین هستند و بنابراین در شرایط تنش خشکی افت سنتز نشاسته بارزتر است. با وجود دستاوردهای مهم در جهت درک پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی گندم به کمبود آب، هنوز فاصله بزرگی بین عملکرد گندم در شرایط مطلوب و شرایط تنش خشکی وجود دارد (Cattivelli *et al.*, 2008) و همچنین از طرفی در مقایسه با روش‌های اصلاحی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر می‌باشند، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد آسانتر و ارزان‌تر است (Bartels & Sunkar, 2005). نقش ضروری برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد در طول جوانه‌زنی بذر مشخص شده است. با این حال، فعل و انفعالات بین آنها در طول جوانه‌زنی بذر هنوز به وضوح بررسی نشده است (Xiao *et al.*, 2018).

اسیدجاسمونیک و متیل‌جاسمونات که در مجموع جاسمونات‌ها گفته می‌شود از مشتقات چربی‌ها و جزء تنظیم‌کننده‌های مهم رشد گیاهی است که در فرآیندهای مختلفی همچون جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، تعیین نمو گیاهچه، تشکیل غده، حرکت برگ، رسیدگی میوه و زوال برگ نقش دارد. این ترکیبات پیام‌رسان حیاتی، همچنین سازوکار دفاعی گیاه را در واکنش به تنش‌های زیستی و غیر زیستی تنظیم می‌کند (Dar *et al.*, 2015). جاسمونات‌ها اثرات متنوعی بر فرآیندهای گیاه دارند، اثر کاربرد خارجی جاسمونات‌ها بر فرآیند جوانه‌زنی بذر بسیار وابسته به ترکیبات شیمیایی داخلی بذر است (Zalewski *et al.*, 2010). به‌منظور کاهش و احیای خسارت اکسایشی، سلول‌های گیاهی سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی را در خود توسعه داده‌اند و قادرند گونه‌های فعال اکسیژن را پاکسازی کنند. این موارد شامل آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز و گلووتاتیون‌ردوکتاز است (Jain *et al.*, 2015). استفاده خارجی از متیل‌جاسمونات می‌تواند اثرات ناشی از تنش‌های مختلف خشکی و شوری را از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش رنگیزه‌های گیاهی تعدیل کند (Salimi *et al.*, 2014). کاربرد خارجی متیل‌جاسمونات از طریق بستن روزنه‌ها و تجمع اسمولیت‌ها، باعث افزایش ظرفیت گیاه برای حفظ میزان آب تحت شرایط تنش خشکی می‌شود. همچنین متیل‌جاسمونات با افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه از طریق کلسیم و آسبیزیک‌اسید وابسته (ABA-وابسته) و مسیرهای انتقال پیام مستقل، می‌تواند جذب آب را تسهیل کند (Sanchez-Romera *et al.*, 2014). در نتیجه بهبود رشد گیاه مادری با جاسمونات در دوره تکوین بذر سبب افزایش قابلیت جوانه‌زنی و شاخص‌های کیفی بذر حاصل خواهد شد (Hasibi *et al.*, 2008). از آنجایی که مهم‌ترین مراحل نموی بذر در گیاه مادری دوره پرشدن دانه است، بنابراین تنش خشکی در دوره تکوین بذر می‌تواند کیفیت بذرهای حاصل از گیاه مادری را تحت تأثیر قرار دهد. گزارش‌های محققان نشان می‌دهد که تنظیم‌کننده‌های رشد اثرات مطلوبی بر کیفیت بذر گیاهان دارد. با این حال فقدان دانش علمی در رابطه با اثرات غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد وجود دارد. از این‌رو مدیریت بهتر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد تحت شرایط تنش خشکی بخشی از نوآوری این پژوهش خواهد

بود که می‌تواند در چشم‌انداز برای تولیدکنندگان بذر گندم مفید باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی خصوصیات جوانه‌زنی و کیفیت بذرها حاصل از دو رقم گندم پیش‌تاز و سیروان تحت تأثیر محلول‌پاشی گیاه مادری با متیل‌جاسمونات در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری می‌باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این طرح آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ و ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی در استان فارس، ایران، با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۹۵ متر از سطح دریا، با متوسط بارندگی سالانه ۳۶۵ میلی‌متر و درجه حرارت حداکثر ۴۱ و حداقل نه درجه سلسیوس انجام شد. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آزمایش رژیم‌های آبیاری در سه سطح؛ آبیاری کامل (بدون تنش)، قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن (کد ۴۵ زادوکس) و قطع آبیاری از مرحله شیرین شدن دانه (کد ۷۱-۷۲ زادوکس) بود (Zadoks et al., 1974). عامل فرعی فاکتوریل دو رقم گندم نان (سیروان و پیش‌تاز) و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف متیل‌جاسمونات (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار) بود.

عملیات کاشت در ۲۳ آبان سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، با تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در متر مربع، در کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض ۱/۶ متر با هشت ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر اجرا شد. همه کرت‌های آزمایشی تا آغاز مرحله غلاف‌رفتن یکسان و هم‌زمان آبیاری شدند. محلول‌پاشی در اواخر فروردین‌ماه هر دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) و در زمانی که گوشوارک‌های برگ پرچم پدیدار شدند (کد ۳۹ جدول زادوکس)، یک مرتبه و قبل از اعمال تنش‌ها، به مقدار ۱/۵ لیتر محلول برای هر کرت آزمایش انجام شد. کرت‌های با غلظت صفر متیل‌جاسمونات با آب مقطر محلول‌پاشی شد. همراه با تهیه زمین، بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه، به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه مرحله، که یک‌سوم آن قبل از کشت، و دو سوم بقیه در دو مرحله در زمان شروع رشد ساقه، و آخرین آبیاری قبل از تنش، همراه با سیستم آبیاری اعمال شد. در طول دوره رشد کلیه عملیات وجین، کنترل علف‌های هرز و کوددهی به روش دستی انجام شد. در زمان برداشت بوته‌ها از دو خط وسط هر کرت با حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای به‌عنوان حاشیه از هر کرت به طول چهار متر برداشت شدند.

بخش آزمایشگاهی این پژوهش با چهار تکرار انجام شد و در هر تکرار تعداد ۲۵ عدد بذر سالم برداشت شده به‌طور تصادفی از هر تیمار انتخاب شد. بذرها پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۳۰ ثانیه، درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری استریل شده روی کاغذ صافی منتقل شدند. سپس آب مقطر به‌وسیله‌ی پمپ ۵ سی‌سی به هر پتری اضافه شد. سپس طبق قوانین ایستا پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس انتقال داده شدند و به مدت ۷ روز تعداد بذور جوانه‌زده شمارش شدند (Amiri et al., 2011). در روز آخر جوانه‌زنی، پس از شمارش تعداد کل بذرها جوانه‌زده، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه‌ی آن با خط‌کش بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن خشک گیاهچه (وزن خشک ریشه‌چه+وزن خشک ساقه‌چه) پس از قرار گرفتن در آون ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی (Maguire, 1962; Nichols & Heydecker, 1986) از رابطه ۱ و ۲ محاسبه شد. همچنین برای محاسبه شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه (Abdulbaki & Anderson, 1975) نیز از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شد.

رابطه ۱، درصد جوانه‌زنی

$$100 \times (\text{تعداد کل بذرها} / \text{تعداد بذرهای جوانه‌زده}) = \text{درصد جوانه‌زنی}$$

رابطه ۲، سرعت جوانه‌زنی

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti}$$

Ni، تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز، Ti، روز از زمان شروع آزمایش

رابطه ۳، بنیه طولی گیاهچه

$$100 / (\text{طول گیاهچه (سانتی‌متر)} \times \text{درصد جوانه‌زنی استاندارد}) = \text{شاخص طولی بنیه گیاهچه}$$

رابطه ۴، بنیه وزنی گیاهچه

۱۰۰ / (وزن خشک گیاهچه (میلی گرم) × درصد جوانه‌زنی استاندارد) = شاخص وزنی بنیه گیاهچه
 به‌منظور اندازه‌گیری گلوتن مرطوب (AACC, 2000)، ابتدا ۱۰ گرم نمونه آرد گندم را وزن کرده و در یک بشر ریخته و سپس پنج میلی‌لیتر ۲٪ NaCl (۲ گرم NaCl در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به آن اضافه شد تا خمیر تشکیل شود. سپس آن را به مدت ۳-۲ دقیقه به حال خود رها کرده تا گلوتن آب را جذب کند و شبکه گلوتنی تشکیل شود و سپس با آب شستشو داده شد. پس از اتمام شستشو گلوتن باقی‌مانده را بین دو صفحه شیشه‌ای به صورت لایه نازکی درآورده تا آب نمک احتمالی باقی‌مانده در خمیر کاملاً گرفته شود، سپس وزن کرده و در نهایت درصد گلوتن مرطوب از رابطه ۵ حساب می‌شود.

$$\text{رابطه ۵، درصد گلوتن مرطوب بذر} = \frac{\text{وزن گلوتن نمونه}}{\text{وزن نمونه آرد}} \times 100 = \text{درصد گلوتن مرطوب}$$

استخراج نشاسته با روش (McCready *et al.*, 1950) صورت گرفت. برای اندازه‌گیری میزان نشاسته بذر، ۰/۲ میلی‌لیتر از سوپرناتانت (و همچنین استانداردهای گلوکز تهیه‌شده) با سه میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط شده و محلول به‌دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه جوشانده شد. بعد از سرد شدن میزان جذب نمونه‌ها و استانداردهای گلوکز در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. غلظت قندهای محلول ابتدا با مقایسه با استانداردهای گلوکز محاسبه شد و سپس محتوای نشاسته از رابطه ۶ تعیین شد.

$$\text{رابطه ۶} = [(C \times (V/a) \times 0.9) / (W \times 106)] \times 100 = \text{درصد محتوای نشاسته}$$

که در این رابطه عدد ۰/۹ ضریب نشاسته حاصل از تبدیل آن به گلوکز؛ ۱۰۶ برای ضریب تبدیل گرم به میکروگرم؛ C مقدار گلوکز (میکروگرم) به‌دست‌آمده حاصل از منحنی استاندارد؛ V حجم کل محلول استخراج‌شده (میلی‌لیتر)؛ a حجم محلول نمونه استفاده‌شده برای تولید رنگ؛ W وزن نمونه (گرم) می‌باشند. جهت اندازه‌گیری کمی پروتئین از روش (Bradford, 1976) استفاده شد. اساس روش برادفورد بر اتصال کوماسی برلیانت بلوجی ۲۵۰ به پروتئین در محیط اسیدی و تعیین جذب ماکزیمم از ۴۶۵ تا ۵۹۵ نانومتر می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری پروتئین محلول، ابتدا استخراج عصاره پروتئینی از بذرهای آبنوشی‌شده، به روش (Kar & Mishra, 1976) استفاده شد. فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) به‌دست‌آمده برای اندازه‌گیری فعالیت دو آنزیم کاتالاز (Aebi, 1984) و پراکسیداز بذر (Dean, 1985) و همچنین مقدار پروتئین محلول بذر مورد استفاده قرار گرفت.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها آزمون بارتلت روی کلیه صفات مورد بررسی انجام شد و سپس هنگامی که واریانس خطای صفات در دو سال متوالی تکرار آزمایش همگون بودند، تجزیه‌ی مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت؛ در غیر این صورت برای هر سال جدا تجزیه واریانس انجام شد. در صورت معنی‌دار شدن اثر متقابل برش‌دهی انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها آزمون حداقل میانگین مربعات (LSD) در سطح ۵٪ استفاده شد.

جدول ۱. بارندگی ماهیانه و میانگین دما در دو فصل رشد مزرعه مورد آزمایش در استان فارس، شهرستان مرودشت و آنالیز خاک قبل از کشت سال اول و دوم.

Month	Precipitation (mm) (2015-2016)	Precipitation (mm) (2016-2017)	Mean temperature (°C) (2015-2016)	Mean temperature (°C) (2016-2017)
November	77.8	0	13.9	15.6
December	11.4	11.3	8.35	9.6
January	87	2.1	6.85	10
February	13.2	174.6	7.25	7.35
March	14.3	51.3	12.35	10.15
April	41	61.7	14.1	12.25
May	5.1	28.2	22.05	21.15
June	0	0	25.4	26.7

Years	Depth of soil (cm)	Acidity (pH)	Electrical conductivity (µSiemens/cm)	Moisture content %	Organic carbon %	Sand %	Silt %	Clay %	Soil texture
2015	0-30	8.22	1.11	39.3	1.1	11	57	32	clay-loam
2016	0-30	7.69	5.61	58.5	1.36	10	54	36	clay-loam

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال، رژیم آبیاری، رقم و سطوح متیل جاسمونات برای صفت درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال خطای یک درصد و برای صفات شاخص طولی و وزنی بینه گیاهچه در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد. برای صفت سرعت جوانه‌زنی برهمکنش سال، رژیم آبیاری و رقم در سطح پنج درصد و برهمکنش رژیم آبیاری، رقم و سطوح متیل جاسمونات در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه مرکب اثر محلول پاشی متیل جاسمونات و رژیم‌های مختلف آبیاری بر برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی و محتوای نشاسته بذرهای دو رقم گندم در دو سال آزمایش (۱۳۹۴-۹۵) و (۱۳۹۵-۹۶).

S.O.V	df	Means of squares				
		Germination percentage	Germination rate	Seedling length vigor index	Seedling weight vigor index	Starch content
Year	1	66.85 ^{**}	11.58 ^{n.s}	9.24 ^{n.s}	0.316 [*]	34.07 [*]
Replication (Year)	6	14.43	28.06	21.75	0.080	4.60
Irrigation regimes	2	4941.66 ^{**}	17.41 ^{n.s}	5152 ^{**}	104.98 ^{**}	1304.5 ^{**}
Year × Irrigation	2	14.268 ^{n.s}	15.28 ^{n.s}	8.84 ^{n.s}	0.077 ^{n.s}	1.75 ^{n.s}
Main plot error	12	5.17	40.18	8.98	0.061	9.54
Cultivar	1	602.012 ^{**}	34.01 [*]	1119.01 ^{**}	7.053 ^{**}	963.32 ^{**}
Year × Cultivar	1	2.079 ^{n.s}	0.016 ^{n.s}	1.29 ^{n.s}	0.003 ^{n.s}	0.066 ^{n.s}
Irrigation × Cultivar	2	10.559 ^{n.s}	93.51 ^{**}	48.56 ^{**}	0.384 ^{**}	169.54 ^{**}
Year × Irrigation × Cultivar	2	74.137 ^{**}	25.84 [*]	82.43 ^{n.s}	0.671 ^{**}	4.76 ^{n.s}
MeJA	3	225.37 ^{**}	333.96 ^{**}	1381.18 ^{**}	16.53 ^{**}	389.41 ^{**}
Year × MeJA	3	18.26 ^{n.s}	5.63 ^{n.s}	6.97 ^{n.s}	0.142 ^{n.s}	2.13 ^{n.s}
Irrigation × MeJA	6	30.539 ^{**}	30.29 ^{**}	61.61 ^{**}	2.217 ^{n.s}	15.62 ^{**}
Year × Irrigation × MeJA	6	5.73 ^{n.s}	4.23 ^{n.s}	11.24 ^{n.s}	0.170 [*]	5.04 [*]
Cultivar × MeJA	3	101.86 ^{**}	47.07 ^{**}	250.63 ^{**}	3.759 ^{**}	4.49 ^{n.s}
Year × Cultivar × MeJA	3	17.67 ^{n.s}	4.56 ^{n.s}	12.31 ^{n.s}	0.055 ^{n.s}	1.98 ^{n.s}
Irrigation × Cultivar × MeJA	6	22.28 [*]	56.87 ^{**}	66.30 ^{**}	0.310 ^{**}	7.27 ^{**}
Year × Irrigation × Cultivar × MeJA	6	23.75 ^{**}	13.97 ^{n.s}	21.92 [*]	0.203 [*]	5.39 [*]
Total error	126	7.94	8.11	8.08	0.074	1.91
C.V%	-	4.22	8.29	4.49	5.22	8.21

n.s، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

۳-۱. درصد و سرعت جوانه‌زنی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، در رقم پیش‌تاز در سال اول بین سطوح متیل جاسمونات اختلاف آماری معنی‌داری برای درصد جوانه‌زنی وجود نداشت، ولی در سال دوم با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات افزایش ۸/۲۳ درصدی در درصد جوانه‌زنی حاصل شد که با سطح ۵۰ میکرومولار هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در این شرایط آبیاری در رقم سیروان کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در مقایسه با سطح بدون کاربرد هورمون در سال اول و دوم به ترتیب سبب افزایش ۷/۶۱ و ۱۳/۶۴ درصدی درصد جوانه‌زنی شد.

در قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن در رقم پیش‌تاز بیشترین میزان جوانه‌زنی در سال اول با کاربرد ۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات به دست آمد که با سطح ۱۰۰ میکرومولار کاربرد هورمون و سطح بدون کاربرد هورمون اختلاف معنی‌داری نداشت. در سال دوم درصد جوانه‌زنی با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به دست آمد که با سطح ۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین در قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن در رقم سیروان بیشترین میزان جوانه‌زنی در هر دو سال در مقایسه با سطح بدون کاربرد هورمون با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به ترتیب با ۱۶/۴۲ و ۱۱/۴۳ درصد افزایش به دست آمد. در قطع آبیاری در مرحله شیری شدن دانه در رقم پیش‌تاز در سال اول و دوم بیشترین جوانه‌زنی در غلظت ۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات مشاهده شد که نسبت به ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات و بدون کاربرد هورمون اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین در این سطح آبیاری در رقم سیروان در سال اول بیشترین جوانه‌زنی در ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات مشاهده شد، اما در سال دوم تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف هورمون وجود نداشت (جدول ۳).

در رابطه با سرعت جوانه‌زنی، می‌توان بیان کرد که در شرایط آبیاری کامل، در رقم پیش‌تاز بین غلظت‌های متیل‌جاسمونات تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت، اما در رقم سیروان، غلظت ۱۰۰ میکرومولار سبب افزایش ۱۳/۴۳ درصدی سرعت جوانه‌زنی نسبت به عدم کاربرد هورمون شد. در قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و شیر شدن دانه، سرعت جوانه‌زنی در رقم پیش‌تاز در سطح ۱۰۰ میکرومولار افزایش ۱۸/۲۸ و ۴۷/۶۹ درصدی نسبت به سطح بدون کاربرد هورمون داشت (جدول ۳). در قطع آبیاری در مرحله شیر شدن دانه، سرعت جوانه‌زنی در رقم سیروان بین سطوح مختلف هورمون با عدم کاربرد هورمون تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در سال اول، بیشترین سرعت جوانه‌زنی در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شیر شدن دانه مشاهده شد، به طوری که در رقم پیش‌تاز به ترتیب ۸/۳ و ۷/۵۷ درصد افزایش نسبت به رقم سیروان مشاهده شد. در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شیر شدن دانه بین ارقام از نظر سرعت جوانه‌زنی در سال دوم تفاوتی مشاهده نشد. در شرایط قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن، بیشترین سرعت جوانه‌زنی در سال اول در رقم سیروان با ۸/۷۳ درصد افزایش نسبت به رقم پیش‌تاز، ولی در سال دوم در رقم پیش‌تاز با ۱۰/۴۳ درصد افزایش نسبت به رقم سیروان به دست آمد (جدول ۴).

چنین به نظر می‌رسد که کاهش جذب آب به وسیله بذر در اثر اعمال تنش قطع آبیاری منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر ارقام پیش‌تاز و سیروان شده است. از سوی دیگر با نگاهی به نتایج مشخص شد که استفاده از متیل‌جاسمونات توانست تا حدودی سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شود. از نتایج آزمایش می‌توان بیان کرد که متیل‌جاسمونات به عنوان یک بهبوددهنده احتمالاً می‌تواند سبب کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی شود و با افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی مثل درصد و سرعت جوانه‌زنی در بهبود رشد هر دو رقم مؤثر باشد. نتایج نشان داد که هر چند بیشترین درصد جوانه‌زنی در شرایط آبیاری کامل اتفاق افتاده است ولی با اعمال تنش و کند شدن فعالیت‌های آنزیمی و کاهش سرعت بیوسنتزهای سلولی، کاربرد هورمون متیل‌جاسمونات توانست تا حدی این کاهش را جبران کرده و درصد جوانه‌زنی را افزایش دهد. همچنین احتمال دارد که تفاوت در درصد جوانه‌زنی بذور ارقام مربوط به تفاوت در خصوصیات ژنتیکی این دو نوع بذر باشد. نتایج به وضوح نشان می‌دهد که هر رقم، دارای نیازهای جوانه‌زنی و واکنش به تنش خشکی بسیار خاصی می‌باشد و نیز بر حسب شرایط اقلیمی حاکم در زمان رشد و تولید بذر، جوانه‌زنی متفاوتی نشان می‌دهد.

احتمال دارد که تفاوت در درصد جوانه‌زنی بذور ارقام مربوط به تفاوت در خصوصیات ژنتیکی این دو نوع بذر باشد. به طور کلی تنش بر بذرهاى گیاه مادری اثر منفی دارد که کاربرد هورمون سبب کاهش اثرهای منفی حاصل از تنش بر بذرها می‌شود و در نهایت سبب افزایش جوانه‌زنی بذور هر دو رقم شد. اثرات پیش‌تیمار تنش خشکی روی درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان‌دهنده تغییراتی می‌باشد که تنش خشکی در هنگام پر شدن دانه و نمو آن بر اجزای آن می‌گذارد. یافته‌های این مطالعه حاکی از اختلاف درصد جوانه‌زنی در بین ارقام بود. به طور کلی بذرهاى تنش‌دیده در زمان نمو و پر شدن دانه در محیط مادری درصد جوانه‌زنی کمتری داشتند که این کاهش می‌تواند در نتیجه تغییر هورمون‌های درونی بذور در راستای جلوگیری از مواجهه مجدد با تنش و به تعویق انداختن جوانه‌زنی بذور باشد (Kubalaa et al., 2015)؛ ولی کاربرد هورمون بر گیاه مادری سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد.

Rahoui et al. (2010) بیان کردند از علل کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌توان به این مورد اشاره کرد که احتمالاً غشای سلولی که یکی از نقاط مهم بذر می‌باشد به شدت آسیب می‌بیند و این امر سبب نشت مواد سلولی به بیرون شده و کاهش بنیه بذر را به همراه خواهد داشت. محققان نیز واکنش متفاوت گیاهان نسبت به تنش خشکی را به عوامل مختلفی از جمله جذب کمتر آب توسط گیاه مادری و در نهایت بذر نسبت داده‌اند (Attarzadeh et al., 2019). بسیاری از گزارش‌های محققان نشان می‌دهد که کاهش مولفه‌های جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی در نتیجه کاهش بیان سنتز هورمون‌ها و آنزیم‌های مؤثر در جوانه‌زنی می‌باشد که در نهایت باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (Yao et al., 2019). از سوی دیگر برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مثل جاسمونات‌ها می‌تواند از طریق ایجاد تعادل در سطح آنزیم‌ها و تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی باعث بهبود مولفه‌های جوانه‌زنی شود (Ghafari & Tadayon, 2020).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح متیل جاسمونات در شرایط رژیم آبیاری برای شاخص‌های جوانه‌زنی، میزان پروتئین، فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای نشاسته بذرهای دو رقم گندم در دو سال آزمایش ((۹۵-۱۳۹۴) و (۹۶-۱۳۹۵)).

Irrigation regimes	Variety	Methyl jasmonate (μM)	Germination percent		Germination rate	Seedling length vigor index		Seedling weight vigor index		Seed protein content mgr/g of seed weight)(Seed peroxidase (mmol/gr.min per proteine)	Starch content	
			First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)		First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)
Full irrigation	Pishtaz	0	78.3a	70.83bc	33.74a	65.06b	63.97bc	6.02ab	5.72b	53.33b	57.58b	0.391a	41.15c	41.36c
		50	74.99a	73.33ab	37.49a	67.98b	68.12b	6.72ab	6.55a	53.57b	59.06a	0.411a	45.94ab	45.25b
		100	78.33a	76.66a	36.18a	75.64a	75.30a	6.75a	6.70a	54.62a	59.35a	0.450a	48.86a	50.24a
		150	76.66a	67.50c	34.90a	70.27ab	63.54c	5.97b	5.52b	52.37c	59.58a	0.371a	42.83bc	46.14b
	Sirvan	0	76.66b	73.33c	32.31b	70.55c	69.10c	6.07c	5.67d	51.66b	60.30c	0.438b	43.06b	44.17c
		50	78.33b	78.33b	33.51b	73.84b	76.73b	6.75b	6.62c	50.56b	62.12b	0.458b	45.48b	48.80b
		100	82.49a	83.33a	36.65a	87.13a	89.60a	7.55a	8.30a	54.48a	68.13a	0.483b	56.60a	52.89a
		150	73.33c	78.33b	32.96b	66.38d	71.25c	6.40c	6.95b	55.19a	61.88bc	0.643a	43.39b	46.93b
Irrigation cut-off from bolting stage	Pishtaz	0	58.33a	55.83b	29.97b	51.90a	51.10b	4.05b	3.87b	66.79d	116.59b	0.395a	27.28d	27.81c
		50	60.83a	57.50ab	33.47a	55.50a	53.00b	3.10d	2.87c	69.23c	118.07a	0.451a	28.99c	30.10bc
		100	57.50ab	60.83a	35.45a	54.35a	54.54a	4.65a	4.77a	71.47a	117.6ab	0.491a	37.84a	36.76a
		150	53.33b	53.33b	29.90b	44.73b	49.63b	3.67c	3.72b	70.56b	116.64b	0.435a	32.69b	31.61b
	Sirvan	0	55.83c	58.33b	33.07b	48.58c	52.18b	3.12c	3.25c	60.39b	100.07d	0.601a	37.48b	38.56c
		50	58.33bc	58.33b	34.35b	53.25b	53.92b	3.42c	3.37c	63.41a	100.69c	0.615a	39.65b	40.63bc
		100	65.00a	65.00a	39.37a	66.89a	66.11a	5.47a	5.15a	64.79a	102.03a	0.653a	43.78a	46.01a
		150	59.16b	58.33b	34.34b	53.33b	54.38b	4.40b	4.40b	60.16b	101.31b	0.590a	40.99ab	41.68b
Irrigation cut-off from milk stage	Pishtaz	0	63.33ab	63.33ab	29.59c	58.23ab	60.03b	4.47b	4.62c	52.23b	75.96b	0.477a	38.89c	39.91c
		50	68.33a	67.50a	32.25b	64.37a	65.10a	5.10a	4.97bc	53.48a	77.11b	0.495a	40.37bc	42.21b
		100	60.83b	65.00a	43.70a	61.46ab	67.31a	5.07ab	5.37a	51.95b	77.77a	0.536a	43.52a	46.37a
		150	62.58ab	60.00b	29.31c	57.04b	58.13b	5.30a	5.10ab	53.43a	77.20b	0.470a	41.16b	42.96b
	Sirvan	0	66.66c	63.33a	33.90a	56.47c	55.09c	4.52c	4.20c	49.08c	71.71d	0.570a	43.03c	43.55c
		50	67.50bc	64.99a	33.71a	65.46b	63.96b	5.27b	5.10b	50.51b	72.57c	0.589a	45.03b	45.75b
		100	71.66ab	68.33a	36.93a	74.05a	72.13a	6.37a	6.05a	52.33a	73.58a	0.629a	48.47a	49.32a
		150	73.33a	66.67a	35.93a	70.53a	65.28b	6.02a	5.45b	52.04a	73.00b	0.578a	44.14bc	44.99b

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح رژیم آبیاری و رقم بر سرعت جوانه‌زنی در دو سال آزمایش و میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در سال اول آزمایش.

Irrigation regimes	Cultivar	Germination rate		Activity of seed Catalase (mmol/g.min per protein)	Activity of seed Peroxidase (mmol/gr.min per proteine)
		First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	First year (2015-2016)
Full irrigation	Pishtaz	36.39a	34.76a	1.75a	0.495a
	Sirvan	33.60b	34.12a	1.34b	0.434b
Irrigation cut-off from bolting stage	Pishtaz	32.08b	35.68a	3.64a	0.949a
	Sirvan	34.88a	32.31b	3.82a	0.692b
Irrigation cut-off from milk stage	Pishtaz	36.54a	33.95a	3.72a	0.794a
	Sirvan	33.97b	33.69a	3.81a	0.704b

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می‌باشد.

۲-۳. شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه

در سطح آبیاری کامل، بیشترین شاخص بنیه طولی گیاهچه نیز در رقم پیشتاز در هر دو سال مربوط به کاربرد ۱۰۰ میکرومولار هورمون بود و به ترتیب نسبت به عدم کاربرد هورمون ۱۶/۲۶ و ۱۷/۷۱ درصد افزایش یافت که در سال اول با سطح ۱۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در سطح آبیاری کامل، در رقم پیشتاز در هر دو سال بیشترین شاخص بنیه وزنی گیاهچه در سطح ۱۰۰ میکرومولار بود که اختلاف معنی‌داری با کاربرد ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات نداشت. در رقم سیروان در این سطح آبیاری، غلظت ۱۰۰ میکرومولار در هر دو سال اجرای آزمایش سبب افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه به ترتیب ۲۳/۵ و ۲۹/۶۷ درصد و افزایش شاخص بنیه وزنی ۲۴/۳۸ و ۴۶/۳۸ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۳).

تغییرات شاخص بنیه بذر با قطع آبیاری روند کاهشی را نشان داد. در هر دو رقم در شرایط قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن، بیشترین شاخص بنیه طولی نیز در هر دو سال در غلظت ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد که در سال اول با سطوح ۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات و سطح بدون کاربرد هورمون تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. در شرایط قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن، در هر دو سال، در رقم پیشتاز غلظت ۱۰۰ میکرومولار هورمون سبب افزایش ۱۴/۸۱ و ۲۳/۲۶ درصدی شاخص وزنی بنیه گیاهچه نسبت به عدم کاربرد هورمون شد. در قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن، غلظت ۱۰۰ میکرومولار در رقم سیروان به ترتیب سبب افزایش ۳۷/۶۹ و ۲۶/۷۰ درصد شاخص طولی بنیه گیاهچه و ۷۵/۳۲ و ۵۸/۴۶ درصدی شاخص وزنی بنیه گیاهچه نسبت به عدم کاربرد هورمون در هر دو سال آزمایش شد (جدول ۳).

در هر دو رقم در شرایط قطع آبیاری در مرحله شیری‌شدن دانه، کاربرد هورمون موجب افزایش شاخص طولی بنیه شد، اما بین سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار و سطح بدون کاربرد هورمون در سال اول و بین سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در سال دوم اختلاف معنی‌داری در افزایش بنیه طولی وجود نداشت. در شرایط قطع آبیاری در مرحله شیری‌شدن دانه در رقم پیشتاز در سال اول بین تمام سطوح متیل‌جاسمونات در افزایش بنیه وزنی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در سال دوم هم بین سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار هورمون اختلاف معنی‌داری در افزایش این بنیه وجود نداشت. در رقم سیروان در این شرایط آبیاری غلظت ۱۰۰ میکرومولار سبب افزایش به ترتیب ۳۱/۱۳، ۳۰/۹۳ درصدی شاخص طولی بنیه گیاهچه و ۴۰/۹۳ و ۴۴/۰۵ درصدی شاخص وزنی بنیه گیاهچه نسبت به عدم کاربرد هورمون در هر دو سال شد، ولی در سال اول برای صفت شاخص بنیه طولی بین سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

از آنجایی که استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در شرایط مزرعه حائز اهمیت است، گیاهچه‌هایی باید انتخاب شوند که علاوه بر درصد جوانه‌زنی مطلوب، طول یا وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه بالاتری نیز داشته باشند که این پارامترها تحت عنوان شاخص بنیه بذر بیان اندازه‌گیری می‌شوند. در این پژوهش با افزایش شدت تنش و در سطوح قطع آبیاری از میزان بنیه طولی و وزنی کاسته شد. اثرات پیش‌تیمار تنش خشکی روی ارقام مورد آزمایش نشان‌دهنده تأثیرپذیری بذور هر دو رقم از تنش خشکی در محیط مادری می‌باشد. نتایج حاصل حاکی از این است که اعمال تنش خشکی باعث تولید بذوری با طول و وزن کمتر و جوانه‌زنی پایین می‌شود. سایر مطالعات نیز نشان دادند که تنش خشکی روی گیاه مادری سبب کاهش ضخامت پوسته بذر و افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی شده و در نتیجه باعث کاهش بنیه بذر می‌شود (Atarod et al., 2012). کاهش شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه به واسطه وجود تنش خشکی روی گیاه مادری توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Parsaie et al., 2020). آنها گزارش کردند که

محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد یک روش موثر برای افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی بوده و نقش ویژه‌ای در حفاظت گیاه در برابر تنش ایجاد می‌کند. بنابراین محلول پاشی متیل جاسمونات در شرایط تنش یک روش مناسب جهت ارتقاء عملکرد کمی و کیفی بذر محسوب می‌شود (Tayyab *et al.*, 2020). در این آزمایش نیز با افزایش میزان کاربرد متیل جاسمونات تا سطح ۱۰۰ میکرومولار هورمون، روند افزایشی در شاخص‌های بنیه طولی و وزنی و دیگر شاخص‌های جوانه‌زنی مشاهده شد، ولی با افزایش به سطح ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات این شاخص‌ها کاهش پیدا کرد. Mohamadian *et al.* (2018) گزارش دادند که به‌کاربردن متیل جاسمونات باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه استویا (*Stevia rebaudiana*) تحت تنش اسمزی شد.

۳-۳. درصد پروتئین بذر

برهمکنش رژیم آبیاری، رقم و متیل جاسمونات برای پروتئین بذر در هر دو سال در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها برای پروتئین بذر نشان داد که در شرایط آبیاری کامل در رقم پیش‌تاز در سال اول با کاربرد تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات درصد پروتئین بذر نسبت به سطح بدون کاربرد هورمون افزایش داشت، ولی در سال دوم سطح بدون کاربرد هورمون کمترین درصد پروتئین را دارا بود و بین سطوح تیمار متیل جاسمونات اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). همچنین در رقم سیروان در هر دو سال در این سطح از آبیاری، غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات سبب افزایش درصد پروتئین بذر نسبت به سطح عدم کاربرد هورمون شد.

قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن نسبت به آبیاری کامل، سبب افزایش درصد پروتئین بذر در هر دو سال در رقم سیروان و سال اول در رقم پیش‌تاز شد که غلظت ۱۰۰ میکرومولار و عدم کاربرد هورمون به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان پروتئین بذر را نشان دادند. در قطع آبیاری در مرحله شیری‌شدن دانه، در رقم پیش‌تاز در سال اول بین سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میکرومولار در افزایش درصد پروتئین اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت، ولی در سال دوم تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات سبب افزایش میزان پروتئین بذر شد. در رقم سیروان نیز در سال اول سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات سبب افزایش درصد پروتئین شد و در سال دوم نیز غلظت ۱۰۰ میکرومولار، بیشترین میزان پروتئین بذر را نشان داد. به‌طور کلی در شدیدترین حالت تنش بیشترین درصد پروتئین بذر در رقم پیش‌تاز مشاهده شد و در سال دوم میزان این افزایش به مراتب بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش در مرحله غلاف‌رفتن به‌میزان پروتئین بذر افزوده شد. در بیشتر سطوح آبیاری، تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات سبب افزایش میزان پروتئین بذر شد. طبق دیگر مطالعات افزایش محتوای پروتئین به‌وسیله تنظیم‌کنندگان رشد گیاهی نظیر متیل جاسمونات ممکن است به‌علت تشکیل شبکه آندوپلاسمی باشد که محیط مناسبی را برای افزایش پلی‌ریبوزوم mRNA فراهم می‌کند (Kim *et al.*, 2007).

گزارش شده است که متیل جاسمونات باعث سنتز برخی از پروتئین‌های خاص مانند پروتئین‌های مربوط به تنش در دمای بالا و همچنین اکسیدازهای جانشین می‌شود (Ding *et al.*, 2004). همچنین با افزایش شدت تنش به میزان پروتئین بذر افزوده شد. در مورد میزان پروتئین دانه نیز می‌توان نتیجه گرفت که تنش باعث افزایش میزان تنفس در دانه می‌شود، لذا چرخه کربس با سرعت بیشتری به کار می‌افتد و در نتیجه مواد حدواسط تولیدی این چرخه مانند آلفا-کتوگلوئاریک که یکی از پیش‌سازهای اسیدآمین است بیشتر تولید می‌شود. از طرفی افزایش تنفس باعث افزایش کارکرد چرخه‌های پنتوزفسفات و تولید اریتروز ۴-فسفات و زنجیره گلیکولیز و تولید فسفوانول پیرووات می‌شود. این دو ماده پس از ورود به چرخه شیکمیک اسید تولید ترکیبات نیتروژن‌دار از جمله اسیدآمین گلیسین، تریپتوفان، ... می‌کنند. نتیجه چنین فرآیندهایی این است که انرژی بیشتری صرف ساختن پروتئین نسبت به کربوهیدرات می‌شود (Taşgin *et al.*, 2006).

۳-۴. میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در بذر

برهمکنش رژیم آبیاری، رقم و متیل جاسمونات برای فعالیت پراکسیداز بذر در سال دوم در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد. برهمکنش رژیم آبیاری و رقم، رژیم آبیاری و متیل جاسمونات، رقم و متیل جاسمونات در سال اول برای فعالیت کاتالاز و پراکسیداز بذر در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد. برهمکنش رقم و متیل جاسمونات و همچنین اثر رژیم آبیاری و متیل جاسمونات برای فعالیت کاتالاز بذر در سال دوم در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین میزان فعالیت

کاتالاز بذر در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شیری شدن دانه در تیمار کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به دست آمد که در مقایسه با سطح بدون کاربرد هورمون به ترتیب ۱۱۵/۲۴ و ۵۴/۶۹ درصد افزایش داشت. همچنین در اعمال تنش در آغاز مرحله غلاف‌رفتن، بیشترین فعالیت کاتالاز در تیمار ۱۵۰ میکرومولار مشاهده شد که نسبت به سطح بدون کاربرد هورمون افزایش ۳۹/۰۹ درصدی نشان داد (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متیل جاسمونات برای محتوای درصد پروتئین، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بذر و محتوای گلوتن دو رقم گندم نان در شرایط رژیم رطوبتی متفاوت انتهای فصل در دو سال آزمایش ((۱۳۹۴-۹۵) و (۱۳۹۵-۹۶)).

S.O.V	df	Means of squares			
		Seed content	Activity of seed Catalase	Activity of seed Peroxidase	Gluten content
First year (2015-2016)					
Replication	2	0.782 ^{n.s}	0.175 ^{n.s}	0.0003 ^{n.s}	2.37 ^{n.s}
Irrigation regimes	2	1425 ^{**}	38.85 ^{**}	0.852 ^{**}	20.51 ^{**}
Main plot error	4	0.436	0.262	0.0037	2.38
Cultivar	1	184.7 ^{n.s}	0.043 ^{n.s}	0.331 ^{**}	5.38 ^{n.s}
MeJA	3	22.53 ^{**}	4.98 ^{**}	0.0057 ^{ns}	140.57 ^{**}
Cultivar× Irrigation	2	79.05 ^{**}	0.604 ^{**}	0.066 ^{**}	0.415 ^{n.s}
MeJA×Irrigation	6	5.72 ^{**}	0.697 ^{**}	0.0058 [*]	6.32 ^{n.s}
MeJA × Cultivar	3	2.96 ^{**}	0.414 [*]	0.0076 [*]	36.67 ^{**}
MeJA×Cultivar × Irrigation	6	8.49 ^{**}	0.182 ^{n.s}	0.0030 ^{n.s}	2.51 ^{n.s}
Total error	42	0.558	0.115	0.0024	3.69
C.V%	-	1.31	11.26	7.29	6.22
Second year (2016-2017)					
Replication	2	1.62 ^{**}	0.284 ^{n.s}	0.0067 ^{n.s}	1.09 ^{**}
Irrigation regimes	2	14730 ^{**}	1.86 ^{**}	0.052 ^{**}	5.70 ^{**}
Main plot error	4	0.128	0.106	0.0026	0.193
Cultivar	1	530.18 ^{**}	0.194 ^{n.s}	0.271 ^{**}	18.10 ^{**}
MeJA	3	22.05 ^{**}	2.64 ^{**}	0.011 ^{**}	35.43 ^{**}
Cultivar× Irrigation	2	630.7 ^{**}	0.177 ^{n.s}	0.010 [*]	0.030 ^{n.s}
MeJA×Irrigation	6	3.91 ^{**}	0.438 ^{n.s}	0.0043 ^{n.s}	0.437 ^{**}
MeJA × Cultivar	3	6.46 ^{**}	0.641 [*]	0.0064 ^{n.s}	1.76 ^{**}
MeJA×Cultivar × Irrigation	6	4.48 ^{**}	0.384 ^{n.s}	0.0070 [*]	0.126 ^{n.s}
Total error	42	0.207	0.190	0.0024	0.086
C.V%	-	0.557	18.75	9.68	0.933

^{n.s}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

در شرایط آبیاری کامل، میزان فعالیت کاتالاز بذر در رقم پیش‌تاز نسبت به رقم سیروان افزایش معنی‌داری نشان داد، هر چند که در سطوح قطع آبیاری بین ارقام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در رقم پیش‌تاز، تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل-جاسمونات در سال اول و دوم به ترتیب ۶۸/۱۲ و ۶۹/۱۹ درصد افزایش در میزان فعالیت کاتالاز بذر نسبت به سطح بدون کاربرد هورمون نشان داد (جدول ۷). همچنین در رقم سیروان در سال اول بین تیمار غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار و در سال دوم نیز بین سطوح کاربرد هورمون اختلاف معنی‌داری در فعالیت کاتالاز وجود نداشت، ولی به‌طور کلی کاربرد هورمون در هر دو سال سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شدند (جدول ۷). میزان فعالیت کاتالاز بذر در شرایط قطع آبیاری بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود و بین سطوح قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و شیری شدن دانه نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸).

در شرایط آبیاری کامل در سال دوم، در رقم سیروان با کاربرد تیمار ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات ۴۶/۸ درصد افزایش در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با سطح بدون کاربرد هورمون به دست آمد. در شرایط قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و شیری شدن دانه، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطوح مختلف غلظت متیل جاسمونات اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در قطع آبیاری در مرحله شیری شدن دانه، غلظت تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات سبب افزایش فعالیت پراکسیداز بذر شد اما این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۶). همچنین با قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز وجود داشت (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبیاری و سطوح متیل جاسمونات برای فعالیت کاتالاز و پراکسیداز بذر و محتوای گلوتن در سال اول آزمایش (۱۳۹۴-۱۳۹۵)

Irrigation regimes	Methyl jasmonate (μM)	Activity of seed Catalase (mmol/gr.min per proteine)	Activity of seed Peroxidase (mmol/g.min per protine)	Gluten content
Full irrigation	0	0.971c	0.466a	29.68d
	50	1.63b	0.479a	31.13b
	100	2.09a	0.489a	32.56a
	150	1.49b	0.431a	30.58a
Irrigation cut-off from bolting stage	0	3.12d	0.809a	30.15c
	50	3.37c	0.836a	31.73b
	100	4.07b	0.852a	33.91a
	150	4.34a	0.885a	32.01b
Irrigation cut-off from milk stage	0	3.09b	0.716a	29.83c
	50	3.58b	0.716a	31.76b
	100	4.78a	0.777a	33.45a
	150	3.60b	0.788a	31.38b

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش رقم و سطوح متیل جاسمونات برای فعالیت کاتالاز و پراکسیداز بذر و محتوای گلوتن در دو سال آزمایش (۱۳۹۴-۱۳۹۶).

Cultivars	Methyl jasmonate (μM)	Activity of seed Catalase (mmol/gr.min per proteine)		Activity of seed Peroxidase (mmol/gr.min per proteine)		Gluten content	
		First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)	First year (2015-2016)	Second year (2016-2017)
Pishtaz	0	2.29c	1.72c	0.597ab	0.421a	27.35c	30.58c
	50	2.77b	2.16c	0.617ab	0.452a	28.36c	31.95b
	100	3.85a	2.91a	0.656a	0.492a	36.07a	33.41a
	150	3.04b	2.69b	0.572b	0.425a	32.91b	32.12b
Sirvan	0	2.50c	1.88b	0.731a	0.536a	28.32c	29.18d
	50	2.95b	2.44a	0.737a	0.554a	31.01b	31.13b
	100	3.45a	2.52a	0.751a	0.588a	32.64a	33.21a
	150	3.25a	2.23ab	0.764a	0.603a	30.45b	30.53c

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می باشد.

میزان فعالیت پراکسیداز بذر در تمامی سطوح رژیم آبیاری در رقم پیشتاز بیشتر از رقم سیروان بود (جدول ۴). در رقم پیشتاز در سال اول کمترین میزان فعالیت پراکسیداز بذر در غلظت ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات مشاهده شد. همچنین در رقم سیروان، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر بین سطوح مختلف غلظت متیل جاسمونات اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۷). از نتایج آزمایش می توان بیان کرد که متیل جاسمونات به عنوان یک بهبوددهنده احتمالاً می تواند با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی سبب بهبود شاخص های جوانه زنی شود. بنابراین افزایش در شاخص های جوانه زنی مثل درصد و سرعت جوانه زنی در بهبود رشد هر دو رقم مؤثر خواهد بود. مشابه با این نتایج در مورد تأثیر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان، گزارش شده است که در تنش کادمیم نیز، تیمار متیل جاسمونات موجب افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و بهبود تحمل به تنش می شود (Singh & Shah, 2014). Salimi *et al.* (2014) نیز بیان کردند که استفاده خارجی از متیل جاسمونات می تواند اثرات ناشی از تنش های مختلف از جمله شوری و خشکی را از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و افزایش رنگیزه های گیاهی تعدیل کند.

۵-۳. محتوای گلوتن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در سال اول اثر اصلی رژیم آبیاری و متیل جاسمونات و برهمکنش رقم و متیل جاسمونات برای گلوتن در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار شد و در سال دوم نیز هر سه اثر اصلی سه تیمار و برهمکنش رژیم آبیاری و متیل جاسمونات و همچنین رقم و متیل جاسمونات در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بیشترین میزان گلوتن در غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به دست آمد، به طوری که در سال اول و دوم رقم پیشتاز به ترتیب افزایش ۳۱/۸۸ و ۹/۲۵ درصدی و رقم سیروان افزایش ۱۵/۲ و ۱۳/۸۱ درصدی در مقایسه با سطح بدون کاربرد هورمون نشان دادند (جدول ۷). همچنین

در سال دوم اجرای آزمایش، در همه سطوح رژیم آبیاری، بیشترین میزان گلوتن دانه با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (جدول ۶). نتایج همچنین نشان می‌دهد که در سال دوم آزمایش، سطوح قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و مرحله شیرینی‌شدن دانه سبب افزایش میزان گلوتن نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات اصلی رژیم آبیاری برای میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بذر و محتوای گلوتن در سال دوم

Irrigation regimes	Activity of seed catalase (mmol/gr.min per proteine)	Gluten content
Full irrigation	2.03b	29.86b
Irrigation cut-off from bolting stage	2.34a	31.65a
Irrigation cut-off from milk stage	2.59a	31.16a

حروف مشابه در هر ستون و برای هر تیمار، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می‌باشد.

در این پژوهش کم‌تر بودن مقدار گلوتن در شاهد احتمالاً به دلیل تجمع بیشتر نشاسته در دانه‌ها به علت طولانی‌تر بودن طول دوره رشد دانه در مقایسه با شرایط تنش است. با کاربرد ۱۰۰ میکرومولار از متیل‌جاسمونات میزان گلوتن در هر دو رقم افزایش یافت. Ozturk & Aydin (2004) بیان کردند که در شرایط تنش، درصد پروتئین و میزان گلوتن افزایش یافت. همچنین اثر تنش زودهنگام روی کیفیت بذر کمتر از تنش دیرهنگام بود. محققان گزارش کردند که تنش خشکی، کیفیت دانه گندم را به واسطه ترکیبات گلوتهین و گلیادین را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بنابراین آنها مشخص کردند که تنش باعث تحت تأثیر قرار گرفتن میزان پروتئین شده و درصد پروتئین در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Phakela *et al.*, 2021). از عوامل تأثیرگذار بر محتوای گلوتن دانه و کیفیت آن، علاوه بر اختلافات ژنوتیپی، شرایط محیطی است (Taşgım *et al.*, 2006).

۳-۶. محتوای نشاسته دانه

برهمکنش سال، رژیم آبیاری، رقم و سطوح متیل‌جاسمونات برای محتوای نشاسته در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل در رقم پیش‌تاز و سیروان در سال اول و دوم، بیشترین محتوای نشاسته دانه در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات مشاهده شد (جدول ۳). قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و شیرینی‌شدن دانه سبب کاهش محتوای نشاسته شد. از سوی دیگر در قطع آبیاری از آغاز مرحله غلاف‌رفتن و شیرینی‌شدن دانه، تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات در افزایش محتوای نشاسته معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد هورمون نشان داد. به‌طور کلی در تیمار ۱۰۰ میکرومولار در هر دو رقم حداکثر محتوای نشاسته وجود داشت که البته میزان آن در شرایط آبیاری کامل و در رقم سیروان، بیشتر از سایر سطوح اعمال تنش بود (جدول ۳). به‌طور کلی تنش سبب کاهش میزان نشاسته می‌شود. کاهش نشاسته می‌تواند به دلیل تجزیه‌شدن آن به واحدهای کوچک‌تر و در نتیجه انباشتگی قندهای محلول در سلول باشد (Alaoui *et al.*, 2003). کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات سبب افزایش نشاسته در همه سطوح آبیاری شد. افزایش فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز به هنگام تنش آب موجب تجزیه نشاسته و تبدیل این درشت‌مولکول به واحدهای کوچک‌تر مانند گلوکز شده و با افزایش قندهای محلول، به تنظیم اسمزی و حفظ آب سلول کمک می‌کند و از آنجایی که نشاسته به‌عنوان یک منبع کربنی در تنش کم‌آبی برای تنفس و رشد گیاه به مصرف می‌رسد، لذا کاهش در میزان نشاسته می‌تواند به این دلیل باشد. نشاسته ممکن است نقش مهمی در تجمع قندهای محلول در سلول‌ها داشته باشد. کاهش نشاسته ممکن است در پاسخ به تنش خشکی رخ دهد (Patakas & Noitsakis, 2001). افزایش در غلظت‌های قندهای محلول هم‌زمان با کاهش در میزان نشاسته توسط Ketabchi & Shahrtaş (2011) مشاهده شد. یکی از اولین آنزیم‌ها در سنتز نشاسته، گلوکزیک فسفات‌آدنیل‌ترانسفراز است که در شرایط تنش، فراوانی آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Majoul *et al.*, 2003). در پاسخ به تنش خشکی، وضعیت کربوهیدرات‌های برگ تغییر می‌کند و این امر ممکن است به‌صورت یک سیگنال متابولیکی در پاسخ به تنش انجام شود (Chaves *et al.*, 2003). در حالی که سنتز نشاسته به‌طور معمول تحت بازدارندگی شدید و حتی تحت شرایط کمبود آب متوسط است، غلظت قندهای محلول به‌طور کلی یا افزایش می‌یابد یا حداقل تحت شرایط تنش ثابت باقی می‌ماند (Pinheiro *et al.*, 2001). Ramak *et al.* (2015) گزارش کردند که میزان نشاسته در شرایط تنش در دو گونه اسپرس مورد مطالعه نسبت به گیاهان شاهد بسیار کمتر بود.

۴. نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در سطوح تنش خشکی و آبیاری کامل، رقم سیروان نسبت به رقم پیشتاز حداکثر درصد جوانه زنی، بنیه طولی و وزنی بیشتری دارا بود که نشان دهنده تحمل بالاتر این رقم در شرایط تنش خشکی می باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش تنش خشکی اعمال شده روی گیاه مادری باعث تأثیر نامطلوبی روی صفات جوانه زنی، بیوشیمیایی و کیفی در ارقام گندم می شود. از سوی دیگر تیمارهای مختلف متیل جاسمونات تا حدودی باعث بهبود این صفات در هر دو رقم شد و در نتیجه باعث افزایش درصد جوانه زنی شد. اگرچه با افزایش تنش خشکی، کاهش جوانه زنی بذر و صفات کیفی ارقام گندم مشاهده شد، اما تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات می تواند عامل مهمی در بهبود شاخص های جوانه زنی در ارقام گندم تحت شرایط خشکی شود. به طور کلی باتوجه به نتایج به دست آمده می توان اظهار داشت که تیمار ۱۰۰ میکرومولار می تواند اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تعدیل کند و شاخص های جوانه زنی و گیاهچه ای را تا حدودی بهبود دهد.

۵. منابع

- Abdulkaki, A.A., & Anderson, J.D. (1975). Vigour determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630-633.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Ahmadi, A., & Baker, D.A. (2001). The effect of water stress on grain filling processes in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 136, 257-269.
- Alaoui, B., Genet, P., Dunand, F.V., Toussaint, M.L., Epron, D., & Badot, P.M. (2003). Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationship with carbohydrate accumulation and change in ion contents. *Plant Science*, 166, 1213-1218.
- American Association of Cereal Chemist (AACC). (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*, 10th edn. St. Paul, MN, USA, American Association of Cereal Chemist.
- Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., Ehyai, H.R., Fallahi, J., & Aghhavan Shajari, M. (2011). Effect of osmotic and salinity stresses on germination and seedling growth indices of artichoke (*Cynara scolymus*) and purple coneflower (*Echinacea purpurea*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(2), 165-176. (In Persian).
- Atarod, H., Irannejad, H., Shirani Rad, A.H., Amiri, R., & Akbari, G. (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).
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., & Rajaie, M. (2019). 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).
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 24(1), 23-58.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 38, 248-252.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., & Stanca, A.M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants, an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105(1-2), 1-14.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant response to drought, from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264.
- Dar, T.A., Uddin, M., Khan, M.M.A., Hakeem, K.R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress. *A Review. Environmental and Experimental Botany*, 115, 49-57.
- Dean, J.A. (1985). Legend's handbook of chemistry and Physics. *CRC Press*, 5(96), 5.101.
- Ding, C., Wang, C., & Fung, R. (2004). Reducing chilling injury and enhancing transcript levels of heat shock proteins, PR-proteins and alternative oxidase by methyl jasmonate and methyl salicylate in tomatoes and peppers. *Paper presented at the V International Postharvest Symposium*, 682, 481-486.
- Ghafari, H., & Tadayon, M.R. (2020). Effect of seed soaking with exogenous jasmonic acid on seed germination indexes of sugar beet under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(4), 1263-1273.
- Hasibi, N., Manouchehr Kalantari, K.H., Mazaheri, M., & Ahmadi Mousavi, E.A.S. (2008). The effects of methyl jasmonate, ethylene and their interaction on seed germination and some chemical parameters of canola (*Brassica napus* L.) seedling. *Iranian Journal of Biology*, 21 (2), 1-10.

- Jain, V., Vart, S., Verma, E., & Malhotra, S.P. (2015). Spermine reduces salinity-induced oxidative damage by enhancing antioxidative system and decreasing lipid peroxidation in rice seedlings. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 24(3), 316-323.
- Kafi, M., & Mahdavi damghani, A. (2000). Mechanism of tolerance to environmental stress in plant. *The Indian Journal of Agricultural Science. Ferdowsi University, Mashhad, Iran*, 54, 110-113. (In Persian).
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxides and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2), 315-319.
- Ketabchi, S., & Shahrtash, M. (2011). Effects of methyl jasmonate and cytokinin on biochemical responses of maize seedlings infected by *Fusarium moniliforme*. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 2(2), 299-305.
- Kim, D.Y., Bovet, M., Maeshima, E., & Lee, Y. (2007). The ABC transporter *AtPDR8* is a cadmium extrusion pump conferring heavy metal resistance. *The Plant Journal*, 50(2), 207-218.
- Kubala, S., Wojtyla, L., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., Garnczarska, M., & Garnczarska, M. (2015). Enhanced expression of the proline synthesis gene *P5CSA* in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 183, 1-12.
- Maguire, J.D. (1962). Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Majoul, T., Bancel, E., Triboil, E., Hamida, J.B., & Branlard, G. (2003). Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain, characterization of heat responsive proteins from total endosperm. *Proteomics*, 3(2), 175-183.
- McCready, R.M., Guggolz, J., Silveira, V., & Ownes, H.S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables, application to peas. *Analytical Chemistry*, 22(9), 1156-1158.
- Mohamadian, E., Kianmehr, H., Ataei Somagh, H., Azad Nafas Mahjor, N., Safari, F., & Safarzadeh, A. (2018). Effect of methyl jasmonate pre-treatment on germination indices and biochemical traits of stevia seedlings (*Stevia rebaudiana*) under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 5(1), 101-117. (In Persian).
- Nichols, M.A., & Heydecker, W. (1986). Two approaches to the study of germination date. *Proceedings of the International Seed Testing Association*, 33, 531-540.
- Ozturk, A., & Aydin, F. (2004). Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(2), 93-99.
- Parsaie, S., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., & Attarzadeh, M. (2020). Improving sesame (*Sesamum indicum* L.) seed characteristics and vigor under drought stress by seed zinc and boron enrichment. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8, 113-126.
- Passioura, J. (2006). The drought environment, physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 113-117.
- Patakas, A., & Noitsakis, B. (2001). Leaf age effects on solute accumulation in water-stressed Grapevines. *Plant Physiology*, 158, 63-69.
- Phakela, K., van Biljon, A., Wentzel, B., Guzman, C., & Labuschagne, M. (2021). Gluten protein response to heat and drought stress in durum wheat as measured by reverse phase-high performance liquid chromatography. *Journal of Cereal Science*, 100, 103267.
- Pinheiro, C., Chaves, M.M., & Ricardo, C.P. (2001). Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stems and leaves of *Lupinus albus* L. *Journal of Experimental Botany*, 52(358), 1063-1070.
- Rahoui, S., Chaoui, A., & Ferjani, E. (2010). Membrane damage and solute leakage from germinating pea seed under cadmium stress. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 1128-1131.
- Ramak, P., Mehrnia, M., & Esmailzadeh Bahabadi, S. (2015). Effects of water stress on some compatible solutes and membrane stability in two species of sainfoin (*Onobrychis radiata* and *Onobrychis viciifolia*). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 1(1), 1-16.
- Salimi, F., Shekari, F., & Hamzei, J. (2014). The effects of salinity and foliar application of methyl jasmonate on the rate of photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and yield of *German chiamomile*. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 328-334. (In Persian).
- Sanchez-Romera, B., Ruiz-Lozano, J.M., Li, G., Luu, D.T., Martinez-Ballesta, M.C., Carvajal, M., Zamarreño, A. M., García-Mina, J.M., Maurel, C., & Aroca, R. (2014). Enhancement of root hydraulic conductivity by methyl jasmonate and the role of calcium and abscisic acid in this process. *Plant Cell and Environment*, 37(4), 995-1008.
- Singh, I., & Shah, K. (2014). Exogenous application of methyl jasmonate lowers the effect of cadmium-induced oxidative injury in rice seedlings. *Phytochemistry*, 108, 57-66.
- Soltani, E., Akram Ghaderi, F., & Memar, H. (2008). The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. *Journal Agriculture Science Natural Resource*, 14(5), 9-16.

- Taşgın, E., Atıcı, Ö., Nalbantoğlu, B., & Popova, L.P. (2006). Effects of salicylic acid and cold treatments on protein levels and on the activities of antioxidant enzymes in the apoplast of winter wheat leaves. *Phytochemistry*, 67(7), 710-715.
- Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M.N., & Roberts, T.H. (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *PLOS ONE*, 15(5): e0232269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>.
- Xiao, H.M., Cai, W.J., Ye, T.T., Ding, J., & Feng, Y.Q. (2018). Spatio-temporal profiling of abscisic acid, indoleacetic acid and jasmonic acid in single rice seed during seed germination. *Analytica Chimica Acta*, 1031, 119-127.
- Yao, C., Zhang, F., Sun, X., Shang, D., He, F., Li, X., Zhang, J., & Jiang, X. (2019). Effects of S-abscisic acid (S-ABA) on seed germination, seedling growth, and *Asr1* gene expression under drought stress in maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 1300-1313.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S.A., & Sedghi, M. (2017). Effect of Brassinosteroid on yield potential and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under different irrigation regimes. *Crop Physiology*, 9(33), 5-16.
- Zalewski, K., Nitkiewicz, B., Lahuta, L.B., Glowacka, K., Socha, A., & Amarowicz, R. (2010). Effect of jasmonic acid-methyl ester on the composition of carbohydrates and germination of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) seeds. *Journal of Plant Physiology*, 167(12), 967-973.