نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره ۳۰ - شماره ٤- پیاپند ۱۱۷ زمستان ۹٦

# بررسی تاثیر ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد گندم، کاهش مصرف کود فسفر و کارایی مصرف آب در مناطق خشک

# The Effect of Phosphate-Solubilizing Microorganisms on Wheat Yield, Reduction of Phosphate Fertilizer Consumption and Water Use Efficiency in Dry Region

غلامعلی کیخا[۱]، محمد رضا پهلوان راد[۲]، علی سرحدی[۳]

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. زابل. ایران.
۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل. ایران ، (نگارنده مسئول)
۳. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل. ایران

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰٤/۳۰**

## چکیده

**کیخا، غ. ع.، پهلوان راد، م. ر.، سرحدی، ع.** بررسی تاثیر ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد گندم، کاهش مصرف کود فسفر و کارایی مصرف آب در مناطق خشک
**نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ٤- پیاپند ۱۱۷ زمستان ۹٦:** ۳۱-۱۳

**به منظور بررسی تاثیر ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد گندم رقم هامون آزمایشی به صورت فاکتوریل در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک، در منطقه سیستان، در سال زراعی۱۳۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کود فسفره با سه سطح (مصرف براساس آزمون خاک، مصرف براساس ٦۵ درصد آزمون خاک و شاهد) و سویه های مختلف سودوموناس فلوروسنس در پنج سطح (inoculant $PSM_1$، $PSM_2$ inoculant، $PSM_3$ inoculant ، $PSM_4$ inoculant و شاهد) بودند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای کود فسفره و ریزجانداران حل کننده فسفات بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب اثر معنی داری ($p<0.01$) داشتند. بیشترین مقدار عملکرد دانه با کاربرد کود فسفره با ٦۵ درصد آزمون خاک بدست آمد که نسبت به کاربرد کود بر اساس آزمون خاک و شاهد به ترتیب ۱۰ و ۱۷ درصد بیشتر بود. همه تیمارهای حل کننده فسفات عملکرد دانه را افزایش دادند و بیشترین عملکرد با تیمار $PSM_3$ بدست آمد که ۲٦/٦ درصد بیشتر از شاهد بود. ریزجانداران حل کننده فسفات سبب بهبود کارایی مصرف آب شدند و بیشترین کارایی مصرف آب با مایه تلقیح $PSM_3$ بدست آمد که ۲۳ درصد بیشتر از شاهد بود.**

**واژه های کلیدی: محدودیت فسفر، سیستان، خاک، سودوموناس فلوروسنس، کمبود آب**

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: pahlavanrad@gmail.com

## مقدمه

فسفر یکی از مهمترین عناصر غذایی برای گیاهان پس از نیتروژن می باشد. به دلیل پیچیدگی رفتار شیمیایی فسفر در خاکهای آهکی و اسیدی، کمتر از ۲۰٪ کود فسفره مصرفی توسط گیاه برداشت می شود و بقیه آن در خاک تثبیت و یا تغییر شکل یافته و به شکل غیر قابل جذب در می آید ((Vance *et al.,* 2003 به دلیل محدود بودن منابع کودهای فسفره، افزایش قیمت تمام شده آن و مخاطرات زیست محیطی ناشی از کاربرد آنها و تثبیت شدن در خاک، توجه به کودهای زیستی فسفاته را ایجاب می کند (Pereira & Castro, 2014). توانایی ریزجانداران خاک در آزاد سازی عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم، تجزیه ی ترکیبات آلی پیچیده در خاک و کنترل آفات و بیماریهای گیاهی، امروزه به نحو مطلوبی در جهت کشاورزی پایدار مورد استفاده ی کشورهای پیشرو قرار می گیرد (Sugeng *et al.,* 2011). توانایی حل کنندگی فسفات نامحلول خاک به وسیله ریزجانداران خاک به عنوان یکی از مهمترین گزینه های تغذیه فسفر گیاه مطرح می شود (Poonguzhali *et al.,* 2008). باکتری های حل کننده فسفات از طریق فرآیند اسیدی کردن، تسهیل واکنش های تبادلی، تولید اسیدهای آلی مانند اسیدهای سیتریک و گلوکونیک، فسفات غیر محلول را به فرم محلول آن تبدیل کنند (Pereira & Castro, 2014). از مهم ترین باکتری های حل کننده فسفات می توان به جنس های *Pseudomonas*، *Azosprilium*، *Bacillus*، *Serattia*، *Alkaligenus*، *Acinetobacter*، *Flabacterium* اشاره کرد (Susilowati & Syekhfani ۲۰۱۴,).

در پژوهشی نشان داده شد که باکتری های حل کننده فسفات (*Pantoea cypripedii* و *Pseudomonas plecoglossicida* ) عملکرد و جذب فسفر را در ذرت افزایش دادند (Kaur & Reddy, 2014). چهارگونه مختلف باکتری *Bacillus* جداسازی شده از ریزوسفر گندم و جو، از طریق تثبیت نیتروژن و انحلال فسفات های نامحلول، رشد گیاهچه ها را افزایش داده و قابلیت دسترسی فسفات در خاک را در مقایسه با شاهد افزایش دادند(Mustafa & Canbolat, 2006). در بررسی سویه های مختلف باکتری های حل کننده فسفات و مقادیر مختلف کود فسفره بر عملکرد لوبیای محلی در استان گیلان مشاهده شد که بیشترین عملکرد با سویه ۱۶۸ باکتری حل کننده فسفات بدست آمد و پیشنهاد شد که در سطوح پایین فسفر خاک، سویه های باکتری حل کننده فسفات را می توان جهت افزایش عملکرد لوبیا استفاده کرد (Rezapour Kavishahi, *et al.,* 2015). در بررسی ریزجانداران های مختلف حل کننده فسفر در یک خاک پیت، بر رشد گیاه پالم، P *Burkholderia gladioli* و *Penicillium aculeatum* بهترین حل کننده های فسفر خاک بودند و بیشترین تاثیر را بر رشد نهال پالم داشتند(Istina *et al*., 2015). نتایج یک آزمایش مزرعه ای در کشور مالی با سویه های مختلف تیوباسیلوس بر روی گندم نشان داد که سویه BioTRP1، مقدار عملکرد دانه و کاه و کلش را به ترتیب ۴۵ و ۷۴ درصد نسبت به شاهد

افزایش داد(Babana *et al.,* 2016). سویه های حل کننده فسفات *Rhodococcus* sp. EC35، *Pseudomonas* sp. EAV و *Arthrobacter nicotinovorans* EAPAA در خاک های دچار کمبود فسفر ارزیابی شد، نتایج نشان داد که ریزجانداران حل کننده فسفات بخصوص سویه های *Pseudomonas* sp. EAV و *Arthrobacter nicotinovorans* EAPAA قابلیت دسترسی فسفر را افزایش و رشد ذرت را بهبود دادند(Pereira & Castro, 2014). در شرایط تنش شوری، سویه های مختلف *Acinetobacter* sp و *Bacillus* sp بر رشد گیاه *phyllanthus amarus* بررسی و مشاهده شده است که سویه های این دو باکتری، بر اکثر صفات موثر بر رشد گیاه اثر معنی داری داشتند (Joe *et al.,* 2016). جمعیت میکروبی *Funneliformis mosseae* و *Bacillus sonorensis* بر رشد فلفل قرمز و کاهش مصرف کودNPK در هند در شرایط مزرعه ارزیابی شد و مشاهده شد که با استفاده از این ریزجانداران ها، رشد و ماده خشک گیاه افزایش و میزان مصرف کود، ۵۰ درصد کاهش یافت (Thilagar *et al.,* 2016). در آزمایشی باکتری های حل کننده فسفات (*Pantoea cypripedii* و *Pseudomonas plecoglossicida*)، سنگ فسفات و کودهای شیمیایی در تناوب گندم- ذرت بررسی شدند، نتایج نشان داد که باکتری های حل کننده فسفات در ترکیب با کود سنگ فسفات، وزن خشک ساقه و ریشه، عملکرد دانه و جذب فسفر کل هر دو گیاه را افزایش داد (Kaur & Reddy, 2015). در مطالعه ای کاربرد باکتری های حل کننده فسفات سبب افزایش بهره وری آب در گیاه نخود گردید (Pezeshkpour *et al*., 2014).

بسیاری از اراضی دشت سیستان دارای فسفر قابل استفاده پایین بوده ( میانگین ۶/۷ میلی گرم در کیلوگرم) (Pahlavan-Rad, 2012) که سبب کاهش رشد و عملکرد محصولات مختلف می گردد و از طرفی مقدار pHخاک های منطقه نیز بالا بوده (میانگین ۸/۲) (Pahlavan-Rad, 2012) که این موضوع نیز تأثیر عمده روی کاهش حلالیت و قابل دسترس بودن فسفر خاک و تثبیت کودهای فسفاته می گذارد. از طرف دیگر، کمبود آب و خشکسالی از مشکلات اساسی موجود در منطقه سیستان می باشد. از این رو این تحقیق جهت بررسی ریزجانداران های مختلف حل کننده فسفات با مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در منطقه سیستان انجام شد.

## مواد و روش ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۲-۹۱، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک در ۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان زابل در منطقه سیستان با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ارتفاع ۴۸۳ متر از دریا که دارای اقلیم بسیار خشک با تابستان بسیار گرم و زمستان ملایم است، انجام شد. میانگین سالیانه بارندگی در منطقه سیستان ۵۵ میلیمتر، میانگین دمای سالیانه ۲۲ درجه سانتیگراد و میانگین تبخیر سالیانه ۴۵۰۰ میلیمتر می باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار بر روی گندم رقم هامون اجرا گردید. در هر تیمار طول خط کاشت ۴ متر، تعداد خطوط کاشت

۱۲ و فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر بود. فاصله بین تیمارها ۱/۵ متر و فاصله بین تکرارها ۳/۵متر در نظر گرفته شد.

تیمارهای آزمایش شامل سه سطح مختلف کود فسفره (مصرف سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار)، مصرف سوپرفسفات تریپل به میزان ۶۵ درصد آزمون خاک (۸۱ کیلوگرم درهکتار) و شاهد (بدون مصرف کود فسفره) و پنج سطح مختلف سویه های باکتری سودوموناس فلوروسنس با کد های PSM2 inoculant،PSM1 inoculant ، PSM4 inoculant،PSM3 inoculant تهیه شده از بانک میکروبی بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و شاهد بودند. کود فسفر هم زمان با کاشت استفاده گردید. کود اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله هنگام کاشت، ابتدای پنجه دهی و ابتدای ساقه رفتن مصرف شدند. همچنین ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم هنگام کاشت به خاک اضافه گردید.

برای همه تیمارها، مقدار آب آبیاری یکسان استفاده شد. جهت تعیین عمق خالص آبیاری از رابطه زیر استفاده شد.

$$d = (FC - \theta) * Zd = (FC - \theta) * Z$$

$$\mathrm{d} = (\mathrm{fc}\text{-}\theta)*\mathrm{Zd} = (\mathrm{fc}\text{-}\theta)*\mathrm{Z}$$

که در این رابطه، $d$ عمق آبیاری، $FC$ رطوبت حد ظرفیت زراعی (درصد حجمی)، $Z$ عمق توسعه ریشه و $\theta\theta$ میزان رطوبت حجمی خاک یک روز قبل از آبیاری می باشد که با استفاده از دستگاه TDR اندازه گیری گردید. عمق ناخالص آبیاری از رابطه (۲) بدست می آید.

$$\mathrm{Ig} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{E}}\mathrm{Ig} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{E}} \qquad (۲)$$

که Ig عمق ناخالص آبیاری و E راندمان می باشد که در این تحقیق مقدار آن برابر ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. زمان آبیاری بر اساس کسر رطوبتی خاک، معادل ۵۰ درصد آب قابل استفاده خاک برای گندم منظور گردید. حجم آب آبیاری مورد نیاز در هر یک از کرت ها محاسبه و با استفاده از لوله های هیدروفلوم (دریچه دار) دارای قطر ۱۰ اینچ و قطر دریچه ۲ اینچ که قابلیت تنظیم را دارا بود به هر یک از کرت های آزمایشی انتقال داده شد. میانگین آب مصرفی با توجه به محاسبه کل حجم آب مصرفی در چهار نوبت عملیات آبیاری حدود ۴۳۵۰ مترمکعب بدست آمد. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. برداشت با حذف خطوط کناری و نیم متر از ابتدا و انتها انجام گردید و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C صورت گرفت. قبل از اجرای آزمایش، نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن بر اساس روش های مرسوم موسسه خاک و آب تعیین گردید (جدول ۱). همچنین نمونه برداری از آب آبیاری انجام و خصوصیات شیمیایی نیز اندازه گیری شد (جدول ۲).

جدول ۱ - مشخصات فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. Physico-chemical properties of soil at the study site.

| عمق (سانتیمتر) Depth (cm) | بافت Texture | EC($dS.m^{-1}$) | pH | ٪OC | P | K | Fe | Zn | Mn | Cu | B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-30 | لومی شنی Sandy loam | 3 | 8.2 | 0.48 | 11 | 100 | 2.84 | 0.26 | 4.86 | 0.58 | 1.1 |
| | | | | | $mg.kg^{-1}$ | | | | | | |

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری.

Table 2. Chemical properties of irrigation water

| EC ($dS.m^{-1}$) | pH | میلی اکی والان در لیتر Milliequivalent per liter | | | | | | | | | SSP % | SAR % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $CO_3^{2-}$ | $HCO_3$ | $Na^+$ | $Mg^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | مجموع کاتیونها Sum of cations | مجموع آنیونها Sum of onions | | |
| 0.652 | 8.3 | 0 | 1.6 | 4 | 1.6 | 1 | 2.1 | 2.6 | 6.6 | 6.3 | 61 | 3.5 |

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک نشان می دهد که بافت خاک، لوم شنی و مقدار فسفر خاک ۱۱ میلی گرم در کیلوگرم بود که در حد متوسط می باشد (Tehrani *et al.*, 2014). مقدار pH خاک ۸/۲ و کربن آلی خاک کم و حدود ۰/۵ درصد است. خاک و آب فاقد محدودیت شوری بودند (جداول ۱ و۲).

### اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف کاربرد کود فسفره، تیمارهای حل کننده های فسفات و نیز اثرات متقابل مصرف کود و تیمارهای حل کننده های فسفات بر ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در سطح یک درصد ($p<0.01$) معنی دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار مصرف ۱۰۰درصد کود فسفره بدست آمد (شکل ۱) که با دو تیمار دیگر اختلاف معنی دار داشت. بیشترین ارتفاع بوته هم در تیمار زیستی $PSM_3$ بود (شکل ۲). بیشترین وزن هزاردانه نیز در تیمار مصرف ۱۰۰درصد کود فسفره بود و پس از آن در تیمار مصرف ۶۵ درصد کود فسفره قرار داشت(شکل ۳). بیشترین وزن هزار دانه در استفاده از مایه تلقیح $PSM_3$و پس از آن $PSM_1$ بدست آمد. نتایج اثرات متقابل نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمارهای T1(مصرف ۱۰۰ درصد کود سوپرفسفات تریپل با عدم مصرف کود زیستی) و تیمارT3 ( مصرف ۱۰۰ درصد کود فسفر همراه با کود زیستی $PSM_2$) بدست آمد (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه نیز در تیمارهای T2 )مصرف ۱۰۰ درصد کود فسفره همراه با کود زیستی ($PSM_1$و T4 (۱۰۰

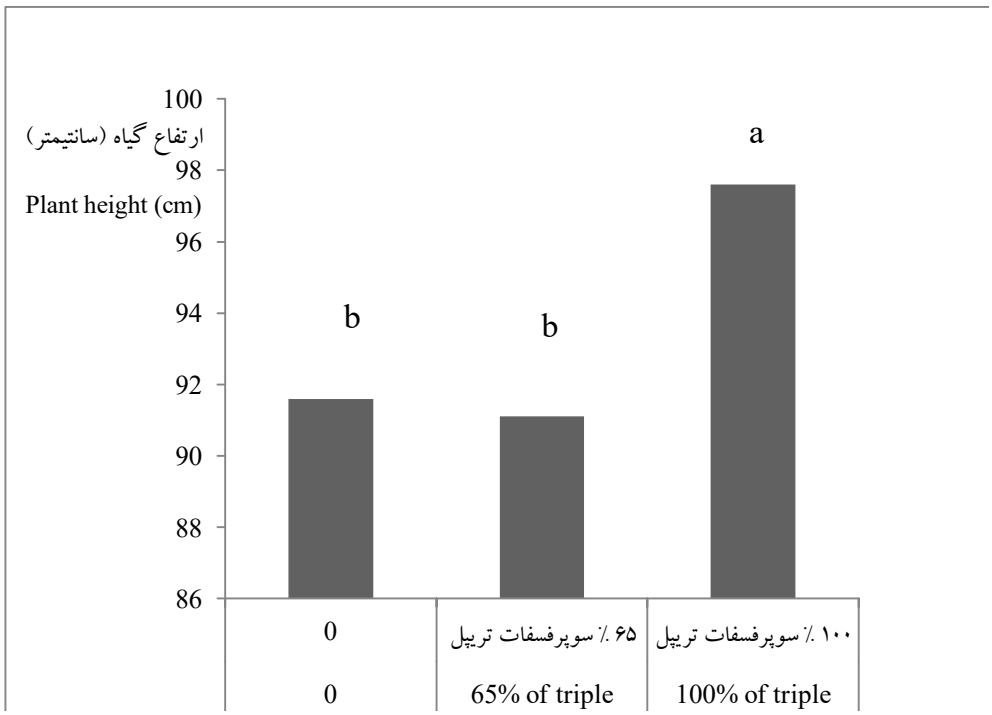
جدول۳- تجزیه واریانس اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارائی مصرف آب تحت تیمارهای آزمایش.

Table 3. Analysis of variance for yield components, grain yield and water use efficiency under experimental treatments

| منبع تغییرات<br>Source of variation | درجه آزادی<br>Degree of freedom | ارتفاع بوته (سانتیمتر)<br>Plant height (cm) | طول خوشه (میلیمتر)<br>Spike length (mm) | تعداد دانه در خوشه<br>Grain number per spike | وزن هزار دانه (گرم)<br>1000-grain weight (gr) | عملکرد دانه (تن در هکتار)<br>Grain yield (ton / ha) | کارایی مصرف آب (کیلوگرم در مترمکعب)<br>Water use efficiency ($kg / m^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار<br>Replication | 2 | $6.956^{n.s}$ | $50.15^{ns}$ | $1.09^{ns}$ | $12.92^{n.s}$ | $0.011^{n.s}$ | $0.003^{ns}$ |
| کود فسفره<br>Phosphorus fertilizer | 2 | $165.4^{**}$ | $8.95^{ns}$ | $25.69^{ns}$ | $95.33^{**}$ | $2.472^{**}$ | $0.102^{**}$ |
| باکتری حل کننده فسفات<br>Phosphate solubilizing bacteria | 4 | $27.8^{**}$ | $75.83^{ns}$ | $135.94^{ns}$ | $494.93^{**}$ | $1.635^{**}$ | $0.087^{**}$ |
| کود فسفره× باکتری حل کننده فسفات<br>Phosphorus fertilizer ×Phosphate solubilizing bacteria | 8 | $27.3^{**}$ | $43.48^{n.s}$ | $135.74^{ns}$ | $231.56^{**}$ | $0.165^{**}$ | $0.015^{n.s}$ |
| خطای کل<br>Total error | 28 | 7.37 | 30.67 | 12.11 | 7.65 | 0.046 | 0.001 |
| CV(%) | - | 2.91 | 5.95 | 8.73 | 7.62 | 4.99 | 3.6 |

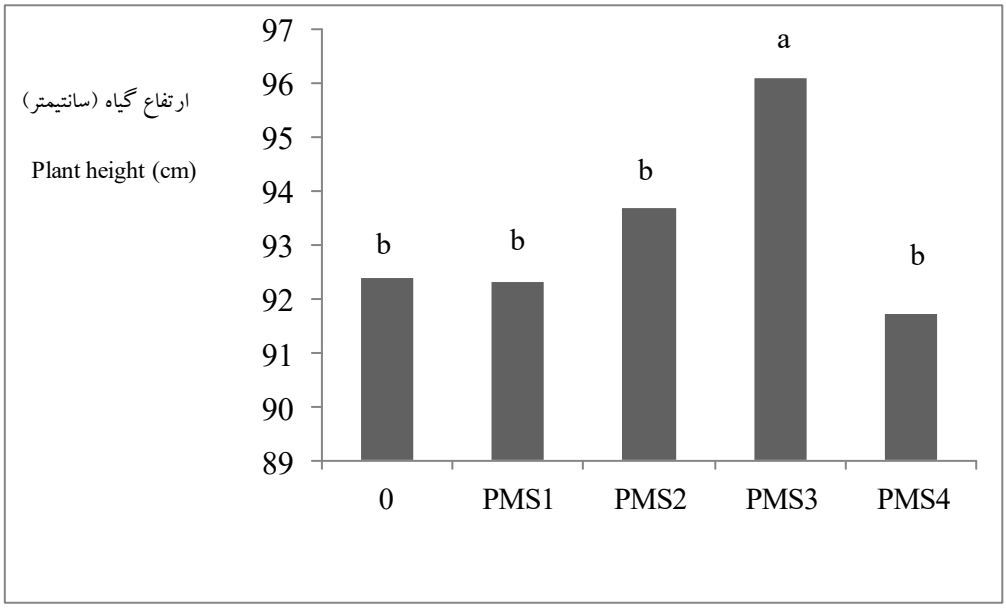
*، **، ns به ترتیب معنی دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی دار بودن است.

ns, * and ** represent non- significance, significances at 5 % and 1% probability levels, respectively.




شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کود فسفره بر ارتفاع بوته(سانتیمتر).

Figure 1. Effect of different phosphorus fertilizer treatments on plant height (cm).




شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف حل کننده فسفات بر ارتفاع بوته(سانتیمتر).

Figure 2. Effect of different phosphate solubilizing treatments on plant height (cm).

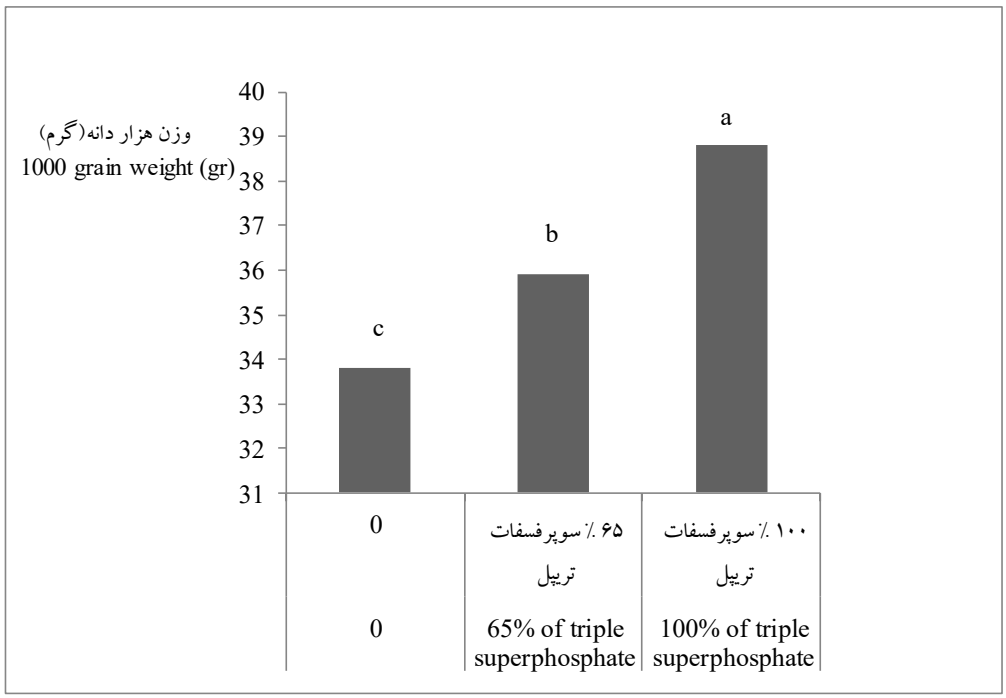
درصد کود فسفر همراه با کود زیستی ($PSM_3$) بدست آمد. در بررسی تأثیر میکروارگانیسمهای محرک رشد و حل کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، سه نوع کود زیستی بارور۲، نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس ارزیابی و نشان داده شد که کودهای زیستی بر صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تأثیر معنی دار داشته اند (Bahari Saruei *et al.,* 2011). در مطالعه ای بیشترین وزن هزار دانه در گندم به مقدار ۲۸ گرم با مصرف کود فسفات آمونیوم بدست آمد در حالی که مقدار آن در شاهد ۲۰ گرم بود. باکترهای حل کننده فسفات نیز وزن هزار دانه را نسبت به شاهد افزایش دادند (Babana *et al.,* 2016).

**عملکرد دانه**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف کاربرد کود فسفره، تیمارهای حل کننده های فسفات و نیز اثرات متقابل مصرف کود و تیمارهای حل کننده های فسفات بر عملکرد دانه ، در سطح یک درصد ($p<0.01$) معنی دار بود (جدول ۳).

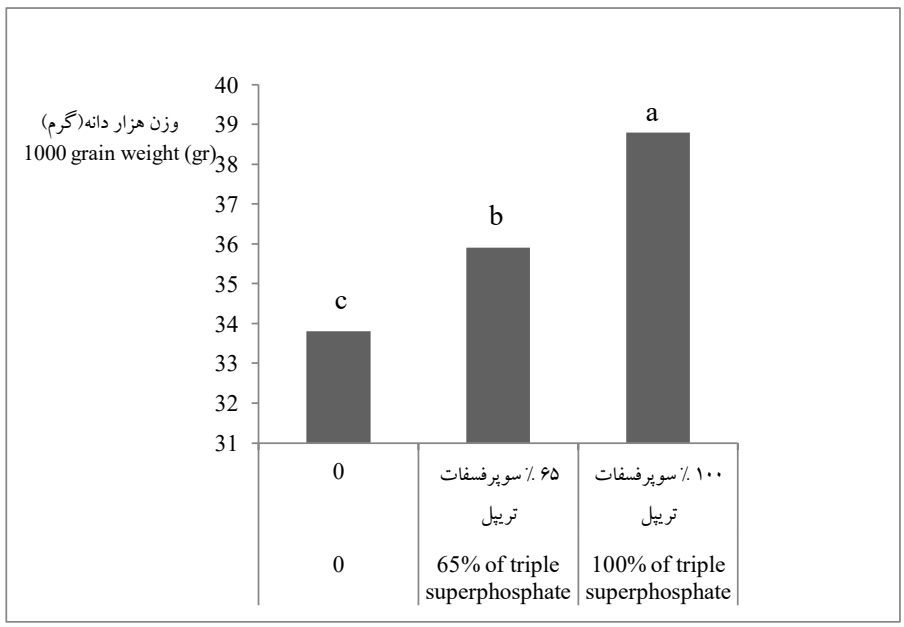
بیشترین عملکرد دانه با مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۶۵ درصد آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم در هکتار)، معادل ۴/۷۱ تن در هکتار بدست آمد که در آن عملکرد دانه نسبت به تیمار مصرف کود سوپر فسفات تریپل براساس آزمون خاک (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰/۳ درصد و نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود فسفره) ۱۷/۱ درصد بیشتر بود (شکل ۵). احتمالا کاهش عملکرد با افزایش مقدار کود فسفره به دلیل برهم خوردن تعادل عناصر غذایی به دلیل کم بودن عناصر کم مصرف روی و آهن در خاک باشد (جدول ۱). کاهش عملکرد لوبیا با افزایش کود فسفر از ۴۰ کیلوگرم به ۸۰ کیلوگرم در هکتار، گزارش شده است (Rezapour Kavishahi *et al.,* 2015).

عملکرد دانه گندم در همه تیمارهای حل کننده های فسفات بیشتر از شاهد بود (شکل۶). بیشترین مقدار عملکرد دانه با استفاده از مایه تلقیح $PSM_3$ به میزان ۴/۷۲ تن در هکتار بدست آمد که نسبت به شاهد، عملکرد را ۲۶/۶ درصد افزایش داده است. مایه تلقیح $PSM_3$بیشترین تاثیر را بر ارتفاع گیاه داشت و دومین تیمار اثرگذار بر وزن هزار دانه بود. نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. در پژوهشی مشاهده شد که تلقیح گندم و ذرت با باکتری های حل کننده فسفات، عملکرد دانه و جذب فسفر را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Kaur & Reddy, 2015). استفاده از باکتری باسیلوس، ۴۵ و ۷۴ درصد عملکرد دانه و کاه و کلش را نسبت به شاهد افزایش داد(Babana et al., 2016). در تناوب گندم- ذرت مشاهده شد که باکتری های حل کننده فسفات در ترکیب با کود سنگ فسفات، وزن خشک ساقه و ریشه، عملکرد دانه و جذب فسفر کل هر دو گیاه را افزایش داد (Kaur & Reddy 2015). در آزمایشی دیگر ریزجانداران حل کننده فسفات بخصوص سویه های *Pseudomonas* sp. EAV و Arthrobacter *nicotinovorans* EAPAA قابلیت دسترسی فسفر را افزایش و رشد ذرت را بهبود دادند (Pereira & Castro 2016).




شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کود فسفره بر وزن هزار دانه(گرم).

Figure 3. Effect of different phosphorus fertilizer treatments on 1000-grain weight (gr).




شکل۴- اثر تیمارهای مختلف حل کننده فسفات بر وزن هزار دانه(گرم).

Figure 4. Effect of different phosphate solubilizing treatments on 1000- grain weight (gr).

جدول ۴- اثرات متقابل کودهای فسفره و زیستی بر ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه.

Table 4. Effects of interaction of phosphorus fertilizer and phosphate solubilizing bacteria on plant height and 1000-grain weight.

| علامت Symbol | تیمارها Treatments | ارتفاع بوته(سانتیمتر) Plant height (cm) | وزن هزار دانه(گرم) 1000-grain weight (gr) |
|---|---|---|---|
| $T_1$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر × بدون حل کننده فسفات<br>100% phosphorus fertilizer×without phosphate solubilizing | 99.0 a | 22.7 h |
| $T_2$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_1$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_1$ | 95.7 bc | 51.6 a |
| $T_3$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_2$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_2$ | 98.7 a | 41.6 cd |
| $T_4$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_3$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_3$ | 96.3 bc | 47.4 ab |
| $T_5$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_4$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_4$ | 95.7 bc | 30.5 fg |
| $T_6$ | ۶۵ درصد کود فسفر × بدون حل کننده فسفات<br>65% phosphorus fertilizer ×without phosphate solubilizing | 91.7 ef | 42.1 cd |
| $T_7$ | ۶۵ درصد کود فسفر×$PSM_1$<br>$PSM_1$× 65% phosphorus fertilizer | 87.3 i | 44.2 bc |
| $T_8$ | ۶۵درصد کود فسفر ×$PSM_2$<br>$PSM_2$× 65% phosphorus fertilizer | 92.3 e | 27.1 gh |
| $T_9$ | ۶۵درصدکود فسفر ×$PSM_3$<br>$PSM_3$× 65% phosphorus fertilizer | 95.3 c | 39.4 cd |
| $T_{10}$ | ۶۵ درصدکود فسفر ×$PSM_4$<br>$PSM_4$× 65% phosphorus fertilizer | 88.7 h | 27.0 gh |
| $T_{11}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_1$<br>$PSM_1$× without phosphorus fertilizer | 86.7 i | 41.1 cd |
| $T_{12}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_2$<br>$PSM_2$× without phosphorus fertilizer | 94.0 d | 33.6 ef |
| $T_{13}$ | بدون کود فسفر مصرف ×$PSM_3$<br>$PSM_3$× without phosphorus fertilizer | 90.0 g | 39.7 cd |
| $T_{14}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_4$<br>$PSM_4$× without phosphorus fertilizer | 96.7 b | 37.1 de |
| $T_{15}$ | بدون کود فسفر × بدون حل کننده فسفات<br>without phosphate × without phosphorus fertilizer solubilizing | 90. 7 g | 17.3 i |

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

Values in each column followed by the same letter(s) are not significantly different (P< 0.05) based on Duncan test.

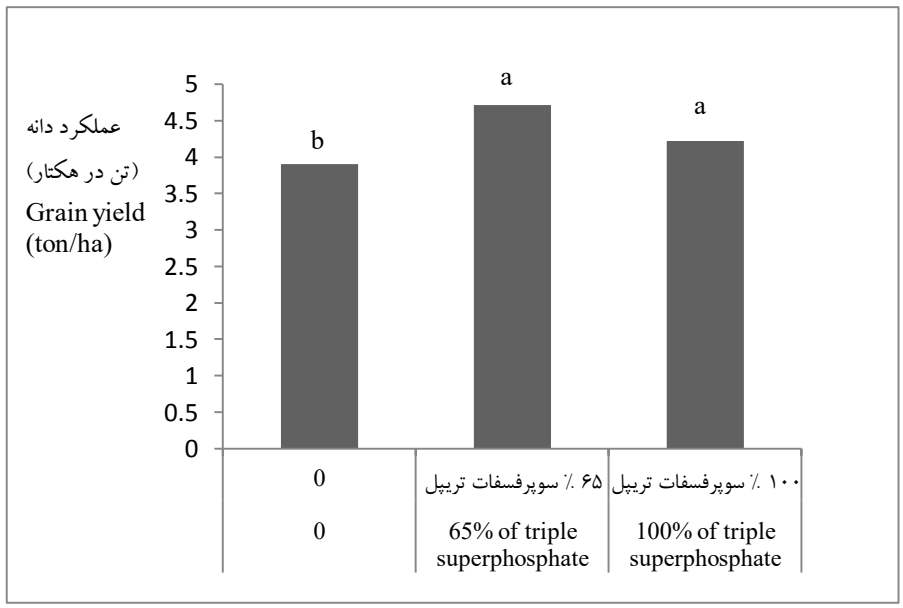
تلقیح بذر سورگوم با سویه های مختلف حل کننده های فسفات بر عملکرد علوفه و کیفیت گیاه کلزا از طریق افزایش جذب مواد غذایی اثر مثبتی داشت. به نظر می رسد این افزایش بیشتر به دلیل تولید تنظیم کننده های رشد گیاه توسط باکتری و اثر آنها بر رشد ریشه بود که جذب آب و مواد غذایی را از خاک بهبود بخشید(Ehteshami *et al*., 2014).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف کود فسفره و ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد به میزان ۵/۳۳ تن در هکتار مربوط به تیمار $T_9$ بود که با کاهش ۳۵ درصد مصرف کود سوپر فسفات تریپل (مصرف براساس ۶۵ درصد آزمون خاک ) و استفاده از مایه تلقیح حل کننده فسفات $PSM_3$ حاصل گردید و میزان عملکرد محصول را نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود NPK در گیاه فلفل با استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات ا در هند مشاهده گردید (Thilagar *et al*., 2016)).

**کارایی مصرف آب**

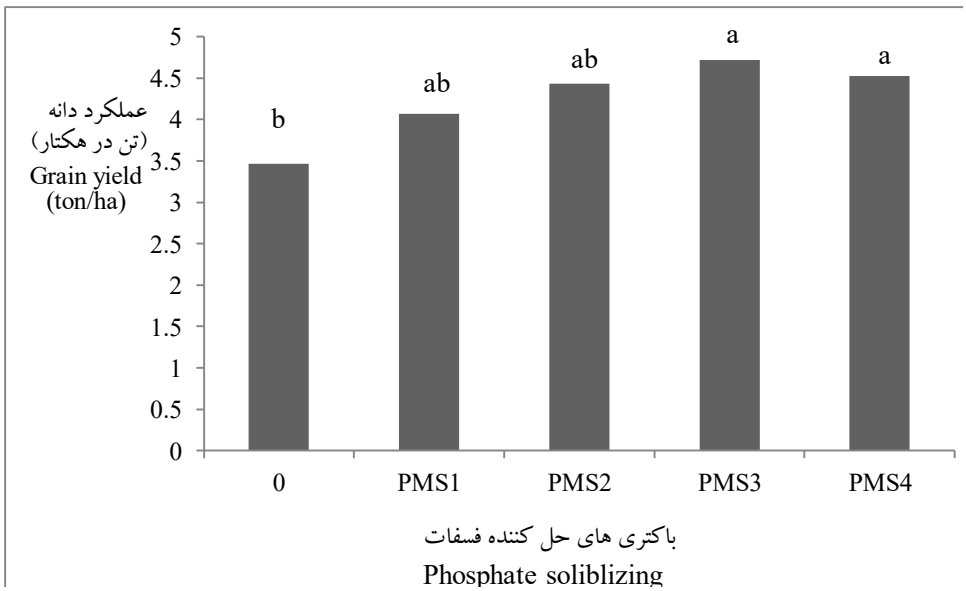
نتایج تجزیه واریانس جدول(۳) بیانگر این است که صفت کارایی مصرف آب تحت تاثیر سطوح مختلف مصرف کود فسفاته، استفاده از حل کننده فسفات و نیز اثرات متقابل مصرف کود فسفره و ریزجانداران حل کننده فسفات در سطح آماری یک درصد معنی دار گردیده است.

با مصرف کود سوپرفسفات تریپل معادل ۶۵ درصد آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم در هکتار) حداکثر مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۰۶ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی بدست آمد که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف سوپر فسفات تریپل) ۱۵/۴درصد و نیز تیمار استفاده از کود سوپرفسفات تریپل براساس آزمون خاک (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) ۸/۵ درصد افزایش را نشان می دهد (شکل ۵). با توجه به شکل (۶) حداکثر مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۰۸۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی با استفاده از سویه $PSM_3$بدست آمد. استفاده از سویه های مختلف به ترتیب ۲۳، ۱۶، ۱۱ و ۲۰ درصد کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد افزایش دادند. سودوموناس از مهمترین باکتری های افزایش دهنده رشد می باشد که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک، با تولید مواد و هورمون های محرک رشد، سبب افزایش رشد ریشه می شوند ((Zahir *et al*., 2004 در نتیجه مقدار جذب آب توسط گیاه افزایش یافته و کارایی مصرف آب بهبود می یابد. نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل تیمارها (جدول ۶) نشان داد که حداکثر کارایی مصرف آب در تیمار$T_9$، معادل ۱/۲۲ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در تیمار مصرف توام کود سوپرفسفات تریپل معادل ۶۵ درصد آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از مایه تلقیح حل کننده فسفات سویه $PSM_3$ بدست آمد و کمترین مقدار آن نیز در تیمار $T_{11}$ معادل ۰/۷۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در تیمار شاهد (عدم مصرف سوپرفسفات تریپل توام با عدم استفاده




شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف کود فسفره بر عملکرد دانه(تن در هکتار).

Figure 5. Effect of different phosphorus fertilizer treatments on grain yield (ton/ha).




شکل ۶- اثر تیمارهای مختلف حل کننده فسفات بر عملکرد محصول(تن در هکتار).

Figure 6. Effect of different phosphate solubilizing treatments on grain yield (ton/ha).

جدول ۵- اثرات متقابل کودهای فسفره و زیستی بر عملکرد دانه.

Table 5. Effects of interaction of phosphorus fertilizer and phosphate solubilizing bacteria on grain yield.

| علامت Symbol | تیمارها Treatments | عملکرد(تن در هکتار) Yield (ton/ha) |
|---|---|---|
| $T_1$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>100% phosphorus fertilizer×without phosphate solubilizing | 3.845 ef |
| $T_2$ | $PSM_1$× ۱۰۰ درصد کود فسفر<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_1$ | 3.712 ef |
| $T_3$ | $PSM_2$× ۱۰۰ درصد کود فسفر<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_2$ | 4.598 bcd |
| $T_4$ | $PSM_3$× ۱۰۰ درصد کود فسفر<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_3$ | 4.573 bcd |
| $T_5$ | $PSM_4$× ۱۰۰ درصد کود فسفر<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_4$ | 4.391 bcde |
| $T_6$ | ۶۵ درصد کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>65% phosphorus fertilizer×without phosphate solubilizing | 3.932 de |
| $T_7$ | $PSM_1$× ۶۵ درصد کود فسفر<br>$PSM_1$× 65% phosphorus fertilizer | 4.658 abc |
| $T_8$ | $PSM_2$× ۶۵درصد کود فسفر<br>$PSM_2$× 65% phosphorus fertilizer | 4.569 bcd |
| $T_9$ | $PSM_3$× ۶۵درصدکود فسفر<br>$PSM_3$× 65% phosphorus fertilizer | 5.328 a |
| $T_{10}$ | $PSM_4$× ۶۵ درصدکود فسفر<br>$PSM_4$× 65% phosphorus fertilizer | 5.061 ab |
| $T_{11}$ | $PSM_1$× بدون کود فسفر<br>$PSM_1$× without phosphorus fertilizer | 3.157 f |
| $T_{12}$ | $PSM_2$× بدون کود فسفر<br>$PSM_2$× without phosphorus fertilizer | 3.838 ef |
| $T_{13}$ | $PSM_3$× بدون کود فسفر مصرف<br>$PSM_3$× without phosphorus fertilizer | 4.135 cde |
| $T_{14}$ | $PSM_4$× بدون کود فسفر<br>$PSM_4$× without phosphorus fertilizer | 4.260 cde |
| $T_{15}$ | بدون کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>without phosphate solubilizing× without phosphorus fertilizer | 4.127 cde |

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

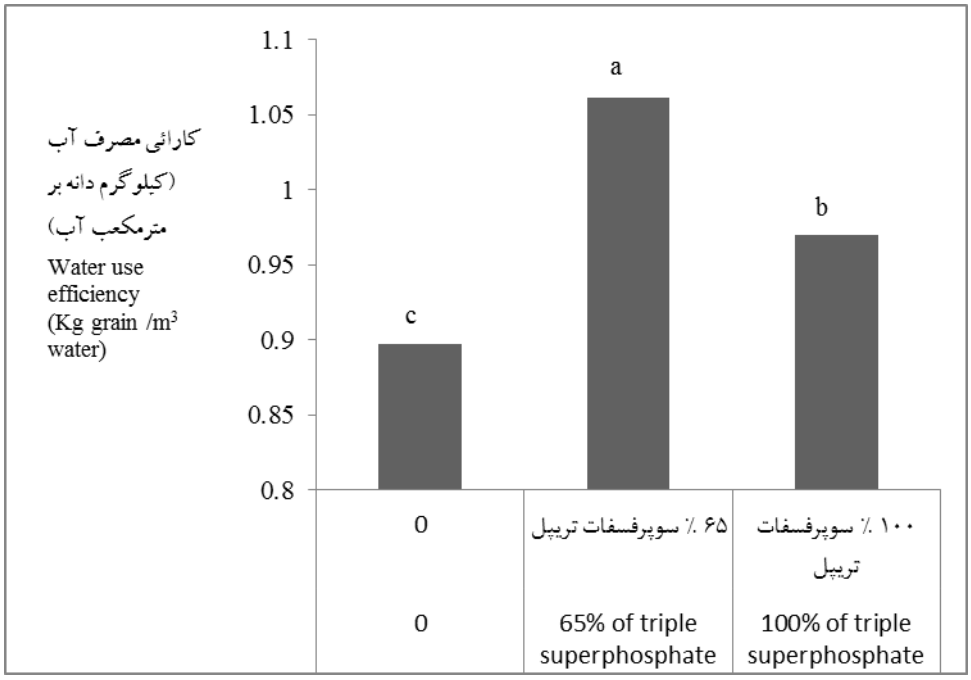
Values in each column followed by the same letter(s) are not significantly different (P< 0.05) based on Duncan test.

از مایه تلقیح حل کننده فسفات) بود (جدول ۶). به جز تیمار $T_{11}$، استفاده از تمامی سویه های مایه تلقیح حل کننده فسفات توام با تیمارهای با کاهش مصرف کود فسفره باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب گردیده است. نتایج بدست آمده با پژوهش های سایر محققان مطابقت دارد. در آزمایشی استفاده از باکتری های حل کننده فسفات سبب افزایش بهره وری آب در گیاه نخود گردید (Pezeshkpour *et al*., 2014). نتایج یک پژوهش نشان داد که تلقیح باکتری های ریزوسفری به عنوان کود زیستی در لوبیای رونده منجر به افزایش فعالیت های فتوسنتزی، بهبود راندمان مصرف آب، افزایش محتوای پروتئین و افزایش عملکرد دانه در گیاه گردید (Stefan *et al*., 2013).

کارایی مصرف آب

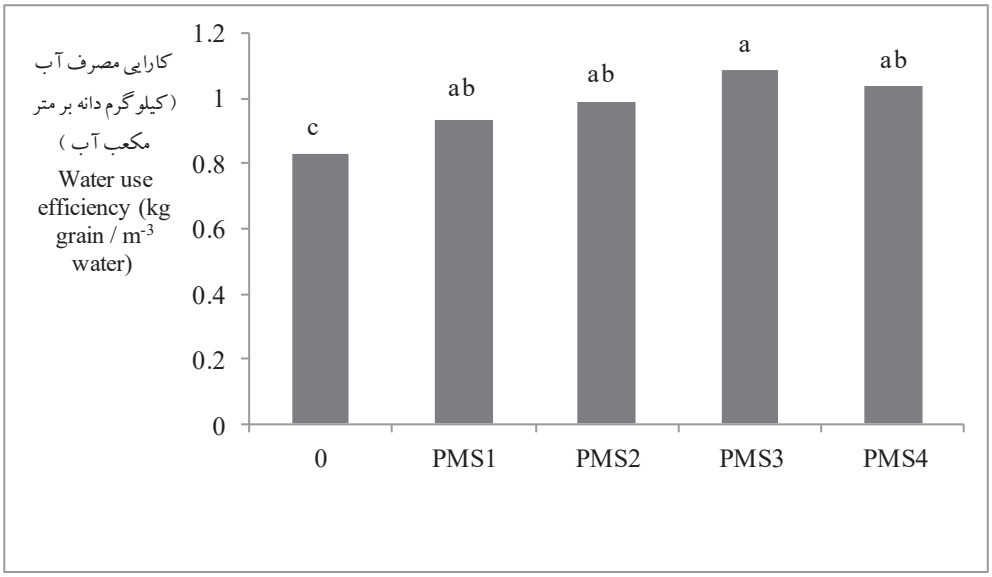
نتایج تجزیه واریانس جدول(۳) بیانگر این است که صفت کارایی مصرف آب تحت تاثیر سطوح مختلف مصرف کود فسفاته، استفاده از حل کننده¬ فسفات و نیز اثرات متقابل مصرف کود فسفره و ریزجانداران حل کننده فسفات در سطح آماری یک درصد معنی¬دار گردیده است.

با مصرف کود سوپرفسفات تریپل معادل ۶۵ درصد آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم در هکتار) حداکثر مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۰۶ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی بدست آمد که به ترتیب نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف سوپر فسفات تریپل) ۱۵/۴درصد و نیز تیمار استفاده از کود سوپرفسفات تریپل براساس آزمون خاک (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) ۸/۵ درصد افزایش را نشان می دهد (شکل ۵). با توجه به شکل (۶) حداکثر مقدار کارایی مصرف آب به میزان ۱/۰۸۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی با استفاده از سویه PSM3بدست آمد. استفاده از سویه های مختلف به ترتیب ۲۳، ۱۶، ۱۱ و ۲۰ درصد کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد افزایش دادند. سودوموناس از مهمترین باکتری های افزایش دهنده رشد می¬باشد که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک، با تولید مواد و هورمون های محرک رشد، سبب افزایش رشد ریشه می شوند (Zahir *et al*., 2004 ) در نتیجه مقدار جذب آب توسط گیاه افزایش یافته و کارایی مصرف آب بهبود می یابد. نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل تیمارها (جدول ۶) نشان داد که حداکثر کارایی مصرف آب در تیمارT9 ، معادل ۱/۲۲ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در تیمار مصرف توام کود سوپرفسفات تریپل معادل ۶۵ درصد آزمون خاک (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از مایه تلقیح حل کننده فسفات سویه PSM3 بدست آمد و کمترین مقدار آن نیز در تیمار T11 معادل ۰/۷۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در تیمار شاهد (عدم مصرف سوپرفسفات تریپل توام با عدم استفاده از مایه تلقیح حل کننده فسفات) بود (جدول ۶). به جز تیمار T11، استفاده از تمامی سویه های مایه تلقیح حل کننده فسفات توام با تیمارهای با کاهش مصرف کود فسفره باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب گردیده است. نتایج بدست آمده با پژوهش های سایر محققان مطابقت




شکل ۵-اثر تیمارهای مختلف کود فسفره بر کارایی مصرف آب (کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب).

Figure 5. Effect of different phosphorus fertilizer treatments on water use efficiency (kg grain / $m^{-3}$ water).




شکل ۶-اثر تیمارهای حل کننده فسفات بر کارایی مصرف آب (کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب ).

Figure 6. Effect of different phosphate solubilizing treatments on water use efficiency (kg grain / $m^{-3}$ water).

جدول۶ - اثرات متقابل کودهای فسفره و حل کننده فسفات بر کارایی مصرف آب ( کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب).

Table 6. Effects of interaction of phosphorus fertilizer and phosphate solubilizing bacteria on water use efficiency (kg grain / $m^{-3}$ water)

| علامت Symbol | تیمارها Treatments | کارایی مصرف آب Water use efficiency |
|---|---|---|
| $T_1$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>100% phosphorus fertilizer×without phosphate solubilizing | 0.648 h |
| $T_2$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_1$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_1$ | 0.833 defg |
| $T_3$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_2$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_2$ | 0.950 bcd |
| $T_4$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_3$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_3$ | 1.028 ab |
| $T_5$ | ۱۰۰ درصد کود فسفر ×$PSM_4$<br>100% phosphorus fertilizer× $PSM_4$ | 0.927 bcde |
| $T_6$ | ۶۵ درصد کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>65% phosphorus fertilizer ×without phosphate solubilizing | 0.783 fg |
| $T_7$ | ۶۵ درصد کود فسفر×$PSM_1$<br>$PSM_1$× 65% phosphorus fertilizer | 0.834 defg |
| $T_8$ | ۶۵درصد کود فسفر ×$PSM_2$<br>$PSM_2$× 65% phosphorus fertilizer | 0.745 gh |
| $T_9$ | ۶۵درصدکود فسفر ×$PSM_3$<br>$PSM_3$× 65% phosphorus fertilizer | 0.978 abc |
| $T_{10}$ | ۶۵ درصدکود فسفر ×$PSM_4$<br>$PSM_4$× 65% phosphorus fertilizer | 1.022 ab |
| $T_{11}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_1$<br>$PSM_1$× without phosphorus fertilizer | 0.809 efg |
| $T_{12}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_2$<br>$PSM_2$× without phosphorus fertilizer | 1.080 a |
| $T_{13}$ | بدون کود فسفر مصرف ×$PSM_3$<br>$PSM_3$× without phosphorus fertilizer | 1.033 ab |
| $T_{14}$ | بدون کود فسفر ×$PSM_4$<br>$PSM_4$× without phosphorus fertilizer | 0.891 cdef |
| $T_{15}$ | بدون کود فسفر × بدون حل‌کننده فسفات<br>without phosphate × without phosphorus fertilizer solubilizing | 0.852 defg |

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد.

Values in each column followed by the same letter(s) are not significantly different (P< 0.05) based on Duncan test.

دارد. در آزمایشی استفاده از باکتری¬های حل کننده فسفات سبب افزایش بهره¬وری آب در گیاه نخود گردید (Pezeshkpour *et al*., 2014). نتایج یک پژوهش نشان داد که تلقیح باکتری های ریزوسفری به عنوان کود زیستی در لوبیای رونده منجر به افزایش فعالیت های فتوسنتزی، بهبود راندمان مصرف آب، افزایش محتوای پروتئین و افزایش عملکرد دانه در گیاه گردید (Stefan *et al*., 2013).

## نتیجه گیری

مدیریت بهینه فسفر خاک در منطقه سیستان می تواند سبب بهبود عملکرد گندم گردد. با توجه به کم بودن فسفر و بالابودن pH خاک در اراضی منطقه سیستان، استفاده از باکتری های حل کننده فسفات می تواند سبب بهبود جذب فسفر و افزایش عملکرد محصولات مختلف گردد. همچنین با کاهش مقدار کود مصرفی علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست و جلوگیری از بهم خوردن تعادل عناصر غذایی سبب کاهش هزینه تولید نیز گردد. کمبود آب قابل دسترس مهمترین چالش منطقه می باشد که با استفاده از باکتری های ریزوسفری می توان کارایی مصرف آن را افزایش داد. استفاده از باکتری سودوموناس فلوروسنس با کد PSM3 inoculant و مصرف ۶۵ درصد کود فسفر قابل توصیه براساس آزمون خاک جهت بدست آوردن عملکرد دانه و کارایی مصرف آب مطلوب برای گندم در منطقه سیستان پیشنهاد می گردد.

**References**

Babana, A.H., Kassogué, A., Dicko, A.H. Kadia Maîga, K., Fassé Samaké, F., Diakaridia Traoréa, D., Rokiatou Fanéa, R., and Faradji, F.A. 2016. Development of a biological phosphate fertilizer to improve wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Mali. *Procedia Engineering*, 138:319 – 324.

Bahari Saruei, S.H., Pirdashti, H., Esmaeili, M.A., and Mansuri, A. 2011. Study the effect of plant growth promoting and phosphate solubilizing microorganisms on the yield of wheat (line N80). 12th Iranian Soil Science Congress. University of Tabriz, Tabriz, Iran (In Persian).

Istina, I.N., Happy Widiastuti, H., Joy, B., and Antralina, M. 2015. Phosphate-solubilizing microbe from saprists peat soil and their potency to Enhance oil palm growth and P uptake. *Procedia Food Science*, 3: 426-435.

Joe, M.M., Devaraj, S., Benson, A., and Tongmin S. 2016. Isolation of phosphate solubilizing endophytic bacteria from Phyllanthus amarus Schum & Thonn: Evaluation of plant growth promotion and antioxidant activity under salt stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3: 71-77.

Kaur, G., and Reddy, M.S. 2015. Effects of phosphate-solubilizing bacteria, rock phosphate and chemical fertilizers on maize-wheat cropping cycle and economics. *Pedosphere*, 25(3): 428–437.

Kaur, G., and Reddy, M.S. 2014. Role of phosphate-solubilizing bacteria in improving the soil fertility and crop productivity in organic farming. *Archive Agronomy and Soil Science*, 60: 549–564.

Mustafa, Y., and Canbolat S.B. 2006. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 350-357.

Pereira, S.I.A., and Castro, P.M.L. 2014. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance Zea mays growth in agricultural P-deficient soils. *Ecological Engineering Journal*, 73: 526–535.

Pezeshkpour, P., Ardakani, M., Paknejad, F., and Vazaan, S. 2014. Application effect of vermicompost, mycorrhizal symbiosis and biophosphate solubilizing on physiological traits and yield of chickpea. *Crop Physiology Journal*, 23:53-65 (In Persian with English Summary).

Poonguzhali, S., Munusamy, M., and Tongmin, S,A. 2008. Isolation and identification of Phosphate solubilizing bacteria from Chinese cabbage and their effect on growth and phosphorus utilization of plants. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(4): 773-777.

Rezapour Kavishahi, T., Ansari, M.H., and Mostafavi Rad, M. 2015. Effects of

some phosphorus solubilizing bacteria strains on yield and agronomic traits in local bean of Guilan under different phosphate fertilizer rates. *Journal of Crops Improvement*, 17(3): 801-814 (In Persian with English Summary).

Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., and Hritcu, L. 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Scientia Horticulturae*, 151: 22-29.

Sugeng, W., Sulistyanto, K., and Handayanto, E. 2011. Effects of humic compounds and phosphate solubilizing bacteria on phosphorus availability in an acid soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3(7): 232-240.

Susilowati, L.E., and Syekhfani, M. 2014. Characterization of phosphate solubilizing bacteria isolated from Pb contaminated soils and their potential for dissolving tricalcium phosphate. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(2): 57-62.

Tehrani, M.M., Moshiri, F., Gheibi, M.N., Rezaei, H., Keshavarz, P., Davoodi, M.H., Ziaeian, A.A., Norgholipour, F., Majidi, A., Hosseini, S.M., Saadat, S., Asadi Rahmani, H., Khademi, Z., Balali, M.R., Mostashari, M., 2014. *Comperhensive soil fertility and plant nutrition program 2014-2025.* Towards increasing self reliance in production of strategic crops including: Wheat, barley, rice, maize, cotton, sugar beet, oil seeds and pulses. Volume II. Guidelines for integrated soil fertility and plant nutrition management in strategic crops production. Soil and Water research institute, Karaj, Iran. 418 pages (In Persian).

Thilagar, G., Bagyaraj, D.J., and Rao, M.S. 2016. Selected microbial consortia developed for chilly reduces application of chemical fertilizers by 50% under field conditions. *Scientia Horticulturae* 198:27-35 .

Vance, C., Uhde-Stone, C., and Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.

Zahir, A.Z., Arshad, M., and Frankenberger, W.F., 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: application and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81:.97-168

# The Effect of Phosphate-Solubilizing Microorganisms on Wheat Yield, Reduction of Phosphate Fertilizer Consumption and Water Use Efficiency in Dry Region

Gh. Keykha[1], M.R. Pahlavan Rad[2], A. Sarhadi[3]

1. , Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran.
2. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran. (Corresponding author)
3. Msc., Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran.

Received: October 2016 Accepted: July 2018

## Extended Abstract

**Keykha, Gh., Pahlavan Rad, M.R., Sarhadi, A.,** The Effect of Phosphate-Solubilizing Microorganisms on Wheat Yield, Reduction of Phosphate Fertilizer Consumption and Water Use Efficiency in Dry Region **Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 4, 2017 4-6:** 13-31(in Persian)

**Introduction:** Phosphorus (P) is the second key nutrient for plants after nitrogen and affects plant growth. Due to the complex behavior of P in acidic and alkaline soils, less than 20 % of the applied phosphorus fertilize can be utilized by plants and the remainder is fixed in the soil or changes to the forms that are not available for plant absorption (Vance *et al.,* 2003). Phosphate-solubilizing bacteria (PSB) can convert insoluble phosphate into available forms for plants through the processes of acidification, exchange reactions and production of organic acids (Pereira & Castro, 2014). Many lands in Iran's Sistan Plain contain limited available phosphorous (an average of 6.7 mg/kg), leading to reduced crop growth and yield. On the other hand, pH levels are high in the region (an average of 8.2), which has a significant impact on the reduced solubility and availability of P in the soil. Also, the region is facing an acute drought and water shortage. Hence, the research was conducted to investigate the effects of different phosphate-solubilizing microorganisms and various phosphorus fertilizer levels on wheat (*Triticum aestivum*) yield and water use efficiency in the Sistan region.

**Materials and Methods**: A factorial experiment based on completely randomized block design was conducted with three replications at Agricultural Research Station of Zahak located in Zahak county in the Sistan region during the

**Email address of the corresponding author:** pahlavanrad@gmail.com

growing season of 2012- 2013. The experimental site lies at latitude 30º 54′ and longitude 61º 41′ and at 483 m above sea level and has a mean annual rainfall of 55 mm. Treatments consisted of three levels of phosphate fertilizer in the form of triple superphosphate (application at rate of 125 kg/ha based on the soil test result, application at 65% of the soil test recommendation (81 kg/ha) and control without fertilizer use) and four *Pseudomonas fluorescens* strains (PSM1, PSM2, PSM3 and PSM4 inoculants) along with control where no inoculation was done. The wheat cultivar used in the study was Hamoon. P fertilizer was applied at sowing time. For each treatment, 12 plant lines were established, measuring 4 m in length and a spacing of 20 cm. The distance between the treatments was 1.5 m and the replications were spaced 3.5 m apart. The effects of treatments were evaluated on wheat yield and yield components as well as water use efficiency.

**Results and Discussion:** The results showed that the effect of application of different phosphorus fertilizer rates and phosphate solubilizing microorganisms as well as their interactions on plant height, 1000-grain weight, yield and water use efficiency was significant ($p< 0.01$).The greatest wheat yield (4.71 ton/ha) was obtained by the application of 65% of phosphate fertilizer based on the soil test, which was, respectively, 10 and 17% higher than the yield produced under 100% phosphate fertilizer and control treatment. PSM3 inoculant exhibited the greatest impact on plant height and was the second most effective treatment in increasing 1000-grain weight of wheat after PSM1. All phosphate-solubilizing bacteria treatments increased the wheat grain yield. PSM3 inoculant gave the highest grain yield (4.72 ton/ha), which was 26.6% more than the control. This is in agreement with the results of Babana *et al*., 2016 who found that PSM increased grain yield in wheat. Phosphate-solubilizing microorganisms improved water use efficiency and the highest water use efficiency was associated with PSM3 inoculant that exceeded the control by 23%. An analysis of the interactive effects between phosphorus fertilization and phosphate-solubilizing bacteria application indicated that the highest grain yield of wheat (5.33 ton/ha) was related to the treatment T9 (65% phosphorus fertilizer × PSM3), which led to a 35% decrease in the use of triple superphosphate fertilizer and an increase of 28 % in the wheat grain yield as compared to the control.

**Conclusion:** The application of *Pseudomonas fluorescens* strain (PSM3 inoculant) together with 65% of phosphate fertilizer based on the soil test was considered to be the best treatment to obtain optimum wheat grain yield, and water use efficiency, which would result in a decrease of phosphorus fertilizer use and consequently the reduced environmental costs for wheat production in the Sistan region.

**Keywords:** Phosphorus limitation, Sistan, Soil, *Pseudomonas fluorescences,* Water deficiency.

**References:**

Babana, A.H., Kassogué, A., Dicko, A.H. Kadia Maîga, K., Fassé Samaké, F., Diakaridia Traoréa, D., Rokiatou Fanéa, R., and Faradji, F.A. 2016. Development of a biological phosphate fertilizer to improve wheat (*Triticum aestiv*um L.) production in Mali. *Procedia Engineering*, 138:319 – 324.

Pereira, S.I.A., and Castro, P.M.L. 2014. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance Zea mays growth in agricultural P-deficient soils. *Ecological Engineering Journal*, 73: 526–535.

Vance, C., Uhde-Stone, C., and Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.