

## اثر مقدار کود فسفره و مایه‌زنی با باکتری استریتومایسس بر جذب و توزیع فسفر در گندم و جو در مراحل طویل شدن ساقه و گرده‌افشانی

تکتم خسرویان<sup>۱</sup>، ابراهیم زینلی<sup>۲\*</sup>، آسیه سیاهمرگویی<sup>۳</sup>، رضا قربانی نصرآبادی<sup>۴</sup> و سید مجید عالیمقام<sup>۴</sup>  
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲. عضو هیأت علمی و ۳. دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۰۴ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۶)

### چکیده

مراحل طولی شدن ساقه و گرده‌افشانی در گندم و جو، به دلیل تعیین اجزای عملکرد مرتبط با تعداد دانه، بسیار مهم هستند. از طرف دیگر، فسفر بعد از نیتروژن، مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد شناخته شده است. از این رو، به منظور بررسی تأثیر مقدار فسفر کودی (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار)، مایه‌زنی با باکتری *استریتومایسس* و نوع گیاه (گندم و جو) بر جذب و توزیع فسفر بین اندام‌های گیاه در این مراحل، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل، در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. نتایج، نشان دهنده افزایش خطی تجمع فسفر در بخش‌های مختلف گیاه، با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی بود به طوری که در مراحل طولی شدن ساقه و گرده‌افشانی، به ترتیب از ۰/۱۵ تا ۲/۷ و ۰/۲۵ تا ۹/۴۹ میلی‌گرم در بوته تغییر کرد. همبستگی میان تجمع فسفر در مراحل طولی شدن ساقه و گرده‌افشانی و عملکرد دانه، به وسیله تابع دوتکه‌ای خطی-مسطح توصیف شد. در این مراحل، افزایش تجمع فسفر، به ترتیب تا ۱/۷۸ و ۷/۶۶ میلی‌گرم در بوته، موجب افزایش عملکرد دانه شد ولی افزایش بیش‌تر از آن، تأثیری بر عملکرد نداشت. مایه‌زنی با باکتری، تجمع فسفر در بخش‌های هوایی گیاه در مرحله گرده‌افشانی را ۱۷/۷۵ درصد افزایش داد. در این مرحله، تجمع فسفر در بخش‌های مختلف بوته، به استثنای ساقه در جو، حدود ۳۷ درصد بیشتر از گندم بود. نتایج، حاکی از ثبات بیشتر ضریب توزیع فسفر به بخش‌های گیاه، در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود.

واژه‌های کلیدی: استریتومایسس، اندام‌های گیاه، باکتری حل‌کننده فسفات، مقدار فسفر کودی، عملکرد دانه.

## Effect of P fertilizer rate and inoculation with *Streptomyces* sp. On phosphorus uptake and partitioning at stem elongation and anthesis growth stages of wheat and barley

Toktam Khosravian<sup>1</sup>, Ebrahim Zeinali<sup>2</sup>, Asieh Siahmarguee<sup>2\*</sup>, Reza GhorbaniNasrAbadi and<sup>2</sup> Seyyed Majid Aalimaghani<sup>3</sup>

1. Graduate MSc Student, 2. Associate professor, 3. Assistant professor, 4. PhD student, Gorgan Univ. Agrc. Sci. Natur. Resources, Gorgan, Iran

(Received: February 22, 2017 - Accepted: January 16, 2018)

### ABSTRACT

Stem elongation and anthesis Stages are very important in wheat and barley due to the determination of the grain yield components related to the number of grain. On the other hand, Phosphorus after nitrogen, is known as the most important mineral nutrient limiting growth and yield. Hence, to investigate the effect of phosphorus fertilizer rate (0, 20, 40, 60 and 80 kg P ha<sup>-1</sup>), inoculation with *Streptomyces* sp. bacteria and crop species on the phosphorus accumulation and partitioning between plant organs in these two stages, an experiment was carried out as a factorial arrangement in a completely randomized design in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The results indicated that phosphorus accumulation was increased linearly in different parts of the plant by increasing the amount of applied phosphorus fertilizer, so that it changed from 0.15 to 2.7 mg per plant at stem elongation stage and 0.25 to 9.49 mg per plant at anthesis stage. Relationships of the amount of accumulated phosphorus in plant at stem elongation and anthesis growth stages with grain yield well described by a segmented linear-plateau function. At stem elongation and anthesis stages, increasing the accumulated phosphorus to 1.78 and 7.66 mg per plant respectively, increased grain yield but more phosphorus did not affect the yield. Inoculation with bacteria increased phosphorus accumulation in shoot parts as amount as 17.75% at anthesis stage. At these stages, phosphorus accumulation in different parts of plant except stem, in barley was about 37% more than wheat. Results showed that phosphorus partitioning coefficients to different plant parts were more stable than phosphorus accumulation and concentration.

**Keywords:** fertilizer phosphorus rate, grain yield, phosphate solubilizing bacterium, plant organs, *Streptomyces*..

\* Corresponding author E-mail: zeinalistudents@gmail.com

### مقدمه

در مدیریت تولید گیاهان زراعی، بهینه‌سازی شرایط محیطی به‌ویژه در مراحل مهم نمو، برای افزایش عملکرد، مورد توجه می‌باشد. در غلات از جمله گندم و جو، در مرحله طویل شدن ساقه، تشکیل سنبلچه به پایان رسیده است و تشکیل گلچه آغاز می‌شود. همچنین، تعداد نهایی دانه در سنبله در این گیاهان، در مرحله گرده‌افشانی مشخص می‌شود. این واقعیت‌ها، مراحل طویل شدن ساقه و گرده افشانی را به حساس‌ترین مراحل نمو غلات تبدیل کرده است، به طوری که هرگونه تنش محیطی از جمله تنش کمبود عناصر غذایی در این مراحل، می‌تواند بر صفات مرتبط با تعداد دانه در واحد سطح، اثر منفی گذارد و در نهایت، کاهش چشمگیر عملکرد دانه را در پی داشته باشد (Modhej & Fathi, 2003; Emam & Seqhateleslami, 2005; Siadat *et al.*, 2013). در گیاهان، فسفر پس از نیتروژن و پتاسیم، بیشترین فراوانی را دارد.

حتی در برخی خاک‌ها که ظرفیت تثبیت فسفر در آن‌ها بسیار زیاد است، فسفر می‌تواند عامل محدودکننده‌تری نسبت به نیتروژن باشد (Saleh Rastin, 2005). فسفر، جزئی از ساختمان تعدادی از ترکیبات حیاتی و ترکیبات سیستم انتقال اطلاعات ژنتیکی، از جمله اسیدهای هسته‌ای، فسفولیپیدهایی که غشای سلولی را تشکیل می‌دهند، آدنوزین تری فسفات و آدنوزین دی فسفات و ترکیب‌های حد واسط تنفس و فتوسنتز می‌باشد (Taiz *et al.*, 2015). از این رو، بسیاری از فرآیندهای متابولیکی، در نتیجه کمبود فسفر، دچار اختلال می‌شوند و غلظت کافی فسفر در بافت‌های گیاهی، برای به حداکثر رسانیدن رشد و عملکرد گیاهان زراعی ضروری است (Rodríguez & Fraga, 1999; Soltani, 2009; Venkatesh, 2014; Bélanger *et al.*, 2015). تبدیل و رسوب سریع ۷۵ تا ۹۰ درصد از فسفر کودی اضافه‌شده به خاک، به شکل کمپلکس‌های فلز-کاتیون غیرقابل استفاده برای گیاه، یکی از مهم‌ترین دلایل محدودیت فسفر برای رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. در اکثر خاک‌های زراعی، با وجود بالا بودن مقدار فسفر آلی و معدنی، به دلیل تشکیل پیوندهای قوی فسفر با کلسیم، منیزیم (در

خاک‌های قلیایی)، آهن و آلومینیوم (در خاک‌های اسیدی)، این عنصر به سرعت به شکل غیر قابل جذب در می‌آید و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Fageria, 2009). استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله استرپتومایسس‌ها، که قابلیت انحلال شکل‌های مختلف فسفات معدنی کم محلول را افزایش می‌دهند، راهکاری مؤثر و دوست‌دار محیط زیست، برای افزایش فسفر قابل استفاده برای گیاه و کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی فسفره می‌باشد (SubbaRoa, 1998; Rodríguez & Fraga, 1999; Sarikhani & Malboobi, 2008; Malboobi *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2009; Rajapaksha *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2013). در واقع، این باکتری‌ها از طریق تولید و ترشح متابولیت‌هایی از جمله اسیدهای آلی، ممکن است pH خاک را کاهش دهند و دسترسی به فسفر را افزایش دهند و در نهایت موجب افزایش رشد و نمو گیاه شوند (Arpana *et al.*, 2002). Sarikhani *et al.* (2013)، عدم تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات به صورت انفرادی یا ترکیبی، بر غلظت و تجمع فسفر در اواسط فصل رشد و معنی‌دار بودن تأثیر آن بر غلظت و تجمع فسفر در انتهای فصل رشد گندم را گزارش کردند. در مطالعه آن‌ها، بیشترین افزایش غلظت و تجمع فسفر، در تیمار مایه‌زنی دو باکتری به صورت هم‌زمان مشاهده شد. Rasipur & Asgharzadeh (2007)، افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی گیاه را در نتیجه استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش کردند. در شرایط تغذیه معدنی بهینه، فسفر ۰/۲ تا ۰/۸ درصد از ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد (Sharma1 *et al.*, 2013). غلظت فسفر در گیاه با گذشت زمان و افزایش تجمع ماده خشک، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد اما مقدار کل فسفر تجمع یافته در گیاه افزایش می‌یابد (Ziadi *et al.*, 2008). در شرایط کفایت فسفر قابل استفاده در خاک، مقدار کل فسفر تجمع یافته در اندام‌های هوایی، با افزایش تجمع ماده خشک افزایش می‌یابد اما این افزایش خطی نیست زیرا با پیشرفت نمو گیاه و افزایش تجمع ماده خشک، نسبت برگ به ساقه، به طور فزاینده‌ای کاهش پیدا می‌کند (Ziadi *et al.*, 2008; Bélanger *et al.*, 2015).

مطالعه گیاهان مختلف، به وضوح نشان‌دهنده میزان متفاوت تجمع فسفر در گیاهان زراعی در مراحل مختلف

مراحل مختلف نمو گندم در تمام سالها و محل‌های اجرای آزمایش را گزارش دادند و دلیل آن را زیاد بودن مقدار فسفر قابل‌استفاده در خاک (در پنج سالو پنج محل اجرای آزمایش، بیش از ۱۸/۵ و در سه مورد دیگر ۱۲/۶، ۱۰/۵ و ۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) ذکر کردند. در مقابل، Dordas (2009)، گزارش کردند که مصرف کود فسفره و کود فسفره + کود نیتروژنه، موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه و بخش رویشی گیاه در مرحله رسیدگی شد. با این حال، در مرحله گرده‌افشانی، فقط تأثیر مصرف کود فسفره بر غلظت فسفر در ساقه و برگ معنی‌دار بود و مصرف کود نیتروژنه، به‌تنهایی یا حتی کود فسفره + کود نیتروژنه، موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در گیاه نشد. در مطالعه Khosravian *et al.* (2016) نیز با افزایش مقدار فسفر کودی تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت فسفر در اندام‌های مختلف گندم و جو، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک افزایش پیدا کرد. یافته‌های آن‌ها حاکی از واکنش متفاوت غلظت فسفر اندام‌ها به مقدار فسفر کودی بود. بیشترین غلظت و شیب افزایش، در دانه و کمترین آن، در ریشه مشاهده شد. همچنین، نتایج مطالعه آن‌ها، نشان دهنده تفاوت معنی‌دار گندم و جو از نظر غلظت فسفر دانه، ساقه و برگ در این مرحله از نمو بود. هدف مقاله حاضر، بررسی غلظت و تجمع فسفر در اندام‌های رویشی (شامل ریشه، ساقه و برگ) دو گیاه زراعی راهبردی گندم و جو و همچنین، بررسی چگونگی تخصیص این عنصر پرمصرف، به اندام‌های یادشده در دو مرحله حساس طویل شدن ساقه و گرده‌افشانی، تحت تأثیر مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل با چهار تکرار، به صورت گلدانی، در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. مقدار فسفر کودی (شامل صفر، ۸/۴، ۱۶/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/۶ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک، برابر با صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار)، مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس به عنوان حل‌کننده فسفات (شامل مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با باکتری) و نوع گیاه زراعی (گندم رقم

رشد و نمو می‌باشد. برای مثال، Fageria *et al.* (2013) با بررسی الگوی جذب فسفر در گیاهان مختلف (ذرت، برنج آپلند، لوبیا و سویا) نشان دادند که سرعت جذب فسفر در اوایل دوره رشد اندک است اما با افزایش سن گیاه، تا زمانی که ساقه‌ها طویل می‌شوند (تا مرحله گرده‌افشانی در غلات)، به سرعت افزایش و پس از آن، کاهش می‌یابد. همچنین، یافته‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش سن گیاهان، علی‌رغم افزایش تجمع فسفر، غلظت فسفر در بوته کمتر می‌شود. نتایج مطالعه یادشده با نتایج Zahedifar *et al.* (2011) در مورد گندم مطابقت دارد. کاهش غلظت فسفر، با پیشرفت نمو گیاه، که به دلیل افزایش وزن خشک ساقه اتفاق می‌افتد، نشان‌دهنده اثر رقیق شدن عناصر در ماده خشک گیاهی می‌باشد (Ziadi *et al.*, 2009). در مطالعه Fageria *et al.* (2013)، برعکس زمان برداشت، در ابتدای فصل رشد، غلظت فسفر در غلات بیشتر از لگوم‌ها بود. این مسئله نشان‌دهنده تولید ماده خشک بیشتر، به ازای فسفر جذب‌شده (کارایی مصرف بالاتر) در ذرت و برنج، در مقایسه با سویا و لوبیا می‌باشد. از طرف دیگر، غلظت فسفر در دانه سویا و لوبیا، بیشتر از ذرت و برنج بود که حاکی از تقاضای بیشتر دانه، برای فسفر در لگوم‌ها نسبت به غلات است. یافته‌های مطالعه یادشده، تغییر تقاضای گیاه برای دریافت عناصر از خاک، در مراحل مختلف رشد و تغییر الگوی جذب مواد غذایی توسط گیاهان را نشان می‌دهد. Korkmaz *et al.* (2009)، با بررسی ژنوتیپ‌های مختلف گندم اظهار داشتند که با افزایش مقدار فسفر کودی، غلظت فسفر در بخش هوایی، به صورت غیرخطی افزایش پیدا می‌کند. در این مطالعه، تا مقدار مصرف ۵۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک، افزایش غلظت فسفر در همه ژنوتیپ‌ها، به صورت خطی اتفاق افتاد اما در مقادیر بیشتر از آن، شیب افزایش غلظت فسفر، به‌ویژه در مقادیر بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم، کاهش پیدا کرد. همچنین، واکنش جذب فسفر به مقدار فسفر کودی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، از روندی مشابه غلظت پیروی می‌کرد اما پس از آن، افزایش مقدار فسفر کودی، تأثیری بر جذب فسفر نداشت.

Bélangier *et al.* (2015)، با انجام آزمایش‌هایی در هشت سال و هشت محلمحل، عدم تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر در ماده خشک گیاهی، در

تفکیک اندام‌ها شامل ریشه، برگ، ساقه (به‌علاوه اجزای غیر دانه سنبله)، در مراحل طولیل شدن ساقه و گرده‌افشانی صورت گرفت. بدین منظور و در مراحل یادشده، بوته‌های هر گلدان از محل طوقه قطع شدند و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای جدا کردن ریشه از خاک، گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت به صورت اشباع از آب نگهداری شدند و سپس ریشه‌ها با استفاده از جریان آب، روی یک غربال با اندازه منافذ مناسب، از خاک جدا شدند. در آزمایشگاه، اندام‌های هوایی از یکدیگر تفکیک شدند و پس از خشک شدن در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی، نمونه‌ها به تفکیک اندام، به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند و سپس با تهیه یک زیرنمونه یک گرمی از هر نمونه، غلظت فسفر به روش معرف آمونیوم مولیبدات وانادات اندازه‌گیری شد (Alihyae & Behbahanizadeh, 1999; Ghazanshahi, 2006).

برای محاسبه ضریب تخصیص فسفر به هر یک از اندام‌های گیاه، ابتدا مقدار کل فسفر آن اندام، از ضرب غلظت فسفر در میزان ماده خشک به‌دست آمد و سپس عدد به‌دست آمده، به مقدار کل فسفر تجمع یافته در بوته تقسیم شد. غلظت فسفر کل بوته، از تقسیم حاصل جمع مقدار فسفر اندام‌های گیاه (شامل ریشه، ساقه و برگ) بر وزن خشک کل بوته به‌دست آمد. برای تجزیه واریانس، تجزیه رگرسیون و مقایسه میانگین‌ها، از نرم‌افزار SAS 9.2 (Soltani, 2010) و برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### غلظت فسفر در ماده خشک گیاهی

در مرحله طولیل شدن ساقه گندم و جو، ماده خشک بوته، بین ریشه و برگ و در مرحله گرده‌افشانی، بین سه اندام ریشه، برگ و ساقه (شامل اجزای سنبله به‌جز دانه) توزیع می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، در هر دو مرحله یادشده، اثر مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر در تمام اندام‌ها و بخش‌های گیاه، شامل ریشه، برگ، ساقه، بخش هوایی و کل بوته، در سطح احتمال یک درصد،

مروارید و جو رقم صحرا)، فاکتورهای آزمایش را تشکیل دادند. آزمایش در فضای آزاد انجام شد اما در هنگام بارندگی شدید، محل نگهداری گلدان‌ها با پلاستیک شفاف پوشانده شد. بذرها گندم و جو، در گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر و با ظرفیت هشت کیلوگرم خاک خشک، کشت شدند. تراکم نهایی بوته در هر گلدان، ۱۵ بوته (بر اساس تراکم ۳۶۰ بوته در مترمربع) تنظیم شد. خاک مورد استفاده، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری یک زمین زراعی، تأمین شد. این خاک دارای ۳۰ درصد شن، ۴۲ درصد سیلت، ۲۸ درصد رس، دارای بافت لوم رسی، هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۴۲ و مقدار کربن آلی ۲/۰۸۴ درصد و مقدار فسفر قابل جذب خاک ۵/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم (بسیار کم) بود. برای تأمین مقادیر مختلف فسفر کودی، از سوپر فسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد  $P_2O_5$ ) استفاده شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، پتاسیم کودی به مقدار ۵۰/۴ میلی‌گرم پتاسیم خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۲۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار)، به صورت سولفات پتاسیم و نیتروژن کودی، به میزان ۵۶/۲۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)، به صورت کود اوره، به کاربرده شد. تمام کود پتاسه، فسفره (بر اساس تیمار) و یک سوم از کود نیتروژنه، قبل از کاشت با خاک گلدان‌ها به‌طور یکنواخت مخلوط شد و باقی‌مانده کود نیتروژنه، به دو قسمت مساوی تقسیم شد و در مراحل پنجه‌زنی و مرحله طولیل شدن ساقه، به‌صورت سرک مصرف شد. جدایه *Streptomyces* sp. به شماره دسترسی KJ152149 که توانایی حل‌کنندگی فسفات آن قبلاً اثبات شده است و در پایگاه اطلاعات داده‌های GenBank ثبت شده بود (Ghorbani-Nasrabadi et al., 2014)، از آزمایشگاه بیولوژی گروه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه شد و مایه‌زنی با آن، بلافاصله قبل از کاشت، به‌صورت بذر مال انجام شد. آزمایش در شرایط عدم تنش رطوبتی انجام شد. بدین منظور، در طول فصل رشد، آبیاری گلدان‌ها به‌صورت منظم انجام شد. همچنین، در طول فصل رشد و در مواقع لزوم، استفاده از آفت‌کش‌های توصیه‌شده، با آفات و عوامل بیماری‌زا با مبارزه شد. نمونه‌برداری برای تعیین ماده خشک و غلظت فسفر، به

تمام مقادیر فسفر کودی، غلظت فسفر در بخش هوایی بوته، از ریشه بیشتر بود. غلظت فسفر ریشه، بخش هوایی و کل بوته (بخش هوایی+ریشه) در تیمار عدم مصرف کود فسفره، به ترتیب برابر ۱/۲۳، ۳/۳۳ و ۲/۴۱ گرم در کیلوگرم ماده خشک بود. با افزایش مقدار فسفر کودی، غلظت فسفر در بخش‌های فوق، به صورت خطی و به ترتیب با شیب ۰/۰۱۵، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۴ افزایش یافت و در نهایت، در مقدار فسفر کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب به ۲/۴۳، ۴/۴۶ و ۳/۸۳ گرم در کیلوگرم رسید (شکل ۱<sub>a</sub>).

معنی‌دار بود. مایه‌زنی با باکتری در مرحله طولی شدن ساقه، تنها بر غلظت فسفر ریشه اثر معنی‌دار داشت اما در مرحله گرده‌افشانی، بر غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته تأثیر معنی‌داری گذاشت. همچنین، تفاوت معنی‌داری ( $p=0.01$ ) بین گندم و جو در مرحله طولی شدن ساقه، از نظر غلظت فسفر بخش هوایی (برگ) و کل بوته (برگ+ریشه) و در مرحله گرده‌افشانی، از نظر غلظت فسفر در ساقه، بخش هوایی و کل بوته، مشاهده شد. تجزیه رگرسیون داده‌ها برای نشان دادن تغییرات غلظت فسفر ریشه، بخش هوایی و کل بوته در مرحله طولی شدن ساقه، در مقابل مقدار فسفر کودی نشان داد که در این مرحله، در

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P)، مایه‌زنی با باکتری/استرپتومایسس (Inc)، نوع گیاه زراعی (Crop)

و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر ([P]) برگ (Lf)، ساقه (St)، ریشه (Rt)، و اندام هوایی (Sh) و کل بوته (Tot) در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant).

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of phosphorus fertilizer rate (P), inoculation with *Streptomyces* bacteria (Inc), crop and their interactions on leaf (Lf), stem (St), root (Rt), shoot (Sh) and total plant (Tot) phosphorus concentrations ([P]) at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) stages.

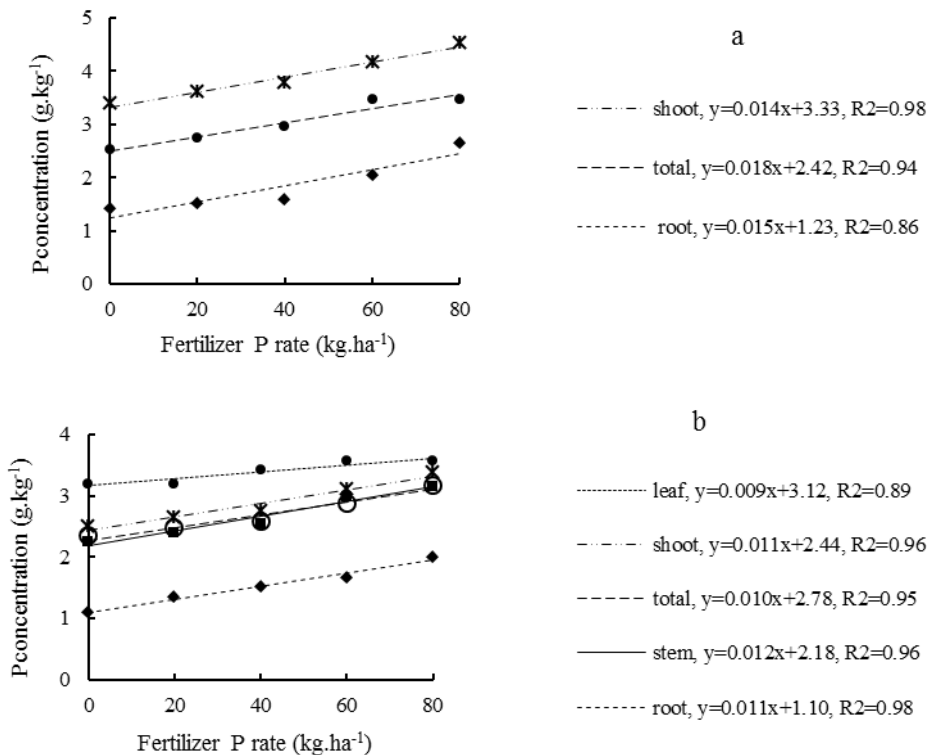
Source of variation	Df	SE			Ant				
		[P] <sub>Rt</sub>	[P] <sub>Sh</sub>	[P] <sub>Tot</sub>	[P] <sub>Lf</sub>	[P] <sub>St</sub>	[P] <sub>Rt</sub>	[P] <sub>Sh</sub>	[P] <sub>Tot</sub>
P	4	2.120**	1.641**	2.562**	0.6534**	1.207**	0.911**	1.032**	0.895**
Inc	1	0.504*	0.025 <sup>ns</sup>	0.044 <sup>ns</sup>	0.6085**	0.6085**	0.003 <sup>ns</sup>	0.356*	0.273*
Crop	1	0.294 <sup>ns</sup>	4.568**	1.804**	0.1889 <sup>ns</sup>	0.1889 <sup>ns</sup>	0.103 <sup>ns</sup>	1.434**	0.934**
P*Inc	4	0.044 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	0.0692 <sup>ns</sup>	0.0195 <sup>ns</sup>	0.094 <sup>ns</sup>	0.026 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>
P*Crop	4	0.218 <sup>ns</sup>	0.133 <sup>ns</sup>	0.020 <sup>ns</sup>	0.0231 <sup>ns</sup>	0.112 <sup>ns</sup>	0.066 <sup>ns</sup>	0.044 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>
Inc*Crop	1	0.237 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.0003 <sup>ns</sup>	0.020 <sup>ns</sup>	0.099 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.016 <sup>ns</sup>
P*Inc*Crop	4	0.056 <sup>ns</sup>	0.098 <sup>ns</sup>	0.057 <sup>ns</sup>	0.0616 <sup>ns</sup>	0.0009 <sup>ns</sup>	0.058 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>
Error	20	0.086	0.057	0.050	0.0516	0.063	0.066	0.048	0.035
c.v.		15.98	6.13	7.12	6.54	9.43	16.81	7.64	6.97

ازای هر کیلوگرم فسفر کودی متغیر بود. افزایش غلظت فسفر در اندام‌های مختلف بوته، در نتیجه افزایش مقدار فسفر کودی، توسط بسیاری از محققین گزارش شده است. *Fist et al.* (1987)، افزایش غلظت فسفر در ریشه و بخش هوایی گیاه، در پنج لگوم دانه‌ای گرمسیری را گزارش کردند. *Korkmaz et al.* (2009) نشان دادند که افزایش مقدار فسفر کودی، موجب افزایش غلظت فسفر در بخش هوایی ژنوتیپ‌های مختلف گندم شد. *Khosravian et al.* (2016) نیز نشان دهنده افزایش غلظت فسفر اندام‌های

بر اساس توابع خطی به‌دست آمده برای نشان دادن تغییرات غلظت فسفر در برابر مقدار فسفر کودی در مرحله گرده‌افشانی (شکل ۱<sub>b</sub>)، در تمام مقادیر فسفر کودی، ترتیب بخش‌های بوته، از نظر غلظت فسفر به‌صورت: برگ < بخش هوایی < کل بوته < ساقه < ریشه بود. البته، ساقه، بخش هوایی و کل بوته در این مرحله، از نظر غلظت فسفر، اختلاف قابل توجهی با یکدیگر نداشتند. شیب افزایش غلظت فسفر در اندام‌های یادشده در واکنش به افزایش مقدار مصرف فسفر کودی، بین ۰/۰۰۹ و ۰/۰۱۲ گرم به

بوده است، درحالی‌که در این مطالعه، این افزایش، به‌صورت خطی اتفاق افتاد. همچنین، برخلاف نتایج این مطالعه و مطالعات یادشده، یافته‌های *Bélangier et al.* (2015)، حاکی از عدم تأثیر مقدار مصرف فسفر کودی تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار، بر غلظت فسفر در ماده خشک گیاهی، در مراحل مختلف رشد گندم بود.

مختلف بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم و جو، در اثر افزایش کود فسفره بود. *Dordas* (2009) نیز افزایش غلظت فسفر دانه و بخش رویشی گندم در مرحله رسیدگی با افزایش مقدار فسفر کودی را گزارش کرده‌اند. البته، در بعضی از این مطالعات همچون *Fist et al.* (1987) و *Korkmaz et al.* (2009)، افزایش غلظت فسفر در ماده خشک بخش‌های مختلف گیاه در مقادیر کم فسفر کودی، به‌صورت خطی و در مقادیر زیاد فسفر، به‌صورت غیرخطی



شکل ۱- اثر مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر برگ (Leaf)، ساقه (Stem)، ریشه (Root)، بخش هوایی (Shoot) و کل بوته (Total) در مراحل طولیل شدن ساقه (a) و گرده‌افشانی (b)

Figure 1- Effect of phosphorus fertilizer (P) rate on leaf, stem, root, shoot and total plant phosphorus concentrations at stem elongation (a) and anthesis (b) stages.

موجب عدم تأثیر مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر در گیاه شد.

میانگین غلظت فسفر ریشه در مرحله طولیل شدن ساقه، در تیمار عدم مایه‌زنی، ۱/۷۲ و در تیمار مایه‌زنی، ۱/۹۵ گرم در کیلوگرم بود که نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار غلظت فسفر ریشه، در نتیجه مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس می‌باشد. همچنین مایه‌زنی با باکتری، باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی شد (جدول ۲). نتایج مقایسه

این اختلاف‌ها را بیش از هر چیز می‌توان به اختلاف مقدار فسفر قابل جذب خاک نسبت داد؛ بدین ترتیب که افزایش فسفر قابل جذب خاک تا یک حد معین، با افزایش خطی غلظت فسفر در ماده خشک همراه است؛ سپس این افزایش، به‌صورت غیرخطی ادامه می‌یابد و در مرحله بعد، افزایش مقدار فسفر قابل جذب در خاک، از طریق مصرف کودهای فسفره یا به روش‌های دیگر، تأثیری بر غلظت فسفر در گیاه ندارد. در مطالعه *Bélangier et al.* (2015) نیز مقدار زیاد فسفر قابل‌استفاده خاک مزرعه آزمایشی،

میانگین غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته در جو، به ترتیب ۱۵، ۱۴ و ۱۲ درصد بیشتر از گندم بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار غلظت فسفر بخش‌های یادشده در دو گیاه مورد مطالعه، در مرحله گرده‌افشانی می‌باشد (جدول ۲).

میانگین‌ها نشان داد که در مرحله طولی شدن ساقه، غلظت فسفر بخش هوایی و کل بوته در جو (به ترتیب ۴/۲۳ و ۳/۳۴ گرم در کیلوگرم)، به طور معنی‌داری بیشتر از گندم (به ترتیب ۳/۵۶ و ۲/۹۱ گرم در کیلوگرم) بوده است اما میان دو گیاه از نظر میانگین غلظت فسفر ریشه، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در مرحله گرده‌افشانی نیز

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر نوع گیاه زراعی و مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس بر غلظت فسفر (P) برگ (Lf)، ساقه (St)، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot) در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant).

Table 2- Mean comparison of the effect of crop and inoculation with *Streptomyces* bacteria on leaf (Lf), stem (St), shoot (Sh) and total plant (Tot) phosphorus concentrations (P) at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) stages.

Treatment	(P) <sub>Sh</sub> <sup>SE</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>Tot</sub> <sup>SE</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>St</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>Sh</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>Tot</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )
Wheat	3.56 <sup>b</sup>	2.91 <sup>b</sup>	2.48 <sup>b</sup>	2.69 <sup>b</sup>	2.54 <sup>b</sup>
Barley	4.23 <sup>a</sup>	3.34 <sup>a</sup>	2.85 <sup>a</sup>	3.07 <sup>a</sup>	2.84 <sup>a</sup>
LSD	0.16	0.15	0.17	0.15	0.12
	(P) <sub>Lf</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>Sh</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	(P) <sub>Tot</sub> <sup>Ant</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )		
Non-inoculation	3.35 <sup>b</sup>	2.59 <sup>b</sup>	2.61 <sup>b</sup>		
Inoculated with bacteria	3.60 <sup>a</sup>	2.73 <sup>a</sup>	2.77 <sup>a</sup>		
LSD	0.15	2.17	0.12		

مایه‌زنی تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر ساقه نداشت و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نیز، افزایش غلظت فسفر برگ و ریشه، به اندازه‌ای نبود که بتواند موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در بخش هوایی و کل بوته شود. از یافته‌های مطالعه حاضر و مطالعات دیگر چنین می‌توان استنباط کرد که تأثیر مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، از طریق افزایش مقدار فسفر محلول در خاک و سایر سازوکارها، در مراحل پیشرفته نمو، بیشتر آشکار می‌شود و در بسیاری از مطالعات، مایه‌زنی با باکتری، تأثیر چندانی بر غلظت و تجمع فسفر و سایر ویژگی‌های گیاه، در اوایل فصل رشد نداشته است. در ضمن، لازم است اضافه شود که غلظت بیشتر فسفر بخش هوایی و کل بوته در جو نسبت به گندم را می‌توان به غلظت بالاتر فسفر برگ در این گیاه نسبت داد.

#### تجمع فسفر در ماده خشک گیاهی

اثر مقدار فسفر کودی بر مقدار فسفر تجمع یافته در تمام بخش‌های گیاه، در هر دو مرحله طولی شدن ساقه و گرده‌افشانی، معنی‌دار ( $p=0.01$ ) بود (جدول ۳). در مرحله

نتایج این مطالعه با نتایج Rasipur & Asgharzadeh (2007)، مبنی بر افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی گیاه، در نتیجه استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات مطابقت دارد. در مقابل، Sarikhani *et al.* (2013)، عدم تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، بر غلظت و تجمع فسفر در اواسط فصل رشد و تأثیر معنی‌دار آن بر غلظت و تجمع فسفر در انتهای فصل رشد گندم را گزارش کردند. در مطالعه حاضر نیز تأثیر مایه‌زنی با باکتری در مرحله گرده‌افشانی، بیشتر از مرحله طولی شدن ساقه بود. به نظر می‌رسد که تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی بر غلظت فسفر در بخش هوایی و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی، بیشتر ناشی از افزایش غلظت فسفر برگ بوده است زیرا مایه‌زنی، تأثیر معنی‌دار و قابل توجهی بر غلظت فسفر در سایر اندام‌های گیاه نداشته است (جدول ۲).

بر اساس گزارش Khosravian *et al.* (2016)، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم و جو، فقط غلظت فسفر برگ و ریشه، تحت تأثیر مایه‌زنی افزایش یافت. در واقع، در هیچ یک از دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک،

رگرسیون برآزش داده‌شده به داده‌های تجمع فسفر در برابر مقدار فسفر کودی نشان داد که تجمع فسفر در تمام سطوح فسفر کودی، در ریشه > برگ > ساقه > بخش هوایی > کل بوته بود. مطابق انتظار، شیب افزایش تجمع فسفر نیز در کل بوته، بیشتر و در ریشه، کمتر از سایر بخش‌ها بود. مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های فوق، به صورت خطی به ترتیب با شیب ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۶، ۰/۰۳۷، ۰/۰۵۴ و ۰/۰۶۲ افزایش پیدا کرد (شکل ۲b).

طولیل شدن ساقه، مقدار فسفر تجمع یافته در ریشه، بخش هوایی و کل بوته در شاهد عدم مصرف فسفر کودی، به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۵۳ و ۰/۶۸ میلی‌گرم (به ترتیب معادل ۰/۵۴، ۱/۹۱ و ۲/۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود. با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی، تجمع فسفر در بخش‌های یاد شده، به صورت خطی و به ترتیب با شیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۲۰ و ۰/۰۲۵ افزایش یافت و در سطح فسفر کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب به ۰/۵۵، ۲/۱۳ و ۲/۶۸ میلی‌گرم در بوته (به ترتیب معادل ۱/۹۸، ۷/۶۷ و ۹/۶۵ کیلوگرم در هکتار) رسید (شکل ۱a). در مرحله گرده‌افشانی، توابع

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P)، مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس (Inc)، نوع گیاه زراعی (Crop) و اثرات متقابل آن‌ها بر تجمع فسفر در برگ (PLfCont)، ساقه (PStCont)، ریشه (PRtCont)، اندام هوایی (PShCont) و کل بوته (PTotCont) در مراحل طولیل شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant).

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of phosphorus fertilizer rate (P), inoculation with *Streptomyces* bacteria (Inc), crop and their interactions on leaf (Lf), stem (St), root (Rt), shoot (Sh) and total plant (Tot) phosphorus concentrations (PCont) at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) stages.

Source of variation	Df	SE			Ant				
		P <sub>Rt</sub> Cont	P <sub>Sh</sub> Cont	P <sub>Tot</sub> Cont	P <sub>Lf</sub> Cont	P <sub>St</sub> Cont	P <sub>Rt</sub> Cont	P <sub>Sh</sub> Cont	P <sub>Tot</sub> Cont
P	4	0.223**	3.267**	5.131**	2.257**	11.776**	0.537**	23.576**	31.186**
Inc	1	0.026 <sup>ns</sup>	0.053 <sup>ns</sup>	0.154 <sup>ns</sup>	2.373*	2.622*	0.001 <sup>ns</sup>	9.984**	9.763**
Crop	1	0.154**	2.240**	3.567**	7.443**	0.299 <sup>ns</sup>	0.310**	10.725**	9.683**
P*Inc	4	0.006 <sup>ns</sup>	0.038 <sup>ns</sup>	0.063 <sup>ns</sup>	0.020 <sup>ns</sup>	0.319 <sup>ns</sup>	0.030 <sup>ns</sup>	0.355 <sup>ns</sup>	0.407 <sup>ns</sup>
P*Crop	4	0.008 <sup>ns</sup>	0.121 <sup>ns</sup>	0.167 <sup>ns</sup>	0.382 <sup>ns</sup>	0.551 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	1.360 <sup>ns</sup>	1.236 <sup>ns</sup>
Inc*Crop	1	0.029 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.018 <sup>ns</sup>	0.437 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.350 <sup>ns</sup>	0.422 <sup>ns</sup>
P*Inc*Crop	4	0.008 <sup>ns</sup>	0.017 <sup>ns</sup>	0.034 <sup>ns</sup>	0.173 <sup>ns</sup>	0.846 <sup>ns</sup>	0.012 <sup>ns</sup>	1.013 <sup>ns</sup>	1.110 <sup>ns</sup>
Error	20	0.010	0.049	0.073	0.324	0.469	0.025	0.995	0.998
c.v.		28.73	16.64	16.04	26.50	15.90	27.45	15.46	14.22

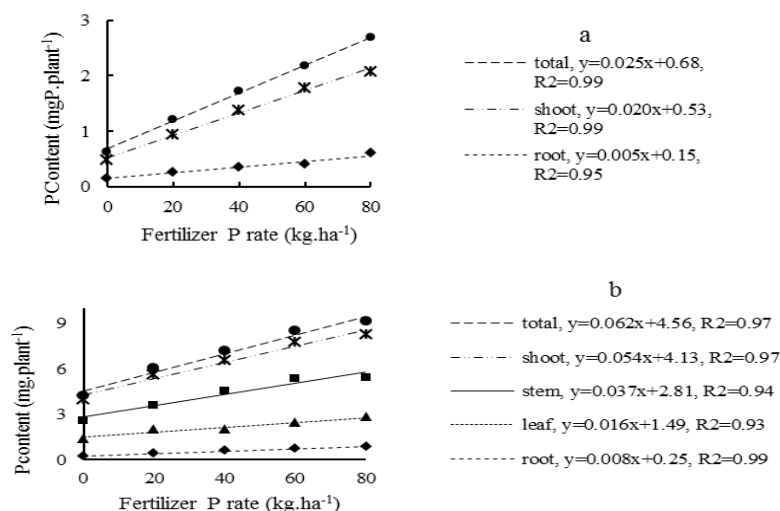
افزایش خطی مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌ها و کل بوته دو گیاه مورد بررسی را می‌توان به افزایش خطی مؤلفه‌های تعیین‌کننده آن یعنی غلظت فسفر و مقدار ماده خشک، در واکنش به افزایش مقدار فسفر کودی نسبت داد. در سایر مطالعات نیز افزایش مقدار مصرف فسفر کودی، از طریق تأثیر بر هر دو مؤلفه یادشده، به افزایش مقدار فسفر تجمع یافته در ماده خشک گیاهی منتهی شده است. با این حال، در موارد استثنا، مانند مطالعه *Bélanger et al.* (2015)، افزایش مقدار فسفر کودی، فقط از طریق افزایش تجمع ماده خشک، موجب افزایش تجمع فسفر شد. همچنان که پیش‌تر اشاره شد، در هر یک از دو مرحله طولیل شدن ساقه و گرده‌افشانی، با افزایش مقدار فسفر کودی، غلظت و تجمع فسفر در بخش‌ها و کل بوته، افزایش

مقدار کل فسفر جذب شده در مرحله گرده‌افشانی، در شرایط عدم مصرف فسفر کودی، ۱۵/۱۹ کیلوگرم در هکتار بود که ۵/۰۵ کیلوگرم (۳۴ درصد) به برگ، ۹/۳۰ کیلوگرم (۶۱ درصد) به ساقه و ۰/۸۰ کیلوگرم (۵ درصد) آن به ریشه اختصاص یافته بود. همچنین در این مرحله، مقدار کل فسفر جذب شده در شرایط مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر کودی، ۳۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار بود که سهم برگ، ۱۰/۱۸ کیلوگرم (۳۱ درصد)، سهم ساقه، ۱۹/۵۸ کیلوگرم (۵۹ درصد) و سهم ریشه ۳/۱۸ کیلوگرم (۱۰ درصد) بود. تجمع فسفر در اندام‌های یاد شده، در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، به ترتیب برای کل بوته ۱۱۷، بخش هوایی ۱۰۷، ساقه ۱۱۰، برگ ۱۰۲ و ریشه ۲۹۹ درصد بیشتر از شاهد عدم مصرف کود بود (جدول ۴).



شدن ساقه، به ترتیب ۰/۲۹، ۱/۱ و ۱/۳۹ میلی‌گرم و در جو، به ترتیب ۰/۴۲، ۱/۵۷ و ۱/۹۹ میلی‌گرم بود. بر این اساس، در این مرحله، مقدار فسفر تجمع یافته در ریشه، بخش هوایی و کل بوته در جو، به ترتیب ۴۵، ۴۳ و ۴۳ درصد بیشتر از گندم بود. همچنین، در مرحله گرده‌افشانی، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در جو، به ترتیب به میزان ۵۰، ۳۸، ۱۸ و ۱۹ درصد بیشتر از گندم بود. با توجه به داده‌ها، در مرحله طولی شدن ساقه، تجمع بیشتر فسفر در بخش‌ها و کل بوته جو نسبت به گندم، ناشی از بیشتر بودن هر دو مؤلفه ماده خشک و غلظت فسفر بود اما در مرحله گرده‌افشانی، به طور عمده، ناشی از غلظت بیشتر فسفر در ماده خشک گیاهی و نه مقدار ماده خشک بوده است (جدول ۵).

پیدا کرد. با این حال، در تمام سطوح فسفر کودی، غلظت فسفر در اندام‌های گیاه و کل بوته، در مرحله گرده‌افشانی، کمتر از مرحله طولی شدن ساقه بود. این کاهش غلظت را می‌توان به پدیده رقیق شدن فسفر در گیاه، به دلیل افزایش سهم ساختمان‌های کم فسفر مانند ساقه و پیر شدن اندام‌های گیاهی نسبت داد (Ziadi *et al.*, 2009; Fageria, 2013; Bélanger *et al.*, 2015). بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، مقدار فسفر تجمع یافته در ریشه، بخش هوایی (برگ) و کل بوته در مرحله طولی شدن ساقه و مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های یادشده، به‌علاوه برگ در مرحله گرده‌افشانی در جو، به طور معنی‌داری بیشتر از گندم بود. میانگین فسفر تجمع یافته در ریشه، بخش هوایی و کل بوته در گندم در مرحله طولی



شکل ۲- اثر مقدار فسفر کودی بر مقدار فسفر برگ (Leaf)، ساقه (Stem)، ریشه (Root)، بخش هوایی (Shoot) و کل بوته (Total)

در مراحل طولی شدن ساقه (a) و گرده‌افشانی (b)

Figure 2- Effect of phosphorus fertilizer (P) rate on leaf, stem, root, shoot and total plant phosphorus concentrations at stem elongation (a) and anthesis (b) stages.

افزایش تجمع فسفر در نتیجه مایه‌زنی با باکتری، به طور عمده، از طریق افزایش غلظت فسفر اتفاق افتاد. روابط رگرسیونی بر همبستگی قوی میان مقدار کل فسفر جذب شده و عملکرد دانه دلالت داشت. در مرحله طولی شدن ساقه، افزایش مقدار فسفر تجمع یافته در بوته گندم، تا ۱/۴۵۶ میلی‌گرم در بوته و در جو، تا ۲/۰۷۵ میلی‌گرم در بوته و با افزایش عملکرد دانه، به ترتیب به مقدار ۱/۰۵ و ۱/۰۹ گرم بوته نسبت به شاهد، همراه بود و پس از آن، تجمع بیشتر فسفر در بوته، تأثیری بر عملکرد دانه نداشت.

مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس، تأثیر معنی‌داری بر تجمع فسفر در اندام‌ها و کل بوته، در مرحله طولی شدن ساقه نداشت (جدول ۳). در مقابل، اثر مایه‌زنی بر مقدار فسفر تجمع یافته در تمام اندام‌ها و بخش‌های گیاه، به‌استثنای ریشه در مرحله گرده‌افشانی، معنی‌دار بود. میانگین تجمع فسفر در برگ، ساقه، بخش هوایی و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی، در نتیجه مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس، به ترتیب ۲۶، ۱۳، ۱۷ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (جدول ۵). در این مرحله نیز

افزایش خطی عملکرد همراه بود و عملکرد دانه در هر بوته را نسبت به شاهد، به ترتیب به مقدار ۱/۶۱ و ۱/۰۳ گرم افزایش داد ولی جذب بیشتر فسفر، به افزایش عملکرد دانه منتهی نشد (جدول ۶).

همچنین، تابع دوتکه‌ای برازش داده شده به داده‌های عملکرد دانه در بوته در برابر کل فسفر جذب شده در بوته در مرحله گرده‌افشانی، نشان‌دهنده افزایش مقدار فسفر تجمع یافته در بوته در گندم، تا ۶/۵۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و در جو، تا ۸/۷۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم، با

جدول ۴- مقدار فسفر تجمع یافته (PCont) در برگ (Lf)، ساقه (St)، ریشه (Rt)، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot) در گندم و جو در تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود فسفره) و مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر کودی در هکتار، در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant).

Table 4- The accumulated phosphorus (PCont) in leaf (Lf), stem (St), root (Root), shoot (Sh) and total plant (Tot) in wheat and barley in control (no phosphorus fertilization) and application of 80 kg phosphorus fertilizer ha<sup>-1</sup> treatments at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) stages.

Fertilizer phosphorus rate (kg. ha <sup>-1</sup> )	SE			Ant				
	P <sub>Rt</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Sh</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Tot</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Lf</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>St</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Rt</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Sh</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )	P <sub>Tot</sub> Cont (kg. ha <sup>-1</sup> )
0	0.588	1.728	2.291	5.045	9.342	0.797	14.396	15.188
80	2.174	7.497	9.666	10.179	19.575	3.177	29.750	32.931
Increasing content of phosphorus compared to the control (%)	270	334	322	102	110	299	107	117

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نوع گیاه زراعی و مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس بر مقدار فسفر برگ (PLfCont)، ساقه (PStCont)، ریشه (PRtCont)، بخش هوایی (PShCont) و کل بوته (PTotCont) در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant).

Table 5- Mean comparison of the effect of crop and inoculation with *Streptomyces* bacteria on leaf (Lf), stem (St), shoot (Sh) and total plant (Tot) phosphorus concentrations (PCont) at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) stages.

Treatment	SE			Ant			
	P <sub>Rt</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Sh</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Tot</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Lf</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>St</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Sh</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Tot</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )
Wheat	0.29 <sup>b</sup>	1.10 <sup>b</sup>	1.39 <sup>b</sup>	1.72 <sup>b</sup>	0.48 <sup>b</sup>	5.93 <sup>b</sup>	6.42 <sup>b</sup>
Barley	0.42 <sup>a</sup>	1.57 <sup>a</sup>	1.99 <sup>a</sup>	2.59 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	6.97 <sup>a</sup>	7.63 <sup>a</sup>
LSD	0.07	0.15	0.18	0.38	0.10	0.66	0.66

Treatment	Ant			
	P <sub>Lf</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>St</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Sh</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )	P <sub>Tot</sub> Cont (mg P. plant <sup>-1</sup> )
Non-inoculation	1.90 <sup>b</sup>	4.05 <sup>b</sup>	5.95 <sup>b</sup>	6.53 <sup>b</sup>
Inoculated with bacteria	2.39 <sup>a</sup>	4.56 <sup>a</sup>	6.95 <sup>a</sup>	7.52 <sup>a</sup>
LSD	0.38	0.45	0.66	0.66

جدول ۶- روابط رگرسیونی میان مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته در مراحل طولی شدن ساقه (SE) و گرده‌افشانی (Ant) با عملکرد دانه در گندم (Wheat) و جو (Barley).

Table 6- Regression relationships between total plant phosphorus content at stem elongation (SE) and anthesis (Ant) atages with grain yield in wheat and barley.

Coefficients	Wheat- SE	Barley-SE	Wheat- Ant	Barley- Ant
A	0.175±0.133	0.066±0.152	-0.018±0.194	0.065±0.202
B	0.720±0.135	0.505±0.109	0.182±0.039	0.118±0.030
C	1.456±0.142	2.075±0.195	6.577±0.563	8.751±0.872
Y(P <sub>c</sub> )	1.22	1.155	1.179	1.094
R <sup>2</sup>	0.78	0.81	0.75	0.63

a: interception, b: linear slope, c: minimum phosphorus content to reach the maximum grain yield, Y(P<sub>c</sub>): estimated grain yield in c, R<sup>2</sup>: determination coefficient, \*\* and \*: significant effect at p ≤ 1% and ≤ 5%, respectively; ns: non- significant at p ≤ 5% .

## توزیع فسفر بین بخش‌های مختلف بوته

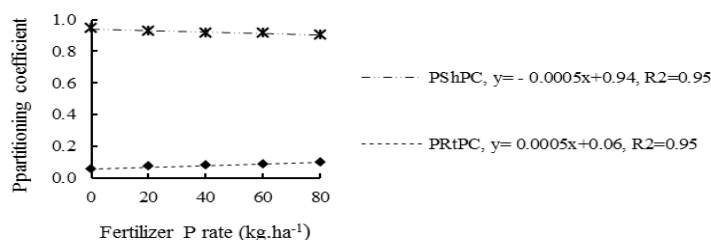
کودی بر ضریب تخصیص فسفر به ریشه و بخش هوایی و تأثیر نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص فسفر به برگ و ساقه، معنی‌دار ( $p=0.01$ ) شد ولی میزان این تأثیر، قابل توجه نبود (شیب خط کمتر از ۰/۰۰۰۵) (شکل ۳). همچنین در این مرحله، میانگین ضریب تخصیص فسفر به برگ گندم، هفت درصد کمتر از جو و میانگین ضریب تخصیص فسفر به ساقه گندم، هشت درصد بیشتر از جو بود (جدول ۷). بر اساس گزارش *Khosravian et al.* (2016)، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم و جو نیز، ضریب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته، از ثبات بسیار بیشتری در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر برخوردار بود.

نتایج، حاکی از ثبات بیشتر ضریب توزیع فسفر به اندام‌های گیاه، در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود. در مرحله طول شدن ساقه، تنها تأثیر متقابل مایه‌زنی و نوع گیاه زراعی بر ضریب توزیع فسفر به ریشه و بخش هوایی گیاه، به لحاظ آماری معنی‌دار بود. در گندم، در شرایط مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس، پنج درصد از ضریب تخصیص فسفر به ریشه کاسته شد و بر ضریب تخصیص فسفر به بخش هوایی افزوده شد در حالی که در جو، مایه‌زنی با باکتری، تأثیر معنی‌داری بر ضریب تخصیص فسفر به ریشه و بخش هوایی بوته نداشت (جدول ۷). در مرحله گرده‌افشانی نیز، اگرچه به لحاظ آماری، تأثیر مقدار فسفر

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس و نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص فسفر به ریشه (PRtPC) و بخش هوایی (PShPC) در SE و اثر نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص فسفر به برگ (PLfPC) و ساقه (PStPC) در مرحله گرده‌افشانی (Ant).

Table 7- The interaction between inoculation with *Streptomyces* bacteria and crop on phosphorus partitioning coefficient to root (PRtPC) and shoot (PShPC) in SE and the effect of crop on phosphorus partitioning coefficient to leaf (Lf) and stem (St) at anthesis (Ant) stage.

Treatment		P <sub>Rt</sub> PC	P <sub>Sh</sub> PC
Wheat	Non-inoculation	0.186 <sup>b</sup>	0.814 <sup>a</sup>
	Inoculated with bacteria	0.234 <sup>a</sup>	0.766 <sup>b</sup>
Barley	Non-inoculation	0.223 <sup>a</sup>	0.777 <sup>a</sup>
	Inoculated with bacteria	0.212 <sup>a</sup>	0.788 <sup>a</sup>
		P <sub>Lf</sub> PC	P <sub>St</sub> PC
Wheat		0.27 <sup>b</sup>	0.66 <sup>a</sup>
Barley		0.34 <sup>a</sup>	0.58 <sup>b</sup>
LSD		0.04	0.04



شکل ۳- اثر مقدار فسفر کودی بر ضریب تخصیص فسفر (PPC) به ریشه (Rt) و بخش هوایی (Sh) در مرحله گرده‌افشانی.  
Figure 3- Effect of phosphorus fertilizer (P) rate on phosphorus partitioning coefficient (PPC) to root (Rt) and shoot (Sh) at anthesis stage.

و جو، غلظت و تجمع فسفر، در مقایسه با ضریب تخصیص فسفر به اندام‌های مختلف، در واکنش به فاکتورهای

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در گندم

در بوته و در جو تا ۲/۰۸ میلی‌گرم در بوته، با افزایش عملکرد دانه همراه بود ولی مقادیر بیشتر از آن، بر عملکرد دانه تأثیری نداشت. تجمع فسفر به مقادیر یاد شده در گندم و جو، مستلزم مصرف ۴۳ کیلوگرم فسفر کودی در هکتار بود. در مرحله گرده‌افشانی نیز، افزایش مقدار فسفر تجمع یافته در بوته گندم تا ۶/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در جو تا ۸/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، افزایش عملکرد دانه را در پی داشت و جذب بیشتر فسفر، منجر به افزایش عملکرد دانه نشد. مقدار فسفر کودی مورد نیاز برای تجمع مقادیر فسفر یاد شده، به ترتیب ۴۳ و ۶۰ کیلوگرم فسفر کودی در هکتار بود. غلظت فسفر در مقادیر تجمع یافته یاد شده که عملکرد دانه در آن به حداکثر رسیده است را می‌توان به عنوان غلظت‌های بحرانی فسفر در دو مرحله طولیل شدن ساقه (درگندم ۲/۹۷ گرم در کیلوگرم و در جو ۳/۳۹ گرم در کیلوگرم) و گرده‌افشانی (درگندم ۲/۵۶ گرم در کیلوگرم و در جو ۳/۰۱ گرم در کیلوگرم) در نظر گرفت.

### سپاسگزاری

این مطالعه بدون حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان امکان‌پذیر نبود. از این رو نگارندگان، مراتب قدردانی صمیمانه خود را ابراز می‌نمایند.

آزمایش، به ویژه مقدار فسفر کودی، تغییرپذیری بسیار بیشتری داشته است. در هر دو مرحله طولیل شدن ساقه و گرده‌افشانی، مقدار فسفر کودی، بر غلظت و تجمع فسفر در تمام بخش‌های بوته، تأثیر قابل‌توجهی گذاشت در حالی که مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس در مرحله طولیل شدن ساقه، فقط غلظت فسفر ریشه و در مرحله گرده‌افشانی، فقط غلظت و تجمع فسفر در برگ و تجمع فسفر در ساقه را افزایش داد. همچنین یافته‌ها حاکی از آن بودند که در هر دو مرحله، غلظت و تجمع فسفر در برگ، بخش هوایی و کل بوته در جو بیشتر از گندم بود. مقدار کل فسفر جذب شده در مرحله طولیل شدن ساقه در تیمار شاهد (عدم مصرف کود فسفره)، ۲/۲۹ و در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، ۹/۶۶ و در مرحله گرده‌افشانی، به ترتیب ۱۵/۱۹ و ۳۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار بود. این مقادیر نشان می‌دهند که مقدار فسفر جذب شده با مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در مرحله طولیل شدن ساقه، ۳۲۲ درصد و در مرحله گرده‌افشانی، ۱۱۷ درصد افزایش یافته است. همچنین، این اعداد بیان‌گر افزایش ۵۶۳ و ۲۴۱ درصدی جذب فسفر، به ترتیب در تیمار عدم مصرف فسفر کودی و مصرف ۸۰ کیلوگرم کود فسفره در مرحله گرده‌افشانی، نسبت به مرحله طولیل شدن ساقه بود. در مرحله طولیل شدن ساقه، افزایش مقدار فسفر تجمع یافته در گندم تا ۱/۴۶ میلی‌گرم

### REFERENCES

1. Aliehyae, M. & Behbahanizadeh, A. A. (1999). Methods of Chemical Analysis of Soil. *Soil and Water Research Institute*, 893, P,127.
2. Arpana, N., Kumar, S. D. & Prasad, T.N. (2002). Effect of seed inoculation, fertility and irrigation on uptake of major nutrients and soil fertility status after harvest of late sown lentil. *Journal of Applied Biology*, 12, 23-26.
3. Bélanger, G., Ziadi, N., Pageau, D., Grant, C., Högnäsbacka, M., Virkajärvi, P., Hu, Z., Lu, J., Lafond, J. & Nyiraneza, J. (2015). A model of critical phosphorus concentration in the shoot biomass of wheat. *Agronomy Journal*, 107, 963-970.
4. Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen. & phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *European Journal of Agronomy*, 30(2), 129-139.
5. Emam, Y. & Seqhateleslami, M. J. (2005). *Crop Yield Physiology and Processes*. Shiraz University Press, P,593. (in Farsi)
6. Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRP Press. Pp, 430
7. Fageria, N. K., Moreira, A. & Dos Santos, A. B. (2013). Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. *Journal of Plant Nutrition*, 36(13), 2013-2022.
8. Fist, A. J., Smith, F. W. & Edwards, D. G. (1987). External phosphorus requirements of five tropical grain legumes grown in flowing-solution culture. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. (Pp: 299-308). Springer Netherlands.
9. Ghazanshahi, J. (2006). *Plant and Soil Analysis*. Publ Aiizh, P: 272.
10. Ghorbani-Nasrabadi, R., Aghaz Nashtifani, P. & Zebarjadi, M. (2014). Evaluation of soil *Streptomyces* sp. plant growth promotion traits and potential application in enhancing early maize growth and P uptake. *Journal of Soil Management and Sustainable. Production*, 4, 195-213. (in Farsi)

11. Khosravian, T., Zeinali, E., Siahmarguee, A., GhorbaniNasrAbadi, R. & Aalimaghani, S. M. (2016). 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*, Accepted. (in Farsi)
12. Korkmaz, K., Ibrikci, H., Karnez, E., Buyuk, G., Ryan, J., Ulger, A. C. & Oguz, H. (2009). Phosphorus Use Efficiency of Wheat Genotypes Grown in Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition*, 32(12), 2094-2106.
13. Malboobi, M. A., Owlia, P., Behbahani, M., Sarokhani, E., Moradi, S., Yakhchali, B., Deljou, A. & Morabbi Heravi, K. (2009). Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. *World Journal Microbiology and Biotechnology*, 25, 1471-1477.
14. Modhej, A., & Fathi, G. (2003). *Wheat Physiology*. Azad Islamic University of shushtar. P, 317. (in Farsi)
15. Oliveira, C. A., Alves, V. M. C., Marriel, I. E., Gomes, E. A., Scotti, M. R., Carneiro, N. P., Guimaraes, C., Schaffert, R. E. & Sa, N. M. H. (2009). Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1782-1787.
16. Rajapaksha, P. M. C. P., Hereath, D., Senanayake, A. P. & Senevirathne, M. G. T. L. (2011). Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth and yield of wetland rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(3), 301-314.
17. Rasipur, L. & 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 Farsi)
18. Rodríguez, H. & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4), 319-339.
19. Saleh Rastin, N. (2005). Biofertilizers, management and soil health. In. Khavazi, k., AsadiRahmani, H. and Malakuti, M. J. (Eds.). *The Need for Industrial Production of Biofertilizers in the Country*. Publ. Sana. Pp, 12-14. (In Persian).
20. Sarikhani, M. R. & Malboobi, M. A. (2008). Phosphate solubilizing bacteria and phosphate solubilizing genetics. The Tenth Congress of Genetics, Tehran. (in Farsi)
21. Sarikhani, M. R., Aliasgharzad, N. & Malboobi, M. A. (2013). Improvement of wheat phosphorus nutrition using phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 3 (1), 39- 57. (in Farsi)
22. Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. T. & Gobi., T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: *Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils*, SpringerPlus, 2(1), 587.
23. Siadat, S. A., modhej, A. & esfahani, M. (2013). *Cereal*. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad, P, 352. (in Farsi)
24. Soltani, A. (2009). *Textbook of Ecology, Crop Production, Cycling of Phosphorus in Agriculture*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
25. Soltani, A. (2010). *Application of SAS in Statistical Analysis*. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad, P, 182. (in Farsi)
26. SubbaRoa, W. S. (1998). Phosphate solubilizing microorganisms In: Biofertilizer in Agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 57, 133-142.
27. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Sinauer Associates, Incorporated.
28. Venkatesh, M. S., Hazra, K. K. & Ghosh, P. K. (2014). Determination of Critical Tissue Phosphorus Concentration in Mungbean and Urdbean for Plant Diagnostics. *Journal of Plant Nutritio.*, 37(12), 2017-2025.
29. Zahedifar, M., Karimian, N., Ronaghi, A., Yasrebi, J. & Emam Y. (2011). Phosphorus and Zinc Distribution in Different Parts and Various Growth Stages of Wheat Under Field Conditions. *Journal of Water and Soil*, 25 (3), 436- 445. (in Farsi)
30. Ziadi, N., Blanger, G., Cambouris, A. N., Tremblay, N., Nolin, M.C. & Claessens, A. (2008). Relationship between phosphorus and nitrogen concentration in spring wheat. *Agronomy Journal*, 100(1), 80-86.
31. Ziadi, N., Bélanger, G., Gastal, F., Claessens, A., Lemaire, G. & Tremblay, N. (2009). Leaf nitrogen concentration as an indicator of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*, 101(4), 947-957.