



دانشگاه گورگان، دانشکده کشاورزی

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸

۲۰۷-۱۹۱

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2019.15959.2432

## تأثیر تلقیح باکتریایی بر غلظت عناصر غذایی در دانه کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) و خاک مزرعه تحت سطوح مختلف آبیاری

\* ساناز رجبی‌خمسه<sup>۱</sup> و عبدالرزاق دانش‌شهرکی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران،

<sup>۲</sup> استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** کتان روغنی گیاهی است که از روغن آن در صنایع مختلف استفاده می‌گردد. خشکی یکی از عوامل کاهش تولید محصول در بسیاری از نقاط دنیا می‌باشد. امروزه از روش‌های فراوانی جهت افزایش تحمل گیاهان به خشکی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها پیش‌تیمار بذور با باکتری‌های محرک رشد گیاه است. این باکتری‌ها از طریق راهبردهایی از جمله انحلال فسفات و پتاسیم، تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفور و تنظیم‌کننده‌های رشد، تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک و آگرو پلی‌ساکاریدها سبب افزایش تحمل و همچنین تولید گیاهان تحت شرایط تنش‌زا می‌گردند. از آنجا که تنش کم‌آبی یکی از موانع اصلی کاهش تولید در ایران محسوب می‌شود و از سویی دیگر استفاده از کودهای شیمیایی سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی می‌گردد، پژوهش فوق با هدف کاربرد و بررسی تأثیر کودهای زیستی تحت کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر تولید گیاه دانه روغنی کتان تحت تنش کمبود آب اجرا گردید.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. ترکیب تیماری آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و باکتری‌های محرک رشد در ۷ سطح (عدم تلقیح باکتریایی، تلقیح با *Bacillus amyloliquefaciens* strain 1، *Bacillus* sp strain 2، *Azospirillum lipoferum* و *Pseudomonas putida*، *Azotobacter chroococcum*) بودند. اعمال تنش‌ها از زمان شروع رشد طولی ساقه شروع شد. در مرحله رسیدگی عملکرد دانه و میزان عناصر فسفر، آهن و روی در بذر اندازه‌گیری شد. پس از برداشت محصول هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک و میزان عناصر فسفر، آهن و روی در خاک نیز اندازه‌گیری گردید. تجزیه واریانس نتایج و همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و مقایسه میانگین برهمکنش‌ها از روش برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد.

**یافته‌ها:** طبق نتایج حاصل برهمکنش آبیاری و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه، درصد فسفر و غلظت آهن و روی در دانه و هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بود. تیمارهای باکتریایی در هر سه سطح آبیاری از بیش‌ترین میزان عملکرد دانه، درصد فسفر دانه، غلظت آهن و روی در دانه و هدایت الکتریکی خاک برخوردار بودند در صورتی‌که تیمارهای شاهد کم‌ترین مقادیر را نشان

\* مسئول مکاتبه: [rajabi\\_sanaz64@yahoo.com](mailto:rajabi_sanaz64@yahoo.com)

دادند. در بررسی اثرات اصلی تنش بر میزان عناصر در خاک، با افزایش خشکی میزان عناصر موجود در خاک از روند افزایشی برخوردار بودند. تیمارهای باکتریایی نیز عناصر کم‌تری نسبت به تیمارهای شاهد داشتند. در بین تیمارهای باکتریایی، تیمارهای *Bacillus sp strain 1*، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azotobacter chroococcum* تأثیر بیش‌تری بر افزایش عملکرد و عناصر دانه داشتند. همچنین همبستگی منفی ولی معنی‌داری بین درصد فسفر و غلظت آهن و منگنز در دانه با غلظت عناصر فسفر، آهن و روی در خاک مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش جذب عناصر غذایی از خاک می‌تواند در افزایش عملکرد دانه مؤثر باشند. در واقع باکتری‌های محرک رشد با جذب عناصر خاک و کمک به جذب آن توسط گیاه ممکن است سبب کاهش میزان عناصر در خاک شده و در نهایت در افزایش عملکرد مؤثر باشند.

**واژه‌های کلیدی:** باکتری‌های محرک رشد گیاه، تولید، روغن، عناصر غذایی، میکروارگانسیم

### مقدمه

کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) گیاهی است یک‌ساله، دولپه و خودگردده‌افشان که از آن در صنایع مختلف استفاده می‌گردد (۲۳). دانه‌های کتان محتوی ترکیبات و اجزای فعال زیستی شامل اسید لینولنیک، لیگنان‌ها، امگا ۳ و دیگر ترکیبات ضروری می‌باشند (۴۹) که سبب کاهش سرعت تشکیل کلون‌های سرطانی می‌گردند (۴۶). در سال ۲۰۱۴ سطح زیر کشت این محصول در دنیا ۲/۶۲ میلیون هکتار و تولید آن ۲/۵۶ میلیون تن بوده است. میزان تولید در ایران ۱/۱ هزار هکتار و تولید آن ۸۳۷ تن پیش‌بینی شده است (۸). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی در جهان بوده و مقدار آن هر ساله در حال افزایش است (۵۱). تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب و انتقال عناصر غذایی از خاک (۴۳) را کاهش داده، سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (۱۰) و در نتیجه تخریب غشاهای سلولی و پروکسیداسیون لیپیدها و کاهش پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک (۲۶)، کاهش محتویات کلروفیل (۳۴) و کاهش فعالیت‌های زیست-شیمیایی (۵) می‌گردد. تحت شرایط تنش‌های

محیطی یکی از راه‌های افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن استفاده از روش پرایمینگ می‌باشد (۴۷). یکی از روش‌های پرایمینگ، پیش‌تیمار بذور با ریزجانداران مفید قبل از کشت است (۴۵). باکتری‌های محرک رشد از جمله ریزجانداران بهبوددهنده رشد هستند که قادرند رشد گیاه را از طریق سازوکارهای مختلفی افزایش دهند (۱۳). این باکتری‌ها از طریق راهبردهای مستقیم و غیرمستقیم (۱۳) از جمله (۱) تولید برخی ترکیبات مانند آنزیم ACC دامیناز، که از طریق ممانعت از تولید اتیلن اثرات منفی تنش بر روی رشد گیاه را کاهش می‌دهد، (۲) تولید سیانید هیدروژن که فعالیت پاتوژن‌ها را کنترل می‌کند، (۳) افزایش دسترسی به عناصر غذایی، (۴) تولید هورمون‌های گیاهی و (۵) تثبیت نیتروژن اتمسفری، سبب افزایش تولید تحت شرایط نرمال و تنش می‌گردند. جنس‌های باکتریایی مانند *Bacillus*، *Flavobacterium*، *Erwinia*، *Enterobacter* و *Pseudomonas* به‌عنوان مهم‌ترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش شده‌اند (۲). ناصری و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش جذب و تحلیل

به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و باکتری‌های محرک رشد در هفت سطح (شاهد، تلقیح با *Bacillus sp strain1*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus sp strain2*, *Pseudomonas putida* و *Azospirillum lipoferum*) بودند. به‌منظور انجام آزمایش، بذور استریل‌شده (توده چهارم‌حال)، به‌مدت دو ساعت در آب‌مقطر برای تیمار شاهد قرار گرفتند. مایه تلقیح باکتری‌های مورد آزمایش در تیمارهای تلقیحی با استفاده از محیط کشت TSB<sup>۱</sup> و روش کدورت‌سنجی با تنظیم جذب ۰/۵ در طول موج ۶۰۰ نانومتر تهیه گردیدند. به‌منظور اعمال تیمارهای تلقیحی، بذور ضدعفونی‌شده نیز به‌مدت دو ساعت در سوسپانسیون باکتریایی قرار داده شدند (۲۵). عملیات خاک‌ورزی و تهیه زمین، نیمه اول و کشت در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه انجام شد. نیاز غذایی گیاه با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز غذایی کتان (۵۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر) محاسبه و اعمال گردید (۱۹).

بذرها در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۴ در کرت‌هایی به ابعاد ۱ متر در ۱/۵ متر شامل ده خط کشت به طول یک متر و با فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله بذور سه سانتی‌متر (۱۹) به‌صورت دستی کشت و بلافاصله آبیاری شدند. آبیاری تا زمان اعمال تنش‌ها به فاصله یک روز در میان به‌صورت غرقاب انجام شد. اعمال تنش‌ها دو هفته پس از کاشت، هم‌زمان با شروع رشد طولی ساقه صورت گرفت. برای تعیین زمان و میزان آبیاری، رطوبت خاک

شده، در نتیجه موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و افزایش پر شدن دانه می‌گردد (۲۷). گلپایگانی و غلامی تیله‌بینی (۲۰۱۱) گزارش کردند کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas sp.* و *Bacillus lentus* در گیاه دارویی ریحان سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، میزان فتوسنتز و محتویات مواد معدنی طی تنش گردید (۱۲). اتصال سیدروفورهای تولیدی توسط باکتری‌ها به فلزات، غلظت فلزات قابل‌حل را افزایش می‌دهد (۳۶). باکتری‌های محرک رشد با تولید سیدروفور در گیاهان تلقیح‌شده گندم نقش مهمی در جذب آهن داشته‌اند (۳۷). سید شریفی و همکاران (۲۰۱۶) افزایش حجم ریشه و توسعه بیش‌تر ریشه را دلیل افزایش توان جذب آب و عناصر غذایی خاک در تیمارهای باکتریایی دانستند (۴۴). افزایش در عملکرد و صفات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی در گیاهان کتان (۳۵)، سویا (۲۴)، بادام‌زمینی (۳۱) و پنبه (۴۰) تحت تلقیح باکتریایی در شرایط فاقد تنش و تنش کم‌آبی گزارش شده است. با توجه به واردات میلیارد دلاری روغن به کشور، افزایش تمایل به استفاده از داروهای گیاهی، مشکلات کم‌آبی در تولید محصولات کشاورزی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر میزان عناصر غذایی دانه کتان روغنی و همچنین تأثیر این ریزجانداران بر برخی خصوصیات خاک پس از برداشت محصول اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

1- Tryptic Soy Broth

تعیین غلظت عناصر در خاک از عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری گردید. غلظت فسفر در خاک به روش اولسن (۱۹۵۴) (۳۰) و سپس رنگ‌سنجی با اسپکتروفتومتر انجام شد. غلظت آهن و روی از روش عصاره‌گیری DTPA (۳۸) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از روش رودز و همکاران (۱۹۸۲) استفاده و در نهایت EC عصاره‌های حاصل توسط EC متر قرائت شد (۳۹). تجزیه واریانس نتایج و همبستگی بین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱)، مقایسه میانگین‌ها به روش کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد و مقایسه میانگین‌های برهمکنش‌ها از روش برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد.

به‌صورت روزانه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (SM300, England) اندازه‌گیری شد (۹) و سپس به‌میزان کمبود رطوبت خاک برای تیمار شاهد آبیاری انجام گردید. برای تیمارهای تحت تنش نیز مطابق با سطح تنش، به‌میزان ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری انجام شد. میانگین بارندگی در طول دوره رشد ۰/۲۳ میلی‌متر بود. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه با کوبیدن و بوجاری بوته‌های برداشت شده بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید (۱۸). جهت اندازه‌گیری عناصر فسفر، آهن و روی در دانه ابتدا عصاره‌گیری به روش خشک صورت گرفت (۱۷) سپس درصد فسفر به روش رنگ‌سنجی (۶) با دستگاه اسپکتروفتومتر و غلظت عناصر آهن و روی (۵۰) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. جهت

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of site soil.

عمق Depth	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	ازت کل N	شن Silt	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی O.C	پتاسیم K	فسفر P	بافت خاک Soil Texture
cm	dS.m <sup>-1</sup>				(%)			mg.kg <sup>-1</sup>		
0-30	0.38	7.8	0.11	28	34	38	0.6	470	17.6	سیلتی لومی Loam Silty

۸۸ درصدی نسبت به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل برخوردار بود. در مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی، تیمار باسیلوس سویه ۱ با میانگین ۱۲۴۲/۹ کیلوگرم در هکتار و افزایش ۵۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۳).

### نتایج و بحث

**عملکرد دانه:** اثرات اصلی و متقابل آبیاری و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمارهای ۱۰۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۱۳۷۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که از افزایش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس آبیاری و تلفیح باکتریایی بر میزان عناصر بذری و برخی ویژگی های خاک پس از برداشت محصول.

**Table 2. Analysis of variance for effects of irrigation and bacterial inoculation on grain nutrients and some characters of soil after crops harvesting.**

میانگین مربعات										
Mean Square										
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	درصد فسفر در دانه	غلظت آهن در دانه	غلظت روی در دانه	غلظت فسفر خاک	غلظت آهن خاک	غلظت روی خاک	هدایت الکتریکی	S.O.D
S.O.D	df	Grain yield	percentage of Grain P	Concentration of Grain Fe	Concentration of Grain Zn	Concentration of Soil P	Concentration of Soil Fe	Concentration of Soil Zn	EC	
تکرار	2	557 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	1.04 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.3 <sup>ns</sup>	0.0004 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	338.4 <sup>ns</sup>	
آبیاری	2	2187601.6**	0.004**	195.2**	0.3**	45.3**	0.03**	0.006 <sup>ns</sup>	27597.2**	
خطا (a)	4	2701.5	0.00005	1.1	0.00001	0.05	0.003	0.002	113	
باکتری	6	269599.1**	0.005**	34.3**	0.01**	21.3**	0.03**	0.007**	2920.1**	
باکتری × آبیاری	12	14089**	0.001**	3.3**	0.001**	0.2 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	572*	
خطا (b)	36	589.9	0.00004	1.2	0.00001	0.1	0.001	0.0008	216.9	
ضریب تغییرات (درصد)	---	2.3	2	2.1	0.52	3.2	1.6	5	5.5	
CV(%)										

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب نشان دهنده معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم وجود اثر معنی دار می باشند.

\* , \*\* and <sup>ns</sup> represent significant at 5%, 1% level and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسات میانگین اثرات اصلی سطح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه و درصد و غلظت عناصر دانه و خاک پس از برداشت محصول.

**Table 3. Mean comparison for main effect of irrigation and bacterial inoculation on grain yield and amount of some grain and soil nutrients after crop harvesting.**

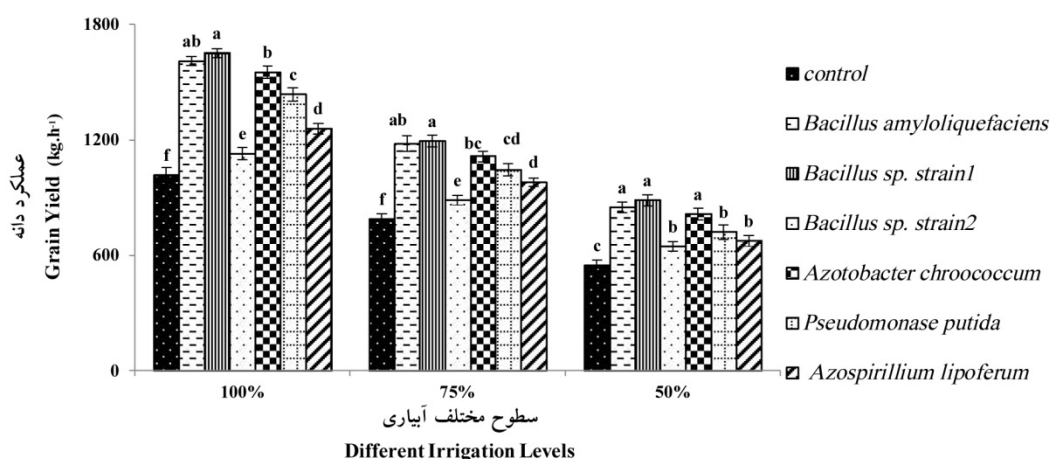
غلظت روی Con. of soil Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	غلظت آهن Con. of soil Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	غلظت فسفر Con. of soil P (mg.kg <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی EC (μS.cm <sup>-1</sup> )	غلظت روی دانه Con. of grain Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	غلظت آهن دانه Con. of grain Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	درصد فسفر دانه Per. of Grain P	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	تیمارها Treatments
0.546 <sup>a</sup>	6.29 <sup>b</sup>	10.74 <sup>c</sup>	233.87 <sup>c</sup>	43.13 <sup>a</sup>	55.63 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	1378.5 <sup>a</sup>	100%
0.568 <sup>a</sup>	6.34 <sup>a</sup>	12.53 <sup>b</sup>	260.85 <sup>b</sup>	41.97 <sup>b</sup>	52.42 <sup>b</sup>	0.30 <sup>b</sup>	1026.5 <sup>b</sup>	آبیاری Irrigation
0.586 <sup>a</sup>	6.37 <sup>a</sup>	13.64 <sup>a</sup>	305.04 <sup>a</sup>	40.74 <sup>c</sup>	49.54 <sup>c</sup>	0.29 <sup>c</sup>	733.9 <sup>c</sup>	50%
0.594 <sup>a</sup>	6.41 <sup>a</sup>	15.62 <sup>a</sup>	239.99 <sup>c</sup>	41.60 <sup>d</sup>	50.96 <sup>cd</sup>	0.29 <sup>c</sup>	783.5 <sup>a</sup>	Control
0.54 <sup>cd</sup>	6.27 <sup>d</sup>	11.29 <sup>d</sup>	271.89 <sup>bc</sup>	42.15 <sup>b</sup>	53.42 <sup>b</sup>	0.31 <sup>b</sup>	1212.7 <sup>b</sup>	<i>B. amyloliquefaciens</i>
0.549 <sup>cd</sup>	6.27 <sup>d</sup>	11.39 <sup>d</sup>	279.56 <sup>b</sup>	42.38 <sup>a</sup>	54.22 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	1242.9 <sup>a</sup>	<i>Bacillus sp strain 1</i>
0.588 <sup>ab</sup>	6.39 <sup>a</sup>	12.39 <sup>b</sup>	295.57 <sup>a</sup>	41.81 <sup>c</sup>	51.37 <sup>c</sup>	0.29 <sup>c</sup>	887.2 <sup>f</sup>	<i>Bacillus sp strain 2</i>
0.524 <sup>d</sup>	6.32 <sup>bc</sup>	11.79 <sup>c</sup>	258.73 <sup>cd</sup>	42.29 <sup>ab</sup>	55.65 <sup>a</sup>	0.32 <sup>b</sup>	1159.7 <sup>e</sup>	<i>A. chroococcum</i>
0.565 <sup>bc</sup>	6.3 <sup>cd</sup>	11.29 <sup>d</sup>	267.06 <sup>bd</sup>	41.85 <sup>c</sup>	51.85 <sup>c</sup>	0.33 <sup>a</sup>	1067.1 <sup>d</sup>	<i>P. putida</i>
0.591 <sup>ab</sup>	6.35 <sup>b</sup>	12.32 <sup>b</sup>	254.71 <sup>d</sup>	41.53 <sup>d</sup>	50.25 <sup>d</sup>	0.26 <sup>d</sup>	970.8 <sup>e</sup>	<i>A. lipoferum</i>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

The means with similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05).

بیشترین و تیمار شاهد نیز کمترین مقدار عملکرد دانه را نشان دادند. دلایل رشد مطلوب گیاه به دلیل باکتری‌های ریزوسفری شامل افزایش سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه، سطح برگ، محتویات کلروفیل، منیزیم، نیتروژن و محتویات پروتئین، فعالیت هیدرولیک، تحمل به تنش‌های خشکی و شوری، تاخیر در پیری برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌باشد (۲۲). نقش باکتری‌های جنس *Bacillus* در تولید سیدروفور، لیپوپتیدها، آنزیم‌های هیدرولیتیک و هورمون‌های رشدی مانند اکسین، انحلال و تحرک فسفات در خاک، ممانعت از تولید اتیلن و مقاومت سیستماتیک به پاتوژن‌ها اثبات شده است (۲۸ و ۳۲). همچنین گزارش شده است در گیاه کتان روغنی باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق انحلال فسفر و کمک به چرخه زمین-زیست-شیمیایی سبب تامین مواد مغذی برای رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شوند (۲۹).

در آبیاری کامل، تیمار *Bacillus sp strain1* با میانگین ۱۶۵۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نشان داد. این تیمار از افزایش ۶۲/۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد که کمترین عملکرد را داشت، برخوردار بود (شکل ۱). در ۷۵ درصد آبیاری کامل مشابه ۱۰۰ درصد آبیاری کامل، تیمار *Bacillus sp strain1* با میانگین ۱۱۹۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار عملکرد دانه را داشت. تیمار شاهد با میانگین ۷۸۷ کیلوگرم در هکتار و کاهش معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها، از کمترین مقدار عملکرد دانه برخوردار بود (شکل ۱). در ۵۰ درصد آبیاری کامل، تیمار *Bacillus sp strain1* با میانگین ۸۸۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار عملکرد دانه را داشت. کمترین عملکرد دانه با میانگین ۵۴۷ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی در این سطح تنش داشت (شکل ۱). طبق نتایج حاصل تیمار *Bacillus sp strain1* در هر سه سطح تنش

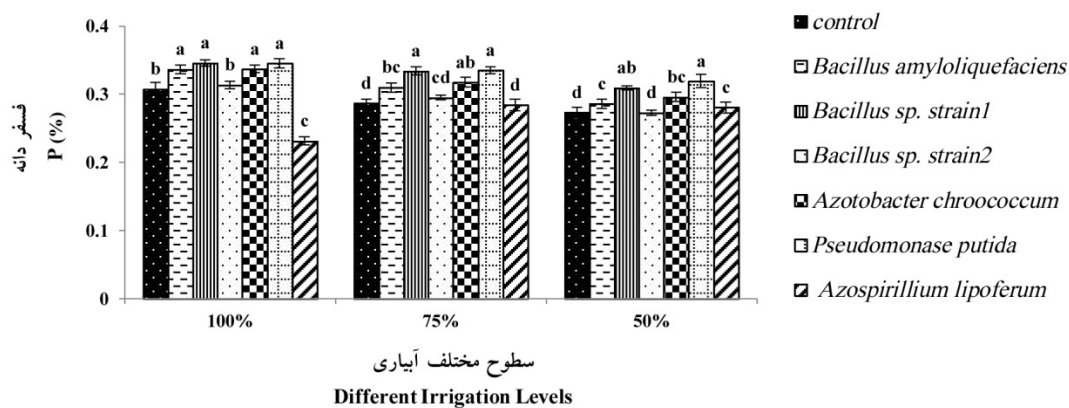


شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه گیاه کتان روغنی (میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) سه تکرار و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن میانگین‌ها می‌باشد (LSD ۰/۰۵)).

Fig. 1. Effect of irrigation levels and bacterial inoculation on linseed grain yield (vertical bars indicate standard error (SE) of three replications and similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05)).

بیش‌ترین درصد فسفر را داشتند. تیمار شاهد با میانگین ۰/۲۹ درصد از کاهش ۱۴ درصدی نسبت به تیمارهای *Bacillus sp strain1* و *Pseudomonas* برخوردار بود (شکل ۲). در ۵۰ درصد آبیاری کامل تیمار *Pseudomonas* با میانگین ۰/۳۲ درصد بیش‌ترین درصد این عنصر را نشان داد. کم‌ترین درصد فسفر متعلق به تیمارهای شاهد و *Bacillus sp strain2* بود. تیمار شاهد از کاهش ۱۸ درصدی نسبت به تیمار *Pseudomonas* برخوردار بود (شکل ۲). تولید ایندول اسید استیک، انحلال فسفات و تولید سیدروفور توسط گونه‌های باکتریایی اثبات شده است (۴۱). در بررسی‌های دلفیم و همکاران (۲۰۱۸) روی گندم، استفاده از گونه باکتریایی *Bacillus thuringiensis* حل‌کننده فسفات در خاک، سبب افزایش ۱۱ درصدی جذب فسفر در گیاهان و همچنین افزایش در فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز در خاک گردید (۷).

درصد فسفر دانه: طبق نتایج حاصل اثرات اصلی و متقابل آبیاری و تلقیح باکتریایی بر درصد فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری بر غلظت فسفر دانه، تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۰/۳۲ درصد و افزایش ۱۰ درصدی نسبت به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل بیش‌ترین درصد را داشت. بین تیمارهای باکتریایی، بیش‌ترین درصد فسفر در تیمار سودوموناس با میانگین ۰/۳۳ درصد مشاهده شد که از افزایش ۱۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود (جدول ۳). در آبیاری کامل، بیش‌ترین درصد فسفر در تیمار *Bacillus sp strain1* با میانگین ۰/۳۴ درصد مشاهده شد. تیمار شاهد با میانگین ۰/۳۱ درصد از کاهش ۱۰ درصدی نسبت به تیمار *Bacillus sp strain1* برخوردار بود (شکل ۲). در ۷۵ درصد آبیاری کامل، تیمارهای *Pseudomonas* و *Bacillus sp strain1* با میانگین ۰/۳۳ درصد



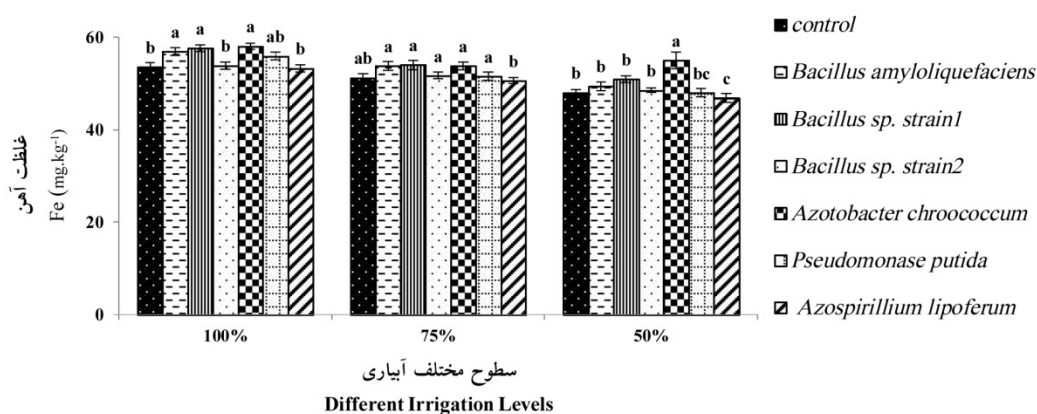
شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بر درصد فسفر دانه در گیاه کتان روغنی (میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) سه تکرار و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن میانگین‌ها می‌باشد (LSD ۰/۰۵)).

Fig. 2. Effect of irrigation levels and bacterial inoculation on linseed grain P (vertical bars indicate standard error (SE) of three replications and similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05)).



تفاوت معنی‌دار با دیگر تیمارها در این سطح تنش، بیش‌ترین غلظت آهن را نشان داد. تیمار شاهد با میانگین  $48/03$  میلی‌گرم بر کیلوگرم از کاهش ۱۴ درصدی نسبت به تیمار *Azotobacter* برخوردار بود (شکل ۳). باکتری‌های محرک رشد با فراهمی آهن محلول در خاک از طریق ترشح سیدروفورها سبب دسترسی گیاه به آهن محلول خاک و همچنین محرومیت موجودات مضر مجاور از آهن محلول خاک می‌شوند (۱۴). تولید سیدروفور در گونه‌های *Bacillus amyloliquefaciens* (۲۸ و ۳۲)، *Pseudomonas putida* (۴۱) گزارش شده است. ککمکی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند تیمارهای باکتری‌های محرک رشد، غلظت‌های آهن، مس، روی و منگنز مشابه یا بیش‌تری نسبت به تیمار شاهد در جو داشتند (۳). در گزارش‌های قوامی و همکاران (۲۰۱۶) استفاده از باکتری‌های *Micrococcus yunnanensis* و *Stenotrophomonas chelatiphaga* سبب افزایش در وزن دانه و محتویات آهن در ریشه و ساقه ذرت و کانولا در مقایسه با گیاهان شاهد گردیدند (۱۱).

**غلظت آهن در دانه:** اثر اصلی آبیاری و تلقیح باکتریایی و نیز اثر متقابل این دو عامل بر غلظت آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری کامل با میانگین  $55/63$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش ۱۲ درصدی نسبت به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل بیش‌ترین غلظت آهن را نشان داد. بین تیمارهای باکتریایی، تیمار ازتوباکتر با میانگین  $55/65$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش ۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد از بیش‌ترین غلظت آهن برخوردار بود (جدول ۳). در آبیاری کامل، تیمار *Azotobacter* با میانگین  $58/1$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین غلظت آهن را نشان داد. تیمار شاهد با میانگین  $53/6$  درصد از کاهش معنی‌دار ۸ درصدی نسبت به تیمار *Azotobacter* برخوردار بود (شکل ۳). در ۷۵ درصد آبیاری کامل، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای باکتریایی به استثنای *Azospirillum* مشاهده نشد. تیمار شاهد نیز اختلاف معنی‌داری با هیچ‌یک از تیمارهای تلقیحی نشان نداد (شکل ۳). در ۵۰ درصد آبیاری کامل، تیمار باکتریایی *Azotobacter* با میانگین  $55$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و

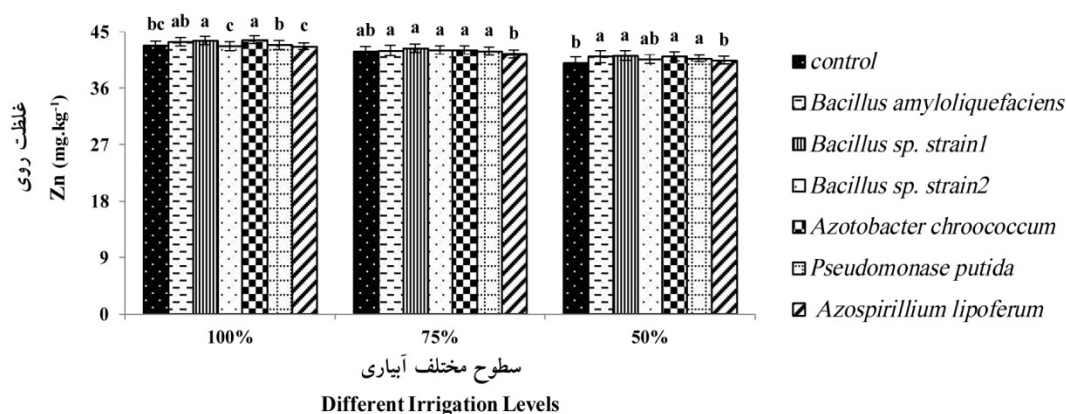


شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بر غلظت آهن دانه در گیاه کتان روغنی (میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) سه تکرار و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن میانگین‌ها می‌باشد (LSD ۰/۰۵)).

Fig. 3. Effect of irrigation levels and bacterial inoculation on linseed grain Fe (vertical bars indicate standard error (SE) of three replications and similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05)).

از تیمارهای مورد بررسی نداشت (شکل ۴). در ۵۰ درصد آبیاری کامل، تیمارهای *Bacillus sp strain1* و *Azotobacter Bacillus amyloliquefaciens* با میانگین ۴۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین غلظت روی را نشان دادند. کم‌ترین غلظت این عنصر متعلق به تیمار شاهد با میانگین ۴۰/۰۳ بود که از کاهش معنی‌دار سه درصدی نسبت به تیمارهای ذکر شده برخوردار بود (شکل ۴). برخی از باکتری‌های محرک رشد می‌توانند به‌طور معنی‌داری میزان مواد معدنی مفید مانند فسفر، منگنز، آهن، مس و روی را آزاد کرده و بنابراین محیط رشد گیاه را تغییر دهند (۳۳). باکتری‌های محرک رشد از طریق کاهش pH خاک و تولید اسیدهای آلی نقش مهمی در دسترسی و انتقال عناصر کم‌مصرف دارند (۴۸). در گزارش‌های خسروی و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه کاهو استفاده از گونه‌ای باکتری *Pseudomonas* سبب افزایش در سرعت جذب منگنز، روی، فسفر، پتاسیم و نیتروژن ساقه گردید (۲۰).

غلظت روی در دانه: اثرات اصلی و متقابل آبیاری و تلقیح باکتریایی بر غلظت روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری بر غلظت روی، تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۴۳/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش ۶ درصدی نسبت به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل بیش‌ترین غلظت این عنصر را نشان داد. در مقایسه اثرات اصلی تلقیح باکتریایی، تیمار باسیلوس سویه ۱ با میانگین ۴۲/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش ۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد از بیش‌ترین غلظت برخوردار بود (جدول ۳). در آبیاری کامل تیمار *Azotobacter* با میانگین ۴۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش‌ترین غلظت روی را نشان داد. تیمار شاهد در این سطح با میانگین ۴۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش ۲ درصدی نسبت به تیمار *Azotobacter* داشت (شکل ۴). در ۷۵ درصد آبیاری کامل بین تیمارهای باکتریایی (به‌استثنای تیمار *Azospirillum*) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تیمار شاهد نیز تفاوت معنی‌داری با هیچ‌یک

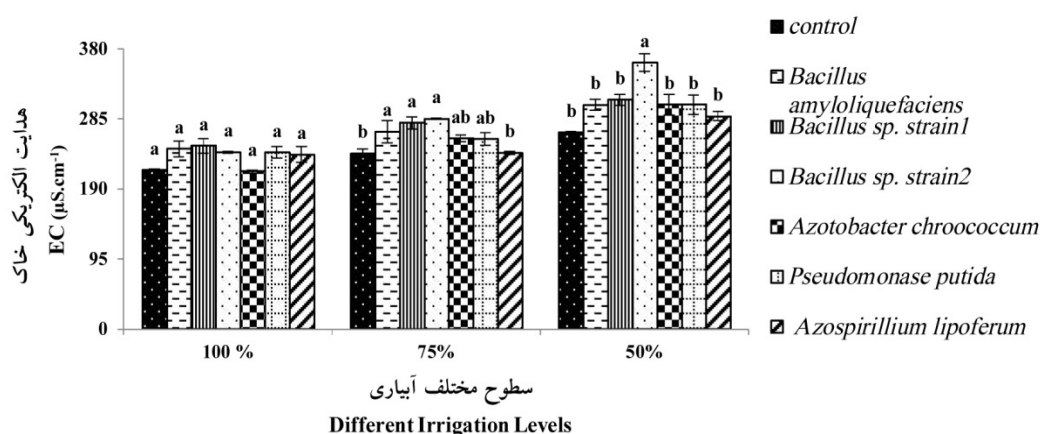


شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بر غلظت روی دانه در گیاه کتان روغنی (میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) سه تکرار و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن میانگین‌ها می‌باشد (LSD ۰/۰۵)).

Fig. 4. Effect of irrigation levels and bacterial inoculation on linseed grain Zn (vertical bars indicate standard error (SE) of three replications and similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05)).

میانگین ۳۶۱/۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی را داشت. تیمار شاهد با میانگین ۲۶۶/۴۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و کاهش ۳۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد از کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی خاک برخوردار بود (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد با افزایش تنش کم‌آبی مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته است و گیاهان قادر به استفاده از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در خاک نبوده‌اند. از سویی دیگر مقدار این پارامتر در اکثر تیمارهای باکتریایی در خاک بیش‌تر بوده است. به احتمال زیاد باکتری‌ها سبب افزایش دسترسی به برخی عناصر در خاک شده‌اند که مقداری از این عناصر بر حسب نیاز گیاه مورد استفاده قرار گرفته ولی برخی بدون استفاده در خاک باقی‌مانده و سبب افزایش در میزان هدایت الکتریکی خاک گردیده است. در بررسی امین‌دلدار و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از برخی سویه‌های باکتری محرک رشد جنس *Pseudomonas* سبب افزایش در میزان عملکرد دانه گردید و بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی در خاک نیز متعلق به این تیمارها بود (۱). تأثیر باکتری محرک رشد *Bacillus amyloliquefaciens* در تولید سیدروفور، انحلال فسفات، تأثیر بر خصوصیات خاک مانند میزان عناصر فسفر و نیتروژن، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و اسیدیته خاک گزارش شده است (۱۶).

هدایت الکتریکی خاک (EC) پس از برداشت محصول: در بررسی این صفت، اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد ولی اثر متقابل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری، تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۳۰۵/۶۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و افزایش ۳۱ درصدی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری کامل بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی را داشت. در بررسی اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی، تیمار باسیلوس سویه ۲ با میانگین ۲۹۵/۵۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و افزایش ۲۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد از بیش‌ترین مقدار برخوردار بود (جدول ۳) که این امر می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که توانایی باکتری‌ها در استفاده از عناصر خاک یکسان نبوده است. در آبیاری کامل همه تیمارهای مورد بررسی در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۵). در ۷۵ درصد آبیاری کامل تیمار *Bacillus sp strain2* با میانگین ۲۸۵/۴۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در خاک را نشان داد. این تیمار با سایر تیمارهای مورد بررسی به‌استثنای تیمارهای *Azospirillum* و شاهد در یک گروه آماری قرار داشتند. کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی خاک متعلق به تیمار شاهد با میانگین ۲۳۸/۱۵ میکروزیمنس و کاهش ۲۰ درصدی نسبت به تیمار *Bacillus sp strain2* بود (شکل ۵). در ۵۰ درصد آبیاری کامل نیز تیمار *Bacillus sp strain2*



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تلقیح باکتریایی بر هدایت الکتریکی خاک پس از برداشت کتان روغنی (میله بارها نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) سه تکرار و حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده غیرمعنی دار بودن میانگین‌ها می‌باشد (LSD ۰/۰۵)).

Fig. 5. Effect of irrigation levels and bacterial inoculation on soil electric conductivity after linseed harvesting (vertical bars indicate standard error (SE) of three replications and similar letter in each column are not significantly different (LSD 0.05)).

آهن در خاک را داشتند (جدول ۳). در بررسی اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی، تیمار شاهد بدون داشتن تفاوت معنی‌دار با تیمار *Bacillus sp strain2* بیش‌ترین غلظت آهن را داشت. تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp strain1* کم‌ترین غلظت آهن را نشان دادند. تیمار شاهد از افزایش ۲ درصدی نسبت به تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp strain1* برخوردار بود (جدول ۳). اثر اصلی تلقیح باکتریایی بر غلظت روی در خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار شاهد بیش‌ترین غلظت عنصر روی در خاک را نشان داد. کم‌ترین غلظت این عنصر در خاک متعلق به تیمار *Azotobacter chroococcum* بود به‌گونه‌ای که از کاهش ۱۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود (جدول ۳). در گیاه بادام‌زمینی، بهبود در انحلال فسفر تحت تلقیح با گونه‌ای باکتری باسیلوس حل‌کننده فسفر سبب افزایش در عملکرد و غلظت فسفر در خاک و گیاه گردید (۵۲). معدنی کردن

غلظت عناصر فسفر، آهن و روی در خاک پس از برداشت: اثرات اصلی آبیاری و تلقیح باکتریایی بر غلظت فسفر خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). غلظت فسفر به‌صورت معنی‌داری در تیمارهایی که داری کمبود آبیاری بودند بیش‌تر از شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۳). در بررسی اثرات اصلی تیمارهای باکتریایی، تیمار شاهد با داشتن اختلاف آماری معنی‌دار نسبت به تیمارهای باکتریایی از بیش‌ترین غلظت فسفر در خاک برخوردار بود. کم‌ترین غلظت فسفر نیز متعلق به تیمارهای *Bacillus amyloliquefaciens* و *Pseudomonas putida* بود که با تیمار *Bacillus sp strain1* در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). طبق نتایج حاصل از مقایسات میانگین، اثرات اصلی تیمارهای مختلف آبیاری و باکتریایی بر غلظت آهن در خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل بدون داشتن اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر بیش‌ترین غلظت

مقدار عناصر مورد بررسی در خاک را نسبت به تیمارهای باکتریایی نشان دادند. بنابراین به احتمال زیاد گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌ها توانسته‌اند حداکثر استفاده از این عناصر را از خاک برده در نتیجه غلظت عناصر موجود در خاک در مقایسه با تیمارهای شاهد کاهش یافته است.

**همبستگی عناصر دانه با عناصر خاک:** بین همه صفات مورد بررسی با یکدیگر همبستگی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد مشاهده شد (جدول ۴). همبستگی عملکرد دانه با عناصر دانه مثبت ولی با عناصر خاک منفی بود که می‌تواند نشان‌دهنده نقش مثبت باکتری‌ها در افزایش دسترسی گیاه به عناصر مغذی خاک، کاهش میزان عناصر در خاک و افزایش آن‌ها در دانه باشد. عناصر موجود در دانه از همبستگی مثبتی با یکدیگر برخوردار بودند. به احتمال زیاد باکتری‌های محرک رشد با سازوکارهایی سبب افزایش در جذب سایر عناصر گشته و فقط در افزایش یک عنصر نقش نداشته‌اند. نتایج مشابهی در ارتباط با میزان عناصر در خاک نیز مشاهده شد به‌گونه‌ای که همبستگی مثبتی بین عناصر موجود در خاک با یکدیگر وجود داشت. با این وجود همبستگی بین عناصر موجود در دانه با میزان عناصر موجود در خاک منفی بود یعنی با افزایش در میزان عناصر بذر از میزان عناصر خاک کاسته شده است که این نتیجه قابل پیش‌بینی بود. در واقع افزایش جذب عناصر از خاک سبب افزایش آن‌ها در دانه و کاهش آن‌ها در خاک گشته است.

فسفر آلی به واسطه آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز و فیتاز صورت می‌گیرد (۱۵). فعالیت بسیاری از فسفاتازها در pHهای طبیعی و اسیدی اتفاق می‌افتد. باکتری‌های خاک از جمله *Rhizobium*، *Pseudomonas* و *Bacillus* سبب ایجاد سطوح معنی‌داری از اسیدی شدن خاک می‌گردند (۲۱). در یک بررسی روی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر آزادسازی فسفر به محیط، سویه‌هایی از باکتری‌های محرک رشد سودوناس از بیش‌ترین سرعت آزادسازی فسفر در خاک برخوردار بودند (۴). در بررسی امین‌دلدار و همکاران (۲۰۱۴)، تأثیر سویه‌های باکتریایی محرک رشد *Pseudomonas* بر میزان فسفر موجود در خاک، بیش‌ترین فسفر قابل جذب مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین آن متعلق به تیمارهای باکتریایی بود (۱). باکتری‌های خاک از جمله *Azotobacter* می‌توانند ترکیبات نامحلول روی و مس را به شکل محلول در آورند (۳۶). سراوانان و همکاران (۲۰۰۷) با معرفی باکتری‌های حل‌کننده روی از جمله سویه‌های *Pseudomonas* و *Azotobacter* توانایی انحلال روی را به طریق تولید اسیدها و کاهش pH خاک گزارش کردند (۴۲). طبق نتایج حاصل از بررسی اثرات اصلی تیمارهای آبیاری بر غلظت عناصر در خاک پس از برداشت، به‌نظر می‌رسد تیمارهای فاقد تنش توانسته‌اند از فسفر موجود در خاک استفاده بیش‌تری کنند در نتیجه غلظت این عنصر در خاک پس از برداشت، نسبت به تیمارهای تنش کم‌تر شده است. در رابطه با تیمارهای باکتریایی، همان‌گونه که مشاهده شد تیمارهای شاهد یا تلقیح‌نشده بیش‌ترین

جدول ۴- همبستگی بین عملکرد دانه، عناصر دانه و عناصر خاک پس از برداشت محصول.

**Table 4. Correlation of grain yield, grain nutrients and soil nutrients after crop harvesting.**

غلظت روی در خاک	غلظت آهن در خاک	غلظت فسفر در خاک	غلظت روی در دانه	غلظت آهن در دانه	درصد فسفر در دانه	عملکرد دانه	صفات
Concentration of Soil Zn	Concentration of Soil Fe	Concentration of Soil P	Concentration of Grain Zn	Concentration of Grain Fe	Percentage of Grain P	Grain yield	Traits
						1	عملکرد دانه Grain yield
					1	0.58**	درصد فسفر در دانه Percentage of Grain P
				1	0.55**	0.86**	غلظت آهن در دانه Concentration of Grain Fe
			1	0.85**	0.51**	0.91**	غلظت روی در دانه Concentration of Grain Zn
		1	-0.71**	-0.67**	-0.51**	-0.86**	غلظت فسفر در خاک Concentration of Soil P
	1	0.72**	-0.58**	-0.63**	-0.63**	-0.74**	غلظت آهن در خاک Concentration of Soil Fe
1	0.47**	0.53**	-0.52**	-0.57**	-0.51**	-0.61**	غلظت روی در خاک Concentration of Soil Zn

\*\* نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

\*\* represent significant at 1% level.

### نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج حاصل از این پژوهش باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش در درصد فسفر و غلظت عناصر آهن و روی در دانه شدند. این افزایش می‌تواند به دلیل ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک باشد که در نهایت سبب افزایش رشد ریشه و تولید اسیدهای آلی شده، به جذب بیشتر عناصر غذایی از خاک و عملکرد نهایی منجر شده‌اند. تیمارهای باکتریایی به‌خصوص *Azotobacter*، *Bacillus* sp strain1، *Pseudomonas* و *Bacillus amyloliquefaciens* از تأثیر بیشتری در افزایش میزان عناصر و عملکرد دانه در هر سه تنش برخوردار بودند. تأثیر تیمار باکتریایی *Azospirillum* چندان چشم‌گیر نبود به‌گونه‌ای که در بیشتر موارد اختلاف آماری معنی‌داری بین این

تیمار با تیمار شاهد مشاهده نشد. در بررسی میزان عناصر در خاک پس از برداشت، میزان عناصر مورد بررسی در تیمارهای تنش بیش‌تر از تیمار فاقد تنش بودند. به احتمال زیاد تحت شرایط تنش توانایی گیاه در استفاده از عناصر کاهش یافته در نتیجه میزان این عناصر در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد آبیاری کامل بیش‌تر از آبیاری کامل بوده است. بر خلاف میزان عناصر در دانه، تیمارهای باکتریایی از کاهش معنی‌داری در میزان این عناصر در خاک نسبت به تیمار شاهد برخوردار بودند. احتمال می‌رود باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش جذب عناصر فوق از خاک و کاهش میزان آن‌ها در خاک گردیده است. همبستگی منفی بین عناصر دانه با عناصر خاک می‌تواند گواه این مطلب باشد.

منابع

1. Amin Deldar, Z., Ehteshami, M.R., Shahdi Kumleh, A. and Khavazi, K. 2014. Effect of *Pseudomonas* bacteria on some chemical-biological characters of soil, yield and yield components of two wheat varieties. J. Crop Prod. Proc. 4: 11. 149-159. (In Persian)
2. Bhattacharyya, P.N. and Jha, D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in Agriculture. World J. Microbiol. Biotechnol. 28: 1327-1350.
3. Cakmakci, R., Donmez, M.F. and Erdogan, U. 2007. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties and bacterial counts. Turk. J. Agric. For. 31: 189-199.
4. Cao, T., Fu, D., Liu, T., Guo, G. and Hu, Z. 2018. Phosphorus solubilizing and releasing bacteria screening from the rhizosphere in a natural wetland. Water. 10: 195. 1-17.
5. Caravaca, F., Alguacil, M.M., Herniandez, J.A. and Roldain, A. 2005. Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of *mycorrhizal Myrtus communis* and *Phillyrea angustifolia* plants. Plant Sci. 169: 191-197.
6. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1961. Methods of analysis for soils, plants and water. 1<sup>st</sup> edition, Division of Agricultural Sciences, University of California, 309p.
7. Delfim, J., Schoebitz, M., Paulino, L., Hirzel, J. and Zagal, E. 2018. Phosphorus availability in wheat, in volcanic soils inoculated with phosphate-solubilizing *Bacillus thuringiensis*. Sustainability. Pp: 1-25.
8. FAOSTAT. 2016. Production of crops: Linseed: Area harvested and production (tonnes). Retrieved July, 2016 from <http://faostat3.fao.org/home/index.html>.
9. Farshi, A., Siadat, H., Darbandi, S., Ansari, M., Kheirabi, J., Mir Lotfi, M., Salamat, A. and Sadat Miri, L.H. 2003. Management of irrigation water in field. 1<sup>st</sup> edition. 76: 178. (In Persian)
10. Farooq, M., Basra, S.M.A., Tabassun, R. and Ahmad, N. 2006. Evaluation of seed vigor enhancement techniques on physiological and biochemical techniques on physiological basis in coars rice (*Oryza sativa* L.). Seed Sci. Technol. 34: 741-750.
11. Ghavami, N., Alikhani, H.A., Pourbabaei, A.A. and Besharati, H. 2016. Effects of two new siderophore producing rhizobacteria on growth and iron content of maize and canola plants. J. Plant Nutr. 2: 1. 736-746.
12. Golpayegani, A. and Gholami Tilebeni, H. 2011. Effect of biological fertilizers on biochemical and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicon* L.) medicinal plant. JAEAES. 11: 3. 445-450.
13. Glick, B.R., Karaturovic, D. and Newell, P. 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth-promoting rhizobacteria. Can J. Microbiol. 41: 533-536.
14. Glick, B.R., Penrose, M.D. and Li, J.A. 1998. Model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. J. Theor. Biol. 190: 63-8.
15. Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R. and Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion. A review: Ann Microbiol. 60: 4. 579-598.
16. Jamal, Q., Lee, Y.S., Jeon, H.D. and Kim, K.Y. 2016. Effect of plant growth promoting bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* Y1 on soil properties, Pepper seedling growth, rhizosphere bacterial flora and soil enzymes. Plant Protect Sci. 54: 129-137.
17. Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Cereals Research of Community Press, 382p.
18. Kadkhodaei, A. and Ehsanzadeh, P. 2011. The relationship between grain yield and oil content of flax with leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates amounts under different irrigation regimes. Iran. J. Crop Sci. 42: 1. 125-131. (In Persian)

19. Khajepour, M.R. 2004. Industrial Crops. Isfahan Technology University Press. 571p. (In Persian)
20. Khosravi, A., Zarei, M. and Ronaghi, A.M. 2018. Effect of PGPR, phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. J. Plant Nutr. 41: 1. 80-89.
21. Kumar Jha, C. and Saraf, M. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. J. Agric. Res. Dev. 5: 2. 108-119.
22. Lucy, M., Reed, E. and Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leeuwenhoek. 86: 1-25.
23. Ludvikova, M. and Griga, M. 2015. Transgenic flax/linseed (*Linum usitatissimum* L.) expectations and reality. Czech J. Genet. Plant Breed. 51: 4. 123-141.
24. Masciarelli, O., Llanes, A. and Luna, V.A. 2014. New PGPR co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation. Microbiol. Res. 169: 609-615.
25. Naderi, M.R. 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on phytoremediation of lead by sun flower in a Pb-bearing soil for long term. M.Sc. Thesis. University of Shahrekord. (In Persian)
26. Nair, A., Abraham, T.K. and Jaya, D.S. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. J. Environ. Biol. 29: 689-691.
27. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K. and Tahmasebi, A. 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. J. Soil Biol. 5: 1. 49-66. (In Persian)
28. Nihorimbere, V. and Ongena, M. 2017. Isolation of plant growth promoting *Bacillus* strains with biocontrol activity in vitro. MRMB. 5: 2. 13-21.
29. Neetu, N., Aggarwal, A., Tanwar, A. and Alpa, A. 2012. Influence of *Arbuscular mycorrhiza* fungi and *Pseudomonas fluorescens* at different superphosphate levels on linseed (*Linum usitatissimum* L.) growth response. Chil J. Agric. Res. 72: 1. 237-243.
30. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of Available P in Soils by Extraction with NaHCO<sub>3</sub>. USDA Cir. 939. US Government Printing Office, Washington DC.
31. Paulucci, N.S., Gallarato, L., Reguera, Y.B., Vicario, J.C., Cesari, A.B., Garcia de Lema, M.B. and Dardanelli, M.S. 2015. *Arachis hypogaea* PGPR isolated from Argentine soil modifies its lipids components in response to temperature and salinity. Microbiol. Res. 173: 1-9.
32. Pindi, P.K., Sultana, T. and Vootla, P.K. 2014. Plant growth regulation of Bt-cotton through *Bacillus* species. Biotechnol. 4: 305-315.
33. Puente, M.E., Bashan, Y., Li, C.Y. and Lebsky, V.K. 2004. Microbial populations and activities in the rhizosphere of rock-weathering desert plants. I. Root colonization and weathering of igneous rocks. Plant Biol. 6: 629-642.
34. Rahdari, P. and Hapseini, S.M. 2012. Drought stress, a review. IJAPP. 3: 443-446.
35. Rahimzadeh, S. and Pirzad, A.R. 2017. Microorganisms (AMF and PSB) interaction on linseed productivity under water deficit condition. Iran. J. Plant. Pro. 11: 2. 259-273.
36. Rajkumar, M., Ae, N., Prasad, M.N.V. and Freitas H. 2010. Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. Trends Biotech. 28: 142-149.
37. Rasouli, M.H.S., Barin, M. and Jalili, F. 2008. The effect of PGPR inoculation on the growth of wheat. International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology. Turkey. Pp: 891-898.
38. Reed, T.S. and Martens, D.C. 1996. Copper and Zink. P 703-722, In: D.L. Sparks. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods, Soil Science of America and American Society Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.



39. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: Page, A.L. (ed.), Method of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological Properties. Agron Monograph. 9. 2<sup>nd</sup> ed. SSSA and ASA, Madison, WI.
40. Romero Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno Galvan, A., Pastrana, I., Rojas Tapias, D. and Bonilla, R. 2017. *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. Revista Argentina De Microbiologia. 49: 4. 377-383.
41. Santora, M.V., Cappellari, L.R., Giordano, W. and Banchio, E. 2015. Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas* strains on *Mentha piperita* (peppermint): An in vitro Study. Plant Biol. 17: 6. 1218-1226.
42. Saravanan, V., Madhaiyan, M. and Thangaraju, M. 2007. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus*. Chemosphere. 66: 1794-1798.
43. Saravankumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P. and Samiyappan, R. 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiol Plant. 33: 203-209.
44. Seyed Sharifi, R., Ganbari, P., Khavazi, K. and Kamari, H. 2016. Study of interaction between nitrogen and biofertilizers on yield, grain growth of wheat and fertilizer use efficiency. J. Soil Biol. 4: 1. 1-14. (In Persian)
45. Shaukat, M.F. 2013. Seed biopriming with *Serratia plymuthica* HRO-C48 for the control of *Verticillium longisporum* and *Phoma lingam* in *Brassica napus* L. spp. *Oleifera*. SLU. Swedish University of Agricultural Science. 22p.
46. Silska, G. 2017. Genetic resources of flax (*Linum usitatissimum* L.) as very rich source of  $\alpha$ -linolenic acid. Herba Polonica. 63: 4. 26-33.
47. Soltani, E. and Soltani, A. 2015. Meta-analysis of seed priming effects on seed germination, seedling emergence and crop yield: Iranian studies. Int. J. Plant Prod. 9: 3. 413-432.
48. Sundara, B., Natarajan, V. and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yield. Field Crop Res. 77: 43-49.
49. Turner, T.D., Mapiye, C., Aalhus, J.L., Beaulieu, A.D., Patience, J.F., Zijlstra, R.T. and Dugan, M.E. 2014. Flaxseed fed pork: n-3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations. Meat Sci. 96: 541-547.
50. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. and Van der Lee, J.J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi, Part 7, Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.
51. Wang, T., Liu, M. and Li, H. 2014. Inoculation of phosphate solubilizing bacteria *Bacillus thuringiensis* B1 increases available phosphorus and growth of peanut in acidic soil. Acta Agri. Scandinavica B. 64: 252-259.
52. Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and S.K.Z.A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Micro Res. 184: 13-24.

