

غلظت و تخصیص پتاسیم در مراحل مهم نمو گندم و جو تحت تأثیر فسفر کودی و استرپتومایسیس

تکتم خسرویان^۱، ابراهیم زینلی^{۲*}، آسیه سیاهمرگویی^۳، رضا قربانی نصرآبادی^۳، سید مجید عالمیقام^۱

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۱

۱-دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲-دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳-استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*مسئول مکاتبه: Email: zeinalistudents@gmail.com

چکیده

یافته‌های مربوط به غلظت، تجمع و تخصیص عناصر غذایی در بخش‌های مختلف بوته می‌تواند به برنامه‌ریزی دقیق‌تر در راستای بهینه‌سازی تغذیه معدنی گیاهان زراعی کمک کند. از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر مقدار فسفر کودی (P_{rate}) شامل صفر، ۸/۴، ۱۶/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک معادل صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات استرپتومایسیس (*Streptomyces sp.*) بر غلظت، تجمع و تخصیص پتاسیم به اندام‌های مختلف گندم و جو در سه مرحله کلیدی طویل شدن ساقه (SE)، گرده‌افشانی (Anth) و رسیدگی برداشت (HM) انجام شد. این آزمایش‌گلدانی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در محوطه پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی گرگان اجرا گردید. نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم در هر سه مرحله نمو و در تمام بخش‌های گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر P_{rate} قرار گرفته و با افزایش P_{rate} به صورت خطی افزایش یافته است. همچنین، مایه‌زنی با باکتری موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم در بخش هوایی و کل بوته در مراحل SE و Anth شد. بین دو گیاه نیز از نظر این صفات در مراحل فوق اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج حاکی از آن بود که افزایش P_{rate} و مایه‌زنی، افزایش معنی‌دار تجمع پتاسیم (KCont) در تمام بخش‌های گیاه را در پی داشت و دو گیاه مورد مطالعه از نظر مقدار پتاسیم برگ و دانه به لحاظ آماری با یکدیگر متفاوت بودند. همچنین، نتایج نشان داد که مایه‌زنی با باکتری اثر معنی‌داری بر KCont در بخش هوایی و کل بوته در SE، در تمام بخش‌های گیاه در Anth، و در ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در HM داشت. مقدار KCont گیاه گندم، در بخش هوایی و کل بوته در SE، تمام بخش‌ها به جز ساقه در Anth، و در تمام اندام‌های هوایی در HM با گیاه جو متفاوت بود. همچنین، بر اساس نتایج مطالعه حاضر ضریب تخصیص پتاسیم (KPC) به اندام‌های گیاه در هر سه مرحله در مقایسه با غلظت پتاسیم و KCont از ثبات بسیار بیشتری برخوردار بود و بسیار کمتر تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش قرار گرفت و بالاخره، بین فاکتورهای آزمایش از نظر تقریباً تمام صفات مورد بررسی اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: اندام گیاهی، باکتری حل‌کننده فسفات، جذب پتاسیم، سطوح فسفر کودی، مراحل مختلف

Potassium Concentration and Partitioning in Important Growth Stages of Wheat and Barley Influenced by Phosphorus Fertilizer and *Streptomyces*

Toktam Khosravian¹, Ebrahim Zeinali^{2*}, Asieh Siahmarguee³, Reza Ghorbani NasrAbadi³, Seyed Majid Aalimaghani¹

Received: September 16, 2017 Accepted: October 13, 2018

1-PhD Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2-Assoc. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3-Assist. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

*Corresponding Author Email: zeinalistudents@gmail.com

Abstract

Findings on mineral nutrient concentration, accumulation and allocation in different parts of crop can help to more accurate planning in order to optimize the mineral nutrition of Plant. Therefore, the present study aims to investigate the effect of phosphorus fertilizer rates (P_{rate}) as 0, 8.4, 16.8, 25.2 and 33.6 mg phosphorous (P) per Kg of dry soil equal to 0, 20, 40, 60 and 80 Kg P.ha⁻¹ and inoculation with P solubilizing bacteria *Streptomyces* sp. on concentration, accumulation and partitioning of potassium (K) in different parts of wheat and barley in stem elongation (SE), anthesis (Ant) and harvest maturity (HM). This pot experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with four replications in the new campus of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources during 2014-2015 growing season. Results showed that K concentration ([K]) were significantly influenced by P_{rate} in all plant parts and was increased linearly by increasing the P_{rate} in all three above mentioned growth stages. Also, Inoculation with bacteria increased shoot and total plant [K] in SE and Anth Stage, significantly. There was a significant difference between the two crops for the above traits. The results indicate that increase in P_{rate} and inoculation with bacteria resulted in a significant increase in K accumulation (KCont) in all plant parts, and that two studied crops were statistically different in terms of the leaf and grain Kcont. Also, results showed a significant effect of inoculation with bacteria on Kcont of shoot and total plant in SE, all plant parts in Anth, and all shoot organs in HM. The Kcont in shoot and total plant in SE, all plant parts except stem in Anth, and all shoot organs in HM of wheat was different with barley, statistically. Also, based on the results of this study, the potassium partitioning coefficient to different plant parts in all three stages was more stable compared to [K] and Kcont, and it was much less affected by experimental factors. Finally, there was not significant interaction between the experimental factors almost for all above mentioned traits.

Keywords: Growth Stages, Phosphate Solubilizing Bacteria, Phosphorus Fertilizer Rates, Plant Organ, Potassium

مقدمه

پتاسیم یک عنصر ضروری پرمصرف و فراوانترین کاتیونی است که توسط بیشتر گیاهان جذب می‌شود که نقش‌های بسیار مهمی در فرآیندهای رشد و نمو گیاهان، از جمله فعالیت آنزیم‌ها، جذب آب و حفظ پتانسیل اسمزی، افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس، و انتقال قند و نشاسته ایفا می‌کند. علاوه بر متابولیسم گیاه، پتاسیم از طریق ایفای نقش در پرشدن دانه، افزایش وزن دانه و افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌ها و تنش‌ها باعث بهبود کیفیت محصول می‌شود (سرمدنیا و کوچکی ۲۰۰۲، طباطبائی ۲۰۱۴). همچنین، پتاسیم به وسیله کارکردهایی از جمله افزایش رشد ریشه و جذب آب و مواد غذایی، ساخت سلولز و کاهش ورس، کمک به جذب نیتروژن و افزایش میزان پروتئین گیاه، حفظ آماس سلول و کاهش تلفات و پژمردگی گیاه و کمک به باز و بسته شدن روزنه‌ها موجب افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (فاجریا ۲۰۰۹).

فسفر یکی از اجزای ضروری ترکیبات انتقال‌دهنده انرژی (ATP) و دیگر نوکلئوپروتئین‌ها، سیستم‌های انتقال اطلاعات ژنتیکی (DNA و RNA)، غشاهای سلولی (فسفولیپیدها) و فسفوپروتئین‌ها محسوب می‌شود (کوچکی و سرمدنیا ۲۰۰۲، علیخانی و همکاران ۲۰۰۳، واگر و همکاران ۲۰۰۴، سیمز و شارپلی ۲۰۰۵) و نقش مهمی در فتوسنتز، ذخیره و انتقال انرژی، تقسیم سلولی، توسعه سیستم ریشه‌ای، رشد و نمو گیاه، و تحریک فاز زایشی و بلوغ زودرس گیاه دارد (شارما و همکاران ۲۰۱۲، سینگ و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات متعدد نشان داده است که فسفر علاوه بر ایفای نقش‌های مستقیم ذکر شده، بر جذب و کارایی سایر عناصر غذایی از جمله پتاسیم نیز تأثیر می‌گذارد. نتایج فیضی‌اصل و ولی‌زاده (۲۰۰۵) نشان داد که کاربرد کود فسفر به‌تنهایی باعث افزایش میزان تجمع نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گندم می‌شود. همچنین، پژوهش‌های دیگری بیانگر افزایش معنی‌دار مقدار

پتاسیم گیاه در اثر کاربرد کود فسفر می‌باشند (دنگال و کادرکار ۱۹۹۳، درزی و همکاران ۲۰۰۹، سینگ و همکاران ۲۰۱۵). سهم زیادی از کودهای شیمیایی بعد از افزوده شدن به خاک تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (مدایش و همکاران ۱۹۸۹، واگر و همکاران ۲۰۰۴). همچنین، با در نظر داشتن ملاحظات محیط زیستی و ملاحظات اقتصادی، برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی، کودهای زیستی به‌کار برده می‌شوند.

از مهم‌ترین مزایای کودهای زیستی می‌توان به تأمین عناصر غذایی متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست اشاره کرد (صالح راستین ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی مطرح شده‌اند (وو و همکاران ۲۰۰۵). باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) طیف گسترده‌ای از باکتری‌های خاکی هستند که با برقراری ارتباط با گیاه میزبان موجب تحریک رشد آن می‌شوند (وسی ۲۰۰۳). مکانیسم عمل مستقیم آن‌ها ممکن است از طریق سنتز ترکیبات خاص و مؤثر همچون هورمون‌های محرک رشد، تسریع در معدنی شدن و یا تسهیل در جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاه از محیط باشد (خاوازی و ملکوتی ۲۰۰۱، ورما و همکاران ۲۰۱۳، بانیاچی و همکاران ۲۰۱۳، کناهی و کوسالیا ۲۰۱۳). اثر غیرمستقیم آن‌ها نیز، زمانی رخ می‌دهد که این باکتری‌ها از طریق تولید مواد مهارکننده یا افزایش مقاومت طبیعی گیاه، موجب کاهش و یا جلوگیری از زیان پاتوژن‌ها بر گیاه میزبان شوند و در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه شوند (خاوازی و ملکوتی ۲۰۰۵، عباسی و همکاران ۲۰۱۱، بهاتاچاریا و جی‌ها ۲۰۱۱). ساندرا و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های حل‌کننده فسفات، با تولید انواع اسیدهای آلی از قبیل اسیدهای سیتریک،

مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری در [K] نسبت به ۴۰ کیلوگرم ایجاد نکرد. همچنین، کاربرد ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مقدار KCont دانه را به ترتیب به مقدار ۳۲/۰۱ و ۴۵/۶۱ درصد و در کاه به ترتیب به مقدار ۳۱/۸۹ و ۴۴/۶۲ درصد نسبت به تیمار ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار افزایش داد (سینگ و همکاران ۲۰۱۵).

اطلاعات مربوط به غلظت، تجمع و تخصیص پتاسیم به اندام‌ها و بخش‌های گیاه می‌تواند به برنامه‌ریزی در راستای بهبود تغذیه گیاهان زراعی و کارآیی استفاده از کودهای شیمیایی کمک کند. مطالعه حاضر با هدف تهیه اطلاعات مورد نیاز در زمینه غلظت، تجمع و تسهیم پتاسیم در اندام‌های مختلف دو گیاه راهبردی گندم و جو در سه مرحله SE، Anth و HM تحت تأثیر P rate و مایه‌زنی با باکتری *استریپتومایسس* در استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به صورت گلدانی در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل مقدار مصرف کود فسفره شامل صفر، ۸/۴، ۱۶/۸، ۲۵/۲ و ۳۲/۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک به ترتیب معادل صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، نوع گیاه زراعی شامل گندم (رقم مروارید) و جو (رقم صحرا) و مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات *استریپتومایسس* شامل مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با باکتری بود. به منظور تأمین مقادیر مختلف فسفر از کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) استفاده شد. با توجه به تیمارها و اهداف آزمایش، خاکی با محتوای فسفر قابل استفاده کم (۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تهیه شد. خاک مورد استفاده دارای هدایت

گلوتامیک، لاکتیک و غیره pH خاک را کاهش و در نتیجه دسترسی گیاه را به عناصری مانند فسفر و پتاسیم افزایش می‌دهند. این باکتری‌ها همچنین از طریق تولید اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و هورمون‌ها رشد، عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند (وسی ۲۰۰۳) به این ترتیب که در مراحل اولیه، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه رشد و توسعه ریشه و سطح جذب افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه عباسی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تلقیح با PGPR به تنهایی و یا در ترکیب با کود نیتروژن، [K] و KCont در گندم را به طور معنی‌داری افزایش داد. به گزارش آن‌ها استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند با کاهش مقدار مصرف کودهای شیمیایی هزینه‌های تولید را کاهش و با راهبرد دوست‌دار محیط زیست تولید محصول را افزایش دهد. در مطالعه‌ی دو ساله‌ای روی برنج، ترکیب تیماری باکتری حل‌کننده فسفات به همراه ۶۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار، مقدار پتاسیم دانه را حدود ۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. مقدار پتاسیم کاه نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر فاکتورهای مقدار مصرف کود شیمیایی و مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت. آن‌ها دلیل افزایش مقدار پتاسیم نسبت به شاهد را احتمال وجود رابطه‌ی هم‌افزایی بین نیتروژن و فسفر بیان کردند. به طور کلی در مطالعه آن‌ها، تیمار ترکیبی باکتری محرک رشد و مصرف کود فسفره نسبت به تیمار تلقیح با باکتری تأثیر بیشتری داشت (لاواکاش و همکاران ۲۰۱۴). سینگ و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که در تحقیقات آن‌ها نیز، افزایش مصرف کود فسفره موجب افزایش معنی‌دار [K] و KCont در دانه و کاه شد. به گزارش آن‌ها مقدار پتاسیم دانه در تیمار مصرف ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار نسبت به ۲۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد به ترتیب ۸/۵۷ و ۱۱/۴۲ درصد بیشتر بود. در کاه نیز مصرف ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب موجب افزایش [K] به مقدار ۶/۶۶ و ۱۱/۴۲ درصد شد ولی افزایش مصرف فسفر به

مخمر) با جمعیت 10^7 CFU/ml در فلاسک ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم کربوکسی متیل سلولانز (CMC)، به‌عنوان ماده چسباننده، ریخته شد. ۱۰ گرم بذر به‌مدت ۱۲ ساعت در سوسپانسیون باکتریایی بر روی شیکر با دوران ۱۵۰ دور در دقیقه خوابانیده شد. سپس، سوسپانسیون باکتریایی اضافی از فلاسک خارج شده و بذرها تحت شرایط استریل در زیر هود بیولوژیک خشک شدند. بذره‌های غوطه‌ور در محیط استریل ISP2 به‌همراه CMC به تیمارهای شاهد اضافه شدند (کومار و همکاران، ۲۰۱۳). تراکم نهایی بوته در هر گلدان ۱۵ بوته (بر اساس ۳۶۰ بوته در مترمربع) تنظیم گردید. آزمایش در شرایط عدم تنش رطوبتی انجام شد، بدین منظور در طول فصل رشد آبیاری گلدان‌ها به‌صورت منظم انجام و با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مبارزه شد.

در مراحل طویل شدن ساقه، گرده‌افشانی و رسیدگی برداشت بر مبنای روش زادوکس (زادوکس و همکاران ۱۹۷۴)، بوته‌های هر گلدان از محل طوقه قطع و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس گلدان‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت به‌صورت اشباع از آب نگهداری شدند. آنگاه پس از ریختن محتوای گلدان روی یک غربال با اندازه منافذ مناسب به‌طوری‌که قطعات ریشه نتوانند عبور کنند، با استفاده از جریان آب ریشه از خاک جدا شد. در آزمایشگاه، اندام‌های هوایی از یکدیگر تفکیک و به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری [K] در بافت‌های گیاهی، نمونه‌ها به تفکیک اندام (ریشه، ساقه، برگ و دانه)، به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی پودر و زیرنمونه یک گرمی از آن‌ها تهیه شد. به‌منظور تبدیل پتاسیم تجمع یافته در بافت‌های گیاه به شکل قابل اندازه‌گیری با دستگاه فلیم‌فتومتر، معدنی کردن ماده آلی نیز صورت پذیرفت (علی‌احیایی و بهبهانی زاده ۱۳۷۶).

الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۴۲، مقدار کربن آلی ۲/۰۸۴ درصد، مقدار شن، سیلت و رس خاک مورد استفاده به‌ترتیب ۳۰، ۴۲ و ۲۸ درصد و بافت خاک لوم رسی (clay loam) بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، پتاسیم کودی به میزان ۵۰/۴ میلی‌گرم پتاسیم خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۲۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار) به‌صورت سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد پتاسیم) و نیتروژن کودی به میزان ۵۶/۲۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) به‌صورت کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به‌کار برده شد. برای به‌دست آوردن مقدار کود مورد نیاز هر گلدان، ابتدا وزن خاک یک هکتار زمین با عمقی برابر گلدان (۱۸ سانتی‌متر) محاسبه و سپس با توجه به وزن خاک خشک هر گلدان (۸ کیلوگرم) مقدار کود مورد نیاز تعیین شد. تمام کود پتاسه، فسفره (با توجه به تیمار) و یک سوم از کود نیتروژنه قبل از کاشت با خاک گلدان‌ها به‌طور یکنواخت مخلوط گردید و باقی‌مانده کود نیتروژنه به دو قسمت مساوی تقسیم و در مراحل پنجه‌زنی و ساقه رفتن به‌صورت سرک مصرف شد. برای یکنواختی توزیع کود سرک در گلدان، ابتدا کود اوره مورد نیاز در مقدار مشخصی آب حل گردید و سپس به‌طور یکنواخت روی سطح خاک گلدان ریخته شد. بذور گندم و جو بلافاصله پس از مایه‌زنی با جدایه *Streptomyces* sp. به شماره دسترسی KJ152149، که توانایی حل‌کنندگی فسفات آن قبلاً اثبات و در پایگاه اطلاعات داده‌های GenBank ثبت شده بود (قربانی‌نصرآبادی و همکاران، ۲۰۱۲)، در گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کشت شدند. بدین منظور، ۲۵ میلی‌لیتر از مایه تلقیح جدایه استرپتومایسس (تأمین شده از آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان) رشد داده شده در محیط کشت ISP2 (۱۰ گرم عصاره مالت، ۴ گرم گلوکز و ۴ گرم عصاره

و دوتکه‌ای مورد استفاده قرار گرفت و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel 2003 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

غلظت پتاسیم در ماده خشک گیاهی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، در هر سه مرحله SE، Anth و HM اثر P_{rate} بر [K] تمام اندام‌ها و بخش‌های گیاه شامل برگ، ساقه، ریشه، دانه، بخش هوایی و کل بوته معنی‌دار بود. مایه‌زنی با باکتری و نوع گیاه زراعی نیز در دو مرحله SE و Anth اثر معنی‌داری بر [K] تمام بخش‌های گیاه به جز ریشه داشتند. همچنین، در HM، مایه‌زنی تنها بر [K] ریشه معنی‌دار ($p=0.01$) بود و [K] دانه و ریشه در دو گیاه گندم و جو متفاوت بودند. اثرات متقابل بین فاکتورهای آزمایش در هیچ‌یک از سه مرحله SE، Anth و HM بر [K] اندام‌ها و بخش‌های مختلف گیاه معنی‌دار نبود.

برای محاسبه KPC به هر یک از اندام‌های گیاه ابتدا مقدار کل پتاسیم آن اندام از ضرب [K] در میزان ماده خشک به دست آمد و سپس عدد به دست آمده به مقدار کل پتاسیم بوته تقسیم گردید. [K] کل بوته نیز، از تقسیم حاصل جمع مقدار پتاسیم اندام‌های گیاه شامل ریشه و اندام هوایی در مرحله طویل شدن ساقه، ریشه، برگ، ساقه و سنبله بدون دانه در مرحله گرده‌افشانی و ریشه، برگ، ساقه (به همراه سنبله بدون دانه) و دانه بر وزن خشک کل بوته به دست آمد. برای تجزیه واریانس و همین‌طور تجزیه رگرسیون داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 استفاده شد (سلطانی ۲۰۰۶). در مواردی که نیاز به مقایسه میانگین صفات کیفی بود از آزمون LSD در سطح آماري ۵ درصد استفاده شد. همچنین، برای توصیف روابط موجود میان صفات و P_{rate}، توابع خطی

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P_{rate})، مایه‌زنی با باکتری استریپتومایسس (Inc)، نوع گیاه زراعی (Crop) و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت پتاسیم برگ ([K]_{Lf})، ساقه ([K]_{St})، ریشه ([K]_{Rt})، دانه ([K]_{Gn})، بخش هوایی ([K]_{Sh}) و کل بوته ([K]_{Tot}) در مراحل طویل شدن ساقه (SE)، گرده‌افشانی (Anth) و رسیدگی برداشت (Hm).

Anth					SE			df	منابع تغییر
[K] _{Tot}	[K] _{Sh}	[K] _{Rt}	[K] _{St}	[K] _{Lf}	[K] _{Tot}	[K] _{Sh}	[K] _{Rt}		
۹۳/۷۶۵**	۱۴۳/۶۰۱**	۵/۳۱۸*	۱۹۱/۰۰۵**	۶۱/۶۶۹**	۱۱۶/۶۲۷**	۵۵/۱۷۲**	۲۶/۶۹۶**	۴	P _{rate}
۸۲/۴۷۸**	۱۱۳/۹۴۰**	۳/۵۵۲ ^{NS}	۱۲۷/۱۴۵**	۶۶/۶۹۲**	۲۹/۸۵۲*	۴۱/۵۰۱**	۱/۹۰۴ ^{NS}	۱	Inc
۳۴/۳۸۸**	۷۵/۴۲۰**	۳/۴۲ ^{NS}	۶۴/۰۰۳**	۸۹/۸۸۲**	۲۴۳/۰۵۶**	۸۴۵/۶۱۱**	۰/۰۰۹ ^{NS}	۱	Crop
۰/۴۸۰ ^{NS}	۱/۰۴۵ ^{NS}	۱/۹۹۳ ^{NS}	۱/۴۳۳ ^{NS}	۵/۱۰۲ ^{NS}	۴/۴۷۸ ^{NS}	۱۳/۰۷۱*	۰/۶۴۸ ^{NS}	۴	P _{rate} * Inc
۳/۷۵۶	۴/۴۸۱	۱/۶۱۶	۶/۳۲۱	۴/۶۶۱	۴/۹۲۲	۴/۴۱۳	۱/۱۶۹	۲۰	Error
ضرب									
۸/۰۷	۷/۸۷	۱۸/۱۸	۹/۴۷	۷/۷۵	۸/۲۳۱	۵/۴۲	۱۵/۵۴	۲۰	تغییرات (%)

Hm						df	منابع تغییر
[K] _{Tot}	[K] _{Sh}	[K] _{Gn}	[K] _{Rt}	[K] _{St}	[K] _{Lf}		
۶۸/۶۰۰**	۸۵/۰۲۲**	۲/۶۷۶*	۰/۱۸۹**	۲۹۸/۸۲۸**	۱۲۲/۲۹۷**	۴	P _{rate}
۱/۳۶۹ ^{NS}	۳/۱۱۷ ^{NS}	۰/۱۶۶ ^{NS}	۰/۶۹۰**	۲۵/۴۶۷ ^{NS}	۰/۱۸۵ ^{NS}	۱	Inc
۰/۰۶۸ ^{NS}	۰/۱۴۴ ^{NS}	۱۳/۱۲۷**	۰/۲۷۲*	۶/۸۴۳ ^{NS}	۲۵/۲۷۴ ^{NS}	۱	Crop
۲/۳۴۳ ^{NS}	۴/۰۷۷ ^{NS}	۱/۱۱۱ ^{NS}	۰/۱۶۷**	۳/۳۱۷ ^{NS}	۵/۹۰۵ ^{NS}	۴	P _{rate} * Crop
۲/۰۱۹	۲/۸۰۹	۰/۶۱۳	۰/۰۳۴	۶/۳۲۶	۶/۱۴۹	۲۰	Error

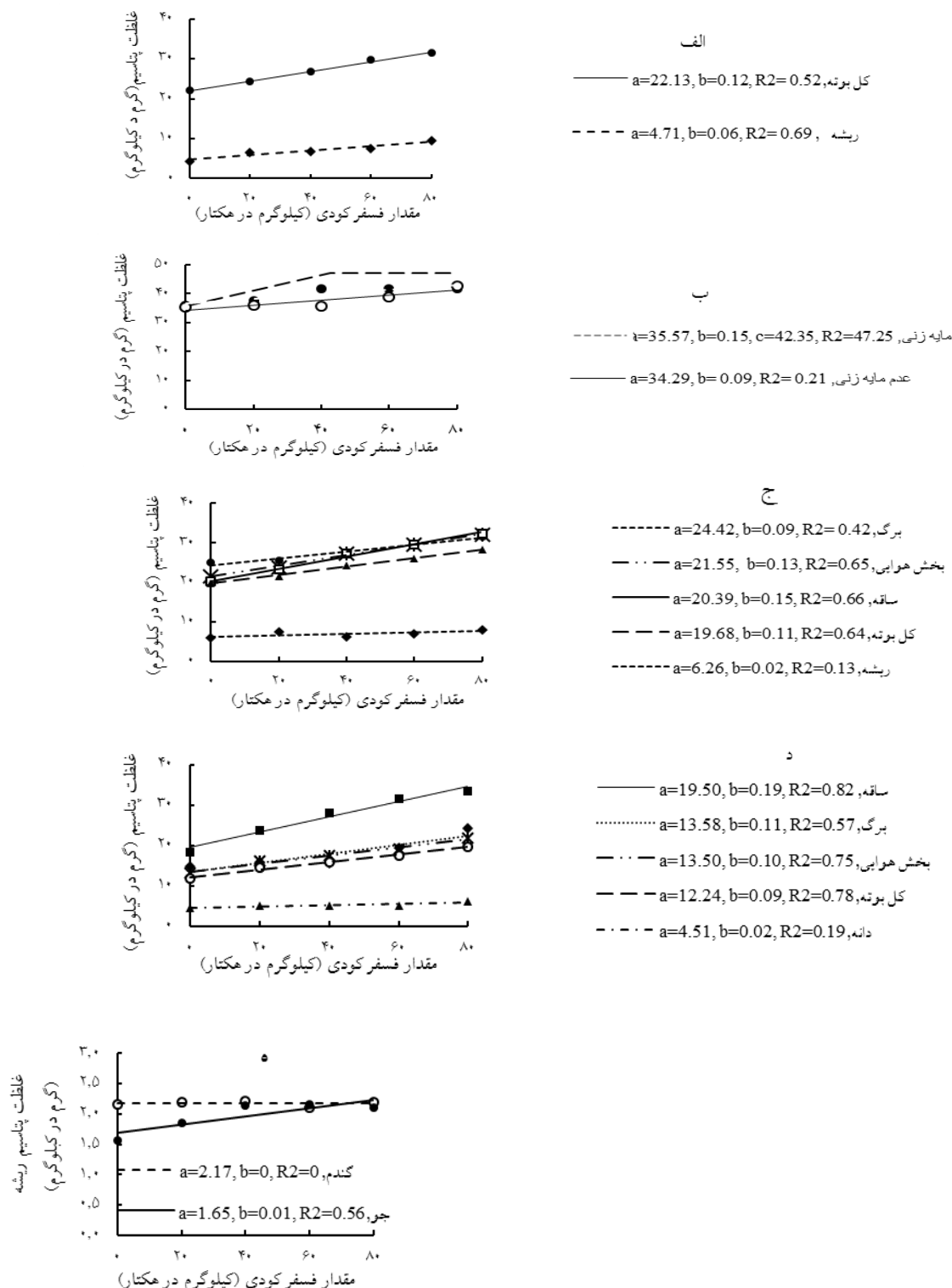
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ^{NS} غیرمعنی‌داری باشد. در مواردی که نتایج تجزیه واریانس نشان داده نشده است، اثر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر صفت (یا صفات) مندرج در جدول به لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است.

اندام‌ها بین ۲۸/۳۲ و ۳۲/۷۰ گرم در کیلوگرم بود (شکل ا.ج).

در HM نیز با در نظر گرفتن نتایج تجزیه واریانس برای نشان دادن تغییرات [K] در اندام‌های هوایی و بخش‌های مختلف بوته و همچنین تغییرات [K] ریشه در گندم و در جو در مقابل مقدار مصرف P_{rate} روابط خطی جداگانه‌ای به میانگین‌ها برآزش داده شد. با توجه به نتایج، [K] برگ، ساقه، بخش هوایی و کل بوته در تیمار عدم مصرف P_{rate} به ترتیب ۱۳/۵۰، ۱۹/۵۰، ۱۳/۵۸، ۱۲/۲۴ و ۱۲/۲۴ گرم در کیلوگرم بود و به ازای افزایش مصرف هر کیلوگرم P_{rate} ، [K] به ترتیب به مقدار ۰/۱۱، ۰/۱۹، ۰/۱۰ و ۰/۰۹ گرم در کیلوگرم یافت تا در نهایت در تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب به ۲۲/۴۲، ۳۴/۷۶، ۲۱/۶۸ و ۱۹/۶۱ گرم در کیلوگرم رسید. هرچند از لحاظ آماری اثر P_{rate} بر تغییرات [K] دانه معنی‌دار بود، ولی با توجه به شیب بسیار پایین تابع برآزش داده شده می‌توان بیان کرد که افزایش P_{rate} تغییر قابل اعتنایی در [K] دانه ایجاد نکرد و در تمام سطوح حدود ۴/۵۱ گرم در کیلوگرم بود. به‌طور کلی، در تمام مقادیر P_{rate} ، بیشترین [K] مربوط به ساقه و کمترین آن مربوط به دانه بود (شکل د). همچنین، نتایج تجزیه رگرسیون حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار P_{rate} بر [K] ریشه گندم می‌باشد. [K] ریشه گندم در تمام سطوح فسفر حدوداً برابر ۲/۱۷ گرم در کیلوگرم بود. اما در گیاه جو، با افزایش مصرف P_{rate} ، [K] ریشه افزایش یافت. بدین صورت که [K] ریشه در تیمار عدم مصرف کود فسفره ۱/۶۵ گرم در کیلوگرم بود و به ازای هر کیلوگرم افزایش P_{rate} در هکتار ۰/۰۰۹ گرم در کیلوگرم به [K] افزوده شد و در نهایت در تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم P_{rate} در هکتار به ۲/۳۶ گرم در کیلوگرم رسید (شکل ه).

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در SE با افزایش P_{rate} ، [K] بخش‌های مختلف گیاه افزایش یافت. در تیمار عدم مصرف P_{rate} ، [K] ریشه و کل بوته به ترتیب ۴/۷۱ و ۲۳/۱۳ گرم در کیلوگرم بود. به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف P_{rate} به ترتیب ۰/۰۵۶ و ۰/۱۲۱ گرم در کیلوگرم به [K] ریشه و کل بوته افزوده شد و در نهایت در تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب به ۹/۲۱ و ۳۱/۷۷ گرم در کیلوگرم رسید (شکل الف). در شرایط عدم مایه‌زنی با باکتری [K] بخش هوایی در تیمار عدم مصرف P_{rate} ۲۴/۲۹ گرم در کیلوگرم بود و با افزایش مصرف P_{rate} به صورت خطی با شیب ۰/۰۹ افزایش یافت و در تیمار ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ۴۱/۲۴ گرم در کیلوگرم رسید ولی تغییرات [K] بخش هوایی بوته در شرایط مایه‌زنی با باکتری از تابع دوتکه‌ای پیروی کرد. به این ترتیب که [K] بخش هوایی بوته در تیمار عدم مصرف کود ۳۵/۵۷ گرم در کیلوگرم بود و با افزایش مصرف P_{rate} تا ۴۲/۳۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به صورت خطی با شیب ۰/۱۵ افزایش یافت و به ۴۱/۹۲ گرم در کیلوگرم رسید، و افزایش بیشتر مصرف P تأثیری بر آن نداشت (شکل ب).

نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که در دامنه‌ی مقادیر P_{rate} مورد آزمایش، با افزایش P_{rate} [K] اندام‌های گیاه در Anth به صورت خطی افزایش یافته است. در این میان، واکنش [K] ساقه (با شیب ۰/۱۵۴) از همه‌ی بخش‌های گیاه بیشتر و واکنش [K] ریشه (با شیب ۰/۰۱۸) از همه کمتر بود. همچنین، [K] ساقه، برگ، بخش هوایی و کل بوته در دامنه‌ای نزدیک به هم قرار داشت ولی اختلاف آن‌ها با ریشه قابل توجه بود. [K] ریشه در تیمار عدم مصرف P_{rate} ۶/۲۶ گرم در کیلوگرم و در سایر اندام‌ها بین ۱۹/۶۸ و ۲۴/۴۲ گرم در کیلوگرم، و در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار [K] ریشه ۷/۷۳ گرم در کیلوگرم و [K] سایر



شکل ۱- اثر مقدار فسفر کودی بر غلظت پتاسیم ریشه و کل بوته (الف) و اثر متقابل آن با مایه زنی با باکتری *استریپتومایسس* بر غلظت پتاسیم بخش هوایی (ب) در مرحله طویل شدن ساقه و اثر مقدار فسفر کودی بر غلظت پتاسیم برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در مرحله کرده افشانی (ج) و بر غلظت پتاسیم برگ، ساقه، دانه، بخش هوایی و کل بوته (د)، و اثر متقابل آن با نوع گیاه زراعی بر غلظت پتاسیم ریشه (ه) در مرحله رسیدگی

افزایش بیشتر کود فسفر تأثیر معنی‌داری بر [K] کاه و دانه نداشت.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در SE حاکی از افزایش معنی‌دار [K] کل بوته در نتیجه مایه‌زنی (۲۷/۸۲ گرم در کیلوگرم) نسبت به عدم مایه‌زنی (۲۶/۰۹ گرم در کیلوگرم) بود. همچنین، مشخص شد که در این مرحله [K] بخش هوایی و کل بوته جو به ترتیب ۲۷ و ۲۰ درصد بیشتر از گندم بود. در Anth نیز، میانگین [K] در برگ، ساقه، بخش هوایی و کل بوته گندم به ترتیب ۲۶/۳۸، ۲۵/۲۸، ۲۵/۵۲ و ۲۳/۰۷ و در جو به ترتیب ۲۹/۳۷، ۲۷/۸۱، ۲۸/۲۷ و ۲۴/۹۳ گرم در کیلوگرم بود که در تمام بخش‌های جو کمی بیشتر از گندم می‌باشد. مایه‌زنی با باکتری نیز در این مرحله موجب افزایش [K] در اندام‌های یاد شده به ترتیب به مقدار ۲/۵۹، ۳/۵۷، ۳/۳۷ و ۲/۸۷ گرم در کیلوگرم شد. در HM میانگین [K] در دانه گندم ۴/۶ و در دانه جو ۵/۷۵ گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد [K] دانه جو ۲۵ درصد بیشتر از گندم بوده است (جدول ۲).

مطابق نتایج مطالعه حاضر، پژوهش‌های دیگری نیز حاکی از اثر معنی‌دار مقادیر مصرف P_{rate} بر [K] اندام‌های گیاه می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه دونگال و کادرکار (۱۹۹۳) بر روی [K] دانه سورگوم و برنج، راثی‌پور و علی‌اصغرزاده (۱۳۸۶) بر روی [K] بخش هوایی بوته‌های سویا و درزی و همکاران (۲۰۰۹) بر روی [K] دانه رازیانه اشاره کرد. بر خلاف این آزمایش بهبود و همکاران (۲۰۱۱) عدم تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف مصرف مقدار کود فسفره بر [K] برگ را در سیب‌زمینی گزارش کردند. نتایج عباسی و همکاران (۲۰۱۱) حاکی از افزایش [K] در نتیجه‌ی مصرف کود نیتروژنه بود. در مطالعه حاضر، [K] اندام‌های مختلف در هر سه مرحله به جز [K] اندام هوایی در شرایط مایه‌زنی با باکتری، با افزایش مصرف P_{rate} به‌طور خطی افزایش یافت. ولی نتایج سینگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در اثر افزایش مصرف کود فسفره تا سطح ۴۰ کیلوگرم در هکتار، [K] کاه و دانه به‌صورت خطی افزایش یافت ولی

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس و نوع گیاه زراعی بر غلظت پتاسیم برگ ($[K]_{Lf}$)، ساقه ($[K]_{St}$)، بخش هوایی ($[K]_{Sh}$) و کل بوته ($[K]_{Tot}$) در مراحل طویل شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Anth)

SE		Anth				
$[K]_{Tot}$	$[K]_{Sh}$	$[K]_{Tot}$	$[K]_{Sh}$	$[K]_{St}$	$[K]_{Lf}$	تیمار
(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	
۲۴/۴۹ ^b	۳۴/۱۸ ^b	۲۳/۰۷ ^b	۲۵/۵۲ ^b	۲۵/۲۸ ^b	۲۶/۳۸ ^b	گندم
۲۹/۴۲ ^a	۴۳/۳۸ ^a	۲۴/۹۳ ^a	۲۸/۲۷ ^a	۲۷/۸۱ ^a	۲۹/۳۷ ^a	جو
۱/۴۶	۱/۳۹	۱/۲۸	۱/۳۹	۱/۶۶	۱/۴۲	LSD
		۲۲/۵۷ ^b	۲۵/۲۱ ^b	۲۴/۷۶ ^b	۲۶/۵۸ ^b	عدم مایه‌زنی
		۲۵/۴۴ ^a	۲۸/۵۸ ^a	۲۸/۳۳ ^a	۲۹/۱۷ ^a	مایه‌زنی
		۱/۲۸	۱/۳۹	۱/۶۶	۱/۴۲	LSD

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار

مثال، در مطالعه انصاری و همکاران (۲۰۱۴) کاربرد کودهای زیستی نیتروژنی و فسفاتی درصد پتاسیم بخش هوایی بوته‌های درت را افزایش داد. کارلوت و

همانند مطالعه‌ی حاضر پژوهش‌های دیگر نیز گویای تأثیر معنی‌دار باکتری‌های محرک رشد و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر [K] گیاهان مختلف است. برای

باکتری نیز در مراحل Anth و HM بر مقدار پتاسیم تجمع یافته در تمام بخش‌های یاد شده (به جز برگ در HM) و در مرحله SE بر مقدار پتاسیم تجمع یافته در بخش هوایی و کل بوته به طور معنی‌داری تأثیر گذاشت. در هر سه مرحله، مقدار KCont در بخش‌های مختلف گندم به جز مقدار KCont در ریشه در SE و مقدار پتاسیم تجمع یافته در ساقه در Anth با جو از نظر آماری متفاوت بود. همچنین، در HM مقدار KCont در ریشه، بخش هوایی و کل بوته گندم با جو متفاوت بود. اثر متقابل بین مقدار مصرف P_{rate} و نوع گیاه زراعی تنها بر مقدار KCont بخش هوایی و کل بوته در SE معنی‌دار ($p=0.05$) شد. در HM نیز اثر متقابل بین P_{rate} و مایه‌زنی با باکتری بر KCont در ساقه و اثر متقابل بین سه فاکتور مورد بررسی در آزمایش بر مقدار KCont در بخش هوایی و کل بوته معنی‌دار ($p=0.05$) شد.

نتایج تجزیه رگرسیون نشان‌دهنده‌ی افزایش خطی مقدار KCont ریشه در نتیجه افزایش مصرف P_{rate} بود. مقدار پتاسیم تجمع یافته در ریشه در تیمار عدم مصرف کود فسفره ۰/۶۱ میلی‌گرم در بوته بود. به‌ازای هر کیلوگرم افزایش در مصرف P_{rate} به مقدار پتاسیم تجمع یافته در ریشه ۰/۱۸ میلی‌گرم در بوته افزوده شد و در نتیجه در سطح کودی ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به ۲/۰۷ میلی‌گرم در بوته رسید (شکل ۲ الف). همچنین، نتایج نشان داد که مقدار فسفر تجمع یافته در بخش هوایی و کل بوته در تمام مقادیر P_{rate} در جو بیشتر از گندم بود. مقدار KCont در بخش هوایی و کل بوته در تیمار عدم مصرف P_{rate} در گندم به ترتیب ۴/۵۸ و ۵/۰۸ میلی‌گرم در بوته و در جو به ترتیب ۷/۱۷ و ۷/۹۰ میلی‌گرم در بوته بود که در دو گیاه با افزایش مصرف P_{rate} به صورت خطی افزایش یافته و در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در گندم به ترتیب به ۱۶/۱۹ و ۱۶/۳۷ میلی‌گرم در بوته و در جو به ترتیب به ۲۴/۶۷ و ۲۷/۰ میلی‌گرم در بوته رسید (شکل ۲ ب).

همکاران (۲۰۰۲) نیز اعلام کردند که در گیاهان تلقیح شده با باکتری محرک رشد، درصد پتاسیم به طور معنی‌داری افزایش یافت. از نظر آن‌ها اصلاح خاک با باکتری‌های سودمند می‌تواند کمبود عناصر غذایی را جبران کند. میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات با آزادسازی فسفر می‌توانند رشد گیاهان را از طریق افزایش کارایی تثبیت بیولوژیکی، افزایش دسترسی به عناصر و هورمون‌ها، بهبود بخشیده و در نتیجه جذب مواد غذایی توسط گیاهان را افزایش دهند (گیانشوار و همکاران ۱۹۹۸). مطابق پژوهش آزمایشگاهی قربانی‌نصرآبادی و همکاران (اطلاعات منتشر نشده است)، باکتری *استرپتومایسس* مورد استفاده در این مطالعه دارای توانمندی حل‌کنندگی پتاسیم بوده است.

بررسی [K] در مراحل مختلف نشان می‌دهد که با افزایش سن گیاه [K] برگ کاهش یافته است به طوری که [K] برگ در تیمار عدم مصرف P_{rate} و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار در SE به ترتیب حدود ۳۴/۹۳ و ۴۱/۷۹ گرم در کیلوگرم، در Anth به ترتیب ۲۴/۴۲ و ۳۱/۳۴ گرم در کیلوگرم و در HM به ترتیب ۱۳/۵۸ و ۲۲/۴۲ گرم در کیلوگرم بود. ولی [K] ساقه نسبتاً ثابت بود به طوری که [K] ساقه در تیمار عدم مصرف کود و تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار در Anth به ترتیب ۲۰/۳۹ و ۳۲/۷۰ گرم در کیلوگرم و در HM به ترتیب ۱۹/۵۰ و ۳۴/۷۶ گرم در کیلوگرم بود. از دلایل کاهش [K] در طول فصل رشد و با افزایش سن گیاه، می‌توان به رشد و افزایش تولید ماده خشک گیاه و اثر رقیق شدن عناصر غذایی در ماده خشک گیاه اشاره کرد (زیادی و همکاران ۲۰۰۹).

تجمع پتاسیم در ماده خشک گیاهی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر P_{rate} بر مقدار KCont در تمام و بخش‌های گیاه شامل برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در هر سه مرحله SE، Anth و HM معنی‌دار ($p=0.01$) بود. مایه‌زنی با

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P_{rate})، مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس (Inc)، نوع گیاه زراعی (Crop) و اثرات متقابل آن‌ها بر تجمع پتاسیم در برگ (K_{LrCont})، ساقه (K_{StCont})، ریشه (K_{RtCont})، بخش هوایی (K_{ShCont}) و کل بوته ($K_{TotCont}$) در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Anth) و رسیدگی برداشت (Hm).

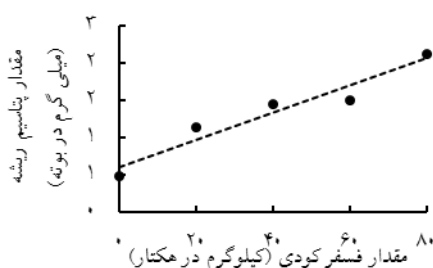
Anth					SE			Df	منابع تغییر
$K_{TotCont}$	K_{ShCont}	K_{RtCont}	K_{StCont}	K_{LrCont}	$K_{TotCont}$	K_{ShCont}	K_{RtCont}		
۳۴۴۵/۹۶۰**	۳۱۴۰/۸۵۹**	۷/۷۳۲**	۱۷۹۸/۸۱۱**	۱۹۳/۵۶۵**	۳۲۶/۲۰۹**	۲۹۶/۸۳۱**	۲/۸۵۲**	۴	P_{rate}
۱۲۹۵/۹۵۷**	۱۲۰۳/۰۰۴**	۱/۷۲۹*	۶۴۰/۹۵۷**	۸۷/۷۴۵**	۳۴/۰۲۹**	۲۸/۰۷۶*	-/۲۸۶ ^{ns}	۱	Inc
۴۷۸/۸۰۰**	۳۷۷/۵۸۸*	۶/۰۰۲**	۷/۰۲۱ ^{ns}	۴۸۷/۵۸۳**	۳۴۹/۳۸۰**	۳۰۵/۹۲۹**	۱/۴۴۲ ^{ns}	۱	Crop
۱۱۸/۱۸۶ ^{ns}	۱۱۳/۴۴۷ ^{ns}	-/۳۳۴ ^{ns}	۵۷/۷۷۳ ^{ns}	۱۱/۷۳۶ ^{ns}	۴/۱۹۷ ^{ns}	۴/۱۲۰ ^{ns}	-/۰۳۱ ^{ns}	۴	P_{rate} *Inc
۷۰/۶۴۵ ^{ns}	۶۷/۰۰۱ ^{ns}	-/۳۸۸ ^{ns}	۴۰/۲۳۰ ^{ns}	۹/۲۶۶ ^{ns}	۱۴/۲۱۴*	۱۲/۸۲۵*	-/۰۵۵ ^{ns}	۴	P_{rate} * Crop
۵۵/۸۹۱	۵۳/۳۴۸	-/۲۴۴	۲۵/۸۰۳	۸/۶۳۵	۴/۰۶۰	۴/۰۶۷	-/۰۹۰	۲۰	Error
۱۱/۳۵	۱۱/۵۷	۱۸/۰۰	۱۱/۲۷	۱۶/۲۸	۱۳/۹۰	۱۵/۳۳	۲۲/۳۹		ضریب تغییرات (%)

Hm						Df	منابع تغییر
$K_{TotCont}$	K_{ShCont}	K_{GnCont}	K_{RtCont}	K_{StCont}	K_{LrCont}		
۲۹۸۵/۹۶۴**	۲۹۲۳/۷۰۷**	۲۹/۲۱۶**	-/۳۴۶**	۱۵۹۸/۹۶۹**	۹۱/۰۸۳**	۴	P_{rate}
۱۹۸/۶۳۷**	۱۸۱/۱۱۸**	۳/۰۵۹ ^{ns}	-/۴۰۴**	۱۳۵/۴۴۱**	-/۰۰۵ ^{ns}	۱	Inc
۲/۶۸۵ ^{ns}	۳/۱۰۶ ^{ns}	۶/۷۱۱*	-/۰۱۵ ^{ns}	۱۸۱/۵۰۹**	۸۲/۹۹۲**	۱	Crop
۱۸/۳۰۹ ^{ns}	۱۷/۳۱۱ ^{ns}	-/۸۰۳ ^{ns}	-/۰۲۱ ^{ns}	۳۳/۰۳۰*	۱/۱۳۰ ^{ns}	۴	P_{rate} *Inc
۴۶/۸۹۸*	۴۶/۸۴۱*	۲/۳۲۰ ^{ns}	-/۰۱۴ ^{ns}	۳۱/۸۱۵ ^{ns}	-/۹۷۲ ^{ns}	۴	P_{rate} * *Inc *Crop
۱۶/۰۷۰	۱۵/۸۹۵	۱/۲۶۵	-/۰۱۰	۱۱/۴۲۵	۳/۳۷۰	۲۰	Error
۸/۲۰	۸/۲۷	۲۳/۹۱	۱۵/۱۵	۹/۷۲	۲۱/۹۱۳		ضریب تغییرات (%)

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و NS غیرمعنی‌دار می باشد؛ در مواردی که نتایج تجزیه واریانس نشان داده نشده است، اثر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر صفت (یا صفات) مندرج در جدول به لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است.

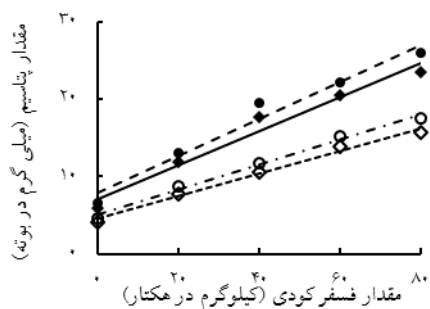
بخش هوایی < ساقه < برگ < ریشه بود. مقدار پتاسیم تجمع یافته در تیمار عدم مصرف P_{rate} در بخش‌های یاد شده به ترتیب ۳۹/۸۵، ۳۸/۲۹، ۳۶/۴۴، ۱۱/۸۵ و ۱/۵۶ میلی‌گرم در بوته بود و با افزایش مصرف کود فسفره به ترتیب با شیب ۰/۶۵، ۰/۶۲، ۰/۴۷، ۰/۱۶ و ۰/۳۰ افزایش یافت. در تیمار کودی ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، مقدار پتاسیم تجمع یافته در کل بوته، بخش هوایی، ساقه، برگ و ریشه به ترتیب به ۹۱/۸۵، ۸۷/۹۴، ۳۸/۸۲، ۲۴/۲۵ و ۳/۹۴ میلی‌گرم در بوته رسید (شکل ۲ ج).

تغییرات مقدار K_{Cont} در اندام‌ها و بخش‌های مختلف گیاه در مقابل مقدار مصرف P_{rate} در Anth نیز با برآزش توابع خطی جداگانه به میانگین‌های مربوط به آن‌ها در هر سطح فسفر بررسی شد. نتایج بیانگر افزایش خطی مقدار پتاسیم تجمع یافته در بخش‌های مختلف گیاه در مقابل افزایش مصرف P_{rate} بود. در این میان، بیشترین شیب (۰/۶) مربوط به مقدار K_{Cont} در بخش هوایی و کل بوته و کمترین شیب (۰/۰۳) مربوط به K_{Cont} در ریشه بود. در تمام مقادیر P_{rate} ، مقدار پتاسیم تجمع یافته در بخش‌های مختلف گیاه به ترتیب کل بوته <



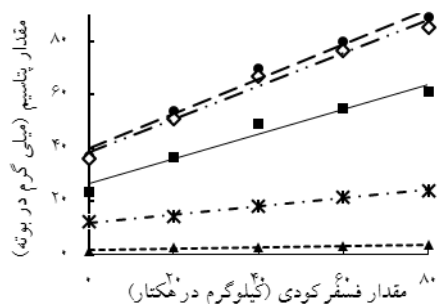
الف

ریشه، $a=0.61, b=0.02, R^2=0.68$



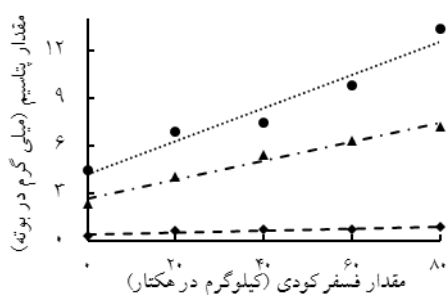
ب

کل بوته، جو، $a=7.90, b=0.24, R^2=0.86$
 بخش هوایی، جو، $a=7.17, b=0.22, R^2=0.85$
 کل بوته، گندم، $a=5.08, b=0.16, R^2=0.94$
 بخش هوایی، گندم، $a=4.58, b=0.15, R^2=0.94$



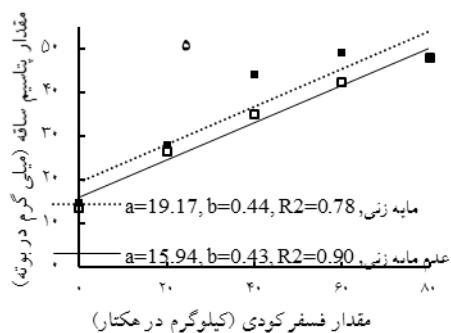
ج

کل بوته، $a=39.85, b=0.65, R^2=0.76$
 بخش هوایی، $a=38.29, b=0.62, R^2=0.76$
 ساقه، $a=26.44, b=0.47, R^2=0.68$
 برگ، $a=11.85, b=0.16, R^2=0.47$
 ریشه، $a=1.56, b=0.03, R^2=0.60$



د

برگ، $a=4.22, b=0.10, R^2=0.65$
 دانه، $a=2.67, b=0.06, R^2=0.67$
 ریشه، $a=0.42, b=0.01, R^2=0.54$



مقدار فسفر کودی (کیلوگرم در هکتار)

شکل ۲- اثر مقدار فسفر کودی بر تجمع پتاسیم در ریشه (ب)، و اثر متقابل آن با نوع گیاه زراعی بر تجمع پتاسیم در بخش هوایی و کل بوته (الف) در مرحله طویل شدن ساقه، اثر مقدار فسفر کودی بر تجمع پتاسیم در برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در مرحله گرده افشانی (ج) و بر تجمع پتاسیم در برگ، ریشه و دانه (د)، و اثر متقابل آن با مایه زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر تجمع پتاسیم در ساقه (ه) در مرحله رسیدگی

برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته را به ترتیب به مقدار ۲/۹۷، ۸/۰، ۰/۴۱، ۱۰/۹۷ و ۱۱/۳۹ میلی‌گرم در بوته (تقریباً معادل ۱۸ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، مقدار پتاسیم تجمع یافته در اندام‌های یاد شده به ترتیب به مقدار ۶/۹۹، ۰/۷۷، ۶/۱۵ و ۶/۹۲ میلی‌گرم در بوته در جو بیشتر از گندم بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین مقدار KCont در بخش هوایی و کل بوته در SE نشان داد که مایه‌زنی با باکتری سبب افزایش مقدار KCont به ترتیب به مقدار ۰/۶۷ و ۱/۸۴ میلی‌گرم در بوته (معادل ۱۴ درصد) نسبت به شاهد شد. در Anth نیز با در نظر داشتن نتایج تجزیه واریانس مقایسه میانگین‌ها انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده، مایه‌زنی با باکتری مقدار پتاسیم تجمع یافته در

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس و نوع گیاه زراعی بر تجمع پتاسیم در برگ (K_{Lf}Cont)، ریشه (K_{Rt}Cont)، ساقه (K_{St}Cont)، بخش هوایی (K_{Sh}Cont) و کل بوته (K_{Tot}Cont) در مراحل طویل شدن ساقه (SE) و کرده‌افشانی (Anth)

SE		Anth					تیمار
K _{Tot} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{Sh} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{Tot} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{Sh} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{Rt} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{St} Cont (mg.plant ⁻¹)	K _{Lf} Cont (mg.plant ⁻¹)	
۱۳/۵۷ ^b	۱۲/۳۲ ^b	۶۰/۱۷ ^b	۵۷/۶۳ ^b	۲/۵۴ ^b	۴۱/۰۷ ^b	۱۶/۵۶ ^b	عدم مایه‌زنی
۱۵/۴۱ ^a	۱۳/۹۹ ^a	۷۱/۵۶ ^a	۶۸/۶۰ ^a	۲/۹۵ ^a	۴۹/۰۷ ^a	۱۹/۵۳ ^a	مایه‌زنی
۱/۳۳	۱/۳۳	۴/۹۳	۴/۸۲	۰/۳۳	۳/۳۵	۱/۹۴	LSD
		۶۲/۴۰ ^b	۶۰/۰۴ ^b	۲/۳۶ ^b	-	۱۴/۵۵ ^b	گندم
		۶۹/۳۳ ^a	۶۶/۱۹ ^a	۳/۱۳ ^a	-	۲۱/۵۴ ^a	جو
		۴/۹۳	۴/۸۲	۰/۳۳	-	۱/۹۴	LSD

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب به ۱۲/۵۴ و ۷/۴۴ میلی‌گرم در بوته رسید. با در نظر داشتن نتایج تجزیه واریانس، معادلات خطی جداگانه‌ای به مقدار KCont در ساقه در دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با باکتری در مقابل مقدار مصرف P_{rate} برازش داده شد. در هر دو شرایط، با افزایش مصرف P_{rate} مقدار پتاسیم تجمع یافته در ساقه با روند خطی و به ترتیب با شیب ۰/۴۴ و ۰/۴۲ نسبت به شاهد (به ترتیب برابر ۱۹/۱۷ و ۱۵/۹۴ میلی‌گرم در بوته) افزایش یافت (شکل ۵۲). بر اساس اثر سه‌گانه معنی‌دار فاکتورهای آزمایش بر مقدار KCont در بخش هوایی و کل بوته، توابع خطی جداگانه‌ای در دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با باکتری در دو

با توجه به توابع خطی برازش داده شده برای نشان دادن تغییرات KCont در مقابل P_{rate} در HM، مقدار KCont در برگ بیشتر از دانه و در ریشه به‌طور قابل توجهی کمتر از برگ و دانه بود. همچنین، واکنش KCont در پاسخ به مقدار مصرف P_{rate} در ریشه (۰/۰۶) کمتر از برگ و دانه (به ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۰۶) بود و علی‌رغم معنی‌دار بودن اثر P_{rate}، تغییر قابل اعتنایی در مقدار KCont در ریشه مشاهده نشد (شکل ۵۲). در تیمار عدم مصرف P_{rate}، مقدار پتاسیم تجمع یافته در برگ و دانه به ترتیب ۴/۲۱ و ۲/۶۷ میلی‌گرم در بوته بود و با افزایش مصرف P_{rate}، KCont با روند خطی افزایش یافت و در نهایت در تیمار کودی

در نتیجه با افزایش مصرف P_{rate} اختلاف K_{Cont} در شرایط مایه‌زنی با عدم مایه‌زنی بیشتر شد اما در گیاه جو، شیب توابع برازش داده شده از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

گیاه گندم و جو برازش داده شد. با بررسی ضرایب به‌دست آمده، مایه‌زنی با باکتری تأثیر معنی‌داری بر عرض از مبدأ توابع (مقدار K_{Cont} در تیمار عدم مصرف کود فسفره) نداشت. در گیاه گندم، مایه‌زنی موجب افزایش معنی‌دار شیب توابع به‌دست آمده شد.

جدول ۵- تجزیه رگرسیون اثر متقابل بین مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* و نوع گیاه زراعی بر تجمع پتاسیم در بخش هوایی (K_{ShCont}) و کل بوته ($K_{TotCont}$) در مرحله رسیدگی برداشت

$K_{TotCont}$ (mg.plant ⁻¹)		K_{ShCont} (mg.plant ⁻¹)		ضرایب	تیمار
جو	گندم	جو	گندم		
۲۲/۱۴۴±۲/۴۸۲	۲۴/۱۸۷±۱/۹۳۷	۲۱/۸۱۲±۲/۴۵۶	۲۳/۷۸۴±۱/۸۹۵	a	عدم مایه‌زنی
۰/۶۱۲±۰/۰۵۲	۰/۵۶۳±۰/۰۴	۰/۶۰۶±۰/۰۵۰	۰/۵۵۹±۰/۰۳۹	b	
۷۱/۱۰	۶۹/۲۳	۷۰/۲۹	۶۸/۵۰	$Y_{(P_{max})}$	
۰/۹۵**	۰/۹۶**	۰/۹۵**	۰/۹۶**	R^2	
۲۷/۸۶±۳/۷۳۰	۲۵/۲۶۱±۳/۵۰۸	۲۷/۴۳۰±۳/۶۹۵	۲۴/۷۳۲±۳/۴۷۶	a	مایه‌زنی
۰/۵۶۹±۰/۰۷۶	۰/۶۵۹±۰/۰۷۲	۰/۵۶۰±۰/۰۷۵	۰/۶۵۴±۰/۰۷۱	b	
۷۳/۳۸	۷۷/۹۸	۷۲/۲۳	۷۷/۰۵	$Y_{(P_{max})}$	
۰/۸۸**	۰/۹۱**	۰/۸۷**	۰/۹۱**	R^2	

a: عرض از مبدأ تابع خطی؛ b: شیب خط؛ $Y_{(P_{max})}$: مقدار برآورد شده صفت در بیشترین مقدار مصرف فسفر کودی؛ ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns غیر معنی‌دار

در بوته بود. همچنین، میانگین مقدار K_{Cont} در برگ، ساقه و دانه گندم به ترتیب ۶/۹۴، ۳۶/۹۱ و ۴/۶۵ و در جو به ترتیب ۹/۸۲، ۳۲/۶۵ و ۵/۴۷ میلی‌گرم در بوته بود (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین در HM نشان داد که مایه‌زنی با باکتری موجب افزایش مقدار K_{Cont} در ریشه به مقدار ۳۵ درصد شد. میانگین مقدار K_{Cont} در ریشه در تیمار عدم مایه‌زنی و مایه‌زنی به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۷۷ میلی‌گرم

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نوع گیاه زراعی بر تجمع پتاسیم در برگ (K_{LfCont})، ساقه (K_{StCont}) و دانه (K_{GnCont}) و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر تجمع پتاسیم در ریشه (K_{RtCont}) در مرحله رسیدگی برداشت

K_{RtCont} (mg K.plant ⁻¹)	تیمار	K_{GnCont} (mg K.plant ⁻¹)	K_{StCont} (mg K.plant ⁻¹)	K_{LfCont} (mg K.plant ⁻¹)	تیمار
۰/۵۷ ^b	عدم مایه‌زنی	۴/۶۵ ^b	۳۶/۹۱ ^a	۶/۹۴ ^b	گندم
۰/۷۷ ^a	مایه‌زنی	۵/۴۷ ^a	۳۲/۶۵ ^b	۹/۸۲ ^a	جو
۰/۰۷	LSD	۰/۸۰	۲/۲۳	۱/۲۱	LSD

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

pH موجب تبدیل فسفات‌های نامحلول به فرم قابل دسترس برای گیاهان و همچنین، تحریک و توسعه رشد ریشه و در نتیجه افزایش سطح جذب توسط گیاه می‌شوند (لیفشیز و همکاران ۱۹۸۷، ساندر و همکاران ۲۰۰۲، انصاری و همکاران ۲۰۱۴). در مطالعه دوساله لاواکوش و همکاران (۲۰۱۴) اثر P_{rate} و مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر غلظت و جذب پتاسیم دانه و گاه معنی‌دار بود هرچند که به‌طور کلی در آزمایش آن‌ها کاربرد هم‌زمان کود و باکتری تأثیر بیشتری داشت به‌طوری‌که ترکیب تیماری باکتری حل‌کننده فسفات همراه با ۶۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار پتاسیم دانه را حدود ۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. مشابه نتایج مطالعه حاضر، نتیجه اثر معنی‌دار کاربرد باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفات بر مقدار KCont توسط وئو و همکاران (۲۰۰۵)، خان و زبیدی (۲۰۰۷)، راثی‌پور و علی‌اصغرزاده (۲۰۰۷)، عباسی و همکاران (۲۰۱۱) و انصاری و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شد.

ضریب تخصیص پتاسیم به بخش‌های مختلف گیاه

به‌طور کلی، KPC به اندام‌های مختلف در مقایسه با غلظت و مقدار پتاسیم تجمع یافته در بخش‌های مختلف گیاه از ثبات بیشتری برخوردار بود و کمتر تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در SE هیچ‌کدام از فاکتورها بر KPC به اندام‌ها اثر معنی‌داری نداشتند. تأثیر دو فاکتور P_{rate} و نوع گیاه زراعی در Anth بر ضریب تخصیص فسفر به تمام بخش‌ها معنی‌دار بود. در میان اثرات متقابل نیز، تنها اثر متقابل بین P_{rate} و نوع گیاه زراعی بر KPC به ریشه معنی‌دار ($p=0.05$) شد. نتایج تجزیه واریانس در HM حاکی از اثر معنی‌دار P_{rate} بر KPC به برگ، ساقه، ریشه و بخش هوایی بوته و اثر مایه‌زنی با باکتری بر KPC به ریشه و بخش هوایی بود. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین KPC به برگ و ساقه گندم و جو مشاهده شد (جدول ۷).

افزایش خطی KCont در مقابل افزایش مقدار مصرف P_{rate} در این مطالعه را می‌توان به افزایش خطی مؤلفه‌های آن یعنی تجمع ماده خشک (خسرویان و همکاران ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) و [K] اندام‌ها (شکل ۱) با افزایش مقدار مصرف P_{rate} نسبت داد. مشابه نتایج مطالعه حاضر، نتایج تعداد زیادی از مطالعات دیگر از جمله انصاری و همکاران (۲۰۱۴) در گیاه ذرت، فیضی‌اصل و ولی‌زاده (۲۰۰۵) در گیاه گندم توسط سینگ و همکاران (۲۰۰۴) در گندم، بهونیا و همکاران (۲۰۰۶) در شنبلیل و سوری و همکاران (۲۰۰۶) در گندم نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه در اثر مصرف کود شیمیایی فسفره است. همچنین، در مطالعه سینگ و همکاران (۲۰۱۵) همانند مطالعه‌ی حاضر، افزایش مصرف کود فسفره موجب افزایش خطی KCont در دانه و گاه شد. بدین‌صورت که کاربرد ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار KCont در دانه را به‌ترتیب به میزان ۳۲/۰۱ و ۴۵/۶۱ درصد و در گاه به ترتیب به میزان ۳۱/۸۹ و ۴۴/۶۲ درصد نسبت به تیمار ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار افزایش داد.

مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات نیز در هر سه مرحله، با اثر بر یک و یا هر دو مؤلفه ماده خشک و [K] اثر معنی‌داری بر مقدار KCont در تمام اندام‌ها در هر سه مرحله به‌جز ریشه در SE، و برگ و دانه در HM داشت (خسرویان و همکاران ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸، و جداول ۱، ۲، ۴ و ۵). وئو و همکاران (۲۰۰۵) اظهار داشتند که در مطالعه آن‌ها مایه‌زنی با باکتری نه‌تنها موجب افزایش رشد گیاه شد بلکه جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه را نیز افزایش داد. قربانی‌نصرآبادی و همکاران گزارش دادند که باکتری استرپتومایسس در شرایط آزمایشگاهی قادر به حل‌کنندگی پتاسیم (۲۷ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشند و در نتیجه آن، دسترس گیاهان به پتاسیم قابل استفاده افزایش می‌یابد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق افزودن اسیدهای آلی و ترشح آنزیم‌ها به محیط ریشه و در نتیجه کاهش

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P_{rate})، مایه زنی با باکتری *استرپتومایسیس* (Inc)، نوع گیاه زراعی ($Crop$) و اثرات متقابل آن‌ها بر ضریب تخصیص پتاسیم به برگ (K_{LPC})، ساقه (K_{SPC})، ریشه (K_{RIPC}) و بخش هوایی (K_{ShPC}) در مراحل طولی شدن ساقه (SE)، گرده افشانی ($Anth$) و رسیدگی برداشت (Hm).

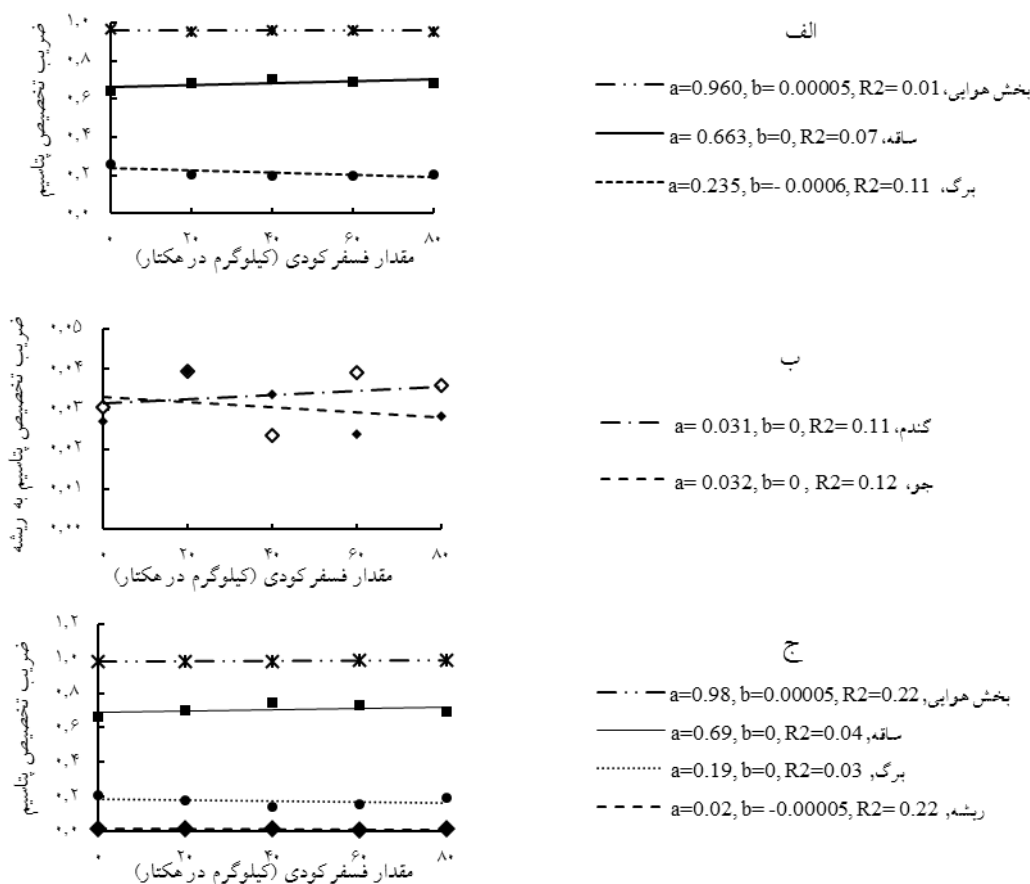
Anth				SE		Df	منابع تغییر
K_{ShPC}	K_{RIPC}	K_{SPC}	K_{LPC}	K_{ShPC}	K_{RIPC}		
۰/۰۰۰۲۰۸۷*	۰/۰۰۰۱۰*	۰/۰۰۰۴۵**	۰/۰۰۰۶۸**	۰/۰۰۰۷۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۷۵ ^{NS}	۴	P_{rate}
۰/۰۰۰۰۰۲۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۳ ^{NS}	۱	Inc
۰/۰۰۰۳۸۴۹*	۰/۰۰۰۰۴۷**	۰/۰۰۰۶۹۷**	۰/۰۰۰۳۰**	۰/۰۰۰۷۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۷۵ ^{NS}	۱	$Crop$
۰/۰۰۰۰۵۱۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۰*	۰/۰۰۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۷۹ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۴ ^{NS}	۴	$P_{rate} * Crop$
۰/۰۰۰۰۵۲۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۳۷	۲۰	Error
۰/۷۶	۱۵/۶۸	۳/۳۵	۱۳/۹۲	۲/۱۲	۲۰/۳۶		ضریب تغییرات (%)

Hm					Df	منابع تغییر
K_{ShPC}	K_{GnPC}	K_{RIPC}	K_{SPC}	K_{LPC}		
۰/۰۰۰۰۲۵۳**	۰/۰۰۰۱۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲۵۳**	۰/۰۰۰۸۱۳۱*	۰/۰۰۰۶۰**	۴	P_{rate}
۰/۰۰۰۰۸۷۷**	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۸۷۷**	۰/۰۰۰۱۱۷۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۲۳ ^{NS}	۱	Inc
۰/۰۰۰۰۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۲۹۴ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۶۵۳۴۹**/	۰/۰۰۰۰۴۰۳**	۱	$Crop$
۰/۰۰۰۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۱۹۶۷	۰/۰۰۰۰۹	۲۰	Error
۰/۲۴	۲۲/۶۹	۱۶/۳۳	۶/۲۹	۱۶/۶۹		ضریب تغییرات (%)

** و * به ترتیب معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ NS غیر معنی داری باشد؛ در مواردی که نتایج تجزیه واریانس نشان داده نشده است، اثر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر صفت (یا صفات) مندرج در جدول به لحاظ آماری معنی دار نبوده است.

مقدار آن تقریباً ثابت بود. به طور کلی، در Anth از مجموع مقدار پتاسیم تجمع یافته در بوته حدود ۶۳ درصد به ساقه و ۲۳ درصد به برگ (۹۶ درصد به بخش هوایی) و ۴ درصد به ریشه، و در HM حدود ۶۹ درصد به ساقه، ۱۹ درصد به برگ، ۱۰ درصد به دانه (۹۸ درصد به بخش هوایی) و ۲ درصد به ریشه اختصاص یافت (شکل ۳).

با در نظر داشتن نتایج تجزیه واریانس و به منظور بررسی روند تغییرات KPC به اندام‌ها در دو مرحله Anth و HM در مقابل مقدار مصرف P_{rate} ، توابع خطی جداگانه‌ای برازش داده شد. نتایج نشان داد که در هر دو مرحله، علی‌رغم معنی دار بودن اثر P_{rate} بر KPC به اندام‌ها، افزایش مصرف کود فسفره تأثیر قابل توجهی بر KPC به بخش‌های گیاه نداشت و در تمام مقادیر P_{rate}



شکل ۳- اثر مقدار فسفر کودی بر ضریب تخصیص پتاسیم به برگ، ساقه و بخش هوایی (الف)، و اثر متقابل آن با نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص پتاسیم به ریشه (ب) در مرحله گرده افشانی و بر ضریب تخصیص پتاسیم به برگ، ساقه، ریشه و بخش هوایی (ج) در مرحله رسیدگی

همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده مایه زنی با باکتری تأثیر قابل توجهی بر KPC به بخش هوایی بوته نداشت (جدول ۸).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که به طور کلی در هر دو مرحله Anth و HM تخصیص پتاسیم به برگ‌های جو بیشتر از گندم و به ساقه‌های جو کمتر از گندم بود.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص پتاسیم به برگ (K_{Lf}PC)، ساقه (K_{St}PC) و بخش هوایی (K_{Sh}PC) در مراحل گرده افشانی (Anth) و رسیدگی برداشت (HM)

HM		Anth		تیمار
K _{St} PC	K _{Lf} PC	K _{Sh} PC	K _{St} PC	
۰/۷۵ ^a	۰/۱۴ ^b	۰/۹۶۲ ^a	۰/۷۲ ^a	گندم
۰/۶۶ ^b	۰/۲۱ ^a	۰/۹۵۵ ^b	۰/۶۴ ^b	جو
۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲	LSD

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج حاصل از مطالعه حاضر حاکی از اثر قابل توجه مقدار مصرف P_{rate} ، مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات و نوع گیاه زراعی در هر سه مرحله SE، Anth و HM بر غلظت و KCont در اکثر بخش‌های گیاه بود. با این حال بین فاکتورها اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، نتایج بیانگر ثبات بیشتر KPC به بخش‌های مختلف بوته تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش بود. [K] اندام‌ها در SE به‌ترتیب پهنک و غلاف برگ < کل بوته < ریشه، در Anth به‌ترتیب برگ < بخش هوایی < ساقه < کل بوته < ریشه، و در HM به‌ترتیب ساقه < برگ < بخش هوایی < کل بوته < ریشه بود. مقدار پتاسیم تجمع یافته در اندام‌ها در هر سه مرحله مورد بررسی نیز، به‌ترتیب کل بوته < بخش هوایی < ساقه < برگ < دانه < ریشه بود.

KCont در اندام‌ها تابع دو مؤلفه تشکیل‌دهنده آن یعنی غلظت و مقدار ماده خشک آن اندام می‌باشد. با توجه به اثر معنی‌دار فاکتورهای آزمایش بر یک و یا هر دو مؤلفه تجمع، اثر آن‌ها بر KCont نیز مطابق انتظار معنی‌دار شد. همچنین، یافته‌های این آزمایش نشان داد که مصرف P_{rate} مقدار جذب پتاسیم را نسبت به شاهد عدم مصرف کود به‌صورت خطی افزایش داد. در SE، مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار KCont در ریشه، بخش هوایی و کل بوته را به‌ترتیب به میزان ۳۵۶/۵۲، ۲۹۲/۱۸ و ۲۹۷/۸۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، در Anth مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار KCont در برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته را به‌ترتیب به میزان ۱۲۱/۸۳، ۱۶۳/۱۰، ۲۱۱/۴۸، ۱۵۷/۸۰ و ۱۵۹/۷۲ درصد، و در HM

KCont در برگ، ساقه، دانه، ریشه، بخش هوایی و کل بوته را به‌ترتیب به میزان ۲۳۰/۱۳، ۲۴۶/۹۹، ۲۱۵/۲۲، ۱۵۲/۹۴ و ۲۴۱/۱۵ و ۲۳۹/۶۸ درصد نسبت به شاهد عدم مصرف کود افزایش داد.

از جمله راهکارهای سودمند برای بهبود وضعیت و کیفیت خاک و همچنین استفاده کمتر از منابع شیمیایی جهت تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، مدیریت صحیح بقایای گیاهی است. در نتیجه‌ی برداشت محصول، پتاسیم تجمع یافته در دانه (۱۰ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه) نیز از مزرعه خارج می‌شود و تنها مقدار ناچیز پتاسیم تجمع یافته در ریشه در خاک باقی می‌ماند. اینکه چه کسری از پتاسیم از مزرعه خارج شود، به مدیریت بقایای گیاهی (کاه و کلش) بستگی دارد. به عبارت دیگر، در صورتی که کل کاه و کلش به خاک برگردانده شود ۸۸ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گندم و جو به خاک بازگردانده می‌شود و اگر کل کاه و کلش با اهداف مختلف برای مثال استفاده در تغذیه دام از مزرعه خارج شود فقط ۲ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گندم و جو (فقط پتاسیم ریشه) به خاک برگردانده می‌شود و مابقی آن (۹۸ درصد) از مزرعه خارج می‌شود که بی‌تردید به‌طور قابل توجهی بر نیاز گیاهان زراعی بعدی در تناوب به کود پتاسه مؤثر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مطالعه به‌خاطر حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان از این مطالعه، مراتب قدردانی صمیمانه خود را به مسئولین محترم دانشگاه ابراز می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- Abbasi MK, Sharif S, Kazmi M, Sultan T and Aslam M, 2011. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth. Yield and nutrient uptake of plants. *Plant Biosystems*, 145(1): 159-168.
- Alihyaei M and Behbahani zade AA, 1997. Descriptions of soil chemical analysis methods. Soil and Water Research Institute, 1024 (2). (In Persian).
- Alikhani H A, Akbari GH A and Ghorchiani M, 2003. *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. University of Tehran.
- Ansari S, Sarikhani MR and Najafi N, 2014. Inoculation effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on corn in presence of indigenous microflora of soil. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4): 33-43. (In Persian).
- Antoun H, 2002. Field and greenhouse trials performed with phosphate-solubilizing bacteria and fungi. First International meeting on microbial phosphate solubilization. Salamanca, Spain. Pp. 16-19.
- Baniaghi N, Arzanesh MH, Ghorbanli M and Shahbazi M, 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters, antioxidant enzymes and microelements of canola under salt stress. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3(1): 17-27.
- Behbood M, Golchin A and Besharati H, 2011. The effects of phosphorus and inoculation with plant growth promoting rhizobacter (PGPR), *Pseudomonas fluorescens*, on yield and quality of potato tuber (*Agria Cultivar*). *Journal of Water and Soil*, 26(2): 260-271. (In Persian).
- Bhattacharyya PN and Jha DK, 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4): 1327-1350.
- Bhunja SR, Chauhan RPS, Yadav BS and Bhati AS, 2006. Effect of phosphorus, irrigation and *Rhizobium* on productivity, water use and nutrient uptake in fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*). *Indian journal of Agronomy*, 51(3): 239-241.
- Carlot M, Giacomini A and Casella S, 2002. Aspects of Plant-Microbe Interactions in Heavy Metal Polluted Soil. *Engineering in Life Sciences*, 22(1-2): 13-20.
- Darzi MT, Ghalavand A and Rejali F, 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(1): 1-19. (In Persian).
- Dongale JH and Kodrekar SB, 1993. Yield responses of sorghum-rice rotation to phosphorus and available soil moisture in an Alfisol. *Tropical Agriculture-London then Trinidad*, 70(3): 220-220.
- Fageria NK, 2009. *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRP Press.
- Feizi ASL V, Valizadeh GhR, 2005. Study of the effect of combined application of phosphorus and zinc on adsorption of nutrients and phosphorus and zinc residues in rainfed wheat field's cultivar sardari. *Seed and Plant Improvement Journal*, 21(2): 241-267. (In Persian).
- Gyaneshwar P, Kumar GN and Parekh LJ, 1998. Effect of buffering on the phosphate-solubilizing ability of micro-organisms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14(5): 669-673.
- Ghorbani-Nasrabadi R, Greiner R, Ali Alikhani H and Hamedi J, 2012. Identification and determination of extracellular phytate-degrading activity in actinomycetes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28 (7): 2601-2608.

- Kannahi M and Kowsalya M, 2013. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of *Vigna mungo* growth. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(5): 46-52.
- Khan MS and Zaidi A, 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(6): 355-362.
- Khavazi K and Malakuti MJ, 2001. The Necessity of Industrial Production of Bio-fertilizers in the Country. Soil and Water Research Institute. (in Persian).
- Khosravian T, Zeinali E, Siahmarguee A, GhorbaniNasrAbadi R and Aalimaghham SM, 2017. The effect of inoculation with *Streptomyces* and fertilizer phosphorus rate on biomass yield, yield components, and grain yield in wheat and barley. *Cereal Research*, 7(1): 257-273 (in Persian).
- Khosravian T, Zeinali E, Siahmarguee A, GhorbaniNasrAbadi R and Aalimaghham SM, 2018. Phosphorus and dry matter accumulation and partitioning coefficients as affected by fertilizer phosphorus rate and inoculation by *Streptomyces* bacteria in wheat and barley. *Electronic Journal of Crop Production*, 10(4): 39-58. (In Persian).
- Kumar V, Singh P, Jorquera MA, Sangwan P, Kumar P, Verma K and Agrawal S, 2013. Isolation of phytase-producing bacteria from Himalayan soils and their effect on growth and phosphorus uptake of Indian mustard (*Brassica juncea*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8): 1361-1369.
- Lavakush A, Yadav J, Verma J P, Jaiswal DK and Kumar A, 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). *Ecological Engineering*, 62: 123-128.
- Lifshitz R, Kloepper J W, Kozlowski M, Simonson C, Carlson J, Tipping E M and Zaleska I, 1987. Growth promotion of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions. *Canadian Journal of Microbiology*, 33(5): 390-395.
- Malboobi MA, Owlia P, Behbahani M, Sarokhani E, Moradi S, Yakhchali B, Deljou A and Heravi KM, 2009. Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(8): 1471-1477.
- Modaihsh AS, Al-Mustafa WA and Metwally AI, 1989. Effect of elemental sulphur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and soil*, 116(1): 95-101.
- Rasipur L and Asgharzadeh A, 2007. The interaction of phosphate solubilizing bacteria and (*Bradyrhizobium japonicum*) on growth indexes, nodule nutrients in soybean. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11 (40): 53-63. (In Persian).
- Saleh rastin N, 2005. Biofertilizers, management and soil health. Pp: 12-14. In. Khavazi k, AsadiRahmani H and Malakuti M J (Eds.). *The Need for Industrial Production of Biofertilizers in the Country*. Publ. Sana. (In Persian).
- Sarmadnia G and Koocheki A, 2002. *Physiology of Crop Plants*. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. (In Persian).
- Sharma A, Rawat U S and Yadav B K, 2012. Influence of phosphorus levels and phosphorus solubilizing fungi on yield and nutrient uptake by wheat under sub-humid region of Rajasthan, India. *ISRN Agronomy*, 2012:1-9.
- Sims JT and Sharpley N, 2005. *Phosphorus: Agriculture and the Environment*. American Society of Agronomy, Inc, Wisconsin USA.

- Singh K, Manohar RS, Choudhary R, Yadav AK and Sangwan A, 2015. Response of different sources and levels of phosphorus on yield, nutrient uptake and net returns on mungbean under rainfed condition. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, 35(4): 263-268.
- Singh MP, Kumar P, Kumar A, Kumar R, Diwedi A, Gangwar S, Kumar V and kumar Sepat N, 2016. Effect of NPK with biofertilizers on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in western uttar pradesh condition. *Society for Recent Development in Agriculture*, 16 (1): 83-87.
- Singh V, Paudia RS and Totawat KL, 2004. Effect of phosphorus and zinc nutrients of wheat (*Triticum aestivum*) in soils of sub-humid southern plains of Rajasthan. *Indian Journal of Agronomy*, 49(1): 46-48.
- Soltani A, 2006. Application of SAS in Statistical Analysis. Jihad University of Mashhad. (In Persian).
- Sundara B, Natarajan V and Hari K, 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. *Field Crops Research*, 77(1): 43-49.
- Suri VK, Chander G, Choudhary AK and Verma TS, 2006. Co-inoculation of VA-mycorrhizae (VAM) and phosphate solubilizing bacteria (PSB) in enhancing phosphorus supply to wheat in a typic Hapludalf. *Crop Research. Hisar*, 31(3): 357.
- Tabatabaei J, 2014. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press (in Persian).
- Verma J P, Yadav J, Tiwari K N and Kumar A, 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering*, 51: 282-286.
- Vessey JK, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255: 571-586.
- Wagar A, Shahroona B, Zahir ZA and Arshad M, 2004. Inoculation with ACC-deaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 41: 119-124.
- Wu SC, Caob ZH, Lib ZG, Cheunga KC and Wong MH, 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125: 155-166
- Zadoks JC, Chang TT and Konzak CF .1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421
- Ziadi N, Bélanger G, Gastal F, Claessens A, Lemaire G and Tremblay N, 2009. Leaf nitrogen concentration as an indicator of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*, 101(4): 947-957.