



## Impact of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biochemical and Yield Traits of Two Durum Wheat Cultivars Under Rainfed and Supplementary Irrigation Conditions

Parvaneh Hataminia<sup>1</sup> | Nosratolah Abbasi<sup>2</sup> | Mohammad Javad Zarea<sup>3</sup>

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran. E-mail: [p.hatami@ag.iut.ac.ir](mailto:p.hatami@ag.iut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: [n.abbasi@ilam.ac.ir](mailto:n.abbasi@ilam.ac.ir)
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: [mj.zarea@ilam.ac.ir](mailto:mj.zarea@ilam.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 6 May 2019

Received in revised form

19 November 2024

Accepted 25 November 2024

Published online 30 December 2024

#### Keywords:

*Antioxidant enzymes*

*Azospirillum*

*Azotobacter*

*Chlorophyll*

*Water stress*

### ABSTRACT

**Objective:** Given the challenges of water scarcity and the need for sustainable agricultural practices, this study was conducted to evaluate the impact of plant growth-promoting bacteria on the physiological traits of durum wheat at the research farm of Ilam University during the 2016-2017 growing season. The experiment was carried out as a factorial based on a randomized complete block design with three replications.

**Methods:** The factors comprised three levels of plant growth-promoting rhizobacteria (*Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* and non-inoculated), irrigation in two levels (supplementary irrigation and rainfed), and two durum wheat cultivars (Saji and Dehdasht).

**Results:** Supplemental irrigation significantly increased chlorophyll b and total chlorophyll content by 13.47% and 15.45% compared to rainfed conditions, respectively. *Azospirillum* and *Azotobacter* increased carotenoid concentration by 27% and 18.66% compared to the control, respectively. Moreover, the carotenoid concentration in the Saji cultivar was 21.42% higher than in the Dehdasht cultivar. The lowest anthocyanin concentration was observed in both Saji and Dehdasht cultivars under irrigated conditions (0.0055 and 0.0042 mmol g<sup>-1</sup> fresh weight, respectively) and without bacterial inoculation. The Dehdasht cultivar had the highest leaf area index (6) compared to the Saji cultivar. A 16.60% decrease in the relative water content of leaves was observed at the reproductive stage under rainfed conditions. Among the two cultivars, the Dehdasht cultivar had a higher relative water content (55.03%). The highest ion leakage was observed under rainfed conditions (85.99%). *Azospirillum* and *Azotobacter* bacteria reduced ion leakage by 19.47% and 17.80% compared to the control, respectively. Catalase activity increased under rainfed conditions. Catalase activity was 15% higher in the Dehdasht cultivar than in the Saji cultivar. Plant growth promoting bacteria increased leaf area index, total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, and catalase activity. Seed inoculation with *Azospirillum* bacteria increased peroxidase activity, and among the two inoculated cultivars, the Dehdasht cultivar had higher enzyme activity (27.60 μmol g<sup>-1</sup> fresh weight of leaf). The highest grain yield (2923 kg ha<sup>-1</sup>) of durum wheat cultivars was obtained under supplemental irrigation conditions and inoculation with plant growth promoting bacteria.

**Conclusion:** The obtained results demonstrated the positive effect of growth promoting bacteria on common cultivars of the Ilam area under supplementary irrigation.

**Cite this article:** Hataminia, P., Abbasi, N., & Zarea, M. J. (2025). Impact of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biochemical and Yield Traits of Two Durum Wheat Cultivars Under Rainfed and Supplementary Irrigation Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26 (4), 687-705. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.276687.2175>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.276687.2175>

Publisher: University of Tehran Press.



## تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دو رقم گندم دوروم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

پروانه حاتمی‌نیا<sup>۱</sup> | نصرت‌اله عباسی<sup>۲\*</sup> | محمدجواد زارع<sup>۳</sup>

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [p.hatami@ag.iut.ac.ir](mailto:p.hatami@ag.iut.ac.ir)  
 ۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: [n.abbasi@ilam.ac.ir](mailto:n.abbasi@ilam.ac.ir)  
 ۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: [mj.zarea@ilam.ac.ir](mailto:mj.zarea@ilam.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶  
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹  
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵  
 تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

### چکیده

**هدف:** با توجه به چالش‌های کمبود آب و نیاز به شیوه‌های کشاورزی پایدار، این مطالعه به منظور بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد بر صفات فیزیولوژیکی گندم دوروم در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

**روش پژوهش:** فاکتورهای آزمایش شامل باکتری‌های محرک رشد در سه سطح (آزوسپیریوم برازیلیس *Azospirillum brasilense*، ازتوباکتر کروکوکوم *Azotobacter chroococcum* و عدم تلقیح)، آبیاری در دو سطح (آبیاری تکمیلی و دیم) و دو رقم گندم دوروم (ساجی و دهدشت) بود.

**یافته‌ها:** آبیاری تکمیلی غلظت کلروفیل b و کل را به ترتیب به میزان ۱۳/۴۷ و ۱۵/۴۵ درصد نسبت به شرایط دیم افزایش داد. آزوسپیریوم و ازتوباکتر غلظت کاروتنوئیدها به ترتیب ۲۷ و ۱۸/۶۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. هم‌چنین غلظت کاروتنوئید در رقم ساجی ۲۱/۴۲ درصد بیش‌تر از رقم دهدشت بود. کم‌ترین غلظت آنتوسیانین از دو رقم ساجی و دهدشت در شرایط آبیاری (۰/۰۰۵۵ و ۰/۰۰۴۲ میلی‌مولار بر گرم وزن تر) و بدون تلقیح باکتری حاصل گردید. رقم دهدشت بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۶)، در مقایسه با رقم ساجی دارا بود. کاهش ۱۶/۶۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ در مرحله زایشی گیاه تحت شرایط دیم مشاهده گردید. در بین دو رقم کشت‌شده، رقم دهدشت دارای محتوای نسبی آب برگ (۵۵/۰۳ درصد) بیش‌تری بود. بیش‌ترین مقدار نشت یونی در شرایط دیم (۸۵/۹۹ درصد) حاصل شد. باکتری آزوسپیریوم و ازتوباکتر باعث کاهش نشت یونی به ترتیب ۱۹/۴۷ و ۱۷/۸۰ درصد نسبت شاهد شدند. فعالیت آنزیم کاتالاز تحت شرایط دیم افزایش یافت. فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم دهدشت ۱۵ درصد بیش‌تر از رقم ساجی بود. باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش شاخص سطح برگ، کلروفیل کل، a، b و فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. تلقیح بذرها با باکتری آزوسپیریوم باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید و در بین دو رقم مایه‌زنی‌شده رقم دهدشت (۲۷/۶۰ میکرو مول بر گرم وزن تر برگ) از فعالیت آنزیمی بیش‌تری برخوردار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) ارقام گندم دوروم در شرایط آبیاری تکمیلی و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد حاصل گردید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری تکمیلی بر ارقام رایج منطقه ایلام می‌باشد.

### کلیدواژه‌ها:

آزوسپیریوم  
 آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت  
 ازتوباکتر  
 تنش رطوبتی  
 کلروفیل

**استناد:** حاتمی‌نیا، پروانه؛ عباسی، نصرت‌اله و زارع، محمدجواد (۱۴۰۳). تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد دو رقم گندم دوروم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۴)، ۶۸۷-۷۰۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.276687.2175>



## ۱. مقدمه

گندم دوروم یا گندم ماکارونی<sup>۱</sup> به‌عنوان یک محصول غذایی با اهمیت، تولیدی معادل ۳۵ میلیون تن در جهان دارد و محصول اصلی در چندین کشور دنیا است (آی پی او<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳). دوره زایشی و پرشدن گندم در اواخر بهار همزمان با افزایش دمای هوا و کم‌آبی مواجه بوده و بنابراین رشد گیاه تحت تأثیر تنش‌های گرمایی و خشکی قرار گرفته و از پتانسیل تولید کاسته می‌شود (نوریانی، ۱۳۹۵).

خشک‌سالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که هر ساله خسارت‌های هنگفتی به این محصولات در جهان به‌ویژه ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد، وارد می‌نماید (موسوی<sup>۳</sup> و رضانی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷). تنش خشکی عامل اصلی کاهش رشد گیاهان و عملکرد آن‌ها در مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود که باعث تغییرات ساختاری، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان گردیده است (گش<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). کاهش پایداری غشای سلولی، محتوای نسبی آب، زودرسی، کاهش سطح برگ، اندازه کوچک بوته، افزایش وزن خشک و نسبت ریشه به ساقه و پاسخ سرعت تعرق کل گیاه به افزایش کمبود فشار بخار اتمسفر با تحمل به خشکی در گندم مرتبط است (احمد<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). هنگامی که جذب آب به‌وسیله ریشه پایین و یا سرعت تعرق بیش‌تر از جذب آب باشد، گیاهان تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. تنش کم‌آبی سرعت رشد، سرعت فتوسنتز، جذب آب و در نهایت تولید زیست‌توده را در گیاهان کاهش می‌دهد (آهنگر<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). تنش خشکی با برهم‌زدن مکانیسم جذب نور و استفاده از آن باعث کاهش فتوسنتز می‌شود و بر متابولیسم رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر منفی می‌گذارد، اختلال در دستگاه فتوسنتزی منجر به کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، بازده فتوشیمیایی PSII و سرعت انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود (شارما<sup>۸</sup> و ژانگ<sup>۹</sup>، ۲۰۱۹). تنش خشکی باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل و در نتیجه تنش اکسیداتیو می‌شود (ورما<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). گیاهان معمولاً با دفاع آنتی‌اکسیدانی با تنش اکسیداتیو مقابله می‌کنند که از مهم‌ترین آنزیم‌ها در سیستم دفاع آنزیمی می‌توان به آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و پراکسیداز اشاره کرد (فوهاد<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). برخی مطالعات نشان داده است تنش خشکی باعث کاهش در محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و پروتئین محلول ژنوتیپ‌های گندم گردید (طالع‌احمد و حداد، ۱۳۹۸).

کودهای زیستی از طریق کمک به جذب نیتروژن، فسفر و گوگرد و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های موردنیاز گیاه دارند، باعث افزایش میزان بافت‌های فتوسنتزی در گیاه می‌شود، در نتیجه سبب افزایش تحمل گیاه به تنش می‌گردد (رضایی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶). نقش باکتری‌های محرک رشد به‌همراه آبیاری تکمیلی در افزایش تحمل به تنش خشکی در گندم به‌دلیل کاهش میزان تولید بیومارکرهای بیوشیمیایی که نتیجه آن کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن که تحت تنش خشکی ایجاد می‌گردد، می‌باشد. در نتیجه گیاه انرژی کم‌تری را صرف تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جهت مقابله با بیومارکرهای بیوشیمیایی می‌نماید (داودی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱).

1. *Triticum turgidum* L. Subsp. durum

2. IPO

4. Moosavi

5. Ramazani

6. Ghosh

7. Ahmad

8. Ahanger

9. sharma

10. Zheng

11. Verma

12. Fahad

بارناول<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که در سطوح نسخه‌برداری، باکتری محرک رشد گیاه باعث القای ژن‌های مسئول در تنش خشکی و به‌دنبال آن افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنش می‌شود. نتایج پژوهش فنایی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که آبیاری در همه مراحل رشد به‌ویژه مراحل حساس به خشکی (گلدهی و پرشدن دانه) و استفاده از کودهای زیستی تأثیر مثبت در بهبود عملکرد کمی و کیفی گلرنگ داشت. پژوهش‌ها نشان داده که در اثر تلقیح باکتریایی بر گیاه آفتابگردان، فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان رنگدانه‌های کلروفیل a و b و کاروتن قبل و بعد از گلدهی افزایش یافته و در نتیجه تولید انرژی و در نهایت رشد آفتابگردان در تیمار کود زیستی نسبت به تیمار کنترل (عدم تلقیح) بیش‌تر بود (یوسف‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). چاکرابورتی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که سطوح آنتی‌اکسیدانی در گندم در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد زیاد می‌شود. مرادی و زارع (۱۴۰۰) گزارش کردند پاسخ عملکرد دانه و برخی اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد گندم به باکتری آزوسپیریلوم تحت تأثیر نوع گندم و تاریخ کاشت متفاوت بود. در حالی که پاسخ عملکرد دانه و تعداد سنبله در واحد سطح دو رقم زاگرس و کوه‌دشت به تلقیح با باکتری آزوسپیریلوم مثبت بود اما پاسخ رقم محلی منفی بود. با وجود نیاز مبرم صنایع ماکارونی‌سازی کشور به گندم دوروم و وجود ارقام و لاین‌های پرمحصول و سازگار به محیط‌های خشک و کم‌آبی، این گندم تاکنون جایگاه مناسبی در منطقه پیدا نکرده و اهمیت آن برای زارعین ناشناخته مانده است. لذا با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، هم‌چنین نظر به اهمیت گندم به‌عنوان یک گیاه زراعی مهم، این مطالعه با هدف ارزیابی بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام گندم دوروم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی اجرا گردید.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا اجرا شد. بافت خاک محل آزمایش لومی- شنی و سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بود. مشخصات آب‌وهواشناسی منطقه ایلام سال ۹۵-۱۳۹۶ در جدول (۱) و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات آب‌وهواشناسی منطقه ایلام ۹۵-۱۳۹۶

| ماه                           | مهر  | آبان | آذر  | دی   | بهمن  | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد |
|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|---------|----------|-------|
| سال                           | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۵  | ۱۳۹۵  | ۱۳۹۶    | ۱۳۹۶     | ۱۳۹۶  |
| میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) | ۲۰/۶ | ۱۶/۴ | ۶/۶  | ۷    | ۳/۴   | ۸/۸   | ۱۳/۲    | ۱۹/۹     | ۲۴/۴  |
| بارش (میلی‌متر)               | ۲/۵  | ۰/۲  | ۱۸   | ۷۵   | ۱۳۱/۷ | ۸۲/۵  | ۱۴۰     | ۱۹/۹     | ۰     |

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل تلقیح با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در سه سطح (باکتری آزوسپیریلوم برازیلینس<sup>۳</sup>، باکتری ازتوباکتر کروکوکوم<sup>۴</sup> و عدم تلقیح یا شاهد)، آبیاری در دو سطح (آبیاری تکمیلی و دیم) و دو رقم گندم دوروم (ساجی و دهدشت) می‌باشد.

1. Barnawal
2. Chakraborty
3. *Azospirillum brasilense*
4. *Azotobacter Chroococcum*

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک)

| نیترژن کل<br>(درصد) | پتاسیم قابل جذب<br>(پی پی ام) | فسفر قابل جذب<br>(پی پی ام) | کربن آلی<br>(درصد) | اسیدیته | هدایت الکتریکی<br>(دسی زیمنس بر متر) | بافت خاک<br>لومی - شنی |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------|--------------------------------------|------------------------|
| ۰/۰۳                | ۲۱۴/۵۰                        | ۸/۲۰                        | ۰/۳۳               | ۸/۲۰    | ۰/۲۰                                 |                        |

عملیات اولیه شخم زمین در تابستان سال ۱۳۹۵ با گاواهن برگردان دار صورت گرفت، در اوایل آذرماه عملیات آماده‌سازی تکمیلی زمین شامل شخم، دیسک‌زنی، بلوک‌بندی و کرت‌بندی انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر با طول سه متر بود. عملیات کاشت به صورت دستی و با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع صورت گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک در زمان کاشت اقدام به استفاده از کود اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) گردید. مایه تلقیح باکتری‌ها به صورت بذرمال قبل از کاشت استفاده گردید. مایه تلقیح باکتری‌ها در آزمایشگاه گروه زراعت دانشگاه ایلام تهیه گردید. جمعیت باکتری‌ها  $10^7$  سلول باکتری در هر میلی لیتر مایه تلقیح بود (مرادی و زارع، ۱۴۰۰). در این پژوهش آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه به روش نشتی انجام شد. میزان آب لازم برای هر مرحله آبیاری در تیمارهای مختلف طوری تعیین گردید که تا عمق توسعه ریشه به حد ظرفیت زراعی برسد. عمق توسعه ریشه با نمونه‌برداری به طور تصادفی از پلات‌ها تعیین گردید. به منظور مشخص کردن درصد وزنی رطوبت خاک و محاسبه میزان آب موردنیاز از هر کرت نمونه‌هایی تا عمق توسعه ریشه برداشت و بلافاصله وزن مرطوب آن توزین و به مدت ۱۲ ساعت در آن با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. برای وارد کردن میزان آب موردنیاز در هر کرت از کنتور آب استفاده گردید. میزان آب لازم برای هر مرحله آبیاری در تیمارهای مختلف با استفاده از معادله (۱) تعیین گردید.

$$V_w = (F_c - P_{wp}) \times B_d \times A \times D / E_a \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله،  $V_w$  حجم آب آبیاری (متر مکعب)،  $F_c$  درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه ۲۸ درصد به دست آمد)،  $P_{wp}$  درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری (رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری در این آزمایش ۱۴ درصد بود)،  $B_d$  وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $A$  مساحت کرت آزمایشی (۶ مترمربع)،  $D$  عمق ریشه (۶۰ سانتی‌متر) و  $E_a$  راندمان کاربرد آب آبیاری که تقریباً ۹۰ درصد بود. حجم آب موردنیاز برای هر کرت  $0/784$  مترمکعب بود.

مقدار شاخص سطح برگ در مرحله دانه بستن از نسبت سطح برگ به سطح زمینی که برگ‌ها بر آن سایه‌اندازی نموده‌اند، محاسبه شد. برای تعیین شاخص سطح برگ طول و عرض (پهن‌ترین قسمت برگ) برگ‌ها اندازه‌گیری شد و در ضریب  $0/5$  ضرب شد (احمدوند و حاجی‌نیا، ۱۳۹۷).

$$LA = L \times W \times 0.5 \quad LAI = LA / GA \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله،  $A$  سطح برگ،  $L$  طول برگ و  $W$  عرض برگ می‌باشد. هم‌چنین،  $LAI$  شاخص سطح برگ،  $LA$  سطح برگ و  $GA$  سطح زمین است.

در مرحله دانه‌بستن گندم غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شد. برای سنجش میزان کلروفیل  $a$ ،  $b$ ، کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش لیچنتالر<sup>۱</sup> (۱۹۸۷) استفاده شد. بدین منظور  $0/1$  گرم از برگ‌های تازه گیاه وزن و در هاون چینی که حاوی ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد بود ساییده شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها، طیف جذبی آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible (مدل Cary-50 ساخت شرکت واریان<sup>۲</sup> آمریکا) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر

1. Lichtenthaler

2. Varian

خوانده شد. در نهایت غلظت رنگیزه‌های کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۳)} \quad a \text{ کلروفیل} = 12.25(A_{663}) - 2.55(A_{645}) \times V/100 \times W$$

$$\text{رابطه ۴)} \quad b \text{ کلروفیل} = 20.31(A_{645}) - 4.99(A_{663}) \times V/100 \times W$$

$$\text{رابطه ۵)} \quad \text{کل کلروفیل} = 17.76(A_{645}) + 7.43(A_{663}) \times V/100 \times W$$

$$\text{رابطه ۶)} \quad \text{کاروتنوئیدها} = [1000(A_{470}) - 3.27(a \text{ کلروفیل}) - 104(b \text{ کلروفیل})] / 227$$

در روابط فوق، A طول موج جذب اسپکتروفتومتر، V حجم عصاره و W وزن نمونه گیاهی است. در مرحله دانه‌بستن گندم غلظت آنتوسیانین برگ اندازه‌گیری شد (وانگر<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹). مقدار ۰/۱ گرم از برگ گیاه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک‌اسید خالص به نسبت حجمی ۱:۱۰۹۹) کاملاً ساییده و عصاره در لوله‌های آزمایش ریخته پس از بستن درب لوله‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی قرار داده شدند. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری و نتایج برحسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه گردید. محتوای نسبی آب برگ در مرحله دانه‌بستن گندم اندازه‌گیری شد (بارس<sup>۲</sup> و وزرلی<sup>۳</sup>، ۱۹۶۲). ابتدا تعدادی مساوی برگ رسیده و جوان از هر نمونه انتخاب و جدا گردید و بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی به وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند (وزن تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر (جهت آبگیری کامل) در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند و پس از خشک کردن آب سطحی دوباره توزین شدند (وزن اشباع) پس از آن برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون الکتریکی قرار داده شدند. پس از این مدت نمونه‌ها توزین تا وزن خشک به دست آید از معادله (۷) محتوای آب نسبی برگ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۷)} \quad RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

در این معادله، RWC محتوای آب نسبی برگ (درصد)، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک و TW وزن اشباع برگ است.

محتوای نشت یونی در مرحله دانه‌بستن گندم اندازه‌گیری شد (لوتس<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۵). برای این منظور تعداد شش دیسک برگ به صورت تصادفی از گیاهان هر تیمار و از جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته استفاده شد. صفحات دیسک برگی در داخل لوله آزمایش ریخته شد و به منظور حذف آلودگی‌های سطحی سه بار با آب مقطر شست‌وشو شدند. سپس در داخل هر کدام از لوله‌ها مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند، سپس میزان نشت یونی محلول با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی به عنوان EC<sub>1</sub> قرائت گردید و نمونه‌ها در داخل آب جوش به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. بعد از سرد شدن در دمای اتاق قرائت دوم محلول به عنوان EC<sub>2</sub> انجام گرفت. میزان نشت یونی براساس درصدی از نسبت EC<sub>1</sub>/EC<sub>2</sub> محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز از روش ماهلی<sup>۵</sup> و چانس<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) استفاده شد. به منظور سنجش این آنزیم محلول واکنش: ۲۵۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار، ۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۹۴ میکرولیتر آب دو بار تقطیر استریل شده، ۶/۶ میکرولیتر عصاره آنزیمی را به

1. Wanger
2. Barrs
3. Weatherly
4. Lutts
5. Maehly
6. Chance

محلول واکنشی بالا اضافه و در کووت ۱ میلی‌لیتری ریخته شد. با قرار دادن کووت در دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر و در مدت زمان ۱۸۰ ثانیه تغییرات و جذب اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میزان تجزیه شدن  $H_2O_2$  برحسب تغییرات جذب بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

رابطه ۸) غلظت پروتئین محلول (میلی‌گرم) / تغییرات جذب بر دقیقه = میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برای سنجش آنزیم پراکسیداز از روش غناتی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) استفاده شد. به منظور سنجش آنزیم پراکسیداز محلول واکنشی زیر مورد استفاده قرار گرفت. ۷۸۰ میکرولیتر بافر فسفات‌پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۶/۶) میکرولیتر گلیکول ۱ درصد، ۹۰ میکرولیتر پراکسیدهیدروژن ۰/۳ درصد مواد فوق را در بستر یخ در یک کووت (۱ میلی‌لیتری) با هم مخلوط کرده و بلافاصله ۴۰ میکرو لیتر عصاره پروتئینی استخراج شده از برگ گندم که حاوی آنزیم‌های گیاهی می‌باشد به کووت اضافه گردید. منحنی تغییرات جذب و فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر در مدت زمان ۱۸۰ ثانیه قرائت شده و در نهایت فعالیت آنزیم برحسب تغییرات جذب بر دقیقه در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

رابطه ۹) غلظت پروتئین محلول (میلی‌گرم) / تغییرات جذب بر دقیقه = میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)<sup>۲</sup> در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای برآزش منحنی‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل<sup>۳</sup> استفاده شد.

#### ۴. یافته‌های پژوهش

##### ۴.۱. رنگ‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد محتوی کلروفیل a تحت تأثیر اثر ساده کود زیستی و اثرات متقابل (آبیاری × رقم) و (آبیاری × کود زیستی × رقم) در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). اثرات ساده آبیاری و کود زیستی بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین غلظت کلروفیل کل تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری در سطح احتمال یک درصد و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید و اثرات متقابل بررسی شده بر این دو صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). غلظت کاروتنوئید تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری، رقم و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها گویای آن است کلیه آثار به‌جز رقم به‌طور معنی‌داری غلظت آنتوسیانین را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد در شرایط دیم بیش‌ترین غلظت کلروفیل a از رقم ساجی در تلقیح با ازتوباکتر (با میانگین غلظت ۱۰/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل گردید. در شرایط دیم تلقیح با باکتری‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a در رقم دهدشت نداشت. درحالی‌که در شرایط آبیاری تکمیلی، باکتری آزوسپیریلوم و ازتوباکتر باعث افزایش غلظت کلروفیل a در هر دو رقم دهدشت و ساجی نسبت به شاهد گردید (جدول ۴).

غلظت کلروفیل b، کل و کاروتنوئیدها به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۴۷، ۱۵/۴۵ و ۳۲/۳۹ درصد در مقایسه با شرایط دیم افزایش داد (جدول ۵). تلقیح با باکتری‌های آزوسپیریلوم و ازتوباکتر باعث افزایش غلظت کلروفیل a، b و کل گردید (جدول ۵). آزوسپیریلوم و ازتوباکتر غلظت کاروتنوئیدها به‌ترتیب ۲۷ و ۱۸/۶۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۵). همچنین غلظت کاروتنوئید در رقم ساجی ۲۱/۴۲ درصد بیش‌تر از رقم دهدشت بود (جدول ۵).

1. Ghanati

2. Least Significant Difference

3. Excel

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک گندم

| منابع تغییرات            | درجه آزادی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید | آنتوسیانین | شاخص سطح برگ | محتوای آب نسبی برگ | نشست یونی | کاتالاز  | پراکسیداز | عملکرد دانه |
|--------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------------------|-----------|----------|-----------|-------------|
| بلوک                     | ۲          | ۱/۴۴۶ns   | ۱/۲۱۲ns   | ۰/۵۲۲ns    | ۰/۳۸۹ns    | ۰/۰۰۰۰۰۱ns | ۱/۱۴۸ns      | ۰/۳۸۹ns            | ۳۱۵/۱۰ns  | ۰/۶۷ns   | ۲/۰۵ns    | ۹۱۹۲ns      |
| آبیاری (I)               | ۱          | ۰/۰۸۰ns   | ۴/۸۱۶**   | ۴۲/۹۷۱**   | ۴/۳۲۲**    | ۰/۰۰۰۰۰۲** | ۲/۹۱۷ns      | ۸۹/۰۸۰**           | ۷۵۳/۶۸**  | ۷۴/۲۴**  | ۱۶۴/۱۴**  | ۱۵۱۳۹۶۶ns   |
| رقم (C)                  | ۱          | ۰/۵۶۹ns   | ۰/۰۵۲ns   | ۰/۴۶۳ns    | ۲/۰۹۸**    | ۰/۰۰۰۰۰۵ns | ۸/۷۲۴**      | ۶۸/۹۱۰**           | ۱۴۱/۰۶ns  | ۲/۶۷**   | ۱۷/۶۹**   | ۲۸۶۸۵**     |
| کود زیستی (B)            | ۲          | ۱۵/۴۸۰**  | ۵/۷۰۱**   | ۶/۵۶۵*     | ۱/۷۸۳**    | ۰/۰۰۰۰۰۱** | ۶/۶۵۳**      | ۱۴۳/۱۶**           | ۲۹/۸۰ns   | ۹/۲۶**   | ۱۶۲/۰۲**  | ۱۴۷۶۵۴۷**   |
| آبیاری × کود زیستی       | ۲          | ۰/۲۷۷ns   | ۰/۰۰۷ns   | ۰/۹۸۹ns    | ۰/۱۹۱ns    | ۰/۰۰۰۰۰۳** | ۲/۲۵۲ns      | ۹/۸۴۵ns            | ۴۳۳/۴۷ns  | ۰/۰۶ns   | ۳۶/۹۶**   | ۲۷۱۹۱ns     |
| آبیاری × رقم             | ۱          | ۳/۵۹۳**   | ۰/۰۲۵ns   | ۵/۳۸۹ns    | ۰/۳۱۵ns    | ۰/۰۰۰۰۰۶** | ۰/۵۱۲ns      | ۳۰/۳۷۰ns           | ۳۷۰/۳۲ns  | ۰/۰۰۲۵ns | ۱/۹۳ns    | ۲۷۴۰۵۲*     |
| رقم × کود زیستی          | ۲          | ۱/۵۴۵ns   | ۰/۰۲۸ns   | ۲/۵۷۳ns    | ۰/۱۱۷ns    | ۰/۰۰۰۰۰۲*  | ۲/۶۰۴ns      | ۳/۳۱۲ns            | ۲۰۷/۷۲ns  | ۰/۴۶۰۲ns | ۱۴/۴۱*    | ۲۸۹۹۳۱*     |
| آبیاری × کود زیستی × رقم | ۲          | ۳/۲۷۳**   | ۰/۸۳۹ns   | ۰/۹۷۹ns    | ۰/۳۹۳ns    | ۰/۰۰۰۰۰۲** | ۰/۰۲۳ns      | ۵/۲۷۳ns            | ۱۷/۰۲ns   | ۰/۱۱۰۸ns | ۱۰/۲۲ns   | ۱۵۶۹۴۴ns    |
| خطای آزمایشی             | ۲۲         | ۰/۵۵۶     | ۰/۷۰۱     | ۱/۷۹۰      | ۰/۱۴۶      | ۰/۰۰۰۰۰۰۶  | ۱/۲۸۰        | ۸/۸۴۴              | ۱۶۵/۳۹    | ۰/۳۳۸۲   | ۲/۲۲      | ۶۲۱۷۷       |
| ضریب تغییرات (درصد)      | -          | ۸/۰۰      | ۱۴/۲۸     | ۸/۶۸       | ۱۵/۴۰      | ۱۱/۲۸      | ۲۰/۴۰        | ۵/۵۴               | ۱۵/۷۹     | ۱۶/۳۴    | ۷/۰۱      | ۱۰/۳۱       |

ns: \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۴. اثرات کود زیستی بر غلظت کلروفیل a و آنتوسیانین برگ دو رقم گندم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

| آبیاری        | کود زیستی  | کلروفیل a                         |                                    | آنتوسیانین                        |                                    |
|---------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|               |            | ساجی (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) | دهدشت (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) | ساجی (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) | دهدشت (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) |
| دیم           | شاهد       | ۸/۸۶d                             | ۷/۸۸d                              | ۰/۰۰۵۶cd                          | ۰/۰۰۵۵cd                           |
|               | ازتوباکتر  | ۱۰/۷۲a                            | ۹/۲۲bc                             | ۰/۰۰۸a                            | ۰/۰۰۹۲a                            |
|               | آزوسپیریوم | ۸/۸۵bcd                           | ۸/۸۶bcd                            | ۰/۰۰۹۵a                           | ۰/۰۰۹۵a                            |
| آبیاری تکمیلی | شاهد       | ۸/۳۸cd                            | ۷/۹۷cd                             | ۰/۰۰۵۵cd                          | ۰/۰۰۴d                             |
|               | ازتوباکتر  | ۱۰/۶۹a                            | ۱۰/۰۸ab                            | ۰/۰۰۶۷b                           | ۰/۰۰۷bc                            |
|               | آزوسپیریوم | ۱۰/۵۴a                            | ۱۰/۶۹a                             | ۰/۰۰۶۵bc                          | ۰/۰۰۶۲bc                           |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات فیزیولوژیکی برگ گندم تحت تأثیر اثر آبیاری، رقم و کود زیستی

| آبیاری        | کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) | کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) | کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) | شاخص سطح برگ | محتوای آب نسبی برگ (درصد) | نشست یونی (درصد) | کاتالاز (میکرو مول بر گرم وزن تر برگ) |
|---------------|--|---|---|--------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|               |  |   |   |              |                           |                  |                                       |
| آبیاری تکمیلی | ۶/۲۳a                                  | ۱۶/۵۱a                                  | ۲/۸۲a                                   | ۴/۱۸a        | ۵۵/۲۲a                    | ۷۶/۸۴b           | ۲/۱۲b                                 |
| کود زیستی     |  |   |   |              |                           |                  |                                       |
| شاهد          | ۵/۰۶b                                  | ۱۴/۵۷b                                  | ۲/۰۹b                                   | ۳/۴۱b        | ۴۹/۶۶b                    | ۸۳/۶۲a           | ۲/۵b                                  |
| ازتوباکتر     | ۶/۲۴a                                  | ۱۵/۹۹a                                  | ۲/۴۸a                                   | ۴/۵۴a        | ۵۵/۵۷a                    | ۸۱/۷۴a           | ۳/۸a                                  |
| آزوسپیریوم    | ۶/۲۸a                                  | ۱۵/۶۵a                                  | ۲/۶۶a                                   | ۴/۳۸a        | ۵۵/۷۱a                    | ۷۹/۶۹a           | ۴/۲a                                  |
| رقم           |  |   |   |              |                           |                  |                                       |
| ساجی          | ۵/۶۲a                                  | ۱۵/۲۹a                                  | ۲/۷۲a                                   | ۳/۹۴a        | ۵۲/۲۶a                    | ۸۳/۳۹a           | ۳/۲۳a                                 |
| دهدشت         | ۶/۰۲a                                  | ۱۵/۵۲a                                  | ۲/۳۴b                                   | ۴/۲۷a        | ۵۵/۰۳b                    | ۷۹/۹۹a           | ۳/۸۷b                                 |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

کم‌ترین غلظت آنتوسیانین از دو رقم ساجی و دهدشت در شرایط آبیاری (۰/۰۰۵۵ و ۰/۰۰۴۲ میلی‌مولار بر گرم وزن تر) و بدون تلقیح باکتری حاصل گردید. بیش‌ترین غلظت آنتوسیانین تحت شرایط دیم در تلقیح با باکتری آزوسپیریوم در



رقم ساجی و دهدشت مشاهده گردید که با رقم دهدشت و ساجی تحت شرایط دیم و تلقیح با باکتری ازتوباکتر اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴).

#### ۲.۴. شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ تحت تأثیر اثرات ساده رقم و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). باکتری آزوسپیریوم و ازتوباکتر باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شدند، اما ازتوباکتر برتری بیش‌تری نسبت به آزوسپیریوم داشت و بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۶/۲۴) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در بین دو رقم کشت‌شده، رقم دهدشت دارای شاخص سطح برگ بیش‌تری (۶) بود (جدول ۵).

#### ۳.۴. محتوای آب نسبی برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس آماری نشان داد اثرات ساده آبیاری، رقم، کود زیستی بر روی صفت محتوای نسبی برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). آزوسپیریوم و ازتوباکتر باعث افزایش به‌ترتیب ۷/۴۱ و ۷/۵۹ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد (عدم تلقیح) شدند (جدول ۵). کاهش ۱۶/۶۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ در مرحله زایشی گیاه تحت شرایط دیم مشاهده گردید (جدول ۵). در بین دو رقم کشت‌شده، رقم دهدشت دارای محتوای نسبی آب برگ بیش‌تری بود (جدول ۵).

#### ۴.۴. نشت یونی

نشت یونی تحت تأثیر آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). کاربرد باکتری‌های محرک رشد کاهش نشت یونی را به‌دنبال دارد و تنش خشکی اثر افزایشی بر نشت یونی داشته است (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار نشت یونی در شرایط دیم (۸۵/۹۹ درصد) حاصل شد (جدول ۵). باکتری آزوسپیریوم و ازتوباکتر باعث کاهش نشت یونی به‌ترتیب ۱۹/۴۷ و ۱۷/۸۰ درصد نسبت شاهد شدند (جدول ۵).

جدول ۶. تأثیر کود زیستی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه گندم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

| کود زیستی  | رقم   | آنزیم پراکسیداز<br>(میکرومول بر گرم وزن تر برگ) | عملکرد دانه<br>(کیلوگرم در هکتار) |
|------------|-------|---|-----------------------------------|
| شاهد       | ساجی  | ۱۸/۲۵bc   | ۲۰۱۹/۸۸c                          |
|            | دهدشت | ۱۸/۴۷c  | ۲۰۴۸/۰۰c                          |
| ازتوباکتر  | ساجی  | ۲۰/۵۷bc   | ۲۹۲۳/۰۳a                          |
|            | دهدشت | ۲۲/۱۷ab   | ۲۵۲۲/۱۷abc                        |
| آزوسپیریوم | ساجی  | ۲۲/۹۰ab   | ۲۳۹۲/۵۵bc                         |
|            | دهدشت | ۲۷/۶۰a  | ۲۵۹۵/۹۳ab                         |

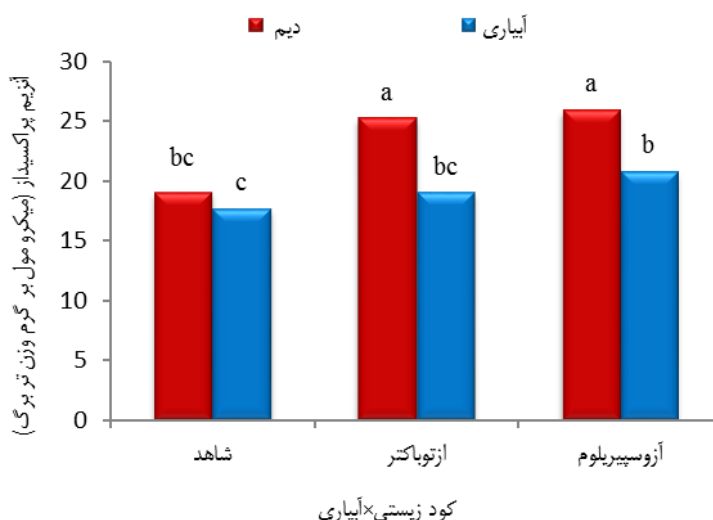
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۵.۴. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

##### ۱.۵.۴. فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد آنزیم کاتالاز تحت تأثیر اثرات ساده آبیاری، رقم و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). شرایط دیم باعث افزایش ۱۰۰ درصدی غلظت آنزیم کاتالاز نسبت به شرایط آبیاری

گردید (جدول ۵). رقم دهدشت دارای فعالیت آنزیمی بیش‌تری (۱۵ درصد) نسبت به رقم ساجی بود (جدول ۵). باکتری‌های آروسپیریلوم و ازتوباکتر باعث افزایش به‌ترتیب ۶۸ و ۵۲ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) گردید (جدول ۵).



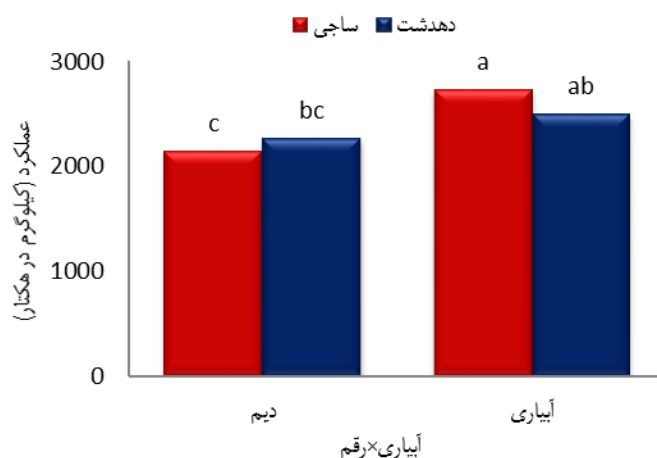
شکل ۱. تأثیر کود زیستی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

#### ۲.۵.۴. فعالیت آنزیم پراکسیداز

اثرات ساده آبیاری، رقم و کود زیستی و اثر متقابل (آبیاری × کود زیستی) در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل (رقم × کود زیستی) در سطح احتمال ۵ درصد بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش قابل‌توجهی در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط دیم گردید (شکل ۱). مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم × کود زیستی (جدول ۶) نشان می‌دهد تلقیح بذرها با باکتری آروسپیریلوم باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید و در بین دو رقم مایه‌زنی‌شده رقم دهدشت از فعالیت آنزیمی بیش‌تری برخوردار بود.

#### ۲.۶.۴. عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات رقم، کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل (آبیاری × رقم) و (رقم × کود زیستی) در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری × رقم نشان می‌دهد بیش‌ترین عملکرد دانه از هر دو رقم در شرایط آبیاری تکمیلی و کم‌ترین مقدار عملکرد از رقم ساجی در شرایط دیم (۲۱۵۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید (شکل ۲). هم‌چنین مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم × کود زیستی گویای آن بود که بیش‌ترین عملکرد رقم ساجی در تلقیح با آروسپیریلوم (۲۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) و بیش‌ترین عملکرد رقم دهدشت در تلقیح با هر دو باکتری حاصل گردید، کم‌ترین مقدار عملکرد از هر دو رقم بدون تلقیح باکتری محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۶).



شکل ۲. اثرات آبیاری بر عملکرد دانه دو رقم گندم دوروم

## ۵. بحث

محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد و به‌عنوان یک معیار بسیار مفید جهت ارزیابی وضعیت فیزیولوژیک گیاه مورد توجه می‌باشد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که محتوای کلروفیل a تحت تأثیر کود زیستی و اثرات متقابل آبیاری و رقم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. برخی از پژوهش‌گران بر این عقیده‌اند که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد، جذب نیتروژن توسط گیاه را افزایش می‌دهند و از این طریق منجر به افزایش غلظت کلروفیل می‌شوند (وو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

کاهش محتوای کلروفیل با افزایش شدت تنش خشکی یا آبیاری محدود توسط دیگر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (ماده‌خاکسار و همکاران، ۱۳۹۳؛ نصراله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین مشخص شده است، تحت تنش کم‌آبی جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، به‌واسطه کاهش مقادیر تعرق، مختل شدن سیستم انتقال فعال و نفوذپذیری غشا و در نتیجه کاهش نیروی جذب‌کنندگی ریشه گیاه کاهش می‌یابد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰).

افزایش غلظت کاروتنوئیدها تحت تأثیر آبیاری و کود زیستی نیز به‌روشنی بیانگر این است که این عوامل می‌توانند به افزایش حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی کمک کنند. کاروتنوئیدها شامل بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های چربی‌دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست هستند که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند. کاروتنوئیدها علاوه بر نقش ساختمانی و جذب نور می‌توانند به‌صورت مستقیم اکسیژن یکتایی را غیرفعال کنند و یا از طریق فرونشاندن کلروفیل برانگیخته شده، به‌صورت غیرمستقیم از تشکیل اکسیژن یکتایی جلوگیری کنند. ساکسنا<sup>۲</sup> و سائرام<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر گندم افزایش می‌یابد و بیان نمودند که افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط تنش رطوبتی در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی گندم، موجب حفظ مقادیر بالاتر کلروفیل در این ارقام می‌گردد. کاهش در محتوای کاروتنوئیدها در ذرت (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴) در اثر تنش خشکی گزارش شده است.

1. Wu  
2. Saxena  
3. Sairam

جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند کاربرد نیتروکسین (آزوسپیریوم + ازتوباکنر) تحت شرایط تنش باعث افزایش آنتوسیانین در گیاه نسبت به بقیه تیمارهای کودی شد. آن‌ها اظهار کردند افزایش محتوی آنتوسیانین برگ گیاه باعث افزایش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی و پرولین شده و بین آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. از آنجاکه دو رقم مورد مطالعه تحت شرایط یکسانی قرار داشتند، بنابراین، اختلاف مشاهده‌شده بین دو رقم کشت‌شده در مقادیر کاروتنوئید را می‌توان به وجود تفاوت‌های ژنتیکی میان آن‌ها نسبت داد.

شاخص سطح برگ نیز تحت تأثیر رقم و کود زیستی قرار گرفته است. دلیل افزایش شاخص برگ در مرحله پرشدن دانه را می‌توان این‌گونه بیان کرد، در بسیاری از موارد میکروارگانیزم‌های موجود در ریزوسفر مانند ازتوباکنر و آزوسپیریوم به‌واسطه افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن (فتواکسیداسیون) و بهبود وضعیت آب گیاه در اثر تثبیت و جذب نیتروژن، طول دوره فتوسنتزی و دوام برگ را افزایش و پیری برگ را کاهش می‌دهد (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۸). طباطبایی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند بیش‌ترین شاخص سطح برگ لوبیا در طی فصل رشد در نتیجه‌ی استفاده از کود زیستی نیتروکسین حاصل شد.

محتوای آب نسبی برگ در اثر آبیاری و کود زیستی به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است، به‌طوری‌که باکتری‌های آزوسپیریوم و ازتوباکنر به‌ترتیب ۷/۴۱ و ۷/۵۹ درصد این خاصیت را بهبود بخشیده‌اند. این یافته‌ها بیانگر این است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به بهبود وضعیت آبی گیاهان کمک کند و اثرات منفی خشکی را کاهش دهد. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی دارای میزان نسبی آب بالاتری باشند متحمل‌تر به خشکی هستند. دلیل بالا بودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ متحمل به خشکی، ممکن است به علت وجود ساز و کارهای کاهش‌دهنده تلفات آب از روزه‌ها (بسته‌ترشدن روزه‌ها)، افزایش غلظت شیره سلولی و یا به‌دلیل جذب بیش‌تر آب از طریق توسعه ریشه باشد (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۲). کاهش در محتوای نسبی آب برگ از طریق کمبود رطوبت خاک تحریک می‌شود، به این دلیل که در مراحل اولیه کمبود آب فرایندهای مصرف‌کننده آب مانند فتوسنتز و تنفس ادامه می‌یابند. درحالی‌که جذب آب به اندازه کافی نیست، هم‌چنین در ادامه از دست‌دادن آب از طریق تبخیر کوتیکولی نیز باعث کاهش بیش‌تر محتوای نسبی آب برگ می‌گردد. کاهش در محتوای نسبی برگ تحت تنش خشکی توسط (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۵) گزارش شده است.

فناپی و همکاران (۱۳۹۵) اظهار داشتند با مصرف کودهای زیستی روند تغییرات محتوای نسبی برگ افزایشی بود، به‌طوری‌که در تیمار مصرف کود زیستی مقدار محتوای نسبی برگ با میانگین ۷۳ درصد بالاترین بود و شاهد کم‌ترین مقدار این صفت را داشت. تنش خشکی منجر به کاهش ۴۳/۱۵ درصدی محتوای آب نسبی آب برگ شد. به‌علاوه، گیاهان تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد، نسبت به گیاهانی که در آن‌ها این باکتری‌ها به‌کارنرفته بود، دارای محتوای آب نسبی بیش‌تر و نشت یونی کم‌تر بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری، اثرات مفیدی در جهت کاهش نشت یونی و افزایش محتوای آب نسبی داشت. اینانلوهر و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه خود کاهش در محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش و افزایش در میزان آن در تلقیح با باکتری محرک رشد را عنوان کردند.

نشت یونی تحت تأثیر آبیاری و تنش خشکی قرار گرفت. به‌طوری‌که در شرایط دیم، میزان نشت یونی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و باکتری‌های آزوسپیریوم و ازتوباکنر توانسته‌اند این نشت را کاهش دهند. این نکته نشان‌دهنده این است که استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به بهبود سلامت سلولی و کاهش تنش‌های اسمزی در گیاهان کمک کند. در تنش‌های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشا، حالت شش وجهی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذدار تبدیل می‌گردد و نشت یونی اتفاق می‌افتد. به‌طورکلی تنش خشکی باعث

افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان مختلف می‌گردد (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش پراکسیداسیون چربی و به‌دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشای سلول در شرایط تنش خشکی در گیاهان ذرت، آفتابگردان (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵) و سورگوم (قهرمانی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز گزارش شده است. اثر مثبت کاربرد کود زیستی در کاهش نشت یونی در پژوهش ساروی بهاری<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از آزمایشی نشان داد با افزایش طول دوره تنش، محتوای نسبی آب برگ و سطح ویژه برگ کاهش یافتند، اما غلظت پرولین و نشت یونی افزایش نشان دادند (باغخانی و فرح‌بخش، ۱۳۸۷).

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که شرایط دیم و استفاده از کودهای زیستی می‌تواند به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت منجر شود. این افزایش به‌ویژه در رقم دهدشت مشاهده گردید که نشان‌دهنده مقاومت بیش‌تر این رقم در برابر تنش‌های محیطی است. پورابتهاج و همکاران (۱۳۹۱) اظهار کردند کود زیستی در شرایط آبیاری اثر کاهشی بر فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز دارد زیرا گیاه را در شرایط مناسب‌تری قرار می‌دهد. زمانی که گیاهان در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند، لازم است که تمام سیستم‌های دفاعی برای مقابله با صدمات اکسیژن فعال، فعالیت خود را شروع کنند. در بسیاری از گیاهان مشخص شده که تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز را تحت تأثیر قرار می‌دهد (طاهرخانچی و همکاران، ۱۳۹۲). اسفندیاری و وحدتی‌راد (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش سن برگ توان دفاعی سلول کاهش یافته و میزان تولید اکسیدان‌ها بیش از جمع‌آوری آنهاست. بنابراین در اواخر رشد توانایی محافظتی سلول در مقابل رادیکال‌های اکسیژن فعال کاهش می‌یابد و سلول دچار تنش اکسیداتیو می‌شود. مطالعات نشان داده است که درجه خسارت ایجادشده توسط تنش خشکی همبستگی منفی با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز دارد. در گیاه توتون در چین دوم و سوم میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز، کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و پرولین در شرایط تنش خشکی نیز اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آن بود، بیش‌ترین فعالیت آنزیم تحت شرایط تنش خشکی مربوط به رقم k394 بود (مشکات و همکاران، ۱۳۹۵).

نتایج پژوهش‌ها نشان داد که افزایش سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز به‌دلیل کاهش اثرات پراکسیداسیون در هنگام تنش‌های مختلف گیاهان زراعی گندم، جو، سویا و نخود در مقاومت گیاه به تنش نقش مهمی ایفا می‌کند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۸۸).

اسفندیاری و وحدتی‌راد (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش سن برگ توان دفاعی سلول کاهش یافته و میزان تولید اکسیدان‌ها بیش از جمع‌آوری آنهاست. بنابراین در اواخر رشد توانایی محافظتی سلول در مقابل رادیکال‌های اکسیژن فعال کاهش می‌یابد و سلول دچار تنش اکسیداتیو می‌شود. در ژنوتیپ‌های گندم، فعال‌شدن سیستم دفاع آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز نقش کلیدی در افزایش تحمل به تنش خشکی داشته است. نتایج به‌دست‌آمده با گزارشی مبنی بر این که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود و این فعالیت در ارقام مقاوم بالاتر است، مطابقت داشت (رزمی و حمیدی، ۱۳۹۵). پژوهش‌های زیادی افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (قاسمی و مستجرانی، ۱۳۹۷) و در شرایط تنش خشکی (مولودی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ رشیدی و همکاران، ۱۳۹۳) را نشان می‌دهد. هاربا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶) و قولی‌پور<sup>۴</sup> و عبادی<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) بیان کردند که هر رقم پاسخ مولکولی و بیوشیمیایی متفاوتی نسبت به شرایط تنش خشکی مشابه نشان می‌دهند. در پژوهشی دیگر حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز

1. Saroy Bahari  
2. Movludi  
3. Harba  
4. Gholipour  
5. Ebadie

مربوط به تیمار تخلیه ۶۰ درصد رطوبت همراه با محلول‌پاشی برگ به‌علاوه مایه‌زنی بذر با باکتری آروسپیریوم + ازتوباکتر به‌دست آمد. آن‌ها بیان کردند گرچه کاربرد کود زیستی در شرایط تخلیه ۶۰ درصد رطوبتی توانست از اثرات مخرب تنش و تا حدی از کاهش عملکرد جلوگیری کند، اما در ۸۰ درصد تخلیه رطوبت نتوانست بر عملکرد اثر افزایشی چشمگیری داشته باشد و تنها هزینه تولید را افزایش داد.

نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی و استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد شد. پاژکی (۱۳۹۴) گزارش کرد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و آبیاری عملکرد دانه گندم را ۹/۶ نسبت به شاهد افزایش داد. گزارش شده است باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش وزن هزاردانه و تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (توکلی و جلالی، ۱۳۹۵). مظاهری‌لقب و همکاران (۱۳۸۰) عنوان کردند که آبیاری در مرحله گلدهی بر باروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه تأثیر دارد، درحالی‌که در مرحله دانه‌بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته‌بندی غذایی و پرشدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها در سنبله تأثیر می‌گذارد. مرادی و زارع (۱۴۰۰) گزارش کردند گندم‌های رقم کوه‌دشت و زاگرس به کاربرد باکتری مثبت و بیش‌ترین عملکرد این دو رقم در تلقیح با باکتری آروسپیریوم حاصل گردید. چنین ارتباط مثبتی بین باکتری و رقم بومی مشاهده نگردید و بالاترین عملکرد رقم بومی بدون کاربرد باکتری حاصل گردید.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کاهش کارایی فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین آثار تنش خشکی در کشت گیاهان زراعی مهمی مانند گندم است. براساس یافته‌های این پژوهش استفاده از کود زیستی و آبیاری تکمیلی می‌تواند بر روی صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم تأثیر مثبت داشته باشد، به‌طوری‌که آبیاری تکمیلی در مراحل پرشدن دانه همراه با کاربرد کود زیستی آروسپیریوم عملکرد دانه ارقام گندم ساجی و دهدشت را افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح بذور گندم با کودهای زیستی آروسپیریوم و ازتوباکتر در کنار کاربرد آبیاری تکمیلی از طریق افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) و بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و همچنین افزایش مقاومت به خشکی باعث افزایش پتانسیل تولید شده، به‌طوری‌که افزایش عملکرد دانه گندم را به‌دنبال داشتند. لذا بر این اساس می‌توان اظهار داشت که کاربرد تلفیقی این‌گونه کودهای زیستی به‌همراه آبیاری تکمیلی از طریق تأمین آب، عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف گیاه و حفظ ویژگی‌های بیولوژی خاک می‌تواند باعث بهبود تولید گندم شده و با توسعه بیش‌تر کشاورزی پایدار، استفاده متوالی و بهینه از زمین‌های کشاورزی را ممکن می‌سازد.

## ۷. تشکر و قدردانی

از گروه تولید و ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام به‌خاطر تأمین امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۹. منابع

احمدوند، گودرز و حاجی‌نیا، سمیه (۱۳۹۷). تأثیر قارچ (*Piriformospora indica*) بر جذب و کارایی مصرف نور و عملکرد دانه ارزن تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *تحقیقات غلات*، ۸(۲)، ۲۶۱-۲۷۶.

- اسفندیاری، عزت‌اله؛ شکبیا، محمدرضا؛ محبوب، سلطانعلی؛ آلیاری، هوشنگ و برادران فیروزآبادی، مهدی (۱۳۸۸). اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پراکسیداسیون لیپیدی گیاهچه‌های گندم. *مجله دانش کشاورزی*، ۱۹(۲)، ۱۲۹-۱۳۸.
- اسفندیاری، عزت‌اله و وحدتی‌راد، امیر (۱۳۹۱). کاهش تحمل به تنش اکسیداسیون نوری با افزایش سن برگ آفتابگردان. *زیست‌شناسی گیاهی*، ۴(۱۴)، ۱-۱۴.
- اینانلو، محمد؛ امیدی، حشمت و پازکی، علیرضا (۱۳۹۲). تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن بر ویژگی‌های زراعی گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea L.*) تحت تأثیر تنش خشکی. *فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی*، ۴(۴۸)، ۱۷۰-۱۸۴.
- باغخانی، فاطمه و فرحبخش، حسن (۱۳۸۷). اثرات تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی سه رقم گلرنگ بهاره. *پژوهش کشاورزی*، ۸(۲)، ۴۵-۵۷.
- بروجردنیا، مریم؛ بی‌همتا، محمدرضا؛ عالمی‌سعید، خلیل و عبدوسی، وحید (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر میزان پروتئین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*). *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸(۲۹)، ۲۳-۴۱.
- پازکی، علیرضا (۱۳۹۴). بررسی اثر اسید هیومیک و باکتری‌ها محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دوروم تحت شرایط تنش خشکی در منطقه شهر ری. *تحقیقات غلات*، ۶(۱)، ۱۰۵-۱۱۷.
- پرویزی، خسرو؛ فرنی، امین و هدایتی، آرش (۱۳۹۸). اثر کود زیستی نیتروکسین و سوپر جاذب رطوبت بر صفات رشد و اجزای عملکرد بلال ذرت در شرایط تنش کمبود آب. *نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی*، ۲(۱)، ۹۹-۱۱۵.
- پورابتهج، محمد؛ حبیبی، داوود؛ پاکنژاد، فرزاد؛ فاضلی، فائزه و داوودی‌فرد، مهدی (۱۳۹۱). بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی در گیاه جو (*Hordeum vulgare L.*). *مجله زراعت و اصلاح نباتات*، ۸(۲)، ۱۴۷-۱۶۰.
- توکلی، مهران و جلالی، امیر هوشنگ (۱۳۹۵). تأثیر انواع کودهای زیستی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۶(۲۱)، ۳۵-۴۵.
- جعفرزاده، لیلیا؛ امیدی، حشمت و بستانی، عبدالامیر (۱۳۹۳). بررسی تنش خشکی و کود زیستی نیتروژن بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*). *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۲۷(۲)، ۱۸۰-۱۹۳.
- حسینی، فریده سادات؛ نظامی، احمد؛ پارسا، مهدی و حاج محمدنیا قالیباف، کمال (۱۳۹۰). اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس در شرایط آب و هوایی مشهد. *آب و خاک*، ۲۵(۲۳)، ۶۲۵-۶۳۳.
- حیدری، غلامرضا؛ حسن زاده، بهنام؛ سی و سه مرده، عادل؛ سهرابی، یوسف؛ امام، یحیی و مجیدی، محمد (۱۳۹۴). اثر سطوح تنش خشکی، کود گوگرد و محلول‌پاشی منگنز بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). *نشریه زراعت دیم ایران*، ۴(۱)، ۱-۱۶.
- داوودی‌فرد، مهدی؛ حبیبی، داوود و داوودی‌فرد، فرهاد (۱۳۹۱). بررسی اثر تنش شوری بر پایداری غشای سیتوپلاسمی، میزان کلروفیل و اجزای عملکرد در گندم تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک. *زراعت و اصلاح نباتات ایران*، ۸(۲)، ۷۱-۸۶.
- رزمی، زهرا و حمیدی، رضا (۱۳۹۵). اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر و فواصل مختلف آبیاری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم گندم نان (*Triticum aestivum L.*). *مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸(۲۹)، ۷۳-۸۷.
- رشیدی، سکینه؛ عبادی، علی؛ پرمون، قاسم و جهانبخش، سودابه (۱۳۹۳). اثر منبع نیتروژن بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا در شرایط تنش کم‌آبی. *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۳(۹)، ۹۷-۱۰۹.
- رضایی‌نیا، نوید؛ مرودی، محمود؛ گلوی، محمد و فروزنده، محمد (۱۳۹۶). تأثیر کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب سفره و پتاسیم در گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus*) در واکنش به تنش خشکی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۴(۱۵)، ۹۲۵-۹۳۸.

طالع احمد، سارا و حداد، رحیم (۱۳۸۹). اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضد اکسند و محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. *مجله به‌زراعی نهال و بذر (نهال و بذر)*، ۲۶(۲)، ۲۰۷-۲۲۵.

طاهرخانچی، آویشن؛ اکبری، غلامعلی؛ مدرس ثانوی، سید علی محمد و قربانی جاوید، مجید (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیرات کودهای زیستی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه سویا تحت تنش کم‌آبی، به‌زراعی کشاورزی، ۱۵(۳)، ۱۴۱-۱۵۳.

عبدلی، مجید؛ سعیدی، محسن، جلالی هنرمند، سعید؛ منصوری‌فر، سیروس و قبادی، محمد اقبال (۱۳۹۲). بررسی برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با عملکرد و اجزای آن در ارقام پیشرفته گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی پس از گرده‌افشانی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۶(۱)، ۴۷-۶۳.

فناپی، حمیدرضا؛ ازل، اقدس و پیری، عیسی (۱۳۹۵). تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۸(۴)، ۵۵۱-۵۵۶.

قاسمی، حمید رضا و مستاجران، اکبر (۱۳۹۷). بررسی اثر همیاری باکتری آزوسپیریوم برازیلنس (*Azospirillum brasilense* Sp7 and Sp245) بر شاخص‌های رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی دانه رست‌های گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط شوری. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۳۱(۳)، ۶۷۶-۶۹۳.

قهرمانی، معصومه؛ عبادی، علی؛ پرمون، قاسم و جهان بخش، سودابه (۱۳۹۶). مطالعه تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی شاخص‌های سازگاری سلولی ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای. *به‌زراعی کشاورزی*، ۱۷(۳)، ۷۵۵-۷۷۳.

مادح‌خاکسار، آزاده؛ نادری، احمد؛ آینه‌بند، امیر و لک، شهرام (۱۳۹۳). ارزیابی اثر همزمان کم‌آبیاری و تنش قطع آب بر صفات فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴. *پژوهش‌های به‌زراعی (تنش‌های محیطی در علوم گیاهی)*، ۱۶(۱)، ۶۳-۷۸.

مرادی، عیسی و زارع، محمدجواد (۱۴۰۰). پاسخ عملکرد دانه سه رقم گندم به تلقیح با باکتری آزوسپیریوم در تاریخ‌های مختلف کاشت. *نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱(۱)، ۲۵۹-۲۷۳.

مشکات، سیده معصومه؛ کاظمی تبار، سید کمال و غلامعلی، رنجبر (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان آنتی‌اکسیدان‌های موجود در ارقام مختلف توتون در شرایط دیم. *دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک/ایران، تهران: انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین*.

مظاهری لقب، حجت‌اله؛ نوری، فرخ؛ زارع ایبانه، حمید و وفاپی، محمدحسن (۱۳۸۰). اثر آبیاری تکمیلی بر صفات مهم زراعی سه رقم آفتابگردان در زراعت دیم. *پژوهش کشاورزی*، ۳(۱)، ۳۳-۴۳.

مفاخری، خسرو؛ بی‌هتا، محمدرضا و علیرضا، عباسی (۱۳۹۵). بررسی فعالیت بعضی از آنزیم‌های پاداکسندگی و پراکسیداسیون چربی‌های غشا در ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) در شرایط عادی و تنش خشکی. *علوم گیاهان زراعی/ایران*، ۴۷(۲)، ۲۱۷-۲۳۲.

نصراله‌زاده، صفر؛ شیرخانی، علی؛ زهتاب سلماسی، سعید و چوکان، رجب (۱۳۹۵). اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های برگ ذرت در شرایط آبیاری متفاوت. *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۹(۴)، ۷۲-۸۶.

نوریانی، حسن (۱۳۹۵). اثر سطوح پاکلوبوترازول بر روند رشد دانه و عملکرد سه رقم گندم (*Triticum aestivum L.*) در شرایط تنش گرمای پس از گرده‌افشانی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۹(۴)، ۴۰۷-۴۱۵.

یوسف پور، زینب؛ یدوی، علیرضا؛ بلوچی، حمیدرضا و فرجی، هوشنگ (۱۳۹۳). بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) تحت تأثیر منابع زیستی و شیمیایی نیتروژن و فسفر. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۶(۳)، ۵۰۸-۵۱۹.

## References

- Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., & Eghbal, M. (2013). Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationships with yield and its components in some improved wheat cultivars under post-anthesis water deficit. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 63-47. (In Persian).



- Ahanger, M. A., Qi, M., Huang, Z., Xu, X., Begum, N., Qin, C., & Zhang, L. (2021). Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216, 112195.
- Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., ..., & Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(4), 1-13.
- Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2017). Effect of fungus Piriformospora indica on the grain yield, absorption and radiation use efficiency of millet under different irrigation regimes. *Cereal Research*, 8(2), 261-272. (In Persian).
- Baghkhan, F., & Far abhakhsh, H. (2009). Effects of drought stress on yield and some physiological characters of three spring Safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Journal of Water Research in Agriculture*, 3(1), 57-45. (In Persian).
- Barnawal, D., Bharti, N., Pandey, S. S., Pandey, A., Chanotiya, C. S., & Kalra, A. (2017). Plant growth-promoting rhizobacteria enhance wheat salt and drought stress tolerance by altering endogenous phytohormone levels and TaCTR1/TaDREB2 expression. *Physiologia Plantarum*, 161(4), 502-514.
- Barrs, H. D., & Weatherly, P. E. (1962). A re-examination of relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Science*, 15, 413-428.
- Basu, M., Bhadoria, P. B. S., & Mahapatra, S. C. (2008). Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lim, organic and inorganic fertilizer levels. *Bioresource Technology*, 99, 4675-4683.
- Boroujerdnia, M., Bihamta, M., Alami Said, K., & Abdossi, V. (2016). Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes and water content of bean. *Crop Physiology Journal*, 8(29), 23-41. (In Persian).
- Chakraborty, U., Chakraborty, B. N., & Dey, P. L. (2013). Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 789-803.
- Chance, B., & Maehly, A. C. (1995). Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick S. P., and N. D. Kaplan. (eds). *Methods in Enzymology*. Academic Press. New York, 2, 764-791.
- Davoodifard, M., Habibi, D., & Davoodifard, F. (2012). Effects of salinity stress on membrane stability, chlorophyll content and yield components of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria and humic acid. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(2), 71-86. (In Persian).
- Esfandiari, E., & Vahdati Rad, A. (2012). Decline of tolerance in leaf photooxidative-stress with age in sunflower. *Journal of Plant Biology*, 4(14), 1-14. (In Persian).
- Esfandiari, E., Shakiba, M. R., Mahboob, S. R., Alyari, H., & Baradaran Firozabadi, M. (2009). Effect of water stress on antioxidant enzymes activities and lipid peroxidation of wheat seedlings. *Agriculture science and sustainable production*, 19(2), 129-138. (In Persian).
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1147.
- Fanaei, H. R., Azmal, A., & Piri, I. (2017). Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 8(4), 551-566. (In Persian).
- Ghahremani, M., Ebadi, A., parmoon, G., & Jahanbakhsh, S. (2015). Study of some changes in cellular adaptation of forage sorghum genotypes during stress. *Journal Crop Improvement*, 17(3), 755-773. (In Persian).
- Ghanati, F., Morita, A., & Yokota, H. (2002). Induction of suberin and increase of lignin content by excess Boron in Tobacco cell. *Soil Science Plant Nutrition*, 48 (3), 357-364.
- Ghasemi, H. R., & Mostajerana, A. (2017). Study of associative relationship effects of *Azospirillum brasilense* (Sp7 and Sp245) on some growth and biochemical indices of wheat seedlings under saline conditions. *Journal of Plant Research*, 31(3), 629-641. (In Persian).
- Gholipour, S., & Ebadi, A. (2018). Study change compatibility metabolites and antioxidant enzyme activities of wheat cultivars under water stress. *Journal of Plant Process and Function*, 6(19), 219-232
- Ghosh, D., Lin, Q., Xu, J., & Hellmann, H. A. (2017). How plants deal with stress: exploration through proteome investigation. *Frontiers in Plant Science*, 8(1176), 1-2.

- Harba, A., Awada, D., & Samarahb, N. (2016). Gene expression and activity of antioxidant phenols, peroxide activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 16(3), 185-197.
- Heidari, G. R., Hasanzadeh, B., Siosemardeh, A., Sohrabi, Y., & Emam, Y. (2015). The effects of drought stress, sulfur and applications on some physiological traits in sunflower. *Iranian Journal of Dry Land*, 4(1), 23-44. (In Persian).
- Hosseini, H. S., Nezami, A., Parsa, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2011). Effects of Supplementary Irrigation on Yield and Yield Components of Lentil Cultivars in Mashhad. *Journal of Water and Soil*, 25(3), 625-633. (In Persian).
- Inanloofar, M., Omidi, H., & Pazoki, A. (2013). Morphological, agronomical changes and oil content in purslane under drought stress and biological/ chemical fertilizer of nitrogen. *Journal of Medicinal Plants*, 4(48), 170-184. (In Persian).
- IPO International Pasta Organization. (2013). The World Pasta Industry Status Report. [www.internationalpasta.org](http://www.internationalpasta.org). 44.
- Jafarzadeh, L., Omidi, H., & Bostani, A. A. (2014). The study of drought stress and Bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of Marigold medicinal plant. *Journal of Plant Research*, 27(2), 180-193. (In Persian).
- Jha, P. K., Kumar, S. N., & Ines, A. V. (2018). Responses of soybean to water stress and supplemental irrigation in upper Indo-Gangetic plain: Field experiment and modeling approach. *Field Crops Research*, 219, 76-86.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Journal of the Annals of Botany*, 78, 389-398.
- Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneh Band, A., & Lack, S. (2014). Simultaneous effect of irrigation and irrigation-off on physiological traits related with yield of maize. *Journal of Crop Production Research*, 6(1), 63-78. (In Persian).
- Mafakheri, K., Bihanta, M. R., & Abbasi, A. R. (2016). Assessment of antioxidant enzymes activity and peroxidation of membrane lipid in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes under normal and drought stress condition. *Iranian Journal of Filed Crop Science*, 47(2). 217-232. (In Persian).
- Mazaheri-Laghab., H., Nouri. F., & Zare Abyaneh. H., (2009). The effects of supplementary irrigation on the yield and yield components of three cultivars of sunflower in dry farming. *Agronomy Journal*, 83, 72-80. (In Persian).
- Meshkat, S. M., Kazemi Tabar, S. K., & Gholamali, R. (2016). Effect of drought stress on morphological characteristics and antioxidants in different tobacco varieties in dryland conditions. Second national Congress on the Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science of Iran, Tehran, Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Techniques. (In Persian).
- Moosavi, S. G. R., & Ramazani, S. H. R. (2017). Effect of drought stress on root yield and some morpho-physiological traits in different genotypes of sugar beet. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 167-174.
- Moradi, I., & Zarea, M. J. (2021). Grain Response of three Wheat Cultivars to *Azospirillum* Inoculation in two Different Sowing Dates. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 259-273. (In Persian).
- Movludi, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Davari, M., & Parmoon, G. H. (2014). The effect of water deficit and nitrogen on the antioxidant enzymes activity and quantum yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42, 398-404.
- Nasrolahzadeh, S., Shirkhani, A., Zehtab Salmasi, S., & Choukan, R. (2016). Effects of biofertilizer and chemical fertilizer on mize yield in different irrigation conditions. *Applied Field Crops Research*, 29(4), 72-86. (In Persian).
- Nouriyani, H. (2017). Effect of paclobutrazol on the amount of redistribution of assimilates to the grain of three cultivars of wheat under heat tension conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(9), 407-415. (In Persian).
- Parvizi, K., & Farnia, A., & Hedayati, a. (2019). Evaluation the effect of bio fertilizer nitroxin and superabsorbent on growing traits and yield components of corn in water stress condition. *Horticultural Plant Nutrition*, 2(1), 99-115. (In Persian).

- Pazoki, A. (2016). Effects of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of durum wheat under drought stress condition in Shahr-e-Rey region. *Cereal Research*, 6(1), 105-117. (In Persian).
- Pourebtehaj, M., Habibi, D., Paknejad, M., Davoodi Fard, M., & Farahani Pad, P. (2012). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and foliar application of silicic acid and amino acids on destruction antioxidant enzyme activity of barley under drought stress. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(2), 147-160. (In Persian).
- Rashidi, S., Ebadie, A., Parmoon, G., & Jahanbakhsh, S. (2015). Effect of various nitrogen sources on physiological and biochemical changes of beans under waterstress conditions. *Journal plant process function*, 3(9), 97-110. (In Persian).
- Razmi, Z., & Hamidi, R. (2016). Effect of different priming treatments and different irrigation intervals on biochemical characteristics of two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum*). *Crop Physiology Journal*, 29(8), 73-87. (In Persian).
- Rezaei Nia, N., Ramroudi, M., Galavi, M., & Forouzandeh, M. (2016). Effects of Bio-fertilizers on Physiological Traits and Absorption of Some Nutrients of Chicory (*Cichoriu mintybus* L.) in Response to Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(4), 925-938. (In Persian).
- Sairam, R., & Saxena, D. C. (2000). Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal Agronomy Crop Science*, 114, 55-61.
- Saroy Bahari, S. H., Pirdashti, H., & Oghabneshin, Y. (2018). Response of chlorophyll and physiological parameters of basil to plant growth promoting rhizobacteria under salinity stress. *Journal Plant Process Function*, 6(19), 89-104.
- Sharma, A., & Zheng, B. (2019). Melatonin mediated regulation of drought stress: Physiological and molecular aspects. *Plants*, 8(7), 190.
- Tabatabaei, S., & Jahan, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2020). The Effect of biological and nitrogen chemical fertilizers on yield and yield component of bean (*Phaseolus vulgaris* L. ) under water stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1), 145-154.
- Taherkhanchi, A., Akbari, G. A., Mohammad Modarres-Sanavy, S. A., & Majid Ghorbani, J. (2014). Effect of different irrigation regimes and zeolit super absorbent on the yield and yield components of forage sorghum. *Journal of Crop Improvement*, 15(3), 153-141. (In Persian).
- Tale Ahmad, S., & Haddad, R. (2010). Evaluation of effects of bio-fertilizers on some physiological and biochemical traits in soybean under water deficit condition. *Seed and Plant Production*, 26(2), 207-225. (In Persian).
- Tavakoli, M., & Jalali, A. H. (2016). Effect of different biofertilizers and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of wheat. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(21), 34-45. (In Persian).
- Verma, G., Srivastava, D., Tiwari, P., & Chakrabarty, D. (2019). ROS Modulation in Crop Plants under Drought Stress. *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms*, pp. 311-336.
- Wanger, G. J. (1979). Content and vacuole extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in proplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
- Wu, S. C., Caob, Z. H., Lib, Z. G., Cheunga, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of bio fertilizer containing N-fixer, P. and K solubilizes and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125, 155-166.
- Yousefpoor, Z., Yadavi, A., Balouchi, H., & Farajee, H. (2014). Evaluation of yield and some physiological, morphological and phenological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical fertilizer of nitrogen and phosphorus. *Journal of Agroecology*, 6(3), 508-509. (In Persian).