

## Effect of Potassium Solubilizing Bacteria on Quantitative and Enzymatic Characteristics of Canola in Saline Soil

Sadegh Beacknejad Daroonkolaei<sup>1</sup>, Mohammad Reza Amerian<sup>2\*</sup>, Hemmatollah Pirdashti<sup>3</sup>, Esmail Bakhshandeh<sup>4</sup>, Ahmad Gholami<sup>2</sup>

Received: 25 November 2020 Accepted: 31 May 2021

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology (SUT), Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology (SUT), Iran.

3- Prof., Dept. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

4- Assist. Prof., of Molecular Physiology, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan (GABIT), Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

\*Corresponding Author Email: amerianuk@yahoo.co.uk

### Abstract

**Background and Objective:** This study aimed to investigate the effect of potassium solubilizing bacteria on quantitative and enzymatic characteristics of canola (*Brassica napus* L.) cultivar 'Hayola 50' under saline soil.

**Materials and Methods:** The experiment was carried out based on a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. The studied treatments were included potassium sulfate fertilizer at seven levels control, 25, 50, 75, 100, 125 and 150 kg.ha<sup>-1</sup> PSF as the main plot and the bacterial inoculations at five levels (control or non-bacterial inoculation, *Pantoea agglomerans*, *Rahnella aquatilis*, a combination of two bacteria *Pantoea agglomerans* and *Rahnella aquatilis* and a commercial potassium biofertilizer (containing *Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas Vancouverensis*) as the sub-plots. At the end of the growing season, traits such as grain yield, biological yield, grain oil yield, the amount of sodium and potassium uptake in the canola shoot and grain and the activity of antioxidant enzymes such as catalase, peroxidase and superoxide dismutase were measured.

**Results:** The results indicated that most of the studied traits were affected by PSF and inoculation methods. Moreover, the interaction effects were statistically significant on grain yield, oil yield, SOD enzyme activity and sodium uptake in the stem. The co-inoculation with *P. agglomerans* and *R. aquatilis* as the best treatment caused a significant increase in the yield of grain, biological and oil, potassium and sodium uptake in grain and stem by 46.0, 33.9, 71.2, 21.0, 21.1, 16.1 and 18.9%, respectively, and also a significant decrease was observed in CAT, GPX and SOD enzymes activity by 26.7, 28.3 and 25.3%, respectively, compared to the control. According to the results of regression analysis, the highest biological yield was found when the co-inoculation with *P. agglomerans* and *R. aquatilis* was applied which was 39.0% higher than those obtained in the control condition. The maximum rate of increase in grain yield (8.38 kg) per kg increase in PSF belonged to the co-inoculation treatment which caused 51.06% higher grain yield in comparison with the control condition (3920 kg.ha<sup>-1</sup>). Besides, the highest oil grain yield was obtained when the co-inoculation treatment was used along with 100 kg.ha<sup>-1</sup> PSF (73.9% more than the control condition).

**Conclusion:** In general, a combination inoculation of these bacteria could increase the yield of grain and oil and also improve canola growth under saline soil conditions which can be considered as an appropriate method for reaching sustainable rapeseed cultivation.

**Keywords:** Canola, Enzyme Activity, Potassium Sulfate Fertilizer, Potassium Solubilizing Bacteria , Yield

## تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر خصوصیات کمی و آنزیمی کلزا در خاک شور

صادق بیکنژاد درونکلائی<sup>۱</sup>، محمدرضا عامریان<sup>۲\*</sup>، همت‌اله پیردشتی<sup>۳</sup>، اسماعیل بخشنده<sup>۴</sup>، احمد غلامی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۰

۱- دانشجوی دکتری زراعت گرایش فیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۳- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۴- استادیار فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

مسئول مکاتبه: Email: amerianuk@yahoo.co.uk

### چکیده

**اهداف:** بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و آنزیمی کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ۵۰ در خاک شور از اهداف این پژوهش بود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در خاک شور منطقه گهرباران میاندورود در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام گردید. تیمارهای مورد مطالعه شامل کود شیمیایی سولفات پتاسیم در هفت سطح شاهد، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان کرت اصلی و جدایه‌های باکتری در پنج سطح شاهد (بدون استفاده از باکتری)، باکتری *Pantoea agglomerans*، باکتری *Rahnella aquatilis* ترکیب همزمان دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم بارور ۲ (شامل باکتری‌های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis*) به عنوان کرت فرعی بودند. در پایان فصل زراعی، صفاتی نظیر عملکرد دانه، بیولوژیک و روغن دانه، میزان جذب عنصر سدیم و پتاسیم در اندام‌های هوایی و دانه کلزا و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز، گلوتامین پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف کود و تلقیح بر صفات عملکرد دانه، روغن، سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD) و سدیم ساقه بود. علاوه بر این، اثرات متقابل برای صفات عملکرد دانه و روغن دانه، آنزیم SOD و سدیم ساقه معنی‌دار بود. ترکیب همزمان دو باکتری *P. agglomerans* و *R. aquatilis* به عنوان بهترین تیمار، موجب افزایش معنی‌دار صفات عملکرد دانه، بیولوژیک و روغن دانه، پتاسیم و سدیم دانه و ساقه و کاهش معنی‌دار آنزیم‌های CAT، GPX و SOD نسبت به تیمار شاهد شد. طبق نتایج تجزیه رگرسیون، بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک و دانه در تیمار تلقیح ترکیبی دو باکتری مشاهده گردید که به ترتیب باعث افزایش ۳۹ و ۵۱/۰۶ درصدی این صفات نسبت به تیمار شاهد شد. علاوه بر این، بالاترین عملکرد روغن (۷۳/۹ درصد بیشتر در مقایسه با تیمار شاهد) نیز با کاربرد همزمان دو باکتری به همراه مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم مشاهده گردید.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی با کاربرد همزمان دو باکتری *P. agglomerans* و *R. aquatilis* امکان افزایش عملکرد دانه و روغن و بهبود شرایط رشدی کلزا در شرایط خاک شور وجود داشته که از آن می‌توان در زراعت پایدار کلزا استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** باکتری، *P. agglomerans*، *R. aquatilis*، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، کلزا

#### مقدمه

گسترش عرصه‌های طبیعی شور به دلیل تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن کره زمین بواسطه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما، امری مشهود است (رحیمیان و همکاران ۲۰۱۳). تنش شوری همچون سایر تنش‌های غیرزنده خسارات قابل ملاحظه‌ای بر رشد و نمو به ویژه عملکرد محصول بسیاری از گیاهان از جمله گیاهان روغنی ایجاد می‌کند (نگراؤ و همکاران ۲۰۱۷). در ایران در بسیاری از اراضی مشکل شوری و عدم زه‌کشی مناسب اراضی دیده می‌شود. با وقوع کم آبی در سال‌های اخیر نه تنها حجم آب کم شده بلکه کیفیت آن نیز تغییر یافته و شورتر شده است (دانینگ و همکاران ۲۰۰۷).

کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله محصولات زراعی صنعتی است که تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. سطح زیر کشت این گیاه در کشور بالغ بر ۱۹۱۲۵۱ هکتار با تولید ۳۲۹۸۴۳ تن می‌باشد که میانگین عملکرد در شرایط دیم و آبی آن ۱۶۳۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (بی‌نام ۲۰۱۹). براساس آخرین آمار و اطلاعات، مصرف سرانه روغن در کشور ۱۶ کیلوگرم است که با در نظر گرفتن جمعیت ۸۰ میلیونی کشور سالانه بیش از یک میلیون تن روغن مورد نیاز است.

پتاسیم هفتمین عنصر موجود در پوسته زمین است که سهم لیتوسفر (سنگ کره) از آن ۲/۵ درصد می‌باشد (آرچانا و همکاران ۲۰۱۳). این عنصر با حد بحرانی ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای خاک‌های زیر کشت کلزا

(کیت و نلسون ۱۹۷۱)، یکی از عناصر ضروری رشد گیاه بوده که اهمیت آن در کشاورزی به خوبی شناخته شده است (اسپارک و هانگ ۱۹۸۵). این عنصر نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان، فعال‌سازی آنزیم‌ها، افزایش فتوسنتز، تنظیم روزنه‌ها، انتقال قند و نشاسته، جذب نیتروژن و سنتز پروتئین دارد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). پتاسیم علاوه بر ضرورت در متابولیسم گیاه، کیفیت محصول را با افزایش وزن دانه و تقویت ریشه و ساقه بهبود بخشیده و همچنین سبب افزایش مقاومت گیاه به آفات، بیماری‌ها و تنش‌ها می‌گردد (هان و لی ۲۰۰۵).

با توجه به افزایش سهم کودهای شیمیایی در آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از کودهای زیستی در جهت بهبود تأمین عناصر غذایی برای رسیدن به کشاورزی پایدار امری اجتناب‌پذیر است (پارک و همکاران ۲۰۱۰). کودهای زیستی، حاوی فرمولاسیونی از ریزجانداران زنده (باکتری‌ها و قارچ‌های سودمند) یا متابولیت‌های تولیدی آن‌ها می‌باشند که از طریق روش‌هایی همانند تثبیت نیتروژن، انحلال فسفات، رهاسازی یون پتاسیم، تأمین آهن و دیگر عناصر به بهبود تغذیه گیاه کمک نموده و علاوه بر آن با کاهش بیماری‌ها (سید و همکاران ۲۰۱۹)، بهبود ساختمان خاک و سایر اثرات مفید (چو و همکاران ۲۰۱۹) باعث تحریک بیشتر رشد گیاه شده و افزایش کمیّت و کیفیت محصول را به دنبال دارند (باندیوپادیای و همکاران ۲۰۱۷، سریخان و انصاری ۲۰۱۵). پژوهشگران گزارش کردند

رشد برنج اثرگذار بوده و می‌توانند از آن‌ها به عنوان کودهای زیستی تجاری بهره برد. رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه فعالیت باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات در ریزوسفر کلزا، کاهش اسیدیته ریزوسفر و افزایش آزادسازی پتاسیم ساختمانی از کانی گلوکونیت را گزارش نمودند. گیاهان در حضور باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات با افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی همچون سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD)، با اثرات خسارت‌زای ناشی از تنش شوری مقابله می‌کنند (رحمان و همکاران ۲۰۱۹، سوری و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین، هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم به‌همراه مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و آنزیمی گیاه کلزا رقم زراعی هایولا ۵۰ در خاک شور در نظر گرفته شد.

#### مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر خصوصیات عملکردی و آنزیمی گیاه کلزا (رقم اصلاح شده هایولا ۵۰)، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در خاک شور منطقه گهرباران میانرود (شوری ۴/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر) با آب و هوای معتدل (جدول ۱)، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام گردید. نمونه‌برداری خاک قبل از کاشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت. عملیات تهیه زمین شامل شخم اولیه با گاواهن برگردان دار و دو دیسک عمود برهم انجام شد. کود فسفر از نوع سوپر فسفات تریپل (۲۵ کیلوگرم در هکتار) و بخش اول کود نیتروژنه از منبع اوره به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار (حسب نتایج آزمون خاک مطابق جدول ۲) قبل از کشت به خاک مزرعه اضافه شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل جدایه باکتری در پنج سطح (شاهد بدون باکتری، باکتری *Pantoea agglomerans* (میزان حل‌کنندگی پتاسیم ۳۵/۳

که زیاد بودن نسبت‌های پتاسیم به سدیم در گیاه تحت شرایط شور به عنوان یکی از راه‌های مقاومت در برابر تنش محسوب می‌شود (اشرف و اروج ۲۰۰۶). ریزجانداران قادرند کانی‌های سیلیکاتی حاوی پتاسیم همچون میکا را به فرم محلول درآورده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند که در این میان باکتری‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷، پارما و سیندهو ۲۰۱۳). از این باکتری‌ها که به باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات (Silicate dissolving bacteria) معروفند، کود زیستی پتاسیم تهیه می‌گردد (صادقی و همکاران ۲۰۱۴). در واقع، این ریزجانداران نقش مهمی در تغییر و تبدیل مواد از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاهان ایفا می‌کنند، به‌طوری‌که به واسطه فعالیت آن‌ها مقدار مواد در دسترس و مغذی در خاک افزایش یافته و در نهایت سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود (کشاورز و همکاران ۲۰۱۳).

نتایج مطالعات در گیاه کلزا نشان داد که تنش شوری موجب کاهش صفات جوانه‌زنی (بخشنده و جمالی ۲۰۲۰) سطح برگ و افزایش قند محلول و پرولین (شریف و همکاران ۲۰۱۷)، کاهش تعداد غلاف یا خورجین و وزن هزار دانه (احمدزاده و همکاران ۲۰۱۵)، کاهش کلروفیل a و b و افزایش میزان پرولین (جان و همکاران ۲۰۱۶)، کاهش در تعداد، سطح برگ و زیست توده (نگارو و همکاران ۲۰۱۷) و کاهش در عملکرد دانه و ارتفاع بوته (اخیانی و همکاران ۲۰۰۹) شده است. البته دامنه خسارت شوری به مقدار شوری و نوع خاک، مدت زمان شوری، مرحله رشدی گیاه و نوع ژنوتیپ‌ها بستگی دارد (هو و همکاران ۲۰۱۷). یعقوبی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که تلقیح گیاه برنج با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم موجب افزایش جذب پتاسیم و عملکرد دانه شده است. بخشنده و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) بیان کردند که باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر بر

۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. باکتری‌های *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه گردید. ابتدا کود شیمیایی پتاسیم برای هر کرت اصلی به صورت جداگانه و بر اساس میزان در نظر گرفته شده با خاک مخلوط و سپس پودر کود زیستی با جمعیت  $10^7$  کلونی به صورت بذرمال (بذرها با اسپری کردن آب مقطر کمی مرطوب شده بودند) استفاده گردید.

میکروگرم در میلی‌لیتر، محل جداسازی مازندران، میزان تولید اکسین ۳/۳ میکروگرم در میلی‌لیتر، باکتری *Rahnella aquatilis* (میزان حل‌کنندگی پتاسیم ۷۶/۰ میکروگرم در میلی‌لیتر، محل جداسازی مازندران، میزان تولید اکسین ۶/۷ میکروگرم در میلی‌لیتر)، ترکیب دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم بارور ۲ شامل باکتری‌های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancoverensis* و کود شیمیایی پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۴۴ درصد  $K_2O$ ) در هفت سطح (شاهد بدون کود، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و

جدول ۱- داده‌های هواشناسی مناطق مورد آزمایش در طول دوره رشد گیاه کلزا

مجموع ساعات آفتابی	مجموع بارش mm	متوسط رطوبت نسبی %	دمای		دمای حداقل	پارامترها ماه‌ها
			متوسط	حداکثر		
			oC			
۱۵۹/۶	۳۱/۴	۷۹	۱۵/۸	۲۰/۲	۱۱/۴	آبان
۱۱۶/۵	۷۳/۳	۸۶	۸۶	۱۵/۹	۸/۵	آذر
۱۳۱/۷	۱۳۶/۴	۸۳	۹/۵	۱۳/۸	۵/۱	دی
۱۴۵/۳	۸۳/۱	۸۵	۹/۳	۱۳	۵/۶	بهمن
۱۷۵/۱	۱۵۲/۴	۸۳	۱۱/۲	۱۵/۱	۷/۲	اسفند
۱۲۰/۹	۴۴/۴	۸۶	۱۳/۹	۱۶/۸	۱۱	فروردین
۲۵۴/۱	۷۵/۴	۷۸	۱۹/۵	۲۳/۶	۱۵/۴	اردیبهشت

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک شور محل اجرای تحقیق (عمق ۳۰-۰ سانتیمتری)

Zn	Fe	Na	K	P	S	N	EC	pH	سیلت رس شن %	بافت خاک رسی
mg. kg <sup>-1</sup>						(%)	(dS.m <sup>-1</sup> )			
۲/۹	۷/۲	۸۴	۱۷۰/۷	۴/۱۲	۲۵	۰/۱	۴/۰۴	۷/۷	۲۵ ۳۳ ۴۲	

شوری خاک از طریق تهیه عصاره اشباع برآورد گردید. در پایان فصل زراعی، صفاتی نظیر عملکرد دانه (برداشت یک متر مربع و تبدیل به کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک و میزان روغن دانه اندازه‌گیری شد.

فاصله بین کرت‌های اصلی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۳۰ سانتی‌متر تعیین گردید. بذرها در ۶ و ۷ آبان ماه کشت و آب مورد نیاز از طریق باران تأمین گردید. در هر کرت ۹ ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف در نظر گرفته شد. در زمان داشت

معادله ساده خطی درجه اول ( $y=a+bx$ ) و درجه دوم ( $y=a+bx+cx^2$ ) نیز برای توصیف روند تغییرات در صفات SOD و CAT استفاده گردید (دراپر و اسمیت ۱۹۸۱). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴، و برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار سیگماپلات نسخه ۱۲ و میانگین‌ها نیز با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات کمی، آنزیمی و میزان سدیم و پتاسیم گیاه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم نشان داد که صفاتی همچون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن، آنزیم‌های  $^1CAT$ ،  $^2GPX$ ،  $^3SOD$ ، پتاسیم و سدیم دانه، پتاسیم و سدیم ساقه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی هر دو سطوح کود پتاسیم و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و همچنین تنها صفت پتاسیم ساقه تحت تأثیر تیمارهای کودی پتاسه قرار گرفت. علاوه بر این، اثرات متقابل در صفات عملکرد دانه، عملکرد روغن، آنزیم SOD و سدیم ساقه معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴).

مقایسه میانگین صفات کمی و آنزیمی گیاه کلزا نشان داد که کمترین عملکرد دانه کلزا متعلق به تیمار عدم مصرف کود پتاسه بوده که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). با مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، مقدار تمامی صفات زراعی و سدیم و پتاسیم دانه و ساقه به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. تیمار ۱۲۵ کیلوگرم کود پتاسه با افزایش ۲۵/۴ درصدی نسبت به

میزان جذب عنصر سدیم و پتاسیم به روش شعله‌سنجی (والینگ و همکاران ۱۹۸۹) از طریق دستگاه فلیم‌فوتومتر در خاک و اندام‌های هوایی (ساقه + برگ) و دانه کلزا در هر تیمار به تفکیک اندازه‌گیری گردید. برای تعیین میزان روغن از دستگاه سوکسله استفاده شد (دی‌کاسترو و همکاران ۱۹۹۸).

میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز (CAT) (سینگ و همکاران ۲۰۱۰)، پراکسیداز (POX) (رانیری و همکاران ۲۰۰۰) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) (ناکانو و اسد ۱۹۸۱) به ترتیب در طول موج‌های ۲۴۰، ۶۰ و ۵۶۰ نانومتر با روش اسپکتروفوتومتری تعیین گردید. جهت استخراج آنزیم‌های موردنظر، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ‌های توزین و در پنج میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷/۵) محتوی EDTA ۰/۴ میلی‌مولار، آسکوربات سه میلی‌مولار، پلی وینیل پیرولیدین پنج درصد (وزنی-حجمی) اضافه شد. نمونه‌های هموژن شده در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سوپرناتانت حاصل جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان استفاده شد (اسفندیاری و همکاران ۲۰۰۷). به منظور توصیف روند تغییرات صفات مرتبط با ویژگی‌های کمی و آنزیمی کلزا در مقابل سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف کود برای دستیابی به حداکثر عملکردها از یک معادله رگرسیون دو تکه‌ای به شرح ذیل استفاده شد (دراپر و اسمیت ۱۹۸۱):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{رابطه ۱} \\ \text{اگر } x \leq x_0 \\ y = a + bx \\ \text{اگر } x > x_0 \\ y = a + bx_0 \end{array} \right.$$

که در این رابطه،  $a$  عرض از مبدأ،  $b$  شیب خط رگرسیونی به ازای افزایش هر کیلوگرم مصرف کود پتاسیم و  $x_0$  نقطه چرخش یا مقدار مصرف کود پتاسیم برای رسیدن به حداکثر یا حداقل (برای آنزیم‌ها) مقدار هر یک از صفات مورد مطالعه هستند. علاوه بر این، از

<sup>1</sup> Catalase

<sup>2</sup> Glutathione peroxidase

<sup>3</sup> Superoxide dismutase

شاهد، بیشترین عملکرد دانه (۳۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. بهمنیار و سودائی‌مشایی را به خود اختصاص داد. البته با تیمار کودی ۱۰۰، گزارش دادند که مصرف کود پتاسیم به جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کمی و آنزیمی گیاه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم

#### و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد روغن	کاتالاز	گلوتامین پرواکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
بلوک	۲	۹۵۷۱۶۳۷**	۱۶۷۸۴۲۰۸**	۲۵۰۱۹۶۶۹**	۰/۱۱**	۰/۲۴**	۱/۱**
کود پتاسیم	۶	۸۳۸۶۹۰**	۴۳۸۳۰۳۶*	۲۶۸۸۶۲**	۰/۱۲**	۰/۴۴**	۰/۱۱**
خطای اصلی	۱۲	۴۸۵۰۹	۱۶۶۴۲۰۲	۱۴۱۴۰	۰/۰۲	۰/۰۲۴	۰/۰۹
باکتری‌ها	۴	۳۸۷۱۰۰۴**	۲۴۴۰۸۱۶۴**	۸۳۹۴۷۲**	۰/۰۴**	۰/۲۳**	۰/۰۵**
کود × باکتری	۲۴	۶۱۷۶۷**	۴۶۸۴۳۷	۱۲۴۸۲**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱**
خطای فرعی	۵۶	۱۷۰۳۳	۱۶۳۵۱۲۱	۹۲۸۵	۰/۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات	-	۸	۱۳/۶	۹/۶۱	۲۵	۱۶/۶	۶/۱

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس میزان پتاسیم و سدیم دانه و ساقه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف کود سولفات

#### پتاسیم و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم دانه	سدیم دانه	نسبت پتاسیم به سدیم دانه	پتاسیم ساقه	سدیم ساقه	نسبت پتاسیم به سدیم ساقه
بلوک	۲	۴۴/۱۳**	۱/۷۷**	۲/۶۸**	۷۸/۶۴**	۲/۱۲**	۵۴/۳۰**
کود پتاسیم	۶	۳/۳۵**	۰/۵۸**	۰/۰۶	۱/۳۸**	۰/۳۷*	۰/۸۴
خطای اصلی	۱۲	۰/۶۱*	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۰۹	۰/۵۷
باکتری‌ها	۴	۱۲/۲۶**	۱/۱۳**	۰/۱۱	۶/۱۳**	۰/۴	۰/۲۲
کود × باکتری	۲۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰**	۰/۰۴
خطای فرعی	۵۶	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۹	۰/۴۷
ضریب تغییرات	-	۳/۷۵	۸/۷۲	۹/۱۱	۴/۰۷	۱۳/۵	۱۴/۶

\* و \*\* معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

غذایی و افزایش اکسیداتیو و تنش‌های اسمزی سبب کاهش رشد و خصوصیات عملکردی کلزا می‌شود که با استفاده از تیمارهای باکتریایی می‌توان اثرات شوری را کاهش داد (فرهنگی‌آبریز و همکاران ۲۰۲۰). بیشترین میزان آنزیم‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد که با افزایش سطح کودی، مقدار آنزیم‌ها به تدریج کاهش یافت. بر اساس گزارش‌ها، فعالیت بیشتر آنزیم‌ها سبب تخفیف اثرات زیانبار شوری در گیاه می‌شود (رحمان و همکاران ۲۰۱۹، سوری و همکاران ۲۰۱۸) که با مصرف همزمان کودهای پتاسه و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم،

تنهایی بر صفاتی از قبیل تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه پوک در خوشه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت برنج تأثیر معنی‌داری داشت. با توجه به نتایج عملکرد دانه، بالطبع بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۰۱۶۸ کیلوگرم) نیز در مصرف ۱۲۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم محقق شد که با مصرف ۵۰ کیلوگرم و بیشتر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بیشترین عملکرد روغن نیز در تیمار ۱۲۵ کیلوگرم کود پتاسیم حاصل شد که با تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نداشت. شوری خاک با کاهش جذب عناصر



بالاتر را گزارش دادند و بیان کردند ژنوتیپ‌های متحمل دارای مقدار کمتری از این آنزیم‌ها هستند (پرویز و همکاران ۲۰۲۰).

فعالیت آنزیم‌ها نسبتاً کاهش می‌یابد. البته در مورد آنزیم GPX تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. پرویز و همکاران، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی همچون CAT و SOD در شرایط تنش‌های شوری

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین صفات کمی و آنزیمی گیاه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم

تیمارهای کود پتاسه (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد روغن دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	کاتالاز	گلوتامین پرواکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
۰	۲۵۸۳ e	۸۶۴۵ c	۷۹۷ d	۰/۵۷ a	۱/۲ a	۱/۶۱ a
۲۵	۲۷۴۵ (+۶/۳) de	۸۹۶۹ (+۳/۷) bc	۸۷۲ (+۹/۴) cd	۰/۴۴ (-۲۲/۸) b	۱/۱ (-۸/۳) a	۱/۵۷ (-۲/۵) ab
۵۰	۲۸۴۶ (+۱۰/۲)	۹۲۸۶ (+۷/۴) abc	۹۴۰ (+۱۷/۹) c	۰/۳۹ (-۳۱/۶) bc	۰/۸۷ (-۲۷/۵)	۱/۵۳ (-۵) bc
۷۵	۲۹۶۸ (+۱۴/۹)	۹۴۹۷ (+۹/۸) abc	۱۰۵۱ (+۳۱/۹) b	۰/۳۹ (-۳۱/۶) bc	۰/۸۳ (-۳۰/۸)	۱/۴۷ (-۸/۷) cd
۱۰۰	۳۱۰۹ (+۲۰/۴)	۹۷۲۳ (+۱۲/۵)	۱۱۱۷ (+۴۰/۱)	۰/۳۵ (-۳۸/۶) bc	۰/۸ (-۳۳/۳) b	۱/۴۴ (-۱۰/۶) d
۱۲۵	۳۲۴۰ (+۲۵/۴) a	۱۰۱۶۸ (+۱۷/۶) a	۱۱۴۶ (+۴۳/۸) a	۰/۳۱ (-۴۵/۶) c	۰/۷۶ (-۳۶/۷)	۱/۴۵ (-۹/۹) d
۱۵۰	۳۱۴۶ (+۲۱/۶) a	۹۹۵۶ (+۱۵/۲) a	۱۰۹۶ (+۳۷/۵) ab	۰/۳ (-۴۷/۴) c	۰/۷۷ (-۳۵/۸)	۱/۳۶ (-۱۵/۵) e

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است.

تولید محصول برنج گردد. ثقفی و همکاران (۲۰۱۸) سویه‌های *Rhizobium* به عنوان افزاینده رشد گیاهی بر ویژگی‌های مورفو- فیزیولوژیکی گیاه کلزا در شرایط تنش شوری را کارا و اثربخش بیان نمودند.

نتایج مقایسه میانگین صفات کمی و آنزیمی گیاه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (جدول ۷) نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن کلزا در تیمار ترکیب دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* مشاهده گردید که به ترتیب ۴۶، ۳۳/۹ و ۷۱/۲ درصد افزایش در مقایسه با عدم مصرف باکتری داشتند. بنابراین با کاربرد همزمان این دو باکتری امکان افزایش عملکرد دانه و روغن در شرایط خاک شور محقق خواهد شد. ترکیب دو باکتری *P. agglomerans* و *R. aquatilis* به عنوان بهترین تیمار، موجب کاهش معنی‌دار آنزیم‌های

نتایج مقایسه میانگین میزان پتاسیم و سدیم دانه و ساقه کلزا نشان داد که در شرایط شوری خاک، با افزایش مصرف کود پتاسه از صفر به ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، ۱۲/۳ درصد افزایش یافت، البته با مصرف بیشتر تا ۱۵۰ کیلوگرم، قابلیت جذب پتاسیم در دانه کاهش نشان داد (جدول ۶). بیشترین میزان سدیم دانه نیز در تیمار کودی ۱۲۵ مشاهده شد که با تیمار کودی ۵۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نداشته است. بیشترین میزان پتاسیم و همچنین سدیم ساقه در تیمار کودی ۱۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم مشاهده که به ترتیب ۸/۶ و ۱۹/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشته است. یعقوبی خانقاهی (۲۰۱۸) اظهار داشت که تلقیح گیاه با باکتری‌های بومی حل‌کننده پتاسیم می‌تواند موجب بهبود جذب عناصری همچون پتاسیم، نیتروژن و فسفر توسط گیاه، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و انتقال مجدد آن‌ها به دانه، بهبود کارایی سیستم فتوسنتزی و کاهش مصرف کود شیمیایی پتاسیمی در

۳۱/۵ و ۲۷/۴ نسبت به شاهد افزایش یافت. میزان همه آنزیم‌ها نیز با مصرف باکتری‌ها به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد که البته بین باکتری‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

CAT، GPX و SOD به ترتیب به مقدار ۲۶/۷، ۲۸/۳ و ۲۵/۳ درصد نسبت به شاهد شد. در مطالعه محمدی‌کشکا و همکاران (۲۰۱۷) تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله گندم رقم میلان در زمان کاربرد روش بذر مال باکتری *Enterobacter sp* به ترتیب با

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین میزان پتاسیم و سدیم دانه و ساقه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف کود

#### سولفات پتاسیم

نسبت پتاسیم به سدیم ساقه	سدیم ساقه	پتاسیم ساقه	نسبت پتاسیم به سدیم دانه	سدیم دانه	پتاسیم دانه	تیمارهای کود پتاسه (kg.ha <sup>-1</sup> )
۴/۸۳ ab	۲/۰۳ c	۹/۴۵ e	۳/۴۲ a	۳/۰۸ c	۱۰/۵۲ e	۰
۴/۶۳ (-۴/۱) ab	۲/۱۵ (+۵/۹) bc	۹/۶۶ (+۲/۲) de	۳/۳۷ (-۱/۵) a	۳/۲۱ (+۴/۲) bc	۱۰/۸ (+۲/۷) d	۲۵
۵/۰۵ (+۴/۵) a	۲/۰۳ (۰) c	۹/۸۷ (+۴/۴) cd	۳/۳۵ (-۲) a	۳/۳۳ (+۸/۱) abc	۱۱/۱۳ (+۵/۸) c	۵۰
۴/۷۷ (-۱/۲) ab	۲/۱۵ (+۵/۹) bc	۹/۹۳ (+۵/۱) bc	۳/۲۴ (-۵/۳) a	۳/۵۰ (+۱۳/۶) ab	۱۱/۲۹ (+۷/۳) c	۷۵
۴/۴ (-۸/۹) b	۲/۳۸ (+۱۷/۲) ab	۱۰/۱۵ (+۷/۱۴) ab	۳/۳۲ (-۲/۹) a	۳/۵۶ (+۱۵/۶) a	۱۱/۶۸ (+۱۱) ab	۱۰۰
۴/۴۱ (-۸/۷) b	۲/۴۲ (+۱۹/۲) a	۱۰/۲۶ (+۸/۶) a	۳/۳۵ (-۲) a	۳/۵۷ (+۱۵/۹) a	۱۱/۸۱ (+۱۲/۳) a	۱۲۵
۴/۵۷ (-۵/۴) ab	۲/۲۹ (+۱۲/۸) ab	۱۰/۲۳ (+۸/۲) a	۳/۲۶ (-۴/۷) a	۳/۵۶ (+۱۵/۶) a	۱۱/۵۵ (+۹/۸) b	۱۵۰

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز نیز

بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است.

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین صفات کمی و آنزیمی گیاه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف تلقیح با

#### باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم

سوپراکسید دیسموتاز	گلوتامین پرواکسیداز	کاتالاز	عملکرد روغن دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	تیمارهای تلقیح با باکتری
۱/۶۶ a	۱/۰۶ a	۰/۴۵ a	۷۴۳ d	۸۱۲۸ c	۲۴۰۴ c	B
۱/۴۹ (-۱۰/۲) b	۰/۸۸ (-۱۷) b	۰/۳۸ (-۱۵/۵) b	۱۱۱۳ (+۴۹/۸) b	۱۰۱۹۰ (+۲۵/۴) a	۳۲۳۲ (+۳۴/۵) a	R
۱/۵۴ (-۷/۲) b	۰/۹۲ (-۱۳/۲) b	۰/۴۱ (-۸/۹) bc	۹۳۹ (۲۵) c	۹۰۴۸ (+۱۱/۳) b	۲۷۹۱ (+۱۶/۱) b	P
۱/۲۴ (-۲۵/۳) c	۰/۷۶ (-۲۸/۳) c	۰/۳۳ (-۲۶/۷)	۱۲۷۲ (+۷۱/۲) a	۱۰۸۸۱ (+۳۳/۹) a	۳۵۰۹ (+۴۶) a	R*P
۱/۵۲ (-۸/۴) b	۰/۸۹ (-۱۶) b	۰/۳۹ (-۱۳/۳)	۹۵۵ (+۲۸/۵) c	۹۰۷۱ (+۱۱/۶) c	۲۸۰۴ (+۱۶/۶) b	S

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز نیز بیانگر

درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است. B: شاهد، R: باکتری *Rahnella aquatilis*، P: باکتری *Pantoea*

*agglomerans*، R\*P: ترکیب همزمان دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و S: کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم

بارور ۲

داشته است (جدول ۸). در گزارشی تلقیح گیاهچه برنج با باکتری *Enterobacter sp* موجب افزایش ماده خشک کل و پتاسیم جذب شده در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب با ۶۵/۳، ۶۹/۲، ۵۲/۹ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد شد (بخشنده و همکاران ۲۰۱۷). واکنش دو تیمار

مشابه با نتایج عملکرد، میزان پتاسیم و سدیم دانه و همچنین پتاسیم و سدیم ساقه در شرایط استفاده از ترکیب دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* به بیشترین مقدار خود رسیده و با تیمار عدم مصرف باکتری و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری

باکتری اختلاف معنی‌داری داشتند. بخشنده و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد دادند که ترکیب تلفیقی باکتری، باعث بهبود اجزای عملکرد و جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود.

باکتری *Pantoea agglomerans* و باکتری *Rahnella aquatilis* به صورت مجزا، در رابطه با تغییرات میزان پتاسیم و سدیم دانه و ساقه مشابه یکدیگر بوده و اختلافی با هم نداشتند که البته با تیمار عدم مصرف

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین میزان پتاسیم و سدیم دانه و ساقه کلزا در خاک شور تحت شرایط سطوح مختلف تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم

تیمارهای تلقیح با باکتری	پتاسیم دانه	سدیم دانه	نسبت پتاسیم به سدیم دانه	پتاسیم ساقه	سدیم ساقه	نسبت پتاسیم به سدیم ساقه
B	۱۰/۰۲ c	۳/۰۸ c	۳/۲۵ a	۹/۰۴ a	۲/۰۱ c	۴/۶۴ a
R	۱۱/۴۹ (+۱۴/۵) b	۳/۴۶ (+۱۲/۳) b	۳/۳۵ (+۳/۱) a	۱۰/۰۵ (+۱۱/۱) b	۲/۲۳ (+۱۰/۹) ab	۴/۶۸ (+۰/۸) a
P	۱۱/۳۳ (+۱۳/۱) b	۳/۳۴ (+۸/۴) b	۳/۴۳ (+۵/۵) a	۱۰/۰۸ (+۱۱/۵) b	۲/۱۸ (+۸/۵) bc	۴/۸۲ (+۳/۹) a
R*P	۱۲/۱۲ (+۲۱) a	۳/۷۳ (+۲۱/۱) a	۳/۲۷ (+۰/۶) a	۱۰/۰۵ (+۱۶/۱) a	۲/۳۹ (+۱۸/۹) a	۴/۵۴ (-۲/۱) a
S	۱۱/۳۱ (+۱۲/۹) b	۳/۴۰ (+۱۰/۴) b	۳/۳۴ (+۲/۸) a	۱۰/۰۲ (+۱۰/۸) b	۲/۲۳ (+۱۰/۹) ab	۴/۶۵ (+۰/۲) a

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. اعداد داخل پرانتز نیز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است. B: شاهد، R: باکتری *Rahnella aquatilis*، P: باکتری *Pantoea agglomerans*، R\*P: ترکیب همزمان دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و S: کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم بارور ۲

پتاسیم در هکتار) بود که با افزایش ۱۳۲۵ کیلوگرم عملکرد دانه در هکتار (موجب ۵۱/۰۶ درصد عملکرد بیشتر نسبت به تیمار شاهد (۳۹۲۰ کیلوگرم در هکتار) شد. بالاترین عملکرد روغن نیز با کاربرد همزمان دو باکتری به همراه مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم مشاهده گردید (۷۳/۹ درصد عملکرد روغن بیشتر در مقایسه با تیمار شاهد) نتایج تجزیه رگرسیون مربوط به آنزیم‌ها نشان داد که تمامی آنزیم‌ها در تیمار تلفیق دو باکتری بیشترین کاهش را داشته است بطوری که میزان کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در تیمار تلفیق ترکیبی دو باکتری، به ترتیب ۲۷/۰۳، ۲۲/۸۲ و ۴۷/۱۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داشتند. همچنین میزان عناصر پتاسیم و سدیم در دانه و ساقه در تیمار تلفیق ترکیبی دو باکتری به ترتیب با ۱۷/۸۵، ۱۴/۰۹، ۲۴/۰۶ و ۱۹/۱۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان داده است (جدول ۹ و شکل ۱).

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون نشان داد که مقدار افزایش عملکرد بیولوژیک به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود پتاسیم در تیمارهای شاهد (بدون استفاده از باکتری)، باکتری *Pantoea agglomerans*، باکتری *Rahnella aquatilis*، ترکیب دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم به ترتیب ۴/۵۱، ۹/۰۱، ۱۹/۱۱، ۲۰/۳۲ و ۴/۸۹ برآورد گردید. علاوه بر این، مقادیر اولیه (ضریب *a*) این صفت نیز در زمان حضور ریزجانداران افزایش یافته شد، بالاتر از تیمار شاهد بوده است. بیشترین عملکرد بیولوژیک با ۳۹/۳۹ درصد افزایش نسبت به شاهد با کاربرد همزمان دو باکتری حاصل گردید. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار ترکیبی دو باکتری مشاهده گردید که باعث افزایش ۳۹ درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار افزایش عملکرد دانه به ازای هر کیلوگرم مصرف کود پتاسیم متعلق به تیمار ترکیبی دو باکتری (۸/۳۸ کیلوگرم عملکرد دانه در کیلوگرم کود

جدول ۹- پارامترهای تخمین زده شده توسط مدل‌های دوتکه‌ای و خطی برازش داده شده به صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم برای هر یک از روش‌های تلقیح با باکتری‌ها

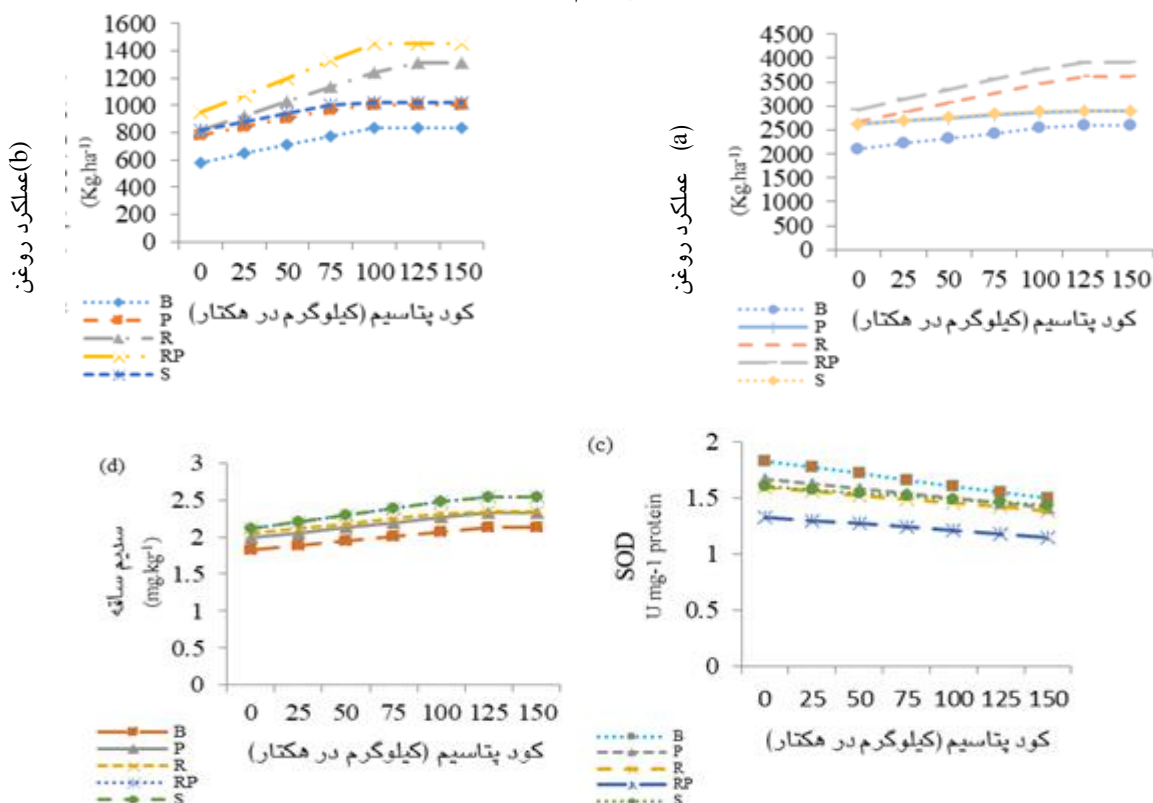
R <sup>2</sup>	حداکثر مقدار	X <sub>0</sub> ± s <sub>e</sub>	b ± s <sub>e</sub>	a ± s <sub>e</sub>	†	روش تلقیح	صفات
۰/۳۳	۸۴۶۵/۹۸	-	۴/۵۱±۲/۸۶	۲۵۷/۹±۷۷۸۹/۴	-	B	عملکرد بیولوژیک
۰/۹۸	۹۴۰۳/۲۵ (+۱۱/۳۹)	۱۰۵/۲±۸/۷۱	۹/۰۱±۰/۹۱	۵۵/۷۷±۸۴۵۵/۳	+۸/۵۵	R	
۰/۹۸	۱۱۱۸۰/۶۷ (+۳۲/۰۶)	۱۲۲/۶±۱۰/۹۰	۱۹/۱۱±۲/۱	۱۲۹/۹±۸۸۳۷/۹	+۱۳/۴	P	
۰/۹۸	۱۱۷۹۹/۱۷ (+۳۹/۳۹)	۸/۶۶±۱۱۳/۳	۲۰/۳۲±۱/۹۲	۹۴۹۸/۲±۱۱۷/۲	+۲۱/۹	RP	
۰/۹۳	۹۳۳۹/۱۱ (+۱۰/۲۰)	۱۲۵/۰±۲۱/۱۲	۴/۸۹±۰/۰۸	۸۷۱۷/۲±۶۰/۶۱	+۱۱/۹	S	
۰/۹۸	۲۵۹۵/۰۰	۱۱۲/۳±۹/۲۵	۴/۳۰±۰/۴۴	۲۱۱۲/۶±۲۶/۷۸	-	B	عملکرد دانه
۰/۹۸	۲۸۹۵/۵ (+۱۱/۵۸)	۱۱۱/۳±۹/۴۸	۲/۳۸±۰/۲۵	۲۶۳۰/۲±۱۲/۳۵	+۲۴/۵	R	
۰/۹۹	۳۶۲۰/۰ (-۳۹/۵۰)	۱۲۰/۶±۷/۵۳	۷/۸۳±۰/۶۱	۲۶۷۵/۴±۳۷/۳۳	+۲۶/۶	P	
۰/۹۸	۳۹۲۰/۰ (+۵۱/۰۶)	۱۱۸/۶±۱۰/۴۳	۸/۳۸±۰/۹۲	۲۹۲۵/۸±۵۵/۱۶	+۳۸/۴	RP	
۰/۹۸	۲۹۰۰/۰ (+۱۱/۷۵)	۹۸/۳۸±۱۰/۲۴	۲/۷۷±۰/۳۸	۲۶۲۷/۳±۱۷/۸۵	+۲۴/۳	S	
۰/۹۹	۸۳۳/۹۱	۱۰۰/۱±۵/۴۱	۲/۵۰±۰/۱۶	۵۸۳/۲±۹/۹۹	-	B	عملکرد روغن
۰/۹۵	۱۰۰۳/۰۵ (+۲/۲۸)	۸۹/۸۴±۱۱/۷۶	۲/۴۶±۰/۴۳	۷۸۲/۰±۲۰/۰۴	+۳۴/۰	R	
۰/۹۹	۱۳۰۷/۸۷ (+۵۶/۸۴)	۱۱۶/۸±۶/۱۸	۴/۱۶±۰/۲۷	۸۲۱/۳±۱۶/۷۷	+۴۱/۰	P	
۰/۹۷	۱۴۵۰/۱۰ (+۷۳/۸۹)	۱۰۰/۰±۱۱/۰۶	۴/۹۸±۰/۷۲	۹۵۲/۰±۳۴/۰۴	+۶۳/۰	RP	
۰/۹۵	۱۰۱۶/۶۸ (+۲۱/۹۲)	۸۲/۱۹±۱۰/۵۲	۲/۴۰±۰/۴۱	۸۱۹/۲±۱۹/۱۳	+۴۰/۰	S	
۰/۹۷	۰/۳۷	±۰/۰۰۰۰۰۴	-	۰/۶۴±۰/۰۲	-	B	CAT
۰/۹۵	۰/۳۲ (-۱۳/۵۱)	±۰/۰۰۰۰۰۴	-	۰/۵۵±۰/۲۱	-	R	
۰/۹۳	۰/۴۶ (+۴۴/۳۲)	±۰/۰۰۰۰۰۵	-	۰/۵۳±۰/۰۳	۰/۱۱ ± ۰/۱۷	P	
۰/۸۵	۰/۲۷ (-۲۷/۰۳)	±۰/۰۰۰۰۰۶	-	۰/۴۶±۰/۰۳	-۲۸/۰	RP	
۰/۹۱	۰/۳۰ (-۱۸/۹۲)	±۰/۰۰۰۰۰۶	-	۰/۵۳±۰/۰۳	-۱۷/۰	S	
۰/۷۲	۱/۴۹	-	-	۱/۸۳±۰/۰۵	-	B	SOD
۰/۷۴	۱/۴۱ (-۵/۳۷)	-	-	۱/۶۶±۰/۰۴	-۰/۰۹	R	
۰/۹۹	۱/۳۹ (-۶/۷۱)	-	-	۱/۵۹±۰/۰۰	-۱۳/۰	P	
۰/۹۸	۱/۱۵ (-۲۲/۸۲)	-	-	۱/۳۳±۰/۰۰	-۲۷/۰	RP	
۰/۹۶	۱/۴۴ (-۳/۳۶)	-	-	۱/۶۰±۰/۰۱	-۱۲/۰	S	
۰/۹۶	۰/۸۹	۷۷/۶۴±۷/۷۴	-	۱/۴۴±۰/۰۴	-	B	GPX
۰/۹۷	۰/۷۹ (-۱۱/۲۴)	۷۷/۹۴±۷/۰۹	-	۱/۲۲±۰/۰۳	۱۵/۰	R	
۰/۹۸	۰/۷۹ (-۱۱/۲۴)	۵۷/۷۱±۵/۲۷	-	۱/۱۷±۰/۰۳	-۱۹/۰	P	
۰/۹۵	۰/۴۷ (-۴۷/۱۹)	۸۸/۴۶±۱۰/۶۹	-	۱/۰۱±۰/۰۳	-۱۳/۰	RP	
۰/۹۷	۰/۷۸ (-۱۲/۳۶)	۷۸/۱۹±۷/۳۳	-	۱/۱۵±۰/۰۳	-۲۰/۰	S	
۰/۹۱	۱۰/۵۹	۱۱۲/۴±۱۹/۹۴	۰/۰۱±۰/۰۰۳	۹/۱۶±۰/۱۷	-	B	پتاسیم دانه
۰/۹۷	۱۰/۶۹ (+۱۰/۳۹)	۱۰۰/۰±۹/۵۷	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۱۰/۶۸±۰/۰۷	+۱۶/۰	R	
۰/۹۰	۱۱/۸۹ (+۱۲/۲۸)	۱۰۷/۰±۱۹/۲۶	۰/۰۰±۰/۰۰۲	۱۰/۸۳±۰/۱۳	۱۸/۰	P	
۰/۹۱	۱۲/۴۸ (+۱۷/۸۵)	۱۰۰/۰±۲۱/۵۸	۰/۰۱±۰/۰۰۳	۱۱/۴۳±۰/۱۴	۲۵/۰	RP	
۰/۹۷	۱۱/۷۵ (+۱۰/۹۵)	۱۰۲/۳±۹/۷۶	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۱۰/۵۴±۰/۰۸	+۱۵/۰	S	
۰/۸۴	۹/۴۴	۱۲۲/۴±۳۱/۸۲	۰/۰۰±۰/۰۰۲	۸/۴۸±۰/۱۵	-	B	پتاسیم

۰/۹۹	۱۰/۳۴ (+۹/۵۳)	۱۰۳/۴±۶/۳۴	/۰۰۰۷±۰/۰۰۰۵	۹/۶۳±۰/۰۳	+۱۴/۰	R	ساقه
۰/۹۲	۱۰/۳۰ (+۹/۱۱)	۱۲۵/۰±۲۱/۷۶	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱	۹/۷۲±۰/۰۶	+۱۴/۰	P	
۰/۸۸	۱۰/۷۷ (+۱۴/۰۹)	/۰۹±۲۴/۷۳	۰/۰۰۶±۰/۰۰۲	۱۰/۰۹±۰/۰۹	+۱۹/۰	RP	
۰/۹۶	۱۰/۳۷ (+۹/۸۵)	۱۰۸/۰±۱۱/۰۴	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱	۹/۴۶±۰/۰۶	+۱۲/۰	S	
۰/۹۸	۳/۲۰	۱۱۱/۷±۹/۰۸	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۲	۲/۹۰±۰/۰۱	-	B	
۰/۹۸	۳/۴۶ (+۸/۱۲)	۷۴/۱۱±۸/۵۰	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰۹	۳/۰۲±۰/۰۳	+۴/۰	R	سدیم
۰/۹۴	۳/۴۵ (+۷/۸۱)	۷۶/۴۶±۹/۴۳	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱	۳/۰۲±۰/۰۶	+۴/۰	P	دانه
۰/۹۹	۳/۹۷ (+۲۴/۰۶)	۸۱/۵۸±۴/۴۷	۰/۰۰۸±۰/۰۰۶	۳/۳۳±۰/۰۳	+۱۵/۰	RP	
۰/۹۶	۳/۵۷ (+۱۱/۵۶)	۸۸/۲۵±۹/۸۵	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰۸	۳/۰۶±۰/۰۴	+۵/۰	S	
-	۲/۱۴	۱۲۵/۰±۴۲/۳	۰/۰۰۲±۰/۰۰۱	۱/۸۳±۰/۰۶	-	B	
-	۲/۳۳ (+۸/۸۸)	۱۲۱/۹±۴۷/۸۳	۰/۰۰۳±۰/۰۰۱	۱/۹۹±۰/۰۸	+۴/۰	R	
-	۲/۳۵ (+۹/۸۱)	۱۱۵/۴±۴۴/۳۲	۰/۰۰۲±۰/۰۰۱	۲/۰۶±۰/۰۷	+۱۲/۰	P	سدیم
-	۲/۵۵ (+۱۹/۱۶)	۱۱۵/۷±۳۸/۱۳	۰/۰۰۳±۰/۰۰۱	۲/۱۱±۰/۰۹	+۱۵/۰	RP	ساقه
-	۲/۳۴ (+۹/۳۵)	۱۱۵/۲±۴۷/۱۷	۰/۰۰۲±۰/۰۰۱	۲/۰۶±۰/۰۷	+۱۲/۰	S	

† اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد است.

\* حداکثر مقادیر برآورد شده توسط معادله بر اساس ضرایب ارائه شده در جدول می‌باشد. B: شاهد، R: باکتری *Rahnella aquatilis*، P: باکتری *Pantoea agglomerans*، RP: ترکیب همزمان دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و S: کود زیستی

تجاری حل‌کننده پتاسیم بارور ۲



شکل ۱- تأثیر تلقیح با باکتری‌های مختلف در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر صفات عملکرد دانه (a)، عملکرد روغن (b)، SOD (c) و سدیم ساقه (d) در کلزا.

B: بدون استفاده از باکتری، P: مصرف باکتری *Pantoea agglomerans*، R: مصرف باکتری *Rahnella aquatilis*، RP: مصرف ترکیب همزمان دو باکتری *Pantoea agglomerans* و *Rahnella aquatilis* و S: مصرف کود زیستی تجاری حل‌کننده پتاسیم بارور ۲ (شامل باکتری‌های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis*).

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های کمی گیاه کلزا همچون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن با افزایش میزان کود پتاسه در شرایط خاک شور (۴ تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش می‌یابد که می‌توان از این کود جهت کاهش اثرات زیان‌بار شوری خاک و ارتقاء عملکرد گیاه بهره برد. شوری خاک از طریق کاهش جذب مواد غذایی و افزایش تنش اکسیداتیو و تنش‌های اسمزی در گیاهان سبب کاهش رشد می‌شود. همچنین با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد نیز بهبود وضعیت عملکردی کلزا نیز محسوس بود. کاربرد توام باکتری‌ها و کود پتاسه در عملکرد دانه و عملکرد روغن بسیار معنی‌دار بود. این تیمارها محتوای پتاسیم دانه و اسمولیت‌های سازگار را ارتقاء داده و منجر به افزایش زیست‌توده و ویژگی‌های عملکردی گیاه در شرایط شوری خاک می‌شود. طبق نتایج تجزیه رگرسیون، ترکیب دو باکتری *P. agglomerans* و *R. aquatilis* علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۱۴

کیلوگرم در هکتار (۱۲ درصد)، عملکرد دانه به میزان ۳۰۵ کیلوگرم در هکتار (۱۱/۷۵ درصد) و عملکرد روغن به میزان ۶۱۶/۱۹ کیلوگرم در هکتار (۷۳/۸۹ درصد) در مقایسه با شاهد افزایش داشت که از آن می‌توان در زراعت پایدار کلزا استفاده نمود بنابراین با کاربرد همزمان این دو باکتری امکان افزایش عملکرد دانه و روغن و بهبود شرایط رشدی کلزا از طریق افزایش دسترسی به مواد غذایی ضروری همچون پتاسیم در شرایط خاک شور محقق خواهد شد.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از ریاست محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و ریاست محترم پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

## منابع مورد استفاده

- Ahmadzadeh N, Mostafavi K and Zabet M. 2015. Effect of salinity stress on yield and yield components in rapeseed cultivars. *International Research Journal of Applied and Basic*, 9: 1592-159
- Akhyani A, Rezaie H and Froumadi M. 2009. Studying the effects of salt stress on yield and physiological characteristics of winter rapeseed in Semnan province. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences (ESAS)*, 2 (2): 131-138. (In Persian).
- Anonymous. 2019. *Agricultural Jihad Statistics for the Crop Year 2018-2019. The first volume of crops. 2019. Information and Communication Technology Center, Deputy of Planning and Economy. Ministry of Agriculture.* (In Persian).
- Ashraf M and Orooj A. 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). *Journal of Arid Environments*, 64 (2): 209-220.
- Bahmanyar M and Mashae SS. 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9: 2648-2653.
- Bakhshandeh E and Jamali M. 2020. Population-based threshold models: A reliable tool for describing aged seeds response of rapeseed under salinity and water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 176: 104077.

- Bakhshandeh E, Pirdashti H and Shahsavarpour Lendeh KH. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. *Ecological Engineering*, 103: 164-169.
- Bakhshandeh E, Rahimian H, Pirdashti H and Nematzadeh GA. 2015. Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. *Journal of applied microbiology*, 119(5):1371-1382.
- Bandyopadhyay P, Bhuyan SK, Yadava PK, Varma A and Tuteja N. 2017. Emergence of plant and rhizospheric microbiota as stable interactomes. *Protoplasma*, 254: 617–626.
- Cate RBJC and Nelson LA. 1971. A simple Statistical Procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33: 658-660.
- Chu TN, Tran BTH, Van Bui L and Hoang MTT. 2019. Plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas* PS01 induces salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Res Notes*, 12:11
- De Castro ML and Garcia-Ayuso LE. 1998. Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica chimica acta*, 369 (1-2): 1-10.
- Draper, NR, and Smith. H.1981. *Applied regression analysis*, 2nd ed. New York: John Wiley and Sons.
- Duning X, LI YX, Song D and Yang G. 2007. Temporal and spatial dynamical simulation of ground water characteristics in Minqin Oasis. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50 (2): 261-273.
- Esfandiari EA, Shakiba MR, Mahboob SA, Alyari H and Toorchi M. 2007. Water stress, antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in wheat seedling. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 5: 149-153.
- Farhangi-Abriz S, Tavasolee A, Ghassemi-Golezani K, Torabian S, Monirifar H and Asadi Rahmani H. 2020. Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*, 13 PP.
- Food and Agriculture Organization. 2011. *Statistics: FAOSTAT agriculture*. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- Hu Y, Hackl H and Schmidhalter U. 2017. Comparative performance of spectral and thermographic properties of plants and physiological traits for phenotyping salinity tolerance of wheat cultivars under simulated field conditions. *Functional Plant Biology*, 44: 134–142.
- Jan SA, Shinwari ZK and Rabbani MA. 2016. Agro-morphological and physiological responses of *Brassica rapa* ecotypes to salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 48(4): 1379-1384.
- Keshavarz J, Aliasgharzad N, Oustan S, Emadi M and Ahmadi A. 2013. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59 (12): 1713-1723.
- Lendeh KS, Pirdashti H and Bakhshandeh E. 2019. Effect of plant growth promoting bacteria along with potassium fertilizer on yield and yield components of rice (cv.'Tarom Hashemi'). *Agroecology*, 11(2): 561-577.
- Mohammadi Kashka F, Pirdashti H, Yaghoobian Y and Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of growth and yield stability of wheat by application of *Trichoderma* and *Enterobacter* sp. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 26: 1–15. (In Persian).
- Nakano Y and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22: 867-880.
- Naz N, Hameed M and Ashraf M. 2010. Eco-morphic response to salt stress in two halophytic grasses from the Cholistan desert, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 42: 1343-1351.
- Negrão S, Schmöckel S and Tester M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119: 1–11.

- Park J, Bolan N, Megharaj M and Naidu R. 2010. Isolation of phosphate-solubilizing bacteria and characterization of their effects on lead immobilization. *Pedologist*, 53: 67-75.
- Parmar P and Sindhu SS. 2013. Potassium solubilizing by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environment conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3(1): 25-31.
- Parvez S, Abbas G, Shahid M, Amjad M, Hussain M, Ahmad Asad S, Imran M and Asif Naeem M. 2020. Effect of salinity on physiological, biochemical and photostabilizing attributes of two genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) exposed to arsenic stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187: 11 PP.
- Rahimian MH, Poormohammadi S, Hasheminejad Y and Meshkat MA. 2013. Impact of climate change on salinization in Iran. *Iranian Journal of soil research (Formerly soil and water sciences)*, 27 (1): 1-11. (In Persian).
- Rahimzadeh N, Olamaei M, Khormali F, Dordipour E and Amini A. 2013. The effect of silicate solubilizing bacteria on potassium release from gluconate in canola (*Brassica Napus*) rhizosphere. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3 (2): 169-185. (In Persian).
- Ranieri A, Petacco F, Castagna A and Soldatini GF. 2000. Redox state and peroxidase system in sunflower plants exposed to ozone. *Plant Science*, 159: 159-167.
- Rehman S, Abbas G, Shahid M, Saqib M, Farooq ABU, Hussain M, Murtaza B, Amjad M, Naeem MA and Farooq A. 2019. Effect of salinity on cadmium tolerance, ionic homeostasis and oxidative stress responses in conocarpus exposed to cadmium stress: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171: 146–153.
- Sadeghi S, Brin M and Rasooli Sadghiani M. 2014. Potassium biological fertilizers and sustainable agriculture. *Quarterly Journal of Agricultural Engineering and Natural Resources*, 12 (45): 36-31. (In Persian).
- Saghafi D, Ghorbanpour M and Asgari Lajayer B. 2018. Efficiency of Rhizobium strains as plant growth promoting rhizobacteria on morpho-physiological properties of *Brassica napus* L. under salinity stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18 (1): 253-268.
- Sarikhani MR and Ansari S. 2015. Assessment of Some Qualitative Characteristics of Common Biofertilizers in Iran. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 14-1. (In Persian).
- Sayyed RZ, Ilyas N, Tabassum B, Hashem A, Abd-Allah EF and Jadhav HP. 2019. Plausible role of plant growth-promoting rhizobacteria in future climatic scenario. In: *Environmental biotechnology: for sustainable future*. Springer, Singapore, 175–197.
- Sharif P, Seyedsalehi M, Paladino O, Van Damme P, Sillanpää M and Sharifi AA. 2017. Effect of drought and salinity stresses on morphological and physiological characteristics of canola. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-8.
- Singh BK, Sharma SR and Singh B. 2010. Antioxidant enzymes in cabbage: variability and inheritance of superoxide dismutase, peroxidase and catalase. *Scientia Horticulturae*, 124: 9–13
- Souri Z, Karimi N and de Oliveira LM. 2018. Antioxidant enzymes responses in shoots of arsenic hyperaccumulator, *Isatis cappadocica* Desv. Under interaction of arsenate and phosphate. *Environmental technology*, 39: 1316–1327.
- Sparks DL and Huang PM. 1985. Physical chemistry of soil potassium. *Potassium in agriculture*, 201-276.
- Ullah F, Bano A and Nosheen A. 2012. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 44 (6): 1873-1880.
- Waling I, Vark WV, Houba VJG and Vanderlee J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7, plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University.



Yaghoubi Khanghahi M. 2018. Physiological and agronomic evaluation of silicate soluble bacteria isolated from rice fields in Mazandaran. PhD Thesis in Agriculture, Molecular Physiology. Genetics Agricultural and Biotechnology Research Institute of Tabarestan. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).