University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Response of Seed Germination and Seedling Growth of Licorice to Chemical Scarification and Gibberellic Acid Levels

Jalal Ghanbari[1]✉ | Marzieh Besharati-Far[2] | Gholamreza Khajoei-Nejad[3]

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: jalalghanbari@agr.uk.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: marziehbesharati@gmail.com
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: khajoei@uk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 09 August 2021
Received in revised form:
07 December 2021
Accepted: 12 December 2021
Published online:
17 December 2022

Keywords:
Germination trend,
hormonal dormancy-breaking,
legumes,
physical and physiological dormancy,
sulfuric acid.

ABSTRACT

Natural habitats of licorice have decreased dramatically while the demand for this plant rises. Licorice seeds exhibit a low germination rate due to secondary dormancy imposed by the hard seed coat. In this study, conducted in the spring of 2021 at Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, the interaction effect of sulfuric acid (95-97%, 60 min) scarification with gibberellic acid (GA) concentrations (0, 100, 250, 500, and 1000 mgL^{-1}) has been studied in a factorial experiment based on a completely randomized design with four replications. Results show that although there has been no difference in germination between GA levels for scarified seeds, GA at 250 mg L^{-1} improves germination by 36%, compared to the control in non-chemically scarified ones. In contrast, increasing in GA concentrations increased seedling length, plant height, number of leaves and compound leaves, leaf area, fresh and dry weight of shoot and root, while decreased chlorophyll index (SPAD). As a result, chemical scarification, application of GA at 1000 mg L^{-1}, and germination at room temperature can effectively increase the germination rate and uniformity as well as early growth of licorice plant.

Cite this article: Ghanbari, J., Besharati-Far, M., & Khajoei-Nejad, Gh. (2022). Response of Seed Germination and Seedling Growth of Licorice to Chemical Scarification and Gibberellic Acid Levels. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1311-1324. DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2021.328615.2595

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2021.328615.2595

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

پاسخ جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه شیرین‌بیان به خراش‌دهی شیمیایی و سطوح جیبرلیک‌اسید

جلال قنبری[1]✉ | مرضیه بشارتی‌فر[2] | غلامرضا خواجویی‌نژاد[3]

۱. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

۲. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: marziehbesharati@gmail.com

۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: khajoei@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

کلیدواژه‌ها:
بقولات،
خواب فیزیکی و فیزیولوژیکی،
روند جوانه‌زنی،
سولفوریک‌اسید،
شکست خواب هورمونی.

چکیده

زیستگاه‌های طبیعی شیرین‌بیان به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته در حالی‌که تقاضا برای آن در حال افزایش است. بذرهای شیرین‌بیان به‌دلیل خواب ثانویه تحمیل‌شده توسط پوسته سخت دانه سرعت جوانه‌زنی پایینی را نشان می‌دهند. در این مطالعه که در بهار ۱۴۰۰ در دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد، اثر متقابل خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید (۹۷-۹۵ درصد به‌مدت ۶۰ دقیقه) با غلظت‌های جیبرلیک‌اسید (صفر، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با وجود این‌که در بذور خراش‌دهی شده تفاوتی در جوانه‌زنی بین سطوح جیبرلیک‌اسید ملاحظه نشد، تیمار با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید در شرایط عدم خراش‌دهی جوانه‌زنی را ۳۶ درصد نسبت به شاهد بهبود داد. در مقابل، با افزایش غلظت جیبرلیک‌اسید طول گیاهچه، ارتفاع ساقه، تعداد برگ، تعداد برگ مرکب، سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه و ریشه افزایش و شاخص کلروفیل (SPAD) کاهش یافت. در نتیجه، خراش‌دهی شیمیایی و تیمار با جیبرلیک‌اسید ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند به‌طور مؤثری سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و هم‌چنین رشد اولیه گیاه شیرین‌بیان را افزایش دهد.

استناد: قنبری، ج.، بشارتی‌فر، م. و خواجویی‌نژاد، غ. ر (۱۴۰۱). پاسخ جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه شیرین‌بیان به خراش‌دهی شیمیایی و سطوح جیبرلیک‌اسید. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۴)، ۱۳۱۱-۱۳۲۴. DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2021.328615.2595

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده بقولات است که در طب سنتی و صنایع مختلف غذایی و دارویی کاربرد وسیعی دارد (Hayashi & Sudo, 2009; Jiang *et al*., 2020). طی سالیان گذشته، در حالی‌که تقاضای صنعت برای شیرین‌بیان افزایش یافته است، رویشگاه‌های طبیعی این گونه، به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته است. برداشت بی‌رویه، علاوه بر کاهش جمعیت و تخریب تنوع گونه‌ای این گیاه، منابع خاک را نیز در معرض خطر قرار داده است (Ghadiri & Bagherani, 2000). یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای جلوگیری از تخریب منابع و چشم‌اندازها، روی‌آوردن به کاشت این گیاه از طریق بذر برای افزایش عرضه و تأمین تقاضای صنایع مختلف است. با این‌حال، بذر شیرین‌بیان دارای خواب پس از برداشت است که به‌طور عمده توسط پوسته سخت آن ایجاد شده و در زمان کاشت منجر به کاهش میزان جوانه‌زنی (به‌طور معمول زیر ۲۰ درصد) می‌شود (Mao *et al*., 2008). چنین شرایطی منجر به عدم جذب آب توسط دانه و عدم دسترسی جنین به رطوبت کافی شده که با کاهش جوانه‌زنی سریع و یکنواخت همراه می‌شود (Abudureheman *et al*., 2014; Jin *et al*., 2006).

نرم‌کردن یا حذف پوسته بذر با روش‌های مختلف مکانیکی و شیمیایی به‌طور گسترده‌ای برای کاهش سختی پوسته بذر، شکست خواب بذر و بهبود سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌شود. در تعدادی از پژوهش‌های انجام شده گزارش شده است که خراش‌دهی و تیمار با سولفوریک‌اسید غلیظ متداول‌ترین و راحت‌ترین روش شکستن خواب گونه‌های مختلف شیرین‌بیان است (Abudureheman *et al*., 2014; Ghadiri & Bagherani, 2000; Jin *et al*., 2006; Mao *et al*., 2008; Verma *et al*., 2000). خواب بذر شیرین‌بیان از نوع فیزیکی بوده که توسط پوسته سخت آن تحمیل شده است. در همین ارتباط Rafieiolhossaini *et al*. (2014) در پژوهشی گزارش کردند که تیمار بذور شیرین‌بیان با سولفوریک‌اسید ۷۵ درصد به‌مدت ۳۰ دقیقه منجر به افزایش جوانه‌زنی نسبت به زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه و شاهد شد اما میزان جوانه‌زنی در این تیمار تنها ۲۰ درصد گزارش شد. آزمایشی به بررسی خواب بذر انواع مختلف گونه‌های بقولات سازگار با مناطق سرد بیابانی پرداخته است. در این مطالعه علاوه بر تعیین نوع خواب بذر، تیمارهای مختلف بر شکستن خواب نیز اعمال شده است. بررسی روند جذب آب در بذر شیرین‌بیان گونه *G. glabra* نشان داد که خواب بذر از نوع فیزیکی بوده و در تیمار ۶۰ دقیقه با سولفوریک‌اسید به‌عنوان بهترین تیمار شیمیایی، درصد جوانه‌زنی آن تا ۸۵ درصد رسید (Abudureheman *et al*., 2014). پیش‌تیمار بذور شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) با سولفوریک‌اسید ۹۸ درصد در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نشان داد که بهترین ویژگی‌های جوانه‌زنی از تیمار به‌مدت ۴۵ تا ۶۰ دقیقه حاصل شد (Mao *et al*., 2008). هم‌چنین نتایج مطالعه بذرهای *Glycyrrhiza uralensis* پس از هفت روز نشان داد که تیمار با سولفوریک‌اسید غلیظ تأثیر زیادی در جوانه‌زنی نسبت به شاهد دارد، اما افزایش مدت زمان تیمار به‌دلیل آسیب‌رسانی به جنین منجر به کاهش معنی‌دار میزان جوانه‌زنی شد (Jin *et al*., 2006).

بذرهای دارای خواب ترکیبی (فیزیکی و فیزیولوژیکی) ممکن است برای شکستن خواب فیزیولوژیکی پس از شکستن خواب فیزیکی، به کاربرد هورمون‌هایی مانند جیبرلیک‌اسید (GA_3) نیاز داشته باشند (Baskin & Baskin, 2004; Yang *et al*., 2020). جیبرلیک‌اسید به‌دلیل تأثیر مثبت آن در رشدونمو گیاه، یک تنظیم‌کننده رشد گیاه است که در فرایندهای تکاملی متعددی از جمله جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، رشد ریشه، تعیین اندازه و شکل برگ و غیره مشارکت دارد (Vishal & Kumar, 2018). یکی از مهم‌ترین نقش‌های GA_3 در تنظیم فرایندهای مؤثر در جوانه‌زنی بذر است (Graeber *et al*., 2012). در بسیاری مطالعات، نقش مؤثر جیبرلیک‌اسید برای شکستن خواب فیزیولوژیکی بذر در گیاهان مختلف گزارش شده است (Baskin & Baskin, 2004; Nadjafi *et al*., 2006; Yang *et al*., 2020).

با این‌حال، اثرات خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید در آزمایش‌های مختلف متفاوت گزارش شده است و اثر متقابل آن با سطوح مختلف جیبرلیک‌اسید به‌خوبی موردبررسی قرار نگرفته است. به‌نظر می‌رسد واکنش متفاوتی در روند جوانه‌زنی بین بذور تیمارشده با سولفوریک‌اسید با سایر تیمارهای جیبرلیک‌اسید وجود داشته باشد؛ بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر متقابل بین تیمارهای مؤثر بر شکست خواب فیزیکی و فیزیولوژیکی انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

بررسی اثر پیش‌تیمار با تیمارهای مختلف در آزمایش‌های آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در دانشگاه شهید باهنر کرمان در طول بهار ۱۴۰۰ انجام شد. بذرهای شیرین‌بیان مورداستفاده در این آزمایش، از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. پس از جداسازی بذور از ناخالصی‌ها، جهت انجام آزمایش در دمای اتاق نگهداری شدند. به‌طور کلی بذور قبل از اعمال تیمار، با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی شده و چندین بار با آب مقطر شست‌وشو داده شده و تحت تأثیر خراش‌دهی شیمیایی با سولفوریک‌اسید و سطوح مختلف جیبرلیک‌اسید مورد ارزیابی قرار گرفتند. به این منظور، در تیمارهای خراش‌دهی، بذور ابتدا در سولفوریک‌اسید غلیظ (۹۷–۹۵ درصد، Merck) به‌مدت یک ساعت پیش‌تیمار شد. در تیمارهای عدم خراش‌دهی بذور در مدت مشابه در آب مقطر قرار گرفتند. بذرهای حاصل از تیمارهای خراش‌دهی (عدم خراش‌دهی و خراش‌دهی شیمیایی با سولفوریک‌اسید) به‌مدت ۲۴ ساعت در غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید شامل صفر (آب مقطر)، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر خیسانده شد و پس از شست‌وشو، به چهار تکرار تقسیم، در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری شده و مورد ارزیابی قرار گرفت (Amooaghaie, 2009). در این آزمایش، در هر تکرار برای هر تیمار ۲۵ بذر (تعداد ۱۰۰۰ بذر در کل آزمایش) در پتری‌دیش روی کاغذ صافی قرار گرفته و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد.

با شروع جوانه‌زنی، تعداد بذرهای جوانه زده در هر تیمار روزانه شمارش و ثبت شد. معیار بذر جوانه زده، ظهور جوانه به طول تقریبی دو میلی‌متر بود. پس از این‌که افزایش در تعداد بذور جوانه‌زده مشاهده نشد، طول گیاهچه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از هر پتری‌دیش چهار بذر جوانه زده در دو گلدان ۲۰۰ میلی لیتری (هر گلدان دو بذر) به‌منظور ارزیابی رشد اولیه در گلخانه موردبررسی قرار گرفت. ترکیب محیط کشت گلدان‌ها مخلوطی از کوکوپیت، پیت‌ماس، پرلیت و شن به نسبت مساوی بود. پس از ۳۰ روز، گیاهچه‌ها برداشت شد و ارتفاع بوته، وزن تر و وزن خشک گیاهچه و ریشه، تعداد برگ، سطح برگ و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. صفات مرتبط با جوانه‌زنی نیز از رابطه‌های (۱) تا (۴) محاسبه شد:

رابطه ۱) $$GP\ (\%) = \left(\frac{Ni}{S}\right) \times 100$$

رابطه ۲) $$GR = \sum \frac{Ni}{Di}$$

رابطه ۳) $$MGT = \frac{\sum (Ni \times Di)}{N}$$

رابطه ۴) $$VI = GP \times SL$$

GP: درصد جوانه‌زنی؛ Ni: تعداد بذر جوانه‌زده در روز i؛ S: تعداد کل بذرهای هر پتری‌دیش؛ GR: سرعت جوانه‌زنی؛ Di: تعداد روز سپری‌شده از پیش‌تیمار؛ MGT: میانگین زمان جوانه‌زنی؛ N: تعداد بذرهای جوانه‌زده در انتهای آزمایش؛ VI: بنیه گیاهچه؛ SL: طول گیاهچه (Cornea-Cipcigan *et al*., 2020).

داده‌های حاصل جهت تعیین اختلاف آماری بین سطوح عوامل موردبررسی و اثر متقابل آن‌ها از نظر آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۰) مورد تجزیه و میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P \leq ۰/۰۵$) مورد مقایسه قرار گرفتند.

۳. نتایج

۳. ۱. روند و درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر کاربرد جیبرلیک‌اسید قرار نگرفت، اما پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و اثر متقابل پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و کاربرد جیبرلیک‌اسید بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همان‌طور که شکل (۱) نشان می‌دهد بذرهای تیمارشده با سولفوریک‌اسید در روز دوم جوانه‌زنی را آغاز کرده و در تیمارهای صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید، بالای ۵۰ درصد جوانه‌زنی را نشان دادند. هم‌چنین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵۰ نیز زمان موردنیاز برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها (t_{50}) بین روز دوم و سوم مشاهده شد (شکل ۱). در مجموع، همان‌طور که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌شود، در شرایط پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید، درصد جوانه‌زنی بین تیمارهای مختلف تفاوتی نشان نداد. در شرایط عدم خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید تنها تیمار با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید، بالای ۵۰ درصد جوانه‌زنی را نشان داد که این مقدار در روز پنجم پس از پیش‌تیمار مشاهده شد (شکل ۱) که موجب بهبود درصد جوانه‌زنی در شرایط عدم خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید شد (شکل ۲). بین کاربرد غلظت ۱۰۰ با غلظت ۲۵۰ و شاهد اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد در حالی‌که کم‌ترین میزان جوانه‌زنی در این شرایط از تیمار با غلظت‌های بالای جیبرلیک‌اسید (۳۶ و ۳۷/۶ درصد) مشاهده شد (شکل ۲).

۳. ۲. سرعت جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید، غلظت‌های جیبرلیک‌اسید و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱). ضمن این‌که خراش‌دهی شیمیایی منجر به افزایش قابل توجه در سرعت جوانه‌زنی نسبت به عدم خراش‌دهی شد، بیش‌ترین مقادیر سرعت جوانه‌زنی در بذرهای خراش‌دهی‌شده از تیمارهای آب مقطر و جیبرلیک‌اسید ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. در این شرایط، افزایش غلظت جیبرلیک‌اسید منجر به افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شد. در مقابل، در شرایط عدم خراش‌دهی شیمیایی، تیمار با سطوح ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرعت جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۳).

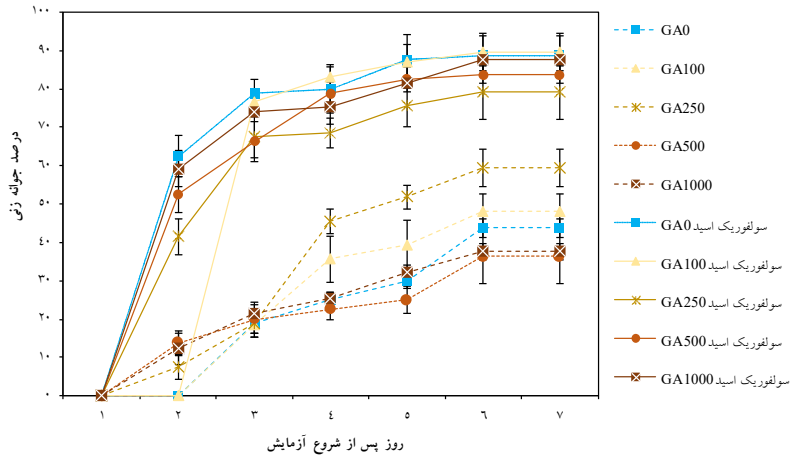
جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و تیمار با غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	شاخص بنیه گیاهچه	طول گیاهچه	ارتفاع بوته	طول ریشه
سولفوریک‌اسید	۱	۱۶۶۳۶**	۳۱۸**	۱۱/۷**	۷۶۸۰۷۹**	۲۱/۹**	۲۱/۷**	۱۹۵*
جیبرلیک‌اسید	٤	۱۲۸ ns	۱/۲۷*	۰/٤٦۱ ns	۵۸۷۷ ns	۲/٦۰**	٤٦/۲**	۱۱/۰ ns
سولفوریک‌اسید× جیبرلیک‌اسید	٤	۲۹۵**	۲/۸۱**	۰/۳۳۷ ns	۹۳٦۰*	۰/۵۵۸ ns	٤/۷۷ ns	۱۲/۲ ns
خطا	۳۰	۸٤/۹	۰/۳٦۱	۰/۲۰۱	۳۳۷۸	۰/۲۵۹	۲/٤٦	۳۲/۹
ضریب تغییرات (%)	درصد	۱٤/۱	۱۲/۸	۱۳/۵	۱۹/٦	۱۱/۸	۱۸/۲	۳۹/۹

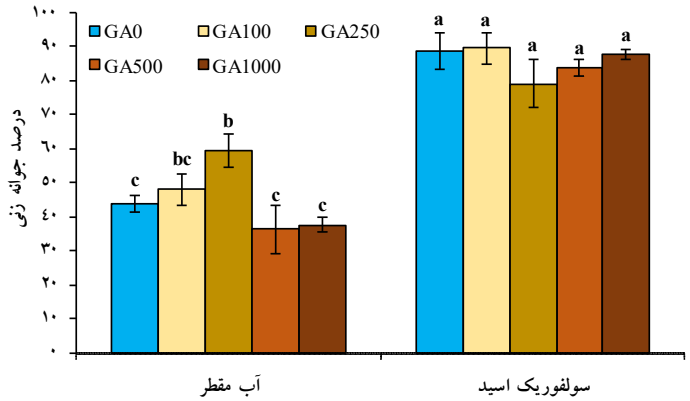
ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و تیمار با غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ	تعداد برگ مرکب	سطح برگ	شاخص کلروفیل	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
سولفوریک‌اسید	۱	۲٦۲*	۷/٦۷*	۵۳۷ ns	۲۳٤*	۳٤۸۲ ns	۵۸/۲ ns	۳۳٦٦ ns	۸/۵۹ ns
جیبرلیک‌اسید	٤	۳۹/٦ ns	۵/۵۳**	۵۷۹٦۱**	۲۰۹**	۵۵٤۸**	۱۳۱٦ *	۳۹۱۳۷*	٦٦٤*
سولفوریک‌اسید× جیبرلیک‌اسید	٤	٦۰/۸ ns	۳/٤۹*	۱۵۱۳۷ ns	۲۹/٦ ns	۲٤۷٦ ns	۲۱۰ ns	۹۳۷۹ ns	۹/٤٤ ns
خطا	۳۰	٤۱/۸	۱/۱۷	۱۱۵۲٤	۰/۴۳	۹۹۱	۱٦۰	۸۹٤٦	۲۱۲
ضریب تغییرات (%)	درصد	٤٤/۰	٤۱/۹	۲٦/۱	۱٦/۱	۲٦/٦	۲٤/۲	۳۰/۳	۲۳/۰

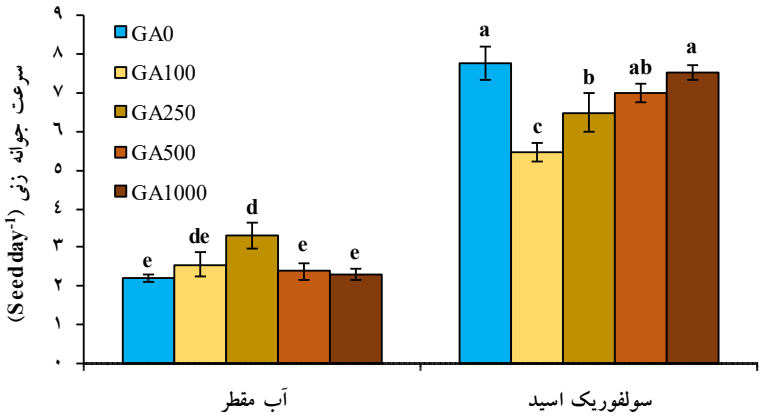
***، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار.**



شکل ۱. روند جوانه‌زنی بذرهای شیرین‌بیان در شرایط عدم خراش‌دهی و خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید و غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید



شکل ۲. درصد جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان تحت تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید در شرایط عدم خراش‌دهی و خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید



شکل ۳. سرعت جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان تحت تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید در شرایط عدم خراش‌دهی و خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید

۳. ۳. میانگین زمان جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که میانگین زمان جوانه‌زنی تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید قرار گرفت، در حالی‌که جیبرلیک‌اسید و اثر متقابل آن با سولفوریک‌اسید اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۱). نتایج خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید نیز نشان داد که تیمار با سولفوریک‌اسید ۲۸ درصد میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش داد (جدول ۲).

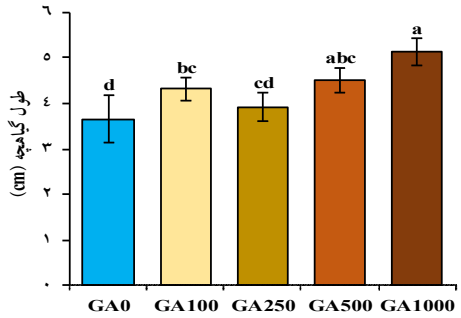
جدول ۲. مقایسه پارامترهای جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص کلروفیل شیرین‌بیان تحت تأثیر سطوح خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید در آزمایش دوم

سطوح خراش‌دهی	میانگین زمان جوانه‌زنی	طول گیاهچه (cm)	شاخص کلروفیل (SPAD)	تعداد برگ در بوته
آب مقطر	۳/۸۵ ± ۰/۱٤ a	۳/٥٦ ± ۰/۲۰ b	٤۳/۰ ± ۱/٤٦ a	۱۲/۱ ± ۱/۰۲ b
سولفوریک‌اسید	۲/۷۷ ± ۰/۰۸ b	٥/۰٤ ± ۰/۱۲ a	۳۸/۲ ± ۱/۹٤ b	۱۷/۳ ± ۱/۸۲ a

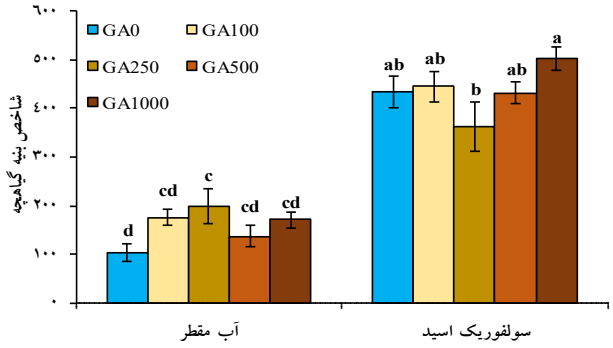
برای هر ویژگی، میانگین‌های (± خطای استاندارد) دارای حروف متفاوت، دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند (LSD test, $P < 0.05$).

۳. ۴. طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و کاربرد جیبرلیک‌اسید قرار گرفت، در حالی‌که اثر متقابل معنی‌داری از این نظر بین عوامل موردبررسی مشاهده نشد (جدول ۱). همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد، نسبت به عدم خراش‌دهی، پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید طول گیاهچه را ۴۲ درصد افزایش داد (جدول ۲). همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در حالی‌که بیش‌ترین طول گیاهچه از تیمار جیبرلیک‌اسید ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد، افزایش غلظت جیبرلیک‌اسید طول گیاهچه را بین هفت تا ۴۱ درصد نسبت به شاهد بهبود داد (شکل ۴- الف).



(الف)



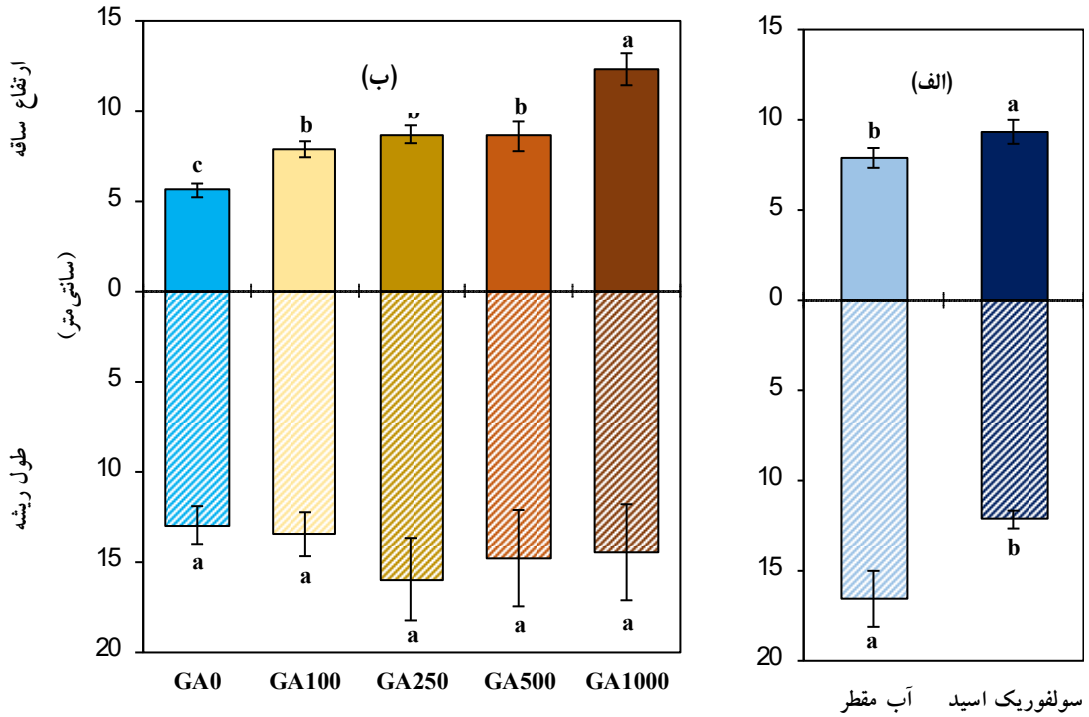
(ب)

شکل ٤. اثر غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید بر طول گیاهچه (الف) و شاخص بنیه گیاهچه و (ب) شیرین‌بیان تحت تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید و خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید.

هم‌چنین، شاخص بنیه گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و اثر متقابل خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید و غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید قرار گرفت (جدول ۱). در حالی‌که در شرایط عدم خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید بیش‌ترین شاخص بنیه گیاهچه از تیمار با غلظت ۲۵۰ جیبرلیک‌اسید حاصل شد، در شرایط خراش‌دهی، پیش‌تیمار با غلظت ۲۵۰ موجب کاهش بنیه گیاهچه شد (شکل ۴- ب). البته در این شرایط تنها اعمال غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب بهبود این شاخص شد. این در حالی است که در شرایط عدم خراش‌دهی، بین غلظت‌های مختلف جیبرلیک تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد و تنها پیش‌تیمار با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب بهبود معنی‌دار شاخص بنیه نسبت به شاهد شد (شکل ۴- ب).

۳. ۵. ارتفاع ساقه و طول ریشه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر معنی‌دار خراش‌دهی و اعمال غلظت‌های جیبرلیک‌اسید بر ارتفاع ساقه مشاهده شد. با این‌حال، اثر متقابل معنی‌داری بین عوامل مذکور از این نظر مشاهده نشد (جدول ۱). طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر خراش‌دهی قرار گرفت، اما بین سطوح تیمار با جیبرلیک‌اسید و اثر متقابل آن‌ها تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول ۱). همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد، با وجود این‌که خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید ارتفاع ساقه را ۱۹ درصد افزایش داد اما منجر به کاهش ۲۷ درصدی طول ریشه نسبت به عدم خراش‌دهی شد (شکل ۵- الف). با وجود عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار در طول ریشه بین سطوح تیمار با غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید، ارتفاع ساقه به‌طور معنی‌داری با اعمال جیبرلیک‌اسید افزایش یافت. تیمار با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش ۱۱۸ درصدی ارتفاع نسبت به شاهد و بین ۴۱ تا ۵۸ درصدی نسبت به سایر غلظت‌ها شد (شکل ۵- ب).



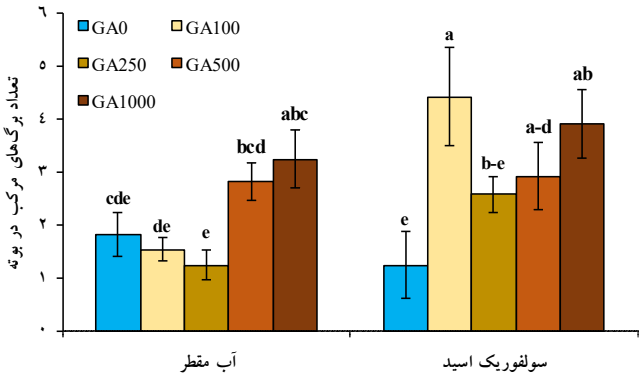
شکل ۵. ارتفاع ساقه و طول ریشه شیرین‌بیان تحت تأثیر خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید (الف) و تیمار با غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید (ب)

۳. ۶. تعداد و سطح برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس در حالی‌که تعداد برگ تنها تحت تأثیر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید قرار گرفت، تعداد برگ‌های مرکب در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید و پیش‌تیمار با جیبرلیک‌اسید و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱). پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید تعداد برگ در بوته را به‌طور معنی‌داری (۴۲ درصد) نسبت به عدم پیش‌تیمار افزایش داد (جدول ۲). تعداد برگ‌های مرکب در شیرین‌بیان در شرایط خراش‌دهی و عدم خراش‌دهی واکنش‌های متفاوتی را به سطوح تیمار با جیبرلیک‌اسید نشان داد (شکل ۶). با وجود افزایش قابل‌ملاحظه تعداد برگ‌های مرکب در غلظت‌های بالای جیبرلیک‌اسید، در شرایط عدم خراش‌دهی، پیش‌تیمار با سطوح جیبرلیک‌اسید تفاوت آماری معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد در حالی‌که در تیمار خراش‌دهی، اعمال جیبرلیک‌اسید (به‌جز غلظت ۲۵۰) منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ‌های مرکب در بوته شد (شکل ۶). با توجه به عدم تأثیر سطوح جیبرلیک‌اسید بر تعداد برگ، به‌نظر می‌رسد مشاهده تفاوت معنی‌دار در سطح برگ بین غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید نتیجه افزایش قابل‌ملاحظه در تعداد برگ‌های مرکب در بوته در هر دو شرایط خراش‌دهی بود (جدول ۳ و شکل ۶).

۳. ۷. شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از اثر معنی‌دار پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید بر شاخص کلروفیل بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید نسبت به عدم تیمار، منجر به کاهش ۱۱ درصدی میزان کلروفیل شد (جدول ۲). هم‌چنین، نسبت به شاهد، پیش‌تیمار با غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید منجر به کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل بین ۱۳ تا ۲۹ درصد شد (جدول ۳).



شکل ٦. تعداد برگ‌های مرکب شیرین‌بیان تحت تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید و خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید

جدول ۳. مقایسه پارامترهای رشد اولیه گیاه شیرین‌بیان تحت تأثیر پیش‌تیمار با سطوح جیبرلیک‌اسید

سطوح جیبرلیک‌اسید	سطح برگ (mm^2 $plant^{-1}$)	شاخص کلروفیل (SPAD)	وزن تر اندام هوایی (mg $plant^{-1}$)	وزن خشک اندام هوایی (mg $plant^{-1}$)	وزن تر ریشه (mg $plant^{-1}$)	وزن خشک ریشه (mg $plant^{-1}$)
صفر	۳٤٤ ± ۳٦/۸ b	٤۸/۲ ± ۲/۱٤ a	۹۸ ± ۳/۹۱ b	٤۲/۳ ± ۳/٤۷ b	۲۹٥ ± ۱۷/۰ b	٥٥/٦ ± ٥/۳٦ b
۱۰۰	۳۳۹ ± ۲٥/۲ b	٤۱/۹ ± ۳/۹٦ ab	۱۰٥ ± ۱۰/۲ b	٤۱/٥ ± ۳/۰٥ b	۳۰۸ ± ۲۸/۲ b	٥۷/٦ ± ۳/۸۲ b
۲٥۰	۳۹۸ ± ٤۰/۰ b	۳۷/۹ ± ۰/۹۲ bc	۱۰۳ ± ۷/۷۷ b	٤٦/۷ ± ٦/۱۳ b	۲۳٤ ± ۲٥/۷ b	٥۷/۷ ± ٥/۷۹ b
٥۰۰	٤۲۹ ± ۳۷/۱ b	٤۰/۷ ± ۱/۹۱ bc	۱۲٤ ± ۱۳/٥ b	± ٤/۰۲ a/۰٦۱	۲۹٥ ± ۲٦/٦ b	٦۸/۰ ± ۳/۸۹ ab
۱۰۰۰	٥٤۸ ± ٤۷/۹ a	۳٤/٤ ± ۲/۱۲ c	۱٦۲ ± ۲۰/۲ a	۷۰/٥ ± ٥/۱۸ a	٤۲٦ ± ٥٥/٤ a	۷۷/۰ ± ٤/۷۳ a

برای هر صفت، میانگین‌های (± خطای استاندارد) دارای حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند (LSD test, $P<0.05$)

۳. ۸. وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تأثیر تیمار با سطوح مختلف جیبرلیک‌اسید قرار گرفت، در حالی‌که اثر پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و اثر متقابل عوامل مذکور بر این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ۱). بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی از پیش‌تیمار با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی از غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. پیش‌تیمار با سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام هوایی نسبت به شاهد ایجاد نکرد (جدول ۳).

۳. ۹. وزن تر و خشک ریشه

وزن تر و وزن خشک ریشه تنها تحت تأثیر پیش‌تیمار با سطوح مختلف جیبرلیک‌اسید قرار گرفت و پیش‌تیمار با سولفوریک‌اسید و اثر متقابل آن با جیبرلیک‌اسید بر این صفات اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). مشابه با روند تغییرات در اندام هوایی، اعمال غلظت‌های بالای جیبرلیک‌اسید منجر به افزایش معنی‌دار در وزن تر و خشک ریشه شیرین‌بیان شد (جدول ۳). همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین وزن تر از پیش‌تیمار با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیش‌ترین وزن خشک از غلظت ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. تفاوت معنی‌داری بین سایر غلظت‌ها با شاهد مشاهده نشد (جدول ۳).

۴. بحث

دانش در موردنیاز جوانه‌زنی بذر برای ارزیابی پتانسیل واقعی منابع ژنتیکی وحشی که در سیستم‌های کشاورزی قابل بهره‌برداری هستند دارای اهمیت فراوانی است (Carruggio *et al*., 2020). این امر به‌ویژه برای گیاهان خانواده بقولات از اهمیت زیادی برخوردار است، چرا که علی‌رغم اهمیت اکولوژیکی قابل توجه بقولات، پوسته بذر عامل ایجاد خواب فیزیکی در گیاهان این خانواده بوده و ظهور جوانه را دشوار کرده است (Bhatt *et al*., 2016; Carruggio *et al*., 2020).

شکستن خواب فیزیکی مستلزم پاره‌شدن لایه بذر و جذب آب توسط جنین است (Baskin & Baskin, 2004). در مطالعه حاضر، خراش‌دهی شیمیایی مؤثرترین تیمار در شکستن خواب فیزیکی بذرهای شیرین‌بیان بود. حذف لایه فیزیکی با افزایش نفوذپذیری بذر به آب و اکسیژن زمینه جوانه‌زنی یکنواخت را فراهم کرده که خود می‌تواند در استقرار جمعیت گیاهی مورد توجه قرار گیرد (Abudureheman *et al*., 2014). همان‌طورکه نتایج نشان داد بذرهای شیرین‌بیان هنگامی‌که به‌صورت شیمیایی خراش‌دهی شدند، بیش از ۸۰ درصد جوانه‌زنی نشان دادند، از این‌رو، وجود مکانیسم خواب فیزیکی در *G. glabra* در این مطالعه تأیید شد. وجود خواب فیزیکی در گونه‌های مختلف شیرین‌بیان در سایر مطالعات نیز تأیید شده و خراش‌دهی فیزیکی و شیمیایی نیز به‌طور قابل‌توجهی در شکست آن و جوانه‌زنی مؤثر واقع شده است (Abudureheman *et al*., 2014; Ghadiri & Bagherani, 2000; Mao *et al*., 2008). به‌عنوان مثال، در میان تیمارهای مختلف برای شکستن خواب بذر در *G. uralensis*، خیساندن در سولفوریک‌اسید نسبت به سایر تیمارها برتر گزارش شده است. هم‌چنین، درصد سختی دانه با غوطه‌وری در اسید از ۱۵ به ۶۰ دقیقه به‌شدت کاهش و درصد گیاهچه‌های طبیعی افزایش یافت (Mao *et al*., 2008). نتایج مشابه در بذور گونه‌های مختلف بقولات که به‌مدت ۱۰ دقیقه در سولفوریک‌اسید تیمار شدند نیز گزارش شد (Bhatt *et al*., 2016). نتایج مطالعه Abudureheman *et al*. (2014) نیز نشان داد که بذور دو گونه شیرین‌بیان *G. glabra* و *G. uralensis* به‌ترتیب دارای نسبت بالای خواب فیزیکی و نسبت کم خواب فیزیولوژیکی هستند. نتایج این مطالعه نشان داد که جوانه‌زنی *G. glabra* در تیمار سولفوریک‌اسید به‌مدت ۶۰ دقیقه به ۸۵ درصد رسیده است (Abudureheman *et al*., 2014).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد مهم‌ترین مانع برای جوانه‌زنی شیرین‌بیان فیزیکی است که در صورت وجود این مانع، جیبرلیک‌اسید تأثیر بیش‌تری در تحریک جوانه‌زنی دارد، اما در صورت حذف مقاومت فیزیکی پوسته، تفاوتی بین کاربرد غلظت‌های جیبرلیک‌اسید وجود نداشت (شکل ۲). اثر متقابل خراش‌دهی در سطوح جیبرلیک نشان می‌دهد که پوشش سخت دانه در برابر نفوذ غلظت‌های مختلف جیبرلیک واکنش متفاوتی نشان می‌دهد. در حالی‌که وقتی این پوشش سخت از بین می‌رود تفاوتی در درصد جوانه‌زنی بین غلظت‌های جیبرلیک‌اسید مشاهده نشد اما سرعت جوانه‌زنی متفاوت بود (شکل ۲). تصور می‌شود که پوشش سخت دانه یک عامل اصلی است که مانع از جذب آب موجود در محلول هورمون‌ها می‌شود. اگر موانع فیزیکی مانند پوشش سخت دانه از بین نرفته باشد، بنابراین کارایی هورمون‌ها برای تحریک جوانه‌زنی متفاوت خواهد بود (Solichatun *et al*., 2016). نرم‌شدن آندوسپرم باعث رشد ریشه‌چه و نفوذ به لایه بذر می‌شود. در گیاهان بقولات که پوسته سخت عامل مهمی برای ممانعت از جوانه‌زنی محسوب می‌شود به‌نظر می‌رسد جیبرلیک‌اسید با اثرگذاری بر لایه پوشاننده بذر تا حدی بتواند به نرم‌شدن این پوسته کمک کرده و پتانسیل جوانه‌زنی و رشد جنین را افزایش دهد (Kucera *et al*., 2005; Solichatun *et al*., 2016). تفاوت معنی‌دار رشد اولیه در گیاهان حاصل از خراش‌دهی نیز می‌تواند به‌دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا و استفاده از انرژی بذر برای رشد به‌جای غلبه بر ضخامت لایه بذر باشد. در نتایج این مطالعه مشاهده شد که در شرایط عدم خراش‌دهی شیمیایی، کاربرد غلظت‌های متوسط جیبرلیک‌اسید می‌تواند منجر به بهبود جوانه‌زنی بذر شود (شکل‌های ۲ و ۳). در مقابل، طول گیاهچه با افزایش غلظت جیبرلیک‌اسید افزایش یافت (شکل ۴- الف). این مشاهدات منجر به بروز واکنش‌های متفاوت در بنیه گیاهچه نسبت به کاربرد جیبرلیک‌اسید در سطوح خراش‌دهی شد (شکل ۴- ب). غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید با وجود اثر قابل‌توجه در شرایط عدم خراش‌دهی بر جوانه‌زنی، در شرایط خراش‌دهی بنیه گیاهچه را کاهش داد که به‌دلیل کاهش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه کم‌تر بود. متأثر از این مشاهدات، ارتفاع بوته در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید افزایش معنی‌داری نسبت به سایر غلظت‌ها نشان داد که با افزایش طول و بنیه گیاهچه مرتبط بود (شکل ۵).

در بسیاری گیاهان، پاسخ به جیبرلیک‌اسید به گونه گیاهی، غلظت اعمال و مدت زمان تیمار بستگی دارد. به‌عنوان مثال، در بررسی پاسخ دو گیاهان دارویی باریجه (*Ferula gummosa*) از تیره چتریان و مریم نخودی (*Teucrium polium*) از تیره نعناع، گزارش شد که در غلظت‌های کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک‌اسید، جوانه‌زنی هر دو گونه کم‌تر بود. در باریجه، بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در محدوده غلظت ۲۵۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد، در حالی‌که برای مریم نخودی بالاترین درصد جوانه‌زنی در غلظت ۵۰۰ به‌دست آمد (Nadjafi *et al*., 2006). در مقابل، در گیاهی از خانواده بقولات، کاربرد جیبرلیک‌اسید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به هورمون‌های آبسیزیک‌اسید، بنزیل‌آمینوپورین، ایندول‌بوتیریک اسید و شاهد، جوانه‌زنی و وزن گیاهچه را بهبود داد (Solichatun *et al*., 2016). این اختلاف ممکن است به درجات مختلف خواب بذر و نوع خواب بذر نسبت داده شود.

با وجود این‌که تعداد برگ تحت تأثیر غلظت جیبرلیک‌اسید قرار نگرفت، اما سطح برگ در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد و دیگر غلظت‌ها افزایش یافت که به‌دلیل اثر جیبرلیک‌اسید در افزایش تعداد برگ‌های مرکب در بوته بود (جدول ۳، شکل ۶). به‌طور مشابه، در نتیجه مشاهده چنین اثراتی، بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از تیمار با همین غلظت حاصل شد (جدول ۳). جیبرلین‌ها از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه برای فرایندهای رشدونمو گیاهان مختلف، از جمله جوانه‌زنی بذر، افزایش طول ساقه، گسترش برگ، رسیدگی دانه گرده و القای گل‌دهی هستند (Cornea-Cipcigan *et al*., 2020). با توجه به مشاهدات این پژوهش، به‌نظر می‌رسد جیبرلیک‌اسید علاوه بر اثر بر رشد می‌تواند در فرایند نمو گیاه شیرین‌بیان نیز مؤثر باشد؛ همان‌طورکه در گونه‌های گیاه *Cyclamen* از تیره پامچال،

کاربرد غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر) نمو گیاه را به‌ویژه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بهبود داد (Cornea-Cipcigan *et al*., 2020). بنابراین اثر جیبرلیک‌اسید بر نمو شیرین‌بیان می‌تواند در مطالعات بعدی بیش‌تر موردبررسی قرار گیرد. در مقابل، افزایش سطوح جیبرلیک‌اسید منجر به کاهش شاخص کلروفیل شد (جدول ۳). با وجود این‌که جیبرلیک‌اسید با بهبود مکانیسم فتوسنتزی باعث افزایش بیوسنتز کلروفیل می‌شود (Ahmad *et al*., 2021)، به‌نظر می‌رسد نتایج حاصل با تأثیر قابل‌توجه جیبرلیک‌اسید در توسعه برگ، افزایش و توسعه برگ‌های مرکب و افزایش رشد مرتبط باشد (جدول ۳ و شکل ۶). مشاهدات پژوهش حاضر نشان داد از نظر ظاهری نیز برگ‌های حاصل از گیاهان پیش‌تیمارشده با غلظت‌های بالای جیبرلیک‌اسید رنگ روشن‌تری داشت که در همین رابطه Wheeler & Humphries (1963) گزارش کردند که جیبرلیک‌اسید سطح برگ را نسبت به مقدار کلروفیل بیش‌تر تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که کلروفیل در واحد سطح برگ و وزن خشک کاهش یافت و برگ‌های حاصل از گیاهان تیمارشده رنگ‌پریدگی بیش‌تری نسبت به برگ‌های شاهد نشان دادند.

۵. نتیجه‌گیری

از مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که با پیش‌تیمار سولفوریک‌اسید غلیظ به‌مدت یک ساعت به‌طور مؤثری می‌توان خواب فیزیکی تحمیل‌شده از پوسته بذر شیرین‌بیان را در شرایط آزمایشگاهی برطرف کرد. هم‌چنین بسته به استفاده از پیش‌تیمار خراش‌دهی، می‌توان از غلظت‌های مختلف جیبرلیک‌اسید جهت بهبود جوانه‌زنی بهره برد. بنابراین شرایط مطلوب برای جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان، خراش‌دهی با سولفوریک‌اسید و تیمار با جیبرلیک‌اسید ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود که جهت افزایش یکنواختی و بهبود جوانه‌زنی در شیرین‌بیان قابل‌توصیه است. علاوه بر این، یافته‌های رشد اولیه گیاه شیرین‌بیان نشان داد که بذور حاصل از خراش‌دهی در تیمار با جیبرلیک‌اسید ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند در بهبود عملکرد رویشی، رشد ریشه و نمو گیاه مؤثر واقع شود. با این‌حال، این یافته‌ها می‌تواند در شرایط مزرعه و در تلفیق با عوامل دیگر نظیر تنش‌های محیطی، بیش‌تر موردبررسی قرار گیرد.

۶. تشکر و قدردانی

از گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، به‌دلیل در اختیارگذاشتن قسمتی از گلخانه تحقیقاتی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع مورداستفاده

Abudureheman, B., Liu, H., Zhang, D., & Guan, K. (2014). Identification of physical dormancy and dormancy release patterns in several species (Fabaceae) of the cold desert, north-west China. *Seed Science Research*, *24*(2), 133. https://doi.org/10.1017/S0960258514000063

Ahmad, F., Kamal, A., Singh, A., Ashfaque, F., Alamri, S., Siddiqui, M. H., & Khan, M. I. R. (2021). Seed priming with gibberellic acid induces high salinity tolerance in *Pisum sativum* through antioxidants, secondary metabolites and up-regulation of antiporter genes. *Plant Biology*, *23*, 113-121. https://doi.org/10.1111/plb.13187

Amooaghaie, R. (2009). The effect mechanism of moist-chilling and GA_3 on seed germination and subsequent seedling growth of *Ferula ovina* Boiss. *The Open Plant Science Journal*, *3*(1), 22-28.

Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, *14*(1), 1-16. https://doi.org/10.1079/SSR2003150

Bhatt, A., Carón, M. M., Verheyen, K., Elsarrag, E., & Alhorr, Y. (2016). Germination and seedling performance of five native legumes of the Arabian Desert. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *220*, 125-133. https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.03.002

Carruggio, F., Onofri, A., Impelluso, C., Giusso del Galdo, G., Scopece, G., & Cristaudo, A. (2020). Seed dormancy breaking and germination in *Bituminaria basaltica* and *B. bituminosa* (Fabaceae). *Plants*, *9*(9), 1110. https://doi.org/10.3390/plants9091110

Cornea-Cipcigan, M., Pamfil, D., Sisea, C. R., & Mărgăoan, R. (2020). Gibberellic acid can improve seed germination and ornamental quality of selected cyclamen species grown under short and long days. *Agronomy*, *10*(4), 516. https://doi.org/10.3390/agronomy10040516

Ghadiri, H., & Bagherani, T. N. (2000). Effects of scarification and temperature on germination of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) seeds, *2*(4), 257-262. Retrieved from http://jast.modares.ac.ir/article-23-11099-en.html

Graeber, K. A. I., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G., & Soppe, W. J. J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, Cell & Environment*, *35*(10), 1769-1786. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02542.x

Hayashi, H., & Sudo, H. (2009). Economic importance of licorice. *Plant Biotechnology*, *26*(1), 101-104. https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.26.101

Jiang, M., Zhao, S., Yang, S., Lin, X., He, X., Wei, X., … Zhang, J. (2020). An "essential herbal medicine"-Licorice: A review of phytochemicals and its effects in combination preparations. *Journal of Ethnopharmacology*, *249*, 112439. https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112439

Jin, Q., Duan, L., Li, J., Dong, X., Tian, X., Wang, B., & Li, Z. (2006). Scarification damages by sulphuric acid and their effects on vigour, germination and emergence of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch seeds. *Seed Science and Technology*, *34*(1), 227-231. https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.1.27

Kucera, B., Cohn, M. A., & Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*, *15*(4), 281-307. https://doi.org/10.1079/SSR2005218

Mao, P.-S., Wang, Y.-H., Wang, X.-G., Lian, J.-J., & Huang, Y. (2008). Conditions and Stimulation for Germination in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch Seeds. *Agricultural Sciences in China*, *7*(12), 1438-1444. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60400-9

Nadjafi, F., Bannayan, M., Tabrizi, L., & Rastgoo, M. (2006). Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. *Journal of Arid Environments*, *64*(3), 542-547. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.009

Rafieiolhossaini, M., Tadayon, M. R., & Mazhari, M. (2014). The effect of dormancy breaking treatments on seed germination of Licorice medicinal plant (*Glycyrrhiza glabra* L.). *Journal of Crops Improvement*, *16*(4), 809-817.

Solichatun, S., Santosa, S., Dewi, K., & Pratiwi, R. (2016). The effects of physical and hormonal treatments on dormancy breaking and the changes in seed coat ultrastructure of *Delonix regia*. *Nusantara Bioscience*, *8*(1), https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080117

Verma, S., Sharma, R. K., & Shrivastava, D. K. (2000). Seed germination, viability and invigoration studies in medicinal plants of commercial value. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, *22*(4a), 426-428.

Vishal, B., & Kumar, P. P. (2018). Regulation of Seed Germination and Abiotic Stresses by Gibberellins and Abscisic Acid. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 838. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00838

Wheeler, A. W., & Humphries, E. C. (1963). Effect of gibberellic acid on growth, gibberellin content, and chlorophyll content of leaves of potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Experimental Botany*, *14*(1), 132-136. https://doi.org/10.1093/jxb/14.1.132

Yang, L.-E., Peng, D.-L., Li, Z.-M., Huang, L., Yang, J., & Sun, H. (2020). Cold stratification, temperature, light, GA3, and KNO3 effects on seed germination of *Primula beesiana* from Yunnan, China. *Plant Diversity*, *42*(3), 168-173. https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.01.003