



Assessment of Agronomic and Physiologic Responses of Safflower to Absciscic and Jasmonic Acid application

Mehdi Joudi¹ | Saeed Hakimi Khiavi²

1. Corresponding Author, Department of Plant Science and Medicinal Herbs, Meshgin-Shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: joudi@uma.ac.ir
2. Meshgin-Shahr Jihad Keshavarzi, Meshgin-Shahr, Ardabil, Iran. E-mail: hakimikhiavi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 4 February 2026
Received in revised form
21 June 2026
Accepted 12 July 2026
Published online 22 September 2026

Keywords:

Biomass
Harvest index
Hormone
Remobilization
Safflower

ABSTRACT

Objective: In safflower (*Carthamus tinctorius* L.), a considerable proportion of photosynthates remains in vegetative organs and is not efficiently translocated to developing seeds. This study aimed to evaluate the effects of abscisic acid (ABA) and jasmonic acid (JA) on the remobilization of stored photoassimilates and on seed yield of spring safflower.

Method: The experiment was conducted at the research farm of the Faculty of Agriculture, Meshgin-Shahr, during the 2024 growing season. The experimental treatments were: (1) irrigated plants without hormone application (control), (2) rainfed plants without hormone application, (3) irrigated plants sprayed with abscisic acid, and (4) irrigated plants sprayed with jasmonic acid. Both hormones were applied in three consecutive sprays following completion of pollination. Traits were measured at three developmental stages: the beginning of capitulum formation (before spraying), the onset of seed growth (one week after the final spray), and physiological maturity.

Results: At the onset of capitulum formation, plant height and biomass were greater under irrigated than under rainfed conditions. During early seed development, no significant differences were generally observed among treatments. At physiological maturity, rainfed conditions and the application of ABA and JA reduced post-anthesis dry matter accumulation, resulting in 27%, 17%, and 22% reductions in biomass, respectively, relative to the control. The highest seed yield (348 g m⁻¹) was recorded in the control plants, whereas seed yield in rainfed, ABA-treated, and JA-treated plants was 33%, 41%, and 38% lower, respectively, than that of the control. Capitulum weight, seed number, and harvest index were also lower in rainfed and hormone-treated plants than in the control. The highest remobilization value (91 g m⁻²) was observed in JA-treated plants, followed by ABA-treated, rainfed, and control plants. Correlation analysis revealed a significant positive relationship between seed yield and both seed number and total biomass; however, no clear relationship was found between seed yield and stem remobilization.

Conclusions: Under the conditions of this study, the separate application of 50 µM abscisic acid and 0.5 mM jasmonic acid during late anthesis did not improve seed yield of safflower. Nevertheless, the capacity of these hormones to enhance dry matter remobilization and assimilate partitioning from vegetative to reproductive organs indicates that further research is warranted to evaluate different hormone concentrations and application timings.

Cite this article: Joudi, M., & Hakimi Khiavi, S. (2026). Assessment of agronomic and physiologic responses of Safflower to Absciscic and Jasmonic Acid application. *Journal of Crops Improvement*, 28 (3), 375-391. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.410528.2973>





بررسی واکنش‌های زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ به کاربرد هورمون‌های آبسزیک و جاسمونیک‌اسید

مهدی جودی^۱ | سعید حکیمی خیای^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشگین‌شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: joudi@uma.ac.ir

۲. اداره جهاد کشاورزی، مشگین‌شهر، اردبیل، ایران. رایانامه: hakimikhiavi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: در گلرنگ، بخش زیادی از مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی باقی مانده و به دانه‌ها منتقل نمی‌شود. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر هورمون‌های آبسزیک و جاسمونیک‌اسید بر تسهیم و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه در گلرنگ بهاره بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵	روش پژوهش: آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳ انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- گیاهان آبی گلرنگ بدون هورمون‌پاشی (شاهد)، ۲- گیاهان دیم گلرنگ بدون هورمون‌پاشی، ۳- گیاهان آبی گلرنگ با هورمون‌پاشی آبسزیک‌اسید و ۴- گیاهان آبی گلرنگ با هورمون‌پاشی جاسمونیک‌اسید، بود. هورمون‌های آبسزیک و جاسمونیک‌اسید بعد از اتمام گرده‌افشانی بر روی گیاهان و در طی سه نوبت پاشیده شدند. صفات مختلف در سه مرحله نموی یعنی ابتدای تشکیل طبق (قبل از هورمون‌پاشی)، ابتدای رشد دانه (یک هفته بعد از اتمام هورمون‌پاشی) و رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۳۱	یافته‌ها: در ابتدای تشکیل طبق، ارتفاع گیاهان و زیست‌توده در گیاهان آبی بیش‌تر از دیم بود. در اوایل رشد دانه، تیمارهای آزمایشی (شاهد، دیم، آبسزیک و جاسمونیک‌اسید) در بیش‌تر موارد، اختلاف معنی‌داری نداشتند. ارزیابی صفات در رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد که شرایط دیم و کاربرد هورمون‌های آبسزیک و جاسمونیک‌اسید، مقدار تجمع ماده خشک در بعد از گرده‌افشانی را کاهش و به‌ترتیب منجر به افت ۲۷، ۱۷ و ۲۲ درصدی زیست‌توده در زمان رسیدگی شد. بیش‌ترین عملکرد دانه با مقدار ۳۴۶ گرم در مترمربع در گیاهان شاهد مشاهده شد. عملکرد دانه در گیاهان دیم و گیاهان تیمار شده با آبسزیک و جاسمونیک‌اسید به‌ترتیب ۳۳، ۴۱ و ۳۸ درصد پایین‌تر از گیاهان شاهد بود. وزن طبق، تعداد دانه و شاخص برداشت نیز در تیمارهای دیم و هورمون‌پاشی شده کم‌تر از گیاهان شاهد بود. بالاترین مقدار انتقال مجدد با مقدار ۹۱ گرم در مترمربع، در گیاهان تیمار شده با جاسمونیک‌اسید مشاهده شد. مقدار این صفت در تیمار آبسزیک‌اسید، گیاهان دیم و گیاهان شاهد در رتبه‌های بعدی بود. تجزیه همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد دانه و مقدار زیست‌توده وجود دارد. رابطه مشخصی بین عملکرد دانه و انتقال مجدد از ساقه مشاهده نشد.
کلیدواژه‌ها: انتقال مجدد، بیوماس، گلرنگ، شاخص برداشت، هورمون	نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر، استفاده مجزا از ۵۰ میکرومولار آبسزیک‌اسید و ۵/۰ میلی‌مولار جاسمونیک‌اسید در اواخر گرده‌افشانی گلرنگ، راه‌کار مناسبی برای افزایش عملکرد دانه نبود. با این‌حال، توانایی این هورمون‌ها در افزایش انتقال مجدد و بهبود تسهیم مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی، ضرورت بررسی غلظت‌های مختلف و زمان‌های متفاوت مصرف این هورمون‌ها را آشکار می‌سازد.

استناد: جودی، مهدی و حکیمی خیای، سعید (۱۴۰۵). بررسی واکنش‌های زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ به کاربرد هورمون‌های آبسزیک و جاسمونیک‌اسید. به‌زراعی کشاورزی، ۲۸ (۳)، ۳۷۵-۳۹۱. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2026.410528.2973>



۱. مقدمه

گلرنگ^۱ یک گیاه یک‌ساله و از خانواده کمپوزیته یا آستراسه می‌باشد. از نظر تاریخی، این گیاه به‌خاطر گل‌هایش مورد کشت قرار می‌گرفته است، اما هم‌اکنون به‌خاطر روغن با کیفیت بالایش مورد زراعت قرار می‌گیرد (کوتروباس^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، گلرنگ در تولید سوخت‌های زیستی، به‌عنوان محصول علوفه‌ای با کیفیت و رنگ‌دهنده غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد (استبرل^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

گلرنگ به‌دلیل سیستم ریشه‌ای قوی و توانایی در استفاده از آب‌های عمیق خاک، می‌تواند در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد زراعت قرار بگیرد (ویس^۴، ۲۰۰۰). این گیاه در سیستم تناوبی می‌تواند به‌عنوان محصول جینی درجه ۳ مورد استفاده قرار گرفته و پس از آن، گیاهانی مانند غلات سردسیری کشت شود. کنترل بهتر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز از مزایای قرارگیری گلرنگ در سیستم تناوبی عنوان شده است (جانسون^۵ و همکاران، ۲۰۱۲).

تولید جهانی گلرنگ در سال ۲۰۲۴ حدود ۶۹۲ هزار تن بوده است. کشورهای قزاقستان، روسیه، مکزیک و آمریکا در صدر تولیدکنندگان آن بوده‌اند. در آسیا، کشور هندوستان هم از نظر سطح زیر کشت و هم از نظر مقدار تولید، رتبه نخست را دارا می‌باشد (فائو، ۲۰۲۴). طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت گلرنگ در کشور ایران در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ حدود ۱۱۸۳۸ هکتار بوده که ۳۵ درصد اراضی به‌صورت آبی و ۶۵ درصد به‌صورت دیم می‌باشد. بیش‌ترین سطح زیر کشت مربوط به استان‌های زنجان و فارس به‌ترتیب با ۲۶۱۷ و ۲۴۶۷ هکتار بوده است. میزان تولید دانه آن در کل کشور حدود ۱۱۱۸۵ تن دانه (حدود ۶۸۳۷ تن دانه در اراضی آبی و حدود ۴۳۳۹ تن دانه در اراضی دیم) عنوان شده است. هم‌چنین میانگین عملکرد این گیاه در کشور در اراضی آبی، ۱۶۶۷ کیلوگرم و در اراضی دیم، ۵۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. در استان اردبیل، سطح زیر کشت گلرنگ حدود ۱۰۵ هکتار (دیم و نیمه‌دیم) بیان شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۴).

۲. پیشینه پژوهش

گیاه گلرنگ هم به‌صورت پاییزه و هم به‌صورت بهاره می‌تواند مورد کاشت قرار بگیرد. در نواحی با زمستان سرد (همانند شهرستان مشگین‌شهر) به‌دلیل یخبندان زمستانه و خطر سرمازدگی گیاهان، گلرنگ در اواخر زمستان یا اوایل بهار کاشته می‌شود. تحت این شرایط، گیاهان در اواخر بهار، وارد گل‌دهی شده و گرده‌افشانی آن‌ها با دماهای بالای اواخر خردادماه و اوایل تیرماه مصادف می‌شود. دمای بالا در مرحله گل‌دهی، از رشد مناسب گل‌ها جلوگیری کرده و منجر به سقط زیگوت و عدم لقاح می‌شود (جی‌ها^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). وقوع تنش در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، عملکرد گیاه را بیش از سایر مراحل نمو کاهش می‌دهد. یکی از دلایل اصلی این موضوع، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به گل‌آذین عنوان شده است (اسکاسلر^۷ و وست‌گیت^۸، ۱۹۹۱). ارتباط بسیار نزدیکی بین سقط دانه، کاهش عملکرد و عدم تأمین کربوهیدرات در طول گل‌دهی گزارش شده است (مک لاگلین^۹ و بویر^{۱۰}، ۲۰۰۴).

1. *Carthamus tinctorius* L.

2. Koutroubas

3. Steberl

4. Weiss

5. Johnson

6. Jha

7. Schussler

8. Westgate

9. McLaughlin

10. Boyer

کاهش تعداد دانه‌های ناشی از دمای بالا، حتی می‌تواند در زمانی که مقدار دانه‌های گرده زنده، فراوان باشد نیز اتفاق بیفتد (جی‌ها و همکاران، ۲۰۲۲).

قندهای تولیدشده در طی فتوسنتز، باید از مناطق سنترشده (منابع) یا ذخیره‌شده (قسمت‌های رویشی) به تمام اندام‌هایی که به آن‌ها نیاز دارند (مخزن‌ها)، فرستاده شوند تا نیازهای متابولیسم و رشد را برآورده کنند. انتقال از منابع به مخازن شامل بارگیری مواد فتوسنتزی، انتقال در طول آوندهای آبکشی و تخلیه در مخزن‌ها می‌باشد. عوامل درونی و بیرونی گیاه هر سه فرایند بارگیری، انتقال و تخلیه مواد فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (تراواگلیا^۱ و همکاران، ۲۰۱۰).

تولد و ظهور استراتژی‌های جایگزین برای بهبود بهره‌وری و عملکرد محصولات کشاورزی مانند گلرنگ یک زمینه پژوهشی مهم برای عرضه فن‌آوری‌های مختلف به بخش کشاورزی می‌باشد. در این راستا، استفاده از هورمون‌ها یا تنظیم‌کننده‌های گیاهی می‌تواند به‌منظور افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها و بهبود رشد و بهره‌وری آن‌ها از منابع، مورد استفاده قرار گیرد. آبسیزیک‌اسید^۲ یک هورمون سس‌کوئی‌ترین بوده که در همه اندام‌های گیاه یافت می‌شود. این هورمون، بسیاری از فرایندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تنظیم می‌کند. آبسیزیک‌اسید در باز و بسته‌شدن روزنه‌های هوایی، تجمع مواد ذخیره‌ای در داخل بذر و نمو آن، ورود بذر به دوره خواب و جوانه‌زنی آن، محافظت گیاهان از تنش خشکی (همانند تولید واکس برگ، تنظیم اسمزی)، زوال برگ و کنترل انرژی از این برگ‌ها به دانه‌ها دخیل می‌شود (چن^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). آن هم‌چنین در تعدیل بیوماس، تعداد انشعابات و سطح برگ گیاهان اقتصادی مهم از جمله گیاهان روغنی هم نقش مهمی بازی می‌کند (حسین‌شاه^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). اشاره شده است که غلظت داخلی آبسیزیک‌اسید (غلظت هورمون در داخل سلول‌ها) با توجه به تغییرات محیطی همانند قرارگرفتن گیاه در معرض تنش‌های زنده یا غیرزنده تغییر می‌یابد تا تغییرات مورد نیاز برای سلول‌ها و بافت‌های گیاهی فراهم شود (برای^۵، ۱۹۹۱). آبراهام^۶ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند تحت شرایط آبی، کاربرد هورمون آبسیزیک‌اسید با غلظت ۱۰ میکرومولار بر روی گیاهان یک ماهه کنگد، عمق ریشه را تا ۱۳۹ درصد، تعداد برگ را تا ۵۸ درصد و تعداد انشعابات گیاه را تا ۷۴ درصد افزایش داد. حسین^۷ و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند کاربرد برگ مصرف آبسیزیک‌اسید با غلظت ۱۰ میکرومولار بر روی گیاهچه‌های آبی آفتابگردان، باعث افزایش محتوای پروتئین دانه تا ۱۹ درصد شد. هم‌چنین هی^۸ و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که کاربرد خارجی آبسیزیک‌اسید بر روی گیاهان ۴۵ روزه سویا تحت شرایط آبی، باعث جلوگیری از سقط گل‌ها و افزایش تعداد گل‌ها در گیاه شد. وانگ^۹ و همکاران (۱۹۹۸) معتقد هستند که هورمون آبسیزیک‌اسید با تجمع ماده خشک در اندام‌های ذخیره‌ای مرتبط است. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد هورمون آبسیزیک‌اسید، مقدار عملکرد دانه گندم را در شرایط تنش متوسط افزایش داد. تیمار گیاه با این هورمون باعث افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها و ساقه به دانه‌های در حال پرشدن گردید (تراواگلیا و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج مشابهی نیز در گیاه برنج گزارش شده است (یانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳).

1. Travaglia
2. Absciscic Acid
3. Chen
4. Hussain Shah
5. Bray
6. Abraham
7. Hussain
8. He
9. Wang
10. Yang

جاسمونیک‌اسید^۱ یک هورمون مشتق‌یافته از آلفا-لینولئیک‌اسید بوده و در نقش‌های مختلفی مانند ممانعت از جوانه‌زنی بذر (با همراهی آبسیزیک‌اسید)، ممانعت از رشد ریشه‌ها، ریشه‌های فرعی و نابه‌جا، پاسخ گیاه به علف‌خواران و زخم‌های فیزیکی، تشکیل تریکوم‌های ترشحی حاوی ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها و پروتئین‌های دفاعی جهت مقابله با حمله آفات و حشرات، حرکات برگ‌های گونه‌ها، تجزیه کلروفیل و زوال برگ‌ها، زمین‌گرایی برخی گونه‌ها، نمو پرچم و گرده‌ها، نمو گل و گلبرگ‌های آن، تعیین جنسیت اندام‌های جنسی در گیاهانی مانند ذرت و برنج و پیام‌رسانی وابسته به نور مشارکت می‌کند (واسترناک^۲ و هاوس^۳، ۲۰۱۳). انجوم^۴ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند کاربرد برگ مصرف جاسمونیک‌اسید بر روی گیاهان سویا (تحت شرایط آبی) در مرحله گلدهی باعث افزایش تعداد غلاف (۱۱ درصد)، تعداد دانه در گیاه (۸ درصد)، وزن صدانه (۸ درصد) و عملکرد دانه در گیاه (۱۱ درصد) شد. قاسمی‌گلذانی^۵ و حسین‌زاده ماهوتچی^۶ (۲۰۱۵) در آزمایشی که بر روی گیاه گلرنگ و تحت شرایط آبی انجام دادند، گزارش کردند که محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید ۰/۵ میلی‌مولار در مرحله رشد رویشی و گلدهی باعث بهبود عملکرد گیاه گردید. هم‌چنین سکین‌دینلر^۷ و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند چهار بار محلول‌پاشی جاسمونیک‌اسید بر گیاهچه‌های سه هفته‌ای سویا باعث افزایش طول اندام هوایی و ریشه، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل و سالیسیلیک‌اسید برگ و کاهش نشت الکترولیت‌ها، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و مقدار پراکسید هیدروژن شده و در نهایت مقاومت گیاهچه‌ها به شوری را افزایش داد.

اطلاعات در خصوص پاسخ گلرنگ به تیمارهای مختلف اندک می‌باشد. هدف پژوهش حاضر، بررسی کاربرد هورمون‌های آبسیزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بر انتقال دوباره و تسهیم مواد فتوسنتزی، عملکرد و اجزای آن در گلرنگ بهاره بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

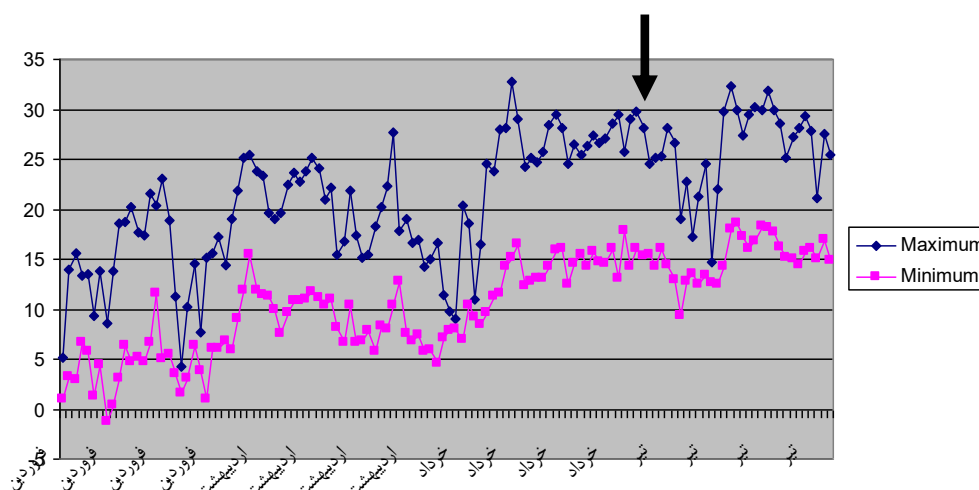
این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی مشگین‌شهر واقع در شهرستان مشگین‌شهر استان اردبیل و تحت شرایط آبی انجام شد. شهرستان مشگین‌شهر در مرکز استان اردبیل واقع بوده، منطقه‌ای مدیترانه‌ای محسوب شده و دارای آب‌وهوای معتدل با زمستان‌های سرد می‌باشد.

مشخصات آب‌وهوای منطقه در طول آزمایش به‌صورت ماهیانه در جدول (۱) ارائه می‌گردد. اطلاعات مربوط به دمای حداکثر و حداقل روزانه نیز در قالب شکل (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱. مشخصات آب‌وهوای شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	باران (میلی‌متر)	تبخیر (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)
۱۴/۲	۲۶/۱	۲۰/۷	۶۵	۱۹۲	۵۷
۱۳/۱	۲۴/۷	۱۸/۹	۱۱۵/۵	۱۶۲	۵۸
۸/۹	۱۹/۶	۱۴/۳	۹۱/۳	۱۳۱	۵۷
۵/۱	۱۵/۷	۱۰/۴	۵۹/۲	۳۶/۲	۵۶
-۱/۶	۸/۱	۳/۲	۲۱/۸	-	۶۰

1. Jasmonic Acid
2. Wasternack
3. Hause
4. Anjum
5. Ghassemi-Golezani
6. Hosseinzadeh-Mahootchi
7. Seckin-Dinler



شکل ۱. حداکثر و حداقل دمای روزانه در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳.

فلش، نشان‌دهنده پایان گرده‌افشانی (آغاز رشد دانه) گل‌رنگ و زمان کاربرد هورمون‌های آبسیزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید می‌باشد.

پژوهش در شرایط آبی و دیم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. زمین آزمایش، آیش بوده و در سال قبل هیچ نوع زراعتی در آن انجام نشده بود. این زمین در اواسط مهرماه سال ۱۴۰۲ توسط گاواهن برگردان‌دار شخم زده شد و در طول پاییز و زمستان به حال خود رها شد. در اواخر اسفندماه، دیسک زده شده و بعد از تسطیح توسط ماله، مزرعه کرت‌بندی شد. هیچ نوع کود دامی یا شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت. تیمارها شامل ۱- گیاهان آبی گل‌رنگ بدون هورمون‌پاشی (شاهد)، ۲- گیاهان دیم بدون هورمون‌پاشی، ۳- گیاهان آبی با هورمون‌پاشی آبسیزیک‌اسید و ۴- گیاهان آبی با هورمون‌پاشی جاسمونیک‌اسید بود.

بذور گل‌رنگ (رقم گلدشت) از اداره جهاد کشاورزی شهرستان تهیه و در اواخر اسفندماه (۲۸ اسفند) سال ۱۴۰۲ به صورت دستی کاشته شدند. رقم گلدشت که در سال ۱۳۸۷ معرفی شده است، حاصل انتخاب تک‌بوته از توده محلی گل‌رنگ آذربایجان شرقی با استفاده از روش سلکسیون لاین‌های خالص بوده است. این رقم دارای سازگاری وسیع بوده و مناسب برای کشت در اقلیم‌های گرم و معتدل سرد کشور می‌باشد. تیپ رشد آن بهاره، رنگ گل قرمز، بدون خار و مقاوم به ریزش می‌باشد (مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ۱۳۹۴). کشت به صورت مسطح بوده، فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر حدود ۴۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی هر ردیف حدود ۵ سانتی‌متر بود. تعداد ردیف‌های کاشت در هر کرت، چهار عدد و طول ردیف‌ها بیش از ۲ متر بود. آبیاری گیاهان آبی به صورت یکسان و بر اساس نیاز آبی گیاهان انجام شد. در صورتی که گیاهان در تیمار دیم، آبیاری نشده و فقط نزولات آسمانی را دریافت کردند. علف‌های هرز به صورت دستی کنترل شدند.

هورمون‌های آبسیزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در انتهای مرحله گرده‌افشانی (ابتدای رشد دانه) مورد استفاده قرار گرفتند. غلظت آبسیزیک‌اسید ۵۰ میکرومولار و غلظت جاسمونیک‌اسید ۰/۵ میلی‌مولار بود. با توجه به این که نور شدید خورشید باعث تجزیه هورمون‌های استفاده‌شده می‌شود، لذا هورمون‌پاشی در انتهای روز انجام شد. هورمون‌پاشی سه بار و با فاصله هر دو روز یک‌بار انجام شد. در هر بار از هورمون‌پاشی، گیاهان به صورت کامل با هورمون‌های مذکور خیس شدند. گیاهان آبی شاهد و نیز گیاهان دیم، فقط توسط آب مقطر محلول‌پاشی شدند.

قبل از شروع نمونه‌برداری، تعداد ۲۰ گیاه کاملاً مشابه در هر کرت آزمایشی انتخاب و توسط برچسب‌های کاغذی، نشاندار شدند. گیاهان نشاندار برای نمونه‌برداری در طول فصل رشد و نیز در زمان رسیدگی فیزیولوژیک مورد استفاده قرار گرفتند. اولین

نمونه‌برداری از گیاهان آبی (شاهد) و دیم در اوایل تشکیل طبق (گل‌آذین) انجام گردید. نمونه‌برداری دوم در یک هفته بعد از آخرین هورمون‌پاشی و از کلیه تیمارها انجام گردید. همچنین نمونه‌برداری سوم در زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گردید. در هر مرحله از نمونه‌برداری، تعداد پنج گیاه برچسب‌دار در هر کرت، کف‌بر شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا به‌صورت کامل خشک شدند. وزن گیاهان خشک‌شده توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شده و به‌عنوان زیست‌توده کل (عملکرد بیولوژیک) در نظر گرفته شد. سپس گیاهان به قسمت‌های مختلف شامل ساقه، برگ، طبق و دانه (برای گیاهانی که در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری شدند) تفکیک شده و وزن هر کدام از آن‌ها اندازه‌گیری شد. انتقال دوباره و صفات مرتبط با آن از طریق روابط زیر محاسبه شدند.

رابطه ۱) وزن ساقه و انشعابات در رسیدگی - وزن ساقه و انشعابات در انتهای گرده‌افشانی = انتقال مجدد از ساقه و انشعابات

رابطه ۲) $100 \times (\text{وزن ساقه و انشعابات در انتهای گرده‌افشانی} / \text{مقدار انتقال مجدد}) = \text{کارایی انتقال مجدد}$

رابطه ۳) $100 \times (\text{مقدار عملکرد دانه} / \text{مقدار انتقال مجدد}) = \text{درصد مشارکت انتقال مجدد در عملکرد دانه}$

با عنایت به یکسان‌بودن مقدار بذر کاشته‌شده در هر کرت و مشخص بودن فاصله ردیف و فاصله بوته بر روی ردیف، صفات اندازه‌گیری‌شده در واحد سطح (گرم در مترمربع) ارائه شدند. داده‌ها با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. از نرم‌افزارهای SPSS، MSTATC، Word و Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودارها و جدول‌ها استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. صفات اندازه‌گیری‌شده در ابتدای تشکیل طبق

گیاهان آبی (شاهد) و دیم در ابتدای تشکیل طبق، مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند. در این زمان تعداد پنج گیاه از هر دو شرایط آبی و دیم کف‌بر شده و صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). گیاهان کشت‌شده در شرایط آبی، از نظر ارتفاع، اختلاف معنی‌داری با گیاهان رشد یافته در شرایط دیم داشتند. میانگین ارتفاع گیاهان در شرایط آبی، ۶۱ و در شرایط دیم، ۵۸ سانتی‌متر بود. باوجود این که تعداد طبق در گیاهان آبی بیش‌تر از گیاهان دیم بود (تعداد ۲۲۸ طبق در مترمربع گیاهان آبی و ۱۸۸ طبق در مترمربع در گیاهان دیم)، ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۲). زمانی که زیست‌توده گیاه مورد توجه قرار گرفت، مشخص شد که گیاهان در شرایط آبی، مقدار زیست‌توده بیش‌تری را تا ابتدای تشکیل طبق در قیاس با گیاهان دیم تولید کرده بودند. میانگین این صفت در گیاهان آبی ۵۶۶ و در گیاهان دیم ۴۸۴ گرم در مترمربع بود (جدول ۲).

در ابتدای تشکیل طبق، وزن این اندام‌ها پایین بود (وزن طبق در شرایط آبی و تنش به‌ترتیب ۱۰۳ و ۱۰۰ گرم در مترمربع بود) و اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبی و دیم دیده نشد (جدول ۲). همچنین، علیرغم این که وزن ساقه (ساقه اصلی و انشعابات آن) در شرایط آبی ۱۳ درصد بیش‌تر از شرایط دیم بود، ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس (تی‌تست) صفات زراعی و فیزیولوژیک در ابتدای تشکیل طبق در گیاه گلرنگ کاشته شده در شهرستان مشگین‌شهر در سال

زراعی ۱۴۰۳

ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد طبق (مترمربع)	زیست‌توده (گرم در مترمربع)	وزن طبق (گرم در مترمربع)	وزن ساقه (گرم در مترمربع)
آبی	۲۲۸	۵۶۶	۱۰۳	۲۶۶
دیم	۱۸۸	۴۸۴	۱۰۰	۲۳۱
معنی‌داری	ns	*	ns	ns

ns و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

۲.۴. صفات اندازه‌گیری‌شده در ابتدای رشد دانه

یک هفته بعد از آخرین هورمون‌پاشی (که در انتهای مرحله گرده‌افشانی یا ابتدای رشد دانه انجام گرفت)، کلیه کرت‌های آزمایشی شامل گیاهان آبی بدون هورمون (شاهد)، گیاهان آبی هورمون‌پاشی شده و گیاهان دیم بدون هورمون، نمونه‌برداری‌شده و صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند (جدول‌های ۳ و ۴).

بیش‌ترین ارتفاع، مربوط به گیاهان آبی (بدون هورمون و با هورمون) بود. در مقابل گیاهان رشدیافته در شرایط دیم، ارتفاع پایین‌تری داشتند که همانند مرحله اول ارزیابی بود. ارتفاع گیاه در فاصله ارزیابی اول تا دوم (یعنی ابتدای تشکیل طبق تا ابتدای رشد دانه)، تغییر معنی‌داری نداشت (جدول‌های ۲ و ۴).

تعداد طبق از ۲۰۶ عدد در مترمربع در تیمار آبسیزیک‌اسید تا ۲۶۷ عدد در مترمربع در تیمار جاسمونیک‌اسید متغیر بود، هرچند که تفاوت معنی‌داری بین گیاهان آبی و دیم بدون هورمون با تیمار جاسمونیک‌اسید دیده نشد (جدول ۳). دلیل بالا بودن تعداد طبق در تیمار جاسمونیک‌اسید نامشخص بود.

در آغاز رشد دانه، مقدار زیست‌توده در گیاهان آبی شاهد (بدون هورمون‌پاشی)، ۹۲۱ گرم در مترمربع بود. این امر نشان می‌دهد که در فاصله بین نمونه‌گیری اول و دوم (ابتدای تشکیل طبق تا ابتدای رشد دانه) حدود ۶۳ درصد به زیست‌توده این گیاهان اضافه شده است. همچنین زیست‌توده گیاهان دیم در شروع رشد دانه، ۷۷۳ گرم در مترمربع بود که در قیاس با مرحله اول نمونه‌گیری، افزایش ۶۰ درصدی را نشان می‌دهد (جدول‌های ۲ و ۴). وزن طبق از ابتدای تشکیل آن تا ابتدای رشد دانه، افزایش قابل‌توجهی پیدا کرد (جدول‌های ۲ و ۴). در این زمان هیچ تفاوتی بین تیمارهای آزمایش از نظر وزن طبق وجود نداشت و همه آن‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین کاربرد هورمون‌های آبسیزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در انتهای گرده‌افشانی، تأثیر معنی‌داری بر روی وزن ساقه تا یک هفته بعد از کاربرد آن‌ها نداشتند و همه گیاهان آبی (بدون هورمون و دارای هورمون) در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات زراعی و فیزیولوژیک در ابتدای رشد دانه در گیاه گلرنگ کاشته‌شده در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد طبق	زیست‌توده	وزن طبق	وزن ساقه
تکرار	۲	۵ns	۲۰۹ns	۶۷۸ns	۴۰۶ns	۵۸ns
تیمار	۳	۲۹*	۲۳۰۵ns	۲۰۳۳۱ns	۱۸۷۳ns	۴۹۸۷ns
اشتباه	۶	۶	۸۳۴	۶۱۷۷	۹۴۲	۱۸۵۱
ضریب تغییرات (درصد)		۴	۱۳	۹	۹	۱۲

ns و #: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات زراعی و فیزیولوژیک در ابتدای رشد دانه در گیاه گلرنگ کاشته‌شده در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

تیمارها	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد طبق (مترمربع)	زیست‌توده (گرم در مترمربع)	وزن طبق (گرم در مترمربع)	وزن ساقه (گرم در مترمربع)
آبی	۶۳a	۲۳۳ab	۹۲۱ab	۳۲۹a	۳۷۹ab
دیم	۵۷b	۲۱۱ab	۷۷۳b	۳۰۰a	۳۰۷b
آبسیزیک‌اسید	۶۴a	۲۰۶b	۹۰۱ab	۳۱۰a	۳۸۰ab
جاسمونیک‌اسید	۶۴a	۲۶۷a	۹۶۵a	۳۵۷a	۳۹۹a

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۳.۴. صفات اندازه‌گیری‌شده در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک

بیش‌ترین ارتفاع در گیاهان آبی بدون هورمون (شاهد) با مقدار ۶۴ سانتی‌متر و کم‌ترین ارتفاع در گیاهان دیم بدون

هورمون با ۵۹ سانتی‌متر دیده شد. همچنین ارتفاع گیاهان در گیاهان آبی که هورمون‌های آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید را دریافت کرده بودند به ترتیب ۶۲ و ۶۳ سانتی‌متر بود که تفاوت معنی‌داری با گیاهان آبی بدون هورمون نداشتند (جدول‌های ۵ و ۶).

گیاهان آبی بدون هورمون، بیش‌ترین تعداد طبق را نشان دادند. میانگین تعداد طبق در این گیاهان ۲۸۸ عدد طبق در مترمربع بود. گیاهان دیم بدون هورمون و گیاهان آبی هورمون‌پاشی‌شده تعداد طبق کم‌تری داشته و با یکدیگر در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول‌های ۵ و ۶).

زیست‌توده در کلیه تیمارهای آزمایشی از ابتدای رشد دانه تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک افزایش یافت. بیش‌ترین افزایش مربوط به گیاهان آبی بدون هورمون بود. زیست‌توده این گیاهان از ۹۲۱ گرم در مترمربع در ابتدای رشد دانه به ۱۲۳۷ گرم در مترمربع در رسیدگی فیزیولوژیک رسید. همچنین کم‌ترین افزایش، مربوط به هورمون جاسمونیک‌اسید بود. مقدار زیست‌توده در این تیمار از ۹۶۵ گرم در مترمربع در ابتدای رشد دانه به ۹۶۹ گرم در مترمربع در رسیدگی فیزیولوژیک رسید (جدول‌های ۴ و ۶). روند افزایش ماده خشک در طول پرشدن دانه موجب شد که بیش‌ترین زیست‌توده در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، مربوط به گیاهان آبی بدون هورمون باشد. گیاهان دیم و گیاهان هورمون‌پاشی‌شده نیز کم‌ترین وزن بیولوژیک را نشان دادند (جدول ۶).

کاربرد هورمون‌ها در انتهای گرده‌افشانی و نیز اعمال شرایط دیم، باعث کاهش معنی‌داری در وزن طبق گردید. وزن طبق در گیاهان آبی ۷۰۳ گرم در مترمربع بود که به‌طور متوسط ۳۴ درصد بیش‌تر از گیاهان دیم و هورمون‌پاشی‌شده بود (جدول‌های ۵ و ۶).

میانگین وزن ساقه کلیه تیمارها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۳۰۵ گرم در مترمربع بود که نسبت به میانگین وزن ساقه در ابتدای رشد دانه (۳۶۶ گرم در مترمربع)، حدود ۱۷ درصد پایین‌تر بود. زمانی که تیمارهای مختلف در زمان رسیدگی فیزیولوژیک از نظر وزن ساقه مقایسه شدند، مشخص شد که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد (جدول‌های ۵ و ۶).

بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته، مربوط به تیمار آبیاری بدون هورمون‌پاشی (شاهد) بود. مقدار عملکرد دانه در این گیاهان ۳۴۶ گرم در مترمربع بود که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود. شرایط دیم و استعمال خارجی هورمون‌های آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید، مقدار عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری در قیاس با گیاهان شاهد کاهش داد. میانگین مقدار کاهش در این گیاهان حدود ۳۷ درصد بود (جدول ۶). تعداد دانه در گیاه از ۸۰۸۳ عدد در مترمربع در گیاهان شاهد تا ۵۰۸۳ عدد در مترمربع در گیاهان تیمار شده با آبسزیک‌اسید متغیر بود (جدول ۶). شرایط دیم و کاربرد هورمون‌های آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید، مقدار این صفت را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول‌های ۵ و ۶).

بالا بودن عملکرد دانه در گیاهان شاهد (آبیاری بدون هورمون) باعث گردید شاخص برداشت نیز در این گیاهان بالا باشد (جدول ۶). مقدار شاخص برداشت در گیاهان شاهد، ۲۸ درصد بود که نسبت به گیاهان تیمار شده با هورمون آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید تفاوت معنی‌داری داشت. مقدار شاخص برداشت باوجود این که در گیاهان دیم ۲۶ درصد بود، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود.

مقدار انتقال دوباره مواد فتوسنتزی ساقه از تفاوت وزن ساقه و انشعابات آن در پایان گرده‌افشانی (ابتدای پرشدن دانه) و رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست آمد. بالاترین مقدار انتقال مجدد در گیاهان تیمار شده با هورمون جاسمونیک‌اسید مشاهده شد. مقدار انتقال مجدد در این گیاهان ۹۱ گرم در مترمربع بود که به‌طور معنی‌داری با سایر تیمارها تفاوت داشت. گیاهان تیمار شده با هورمون آبسزیک‌اسید از نظر مقدار انتقال مجدد در رتبه دوم قرار داشتند، هرچند اختلاف معنی‌داری با گیاهان دیم و آبی بدون هورمون نداشتند (جدول ۶).

بیش‌ترین کارایی انتقال مجدد با مقدار ۲۳ درصد در گیاهان تیمار شده با جاسمونیک‌اسید مشاهده شد. شرایط دیم و کاربرد آبسیزیک‌اسید نیز کارایی انتقال مجدد را افزایش دادند، هرچند که از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۶). مقدار مشارکت ذخایر ساقه و انشعابات آن در پرکردن دانه از ۴۳ درصد در تیمار جاسمونیک‌اسید تا ۱۲ درصد در تیمار شاهد متغیر بود که هماهنگ با مقدار انتقال مجدد در این تیمارها بود (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات زراعی و فیزیولوژیک در زمان رسیدگی فیزیولوژیک در گیاه گلرنگ کاشته‌شده در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد طبق	زیست‌توده	وزن طبق	وزن ساقه	عملکرد دانه	تعداد دانه	شاخص برداشت	انتقال مجدد	کارایی انتقال مجدد	مقدار مشارکت
تکرار	۲	۰/۲۵ ^{ns}	۱۱۵ ^{ns}	۵۴۹۰ ^{ns}	۴۰۴۶ ^{ns}	۱۸ ^{ns}	۳۱۵ ^{ns}	۶۰۰۲۰۸ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱۶/۷ ^{ns}	۴/۷ ^{ns}	۱/۸ ^{ns}
تیمار	۳	۱۴*	۲۸۰۸*	۶۳۸۳۶**	۴۰۳۷۱*	۳۳۹۸ ^{ns}	۱۲۸۷۸**	۵۸۳۵۰۰**	۳۹*	۱۲۴۴*	۴۵۳**	۶۲ ^{ns}
اشتباه	۶	۱/۵۸	۷۴۰	۵۳۹۴	۴۲۸۹	۱۹۲۶	۴۹۹	۳۰۰۲۰۸	۴/۹	۱۱۹	۲۰/۵	۱۶/۷
ضریب تغییرات (درصد)	۱۲	۲	۷	۱۲	۱۲	۱۴	۹	۹	۹	۲۲	۱۷	۲۴

^{ns}، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات زراعی و فیزیولوژیک در زمان رسیدگی فیزیولوژیک در گیاه گلرنگ کاشته‌شده در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

تیمارها	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد طبق (متر مربع)	زیست‌توده (گرم در متر مربع)	وزن طبق (گرم در متر مربع)	وزن ساقه (گرم در متر مربع)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	تعداد دانه (متر مربع)	شاخص برداشت (درصد)	انتقال مجدد (گرم در متر مربع)	کارایی انتقال مجدد (درصد)	مقدار مشارکت (درصد)
آبی	۶۴ ^a	۲۸۸ ^a	۱۲۳۷ ^a	۷۰۳ ^a	۳۳۲ ^a	۳۴۶ ^a	۸۰۸۳ ^a	۲۸ ^a	۴۷ ^b	۱۲ ^b	۱۴ ^c
دیم	۵۹ ^b	۲۰۹ ^b	۸۹۸ ^b	۴۸۰ ^b	۲۵۷ ^a	۲۳۲ ^b	۵۷۲۳ ^b	۲۶ ^{ab}	۴۹ ^b	۱۶ ^{ab}	۲۱ ^{bc}
آبسیزیک‌اسید	۶۲ ^a	۲۱۷ ^b	۱۰۲۷ ^b	۴۵۶ ^b	۳۳۳ ^a	۲۰۴ ^b	۵۰۸۳ ^b	۲۰ ^c	۵۶ ^b	۱۵ ^{ab}	۲۸ ^b
جاسمونیک‌اسید	۶۳ ^a	۲۳۰ ^b	۹۶۹ ^b	۴۸۱ ^b	۳۰۸ ^a	۲۱۵ ^b	۵۲۳۳ ^b	۲۲ ^{bc}	۹۱ ^a	۲۳ ^a	۴۳ ^a

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴.۴. همبستگی بین صفات

گلرنگ گونه‌ای است که پاسخ آن به تیمارهای مختلف، به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار نگرفته و مشخص نیست که چگونه صفات مختلف آن با سایر گونه‌ها مقایسه شود و یا این که چه ارتباطی بین این صفات وجود دارد (دورداس^۱ و سیولاس^۲، ۲۰۰۹). نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که ارتفاع نهایی گیاه، ارتباط مشخص و معنی‌داری با عملکرد دانه، شاخص برداشت و انتقال مجدد نداشت. عملکرد بیولوژیک در زمان رسیدگی، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در گیاه نشان داد. رابطه بین وزن ساقه در زمان گرده‌افشانی و انتقال مجدد از ساقه معنی‌دار نشد. هم‌چنین ارتباط مشخصی بین انتقال مجدد و کارایی آن با عملکرد دانه و تعداد دانه در گیاه مشاهده نشد. از نکات قابل توجه در پژوهش حاضر، همبستگی منفی و معنی‌دار بین مقدار مشارکت انتقال مجدد و عملکرد دانه در گیاه بود. ارتباط بین تعداد دانه و عملکرد دانه در گیاه مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۷).

جدول ۷. همبستگی بین صفات ارزیابی شده در گلرنگ کشت شده در شهرستان مشگین شهر در سال زراعی ۱۴۰۳

ارتفاع در رسیدگی	وزن ساقه در گرده‌افشانی	زیست‌توده در گرده‌افشانی	وزن ساقه در رسیدگی	زیست‌توده در رسیدگی	انتقال مجدد	کارایی انتقال مجدد	مقدار مشارکت	عملکرد دانه	تعداد دانه	شاخص برداشت
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ارتفاع در رسیدگی	۰/۷۴**	۰/۸۴**	۰/۷۲**	۰/۴۱ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۲**	۰/۳۸ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
وزن ساقه در گرده‌افشانی	۰/۸۵**	۰/۹۰**	۰/۷۲**	۰/۴۹ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
زیست‌توده در گرده‌افشانی	۰/۷۲**	۰/۹۰**	۰/۷۲**	۰/۴۹ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
وزن ساقه در رسیدگی	۰/۶۱*	۰/۴۹ns	۰/۴۱ns	۰/۴۹ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
زیست‌توده در رسیدگی	۰/۶۱*	۰/۴۹ns	۰/۴۱ns	۰/۴۹ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
انتقال مجدد	۰/۲۳ns	۰/۴۲ns	۰/۴۴ns	۰/۴۴ns	۰/۶۸*	۰/۲۴ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
کارایی انتقال مجدد	-۰/۰۹ns	۰/۰۴ns	۰/۱۰ns	۰/۳۹ns	۰/۳۹ns	۰/۳۹ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
مقدار مشارکت	۰/۰۶ns	۰/۳۲ns	۰/۳۱ns	۰/۳۱ns	۰/۳۱ns	۰/۳۱ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
عملکرد دانه	۰/۳۸ns	۰/۰۳ns	۰/۱۱ns	۰/۱۱ns	۰/۱۱ns	۰/۱۱ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
تعداد دانه	۰/۳۲ns	۰/۰۸ns	۰/۰۸ns	۰/۰۸ns	۰/۰۸ns	۰/۰۸ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**
شاخص برداشت	۰/۰۱ns	-۰/۴۳ns	-۰/۲۰ns	-۰/۳۲ns	-۰/۳۲ns	-۰/۳۲ns	۰/۹۱**	۰/۴۰ns	۰/۹۵**	۰/۷۵**

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

۵. بحث

در پژوهش حاضر، طول دوره رشد گلرنگ، از فروردین ماه شروع و در اوایل مردادماه به اتمام رسید. مقدار بارش در طی ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر به ترتیب ۵۹/۲، ۹۱/۳، ۱۱۵/۵ و ۶۵ میلی‌متر بود که به مراتب بیش‌تر از میانگین بلندمدت بارش در منطقه بود. این حجم از بارش باعث گردید که دمای هوا در طی فصل رشد گلرنگ به‌ویژه در ماه‌های خرداد و تیر، افزایش قابل‌توجهی پیدا نکند. میانگین دما در چهار ماه اول سال به ترتیب ۱۰/۴، ۱۴/۳، ۱۸/۹ و ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). بررسی تغییرات حداکثر دمای روزانه در اواخر خردادماه و اوایل تیرماه و زمانی که گیاهان گلرنگ در مرحله گرده‌افشانی بودند، نشان داد که مقدار این متغیر فراتر از ۲۹/۸ درجه سانتی‌گراد نرفته است. همچنین بیشینه دمای ثبت‌شده در طول پر دانه، حدود ۳۲/۳ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). گزارش‌ها نشان می‌دهد که دماهای بالای ۳۲ درجه در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی باعث تنش گرمایی و کاهش عملکرد در گیاه گلرنگ می‌شود (کوتروباس و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین این احتمال وجود دارد که گیاهان در طی گرده‌افشانی، تنش گرمایی را تجربه نکرده باشند.

در ابتدای تشکیل طبق، گیاهان آبی ارتفاع و زیست‌توده بیش‌تری در قیاس با گیاهان دیم داشتند. گیاهان رشدیافته در شرایط آبی تا ابتدای تشکیل طبق، دو بار آبیاری شدند. آبیاری اول در زمان رشد رویشی و آبیاری دوم مدتی قبل از تشکیل ساختار طبق‌ها انجام شد. مقدار آب واردشده به کرت‌ها در آبیاری اول و دوم به ترتیب ۲۶ و ۲۹ میلی‌متر بود. بنابراین تا زمان نمونه‌گیری اول (ابتدای تشکیل طبق)، گیاهان آبی در مجموع ۳۲۱ میلی‌متر (به‌صورت باران و آبیاری) و گیاهان دیم ۲۶۶ میلی‌متر آب (به‌صورت باران) دریافت کردند. این امر باعث گردید مقدار رشد و انباشت مواد فتوسنتزی در گیاهان آبی تا ابتدای تشکیل طبق، بیش‌تر از گیاهان دیم گردد.

در پژوهش حاضر، هورمون‌های آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در اواخر گرده‌افشانی یا ابتدای رشد دانه بر روی

گیاهان گلرنگ (آبی) و در طی سه نوبت استفاده شدند. یک هفته بعد از آخرین نوبت پاشش، صفات مختلف اندازه‌گیری گردید. ارزیابی صفات در این مرحله نشان داد که در بیش‌تر موارد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت (جدول‌های ۳ و ۴). بارش قابل‌توجه باران در فاصله بین ابتدای تشکیل طبق تا ابتدای رشد دانه، از یک طرف باعث گردید که نیاز به آبیاری در گیاهان آبی از بین رود و از طرف دیگر موجب گردید گیاهان دیم فعالانه به زیست‌توده خود بیافزایند. هم‌چنین علت عدم تأثیر معنی‌داری هورمون‌ها بر روی صفات ارزیابی‌شده در ابتدای رشد دانه، احتمالاً فاصله اندک بین پاشش هورمون‌ها و زمان نمونه‌برداری بوده است.

بررسی داده‌ها در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و مقایسه آن با مراحل اول و دوم نمونه‌برداری نشان داد که ارتفاع گیاهان از ابتدای تشکیل طبق تا تکمیل چرخه رشد گیاه دستخوش تغییر معنی‌دار نشده است (جدول‌های ۲، ۴ و ۶) که نشان‌دهنده تکمیل ارتفاع گیاهان در زمان تشکیل طبق‌ها بوده است. این امر باعث گردید که کاربرد هورمون‌های آبسازیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در انتهای مرحله‌افشانی تأثیری بر روی این صفت نداشته باشد. در مقابل، زیست‌توده گیاهان در کلیه تیمارهای آزمایشی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک افزایش یافت. اما مقدار افزایش بسته به شرایط آبی یا دیم و نیز کاربرد یا عدم کاربرد هورمون متفاوت بود. تجمع بالای مواد فتوسنتزی در گیاهان آبی (شاهد) باعث گردید که آن‌ها بیش‌ترین زیست‌توده را در بین تیمارهای آزمایشی داشته باشند. در مقابل، اعمال تیمارهای کم‌آبی (دیم) و هورمون‌پاشی، مقدار زیست‌توده نهایی در رسیدگی فیزیولوژیک را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۶). تعدادی از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که استعمال هورمون‌های آبسازیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید ممکن است باعث بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز جاری گردد. پیامد کاهش در مقدار فتوسنتز، کاهش زیست‌توده و در نتیجه کاهش عملکرد دانه خواهد بود (حسین‌شاه و همکاران، ۲۰۲۱).

شرایط دیم و کاربرد هورمون‌ها، عملکرد دانه در گیاه را به‌طور معنی‌داری در قیاس یا گیاهان شاهد کاهش داد (جدول ۶). انتظار بر این بود که کاربرد هورمون‌های آبسازیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در پایان مرحله‌افشانی، باعث تسهیم بیش‌تر مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به طرف گل‌آذین و دانه‌های در حال رشد و افزایش عملکرد گردد، که حاصل نشد. این احتمال وجود دارد که کاربرد هورمون‌ها در پایان مرحله‌افشانی، اثری همانند تنش خشکی را به گیاهان اعمال کرده و باعث کاهش فتوسنتز جاری و سقط دانه‌های تازه تشکیل‌شده، باشد. بنابراین اثرات مثبتی که کاربرد هورمون بر روی تسهیم مواد فتوسنتزی به طرف دانه‌ها داشته است، با کاهش فتوسنتز جاری و تولید قندها از بین رفته است. به بیان دیگر، تأثیر کاربرد هورمون‌های آبسازیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید در کاهش فتوسنتز جاری به مراتب بیش‌تر از اثر آن‌ها در افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بوده است. حسین و همکاران (۲۰۱۲) اثر سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، محدودیت آبیاری در پیدایش غنچه و محدودیت آبیاری در ابتدای گلدهی)، سه غلظت آبسازیک‌اسید (صفر و ۵ و ۱۰ میکرومولار) و دو زمان پاشش (پیدایش غنچه و ابتدای گلدهی) را در گیاه آفتاب‌گردان مطالعه کردند. آن‌ها گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، کاربرد هورمون باعث افزایش کارایی مصرف آب و کاهش اثرات منفی تنش خشکی شد. بیش‌ترین اثر مثبت هورمون آبسازیک‌اسید مربوط به غلظت ۵ میکرومولار بود و زمانی مشاهده شد که گیاهان در ابتدای پیدایش غنچه‌ها با محدودیت آبیاری مواجه شدند. در مقابل، در شرایط تنش خشکی، کاربرد برگ مصرف آبسازیک‌اسید در گیاه ذرت و لگوم‌های دانه‌ای، غلظت داخلی این هورمون را افزایش و آن هم به‌نوبه خود باعث کاهش توسعه و تقسیم سلولی در تخمدان شده و در نهایت تعداد دانه و غلاف کاهش یافت (ستر^۱ و همکاران، ۲۰۰۱).

ویلکینسون^۱ و دیویس^۲ (۲۰۰۲) نیز بیان کردند کاربرد آبسزیک‌اسید از طریق کاهش فشار تورژسانس و پتانسیل آبی برگ باعث بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به مخزن‌ها و کاهش عملکرد شد. کلیه این موارد نشان می‌دهد که اثر کاربرد هورمون بسته به زمان مصرف، غلظت هورمون، شدت و مدت تنش خشکی و نوع گیاه می‌تواند متغیر باشد.

میانگین شاخص برداشت در بین تیمارهای آزمایشی ۲۴ درصد بود که در قیاس با سایر گیاهان زراعی مانند گندم و برنج به مراتب پایین می‌باشد. مقدار شاخص برداشت در پژوهش کوتروباس^۳ و همکاران (۲۰۰۴) که بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ (چهار هیبرید و شش رقم آزاد گرده‌افشان) انجام شد، از ۳۵-۲۵ درصد در کشت زمستانه و از ۲۴-۱۶ درصد در کشت بهاره متغیر بود. دورداس^۴ و سیولاس^۵ (۲۰۰۹) بیان کردند در گیاه گلرنگ درصد بسیاری از مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی باقی مانده و به دانه‌ها منتقل نمی‌شود. نامبردگان بر این باورند که بهبود تسهیم مواد فتوسنتزی در ارقام جدید گلرنگ می‌تواند شاخص برداشت را تا ۵۰ درصد نیز افزایش دهد. این امر لزوم استفاده از فعالیت‌های به‌زراعی و به‌نژادی را جهت افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی نشان می‌دهد.

وزن ساقه در رسیدگی فیزیولوژیک به مراتب کم‌تر از وزن آن در ابتدای رشد دانه بود (جدول‌های ۴ و ۶). کاهش در وزن ساقه در طول پرشدن دانه، نشان‌دهنده انتقال مجدد ذخایر ساقه به دانه‌های در حال پرشدن است که در منابع دیگر نیز به آن اشاره شده است (بهادری^۶ و همکاران، ۲۰۲۵؛ دورداس و سیولاس، ۲۰۰۹). کاربرد هورمون‌های آبسزیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید و نیز اعمال تیمار کم‌آبی مقدار انتقال مجدد از ساقه را افزایش داد. بیش‌ترین افزایش در پاشش هورمون جاسمونیک‌اسید مشاهده شد (جدول ۶). لیارتس^۷ و ون‌دن‌اند^۸ (۲۰۲۴)، به‌تازگی بیان کردند در گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی، گراس‌های علوفه‌ای، گندم و برنج، تیمارهایی مانند کوتاه‌کردن ساقه، حذف شاخه‌های جانبی و حلقه‌برداری باعث ایجاد زخم و در نتیجه برهم‌خوردن تعادل منبع-مخزن می‌شود. در این شرایط، قندهای غیرساختاری ساقه مانند نشاسته و فروکتان به طرف میوه‌ها و دانه‌های در حال رشد منتقل می‌شوند. نامبردگان اظهار داشتند که جاسمونیک‌اسید در مسیرهای پیام‌رسانی یا سیگنال‌دهی منتهی به انتقال مجدد، نقش محوری دارد. زانگ^۹ و همکاران (۲۰۲۰) دو رقم گندم را در شرایط آبی و تنش خشکی رویانده و غلظت قندهای محلول، آبسزیک‌اسید و آنزیم‌های تجزیه‌کننده قندهای ذخیره‌ای را در ساقه آن بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که در شرایط تنش، بین غلظت آبسزیک‌اسید و قندهای محلول، همبستگی مثبتی وجود داشت. این پژوهش‌گران بیان کردند، آبسزیک‌اسید فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده قندهای ذخیره‌ای ساقه را از طریق افزایش بیان ژن آن‌ها زیاد می‌کند.

نتایج جدول همبستگی نشان داد رابطه مشخص و معنی‌داری بین ارتفاع گیاه و شاخص برداشت وجود نداشت که مغایر با گزارش‌های مشاهده‌شده در گیاهان زراعی دیگر می‌باشد (فیشر^{۱۰}، ۲۰۱۱). روند مشابهی نیز در خصوص رابطه ارتفاع گیاه با مقدار انتقال مجدد از ساقه مشاهده شد (جدول ۷). سدراس^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۳) با پژوهش بر روی گیاه

1. Wilkinson
2. Davies
3. Koutroubas
4. Dordas
5. Sioulas
6. Bahadori
7. Leaerts
8. Van den Ende
9. Zhang
10. Fischer
11. Sadras

آفتابگردان گزارش کرد که ارتفاع گیاه ارتباط نزدیکی (مثبت) با مقدار انتقال مجدد و مقدار مشارکت ذخایر در عملکرد دانه داشت. در گیاه گندم نیز به ارتباط مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع گیاه، میزان ذخیره‌سازی و انتقال مجدد اشاره شده است (بلوم^۱، ۱۹۹۸). کوتروباس و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که ساقه اصلی گلرنگ به‌شدت انشعاب یا شاخه‌های فرعی تولید می‌کند و بنابراین ماده خشک تجمع یافته، هم به ارتفاع گیاه و هم به انشعاب‌دهی آن وابسته است. آن‌ها در ادامه افزودند مقدار انشعاب‌دهی و محل انشعاب‌ها از محور اصلی، توسط ژنوتیپ و محیط کنترل می‌شود.

در پژوهش حاضر، رابطه بین وزن ساقه در اواخر گرده‌افشانی (حداکثر ذخیره‌سازی) و انتقال مجدد از ساقه، معنی‌دار نشد. درحالی‌که تعدادی از پژوهش‌گران به رابطه مثبت و معنی‌دار بین مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد اشاره کرده‌اند، تعدادی دیگر به نبود رابطه بین این دو پارامتر اذعان کرده‌اند (جودی^۲ و همکاران، ۲۰۲۵؛ ووثی‌راد^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). تاپا^۴ و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که مقدار انتقال مجدد در هر رقم توسط دو فاکتور یعنی مقدار ذخیره‌سازی و کارایی انتقال مجدد تعیین می‌شود. کارایی انتقال مجدد نیز توسط قدرت مخزن یعنی تعداد دانه، اندازه دانه و فعالیت آنزیم‌های دخیل در تبدیل ساکاروز به مواد ذخیره‌ای دانه تعیین می‌شود. این امر نشان می‌دهد که رابطه ساده‌ای بین ذخیره‌سازی و انتقال مجدد وجود ندارد و ارقام با ذخیره‌سازی بالای مواد فتوسنتزی لزوماً دارای انتقال مجدد بالا نخواهند بود.

ارتباط مشخصی بین انتقال مجدد با عملکرد دانه مشاهده نشد. حتی، همبستگی بین درصد مشارکت انتقال مجدد و عملکرد دانه منفی و معنی‌دار شد (جدول ۷). کوتروباس و همکاران (۲۰۰۴) و نیز کوتروباس و همکاران (۲۰۲۱) ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ را به‌صورت پاییزه-دیم و بهار-دیم کشت کرده و گزارش کردند در کشت پاییزه یک رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و انتقال مجدد از اندام‌های رویشی مشاهده شد. در مقابل، هیچ ارتباط معنی‌داری بین این دو صفت در کشت بهار وجود نداشت. نامبردگان علت این امر را پایین بودن تعداد مخزن (تعداد دانه کم در مترمربع) در کشت بهار عنوان کرده و بر اهمیت اندازه مخزن در افزایش مقدار انتقال مجدد، تأکید کردند. نبود رابطه معنی‌دار بین انتقال مجدد و عملکرد دانه به معنای بی‌اهمیت بودن انتقال مجدد در عملکرد دانه نیست (جودی و همکاران، ۲۰۲۵). عملکرد دانه در گیاهان زراعی به تعداد دانه و وزن دانه (هزاردانه) قابل تفکیک است. در بیش‌تر موارد، تغییرات در تعداد دانه (در قیاس با تغییرات در وزن دانه) اثر محسوس‌تری بر روی عملکرد دانه داشته است (فیشر، ۲۰۱۱). با توجه به این‌که فرایند انتقال مجدد در بعد از تکمیل گرده‌افشانی شروع شد (جدول‌های ۲، ۴ و ۶)، لذا این احتمال وجود دارد که انتقال مجدد ذخایر ساقه تنها باعث بهبود وزن هزاردانه شده است. شایان ذکر است در شرایط تنش شدید و جایی که مقدار عرضه مواد فتوسنتزی به طرف دانه‌ها بسیار پایین است، افزایش انتقال مجدد و وزن هزاردانه نیز می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر حفظ عملکرد دانه داشته باشد (جودی و همکاران، ۲۰۲۵).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مقدار شاخص برداشت در گیاه گلرنگ پایین بوده و درصد بالایی از مواد فتوسنتزی تولیدشده در قسمت‌های رویشی باقی مانده و به دانه‌ها منتقل نمی‌شود. از طرف دیگر، اگر گیاه گلرنگ در فصل بهار کاشته شود، گلدهی و گرده‌افشانی آن معمولاً با دماهای بالای اواخر بهار و اوایل تابستان مواجه می‌شود. وقوع تنش در این زمان، عرضه مواد فتوسنتزی به

1. Blum
2. Joudi
3. Vosoghi Rad
4. Thapa

گل‌آذین را کاهش داده و ممکن است باعث کاهش عملکرد و نمود گیاه شود. در پژوهش حاضر، هورمون‌های آبسیزیک و جاسمونیک‌اسید در انتهای مرحله گرده‌افشانی (ابتدای رشد دانه) مورد استفاده قرار گرفتند. هدف از این کار، از یک طرف تحریک انتقال مجدد و افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی و از طرف دیگر کاهش اثرات منفی تنش گرمایی احتمالی بر روی گیاه بود. استعمال خارجی هورمون‌ها در اواخر گرده‌افشانی، مقدار تجمع ماده خشک در بعد از گرده‌افشانی را کاهش و منجر به افت زیست‌توده در زمان رسیدگی فیزیولوژیک شد. این امر باعث گردید وزن طبق، تعداد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمارهای هورمون‌پاشی شده کم‌تر از گیاهان شاهد شود. کاربرد هورمون‌های آبسیزیک و جاسمونیک‌اسید مقدار انتقال مجدد و مشارکت آن در عملکرد و نیز کارایی انتقال مجدد را افزایش دادند، مقدار این افزایش در تیمار جاسمونیک‌اسید معنی‌دار بود. بررسی روابط همبستگی، نبود رابطه مشخص بین انتقال مجدد از ساقه و عملکرد دانه را نشان داد. در شرایط پژوهش حاضر، استفاده مجزا از ۵۰ میکرومولار آبسیزیک‌اسید و ۰/۵ میلی‌مولار جاسمونیک‌اسید در اواخر گرده‌افشانی گلرنگ، راه‌کار مناسبی برای افزایش عملکرد دانه نبود. با این حال، توانایی این هورمون‌ها در افزایش انتقال مجدد و بهبود تسهیم مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی، ضرورت بررسی غلظت‌های مختلف و زمان‌های متفاوت مصرف این هورمون‌ها را آشکار می‌سازد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی بابت حمایت‌های پژوهشی از طرح پژوهشی حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، معاونت برنامه ریزی اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۴). آمار نامه کشاورزی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳. جلد اول: محصولات زراعی.

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۱۳۹۴). معرفی ارقام زراعی (امنیت و سلامت غذایی، جلد ۱).

References

- Abraham, S.S., Jaleel, C.A., Chang-Xing, Z., Somasundaram, R., Azooz, M.M., Manivannan, P., & Panneerselvam, R. (2008). Regulation of growth and metabolism by paclobutrazol and ABA in *Sesamum indicum* L. under drought condition. *Global Journal of Molecular Science*, 3(2), 57–66.
- Anjum, S.A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., & Xue, L. (2011). Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 296–301.
- Bahadori, F., Bijanzadeh, Ehsan., Naderi, Ruhollah., Seehausen, M.L., & Wey P. (2025). Planting date affects biochemical characteristics, assimilate remobilization, and yield of safflower under water stress. *Scientific Reports*, 15, 15316.
- Blum, A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica*, 100, 77–83.
- Bray, E. (1991). Regulation of gene expression by endogenous ABA during drought stress. In: Davies W, Jones HG (eds) *Abscisic acid: physiology and biochemistry*. Bios Scientific, UK, pp 81–98.
- Statistics, Information and Communication Technology Center, Economic Planning Deputy, Ministry of

- Agriculture Jihad. (2025). Agricultural Statistics Yearbook, 2022–2023. 1, Field Crops. (In Persian).
- Chen, K., Li, G.J., Bressan, R.A., Song, C.P., Zhu, J.K., & Zhao, Y. (2020). Absciscic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrated Plant Biology*, 62, 25–54.
- Dordas, C.A., & Sioulas, C. (2009). Dry matter and nitrogen accumulation, and translocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, 110, 35–43.
- FAO., Crops and livestock products. (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fischer, R.A. (2011). Wheat physiology: a review of recent developments. *Crop and Pasture Science*, 62, 95–114.
- Ghassemi-Golezani, K., & Hosseinzadeh-Mahootchi, A. (2015). Improving physiological performance of safflower under salt stress by application of salicylic acid and jasmonic acid. *WALIA Journal*, 31(S1), 104–109.
- He, J., Jin, Y., Palta, J.A., Liu, H.Y., Chen, Z., Chen, Z., & Li, F.M. (2019). Exogenous ABA induces osmotic adjustment, improves leaf water relations and water use efficiency, but not yield in soybean under water stress. *Agronomy*, 9, 395.
- Hussain Shah, S., Islam, S., Parrey, Z.A., & Mohammad, F. (2021). Role of exogenously applied plant growth regulators in growth and development of edible oilseed crops under variable environmental conditions: a Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 3284–3308.
- Hussain, S., Saleem, M.F., Ali, A., Iqba, L J., & Shakir, M.A. (2013). Yield and quality improvement of sunflower (*Helianthus annuus* L) hybrid through ABA application under water deficit conditions. *Journal of Animal and Plant Science*, 23, 1158–1165.
- Hussain, S., Ma, B.L., Saleem, M.F., Anjum, S.A., Saeed, A., & Iqbal, J. (2012). Absciscic acid spray on sunflower acts differentially under drought and irrigation conditions. *Agronomy Journal*, 104(3), 561–568.
- Jha, U.C., Nayyar H., & Siddique, K.H.M. (2022). Role of phytohormones in regulating heat stress acclimation in agricultural crops. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 1041–1064.
- Johnson, R.C., Petrie, S.E., Franchini, M.C., & Evans, M. (2021). Yield and yield components of winter type safflower. *Crop Science*, 52, 2358–2364.
- Joudi, M., Esmailpour, M., Mohammadi, V., & Ahmadi, A. (2025). Post-anthesis dry matter dynamics in the internodes of wheat cultivars grown under contrasting conditions: Associations among agro-physiological traits. *Cereal Research Communications*, 53, 309–323.
- Koutroubas S.D., Papakosta DK., & Doitsinis, A. (2004). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research*, 90, 263–274.
- Koutroubas, S.D., Damalas, C.A., & Fotiadis, S. (2021). Safflower assimilate remobilization, yield, and oil content in response to nitrogen availability, sowing time, and genotype. *Field Crops Research*, 274, 108313.
- Leaerts, L., & Van den Ende, W. (2024). Sweet immunity in action: Unlocking stem reserves to improve yield and quality. A potential key role for jasmonic acid. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 72(33), 18347–18352.
- McLaughlin, J., & Boyer, J. (2004). Glucose localization in maize ovaries when kernel number decrease at low water potential and sucrose is fed to the stems. *Annals of Botany*, 94, 75–86.
- Sadras, V.O., Connor, D.J., & Whitfield, D.M. (1993). Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. *Field Crops Research*, 31, 27–39.
- Schussler, J., & Westgate, M. (1991). Maize kernel set at low water potential. II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. *Crop Science*, 31, 1196–1203.
- Seckin-Dinler, B., Tasci, E., Sarisoy, U., & Gul, V. (2018). The cooperation between methyl jasmonate and salicylic acid to protect soybean (*Glycine max* L.) from salinity. *Fresenius environmental bulletin*, 27(3), 1618–1626.
- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (2015). Introduction of crop cultivars (Food security and safety, Vol. 1). (In Persian).
- Setter, T.L., Flannigan, B. A., & Melkonian, J. (2001). Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize carbohydrate supplies, abscisic acid, and cytokinins. *Crop Science*, 41, 1530–1540.
- Steberl, K., Hartung J., & Graeff-Hönniger, S. (2020). Impact of cultivar, harvest date, and threshing parameter setting of floret and carthamidin yield of safflower. *Agronomy*, 10(9), 1272.
- Thapa, S., Rudd, J.C., Jessup, K.E., Liu, S., Baker, J.A., Devkota, R., & Xue, Q. (2022). Middle portion of the wheat culm remobilizes more carbon reserve to grains under drought. *Journal of Agronomy and*

- Crop Science*, 208(6), 795–804.
- Travaglia, C., Reinoso, H., Cohen, A., Luna, C., Tommasino, E., Castillo, C., & Bottini R. (2010). Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with a moderate water restriction. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 366–374.
- Vosoghi Rad, M., Jami Moeini, M., Taherian, M., & Armin, M. (2022). Accumulation and remobilization of assimilates in different genotypes of durum wheat under terminal drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 25, 191–214.
- Wang, Z., Yang, J., Zhu, Q., Zhang, Z., Lang, Y., & Wang, X. (1998). Reasons for poor grain filling in inter subspecific hybrid rice. *Acta Agronomica Sinica*, 24, 782–787.
- Wasternack, C., & Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction, and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals Botany*. *Annals of Botany*, 111, 1021–1058.
- Weiss, E.A. (2000). Oilseed crops. Blackwell publishing, Limited, London, UK.
- Wilkinson, S., & Davies, W.J. (2002). ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell, & Environment*, 25(2), 195–210
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q., & Liu, L. (2003). Activities of enzymes involved in sucrose-to-starch metabolism in rice grains subjected to water stress during filling. *Field Crop Research*, 81, 69–81.
- Zhang, P., Liu, Y., Li, M., Ma, J., Wang, C., Su, J., & Yang, D. (2020). Absciscic acid associated with key enzymes and genes involving in dynamic flux of water soluble carbohydrates in wheat peduncle under terminal drought stress. *Plant Physiology & Biochemistry*, 151, 719–728.