University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

*Vol. 16, No. 1, pp. 195-212 (Spring 2023)*

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4519.2032

*Original article*

# Reaction of yield and yield components of wheat to paclobutrazole and growth-promoting bacteria at different levels of irrigation

**R. Rahimi[1], F. Paknejad[1*], M. Sadeghi-Shoae[2], M. Nabi Ilkaee[1], M. Rezaee[1]**

*1. Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran*
*2. Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran*

Received 19 July 2021; Accepted 28 September 2021

## *Extended abstract*

### Introduction

Water is one of the most important needs of plants and drought stress is one of the most important stresses for plant growth. Given the global water shortage, provide solutions to save water consumption in agriculture, such as choosing the appropriate irrigation method, irrigation time management, providing methods to reduce and control the negative effects of water shortage on plants and the use of more resistant varieties to water shortage and The use of different techniques to reduce the effects of water scarcity is important and should be a priority for research. Paclobutrazole is a group of plant growth regulators of triazole that prevents the production of a wide range of gibberellic acid and has many applications in agriculture. Paclobutrazole reduces the negative effects of abiotic stress on plant growth by regulating the levels of hormones, enzymatic and non-enzymatic antioxidants and osmolytes. A group of beneficial soil bacteria that increase plant growth are called plant growth promoting bacteria and are among the most important types of biofertilizers. PGPRs by lat out of volatile organic compounds (VOC) increase biomass, plant tolerance to abiotic stresses and disease resistance.

### Materials and Methods

This research was conducted as a factorial split plot in the form of a randomized complete block design with three replications in Qom and Hamedan regions (Hamedan is a cold and mountainous region with mild summer and Qom is a dry and desert region with hot and dry summers). Experimental factors include irrigation regime with three levels 1- (irrigation at 40% of available plant moisture discharge during the growing season (optimal irrigation), 2- optimal irrigation up to pollination stage and irrigation at 60% of available plant moisture discharge until the end of the growing season 3- Irrigation in 40% of available plant moisture discharge up to pollination stage and cessation of irrigation until the end of growing season), foliar application of paclobutrazole at three levels (zero, 50 and 100 ppm in two stages of stem and spike) and invoice The third included five levels of growth-promoting bacteria (non-consumption, Mycobacterium, Azotobacter, Azospirillium, and a combination of three bacteria). Irrigation regimen factors and paclobutrazol in the main plots and growth-promoting bacteria in the subplots. The traits evaluated in this experiment included parameters related to leaf chlorophyll fluorescence and Rubisco activity.

* Corresponding author: Farzad Paknejad; E-Mail: farzadpaknejad@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

**Results and Discussion**

The results showed that the interaction effect of irrigation regime on paclobutrazol was significant for biological yield and grain yield, so that at the third irrigation level, the use of paclobutrazol at a concentration of 100 ppm increased grain yield and biological yield. Also, according to the analysis of variance table, the interaction effect of irrigation regime in bacteria for biological yield and grain yield was significant, so that in the third level of irrigation regime, two levels of combination of three bacteria and Azotobacter with 19.05 and 17.95 tons, respectively. Hectares had the highest biological yield.

**Conclusions**

In general, the results showed that in more difficult conditions of irrigation regime, the use of paclobutrazol can cause less decline and improve grain yield and biological yield. It can also be inferred that the use of growth-promoting bacteria increases grain yield and biological yield and improves morphological traits, and the combination treatment of Mycobacterium, Azotobacter and Azospirillium had the highest yield.

***Keywords*:** Growth-promoting bacteria, Irrigation regime, Paclobutrazol, Yield and yield components

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4519.2032

*مقاله پژوهشی*

# واکنش عملکرد و اجزای عملکرد گندم به مصرف پاکلوبوترازول و باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف آبیاری

**رضا رحیمی[۱]، فرزاد پاک‌نژاد[۱*]، مهدی صادقی شعاع[۲]، محمد نبی ایلکایی[۱]، مهدی رضایی[۱]**

۱. گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

**مشخصات مقاله**

*واژه‌های کلیدی:*
باکتری‌های محرک رشد
پاکلوبوترازول
رژیم آبیاری
عملکرد دانه

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۲

۱۶(۱): ۱۹۵-۲۱۲

**چکیده**

**به‌منظور بررسی تأثیر مصرف پاکلوبوترازول و باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف آبیاری بر تغییرات صفات زراعی گندم آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه قم و همدان در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل میزان آبیاری با سه سطح (آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس در تمام دوره رشدی (نرمال)، آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا پایان دوره رشدی، آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا گرده‌افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی)، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با سه سطح (محلول‌پاشی با آب خالص، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام در دو مرحله ساقه‌دهی و خوشه‌دهی اعمال شد) و باکتری‌های محرک رشد با پنج سطح (عدم مصرف، مایکوباکتریوم، ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و تلفیق سه باکتری) بودند. نتایج نشان دادند اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول برای عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار شد به‌صورت که درسته آبیاری سوم، استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. همچنین بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل رژیم آبیاری در باکتری برای عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار شد به‌طوری‌که در سطح سوم رژیم آبیاری دو سطح تلفیق سه باکتری و ازتوباکتر به ترتیب با ۱۹/۰۵ و ۱۷/۹۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشتند.**

## مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین احتیاجات گیاه است و تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌ها برای رشد گیاهان محسوب می‌شود که با توجه به کمبود جهانی آب ارائه راهکارهایی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در کشاورزی از قبیل انتخاب روش آبیاری مناسب، مدیریت زمانی آبیاری، ارائه روش‌هایی برای کاهش و کنترل اثرات منفی کمبود آب در گیاهان و استفاده از ارقام مقاوم‌تر به کمبود آب و استفاده از تکنیک‌های مختلف برای کاهش اثرات ناشی از کمبود آب حائز اهمیت است و بایستی در اولویت تحقیقات قرار گیرد (Abbasi et al., 2000). صادقی‌شعاع و همکاران (Sadeghi-Shoae et al., 2014b) در مطالعه میزان خسارت مراحل مختلف رشد گندم نسبت به تنش خشکی اعلام نمودند که مرحله گلدهی حساس‌ترین مرحله رشد بوده به‌طوری‌که وقوع تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی از طریق کاهش شدید طول دوره پر شدن دانه‌ها موجب کاهش عملکرد می‌شود بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی انجام آبیاری به‌ویژه در مراحل بحرانی (مرحله پر شدن دانه) می‌تواند در جلوگیری از کاهش شدید عملکرد مؤثرتر واقع شود. گندم نان و گندم دوروم از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان بوده و غذای اصلی مردم را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند (Munns et al.,

* نگارنده پاسخگو: فرزاد پاک نژاد. پست الکترونیک: farzadpaknejad@gmail.com

2006). سال‌های متعددی است که استفاده از تنظیم‌کننده-های رشد برای توسعه یا ایجاد محدودیت در تولیدات گیاهی موردتوجه دانشمندان علوم گیاهی است، پاکلوبوترازول (Paclobutrazol یا PBZ) نیز یکی از این تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاهی است. پاکلوبوترازول یکی از مهم‌ترین و پر-استفاده‌ترین ترکیب‌های گروه تریازول‌ها است که به‌عنوان یک ممانعت‌کننده از سنتز جیبرلین، به‌منظور کاهش رشد رویشی در گیاهان به روش‌های مختلف استفاده می‌شود (Sadeghi-Shoae et al., 2014a). گزارش‌ها حاکی از آن است که پاکلوبوترازول موجب افزایش تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در خوشه و همچنین مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و غیرمحیطی می‌گردد (Bayat et al., 2010). سایر محققان اظهار نمودند که کاربرد پاکلوبوترازول موجب کاهش ارتفاع بوته، افزایش قطر ساقه و تعداد برگ، تغییر ساختار ریشه می‌گردد که به‌طور مستقیم سبب افزایش میزان عملکرد و به‌صورت غیرمستقیم منجر به کاهش ورس در گیاه می‌شود همچنین باعث افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی می‌گردد (Syahputra et al., 2016). پاکلوبوترازول با تنظیم سطح هورمون‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و اسمولیت ها موجب کاهش اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی بر رشد و نمو گیاه می‌شود (Kamran et al., 2018).

گروهی از باکتری‌های مفید خاکزی که سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه نامیده می‌شوند و ازجمله مهم‌ترین انواع کودهای زیستی محسوب می‌شوند (Hamidi et al., 2010). این باکتری‌ها به‌طور مستقیم با تحریک رشد گیاه و یا به‌طور غیرمستقیم با افزایش فراهمی زیستی عناصر غذایی و کنترل زیستی آفات و بیمارگرهای گیاهی باعث افزایش رشد گیاهان می‌گردند و در حال حاضر به‌صورت یکی از مهم‌ترین انواع کودهای زیستی بکار برده می‌شوند. ریزوباکتری های محرک رشد گیاه همچنین با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین منجر به افزایش رشد منطقه سطحی ریشه می‌شوند و به‌این‌ترتیب منجر به افزایش سطح تماس در خاک و تغذیه گیاه می‌شوند (Robin et al., 2008). آزوسپیریلوم یکی از میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی است که در همیاری با ریشه غلات و گرامینه‌های دیگر، رشدونمو آن‌ها را تقویت می‌کند. اگرچه همیاری این باکتری با ریشه غلات و برخی دیگر از گرامینه‌ها با پیدایش هیچ ساختار گرهک مانند همراه نیست، ولی پژوهش‌های بسیاری نشان می‌دهند که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاهان میزبان آثار معنی‌داری را در بهبود شاخص‌های رشد گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می-آورد، به‌گونه‌ای که رابطه متقابل غلات-آزوسپیریلوم را از حیث آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم ریزوبیوم می‌دانند (Bashan and Holguin, 1997).

مایکوباکتریوم یکی از باکتری‌های ریزوسفری است که در گزارش‌های متعددی بر تأثیر مثبت این باکتری بر گیاهان مختلف تأکید شده است به‌صورت که این باکتری باعث افزایش اندام هوایی، ریشه و کلروفیل می‌گردد (Jalali and Zare, 2019). نارولا و همکاران (Narula et al.,2005) طی یک آزمایش دوساله بر روی گندم و پنبه، مشاهده نمودند که سویه‌های انتخاب‌شده باکتری ازتوباکتر کروکوکوم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و پارامترهای رشد از قبیل وزن خشک بوته و ارتفاع بوته نسبت به شاهد شده‌اند. نتایج تلقیح با ازتوباکتر در گیاه پنبه و گندم منجر به بهترین رشد گیاهی تحت شرایط کشت شد. همچنین دو رقم پنبه، تفاوت در ترشحات ریشه‌ای مشاهده شد که این تفاوت ناشی از تأثیر پاسخ شیمیایی به ازتوباکتر بود (Kumar et al., 2007). بررسی‌های تأثیر باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا بر روی استویا نشان داد میزان پارامترهای رشد از قبیل وزن تر، وزن خشک و طول ساقه تحت تأثیر این تیمارها قرار گرفت (Atrashi et al., 2015).

با توجه به تأثیرات مختلف پاکلوبوترازول و باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش آبی این آزمایش با هدف بررسی اثرات ساده و همچنین برهم‌کنش این دو عامل در شرایط مختلف رژیم آبیاری اجرا شد

## مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه قم و همدان در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رژیم آبیاری با سه سطح (آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس در تمام دوره رشدی (نرمال)، آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا پایان دوره رشدی، آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس تا گرده‌افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی)، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با سه سطح

(محلول‌پاشی با آب خالص، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام در دو مرحله ساقه‌دهی و خوشه‌دهی) و فاکتور سوم باکتری‌های محرک رشد با پنج سطح (عدم مصرف، مایکوباکتریوم، ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و تلفیق سه باکتری) بودند. فاکتورهای رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول در کرت‌های اصلی و فاکتور باکتری‌های افزاینده رشد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آمار هواشناسی مناطق مورد ارزیابی در جداول زیر آورده شده است.

**جدول ۱. برخی شاخص‌های هواشناسی در سال زراعی ۹۸-۹۷ (منطقه قم)**

**Table 1. Some meteorological indicators in 2018-19 (Qom region)**

| | سال ۱۳۹۷ 2018 | | | | | | سال ۱۳۹۸ 2019 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مهر October | آبان November | آذر December | دی January | بهمن February | اسفند March | فروردین April | اردیبهشت May | خرداد June | تیر July |
| مجموع بارش Total precipitation (mm) | 13.0 | 39.4 | 36.0 | 45.4 | 16.0 | 28.2 | 102.4 | 7.8 | 1.4 | 0.0 |
| میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C) | 28.3 | 17.9 | 15.3 | 10.9 | 13.0 | 15.7 | 20.2 | 28.0 | 36.2 | 40.8 |
| میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C) | 16 | 9.7 | 5.7 | 1.3 | 2.7 | 4.4 | 9.4 | 14.5 | 21.4 | 26.1 |
| میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%) | 38 | 55 | 63 | 62 | 57 | 50 | 57 | 40 | 27 | 23 |
| مجموع ساعت‌های آفتابی Total hours of sunshine (h) | 265.2 | 156.4 | 177.4 | 189.3 | 210.3 | 223.0 | 215.2 | 311.6 | 359.5 | 364.5 |

**جدول ۲. برخی شاخص‌های هواشناسی در سال زراعی ۹۸-۹۷ (منطقه همدان)**

**Table 2. Some meteorological indicators in 2018-19 (Hamedan region)**

| | سال ۱۳۹۷ 2018 | | | | | | سال ۱۳۹۸ 2019 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مهر October | آبان November | آذر December | دی January | بهمن February | اسفند March | فروردین April | اردیبهشت May | خرداد June | تیر July |
| مجموع بارش Total precipitation (mm) | 16.1 | 72.4 | 89.8 | 49.2 | 39.6 | 44.9 | 187.2 | 6.0 | 0.9 | 0.0 |
| میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C) | 25.0 | 14.1 | 10.0 | 7.2 | 8.0 | 9.4 | 13.4 | 20.9 | 30.2 | 35.5 |
| میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C) | 6.9 | 3.4 | -0.6 | -4.2 | -4.0 | -3.2 | 2.4 | 4.3 | 9.7 | 14.5 |
| میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%) | 46.9 | 71.8 | 76.9 | 69.7 | 70.1 | 64.6 | 65.9 | 51.6 | 34.9 | 24.9 |
| مجموع ساعت‌های آفتابی Total hours of sunshine (h) | 244.8 | 164.8 | 143.2 | 180.5 | 183.7 | 219.0 | 208.6 | 282.4 | 370.9 | 379.6 |

در مهرماه با کشت بذور سوپر گندم SHS 022 در عمق یکنواخت سه سانتی‌متر در مناطق مورد ارزیابی عملیات اجرایی تحقیق شروع شد. این رقم از دورگ گیری بین گندم میراکل و ارقام روسی ایجاد شده است. لاین حاصل توسط اشعه گاما موتاسیون شده و سلکسیون صورت گرفته است. ساقه‌ها نسبت به ارقام معمولی توپر بوده و دارای یک سنبله اصلی و ۸-۱۰ سنبله فرعی منشعب از سنبله اصلی است. دارای تیپ رشد پاییزه بوده و مناسب مناطق سردسیر است و این رقم مقاوم به زنگ زرد است و حساس به خوابیدگی است و رنگ دانه آن قرمز می‌باشد.

اجرای آزمایش بر اساس نقشه آزمایش در قطعه زمین مناسب در بستر از پیش آماده‌شده کشت شده و کودهای

موردنیاز بر اساس آزمون خاک محاسبه شدند. میزان فسفر مصرفی در منطقه همدان ۱۰۰ کیلوگرم از منبع سوپر فسفات تریپل و در منطقه قم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و قبل کاشت به مزرعه اضافه شد. همچنین کود نیتروژن در همدان و قم در دو مرحله قبل ساقه روی و مرحله دوم قبل سنبله‌دهی که در هر دو منطقه مجموعاً میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره مورداستفاده قرار گرفت. هر کرت شامل ۱۶ خط کشت به طول ۶ متر بود که با دستگاه کارنده خطی کار با جویچه‌های ۶۰ سانتی‌متری انجام شد که هر جویچه شامل ۴ خط به فاصله ۱۵ سانتی‌متر بود در کل هر کرت شامل ۴ فارو بود که هر فارو ۴ خط کشت ۱۵ سانتی‌متری داشت که در عرض فارو به‌صورت منظم توسط دستگاه کارنده کشت شد. به‌صورت که بین کرت‌های فرعی ۱۲۰ سانتی‌متر و بین کرت‌های اصلی ۳ متر فاصله بود. روش آبیاری به‌صورت نشتی بود و برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی از پارشال فلوم استفاده شد. عملیات آماده‌سازی زمین موردنظر برای اجرای آزمایش در هر منطقه، شامل شخم عمیق، دیسک، لولر کشی و تسطیح لازم در پاییز بود. باکتری‌های محرک رشد مورداستفاده در این تحقیق شامل سه گونه ازتوباکترکروکوکوم، آزوسپیریلوم لیپوفروم و میکروباکتریوم بود که به‌صورت جداگانه و به شکل پودر از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات آب‌وخاک کشور تهیه گردید. به ازای هر کیلوگرم بذر مصرفی مقدار ۱۰-۷ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد شکر به بذرها اضافه شد و در داخل یک کیسه پلاستیکی به‌خوبی هم زده شد تا بذرها کاملاً مرطوب و چسبناک شدند. سپس بلافاصله حدود ۱۵-۱۰ گرم از پودر هرکدام از باکتری‌ها به بذرها اضافه شد و مجدداً به هم زده شد. بذرها به مدت حدود ۱۵ دقیقه در سایه پهن شد و پس از خشک شدن اقدام به کشت در مزرعه گردید. جهت کنترل علف هرز از سم توفوردی استفاده شد که در همدان ۲۰ فروردین و در قم ۲۸ فروردین اعمال شد و مزرعه از نظر آفات و بیماری‌ها به‌صورت منظم مورد بازدید قرار گرفت که در مزارع هر دو منطقه بیماری یا آفات زیادی جهت مبارزه مشهود نبود. در پایان فصل با حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات مختلف مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، وزن سنبله، وزن هزار دانه، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم بودند.

بعد از جمع‌آوری داده‌های موردنظر با استفاده از مدل طرح آماری، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید. همچنین برای بررسی امکان تجزیه مرکب از آزمون بارتلت استفاده گردید و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### *عملکرد دانه*

تجزیه واریانس اطلاعات مبین این مطلب بود که بین مناطق موردبررسی در این آزمایش اختلاف معنی‌داری از منظر عملکرد دانه وجود داشت به‌طوری‌که میانگین عملکرد دانه در همدان با ۸/۹۵ تن در هکتار بیشتر از قم با ۸/۰۹ تن در هکتار بود (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول برای عملکرد دانه معنی‌دار شد به‌طوری‌که در سطح اول رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف پاکلوبوترازول برای عملکرد دانه مشهود نبود اما در سطح دوم آبیاری و همچنین سطح سوم آبیاری بیش‌ترین عملکرد را استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام حصول نمود و شاهد بدون پاکلوبوترازول کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳ و ۵). جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل بین رژیم آبیاری و باکتری بر روی عملکرد دانه معنی‌دار است (جدول ۳). به‌طوری‌که در سطح اول رژیم آبیاری آزوسپیریلوم در گروه‌بندی بالاتری نسبت به مایکوباکتریوم قرار گرفت و عملکرد دانه بالاتری را تولید نمود اما در سطح دوم و سوم آبیاری این‌طور نبود و مایکوباکتریوم دارای عملکرد بالاتری نسبت به آزوسپیریلوم بود (جدول ۶). همچنین بررسی‌ها نشان دادند اثر متقابل بین پاکلوبوترازول و باکتری نیز بر روی عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت، بدین ترتیب که در سطح شاهد بدون پاکلوبوترازول، مایکوباکتریوم در گروه بالاتری نسبت به آزوسپیریلوم از نظر عملکرد دانه تولیدی قرار گرفت اما در سطح ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام استفاده از پاکلوبوترازول، هر دو باکتری مایکوباکتریوم و آزوسپیریلوم در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۷).

**جدول ۳. جدول تجزیه واریانس صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد**

**Table 3. Analysis table of variance of performance-related traits and performance components**

| S.O.V | منابع تغییر | درجه آزادی (d.f.) | Characteristics: عملکرد دانه Grain yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | وزن سنبله Spike weight | صفات: تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike | وزن هزار دانه 1000 seeds weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Place | منطقه | 1 | 50.41** | 289.74** | 4.75** | 1475.93** | 113.33 |
| Block (place) | بلوک (منطقه) | 4 | 0.91 | 0.98 | 0.03 | 5.02 | 23.86 |
| Irrigation regime (a) | رژیم آبیاری | 2 | 657.14** | 2568.19** | 32.41** | 4330.99** | 1903.1** |
| Paclobutrazole (b) | پاکلوبوترازول | 2 | 114.66* | 371.12** | 5.14* | 562.09* | 909.45* |
| a*b | | 4 | 26.68** | 76.04** | 1.01** | 144.21** | 366.14ns |
| place*a | | 2 | 0.15ns | 1.41ns | 0.01ns | 2.92ns | 15.2ns |
| place*b | | 2 | 2.56ns | 2.25ns | 0.10ns | 13.93ns | 15.98ns |
| place*a*b | | 4 | 0.36ns | 2.02ns | 0.03ns | 5.08ns | 63.06ns |
| Block (place*a*b) | | 32 | 0.31 | 10.70 | 0.02 | 5.85 | 30.81 |
| Bacteria (c) | باکتری | 4 | 88.77** | 414.42** | 4.5** | 575.35** | 249.56* |
| place*c | | 4 | 1.92ns | 15.43ns | 0.09ns | 11.56ns | 41.18ns |
| a*c | | 8 | 3.42** | 48.73** | 0.16** | 33.71* | 90.11ns |
| place*a*c | | 8 | 0.11ns | 6.07ns | 0.02ns | 6.46ns | 47.23ns |
| b*c | | 8 | 0.35* | 26.65ns | 0.08ns | 15.74* | 104.32ns |
| place*b*c | | 8 | 0.09ns | 9.58ns | 0.02ns | 3.14ns | 41.05ns |
| a*b*c | | 16 | 1.24ns | 16.46ns | 0.03ns | 4.85ns | 89.63ns |
| place*a*b*c | | 16 | 0.308ns | 5.31ns | 0.03ns | 7.02ns | 36.51ns |
| Total error | خطای کل | 144 | 0.38 | 11.77 | 0.03 | 5.70 | 26.95 |
| C.V % | | - | *7.27* | *15.56* | *6.66* | *5.77* | *15.90* |

**Table 3. Continued**

**جدول ۳. ادامه**

| S.O.V | منابع تغییرات | درجه آزادی (d.f.) | Characteristics: طول سنبله Spike length | ارتفاع بوته Plant height | صفات: طول برگ پرچم Flag leaf length | عرض برگ پرچم Flag leaf width |
|---|---|---|---|---|---|---|
| place | منطقه | 1 | 68.47** | 9538.57** | 126.62** | 0.37** |
| block (place) | بلوک (منطقه) | 4 | 1.39 | 156.34 | 2.68 | 0.004 |
| Irrigation regime (a) | رژیم آبیاری | 2 | 2.86ns | 14854.7* | 263.46** | 0.22** |
| Paclobutrazole (b) | پاکلوبوترازول | 2 | 0.81ns | 2027.68* | 49.3** | 0.02ns |
| a*b | | 4 | 0.58ns | 309.59ns | 4.65ns | 0.002ns |
| place*a | | 2 | 0.53ns | 185.67ns | 0.62ns | 0.0006ns |
| place*b | | 2 | 2.25ns | 58.01ns | 0.11ns | 0.005ns |
| place*a*b | | 4 | 0.38ns | 97.63ns | 2.78ns | 0.018ns |
| Block (place*a*b) | | 32 | 2.05 | 256.68 | 4.55 | 0.009 |
| Bacteria (c) | باکتری | 4 | 5.64ns | 1590.22** | 43.95* | 0.12ns |
| place*c | | 4 | 2.04ns | 91.08ns | 6.18ns | 0.02ns |
| a*c | | 8 | 6.39ns | 203.62ns | 7.89ns | 0.029ns |
| place*a*c | | 8 | 2.6ns | 120.65ns | 5.7ns | 0.013ns |
| b*c | | 8 | 1.98ns | 406.77* | 2.43ns | 0.011ns |
| place*b*c | | 8 | 0.7ns | 92.79ns | 1.42ns | 0.006ns |
| a*b*c | | 16 | 1.07ns | 262.5ns | 4.64ns | 0.006ns |
| place*a*b*c | | 16 | 0.89ns | 229.78ns | 3.16ns | 0.011ns |
| Total error | خطای کل | 144 | 1.28 | 209.18 | 3.62 | 0.01 |
| C.V % | | - | *14.20* | *14.01* | *11.27* | *19.03* |

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns عدم معنی‌داری

* and ** Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. ns: Non-significant.

### عملکرد بیولوژیک

بررسی نتایج نشان داد بین مناطق آزمایشی اختلاف معنی-داری از نظر عملکرد بیولوژیک وجود داشت به‌طوری‌که میزان آن در منطقه همدان با عملکرد بیولوژیک ۲۳/۰۷ تن در هکتار بیشتر از منطقه قم با ۲۱ تن در هکتار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که اثر متقابل بین رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول برای عملکرد بیولوژیک معنی‌دار است (جدول ۳)، بدین ترتیب که در سطح اول رژیم آبیاری سطوح مختلف پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند اما در سطح دوم و سوم آبیاری بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را سطح ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول داشت و شاهد بدون پاکلوبوترازول کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل رژیم آبیاری در باکتری برای عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد بدین ترتیب که در سطح اول رژیم آبیاری، بیشترین این صفت را تلفیق سه باکتری داشت و دیگر سطوح باکتری در سطح کم-تری قرار گرفتند اما در سطح سوم رژیم آبیاری دو سطح تلفیق سه باکتری و ازتوباکتر به ترتیب با ۱۹/۰۵ و ۱۷/۹۵ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را داشتند که از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند و سطوح شاهد، مایکوباکتریوم و آزوسپریلیوم کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را دارند و این سه در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶).

### وزن سنبله

طبق جدول تجزیه واریانس داده‌های موردبررسی، اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول برای صفت وزن سنبله معنی‌دار شد به‌صورت که در سطح اول رژیم آبیاری، بین سطوح پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌دار وجود نداشت اما در سطوح دوم و سوم رژیم آبیاری، بیش‌ترین میزان وزن سنبله را غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول داشت و شاهد بدون مصرف کمترین میزان این صفت را داشت (جدول ۵). همچنین نتایج نشان اثر متقابل رژیم آبیاری در باکتری برای صفت وزن سنبله معنی‌دار شد به‌صورت که در سطح اول رژیم آبیاری بیش‌ترین این صفت را تلفیق سه باکتری داشت و

**جدول ۴. جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد**

**Table 4. Comparison table of the average of the main effects related to performance and performance components**

| Treatment | تیمار | Characteristics: عملکرد دانه Grain yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | وزن سنبله Spike weight | صفات: تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike | وزن هزار دانه 1000 seeds weight |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ---------- $t.ha^{-1}$ ---------- | | g | - | g |
| **region** | **منطقه** | | | | | |
| **Qom** | **قم** | 8.09[b] | 21.00[b] | 8.09[b] | 1216.38[b] | 39.03[b] |
| **Hamedan** | **همدان** | 8.95[a] | 23.07[a] | 8.95[a] | 1345.85[a] | 43.70[a] |
| **Irrigation regime** | **رژیم آبیاری** | | | | | |
| **1** | **1** | 11.18[a] | 27.65[a] | 11.18[a] | 1711.61[a] | 48.60[a] |
| **2** | **2** | 8.60[b] | 21.46[b] | 8.60[b] | 1240.82[b] | 40.73[b] |
| **3** | **3** | 5.78[c] | 17.01[c] | 5.78[c] | 890.93[c] | 34.77[c] |
| **Paclobutrazole** | **پاکلوبوترازول** | | | | | |
| **Control** | **شاهد** | 7.48[b] | 20.20[c] | 7.48[b] | 1134.10[b] | 38.96[b] |
| **50 ppm** | **۵۰ ppm** | 8.35[b] | 21.70[b] | 8.35[b] | 1236.59[ab] | 41.18[b] |
| **100 ppm** | **۱۰۰ ppm** | 9.72[a] | 24.22[a] | 9.72[a] | 1472.66[a] | 43.95[a] |
| **Bacteria** | **باکتری** | | | | | |
| **Control** | **عدم مصرف** | 6.70[d] | 18.44[c] | 6.70[d] | 1000.49[d] | 36.57[c] |
| **Mycobacterium** | **مایکوباکتریوم** | 8.35[c] | 21.27[b] | 8.35[c] | 1236.67[bc] | 41.43[b] |
| **Aztobacter** | **ازتوباکتر** | 9.30[b] | 23.06[b] | 9.30[b] | 1364.82[b] | 43.46[a] |
| **Azospirillium** | **آزوسپیریلوم** | 8.14[c] | 21.41[b] | 8.14[c] | 1187.56[c] | 40.25[b] |
| **Compilation** | **تلفیق سه باکتری** | 10.09[a] | 26.00[a] | 10.09[a] | 1616.06[a] | 45.11[a] |

**Table 4. Continued** **ادامه جدول ۴.**

| Treatment | تیمار | Characteristics: طول سنبله Spike length | ارتفاع بوته Plant height | طول برگ پرچم Flag leaf length | عرض برگ پرچم Flag leaf width |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ---------- cm ---------- | | | |
| **region** | **منطقه** | | | | |
| **Qom** | **قم** | 32.00[a] | 7.46[b] | 97.27[b] | 16.20[b] |
| **Hamedan** | **همدان** | 33.29[a] | 8.47[a] | 109.16[a] | 17.57[a] |
| **Irrigation regime** | **رژیم آبیاری** | | | | |
| **1** | **1** | 36.29[a] | 8.15[a] | 117.08[a] | 18.75[a] |
| **2** | **2** | 34.16[a] | 7.79[a] | 100.85[b] | 16.53[b] |
| **3** | **3** | 27.48[b] | 7.97[a] | 91.71[c] | 15.38[c] |
| **Paclobutrazole** | **پاکلوبوترازول** | | | | |
| **Control** | **شاهد** | 30.06[b] | 7.96[a] | 99.23[b] | 16.29[c] |
| **50 ppm** | **۵۰ ppm** | 31.68[b] | 7.88[a] | 101.95[b] | 16.66[b] |
| **100 ppm** | **۱۰۰ ppm** | 36.19[a] | 8.07[a] | 108.47[a] | 17.72[a] |
| **Bacteria** | **باکتری** | | | | |
| **Control** | **عدم مصرف** | 28.94[b] | 7.94[ab] | 96.29[b] | 15.74[c] |
| **Mycobacterium** | **مایکوباکتریوم** | 32.89[a] | 7.59[b] | 106.51[a] | 16.93[abc] |
| **Aztobacter** | **ازتوباکتر** | 34.22[a] | 8.40[a] | 108.31[a] | 17.92[a] |
| **Azospirillium** | **آزوسپیریلوم** | 33.12[a] | 7.75[ab] | 98.49[b] | 16.27[bc] |
| **Compilation** | **تلفیق سه باکتری** | 34.05[a] | 8.16[ab] | 106.48[a] | 17.57[ab] |

رژیم آبیاری ۱: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس در تمام دوره رشدی (نرمال)، رژیم آبیاری ۲: آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا پایان دوره رشدی، رژیم آبیاری ۳: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا گرده‌افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Irrigation regime 1: irrigation at 40% of available plant moisture discharge during the growing season (optimal irrigation), Irrigation regime 2: optimal irrigation up to pollination stage and irrigation at 60% of available plant moisture discharge until the end of the growing season, Irrigation regime 3: Irrigation in 40% of available plant moisture discharge up to pollination stage and cessation of irrigation until the end of growing season. Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to Duncan tests at 5% level

مایکوباکتریوم و آزوسپریلیوم در یک گروه آماری و پایین‌تر قرار گرفتند و شاهد کم‌ترین این صفت را داشت اما در سطح آبیاری دوم، بیش‌ترین وزن سنبله را تلفیق سه باکتری داشت و بعدازآن مایکوباکتریوم و ازتوباکتر در سطح پایین‌تر و در یک گروه آماری قرار گرفتند اما در سطح سوم رژیم آبیاری دو تیمار ازتوباکتر و تلفیق سه باکتری بیش‌ترین میزان وزن سنبله را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند و شاهد بدون باکتری کم‌ترین میزان این صفت را داشت (جدول ۶).

### *تعداد دانه در سنبله*

بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول در مورد صفت تعداد دانه در سنبله معنی‌دار گردید که بر مبنای جدول ۵، در سطح اول رژیم آبیاری بین سطوح مختلف پاکلوبوترازول تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در رژیم آبیاری سطح دوم و سوم، بیش‌ترین میزان تعداد دانه در سنبله را تیمار غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول داشت و شاهد بدون پاکلوبوترازول کم‌ترین این صفت را داشت. بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها که نشان‌دهنده معنی‌داری اثرات متقابل رژیم آبیاری در باکتری در مورد تعداد دانه در سنبله است، در سطح اول رژیم آبیاری، تعداد دانه در سنبله را تلفیق سه باکتری داشت و در سطح بعدی ازتوباکتر قرار گرفت و در سطوح پایین‌تر دو تیمار مایکوباکتریوم و آزوسپیریلوم قرار گرفتند که این دو تیمار در یک سطح آماری قرار گرفتند و شاهد بدون باکتری کم‌ترین تعداد دانه در سنبله را داشت ولی در سطح دوم آبیاری، بیشترین این صفت را تلفیق سه باکتری داشت و در سطح

بعدی مایکوباکتریوم و ازتوباکتر قرار داشتند که در یک گروه آماری بودند و بعدازآن آزوسپیریلوم قرار گرفت و در آخر شاهد بدون باکتری کم‌ترین این صفت را داشت اما در سطح سوم رژیم آبیاری، دو تیمار ازتوباکتر و تلفیق سه باکتری بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند و شاهد بدون باکتری کم‌ترین میزان این صفت را به خود اختصاص داد (جدول ۶).

**جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول**

**Table 5. Comparison of the mean interactions of irrigation regimen × paclobutrazol**

| رژیم آبیاری Irrigation regime | پاکلوبوترازول Paclobutrazole | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | وزن سنبله Spike weight | تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ---------- $t.ha^{-1}$ ---------- | | g | |
| 1 | 0 | 11.15[a] | 27.57[a] | 3.42[a] | 48.61[a] |
| 1 | 50ppm | 11.14[a] | 27.37[a] | 3.41[a] | 48.15[a] |
| 1 | 100ppm | 11.26[a] | 28.02[a] | 3.50[a] | 49.05[a] |
| 2 | 0 | 7.25[c] | 18.95[c] | 2.51[c] | 37.07[c] |
| 2 | 50ppm | 8.32[b] | 20.67[b] | 2.74[b] | 39.78[b] |
| 2 | 100ppm | 10.24[a] | 24.77[a] | 3.16[a] | 45.36[a] |
| 3 | 0 | 4.06[c] | 14.09[c] | 1.86[c] | 31.22[c] |
| 3 | 50ppm | 5.59[b] | 17.08[b] | 2.32[b] | 35.63[b] |
| 3 | 100ppm | 7.69[a] | 19.87[a] | 2.56[a] | 37.46[a] |

رژیم آبیاری ۱: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس در تمام دوره رشدی (نرمال)، رژیم آبیاری ۲: آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا پایان دوره رشدی، رژیم آبیاری ۳: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا گرده افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Irrigation regime 1: irrigation at 40% of available plant moisture discharge during the growing season (optimal irrigation), Irrigation regime 2: optimal irrigation up to pollination stage and irrigation at 60% of available plant moisture discharge until the end of the growing season, Irrigation regime 3: Irrigation in 40% of available plant moisture discharge up to pollination stage and cessation of irrigation until the end of growing season. Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to Duncan tests at 5% level

همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس داده‌ها مشهود است اثر متقابل پاکلوبوترازول در باکتری برای تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود بدین ترتیب که در سطح شاهد بدون پاکلوبوترازول دو تیمار ازتوباکتر و تلفیق سه باکتری بیش-ترین این صفت را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند اما در سطح غلظت ۵۰ پی پی ام پاکلوبوترازول، تلفیق سه باکتری بیش‌ترین این صفت را به خود اختصاص داد. در سطح غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام پاکلوبوترازول بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله را تیمار تلفیق سه باکتری داشت و ازتوباکتر در سطح پایین‌تر قرار گرفت. دو تیمار مایکوباکتریوم و آزوسپریلیوم در سطح پایین‌تر و در یک گروه آماری قرار گرفتند. شاهد بدون باکتری کم‌ترین میزان این صفت را داشت (جدول ۷).

### *وزن هزار دانه*

مقایسه وزن هزار دانه در دو منطقه موردبررسی نشان داد اختلافی معنی‌دار بین مناطق وجود ندارد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مبین این مطلب بود که وزن هزار دانه تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم آبیاری قرار گرفت بدین ترتیب که سطوح اول و دوم رژیم آبیاری به ترتیب با وزن هزار دانه ۳۶/۲۹ و ۳۴/۱۶ گرم در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشهود نبود اما سطح رژیم آبیاری سوم با وزن هزار دانه ۲۷/۴۸ گرم کم‌ترین میزان را در این خصوص داشت (جدول ۴).

وزن هزار دانه بین سطوح مختلف پاکلوبوترازول دارای واکنش‌های متفاوتی بود و میزان آن بین تیمارهای مورد آزمون در این آزمایش دارای اختلاف معنی‌داری بود بدین‌صورت که سطح استفاده از غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول با وزن هزار دانه ۳۶/۱۹ گرم بالاترین و شاهد بدون پاکلوبوترازول و غلظت ۵۰ پی پی ام به ترتیب با ۳۰/۰۶ و ۳۱/۶۸ گرم کم‌ترین وزن هزار دانه را داشتند و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۳ و ۴). سطوح مختلف باکتری بر روی وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری داشتند و

عدم استفاده از باکتری کم‌ترین میزان وزن هزار دانه را داشت (جدول ۴).

### طول سنبله

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در مناطق مختلف طول سنبله متفاوت بود و اختلاف معنی‌دار بود که منطقه همدان با ۸/۴۷ سانتی‌متر دارای طول سنبله بیشتری نسبت به قم با ۷/۴۶ سانتی‌متر بود (جدول ۳ و ۴). بررسی‌ها نشان دادند که سطوح مختلف رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول تأثیر معنی‌داری بر روی صفت طول سنبله نداشتند (جدول ۳)؛ اما بین سطوح مختلف باکتری این صفت اختلاف معنی‌داری را نشان داد که مصرف ازتوباکتر بیش‌ترین طول سنبله را با ۸/۴۰ سانتی‌متر و مصرف مایکوباکتریوم کم‌ترین طول سنبله را با ۷/۵۹ سانتی‌متر داشت (جدول ۴).

### ارتفاع بوته

بررسی‌ها نشان دادند که اثر متقابل بین پاکلوبوترازول و باکتری بر روی صفت ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۳) که بر اساس نتایج در سطح شاهد بدون پاکلوبوترازول، سطح شاهد بدون باکتری کم‌ترین میزان ارتفاع بوته را داشت و دیگر سطوح باکتری بالاترین ارتفاع را داشتند که هر چهار سطح در یک گروه آماری قرار گرفتند اما در سطح غلظت ۵۰ پی پی ام پاکلوبوترازول بیش‌ترین ارتفاع بوته را با باکتری مایکوباکتریوم داشت و کم‌ترین میزان را شاهد بدون باکتری نشان داد و اما در سطح غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول، ازتوباکتر بیش‌ترین ارتفاع بوته و آزوسپریلیوم کم‌ترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۷).

**جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در باکتری**

**Table 6. Comparison of the mean interactions of irrigation regimen × bacteria**

| رژیم آبیاری Irrigation regime | Bacteria | باکتری | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | وزن سنبله Spike weight | تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ---------- $t.ha^{-1}$ ---------- | | g | - |
| 1 | Control | عدم مصرف | $9.16^{e}$ | $21.77^{d}$ | $2.95^{d}$ | $41.89^{d}$ |
| 1 | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $10.42^{d}$ | $25.62^{c}$ | $3.33^{c}$ | $47.89^{c}$ |
| 1 | Aztobacter | ازتوباکتر | $12.14^{b}$ | $28.97^{b}$ | $3.68^{b}$ | $51.30^{b}$ |
| 1 | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $10.99^{c}$ | $27.96^{b}$ | $3.37^{c}$ | $48.18^{c}$ |
| 1 | Compilation | تلفیق سه باکتری | $13.21^{a}$ | $33.93^{a}$ | $3.90^{a}$ | $53.75^{a}$ |
| 2 | Control | عدم مصرف | $6.44^{e}$ | $18.41^{c}$ | $2.40^{d}$ | $36.28^{d}$ |
| 2 | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $8.90^{c}$ | $21.31^{b}$ | $2.86^{b}$ | $41.03^{b}$ |
| 2 | Aztobacter | ازتوباکتر | $9.39^{b}$ | $22.33^{b}$ | $2.93^{b}$ | $42.66^{b}$ |
| 2 | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $8.16^{d}$ | $20.23^{bc}$ | $2.67^{c}$ | $38.72^{c}$ |
| 2 | Compilation | تلفیق سه باکتری | $10.12^{a}$ | $25.04^{a}$ | $3.17^{a}$ | $44.98^{a}$ |
| 3 | Control | عدم مصرف | $4.50^{e}$ | $15.16^{b}$ | $1.92^{d}$ | $31.56^{c}$ |
| 3 | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $5.76^{c}$ | $16.90^{b}$ | $2.30^{b}$ | $35.38^{ab}$ |
| 3 | Aztobacter | ازتوباکتر | $6.38^{b}$ | $17.91^{a}$ | $2.43^{a}$ | $36.44^{a}$ |
| 3 | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $5.30^{d}$ | $16.04^{b}$ | $2.11^{c}$ | $33.87^{b}$ |
| 3 | Compilation | تلفیق سه باکتری | $6.97^{a}$ | $19.05^{a}$ | $2.46^{a}$ | $36.61^{a}$ |

**رژیم آبیاری ۱: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی قابل‌دسترس در تمام دوره رشدی (نرمال)، رژیم آبیاری ۲: آبیاری نرمال تا گرده‌افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا پایان دوره رشدی، رژیم آبیاری ۳: آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل‌دسترس تا گرده‌افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.**

Irrigation regime 1: irrigation at 40% of available plant moisture discharge during the growing season (optimal irrigation), Irrigation regime 2: optimal irrigation up to pollination stage and irrigation at 60% of available plant moisture discharge until the end of the growing season, Irrigation regime 3: Irrigation in 40% of available plant moisture discharge up to pollination stage and cessation of irrigation until the end of growing season. Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to Duncan tests at 5% level

**جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل پاکلوبوترازول در باکتری**

**Table 7. Comparison of the mean interactions of paclobutrazol × bacteria**

| پاکلوبوترازول Paclobutrazole | Bacteria | باکتری | عملکرد دانه Grain yield | تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike | ارتفاع بوته Plant height |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $t.ha^{-1}$ | - | cm |
| 0 | Control | عدم مصرف | $5.69^{e}$ | $33.75^{c}$ | $89.35^{b}$ |
| 0 | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $7.48^{c}$ | $39.02^{b}$ | $100.36^{a}$ |
| 0 | Aztobacter | ازتوباکتر | $8.20^{b}$ | $41.11^{a}$ | $102.56^{a}$ |
| 0 | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $7.21^{d}$ | $38.50^{b}$ | $100.71^{a}$ |
| 0 | Compilation | تلفیق سه باکتری | $8.87^{a}$ | $42.46^{a}$ | $103.18^{a}$ |
| 50ppm | Control | عدم مصرف | $6.47^{d}$ | $36.66^{d}$ | $93.58^{c}$ |
| 50ppm | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $8.17^{c}$ | $42.20^{b}$ | $111.44^{a}$ |
| 50ppm | Aztobacter | ازتوباکتر | $9.06^{b}$ | $42.68^{ab}$ | $105.40^{ab}$ |
| 50ppm | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $7.97^{c}$ | $40.46^{c}$ | $96.26^{bc}$ |
| 50ppm | Compilation | تلفیق سه باکتری | $10.08^{a}$ | $43.93^{a}$ | $103.13^{b}$ |
| 100ppm | Control | عدم مصرف | $7.95^{d}$ | $39.32^{d}$ | $105.95^{b}$ |
| 100ppm | Mycobacterium | مایکوباکتریوم | $9.43^{c}$ | $43.08^{c}$ | $107.74^{b}$ |
| 100ppm | Aztobacter | ازتوباکتر | $10.64^{b}$ | $46.61^{b}$ | $116.99^{a}$ |
| 100ppm | Azospirillium | آزوسپیریلوم | $9.27^{c}$ | $41.81^{c}$ | $98.51^{c}$ |
| 100ppm | Compilation | تلفیق سه باکتری | $11.34^{a}$ | $48.95^{d}$ | $113.16^{ab}$ |

**میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.**

Means with similar letters in each column, show non-significant difference according to Duncan tests at 5% level

### *طول برگ پرچم*

بین مناطق آزمایشی از منظر طول برگ پرچم اختلاف معنی‌داری وجود داشت که منطقه همدان با ۱۷/۵۷ سانتی‌متر طول بیش‌تری نسبت به قم با ۱۶/۲۰ سانتی‌متر داشت (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس نشانگر این بود که بین سطوح مختلف رژیم آبیاری برای صفت طول برگ پرچم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۱ درصد وجود داشت (جدول ۳)، بر اساس جدول ۴، بیش‌ترین طول برگ مربوط به سطح اول آبیاری با ۱۸/۷۵ سانتی‌متر و کم‌ترین طول برگ مربوط به سطح سوم رژیم آبیاری، با ۱۵/۳۸ سانتی‌متر بود. افزایش طول و عرض برگ نشان‌دهنده افزایش سطح برگ که یکی از مهم‌ترین معیار ظرفیت تولید ماده خشک توسط گیاه پیشنهاد شده است. همچنین نتایج حاکی از آن بود که بین سطوح پاکلوبوترازول در مورد صفت طول برگ پرچم اختلاف معنی‌داری وجود داشت، بیش‌ترین طول برگ پرچم را غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام پاکلوبوترازول با ۱۷/۷۲ سانتی‌متر و کم‌ترین آن را شاهد بدون پاکلوبوترازول با ۱۶/۲۹ سانتی‌متر نشان داد (جدول ۴). طبق جدول تجزیه واریانس داده‌ها، بین سطوح مختلف باکتری اختلاف معنی‌داری از منظر طول برگ پرچم مشهود بود که بررسی میانگین آن‌ها نشان داد مصرف ازتوباکتر بیش‌ترین طول برگ پرچم (۱۷/۹۲ سانتی‌متر) و شاهد بدون باکتری کم‌ترین طول برگ پرچم (۱۵/۷۴ سانتی‌متر) را داشت (جدول ۳ و ۴).

### *عرض برگ پرچم*

عرض برگ پرچم بین مناطق مختلف آزمایشی متفاوت بود و در منطقه همدان با ۰/۵۸ سانتی‌متر بیش‌تر از منطقه قم با ۰/۵۰ سانتی‌متر بود (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌ها بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌داری برای عرض برگ پرچم بین سطوح مختلف رژیم آبیاری بودند. بدین ترتیب که در صورت استفاده از رژیم آبیاری سطح سوم عرض برگ با میزان ۰/۴۹ سانتی‌متر کم‌ترین میزان و سطح رژیم آبیاری اول با افزایش در

عرض آن بالاترین میزان را با ۰/۵۹ سانتی‌متر داشت (جدول ۳ و ۴). همچنین بر اساس جدول تجزیه واریانس این گونه استنباط گردید که عرض برگ پرچم تحت تأثیر پاکلوبوترازول قرار نگرفت و بین سطوح مختلف آن اختلاف معنی‌داری مشهود نبود (جدول ۳). بررسی‌ها بیانگر این مطلب بود که سطوح مختلف باکتری بر روی عرض برگ پرچم تأثیر داشتند و اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار بود بدین ترتیب که استفاده از ازتوباکتر بیش‌ترین (۰/۶۰ سانتی‌متر) و استفاده از آزوسپیریلوم کم‌ترین (۰/۵۰ سانتی‌متر) عرض برگ پرچم را داشتند (جدول ۴).

***بحث***

اکثر گیاهان یک‌ساله‌ای که بذر تولید می‌کنند در مراحل اولیه گلدهی نسبت به خشکی حساس هستند، چنانچه غلات در مراحل اولیه رشد زایشی تحت تنش قرار گیرند، عملکرد دانه آن‌ها به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. ذرت در مرحله گل‌دهی حساسیت زیادی به خشکی دارد علت اصلی این حساسیت به تأخیر افتادن ظهور اندام‌های ماده است که باعث می‌شود در هنگام رسیدن دانه‌های گرده، مادگی آمادگی پذیرش آن‌ها را نداشته باشد، گندم نیز درست قبل از گرده‌افشانی نسبت به خشکی حساس است. احتمالاً در این حالت تقسیم میوز دچار اختلال شده و تولید گرده‌های سالم کاهش می‌یابد (Si et al., 2020).

با بروز تنش خشکی سرعت رشد ریشه‌ها کاهش می‌یابد البته رشد ریشه نسبت به رشد قسمت هوائی گیاه کم‌تر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به‌طورکلی نسبت ریشه به ساقه افزایش می‌یابد در اثر تنش آب لایه‌ای از سوبرین تا انتهای ریشه را می‌پوشاند و بنابراین از ظرفیت جذب ریشه می‌کاهد. ریشه‌ها به‌طرف آب در خاک رشد می‌کنند به‌شرط آنکه فاصله آن‌ها تا آب کم باشد. وقتی بارندگی سبک و مکرر باشد تنها قسمت کمی از ناحیه بالقوه ریشه مرطوب شده و نفوذ ریشه تنها به لایه کم‌عمق محدود می‌شود در این حالت گیاه نسبت به دوره‌های خشک به‌ویژه در مراحل بعدی رشد، حساس خواهد بود (Black et al., 2000).

رادیکال‌های آزاد اکسیژن مولکول‌های فعالی هستند که دارای یک الکترون می‌باشند. رادیکال‌های آزاد اکسیژن به‌طور بالقوه دارای پتانسیلی هستند که با بسیاری از ترکیبات سلولی واکنش داده و سبب خسارت به غشاء و سایر ماکروملکول‌های ضروری از قبیل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (Ahmadian et al., 2021). گیاهان با دارا بودن سیستم ضد اکسنده که شامل ترکیبات آنزیمی (سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، اسکوربیت پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز) و غیر آنزیمی (اسید آسکوربیک، گلوتاتیون، کارتنوئیدها و توکوفرول) است، معمولاً سطوح رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول را در حد متعادل نگه می‌دارد. افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها تحمل گیاه را به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند (Kong et al., 2014).

تنش خشکی اثر فیزیولوژیکی و بیولوژیکی متنوعی را در گیاه ایجاد کرده و می‌تواند منجر به ممانعت از فرآیندهای بیوشیمیایی مهمی نظیر فتوسنتز، تنفس و اسیمیلاسیون عناصر غذایی گیاهی شود. همچنین هنگام انتقال مجدد منبع مواد انتقالی به مقصد (دانه) دچار آب باعث مختل شدن انتقال مجدد شده و در نتیجه دانه‌های ریزتری تشکیل می‌گردد و از وزن هزار دانه کاسته می‌شود (Mozaffari et al., 2016). پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2007) در بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر سه رقم گندم نتیجه گرفتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شده است به‌طوری‌که کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار تنش خشکی در زمان گلدهی تا پایان دوره رشدی بوده است که با نتایج حاصل از این آزمایش همخوانی داشت.

برخی از پژوهشگران اثر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر تریازول‌ها را در مقاومت به سرما گزارش کرده‌اند (Mahmut Sinan et al.,2009). تریازول‌ها ترکیباتی هستند که به‌عنوان قارچ‌کش، ممانعت‌کننده سنتز ارگوسترول در قارچ و بیوسنتز فیتواسترول در گیاهان (Fletcher and Hoftstra, 1988; Khan et al., 2009) تنظیم‌کننده رشد گیاه (ممانعت‌کننده سنتز جیبرلین) شناخته‌شده‌اند (Wilhelm et al., 1987). تریازول‌هایی مانند پاکلوبوترازول، مانع رشد گیاه و طویل شدن، موجب افزایش مقادیر کلروفیل، بزرگ شدن کلروپلاست‌ها، ضخیم شدن بافت تر برگ، افزایش نسبت ریشه به ساقه، تولید آلکالوئیدها و افزایش متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شوند (Fletcher et al., 2000). همچنین، تریازول‌ها تغییرات هورمونی و اثر بیوشیمیایی نظیر رفع سمیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش پرولین و تقویت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی سلول‌ها را القا می‌نمایند و باعث مقاومت به تنش‌ها می‌شوند. در گیاهانی که دارای توانایی ذاتی در پاسخ به تنش‌ها هستند، تریازول‌ها بیان می‌شوند و

بروز این توانایی را تسهیل می‌کنند (Fletcher et al., 2000; Kuan-Hung et al., 2006). تریازول‌ها بر مسیر سنتز ایزوپرونوئیدها اثر می‌گذارند و موجب ممانعت سنتز جیبرلین، کاهش اتیلن و افزایش سیتوکینین و آبسیزیک اسید می‌شوند. مشتقات تریازول با ممانعت بیوسنتز جیبرلین توسط ممانعت از مراحل اکسیداسیون کائورن به کائورنال، سوبستراهایی برای بیوسنتز کاروتنوئید و آبسیزیک اسید فراهم می‌کنند. به‌کرات ثابت شده است که القای افزایش تولید آبسیزیک اسید، گیاهان را از تنش‌های محیطی مختلف محافظت می‌کند (Wilhelm et al., 1987؛ Werbrouck and Debergh, 1996). پاکلوبوترازول مقاومت گیاهان را تحت شرایط تنش خشکی با کاهش میزان تنفس (طی کاهش سطح برگ)، افزایش شاخص‌های مقاومتی، کاهش مصرف آب، افزایش محتوای نسبی آب و افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها، بالا می‌برد (Sankar et al., 2013).

گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر پاکلوبوترازول بر روی میزان فتوسنتزی گیاه وجود دارد که برخی کاهش و برخی افزایش میزان فتوسنتز را بیان می‌کنند. پاکلوبوترازول تا حدی بر روی سرعت فتوسنتزی تأثیر دارد، هرچند شاید به دلیل تأثیر غیرمستقیم آن بر روی محدود کردن سطح برگ که باعث کاهش سطح فتوسنتزی می‌شود ولی از طرفی باعث افزایش میزان کلروفیل و ضخامت برگ نیز می‌گردد (Jungklang et al., 2016).

طبق گزارش‌ها استفاده از پاکلوبوترازول در ذرت باعث بهبود سیستم ریشه‌ای گیاه شد و در آزمایش دیگری مشخص شد گیاهان برنج و گندم تیمار شده با پاکلوبوترازول فعالیت ریشه بالاتری داشتند و این باعث بهبود عملکرد گیاه در شرایط تنش شد (Zhao et al.,2011; Yam et al.,2013). یکی از دلایل دیگر افزایش عملکرد دانه گسترش بیشتر ریشه در تیمارهای پاکلوبوترازول گزارش کردند که باعث کاهش میزان اندام هوایی گیاه و قوی‌تر کردن سیستم ریشه‌ای و متعاقباً افزایش جذب مواد مغذی و آب می‌گردد (Kamran et al.,2018). گزارش شده که استفاده از پاکلوبوترازول می‌تواند اثرات نامطلوب تنش کمبود آب را با افزایش سطوح آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌هایی نظیر سوپر اکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز، کاهش دهد (Rady and Gaballah, 2012). پاکلوبوترازول باعث افزایش مقاومت گونه‌های مختلف گیاهی در برابر برخی تنش‌های محیطی مانند خشکی و دما شد (Dewi et al., 2016). مکانیسم بیوشیمیایی این مسئله را شاید بتوان به تأثیرات پاکلوبوترازول بر روی تغییر تعادل هورمونی، با محدود کردن جیبرلیک اسید و افزایش میزان آبسیزیک اسید مرتبط دانست (Kim et al., 2012). با توجه به نتایج تحقیق حاضر، تنش باعث کاهش عملکرد و آسیب به گیاه شده است که یکی از این صدمات به میزان کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز در گیاه است، در مقابل، پاکلوبوترازول با جلوگیری از تخریب اکسیداتیو غشا و نشت الکترولیتی از آن به پایداری سلول‌ها و غشاهای کلروپلاستی کمک کرد و با حفاظت و افزایش مقادیر کلروفیل از کاهش عملکرد فتوسنتزی تحت تنش جلوگیری کرد و از این نظر آثار منفی تنش روی رشد گیاه را تعدیل کرد. احتمالاً این تغییرات نتیجه تغییرات هورمونی است که توسط پاکلوبوترازول القا شده است. گزارش شده است که تریازول مقادیر آبسیزیک اسید را افزایش می‌دهد و از این طریق مقاومت به تنش را افزایش می‌دهد (Tafazoli and Beyl, 1993).

گزارشات حاکی از آن است که پاکلوبوترازول موجب افزایش تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در خوشه و همچنین مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و غیرمحیطی می‌گردد (Bayat et al., 2010). گزارش های متعددی مبنی بر تأثیر پاکلوبوترازول بر روی میزان فتوسنتزی گیاه گزارش شده است که برخی کاهش و برخی افزایش میزان فتوسنتز را بیان می‌کنند. پاکلوبوترازول تا حدی بر روی سرعت فتوسنتزی تأثیر دارد، هر چند شاید به دلیل تأثیر غیرمستقیم آن بر روی محدود کردن سطح برگ که باعث کاهش سطح فتوسنتزی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز شود (Davis et al.,1988). گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد در صورت استفاده از پاکلوبوترازول عملکرد گیاهان مختلف با توجه به اثرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اشاره شده افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. شاید بتوان دلیل برهمکنش باکتری و پاکلوبوترازول را به افزایش میزان ریشه در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول و در نتیجه افزایش سطح ارتباط و در نتیجه افزایش فعالیت بین باکتری‌ها و ریشه‌های گیاه دانست.

باکتری‌ها پتانسیل بالا و خوبی جهت تعدیل و تنظیم پاسخ های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه در برابر تنش آبی داشته و به همین خاطر باعث افزایش بقای گیاه تحت شرایط سخت و متنوع محیطی می‌شوند (Marasco et al., 2012).

باکتری‌های محرک رشد با تولید بیوفیلم[1] و ترشح اگزوپلی ساکاریدها[2] ونیز تحریک‌گیاه به تولید حفاظت کننده های اسمزی[3] و پروتئین‌های شوک گرمایی[4] اثر مثبتی بر سازگاری و تحمل گیاه به تنش خشکی دارند (Grover et al., 2010). اگزوپلی ساکارید ها (EPS) تولید شده توسط میکروارگانیسم ها، جزء فعال ماده آلی خاک را تشکیل داده و بخش عمده‌ای از فضای خارج سلولی جرم باکتری (دامنه ای بین ۴۰ تا ۹۵ درصد) را در بر می‌گیرند (Verma et al., 2016). اگزوپلی ساکاریدها وظایف حیاتی در حفاظت نظیر جذب سطحی[5]، تشکیل بیوفیلم، تشکیل اجتماع میکروبی، افزایش تعامل بین گیاه و میکروارگانیسم ها و زیست پالایی[6] ایفاء می‌کنند.

اگزوپلی‌ساکاریدها تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد گیاه نظیر آزوسپیریلوم با بهبود ساختمان و ذرات خاک، باعث تحمل بهتر گیاه به تنش خشکی می‌شوند (Verma et al., 2016). برخی از باکتری‌ها با رهاسازی ترکیبات فرار آلی[7] (VOC) به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم باعث افزایش بیوماس، بالارفتن تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی و مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌شوند (Liu and Zhang, 2015).

برهمکنش گیاه با میکروارگانیسم‌ها خاک شرایط خوبی را برای گیاه در برابر تنش کم آبی فراهم می‌سازد (Verma et al., 2016). توانایی‌های باکتری مایکوباکتریوم در بالابردن و بهبود رشد گیاه و نقش آن‌ها در افزایش تحمل به تنش آبی گزارش شده است (Yang et al., 2009). در تحقیقی به‌منظور کنترل تنش خشکی در گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد دریافتند که تلقیح باکتریایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را در گیاه گندم کاهش داد آن‌ها نیز اشاره داشتند که این باکتری‌ها از طریق سازوکارهای متعدی چه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مانند افزایش حجم ریشه باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی شدند (Kasim et al., 2013). باکتری‌های محرک رشد با ترشح اگزوپلی‌ساکاریدها و نیز تحریک گیاه به تولید حفاظت کننده‌های اسمزی و پروتئین-های شوک گرمایی اثر مثبتی بر سازگاری و تحمل گیاه به تنش خشکی دارند (Grover et al., 2010).

طی بررسی‌های انجام شده تحت شرایط اقلیمی و خاکی منطقه ویلکوپولسکا هلند، مشاهده شد که تلقیح ذرت با باکتری محرک رشد، تأثیر سودمندی روی قدرت جوانه‌زنی و عملکرد ذرت دارد (Swedrzynska and Swwicka, 2000). آزمایشات مختلف حاکی از آن است که تلقیح گیاهانی از قبیل گوجه فرنگی، سورگوم، ذرت و لوبیا با باکتری موجب افزایش فعالیت تنفسی ریشه می‌گردد و جذب ویژه یون های از قبیل $NO_3^-$، $K^+$، $H_2PO_4^-$ و عناصر میکرو در اثر تلقیح گیاه با باکتری افزایش و در نهایت عملکرد بیولوژیک و عملکرد نهایی افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این آزمون مطابقت داشت (Dobbelaere et al., 2001).

نتایج آزمایش عموآقایی و همکاران (Amoaghaee et al., 2003) بر روی اثر آزوسپیریلوم بر ارقام گندم نشان داد استفاده از این باکتری باعث افزایش عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و وزن خشک ریشه و ساقه شد. مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2006) بیان نمودند استفاده از باکتری آزوسپیریلوم برای تلقیح بذر ارقام گندم امری مفید است و سبب افزایش عملکرد دانه و همزمان سبب افزایش کیفیت دانه شد.

نتایج آزمایشات زاید و همکاران (Zaiad et al., 2007) نشان داد که تلقیح کلزا (کانولا) با ازتوباکتر همراه با ۵۰ درصد نیتروژن پیشنهاد شده، باعث افزایش بسیاری از شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه از جمله سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه وگیاه گردید. کاکماکی و همکاران (Cakmakci et al., 2007) تحقیقی را به‌منظور بررسی اثر باکتری های آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و سودوموناس بر عملکرد جو انجام دادند و بیان کردند که کاربرد این باکتری‌ها موجب افزایش عملکرد دانه و بیوماس ریشه در جو می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

ریزوباکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه همچنین با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین منجر به افزایش رشد منطقه سطحی ریشه می‌شوند و به‌این‌ترتیب منجر به افزایش سطح تماس در خاک و تغذیه گیاه می‌شوند (Robin et al., 2008). باکتری‌های محرک رشد گیاه هم به‌صورت کودهای زیستی، تحریک کننده های

[1] biofilm
[2] exopolysacchrides
[3] Osmoprotectors
[4] Heat shock Proteins
[5] Surface attachment
[6] Bioremediation
[7] Volatile Organic Compounds

رشد تارهای کشنده، کنترل کننده اثرات تنش‌ها در گیاهان، حل کننده بهتر مواد معدنی مانند فسفر و تثبیت کننده نیتروژن به شمار می‌آیند (Van Loon, 2007; Vessey, 2003)؛ بنابراین استفاده از این باکتری‌ها به همراه استفاده از پاکلوبوترازول که سبب افزایش میزان ریشه گیاه می‌شوند می‌توانند در کاهش اثرات منفی تنش کم آبیاری کمک کنند.

## نتیجه‌گیری نهایی

در کل نتایج نشان دادند در شرایط رژیم آبیاری کم آب‌تر استفاده از پاکلوبوترازول می‌تواند باعث افت کم‌تر و بهبود عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شود. به‌طوری‌که در شرایط تنش کم آبیاری سوم استفاده از میزان صد پی‌پی‌ام از پاکلوبوترازول سبب کاهش اثرات منفی حال از تنش شد. همچنین می‌توان استنباط کرد استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و بهبود صفات مورفولوژیک می‌گردد و تیمار تلفیق باکتری‌های مایکوباکتریوم، ازتوباکتر و آزوسپیریلوم بیش‌ترین عملکرد را داشت. همچنین نتایج ادعان داشتند در رژیم‌های مختلفی باکتری‌های موردبررسی در این آزمایش عکس‌العمل های متفاوتی را نشان دادند.

## منابع


Abbasi, A.R., Shafi Rahmani, M., Vafaei, Y., 2000. Plant Biochemistry. Translation. First Edition. University of Tehran Press. 232-233. [In Persian].

Ahmadian, K., Jalilian, J., Pirzad, A., 2021. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. Journal of Agricultural Water Management. 224, 106544.

Amoaghaee, R., Mostajeran, A. Emtiazee, G., 2003. The effect of *Azospirillum* on some growth and yield indices of three wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources. 7, 127-139. [In Persian with English summary].

Atrashi, M., Vafadar Estehan, F., Amoaghaee, R., 2015. The effect of mycorrhizal fungi and rhizobacteria that stimulate plant growth on growth rate, flowering time and stevioside accumulation pattern in stevia. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 31, 220-234. [In Persian with English summary].

Bashan, Y., Holguin, G., 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Canadian Journal of Microbiology. 43, 103-121.

Bayat, S., Sepehri, A., Zareaabyane, H., Abdolahi, M.R., 2010. Effects of salicylic acid and paclobutrazol on maize yield under salt stress. 11th Congress of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Beheshti University, Tehran. 3715-3718. [In Persian].

Black, C., Erick, B., Ong, C., 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. Agricultural and Forest Meteorology. 104, 25-47.

Çakmakçi, R., Erat, M., Oral, B., Erdogan, U., Şahin, F., 2009. Enzyme activities and growth promotion of spinach by indole-3-acetic acid-producing rhizobacteria. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 84, 375–380.

Davis, T. D., Steffens, G. L., Sankhala, N., 1988. Triazole plant growth regulators. pp. 63 – 96, In: J. Janick (Ed.), Horticultural Reviews. Timber Press, USA.

Dewi, K., Agustina, R. Z., Nurmalika, F., 2016. Effects of blue light and paclobutrazol on seed germination, vegetative growth and yield of black rice (*Oryza sativa* L. 'CempoIreng'). Biotropia, 23, 85–96. https://doi.org/10.11598/btb.2016.23.2.478

Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., 2001. Response of agronomically important crops to inoculation with Azospirillum. Australian Journal of Plant Physiology. 28, 871-879.

Fletcher, R., Hofstra, G., 1988. Triazoles as potential plant protectants. In: Berg, D., Plempel, M. (eds.), Sterol synthesis inhibitors in plant protection, Ellis Horwood Ltd., Cambridge, pp. 321-331.

Fletcher, R., Sankhla, N., Davis, T., 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Horticultural Reviews. 24, 55-122.

Grover, M., Ali, S. Z., Sandhya, V., Rasul, A., Venkateswarlu, B., 2010. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stress. World Journal of

Microbiology and Biotechnology. 27, 1231-1240.

Hamidi, A., Asgharzadeh, A., Chaokan, R., Dehghan shoar, M., Qalavand, A., Malakouti, J., 2010. Effects of PGPR application on dry matter partitioning and some growth characteristics of maize (*Zea mays* L.) hybrids under greenhouse conditions. Iranian Journal of Soil Research. 24, 55-67. [In Persian with English summary]

Jalali, M., Zare, A.A., 2019. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on quantitative and qualitative yield of Lemon verbena. 16th Iranian Soil Science Congress. University of Zanjan, August 27-29. [In Persian].

Jungklang, J., Saengnil, K.,, Uthaibutra, J., 2016. Effects of water-deficit stressand paclobutrazol on growth, relative water content, electrolyte leakage, prolinecontent and some antioxidant changes in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. cv. Chiang Mai Pink. Saudi Journal of Biological Sciences, 24, 1505–1512.

Kamran, M., Wennan, S., Ahmad, I., Xiangping, M., Wenwen, C., Xudong, Z., Tiening, L., 2018. Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. Scientific. Reports. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23166-z

Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., Abd El-Daim, I.A., Abd El-Daim, I.A., Bejai, S., Meijer, J., 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth- promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation. 32, 122–130.

Khan, M.S.H., Wagatsuma, T., Akhter, A., Taukraya, K., 2009. Sterol biosynthesis inhibition by paclobutrazol induced greater Aluminum sensivity in Al-tolerant rice. American Journal of Plant Physiology. 4, 89-99.

Kim, Y. C., Glick, B., Bashan, Y., Ryu, C.M., 2013. Enhancement of plant drought tolerance by microbes. In: Aroca R, (eds). Plant responses to drought stress. Berlin: Springer Verlag, 383-413.

Kong L., Wang, F., Si, J., Feng, B., Zhang, B., Li, S., Wang, Z., 2014. Increasing in ROS levels and callose deposition in peduncle vascular bundles of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under nitrogen deficiency. Journal of Plant Interactions. 8, 109–116.

Kuan-Hung, L., Fu-Hsiang, P., Shih-Ying, H., Hsiao-Feng, L., 2006. Pre-treating paclobutrazol enhanced chilling tolerance of sweet potato. Journal of Plant Growth Regulation. 49, 249-262.

Kumar, R., Bhatia, R., Kukreja, K., Behl, R.K., Dudeja, S.S., Narula, N., 2007. Establishment of *Azotobacter* on plant roots: chemotactic response, development and analysis of root exudates of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Basic Microbiology. 47, 436-439. https://doi.org/10.1002/jobm.200610285

Liu, X-M., Zhang, H., 2015. The effects of bacterial volatile emissions on plant abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science. 6, 1-6, 774.

Mahmut Sinan, T., Rahmi, D., Guleray, A., 2009. Determination of effects of some plant growth regulators (PGRs) on changes of some isoenzymes in bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv Terzibaba) at chilling temperatures: in gel enzyme assays. Romanian Biotechnological Letters. 14, 4858-4869.

Marasco, R., Rolli, E., Ettoumi, B., Vigani, G., Mapelli, F., Borin, S., Abou-Hadid, A.F., El-Behairy, U.A., Sorlini, C., Cherif, A., 2012. A drought resistance promoting microbiome is selected by root system under desert farming. Plos One. 7, 1-14.

Mostajeran, A., Amoaghaee, R., Emtiazee, G., 2006. Effect of azospirillum and salinity of irrigation water on grain yield and protein content of wheat cultivars. Research Journal of University of Isfahan "Science". 24, 51-64. [In Persian with English Summary].

Mozaffari, A., Habibi, D., Asgharzadeh, A., Mashhadi Akbarbojar, M., 2016. Drought tolerance study of two wheat cultivars inoculated with Rhizobacteria (PGPR). Journal of Agriculture and Plant Breeding. 7-4, 29-43. [In Persian with English summary].

Munns, R., James, R.A., Lauchli, A., 2006. Approaches increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. 57, 1025-1043.

Narula, N., Kumar, V., Singh, B., Bhatia, R., Lakshminarayana, K., 2005. Impact of biofertilizers on grain yield in spring wheat under varying fertility conditions and wheat-cotton rotation. Archives of Agronomy and Soil Science. 51, 79-89.

Paknejad, F., Majidi, A., Nourmohammadi, Gh., Sayyidat, A., Vazan, S., 2007. Evaluation of the effect of drought stress on the traits affecting the accumulation of grain material in different wheat cultivars. Journal of Agricultural Sciences. 13, 137-148. [In Persian with English summary].

Rady, M.M., Gaballah, M.S., 2012. Improving barley yield grown under water stress conditions. Research Journal of Recent Sciences. 1, 1–6.

Robin, A., Vansuyt, G., Hinsinger, P., Meyer, J.M., Briat, J.F., Lemanceau, P., 2008. Iron dynamics in the rhizosphere: consequences for plant health and nutrition. Advances in Agronomy. 99, 183-225.

Sadeghi-Shoae, M., Habibi, D., Taleghani, D., Paknejad, F., Kashani, A., 2014a. Evaluation the effect of paclobutrazol on bolting, qualitative and quantitative performance in autumn sown-sugar beet genotypes in Moghan region. International Journal of Biosciences. 5, 345-354.

Sadeghi-Shoae, M., Paknejad, F., Shahbazpanahi, B., Tookalloo M.R., 2014b. Florescence parameters, chlorophyll content and relative water content (RWC) of wheat varieties as affected by different regimes of irrigation. International Journal of Biosciences. 4, 135-140.

Sankar, B., Karthishwaran, K., Somasundaram, R., 2013. Leaf anatomychanges in peanut plants in relation to drought stress with or withoutpaclobutrazol and abscisic acid. Journal of Phytology. 5, 25–29.

Si, Zh., Zain, M., Mehmood, F., Wang, G., Gao, Y., Duan, A., 2020. Effect of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. Journal of Agricultural Water Management. 231, 1-8.

Swedrzynska, D., Sawicka, A., 2000. Effect of inoculation with Azospirillum brasilense on development and yielding of maize under different cultivation conditions. Polish Journal of Enviromental Studies. 9, 505-509.

Syahputra, B.S.A., Sinniah, U.R., Ismail, M.R., Swamy, M.K., 2016. Optimization of paclobutrazol concentration and application time for increased lodging resistance and yield in field-grown rice. Philippine Agricultural Sciences. 99, 221–228

Tafazoli, E., Beyl, C., 1993. Changes in endogenous abscisic acid and cold hardiness in actinidia treated with triazole growth retardants. Journal of Plant Growth Regulation. 12, 79-83.

Van Loon, L.C., 2007. Plant responses to plant growth promoting rhizobacteria. European Journal of Plant Pathology. 119, 243-254.

Verma, P., Saxena, R., Tomar, R.S., 2016. Rhizobacteria: a promising tool for drought tolerance in crop plants. International Journal of Pharma and Bio Sciences Spl Ed. (Int-BIONANO-2016). 116-125.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255, 571-586.

Werbrouck, S.P.O., Debergh, P.C., 1996. Imidazole fungicides and paclobutrazol enhance cytokinin-induced adventitious shoot proliferation in Araceae. Journal of Plant Growth Regulation. 15, 81-85.

Wilhelm, R.A., Hansjoerg, F.R., Jan, E.G., Hubert, S.A., Johannes, J.U., 1987. Tetcyclacis and triazole-type plant growth retardants: their influence on the biosynthesis of gibberellins and other metabolic processes. Post Mangement Science. 21, 241-252.

Yan, W., Yanhong, Y., Wenyu, Y., Taiwen, Y., Weiguo, L., Xiaochun, W., 2013. Responses of root growth and nitrogen transfer metabolism to uniconazole, a growth retardant, during the seedling stage of soybean under relay strip intercropping system. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 44, 3267–3280. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.840838

Yang, J., Kloepper, J.W., Ryu, C.M., 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science. 14, 1–4.

Zaied, K. A., Abd, A.H., El-Hady, A., Sharief. A. H., Ashour, E.H., Nassef, M.A., 2007. Effect of Horizontal DNA transfer in *Azospirillum* and *Azotobacter* strains on biological and biochemical traits of non legume plants. Journal of Applied Sciences Research. 3, 73-86.

Zhao, J., Zhang, W., Qiu, Q., Li, Z.P., Zhang, M.H., Yan, X.Y., Du, D.H., 2012. Effects of PP333 spraying at different stages on soybean agronomic and physiological characters. Soybean Sciences. 30, 211–214