



The Impact of Drought Stress and Light Quality on Wheat Speed Breeding

Valiollah Mohammadi¹✉ | Fatemeh Soltani Komareolya² | Towhid Najafi Mirak³

1. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: vmohammadi@ut.ac.ir
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: soltani.fatemeh@ut.ac.ir
3. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: June 21, 2024
Received in revised form:
November 18, 2024
Accepted: November 24,
2024
Published online: December
21, 2024

Keywords:

Drought stress,
embryo culture,
growth chamber,
photoperiod
speed breeding,
wheat.

ABSTRACT

Long time required to develop pure lines is one of the major limitations of breeding programs and genetic studies. The objective of this study was to optimize the speed breeding technique and to investigate the effect of watering regime and light quality on accelerating wheat generation. Three spring wheat cultivars, Sivand, Rakhshan and Baharan were planted in a growth chamber in 28-cell trays with six replications and watered every 24, 48, 72, 96, and 120 hours. To overcome seed dormancy and also to eliminate the time needed for seed maturation, embryos were separated and cultured in MS medium. 16/8 hours (day/night) photoperiod, light intensity of 23000 lux provided with white LED complemented by purple growth light, 25/22°C (day/night) temperature, 85/65 % (day/night) air humidity suggested to be the most suitable condition for speed breeding. Under this condition, seed-to-seed period was shortened to nearly two months with 60, 62 and 64 days in Rakhshan, Sivand and Baharan cultivars, respectively. Watering every 48 hour yielded the best results and supplementary purple light decreased the generation time by one week compared to white LED. 16-18 days post anthesis appeared to be the optimal time to harvest immature spikes for embryo culture. Findings of this study offer insights for breeders to raise six generations of spring wheat per year.

Cite this article: Mohammadi, V., Soltani Komareolya, F., & Najafi Mirak, T. (2024). The impact of drought stress and light quality on wheat speed breeding. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(4), 167-177. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.377966.655085.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.377966.655085>



تأثیر رژیم آبیاری و کیفیت نور بر بهنژادی سریع گندم بهاره

ولی‌اله محمدی^۱ | فاطمه سلطانی کمارعلیا^۲ | توحید نجفی میرک^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: vmohammadi@ut.ac.ir
۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: soltani.fatemeh@ut.ac.ir
۳. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: اتفاق رشد، بهنژادی سریع، تنش خشکی، دوره نوری، کشت جنین، گندم.</p>	<p>زمان طولانی لازم برای ایجاد رگه‌های خالص یکی از محدودیت‌های بزرگ بسیاری از برنامه‌های بهنژادی و مطالعات ژنتیکی است. هدف از پژوهش حاضر بهینه‌سازی روش بهنژادی سریع و بررسی تأثیر رژیم آبیاری و کیفیت نور بر تسریع نسل‌دهی گندم بود. سه رقم گندم بهاره سیوند، رخشان و بهاران در اتفاق رشد با شدت نور ۲۳۰۰۰ لوکس (معادل ۴۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) زیر دو نوع روشنایی شامل LED سفید و ترکیب LED سفید با لامپ بنفش ویژه رشد، در سینی‌های نشای ۲۸ خانه‌ای با شش تکرار کشت شدند و با رژیم‌های مختلف ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت یک‌بار آبیاری شدند. برای غلبه بر خواب بذر و همچنین حذف مدت زمان لازم برای بلوغ بذر از تکنیک کشت جنین نارس در محیط MS استفاده شد. نتایج نشان داد که نور دوره ۸/۱۶ ساعت (روز/شب)، شدت نور ۲۳۰۰۰ لوکس با ترکیب لامپ بنفش ویژه رشد و LED سفید، دمای ۲۲/۲۵ درجه سانتیگراد (روز/شب)، رطوبت ۶۵/۸۵ درصد (روز/شب) مناسب‌ترین شرایط برای بهنژادی سریع گندم است. در این شرایط مدت زمان کشت بذر تا تولید بذر گندم بهاره به حدود دو ماه کاهش یافت و نسل‌دهی ارقام رخشان، سیوند و بهاران به ترتیب در ۵۰، ۵۵ و ۶۶ روز کامل شد. رژیم آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار بهترین نتیجه را در پی داشت و پرورش گیاهان زیر ترکیب نور بنفش و سفید نسبت به نور سفید یک هفته نسل‌دهی را سرعت بخشید. ۱۸-۱۶ روز پس از گرده‌افشانی بهترین زمان جدا کردن جنین از سنبله‌های نارس و کشت آن در محیط MS بود. یافته‌های این پژوهش امکان پرورش شش نسل گندم بهاره در سال را برای بهنژادگران فراهم می‌کند.</p>

استناد: محمدی، و.، سلطانی کمارعلیا، ف.، و نجفی میرک، ت. (۱۴۰۳). تأثیر رژیم آبیاری و کیفیت نور بر بهنژادی سریع گندم بهاره. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۵(۴)، ۱۶۷-۱۷۷. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.377966.655085



۱. مقدمه

گندم به دلیل ارزش غذایی، سطح زیر کشت و اهمیت اقتصادی، فرهنگی و سیاسی مهم‌ترین گیاه زراعی ایران و جهان است. در طول سال‌های گذشته میزان تولید گندم در کشور با بهبود مدیریت اجرایی، عملیات به‌زراعی و استفاده از ارقام اصلاح‌شده افزایش چشم‌گیری داشته است (Yazdi-Samadi et al., 2010).

دورگ‌گیری اصلی‌ترین روش بهنژادی گندم و سایر گیاهان خودگشن است. هدف از دورگ‌گیری تجمع صفات چندواریتبه در یک رقم و ایجاد رقمی برتر از دو والد است. در این روش ابتدا از طریق تلاقی دو واریتبه، یک جمعیت در حال تفرق F_2 ایجاد می‌شود و سپس افراد جمعیت با روش‌های گوناگونی مانند شجره‌ای، دسته‌جمعی، نسل تک‌بذر و ... اداره می‌شوند تا رگه‌های خالص به‌دست آیند (Yazdi-Samadi et al., 2010). مزیت لاین‌های خالص این است که امکان آزمایش‌های عملکرد تکراردار در زمان‌ها و مکان‌های مختلف و ارزیابی صفات کمی را فراهم می‌کنند؛ اما جهت دستیابی به رگه‌های خالص مواد گیاهی باید چندین نسل خودگشن شوند که این مرحله زمان زیادی (حدود شش سال) به طول می‌انجامد (Watson et al., 2018; Ghosh et al., 2018). بنابراین بهنژادگران همواره به دنبال روش‌هایی بوده‌اند که بتوانند این روند را تسریع کنند (Zheng et al., 2013).

نخستین روشی که برای تسریع برنامه‌های بهنژادی گندم توسط بورلاگ به کار گرفته شد بهنژادی رفت و برگشتی^۱ بود که در آن با استفاده از تفاوت در عرض جغرافیایی یا ارتفاع دو منطقه مختلف، دو نسل در سال کشت صورت می‌گرفت. روش دوم استفاده از گلخانه بود که امکان پرورش چهار نسل گندم بهاره در سال را فراهم می‌کرد. دبل‌هاپلوئیدی روش دیگری بود که توسط متخصصین زیست‌فناوری برای سرعت‌بخشیدن به برنامه بهنژادی پیشنهاد شد که نیازمندی به تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته، تخصص بالا، بازدهی پایین و ... از معایب آن است (Yazdi-Samadi et al., 2010).

بهنژادی سریع^۲ یک راهبرد نوظهور برای آزادکردن ارقام جدید در مدت کوتاه است. در این روش گیاهان در اتاقک رشد کنترل‌شده یا گلخانه تحت شدت بالا و نور دوره طولانی و دمای بهینه پرورش داده می‌شوند تا فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی به ویژه فتوسنتز، گل‌دهی و رسیدن تسریع شود. پژوهشگران نشان داده‌اند که با به‌کارگیری تکنیک بهنژادی سریع می‌توان هشت نسل گندم بهاره، نه نسل جو بهاره، هفت نسل کلزای بهاره را در یک سال تولید نمود (Yao et al., 2016; Zheng et al., 2013; Ghosh et al., 2018). در حالی که در شرایط معمول مزرعه برای تولید یک نسل گندم بهاره حدود ۶-۸ ماه لازم است.

بسته به رقم و محیط پس از گرده‌افشانی بیشتر از ۴۰ روز طول می‌کشد تا بذره‌های گندم به مرحله رسیدن فیزیولوژیکی برسند. از طرفی بذری از ارقام به‌دلیل خواب اولیه، حتی پس از رسیدن فیزیولوژیکی قادر به جوانه‌زدن نیستند. با استفاده از کشت جنین می‌توان با دور زدن بلوغ کامل بذر و همچنین خواب بذر چرخه زندگی گیاه را به‌طور چشم‌گیری کاهش داد. از این‌رو از تکنیک کشت جنین نیز در بهنژادی سریع بهره‌برداری می‌شود (Zheng et al., 2013). تلفیق تکنیک بهنژادی سریع با روش نسل تک‌بذر آنرا به یکی از جذاب‌ترین روش‌ها برای بهنژادگران تبدیل نموده است.

علاوه‌بر بهنژادی، نسل‌دهی سریع می‌تواند برای اهداف تحقیقاتی از جمله تجزیه کیوتی‌ال، تهیه لاین‌های اینبرد، مطالعات جهش و مهندسی ژنتیک نیز به کار گرفته شود. بهنژادی سریع تاکنون در گیاهان مختلف شامل گندم (*Triticum aestivum*)، گندم دوروم (*T. durum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، نخود (*Cicer arietinum*)، و نخودفرنگی (*Pisum sativum*) به کار رفته است (Ghosh et al., 2018). اگرچه پژوهشگران بهنژادی سریع، در مقالات خود اشاره نموده‌اند که رژیم آبیاری به تسریع نسل کمک می‌کند (Urrea et al., 2009; Moncur & Angus, 1997)، تاکنون آزمایشی برای تعیین سطوح بهینه رژیم آبیاری انجام نشده است. از طرف دیگر تاکنون درباره به‌کارگیری بهنژادی سریع در ایران پژوهشی گزارش نشده است. بنابراین اهداف این تحقیق عبارت بودند از:

الف- بومی‌سازی و تهیه شیوه‌نامه^۳ بهنژادی سریع در گندم‌های بهاره برای نخستین بار در کشور.

1. Shuttle breeding

2. Speed breeding

3. Protocol

- ب- تعیین شرایط بهینه بهنژادی سریع گندم‌های بهاره از لحاظ شدت نور، دوره نوری، دما و رطوبت هوا.
ج- تعیین بهترین دور آبیاری برای تسریع نسل گندم.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مواد گیاهی

در این پژوهش از سه رقم گندم بهاره اصلاح‌شده تجاری کشور شامل رقم رخشان با میانگین عملکرد ۴۴۷۸ کیلوگرم در شرایط تنش خشکی و ۸۲۳۳ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری طبیعی، رقم بهاران با میانگین عملکرد ۵۱۴۴ در شرایط تنش خشکی و ۱۰۸۴۰ کیلوگرم در هکتار در آبیاری طبیعی و رقم سیوند با میانگین عملکرد ۴۶۷۸ کیلوگرم در شرایط تنش خشکی و ۸۶۸۳ کیلوگرم در هکتار در آبیاری طبیعی استفاده شد (کتابچه معرفی ارقام زراعی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر).

۲-۲. کشت بذر

بذرها به‌منظور افزایش سرعت جوانه‌زنی به مدت ۲۴ ساعت داخل آب خیس‌انده شده و سپس داخل یک پارچه نمدار قرار گرفتند (Zheng et al., 2013). بعد از آن که کلتوپتیل جوانه‌ها به دو الی سه سانتی‌متر رسید بذر به سینی‌های نشاء ۲۸ سلولی منتقل شدند. ابعاد این سینی‌ها ۵۳ در ۳۴ سانتی‌متر، اندازه دهانه هر سلول ۶/۵ سانتی‌متر، عمق هر سلول هفت سانتی‌متر و حجم هر سلول ۱۴۰ سی‌سی بود. بستر کشت از پیت‌ماس ایتالیایی و شن با نسبت یک به یک تهیه شد و بذرها در جوانه‌زده در عمق یک الی دو سانتی‌متری کشت شد؛ به‌گونه‌ای که در هر سلول یک بذر قرار گیرد.

این پژوهش در اتاقک رشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و شش تکرار، در ارتفاع دو متر از سطح زمین انجام شد تا نمونه‌ها در نزدیکی منبع نور قرار بگیرند و شدت نور لازم را دریافت کنند (شکل ۱).

عامل‌های مورد آزمایش عبارت بودند از: رژیم آبیاری با دو سطح ۴۸ و ۷۲ ساعت یک‌بار، رقم با سه سطح رخشان، بهاران و سیوند و روشنایی به‌عنوان عامل اصلی با دو طیف نوری ترکیب بنفش-سفید و سفید. برای اعمال تنش آبیاری گیاهان به مدت دو هفته روزانه آبیاری شدند بعد از گذشت این مدت با رسیدن گیاهان به مرحله چهار برگی رژیم آبیاری اعمال شد.



شکل ۱. اتاقک رشد بهنژادی سریع.

شدت نور اتاقک رشد برای نمونه‌های گیاهی ۲۳ هزار لوکس (معادل ۴۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) بود. برای تأمین روشنایی نور سفید از نور LED (COB 23 WATT NAMANOOR) استفاده شده که نوعی LED متراکم جهت شدت و پخش بیش‌تر نور است. تأمین نور بنفش با نصب لامپ‌های والواشر بنفش ویژه رشد صورت گرفت. میزان نور دوره نیز ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی در نظر گرفته شد. دمای اتاقک رشد روی ۲۲ درجه سانتی‌گراد در شب و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز تنظیم شد. میزان رطوبت نیز (بدون کنترل) در شب و روز به ترتیب ۸۵ و ۶۵ درصد بود.

برای تعیین کوتاه‌ترین زمان ممکن برای جدا کردن جنین، جنین نارس هر رقم ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ روز پس از گرده‌افشانی جدا و در پتری‌دیش حاوی محیط کشت MS کشت شدند. به این ترتیب که سنبله‌ها در شرایط استریل با حداقل تماس دست برای جلوگیری از آلوده شدن از گیاه جدا شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه ابتدا تمام سطوح ضدعفونی شده و جنین بذرها با استفاده از پنس و اسکالپل با نهایت دقت و بدون آسیب، جدا شده و داخل محیط کشت قرار داده شدند. پتری‌ها از محیط آزمایشگاه با دمای ۲۰ الی ۲۲ درجه سانتی‌گراد به یک محیط تاریک مطلق با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل شدند (Zheng et al., 2013). سپس جنین‌های جوانه‌زده به مدت پنج روز به داخل انکوباتور با شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی و دمای ۲۵ درجه روز و ۲۲ درجه شب منتقل شدند. نخستین روزی که بذر هر رقم داخل پتری‌دیش جوانه زد به عنوان زمان بهینه آن رقم جهت کشت جنین تعیین شد. هنگامی که کلئوپتیل جوانه‌های جوان به اندازه ۱-۲ سانتی‌متر رشد کردند، پتری‌ها به اتاقک رشد منتقل و جنین‌های جوانه‌زده در بستر شن و پیت‌ماس کشت شدند.

صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا تشکیل جنین، تعداد روز تا رسیدن کامل، ارتفاع بوته، طول سنبله، و تعداد دانه در سنبله. خروج بساک‌ها از سنبله معیاری برای آغاز مرحله گل شکفتگی و زرد شدن میانگره آخر (پدانکل)، و سنبله (لما، پالئا و ریشک‌ها) معیاری برای مرحله رسیدن فیزیولوژیک ارقام مختلف بود (Zadoks et al., 1974).

۳-۲. تجزیه‌های آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و ثبت در نرم‌افزار اکسل تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2008) صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی در هر یک از تیمارها و یکنواخت بودن آن در بلوک‌های آزمایشی اطمینان حاصل شد. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد صورت گرفت.

۳. نتایج پژوهش و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر نور، رقم، رژیم آبیاری و اثر متقابل نور × رقم، رژیم آبیاری و رقم × رژیم آبیاری بر تعداد روز تا گل‌دهی معنی‌دار است (جدول ۱ و ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد (جدول ۳) که ترکیب نور بنفش + سفید بر صفات مرتبط با زودرسی تأثیر بیشتری از نور سفید داشته است؛ زیرا ژنوتیپ‌هایی که با نور بنفش + سفید رشد کرده بودند مدت زمان گل‌دهی، جنین‌دهی و همچنین رسیدن فیزیولوژیکی کمتری داشتند. در نتیجه زودرس‌تر از نمونه‌هایی بودند که با نور سفید رشد کرده بودند. همچنین نور بنفش + سفید بر طول سنبله گیاه تأثیر بیشتری از نور سفید داشته و باعث افزایش طول سنبله شد. اما در مورد دو صفت ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله تأثیر نور سفید بیشتر از ترکیب نور بنفش + سفید بوده است یعنی نمونه‌هایی که با نور بنفش + سفید رشد کرده بودند ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله کمتری نسبت به نمونه‌های دیگر داشتند.

اثر مدت زمان حضور نور و ترکیبات طیفی آن بر چگونگی گل‌دهی گیاهان امری شناخته شده است (Fukuda et al., 2016; Heo et al., 2002). واکنش‌های متفاوت گیاهان در برابر کاربرد طیف‌های نوری مختلف، به دلیل عملکرد متفاوت رنگدانه‌های آنان است (Bangal et al., 1996; Mozley & Thomas, 1995). از میان گیرنده‌های نوری، تأثیر فیتوکرومها (جاذب نورهای قرمز و قرمز دور^۴) و کریپتوکرومها (جاذب نور آبی) و از میان طیف‌های نور نیز نحوه اثربخشی نورهای قرمز و قرمز دور بر فیزیولوژی گلدهی گیاهان بیش از سایرین بررسی شده است (Chen et al., 2014; Craig et al., 2012). نقش ترکیبی نور آبی با نور قرمز یا قرمز دور و یا اثر نور آبی بر عملکرد زایشی گیاهان به خوبی شناخته شده نیست. اگرچه وجود نور آبی را به دلیل تحریک کریپتوکرومها در گل‌انگیزی گیاهان مؤثر دانسته‌اند و نقش آن را تا حدودی همانند نور قرمز دور معرفی کرده‌اند (Eskins, 1992)؛ اما تعیین دقیق نقش ترکیبی آبی با قرمز یا قرمز دور و یا اثر نور آبی بر عملکرد گل‌دهی گیاهان نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. حضور نور آبی را محرک فعالیت ژن‌هایی می‌دانند که بیان آنان منجر به تمایز مریستم رویشی به سرآغازهای گل می‌شود (Fukuda et al., 2009). همچنین، نور قرمز را به دلیل تبدیل فرم غیر فعال فیتوکروم (Pr) به فرم فعال فیتوکروم (Pfr) بر رشد رویشی و زایشی گیاهان مؤثر می‌دانند.

دانشمندان وجود نور آبی و قرمز و در نتیجه، فعالیت همزمان فیتوکرومها و کریپتوکرومها را عاملی مؤثر در تسریع انگیزش گل‌دهی گیاهان دانسته‌اند (Takemiya et al., 2005). نتایج پژوهش ما نیز تأثیر مثبت نور بنفش در پرورش سریع گیاه را تأیید نمود. گفتنی است نور بنفش ترکیبی از نور قرمز و آبی است.

جدول ۱. تجزیه واریانس برخی از صفات فنولوژیک گندم در شرایط بهنژادی سریع.

Sources of variance	Mean Squares			
	Df	Physiological Maturity	Embryo	Flowering
Block	5	2.522 ^{ns}	3.055 ^{ns}	3.680*
Light	1	490.889**	490.889**	86.680**
Genotype	2	60.180**	65.264**	36.847**
Water regime	1	20.000**	220.500**	203.347**
Light × Genotype	2	36.347**	38.764**	12.264**
Light Water regime × Genotype × Water regime	1	2.000 ^{ns}	2.000 ^{ns}	1.680 ^{ns}
Genotype × Water regime	2	13.792**	13.875**	17.597**
Light × water regime × Genotype	2	9.292**	11.375**	14.680**
Error	55	1.389	1.346	1.402
Coefficient of variance	-	1.882	2.011	3.015

Goins et al. (1997) نیز گزارش کردند که با افزایش نور آبی به نور قرمز ماده خشک ساقه و سرعت فتوسنتز خالص برگ افزایش می‌یابد، نور قرمز تنها در مقایسه با نور سفید تعداد پنجه فرعی کمتر و مقدار بذر کمتری تولید می‌کند. گندم‌های رشد کرده زیر نور قرمز به اضافه ۱۰ درصد نور آبی دارای تجمع ماده خشک و عملکرد دانه بهتری نسبت به گندم‌های رشد کرده زیر نور سفید داشتند.

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی از صفات مرتبط با عملکرد گندم در شرایط بهنژادی سریع.

Sources of variance	df	Mean Squares		
		Number of seeds	Spike length	Plant height
Block	5	4.480 ^{ns}	0.498 ^{ns}	15.828 ^{ns}
Light	1	30.680 ^{ns}	0.781 ^{ns}	79.170**
Genotype	2	177.389**	3.469**	42.722*
Water regime	1	**780.135	56.003**	776.837**
Light × Genotype	2	15.722 ^{ns}	0.219 ^{ns}	2.389 ^{ns}
Light × Water regime	1	1.25 ^{ns}	0.087 ^{ns}	0.420 ^{ns}
Genotype × Water regime	2	4.667 ^{ns}	0.045 ^{ns}	14.014 ^{ns}
Light × Water regime × Genotype	2	4.667 ^{ns}	0.670 ^{ns}	14.597 ^{ns}
Error	55	8.78	0.53	10.78
Coefficient of variance	-	25.43	13.57	13.82

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار.

۱-۳. تأثیر رژیم آبیاری بر نسل‌دهی سریع

ابتدا یک آزمایش مقدماتی با پنج سطح تیمار آبیاری اعمال شد تا سطوح مؤثر در تسریع نسل شناسایی شود. با توجه به نتایج این آزمایش، سطوح آبیاری ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت یک بار به عنوان سطوح مؤثر در تسریع نسل انتخاب و ادامه کار با این دو سطح آبیاری پیش برده شد. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که آبیاری ۴۸ ساعت یک بار به طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری ۷۲ ساعت یک بار بر تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا تشکیل جنین و تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک تأثیر داشته و سبب کاهش این مدت

زمان شده است. اما در مورد صفات مرتبط با عملکرد آبیاری ۴۸ ساعت یکبار نسبت به آبیاری ۷۲ ساعت یکبار سبب کاهش ارتفاع بوته، کاهش طول سنبله و کاهش تعداد دانه در سنبله شده است (جدول ۳).

جدول ۳. تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا تشکیل جنین و تعداد دانه در سنبله در تیمارهای مختلف نور و آبیاری در ارقام مورد بررسی.

Trait	Flowering				Embryo				Number of seeds			
	48h		72h		48h		72h		48h		72h	
Watering regime	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P
Genotype												
Rakhshan	38	36.66	40.66	37.16	57.66	50.33	60.66	54.16	16.66	16.33	9	9.5
Baharan	39.16	38.50	42.66	42	59.16	55.50	62.66	61	13.16	10	6.16	3.16
Civand	39.33	38.83	42.33	40.83	59.33	66.53	62.33	55.83	10.83	11.16	6.5	4.33

h: hour, W: White light, P: purple light.

طبق اظهار نظر کازارس و همکاران (۲۰۱۱) پس از دریافت رژیم آبیاری توسط گیاه، ابتدا تغییراتی در بیان ژن‌ها ایجاد می‌شود. در ادامه این تغییرات بازتاب‌های سازشی مانند تسریع در گل‌دهی و توقف رشد مشاهده می‌شود (Xoconostle Cazares et al., 2011).

مانکور و آنگوس (۱۹۹۷) گزارش کردند که رژیم آبیاری با توجه به شدت آن می‌تواند سبب تأخیر یا تسریع مراحل رشد و نمو گندم شود. برای مثال آن‌ها مشاهده کردند تاریخ گل‌دهی گیاهانی که با تنش‌های خفیف مواجه شده بودند، پیش از گیاهان شاهد بود؛ درحالی‌که گل‌دهی گیاهانی که با تنش‌های شدیدتر مواجه شده بودند، بعد از گیاهان شاهد رخ داده بود (Moncur & Angus, 1997).

۳-۲. تعداد روز تا تشکیل جنین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت تعداد روز تا تشکیل جنین متأثر از نور رقم رژیم آبیاری و اثر متقابل نور در رقم، رقم در رژیم آبیاری و نور در رقم در رژیم آبیاری می‌باشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین مدت زمان روز تا تشکیل جنین در نور بنفش و سفید به ترتیب ۵۰/۳۳ و ۵۷/۶۶ روز در شرایط آبیاری ۴۸ ساعت یکبار مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین تعداد روز تا تشکیل جنین ۶۲ روز بود که در شرایط نور سفید و در ژنوتیپ بهاران به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴. برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر تعداد روز تا تشکیل جنین تحت تاثیر نور بنفش و سفید.

Genotype	Watering regime	Light	
		White Light	Purple Light
Rakhshan	48h	59.33	50.33
	72h	62.33	55.83
Baharan	48h	59.33	55.50
	72h	62.66	61.00
Civand	48h	57.66	53.66
	72h	60.66	54.16

برش‌دهی اثر متقابل و مقایسه میانگین برهم‌کنش روشنایی × رقم × رژیم آبیاری نشان می‌دهد بین تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود دارد و تیمار نور بنفش × رخشان × آبیاری یک روز در میان با میانگین ۵۰/۳۳ کم‌ترین مدت زمان روز تا تشکیل جنین و تیمار نور سفید × بهاران × آبیاری دو روز در میان با میانگین ۶۲/۶۶ بیش‌ترین تعداد روز تا تشکیل جنین را دارند (شکل ۲).



شکل ۲. اثر برهم‌کنش روشنایی × رقم × رژیم آبیاری بر تعداد روز تا تشکیل جنین گندم. a1: نور بنفش، a2: نور سفید، b1: سیوند، b2: رخشان، b3: بهاران، c1: آبیاری یک روز در میان، c2: آبیاری دو روز در میان.

کشت جنین نشان داد که به ترتیب برای ارقام رخشان، بهاران و سیوند ۱۶، ۱۷ و ۱۸ روز پس از گرده‌افشانی بهترین زمان برای جدا کردن جنین نارس و کشت آن بود؛ زیرا در روزهای قبلی جنین‌های جدا شده قادر به جوانه‌زنی نبودند.

۳-۳. تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک متأثر از نور، رقم، رژیم آبیاری و اثر متقابل نور در رقم، رقم در رژیم آبیاری و رقم در نور در رژیم آبیاری می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین مدت زمان روز تا رسیدن فیزیولوژیک در نور بنفش و سفید به ترتیب ۵۵/۳۳ و ۶۲/۶۶ روز در شرایط آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک ۶۷ روز بود که در شرایط نور سفید و در ژنوتیپ بهاران به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵. برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک تحت تاثیر نور بنفش و سفید.

Genotype	Watering regime	Light	
		White Light	Purple Light
Rakhshan	48h	64.33	55.33
	72h	67.33	60.83
Baharan	48h	64.16	60.50
	72h	67.50	65.50
Civand	48h	62.66	58.66
	72h	65.33	59.16

با توجه به نتیجه برش‌دهی اثر متقابل و مقایسه میانگین برهم‌کنش روشنایی × رقم × رژیم آبیاری که نشان می‌دهد بین تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود دارد، تیمار نور بنفش × رخشان × آبیاری یک روز در میان با میانگین ۵۵/۳۳ کم‌ترین

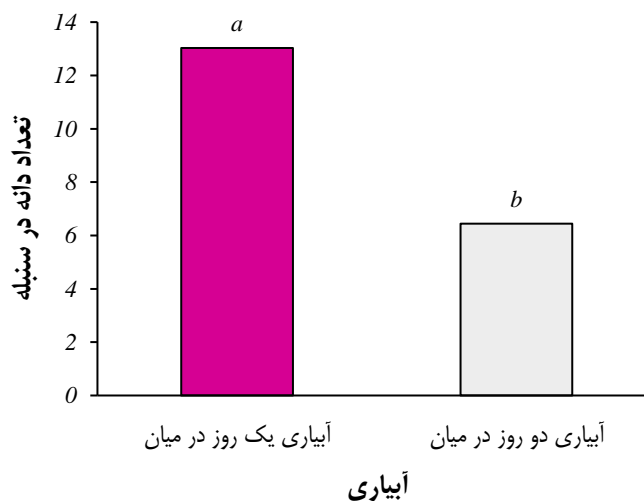
مدت زمان روز تا رسیدن فیزیولوژیکی و تیمار نور سفید × بهاران × آبیاری دو روز در میان با میانگین ۶۷/۵۰ بیشترین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی را دارند (شکل ۳).



شکل ۳. اثر برهمکنش روشنائی × رقم × رژیم آبیاری بر تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک گندم. a1: نور بنفش، a2: نور سفید، b1: سیوند، b2: رخشان، b3: بهاران، c1: آبیاری یک روز در میان، c2: آبیاری دو روز در میان.

۳-۴. تعداد دانه در سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و رژیم آبیاری برای صفت تعداد دانه در سنبله معنی دار بود. شکل ۴ نشان می‌دهد میانگین تعداد دانه در سنبله در آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار با میانگین ۱۳/۰۳ اختلاف معنی‌داری با آبیاری پس از ۷۲ ساعت با میانگین ۶/۴۴ دارد و در آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار میانگین تعداد دانه در سنبله بیش‌تر است.



شکل ۴. اثر رژیم آبیاری بر تعداد دانه در سنبله.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که رژیم آبیاری باعث کاهش تعداد دانه در سنبله شده است که این امر در بهنژادی سریع صفت نامطلوبی به‌شمار نمی‌رود؛ زیرا در این روش انتظار این است که تعداد دانه کاهش یابد تا نسل‌دهی

تسریع گردد (Fathi et al., 2023). کاهش تعداد دانه در سنبله، در شرایط تنش آبی حاکی از کاهش باروری دانه‌ها به دلیل تلقیح نامناسب و همچنین کمبود مواد فتوسنتزی کافی و رقابت بین دانه‌ها است که سبب کاهش تعداد دانه در سنبله و کاهش عملکرد می‌شود (Guoth et al., 2009).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بین ارقام مورد مطالعه کم‌ترین مدت زمان گلدهی مربوط به رقم رخشان با میانگین ۳۶/۶۶ روز تا گل‌دهی می‌باشد (جدول ۳) که این نتیجه در شرایط کاربرد نور بنفش و در آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار اتفاق می‌افتد. بیش‌ترین مدت زمان لازم برای گلدهی این رقم نیز با میانگین ۴۰/۶۶ می‌باشد که در شرایط نور سفید و با آبیاری ۷۲ ساعت یک‌بار به‌دست آمده است. همچنین بیش‌ترین مدت زمان گل‌دهی مربوط به رقم بهاران با میانگین ۴۲/۶۶ می‌باشد که در شرایط نور سفید و آبیاری ۷۲ ساعت یک‌بار به‌دست آمده است.

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بود که ترکیب نور بنفش و سفید بر صفات مرتبط با زودرسی (تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا تشکیل جنین و تعداد روز تا رسیدن کامل) تأثیر بیش‌تری از نور سفید داشت و رقم‌هایی که با تیمار ترکیب نور بنفش و سفید رشد کرده بودند سه تا پنج روز زودتر از تیمار نور سفید بودند. ارقام مورد مطالعه گندم از لحاظ صفت روز تا تشکیل جنین پنج تا ۱۶ روز اختلاف داشتند. رخشان، بهاران و سیوند به‌ترتیب پس از ۵۰، ۵۵ و ۶۶ روز جنین تشکیل دادند (جدول ۳)؛ درحالی‌که این مدت در مزرعه بیش از ۲۲۰ روز طول می‌کشد.

مقایسه سطوح مختلف رژیم آبیاری نشان داد که آبیاری ۴۸ ساعت یک‌بار نسبت به آبیاری ۷۲ ساعت یک‌بار تأثیر بیش‌تری بر تسریع نسل گندم داشت و به مدت پنج روز مدت زمان رسیدگی را کاهش داد. نتایج نشان داد که ۱۶-۱۸ روز پس از گرده‌افشانی، بهترین زمان کشت جنین بوده و زودتر از این زمان جنین‌ها قادر به رشد در محیط کشت نبودند. بنابراین شرایط نور دوره ۸/۱۶ ساعت (روز/شب)، شدت نور ۲۳۰۰۰ لوکس با ترکیب لامپ بنفش ویژه رشد و LED سفید، دمای ۲۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد (روز/شب)، رطوبت ۶۵/۸۵ درصد (روز/شب) مناسب‌ترین شرایط برای بهتزادی سریع گندم بود. در این شرایط مدت زمان بذر تا بذر گندم بهاره به کمتر از دو ماه کاهش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش امکان پرورش شش نسل گندم در سال را برای بهتزاگران فراهم می‌کند.

۵. منابع

- Angus, J.F., & Moncur, M.W. (1977). Water stress and phenology in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 28(2), 177-181.
- Bagnall, D.J., King, R.W., & Hangarter, R.P. (1996). Blue-light promotion of flowering is absent in hy4 mutants of *Arabidopsis*. *Planta*, 200(2), 278-280.
- Chen, A., Li, C., Hu, W., Lau, M.Y., Lin, H., Rockwell, N.C., & Dubcovsky, J. (2014). Phytochrome c plays a major role in the acceleration of wheat flowering under long-day photoperiod. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10037-10044.
- Craig, D.S., & Runkle, E.S. (2012). Using LEDs to quantify the effect of the red to far-red ratio of night-interruption lighting on flowering of photoperiodic crops. In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956 (pp. 179-186).
- Fathi, R. (2023) The effect of different vernalization methods on accelerating the generation cycle of winter wheat. Master thesis. University of Tehran.
- Eskins, K. (1992). Light- quality effects on *Arabidopsis* development. Red, blue and far- red regulation of flowering and morphology. *Physiologia Plantarum*, 86(3), 439-444.
- Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T., & Olsen, J.E. (2016). Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 102-111.
- Fukuda, N., Ishii, Y., Ezura, H., & Olsen, J.E. (2009). Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of *FBP28* in petunia. In VI International Symposium on Light in Horticulture 907. (pp. 361-366).

- Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo, M.M., & Brown, C.S. (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, 48(7), 1407-1413.
- Ghosh, S., Watson, A., Gonzalez-Navarro, O.E., Ramirez-Gonzalez, R.H., Yanes, L., Mendoza-Suárez, M., & Hickey, L.T. (2018). Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. *Nature Protocols*, 13(12), 2944-2963.
- Guóth, A., Tari, I., Gallé, Á., Csiszár, J., Pécsváradi, A., Cseuz, L., & Erdei, L. (2009). Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: Changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 167-176.
- Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., & Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38(3), 225-230.
- Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M., & Schnurbusch, T. (2008). Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany*, 59(12), 3327-3346.
- Liu, X.Y., Chang, T.T., Guo, S.R., Xu, Z.G., & Li, J. (2009). Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling. In VI International Symposium on Light in Horticulture 907 (pp. 325-330).
- Mozley, D., & Thomas, B. (1995). Developmental and photobiological factors affecting photoperiodic induction in *Arabidopsis thaliana* Heynh. *Landsberg erecta*. *Journal of Experimental Botany*, 46(2), 173-179.
- Takemiya, A., Inoue, S.I., Doi, M., Kinoshita, T., & Shimazaki, K.I. (2005). Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *The Plant Cell*, 17(4), 1120-1127.
- Urrea, C.A., Yonts, C.D., Lyon, D.J., & Koehler, A.E. (2009). Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in western Nebraska. *Crop Science*, 49(6), 2005-2010.
- Watson, A., Ghosh, S., Williams, M.J., Cuddy, W.S., Simmonds, J., Rey, M.D., & Hickey, L.T. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*, 4(1), 23-29.
- Xoconostle-Cázares, B., Gutiérrez-Galeano, D., Laguna-Agreda, A.D., Duplat-Bermúdez, L., Ruiz-Salas, J., López-Vera, E., & Ruiz-Medrano, R. 4. Novel strategies for the improvement of crop productivity. *Biotechnology: Beyond Borders*, 22.
- Yao, Y., Zhang, P., Wang, H.B., Lu, Z.Y., Liu, C.J., Liu, H., & Yan, G.J. (2016). How to advance up to seven generations of canola (*Brassica napus* L.) per annum for the production of pure line populations? *Euphytica*, 209(1), 113-119.
- Yazdi-Samadi, B., Mohammadi, V., & Abdmishani, S. (2010). Breeding field crops. *Nashre Daneshgahi Tehran*.
- Zaydis, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.
- Zheng, Z., Wang, H.B., Chen, G.D., Yan, G.J., & Liu, C.J. (2013). A procedure allowing up to eight generations of wheat and nine generations of barley per annum. *Euphytica*, 191(2), 311-316.