نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶
۳۹-۵۸
http://ejcp.gau.ac.ir

# تجمع و ضرایب تخصیص فسفر و ماده‌خشک تحت تأثیر مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* در گندم و جو

**تکتم خسرویان[۱]، *ابراهیم زینلی[۲]، آسیه سیاهمرگویی[۲]، رضا قربانی‌نصرآبادی[۲] و سید مجید عالیمقام[۱]**

[۱]دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]عضو هیأت علمی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۹

## چکیده

**سابقه و هدف:** اطلاعات مربوط به غلظت و تجمع فسفر در مادهٔ خشک گیاهی و ضرایب تخصیص آن به اندام‌های مختلف گیاه می‌تواند به بهبود مدیریت تغذیهٔ فسفری گیاهان زراعی و افزایش کارآیی استفاده از کودهای فسفره خالص کمک کند. علاوه‌بر این، اطلاعات یاد شده در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی موردنیاز می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی تأثیر مایه‌زنی با باکتری *Streptomyces* sp. و مقدار فسفر کودی (صفر، ۸/٤، ۱٦/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/٦ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک معادل صفر، ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) بر تجمع و تسهیم فسفر و ماده‌خشک در دو گیاه گندم (رقم مروارید) و جو (رقم صحرا)، در سال ۱۳۹٤ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار به‌صورت گلدانی در فضای باز در دانشگاه علوم کشاورزی گرگان اجرا شد. مقدار فسفر قابل جذب خاک مورد استفاده در آزمایش برابر ۵/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

**یافته‌ها:** نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر تجمع ماده خشک، غلظت فسفر و مقدار فسفر تجمع یافته در تمام اندام‌های گیاه ($P$=۰/۰۱) بود. مایه‌زنی نیز به‌طور معنی‌داری بر تجمع ماده خشک در تمام اندام‌های گیاه به‌استثنای دانه، و تجمع فسفر در همهٔ آن‌ها به‌جز ساقه تأثیر گذاشت اما تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر بخش‌های مختلف بوته به استثنای برگ و ریشه نداشت. از این‌رو، چنین استنباط می‌شود که مقدار فسفر کودی از طریق تغییر مقدار ماده خشک و غلظت فسفر، اما مایه‌زنی بیشتر از طریق تغییر مقدار ماده خشک بر تجمع فسفر تأثیر گذاشته است. همچنین، یافته‌های این مطالعه حاکی از ثبات بسیار زیاد ضرایب تخصیص ماده خشک و فسفر به بخش‌های مختلف بوته در مقایسه با تجمع ماده خشک و فسفر و غلظت فسفر بود. در شرایط عدم مصرف فسفر کودی، مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته گندم و جو به‌ترتیب ۳/۹۹ و ٤/۵۷ و در دانه آن‌ها به‌ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۹٤ میلی‌گرم در بوته بود. بر اساس مدل دوتکه‌ای برازش داده شده به داده‌ها، تجمع فسفر در کل بوته گندم و جو به‌ترتیب تا مصرف ۵۱ و ۵۹ و در دانه آن‌ها به‌ترتیب تا مصرف ٤۷ و ۵٤ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به‌صورت خطی افزایش یافت

*مسئول مکاتبه: e.zeinali@yahoo.com

ولی پس از آن، افزایش مصرف فسفر کودی موجب تغییر معنی‌دار تجمع فسفر در کل بوته و دانه نشد. مقدار فسفر تجمع‌یافته در کل بوته گندم و جو در مقادیر فسفر کودی یاد شده به‌ترتیب ۱۳/٦۷ و ۱۳/۳۸ و در دانه به‌ترتیب ۷/۹۵ و ٦/۲۹ میلی‌گرم در بوته بود. در هر دو گیاه مورد بررسی، در تمام مقادیر فسفر کودی، ترتیب اندام‌ها بر اساس مقدار فسفر تجمع یافته به‌صورت ریشه< برگ< ساقه< دانه بود.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های این مطالعه حاکی از افزایش تجمع ماده خشک، غلظت و تجمع فسفر در تمام اندام‌های گیاه با افزایش مقدار فسفر کودی و ثبات نسبی ضریب تخصیص ماده خشک و فسفر به اندام‌ها در مقادیر مختلف فسفر کودی بود. همچنین، مایه‌زنی رشد رویشی گیاه و از این طریق تجمع فسفر در گیاه را افزایش داد. نتایج این پژوهش روشن ساخت که در دو گیاه زراعی راهبردی گندم و جو به‌ازای هر تن دانه بسته به مقدار فسفر خاک ۳/٦ تا ۵/۹ کیلوگرم و به‌ازای هر تن کاه و کلش۱/۷ تا ۳/۹ کیلوگرم فسفر از خاک جذب می‌شود.

***واژه‌های کلیدی:*** برگ، دانه، ریشه، ساقه، غلظت فسفر

## مقدمه

فسفر، پس از نیتروژن مهم‌ترین عنصر معدنی تعیین‌کننده تولید و توزیع مواد فتوسنتزی در گیاهان است (۲۰ و ۳). در بعضی خاک‌ها، فسفر حتی بیشتر از نیتروژن، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌کند (۲۲ و ۲۱). اگر چه در بیشتر خاک‌های کشاورزی مقدار زیادی فسفر آلی و معدنی وجود دارد، ولی به‌دلیل تشکیل پیوندهای قوی فسفر با کلسیم و منیزیم در خاک‌های قلیایی و با آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی، این عنصر به‌سرعت به شکل غیرقابل جذب درآمده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (٤، ١٤، ١٦، ۲، ۱۳ و ۹). بعضی از ریزجانداران خاک از جمله باکتری‌های موسوم به باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB)[1] می‌توانند از طریق معدنی کردن فسفر آلی یا انحلال فسفر معدنی به افزایش قابلیت استفاده فسفر خاک کمک کنند. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه جنبه‌های مختلف استفاده از PSB شامل تأثیر آن‌ها بر میزان فسفر قابل استفاده خاک، و تجمع و توزیع ماده خشک و عناصر غذایی پرمصرف در بخش‌های مختلف گیاه، انجام شده است که به نتایج متناقضی منتهی شده است. این تناقض‌ها را می‌توان به تفاوت جنس‌ها، گونه‌ها و حتی جدایه‌های باکتری‌های مورد استفاده، گونه یا رقم گیاه زراعی، روش مایه‌زنی، استفاده از یک نوع یا ترکیبی از باکتری‌ها و بالاخره ویژگی‌های اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک نسبت داد (٦ و ۵).

با توجه به کم بودن مقدار فسفر قابل جذب در بیشتر خاک‌های زراعی، به‌طور معمول گیاهان زراعی در بیشتر مزارع به مقدار مصرف فسفر کودی واکنش نشان می‌دهند. میرزاشاهی (۲۰۱۲) تأثیر معنی‌دار مقدار کود فسفره بر تجمع کل ماده خشک و دانه گندم را گزارش کرد (۱۸). در مطالعه دو ساله دورداس (۲۰۰۹) در سال اول (سال کم باران)، ماده خشک برگ+ ساقه و ماده خشک کل بوته در گرده‌افشانی و رسیدگی و همچنین عملکرد دانه تحت تأثیر مصرف کود فسفر به‌تنهایی قرار نگرفت اما تحت تأثیر مصرف کود فسفره همراه با نیتروژنه افزایش یافت، در حالی‌که در سال دوم (سال پر باران) مصرف هر یک از کودها به‌تنهایی یا مصرف توأم آن‌ها صفات یاد شده را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. نتایج آن‌ها نشان‌دهندهٔ تفاوت تجمع و تسهیم ماده خشک به بخش‌های مختلف گیاه در تیمارهای کوددهی و شاهد

1- Phosphate solubilizing bacteria

(بدون کود) بود (٦). در مطالعه بلانجر و همکاران (٢٠١٥) مصرف کود فسفر تا ٣٠ کیلوگرم فسفر در هکتار، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک کل و دانه نداشت. آن‌ها بالا بودن محتوی فسفر قابل جذب خاک را به‌عنوان دلیل اصلی این عدم تأثیر بیان کردند (٥).

محمدی و همکاران (٢٠١١) تأثیر استفادهٔ هم‌زمان کود زیستی حاوی PSB با مقادیر مختلف فسفر را در شرایط مزرعه‌ای بر گیاه نخود (رقم هاشم) بررسی و گزارش کردند که با افزایش مقدار فسفر کودی وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک غلاف افزایش یافت (١٩). با این حال، نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش مقدار فسفر کودی تأثیر مایه‌زنی با باکتری کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در بیشترین مقدار مصرف کود فسفر، عملکرد ماده خشک در شرایط مایه‌زنی کمتر از عدم مایه‌زنی بود. در مقابل، میراحمدی و همکاران (٢٠١١) بیشترین مادهٔ خشک را برای تیمار تلفیقی بیشترین مقدار مصرف کود فسفره (٥٨ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌علاوه مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات شامل *Pseudomonas fluoresces* و *Azotobacter chroococcum* گزارش کردند (١٧).

کائور و ردی (٢٠١٥) دریافتند که وقتی از PSB همراه با سنگ فسفات استفاده شد، تجمع ماده خشک بخش هوایی و ریشه، عملکرد دانه و جذب کل فسفر در هر دو گیاه ذرت و گندم افزایش پیدا کرد (١٣). در مطالعهٔ ساریخانی و همکاران (٢٠١٣) مایه‌زنی با دو PSB به‌صورت مجزا و توأم تأثیر معنی‌داری بر تجمع ماده خشک در بوته‌های گندم در اواسط و انتهای فصل رشد نداشت (٢٣). یافته‌های امیری و همکاران (٢٠٠٩) نیز نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنی‌دار بین مادهٔ خشک بوته‌های سه رقم گندم در تیمارهای کاربرد کود زیستی حل‌کننده فسفات و عدم استفاده از این کود بود (٢). اما در مطالعه سوندارا و همکاران (٢٠٠٢) مایه‌زنی با PSB موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک گیاه شد (٢٥). ذبیحی و همکاران (٢٠٠٩) تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی با باکتری *Pseudomonas fluorescence* بر ماده خشک کل گندم در آزمایش مزرعه‌ای و عدم تأثیر معنی‌دار آن در آزمایش گلدانی را گزارش کردند (٢٧). در مطالعهٔ افضل و همکاران (٢٠٠٥) افزایش ماده خشک کل بوته‌های گندم تحت تأثیر مایه‌زنی با PSB *سودوموناس* و *باسیلوس* نسبت به شاهد به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (١).

نتایج مطالعه بلانجر و همکاران (٢٠١٥) حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر و نیتروژن در مراحل مختلف نمو گندم در تمام سال–محل‌های اجرای آزمایش به‌دلیل زیاد بودن مقدار فسفر قابل جذب خاک بود (٥). دورداس (٢٠٠٩) افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه و بخش رویشی گیاه در مرحله رسیدگی تحت تأثیر مصرف کود فسفره و کود فسفره + کود نیتروژنه و عدم تأثیر معنی‌دار مصرف کود نیتروژنه (به‌تنهایی) بر غلظت فسفر در بخش‌های رویشی و زایشی گیاه در این مرحله را گزارش کرد (٦). 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 اگرچه موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه گردید، اما این افزایش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

ساریخانی و همکاران (٢٠١٣) عدم تأثیر مایه‌زنی با PSB به‌صورت جداگانه یا ترکیبی از باکتری‌ها بر غلظت و تجمع فسفر در اواسط فصل رشد و تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی بر غلظت و تجمع فسفر در انتهای فصل رشد گندم را گزارش کردند (٢٣). احتشامی و همکاران (٢٠١٣) نشان دادند که استفاده هم‌زمان باکتری محرک رشد و کود شیمیایی فسفره سبب افزایش عملکرد جو و غلظت فسفر می‌شود (٨).

لاواکوش و همکاران (۲۰۱٤) با بررسی تأثیر تیمارهای ترکیبی انواع باکتری محرک رشد و مقدار کود فسفره گزارش کردند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد موجب کاهش مقدار فسفر کودی موردنیاز می‌شود (۱۵).

یافته‌های پژوهش توحیدی‌نیا و همکاران (۲۰۱٤) حاکی از آن بود که استفاده از کودهای زیستی حاوی PSB از طریق افزایش جذب فسفر از خاک موجب افزایش تولید ماده خشک دانه ذرت می‌شود (۲٦). در مطالعه‌ای دیگر، اثر متقابل معنی‌داری بین نوع باکتری محرک رشد و نوع دورگ ذرت در رابطه با وزن خشک اندام‌های مختلف و ضریب تخصیص ماده خشک به ریشه و بخش هوایی مشاهده شد.

اطلاعات مربوط به غلظت و تجمع فسفر در مادهٔ خشک گیاهی و چگونگی توزیع آن بین بخش‌های مختلف گیاه شامل ریشه و اندام‌های هوایی می‌تواند به برنامه‌ریزی دقیق‌تر در راستای بهبود تغذیهٔ گیاهان زراعی و همین‌طور بهبود کارآیی استفاده از کودهای شیمیایی فسفره کمک کند. ضمن این‌که این اطلاعات در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی موردنیاز می‌باشد (۳ و ۷). از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف تهیه اطلاعات موردنیاز در زمینه تجمع و توزیع ماده خشک و همچنین غلظت، تجمع و تسهیم فسفر در اندام‌های مختلف دو گیاه راهبردی گندم و جو تحت تأثیر فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* با استفاده از دو رقم متداول گندم و جو در استان گلستان در خاکی با مقدار فسفر قابل استفاده بسیار کم انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی به‌صورت فاکتوریل با چهار تکرار به‌صورت گلدانی در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹٤ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل مقدار مصرف فسفر کودی (شامل صفر، ۸/٤، ۱٦/۸، ۲۵/۲ و ۳۳/٦ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک معادل صفر، ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار)، نوع گیاه (گندم رقم مروارید و جو رقم صحرا) و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* حل‌کننده فسفات (شامل مایه‌زنی با باکتری و عدم مایه‌زنی) بودند. برای تأمین مقادیر مختلف فسفر از کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ٤٦ درصد $P_2O_5$) استفاده شد. بذور گندم و جو در گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کشت شدند. تراکم نهایی بوته در هر گلدان ۱۵ بوته (براساس ۳٦۰ بوته در مترمربع) تنظیم گردید. با توجه به تیمارها و اهداف آزمایش، از خاکی با محتوای فسفر قابل جذب کم (۵/۸ ppm) استفاده شد. خاک مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/٤۲، مقدار کربن آلی ۲/۰۸٤ درصد بود. درصد شن، سیلت و رس خاک مورد استفاده به‌ترتیب ۳۰، ٤۲ و ۲۸ درصد و بر این اساس بافت خاک لوم رسی (clay loam) تعیین شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، پتاسیم کودی به میزان ۵۰/٤ میلی‌گرم پتاسیم خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۲۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در هکتار) به‌صورت سولفات پتاسیم و نیتروژن کودی به‌میزان ۵٦/۲۵ میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک خشک (معادل ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) به‌صورت کود اوره به‌کار برده شد. تمام کود پتاسه و یک سوم از کود نیتروژنه قبل از کاشت با خاک گلدان‌ها به‌طور یکنواخت مخلوط گردید و باقی‌ماندهٔ کود نیتروژنه به دو قسمت مساوی تقسیم و در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌رفتن به‌صورت سرک مصرف شد. مقدار کود فسفره بر اساس تیمار محاسبه و پیش از کاشت به‌طور یکنواخت با خاک گلدان‌ها مخلوط گردید. مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بلافاصله قبل از کاشت به‌صورت بذرمال انجام شد. آزمایش در شرایط عدم تنش رطوبتی انجام شد، بدین منظور در طول فصل رشد آبیاری گلدان‌ها به‌صورت منظم انجام شد. در مرحله بین ساقه رفتن و گرده‌افشانی، برای کنترل سفیدک سطحی از

سم تیلت (با غلظت دو در هزار) و برای کنترل همزمان لکه خرمایی و شته از مخلوط سموم تیلت (یک در هزار) و مالاتیون (یک در هزار)، و در طول فصل رشد برای کنترل حلزون از قرار دادن طعمه مسموم (فولیکول) در فضای بین گلدان‌ها استفاده شد.

مایه‌زنی با جدایه *Streptomyces* Sp. به شماره دسترسی KJ152149، که توانایی حل‌کنندگی فسفات آن قبلا اثبات و در پایگاه اطلاعات داده‌های GenBank ثبت شده بود (١١)، بلافاصله قبل از کاشت انجام شد. بدین منظور ٢٥ میلی‌لیتر از مایه تلقیح جدایه *استرپتومایسس* رشد داده شده در محیط کشت ISP2 (١٠ گرم عصاره مالت، ٤ گرم گلوکز و ٤ گرم عصاره مخمر) با جمعیت $10^{7}$ CFU.ml$^{-1}$ در فلاسک ١٠٠ میلی‌لیتری حاوی ١٠٠ میلی‌گرم کربوکسی متیل سلولاز (cmc)، به‌عنوان ماده چسباننده، ریخته شد. ١٠ گرم بذر به‌مدت ١٢ ساعت در سوسپانسیون باکتریایی بر روی شیکر با دوران ١٥٠ دور در دقیقه خوابانیده شد. سپس، سوسپانسیون باکتریایی اضافی از فلاسک خارج شده و بذرها تحت شرایط استریل در زیر لامینا خشک شدند. بذرهای غوطه‌ور در محیط استریل ISP2 به‌همراه cmc به تیمارهای شاهد اضافه شدند (١٣).

در زمان رسیدگی برداشت (بر مبنای روش زادوکس (٢٩)) بوته‌های هر گلدان از محل طوقه قطع و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس گلدان‌ها به‌مدت ٢٤ 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 گردید. در آزمایشگاه، اندام‌های هوایی از یکدیگر تفکیک و به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ٧٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس به‌وسیله ترازو با دقت ٠/٠٠١ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی، نمونه‌ها به تفکیک اندام (ریشه، ساقه، برگ و دانه)، به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند. آن‌گاه، یک زیرنمونه یک گرمی از آن‌ها تهیه و برای اندازه‌گیری غلظت فسفر با استفاده از معرف نیترو- وانادو- مولیبدات مورد استفاده قرار گرفت (١٠).

ضریب تخصیص ماده خشک به هر یک از اندام‌های گیاه از تقسیم مقدار ماده خشک اندام بر وزن خشک کل گیاه محاسبه شد. برای محاسبه ضریب تخصیص فسفر به هر یک از اندام‌های گیاه ابتدا مقدار کل فسفر آن اندام از ضرب غلظت فسفر در میزان ماده‌خشک به‌دست آمد و سپس عدد به‌دست آمده به مقدار کل فسفر بوته تقسیم گردید. غلظت فسفر کل بوته از تقسیم حاصل جمع مقدار فسفر اندام‌های گیاه (شامل ریشه، ساقه، برگ و دانه) بر وزن خشک کل بوته به‌دست آمد. برای تجزیه واریانس و همین‌طور تجزیه‌رگرسیون داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 (٢٤) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. در مواردی که نیاز به مقایسه میانگین صفات کیفی بود از آزمون LSD در سطح آماری ٥ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

**تجمع و تسهیم ماده خشک:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار فسفر کودی به‌طور معنی‌داری ($p\leq$٠/٠١) بر تجمع ماده خشک در تمام اندام‌های گیاه شامل ریشه، ساقه، برگ، دانه، کل ماده خشک بخش هوایی و ماده خشک کل بوته (بخش هوایی+ریشه) تأثیر گذاشته است. مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* نیز به‌طور معنی‌داری بر تمام صفات یاد شده به استثنای تجمع ماده خشک دانه تأثیر گذاشت. تأثیر نوع گیاه و اثرات متقابل مقدار فسفر کودی با مایه‌زنی و با نوع گیاه و همین‌طور اثرات متقابل سه فاکتور آزمایش فقط بر مقدار ماده خشک تجمع یافته در برگ و در ساقه معنی‌دار بود (جدول ١).

تجزیه رگرسیون با در نظر گرفتن نتایج تجزیه واریانس انجام شد. بدین ترتیب که در مواردی که اثرات ساده معنی‌دار شده بود (مانند تجمع مادهٔ خشک در ریشه، بخش هوایی و کل بوته که اثرات ساده مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی بر آن‌ها معنی‌دار بود یا عملکرد دانه در بوته که فقط تأثیر مقدار فسفر کودی به لحاظ آماری بر آن معنی‌دار بود)، تجزیه رگرسیون برای اثرات ساده و در مواردی مانند تجمع مادهٔ خشک در ساقه و برگ که اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش معنی‌دار شده بود، تجزیه رگرسیون برای اثرات متقابل انجام شد (یعنی به داده‌های مقدار ماده خشک برگ و ساقه در برابر مقدار فسفر کودی چهار معادله برازش داده شد، دو معادله برای تیمارهای مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی در گندم و دو معادله برای تیمارهای مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی در جو). در ضمن، معادلات خطی و دو تکه‌ای از نکویی برازش بهتری نسبت به سایر معادلات برخوردار بودند. از این‌رو، بسته به صفت از یکی از این دو معادله که نکویی برازش بهتری داشت استفاده شد (جدول ۵).

رابطه بین مقدار فسفر کودی و ماده خشک تجمع‌یافته در دانه، بخش هوایی و کل بوته از یک مدل دو تکه‌ای پیروی می‌کرد. بدین ترتیب که با افزایش مقدار فسفر کودی تا یک حد معین (حدود ٤٨ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار)، مقدار ماده خشک به‌صورت خطی افزایش یافت و در مقادیر بیشتر از آن تأثیری بر مقدار ماده خشک نداشت. مقدار ماده خشک دانه، بخش هوایی و کل بوته در شاهد به‌ترتیب ۰/۵٦، ۱/۸٦ و ۲/۰٦ گرم در بوته و در مقدار فسفر کودی ٤٨ کیلوگرم به‌ترتیب ۱/۰۳، ۳/۳ و ۳/۵ گرم در بوته بود (شکل ۱). در میان صفات یاد شده، کمترین شیب (گرم افزایش در ماده خشک به ازای هر میلی‌گرم افزایش در مقدار مصرف فسفر کودی در خاک خشک) در ریشه (۰/۰۰۲) و به‌دنبال آن در دانه (۰/۰۱) و بیشترین شیب تغییرات در ماده خشک کل و بخش هوایی بوته (۰/۰۳) دیده شد. به بیان دیگر، مقدار افزایش ماده خشک دانه به‌ازای هر کیلوگرم افزایش در مقدار فسفر کودی ۵ برابر و در ماده خشک بخش هوایی و کل بوته ۱۵ برابر ریشه بوده است. همچنین، نتیجه مقایسه میانگین‌ها حاکی از افزایش معنی‌دار مقدار ماده خشک ریشه، بخش هوایی و کل بوته در نتیجهٔ مایه‌زنی نسبت به شاهد عدم مایه‌زنی بود (جدول ۳). مقدار این افزایش برای ریشه، بخش هوایی و کل بوته به‌ترتیب ۱۷، ۸ و ۹ درصد بود. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل بین سه فاکتور برای مقدار ماده خشک برگ و ساقه، معادله‌های جداگانه‌ای به داده‌های مقدار ماده خشک برگ و ساقه در گندم و جو در شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی در مقابل مقدار کود فسفره برازش داده شد. در گیاه گندم، تابع دوتکه‌ای نکویی برازش بهتری نسبت به سایر توابع برای توصیف تغییرات مقدار ماده خشک ساقه گندم در شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی، و مقدار ماده خشک برگ در شرایط عدم مایه‌زنی داشت، اما بین مقدار ماده خشک برگ و مقدار فسفر کودی در شرایط مایه‌زنی رابطه خطی وجود داشت. در گیاه جو، تغییرات مادهٔ خشک برگ در مقابل مقدار فسفر از تابع دوتکه‌ای و تغییرات ماده خشک ساقه از تابع خطی پیروی می‌کرد (جدول ۵).

**جدول ١- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P)، مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* (Inc) و نوع گیاه زراعی (Crop) و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع مادهٔ خشک (DM) و ضریب تخصیص (PC) ماده خشک به برگ (Lf)، ساقه (St)، ریشه (Rt)، دانه (Gn) و اندام هوایی (Sh) در گندم و جو.**

Table 1. Analysis of variance (mean of squares) of the effect of fertilizer phosphorus rate (P), inoculation with *Streptomyces* bacteria (Inc), crop and their interactions on dry matter (DM) and dry matter partitioning coefficient (PC) to leaf (Lf), stem (St), root (Rt), grain (Gn) and shoot (Sh) in wheat and barley.

| منبع تغییر Source of variation | درجه آزادی df | ماده خشک برگ $DM_{Lf}$ | ماده خشک ساقه $DM_{St}$ | ماده خشک ریشه $DM_{Rt}$ | ماده خشک دانه $DM_{Gn}$ | ماده خشک بخش هوایی $DM_{Sh}$ | ماده خشک کل $DM_{Tot}$ | ضریب تخصیص ماده خشک به برگ $DM_{Lf}$ PC | ضریب تخصیص ماده خشک به ساقه $DM_{St}$ PC | ضریب تخصیص ماده خشک به ریشه $DM_{Rt}$ PC | ضریب تخصیص ماده خشک به دانه $DM_{Gn}$ PC | ضریب تخصیص ماده خشک به بخش هوایی $DM_{Sh}$ PC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار فسفر کودی P | 4 | $0.050^{**}$ | $0.513^{**}$ | $0.051^{**}$ | $0.674^{**}$ | $3.055^{**}$ | $3.868^{**}$ | $0.00128^{**}$ | $0.0020^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ | $0.006^{*}$ | $0.0003^{ns}$ |
| مایه‌زنی با باکتری Inc | 1 | $0.015^{**}$ | $0.152^{**}$ | $0.026^{*}$ | $0.034^{ns}$ | $0.482^{**}$ | $0.731^{**}$ | $0.00001^{ns}$ | $0.0001^{ns}$ | $0.0005^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.0005^{ns}$ |
| نوع گیاه زراعی Crop | 1 | $0.574^{**}$ | $0.078^{*}$ | $0.003^{ns}$ | $0.088^{ns}$ | $0.033^{ns}$ | $0.056^{ns}$ | $0.05081^{**}$ | $0.0173^{**}$ | $0.0001^{ns}$ | $0.011^{*}$ | $0.0001^{ns}$ |
| مقدار فسفر*مایه‌زنی P*Inc | 4 | $0.013^{**}$ | $0.051^{*}$ | $0.002^{ns}$ | $0.025^{ns}$ | $0.056^{ns}$ | $0.067^{ns}$ | $0.00097^{**}$ | $0.0033^{*}$ | $0.0002^{ns}$ | $0.004^{ns}$ | $0.0002^{ns}$ |
| مقدار فسفر *نوع گیاه P*Crop | 4 | $0.012^{**}$ | $0.079^{**}$ | $0.003^{ns}$ | $0.034^{ns}$ | $0.125^{ns}$ | $0.138^{ns}$ | $0.00081^{*}$ | $0.0021^{ns}$ | $0.0002^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.0002^{ns}$ |
| مایه‌زنی*نوع گیاه Inc*Crop | 1 | $0.009^{*}$ | $0.015^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.008^{ns}$ | $0.016^{ns}$ | $0.008^{ns}$ | $0.00014^{ns}$ | $0.0014^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ |
| مقدار فسفر*مایه‌زنی*نوع گیاه P*Inc*Crop | 4 | $0.004^{*}$ | $0.051^{*}$ | $0.002^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.091^{ns}$ | $0.113^{ns}$ | $0.00010^{ns}$ | $0.0012^{ns}$ | $0.0001^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.0001^{ns}$ |
| خطا Error | 20 | 0.001 | 0.014 | 0.005 | 0.027 | 0.048 | 0.053 | 0.00018 | 0.0008 | 0.0005 | 0.002 | 0.0005 |
| ضریب تغییرات C.V. | | 7.7 | 9.2 | 21.9 | 16.7 | 7.9 | 7.5 | 8.5 | 6.9 | 21.1 | 14 | 2.3 |

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ١ و ٥ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر در سطح احتمال ٥ درصد یا کمتر.

** and *: significant effect at $p \leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively, ns: not- significant at $p \leq 5\%$ .

**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مقدار فسفر کودی (P)، مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* (Inc) و نوع گیاه زراعی (Crop) اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر ([P]) و مقدار (Cont) فسفر برگ (Lf)، ساقه (St)، ریشه (Rt)، دانه (Gn) و اندام هوایی (Sh) در گندم و جو.**

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) of the effect of fertilizer phosphorus rate (P), inoculation with *Streptomyces* bacteria (Inc), crop and their interactions on leaf (Lf), stem (St), root (Rt), grain (Gn) and shoot (Sh) phosphorus concentration ([P])and content (Cont) in wheat and barley.

| منبع تغییر Source of variation | درجه آزادی df | غلظت فسفر برگ $[P]_{Lf}$ | غلظت فسفر ساقه $[P]_{St}$ | غلظت فسفر ریشه $[P]_{Rt}$ | غلظت فسفر دانه $[P]_{Gn}$ | غلظت فسفر بخش هوایی $[P]_{Sh}$ | غلظت فسفر کل $[P]_{Tot}$ | مقدار فسفر برگ $P_{Lf}Cont$ | مقدار فسفر ساقه $P_{St}Cont$ | مقدار فسفر ریشه $P_{Rt}Cont$ | مقدار فسفر دانه $P_{Gn}Cont$ | مقدار فسفر بخش هوایی $P_{Sh}Cont$ | مقدار فسفر کل $P_{Tot}Cont$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار فسفر کودی P | 4 | $0.272^{**}$ | $2.767^{**}$ | $0.270^{**}$ | $7.7179^{**}$ | $4.151^{**}$ | $3.505^{**}$ | $0.405^{**}$ | $14.086^{**}$ | $0.169^{**}$ | $41.987^{**}$ | 116.894** | $125.614^{**}$ |
| مایه‌زنی با باکتری Inc | 1 | $0.216^{**}$ | $0.002^{ns}$ | $0.107^{**}$ | $0.4626^{ns}$ | $0.120^{ns}$ | $0.083^{ns}$ | $0.192^{**}$ | $0.853^{ns}$ | $0.080^{**}$ | $2.992^{*}$ | 9.555** | $11.382^{**}$ |
| نوع گیاه زراعی Crop | 1 | $0.525^{**}$ | $0.907^{**}$ | $0.018^{ns}$ | $4.8328^{**}$ | $0.423^{*}$ | $0.356^{*}$ | $3.105^{**}$ | $0.359^{ns}$ | $0.009^{ns}$ | $14.183^{**}$ | 1.973ns | $1.712^{ns}$ |
| مقدار فسفر*مایه‌زنی P*Inc | 4 | $0.006^{ns}$ | $0.064^{ns}$ | $0.014^{ns}$ | $0.5768^{ns}$ | $0.076^{ns}$ | $0.061^{ns}$ | $0.023^{*}$ | $0.140^{ns}$ | $0.009^{ns}$ | $0.597^{ns}$ | 0.149ns | $0.143^{ns}$ |
| مقدار فسفر *نوع گیاه P*Crop | 4 | $0.004^{ns}$ | $0.064^{ns}$ | $0.019^{ns}$ | $0.6390^{ns}$ | $0.135^{ns}$ | $0.121^{ns}$ | $0.062^{**}$ | $1.013^{*}$ | $0.011^{ns}$ | $2.414^{*}$ | 4.478** | $4.317^{**}$ |
| مایه‌زنی*نوع گیاه Inc*Crop | 1 | $0.006^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.014^{ns}$ | $0.0002^{ns}$ | $0.018^{ns}$ | $0.010^{ns}$ | $0.041^{*}$ | $0.014^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.352^{ns}$ | 0.075ns | $0.124^{ns}$ |
| مقدار فسفر*مایه‌زنی*نوع گیاه P*Inc*Crop | 4 | $0.012^{ns}$ | $0.190^{ns}$ | $0.013^{ns}$ | $0.2526^{ns}$ | $0.065^{ns}$ | $0.048^{ns}$ | $0.012^{ns}$ | $1.041^{*}$ | $0.007^{ns}$ | $0.314^{ns}$ | 0.713ns | $0.800^{ns}$ |
| خطا Error | 20 | 0.007 | 0.094 | 0.008 | 0.3855 | 0.089 | 0.068 | 0.007 | 0.342 | 0.007 | 0.570 | 0.844 | 0.889 |
| ضریب تغییرات C.V. | | 4.6 | 12.1 | 7.4 | 12.3 | 9.0 | 8.4 | 9.4 | 17.2 | 21.4 | 14.5 | 9.6 | 9.5 |

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر در سطح احتمال ۵ درصد یا کمتر.

** and * significant effect at $p \leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively, ns: not- significant at $p \leq 5\%$ .

**جدول ٣- اثر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر ماده خشک (DM) ریشه (Rt)، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot)، غلظت فسفر ([P]) برگ (Lf) و ریشه، و مقدار فسفر (Cont) ریشه، دانه (Gn)، بخش هوایی و کل بوته.**

Table 3. Effect of inoculation with *Streptomyces* bacteria on root (Rt), shoot (Sh) and total (Tot) dry matter (DM), leaf (Lf) and root phosphorus concentration ([P]), and root, grain (Gn), shoot and total Content (Cont).

| | ماده خشک ریشه (گرم در بوته) $DM_{Rt}$ ($g.plant^{-1}$) | ماده خشک بخش هوایی (گرم در بوته) $DM_{Sh}$ ($g.plant^{-1}$) | ماده خشک کل (گرم در بوته) $DM_{Tot}$ ($g.plant^{-1}$) | غلظت فسفر برگ (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Lf}$ ($g.kg^{-1}$) | غلظت فسفر ریشه (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Rt}$ ($g.kg^{-1}$) | مقدار فسفر ریشه (میلی‌گرم در بوته) $P_{Rt}Cont$ ($mg.plant^{-1}$) | مقدار فسفر دانه (میلی‌گرم در بوته) $P_{Gn}Cont$ ($mg.plant^{-1}$) | مقدار فسفر بخش هوایی (میلی‌گرم در بوته) $P_{Sh}Cont$ ($mg.plant^{-1}$) | مقدار فسفر کل (میلی‌گرم در بوته) $P_{Tot}Cont$ ($mg.plant^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عدم مایه‌زنی Uninoculation | $0.29^{b}$ | $2.67^{b}$ | $2.96^{b}$ | $1.75^{b}$ | $1.15^{b}$ | $0.34^{b}$ | $4.94^{b}$ | $9.04^{b}$ | $9.39^{b}$ |
| مایه‌زنی Inoculation | $0.34^{a}$ | $2.89^{a}$ | $3.23^{a}$ | $1.90^{a}$ | $1.25^{a}$ | $0.43^{a}$ | $5.48^{a}$ | $10.02^{a}$ | $10.45^{a}$ |
| LSD | 0.045 | 0.145 | 0.152 | 0.056 | 0.058 | 0.055 | 0.498 | 0.606 | 0.622 |

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

LSD: Least Significant Difference.

**جدول ٤- اثر نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص ماده خشک (DMPC) به ساقه (St) و دانه (Gn)، غلظت فسفر ([P]) برگ (Lf)، ساقه، دانه، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot)، و ضریب تخصیص فسفر به دانه ($P_{Gn}PC$).**

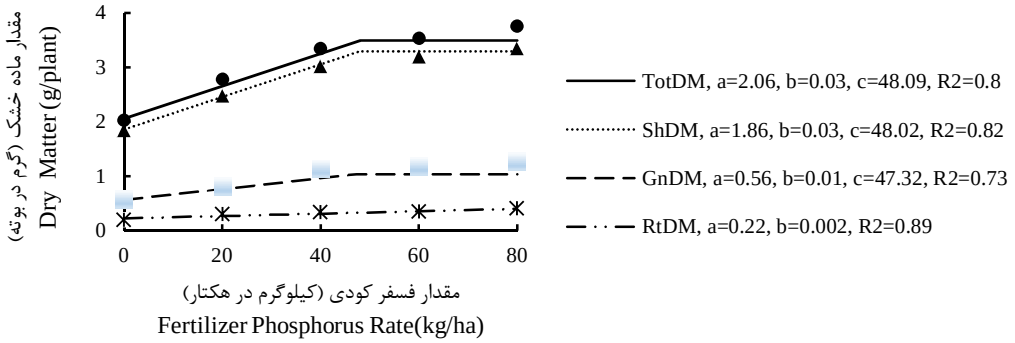
Table 4. Effect of crop on dry matter partitioning coefficient (DMPC) to stem (St) and grain (Gn), and leaf (Lf), stem, grain, shoot (Sh) and total (Tot) phosphorus concentration ([P]), and phosphorus partitioning coefficient to grain ($P_{Gn}PC$).

| | ضریب تخصیص ماده خشک به ساقه $DM_{St}$ PC | ضریب تخصیص ماده خشک به دانه $DM_{Gn}$ PC | غلظت فسفر برگ (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Lf}$ ($g.kg^{-1}$) | غلظت فسفر ساقه (گرم در کیلوگرم) $[P]_{St}$ ($g.kg^{-1}$) | غلظت فسفر دانه (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Gn}$ ($g.kg^{-1}$) | غلظت فسفر بخش هوایی (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Sh}$ ($g.kg^{-1}$) | غلظت فسفر کل (گرم در کیلوگرم) $[P]_{Tot}$ ($g.kg^{-1}$) | ضریب تخصیص فسفر به دانه $P_{Gn}$ PC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم Wheat | $0.44^{a}$ | $0.33^{a}$ | $1.71^{b}$ | $2.38^{b}$ | $5.39^{a}$ | $3.41^{a}$ | $3.18^{a}$ | $0.56^{a}$ |
| جو Barley | $0.40^{b}$ | $0.30^{b}$ | $1.94^{b}$ | $2.68^{a}$ | $4.69^{b}$ | $3.20^{b}$ | $3.00^{b}$ | $0.47^{b}$ |
| LSD | 0.019 | 0.029 | 0.056 | 0.203 | 0.500 | 0.197 | 0.172 | 0.040 |

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

LSD: Least Significant Difference.

یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج مطالعات میرزاشاهی (۲۰۱۲)، نتایج سال دوم مطالعه دورداس (۲۰۰۹)، محمدی و همکاران (۲۰۱۱)، سوندارا و همکاران (۲۰۰۲)، بخش مزرعه‌ای مطالعه ذبیحی و همکاران (۲۰۰۹)، کائور و ردی (۲۰۱۵) و توحیدی‌نیا و همکاران (۲۰۱٤) مبنی‌بر افزایش کل تولید ماده خشک و عملکرد دانه تحت تأثیر مصرف کود فسفره، مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد گیاه و یا کاربرد تلفیق آن‌ها مطابقت، ولی با نتایج مطالعه بلانجر و همکاران (۲۰۱۵) بخش آزمایش گلدانی مطالعه ذبیحی و همکاران (۲۰۰۹)، نتایج سال اول مطالعه دورداس (۲۰۰۹)، مطالعه ساریخانی و همکاران (۲۰۱۳) و مطالعه امیری و همکاران (۲۰۰۹) مغایرت داشت که این تفاوت به عوامل مختلفی مربوط می‌باشد (۲، ۵، ٦، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۲٦، ۲۷).




**شکل ۱- اثر مقدار فسفر کودی بر ماده خشک (DM) ریشه (Rt)، دانه (Gn)، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot).**

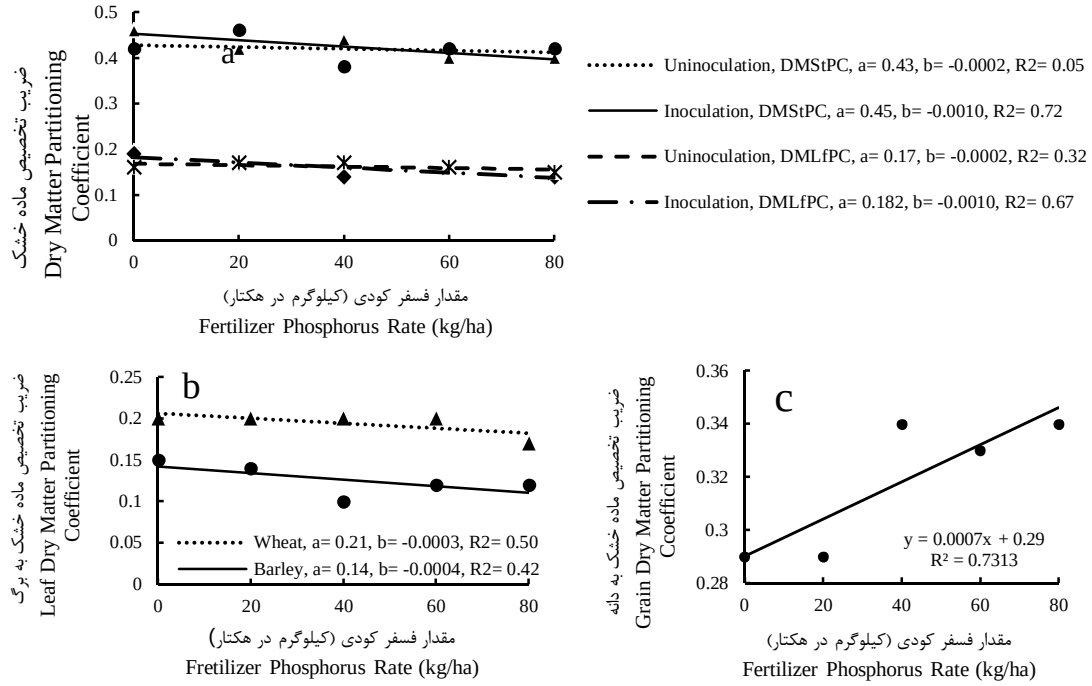
Figur 1. Effect of fertilizer phosphorus rate on the root (Rt), grain (Gn), shoot (Sh) and total plant (Tot) dry matter (DM).

برای مثال، در سال اول مطالعه دورداس (۲۰۰۹) میزان بارندگی کمتر از معمول بود، در نتیجه به‌دلیل فراهم نبودن رطوبت کافی، دسترسی گیاه به فسفر خاک کاهش یافته و در نتیجه تولید ماده خشک تحت تأثیر مصرف کود فسفره قرار نگرفت، اما در سال دوم که دارای بارندگی بیشتر بود، مصرف کود فسفره موجب افزایش تولید ماده خشک شد) (٦). همچنین، عدم تأثیر مصرف کود فسفره بر عملکرد ماده خشک در مطالعه بلانجر و همکاران (۲۰۱۵) ناشی از زیاد بودن مقدار فسفر قابل جذب خاک (بیش از ۱۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ۵ محل- سال از ۸ محل- سال آزمایش) در مطالعه آن‌ها و کم بودن مقدار فسفر قابل جذب خاک (کمتر از ٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مطالعه حاضر می‌باشد (۵). همچنین، محمدی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش مقدار فسفر کودی وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک غلاف افزایش اما تأثیر مایه‌زنی با باکتری کاهش یافت (۱۹).

نگاهی کلی به نتایج تجزیه واریانس به‌وضوح نشان می‌دهد که ضریب تخصیص مادهٔ خشک به اندام‌های مختلف بوته در مقایسه با مقدار مادهٔ خشک تجمع یافته در آن‌ها از ثبات نسبی بیشتری برخوردار بوده و در واکنش به فاکتورهای آزمایش تغییر کمتری داده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مقدار فسفر کودی فقط بر ضرایب تخصیص مادهٔ خشک به برگ و دانه تأثیر معنی‌دار داشته و تأثیر مایه‌زنی بر هیچ‌یک از ضرایب تخصیص مادهٔ خشک به اندام‌ها معنی‌داری نبوده است. بین دو گیاه گندم و جو از نظر ضریب تخصیص ماده خشک به برگ، ساقه و دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت، و تأثیر متقابل مقدار فسفر کودی با مایه‌زنی بر ضریب تخصیص مادهٔ خشک به برگ و ساقه، و تأثیر متقابل آن با نوع گیاه فقط بر ضریب تخصیص مادهٔ خشک به برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌های تجمع و تخصیص مادهٔ خشک، بیشترین تغییرات

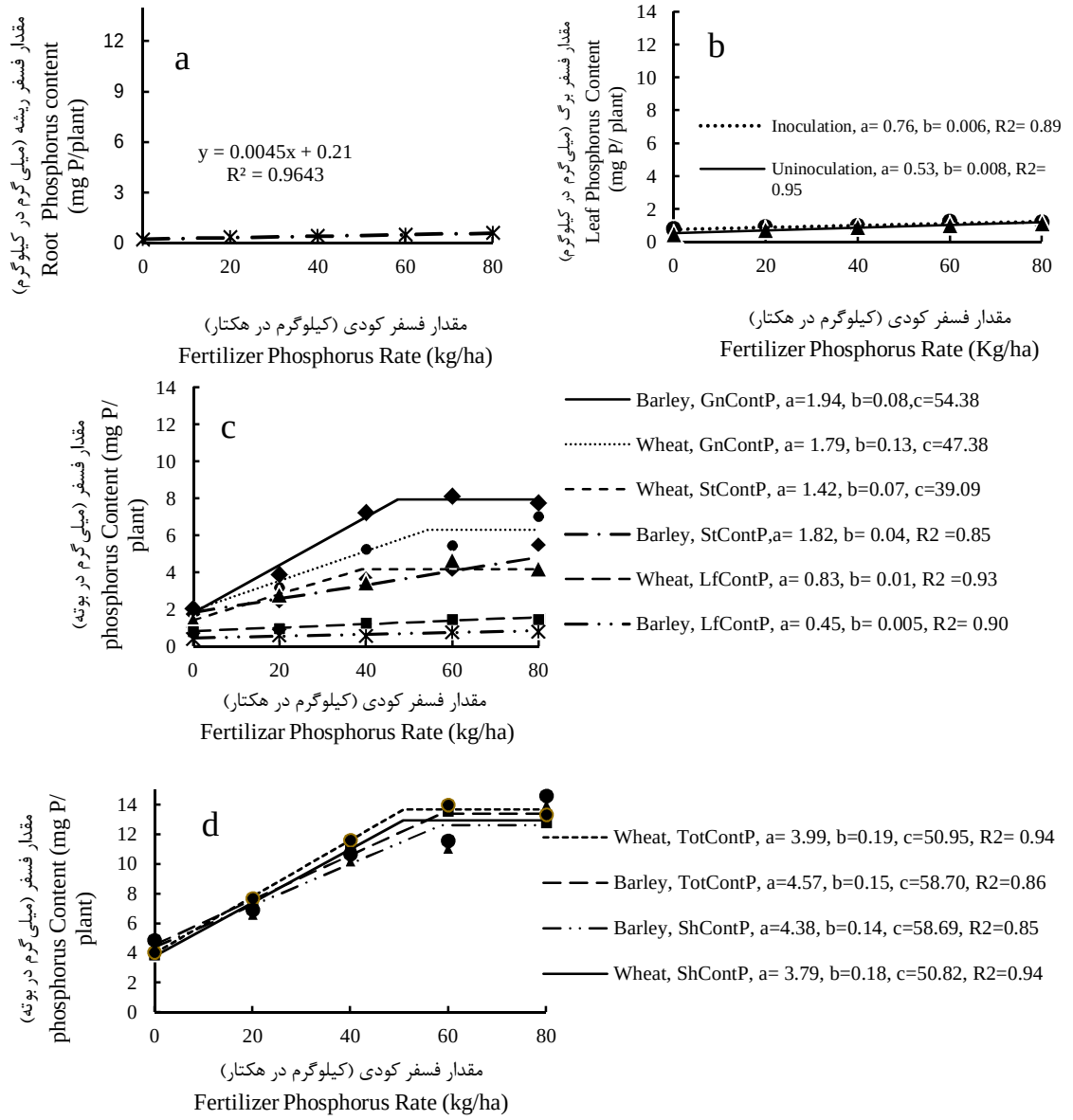
تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها مربوط به برگ و سپس مربوط به ساقه و کمترین تغییرات مربوط به ریشه بوده است.

نتایج تجزیه رگرسیون داده‌ها حاکی از آن بود که در تمام مقادیر کود فسفر ضریب تخصیص ماده خشک به برگ در گندم بیشتر از جو بوده و در هر دو گیاه با افزایش مقدار کود فسفر ضریب تخصیص ماده خشک به برگ کاهش یافته است. این ضریب در شرایط عدم مصرف فسفر کودی در گندم و جو به‌ترتیب ۰/۲۱۰ و ۰/۱٤۰ بود و با افزایش مقدار فسفر به‌ترتیب با شیب ۰/۰۰۰۳ و ۰/۰۰۰٤ کاهش یافته و در مقدار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ۰/۱۸٦ و ۰/۱۱۰ رسید (شکل ۲). همچنین، ضریب تخصیص ماده خشک به برگ در شاهد در شرایط عدم مایه‌زنی ۰/۱٦۸ و در مایه‌زنی ۰/۱۸۲ بود که نشان‌دهنده افزایش نسبی آن تحت تأثیر مایه‌زنی می‌باشد. روند تغییرات ضریب یاد شده در دو شرایط نشان می‌دهد که با افزایش مقدار فسفر کودی از تأثیر مثبت مایه‌زنی بر ضریب تخصیص ماده خشک به برگ کاسته شد به‌طوری‌که در مقادیر زیاد فسفر کودی، هر چند به میزان بسیار جزئی، در شرایط عدم مایه‌زنی نسبت به مایه‌زنی بیشتر شده است (شکل ۲a). چنین روندی در مورد واکنش ضریب تخصیص ماده خشک به ساقه به‌مقدار فسفر در دو شرایط مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی نیز مشاهده شد. ضریب تخصیص ماده خشک به ساقه در شاهد عدم مصرف فسفر کودی در شرایط عدم مایه‌زنی و مایه‌زنی به‌ترتیب ۰/٤۳ و ۰/٤٥ و در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌ترتیب ۰/٤۲ و ۰/۳۷ بود (شکل ۲a). نتیجه تجزیه رگرسیون حاکی از آن بود که بر خلاف برگ و ساقه، در دامنه مقادیر فسفر کودی مورد بررسی در این آزمایش، ضریب تخصیص ماده خشک به دانه با افزایش مقدار فسفر کودی به‌طور قابل اعتنایی افزایش یافته و از ۰/۲۹ در شرایط عدم مصرف کود به ۰/۳٥ در تیمار مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار رسیده است.



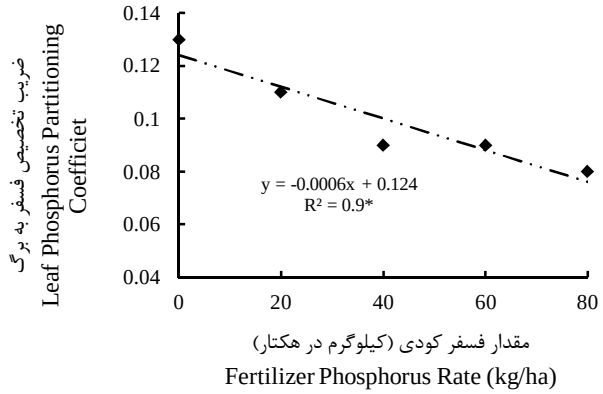

**شکل ۲- اثر متقابل بین مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر ضریب تخصیص ماده خشک (DMPC) به برگ (Lf) و ساقه (St) (a)، اثر متقابل بین مقدار فسفر کودی و نوع گیاه زراعی بر ضریب تخصیص ماده خشک به برگ (b) و اثر مقدار فسفر کودی بر ضریب تخصیص ماده خشک به دانه (c).**

Figur 2. The interaction between fertilizer phosphorus rate and inoculation with *Streptomyces* bacteria on dry matter partitioning coefficient (DMPC) to leaf (Lf) and stem (St) (a),the interaction between fertilizer phosphorus rate and crop on dry matter partitioning coefficient to leaf (b) and effect of fertilizer phosphorus rate on dry matter partitioning coefficient to grain (c).




**شکل ٤- اثر مقدار فسفر کودی بر مقدار فسفر ریشه (a)، اثر متقابل بین مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* بر مقدار فسفر برگ (b)، اثر متقابل بین مقدار فسفر کودی و نوع گیاه زراعی بر مقدار فسفر برگ ($P_{Lf}Cont$)، ساقه ($P_{St}Cont$) و دانه ($P_{Gn}Cont$) (c) و مقدار فسفر بخش هوایی ($P_{Sh}Cont$) و کل ($P_{Tot}Cont$) (d).**

Figure 4. Effect of fertilizer phosphorus rate on root phosphorus content (a), The interaction between fertilizer phosphorus rate and inoculation with *Streptomyces* bacteria on leaf phosphorus content (b), The interaction between fertilizer phosphorus rate and crop on leaf ($P_{Lf}Cont$), stem ($P_{St}Cont$) and grain ($P_{Gn}Cont$) phosphorus content (c) and shoot ($P_{Sh}Cont$) and total ($P_{Tot}Cont$) phosphorus content (d).




**شکل ٥- اثر مقدار فسفر کودی بر ضریب تخصیص فسفر به برگ (صفر، ٨/٤، ١٦/٨، ٢٥/٢ و ٣٣/٦ میلی‌گرم فسفر خالص در کیلوگرم خاک خشک، به‌ترتیب معادل ٠، ٢٠، ٤٠، ٦٠ و ٨٠ کیلوگرم فسفر در هکتار)**

Figure 5. Effect of fertilizer phosphorus rate on the phosphorus partitioning coefficient to leaf (0, 8.4, 16.8, 25.2 and 33.6 mg P per kg dry soil (0, 20, 40, 60 and 80 kg P per ha).

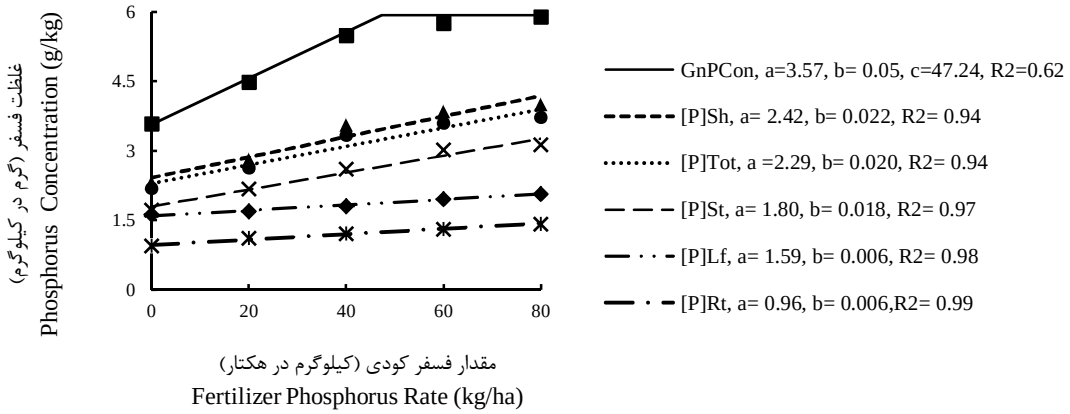
بر اساس نتیجه مقایسه میانگین‌ها، ضریب تخصیص ماده خشک به ساقه و دانه (و به بیان دیگر شاخص برداشت دانه) در گندم (به‌ترتیب ٠/٤٤ و ٠/٣٣) به‌طور معنی‌داری بیشتر از جو (به‌ترتیب ٤٠ و ٠/٠/٣٠) بود (جدول ٤).

در زمینه تأثیر مقدار کود فسفره و مایه‌زنی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر ضریب تخصیص ماده خشک به اندام‌های مختلف مطالعه چندانی صورت نگرفته و یا در مطالعات انجام شده، تخصیص ماده خشک به اندام‌های گیاه به‌صورت جداگانه بررسی نشده است. مطالعه دورداس (٢٠٠٩) یکی از این مطالعات معدود است که نتایج آن نشان‌دهندهٔ تفاوت تجمع و تسهیم ماده خشک به بخش‌های مختلف گیاه در تیمارهای کوددهی و شاهد (بدون کود) بود.

**غلظت، جذب و تخصیص فسفر:** بر اساس نتایج تجزیه واریانس، مقدار فسفر کودی در سطح احتمال یک درصد بر غلظت فسفر در برگ، ساقه، ریشه، دانه، بخش هوایی بوته و کل بوته (بخش هوایی+ریشه) تأثیر گذاشت، اما تأثیر مایه‌زنی با باکتری *استرپتومایسس* فقط بر غلظت فسفر در برگ و ریشه به لحاظ آماری معنی‌دار بود و تأثیر آن بر غلظت فسفر در ساقه، دانه، مجموع اندام‌های هوایی و کل بوته معنی‌داری نبود. همچنین، نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار گندم و جو از نظر غلظت فسفر در برگ، ساقه، دانه، بخش هوایی و کل بوته بود و فقط اختلاف غلظت فسفر در ریشه دو گیاه معنی‌دار نبود. علاوه بر این‌ها، نتایج تجزیه واریانس حاکی از عدم وجود تأثیر متقابل بین فاکتورهای آزمایش در رابطه با غلظت فسفر در اندام‌ها و بخش‌های یاد شده بود (جدول ٢).

نتایج تجزیه رگرسیون حاکی از آن بود که در تمام سطوح مقدار فسفر کودی، غلظت فسفر از کمترین به بیشترین به این ترتیب بود: ریشه< برگ< ساقه< کل بوته< بخش هوایی< دانه. ضمن این‌که در تمام اندام‌های یاد شده (به‌جز دانه) غلظت فسفر با افزایش مقدار فسفر کودی به‌طور خطی افزایش پیدا کرد و شیب افزایش غلظت فسفر در اندام‌های یاد شده از ریشه به طرف دانه بیشتر بود. غلظت فسفر در شرایط عدم مصرف فسفر کودی در ریشه ٠/٩٦، در برگ ١/٥٩، در ساقه ١/٨٠، در کل بوته (بخش هوایی+ریشه) ٢/٢٩ و در بخش هوایی بوته ٢/٤٢ گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک بود و با افزایش مقدار فسفر کودی به ٨٠ کیلوگرم در هکتار در ریشه به

۱/٤٤، در برگ به ۲/۳۹، در ساقه ۳/٤۰، در کل بوته (بخش هوایی+ریشه) به ۳/۸۹ و در بخش هوایی بوته به ٤/۰۲ گرم در کیلوگرم افزایش یافت. در شرایط عدم مصرف کود، غلظت فسفر دانه ۳/۵۷ گرم در کیلوگرم بود که با افزایش مصرف فسفر کودی تا ٤۷ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خطی افزایش یافت به ۵/۹۳ گرم در کیلوگرم رسید ولی مصرف بیش از آن تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر دانه نداشت (شکل ۳).




**شکل ۳- اثر مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر برگ (Lf)، ساقه (St)، دانه (Gn)، ریشه (Rt)، بخش هوایی (Sh) و کل بوته (Tot).**

Figure 3. Effect of fertilizer phosphorus rate on the phosphorus concentration of leaf (Lf), stem (St), grain (Gn), root (Rt), shoot (Sh) and total plant (Tot).

همچنین، نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مایه‌زنی با باکتری موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در برگ و ریشه شده است (جدول ۳)، و این‌که غلظت فسفر در دانه (۵/۳۹ گرم در کیلوگرم)، بخش هوایی (۳/٤۱ گرم در کیلوگرم) و کل بوته (۳/۱۸ گرم در کیلوگرم) در گندم بیشتر از جو ولی غلظت فسفر در برگ (۱/۷۱ گرم در کیلوگرم) و ساقه (۲/۳۸ گرم در کیلوگرم) در گندم کمتر از جو بوده است (جدول ٤).

نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که؛ مقدار فسفر تجمع یافته در تمام اندام‌ها و بخش‌های بوته شامل برگ، ساقه، ریشه، دانه، بخش هوایی بوته و کل بوته (بخش هوایی+ریشه) در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر مقدار فسفر کودی قرار گرفت، تأثیر مایه‌زنی با باکتری بر مقدار فسفر تمام بخش‌های یاد شده به‌استثنای ساقه معنی‌دار بود، بین دو گیاه فقط از نظر مقدار فسفر تجمع یافته در برگ و دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت، اثر متقابل بین مقدار فسفر و مایه‌زنی فقط برای مقدار فسفر برگ معنی‌دار بود، اما بین مقدار فسفر و نوع گیاه برای مقدار فسفر تجمع یافته در همه اندام‌ها به‌استثنای ریشه اثر متقابل معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲) که حاکی از واکنش متفاوت مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ساقه، دانه، بخش هوایی بوته و کل بوته در دو گیاه گندم و جو به مقدار مصرف فسفر کودی می‌باشد.

بر خلاف تجمع فسفر در اندام‌های مختلف گیاه، ضریب تخصیص فسفر به اندام‌های مختلف همانند ضریب تخصیص ماده خشک از ثبات بسیار زیادی برخوردار بوده و تأثیر فاکتورهای آزمایش یا اثرات متقابل آن‌ها بر ضرایب تخصیص فسفر به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (به همین دلیل، نتایج تجزیه واریانس ضرایب تخصیص فسفر به اندام‌ها نشان داده

نشده است) و فقط تأثیر مقدار فسفر کودی بر ضریب تخصیص فسفر به برگ معنی‌دار بود و با افزایش مقدار فسفر کودی، سهم برگ از کل فسفر جذب شده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه‌بر این، بین دو گیاه از نظر میزان تخصیص فسفر به دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بدین ترتیب که سهم دانه از کل فسفر جذب شده در گندم به‌طور قابل توجهی از جو بیشتر بود (جدول ٤).

**جدول ٥- تجزیه رگرسیون اثرات متقابل بین مقدار فسفر کودی، مایه‌زنی با باکتری استریتومایسس و نوع گیاه زراعی بر مقدار ماده خشک برگ ($DM_{Lf}$) و ساقه ($DM_{St}$) و مقدار فسفر ساقه ($P_{St}Cont$).**

Table 5. Regression analysis of the interactions between fertilizer phosphorus rate, inoculation with *Streptomyces* bacteria and crop on leaf ($DM_{Lf}$) and stem ($DM_{St}$) dry matter and stem phosphorus content ($P_{St}PC$).

| | | | ماده خشک برگ (گرم در بوته) $DM_{Lf}$ (gr. plant$^{-1}$) | ماده خشک ساقه (گرم در بوته) $DM_{St}$ (gr. plant$^{-1}$) | مقدار فسفر ساقه (گرم در بوته) $P_{St}Cont$ (gr. plant$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| گندم Wheat | عدم مایه‌زنی Uninoculation | A | 0.245±0.027 | 0.869±0.052 | 1.762±0.198 |
| | | B | 0.005±0.0019 | 0.015±0.002 | 0.0355±0.0041 |
| | | C | 30.862±0.597 | 44.316±4.888 | - |
| | | $Y(P_{max})$ | - | - | 4.602 |
| | | Y(c) | 0.001 | 1.512 | |
| | | $R^2$ | 0.807** | 0.93** | 0.91** |
| | مایه‌زنی inoculation | A | 0.334±0.035 | 0.836±0.096 | 1.874±0.539 |
| | | B | 0±0.001 | 0.030±0.0068 | 0.0391±0.011 |
| | | C | - | 23.428±4.153 | - |
| | | $Y(P_{max})$ | 0.334 | - | 5.002 |
| | | Y(c) | - | 1.548 | - |
| | | $R^2$ | 0.19$^{n.s}$ | 0.86** | 0.61** |
| جو Barley | عدم مایه‌زنی Uninoculation | A | 0.326±0.018 | 0.743±0.075 | 1.153±0.256 |
| | | B | 0.010±0.001 | 0.011±0.002 | 0.0546±0.0052 |
| | | C | 35.780±3.682 | - | - |
| | | $Y(P_{max})$ | - | 1.607 | 5.521 |
| | | Y(c) | 0.677 | - | - |
| | | $R^2$ | 0.977** | 0.86** | 0.93** |
| | مایه‌زنی inoculation | A | 0.555±0.039 | 1.164±0.097 | 2.178±0.399 |
| | | B | 0.003±0.002 | 0±0.002 | 0.0372±0.0082 |
| | | C | 56.600±26.061 | - | - |
| | | $Y(P_{max})$ | - | 1.164 | 5.154 |
| | | Y(c) | 0.702 | - | - |
| | | $R^2$ | 0.559* | 0.37$^{n.s}$ | 0.72** |

a: عرض از مبدا؛ b: شیب خط؛ c: حداقل مقدار فسفر موردنیاز برای رسیدن به حداکثر مقدار صفت؛ $Y(P_{max})$: مقدار برآورد شده صفت در بیشترین مقدار مصرف فسفر کودی؛ Y(c): مقدار برآورد شده صفت در نقطه c ;$R^2$: ضریب تعیین؛ ** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ١ و ٥ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر.

a: interception, b: linear slope, c: minimum phosphorus required for to obtain maximum rate of trait, Y(max): estimated amount of trait in maximum fertilizer phosphorus rate, Y(c): estimated amount of trait at C point, $R^2$: determination coefficient, ** and *: significant effect at $p\leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively; ns: not- significant at $p\leq 5\%$.

**جدول ٦- مقدار برآورد شده فسفر تجمع یافته در برگ ($P_{Lf}Cont$)، ساقه ($P_{St}Cont$) ریشه ($P_{Rt}Cont$)، دانه ($P_{Gn}Cont$)، بخش هوایی ($P_{Sh}Cont$) و کل بوته ($P_{Tot}Cont$) در گندم و جو در شاهد (عدم مصرف کود فسفره) و مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر کودی در هکتار.**

Table 6. The estimated amount of accumulated phosphorus in leaf ($P_{Lf}Cont$), stem ($P_{St}Cont$), root ($P_{Rt}Cont$), grain ($P_{Gn}Cont$), shoot ($P_{Sh}Cont$) and total ($P_{Tot}Cont$) in wheat and barley in control (no phosphorus fertilization) and application of 80 kg Phosphorus fertilizer $ha^{-1}$.

| مقدار فسفر کودی (کیلوگرم در هکتار) Fertilizer phosphorus rate ($kg.ha^{-1}$) | گیاه زراعی Crop | تجمع فسفر در برگ (کیلوگرم در هکتار) $P_{Lf}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) | تجمع فسفر در ساقه (کیلوگرم در هکتار) $P_{st}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) | تجمع فسفر در ریشه (کیلوگرم در هکتار) $P_{Rt}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) | تجمع فسفر در دانه (کیلوگرم در هکتار) $P_{Gn}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) | تجمع فسفر در بخش هوایی (کیلوگرم در هکتار) $P_{sh}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) | تجمع فسفر در کل بوته (کیلوگرم در هکتار) $P_{Tot}Cont$ ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Wheat | 2.98 | 5.11 | 0.55 | 6.44 | 13.64 | 14.36 |
| | Barley | 2.84 | 6.6 | 0.71 | 6.98 | 15.77 | 16.45 |
| 80 | Wheat | 5.88 | 14.98 | 2.3 | 28.62 | 46.58 | 49.21 |
| | Barley | 3.12 | 18.12 | 2.07 | 22.64 | 45.36 | 48.17 |
| افزایش تجمع فسفر نسبت به شاهد Increasing content of phosphorus compared to the control | Wheat | 0.96 | 1.93 | 1.67 | 3.44 | 2.41 | 2.43 |
| | Barley | 0.86 | 1.75 | 2 | 2.24 | 1.88 | 1.93 |

خطوط رگرسیون برازش داده شده به داده‌ها نشان‌دهندهٔ وجود رابطهٔ دو تکه‌ای بین مقدار مصرف فسفر کودی و مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های مختلف بوته به‌جز برگ و ریشه در گندم و جو، و ساقه در جو بود. علاوه‌بر این، در هر دو گیاه مورد بررسی در تمام مقادیر فسفر کودی، ترتیب اندام‌ها بر اساس مقدار فسفر تجمع یافته به‌صورت ریشه< برگ< ساقه< دانه بود. در شرایط عدم مصرف کود فسفره، در دو گیاه گندم و جو، مقدار فسفر تجمع یافته در برگ به‌ترتیب ۰/۸۳و ۰/٤٥، در ساقه به‌ترتیب ۱/٤۲ و ۱/۸۲، در دانه به‌ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۹٤، در بخش هوایی بوته (برگ+ساقه+دانه) به‌ترتیب ۳/۷۹ و ٤/۳۸، و در کل بوته (بخش هوایی+ریشه) به‌ترتیب ۳/۹۹ و ٤/٥۷ میلی‌گرم در بوته بود. با افزایش مصرف فسفر کودی تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار فسفر تجمع‌یافته در برگ گندم و جو و در ساقه جو به‌صورت خطی افزایش یافت و به‌ترتیب به ۱/٦۳، ۰/۸٥ و ٥/۰۲ میلی‌گرم در بوته رسید. افزایش مصرف فسفر کودی در مورد ساقه گندم تا حدود ٤۰ کیلوگرم در هکتار و در مورد دانه، بخش هوایی و کل بوته در گندم و جو تا حدود ٥۳ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش خطی مقدار فسفر تجمع‌یافته شد و بعد از آن افزایش بیشتر فسفر کودی تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر تجمع یافته نداشت.

افزایش میزان جذب فسفر تحت تأثیر مصرف کود فسفره و مایه‌زنی با باکتری توسط کائور و ردی (۲۰۱٥) برای ذرت و گندم، افزایش غلظت و تجمع فسفر در ماده خشک گیاهی در مرحله رسیدگی برداشت گندم تحت تأثیر مایه‌زنی به‌صورت جداگانه و همزمان دو باکتری توسط ساریخانی و همکاران (۲۰۱۳)، افزایش غلظت و تجمع فسفر در ماده خشک گیاهی دو رقم جو تحت تأثیر مایه‌زنی با باکتری توأم با مصرف کود فسفره توسط احتشامی و همکاران (۲۰۱۳)، و افزایش جذب فسفر در نتیجه مصرف هم‌زمان کود شیمیایی و کود زیستی در ذرت توسط توحیدی‌نیا و همکاران (۲۰۱٤) نیز گزارش شده است (۸، ۱۳، ۲۳ و ۲٦). در مقابل، نتایج بلانجر و همکاران (٥) حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر در مراحل مختلف نمو گندم در تمام ۸ محل- سال آزمایش بود. در مطالعه ساریخانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز مایه‌زنی انفرادی یا ترکیبی باکتری‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت و تجمع فسفر در اواسط فصل رشد گندم نداشت (۲۳).

## نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به این‌که مقدار فسفر تجمع یافته در هر بخش از گیاه و کل بوته تابعی است از دو مؤلفه "مقدار ماده خشک" و "غلظت فسفر"، از نتایج یاد شده می‌توان چنین استنباط کرد که مقدار فسفر کودی از طریق تأثیر بر هر دو مؤلفه مقدار ماده خشک و غلظت فسفر، اما مایه‌زنی به‌طور عمده از طریق تأثیر بر مقدار ماده خشک بر تجمع فسفر تأثیر گذاشته است.

مقدار کل فسفر جذب شده توسط بوته‌ها (بر اساس تراکم ۳٦۰ بوته در مترمربع) در شرایط عدم مصرف فسفر کودی در گندم و جو به‌ترتیب ۱٤/۳٦ و ۱٦/٤٥ کیلوگرم در هکتار بود که از این مقدار سهم برگ به‌ترتیب ۲۱ و ۱۰ درصد (معادل ۲/۹۸ و ۲/۸٤ کیلوگرم در هکتار)، سهم ساقه ۳٦ و ٤۰ درصد (٥/۱۱ و ٦/٦ کیلوگرم در هکتار)، سهم دانه ٤٥ و ٤۲ درصد (معادل ۷/۸ و ۹/٦ کیلوگرم در هکتار) و سهم ریشه ۳/۸ و ٤ درصد (معادل ۰/٥٥ و ۰/۷۱ کیلوگرم در هکتار است. همچنین، حداکثر مقدار فسفر جذب شده در تیمارها در گندم و جو به‌ترتیب ٤۹/۲۱ و ٤۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار بود که از این مقدار سهم برگ به‌ترتیب ۱۲ و ٦ درصد (معادل ٥/۸۸ و ۳/۱۲ کیلوگرم

در هکتار)، سهم ساقه ۳۰ و ۳۸ درصد (۱٤/۹۸ و ۱۸/۱۲ کیلوگرم در هکتار)، سهم دانه ۵۸ و ٤۷ درصد (معادل ۲۵/۰۸ و ۳۲/٦٤ کیلوگرم در هکتار) و سهم ریشه ۵ و ٤ درصد (معادل ۲/۳ و ۲/۰۷ کیلوگرم در هکتار است (جدول ٦). لازم به توضیح است که مقادیر فوق با استفاده از معادلات خطی برازش داده شده به داده‌های مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های مختلف بوته در مقابل مقدار فسفر کودی محاسبه شده‌اند.

این نتایج نشان می‌دهد که در دو گیاه مورد مطالعه، سهم اندام‌های مختلف بوته از کل فسفر جذب شده به‌ترتیب ریشه < برگ < ساقه < دانه بوده است، و این‌که با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی، در هر دو گیاه سهم ریشه و برگ از کل فسفر جذب شده کاهش و سهم ساقه (فقط در گندم) و دانه (در هر دو گیاه) افزایش یافته است. علاوه‌بر این، نتایج حاکی از آن بود که در هر دو شرایط عدم مصرف و مصرف کود فسفر، در گیاه جو نسبت به گیاه گندم، درصد کمتری از فسفر جذب شده به برگ و درصد بیشتری از آن به دانه تخصیص داده شده است.

بدون تردید، مقدار فسفر تجمع یافته در دانه‌ها (٤۲ تا ۵۸ درصد از کل فسفر جذب شده بسته به تیمار) همراه با دانه از مزرعه خارج می‌شود. در مقابل، مقدار ناچیز فسفر تجمع یافته در ریشه‌ها (۱/۵ تا ۵ درصد از کل فسفر جذب شده) در خاک باقی می‌ماند، اما این‌که چه کسری از باقی‌مانده فسفر جذب شده توسط بوته‌ها که در اندام‌های هوایی به‌استثنای دانه تجمع یافته (٤۱ تا ۵۳ درصد) به خاک مزرعه برمی‌گردد و چه کسری از آن از مزرعه خارج می‌شود به چگونگی مدیریت بقایای محصول (کاه و کلش) پس از برداشت بستگی دارد. به بیان دیگر، چنانچه کل کاه و کلش به خاک برگردانده شوند، ٤۲ تا ۵۸ درصد از کل فسفر جذب شده توسط گندم و جو به خاک برگردانده می‌شود، و اگر کل کاه و کلش از مزرعه خارج شود (به‌عنوان خوراک دام یا برای مصارف دیگر) فقط ۱/۵ تا ۵ درصد از کل فسفر جذب شده (فسفر ریشه) به خاک برگشته و مابقی آن (۹۵ تا ۹۸/۵ درصد) از مزرعه خارج خواهد شد که بی‌تردید به‌طور قابل توجهی بر نیاز گیاهان زراعی بعدی در تناوب به کود فسفره مؤثر خواهد بود. این نتایج به‌وضوح اهمیت یکی از جنبه‌های مدیریت درست بقایای گیاهان زراعی در راستای کاهش اتکای تولید گیاهان زراعی به نهاده‌های برون‌مزرعه‌ای به‌ویژه کودهای شیمیایی را نشان می‌دهد.

## سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. از این‌رو، نگارندگان مراتب قدردانی صمیمانه خود را به مسئولین محترم دانشگاه تقدیم می‌نمایند.

## منابع


1.Afzal, A., Ashraf, M., Asad, S.A., and Farooq, M. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area. Int. J. Agric. Biol., 7: 207-209.

2.Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., Fallahi, J., and FallahPoor, F. 2009. Effects of biofertilizers on seedling growth of different cultivars of wheat (Chamran, Sayones and Gaskogen). The First National Symposium on Agriculture and Sustainable Development. Opportunities and Future Challenges. Islamic Azad Univ. Shiraz. (In Persian)

3.Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., and Mariotti, M. 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. Eur. J. Agron., 25: 309–318.

4.Arpana, N., Kumar, S.D., and 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. J. Appl. Biol., 12: 23-26.

5.Bélanger, G., Ziadi, N., Pageau, D., Grant, C., Högnäsbacka, M., Virkajärvi, P., Hu, Z., Lu, J., Lafond, J., and Nyiraneza, J. 2015. A model of critical phosphorus concentration in the shoot biomass of wheat. Agron. J., 107: 963-970.

6.Dordas, C. 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. Eur. J. Agron., 30: 129-139.

7.Dordas, C.A., and Sioulas, C. 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. Field Crop Res., 110: 35-43.

8.Ehteshami, S.M.R., Pourebrahimil, M., and Khavazi, K. 2013. Effect of *Pseudomonas fluorescens strain* 103 integrated with phosphorus fertilizer on nutrients concentration and biological yield of two barley cultivars in greenhouse conditions. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture., 16: 15-26. (In Persian)

9.Fageria, N.K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRP Press. 430p.

10.Ghazanshahi, J. 2006. Plant and Soil Analysis. Publ. Aiizh. 272p.

11.Ghorbani-Nasrabadi1, R., Aghaz Nashtifani, P., and Zebarjadi, M. 2014. Evaluation of soil *Streptomyces* sp. plant growth promotion traits and potential application in enhancing early maize growth and P uptake. J. Soil Mang. Suttain. Prod., 4: 195-213. (In Persian)

12.Hamidi, A., AsgharZadeh, A., Choukan, R., DehghanShoar, M., Ghalavand, A., and Malakuti, M. J. 2010. The effect of plant growth promoting bacteria (PGPR) on dry matter partitioning and growth characteristics of corn in a greenhouse. Iran J. Soil Res., 24: 55-67. (In Persian)

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

14.Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganism in sustainable agriculture-a review. Agron. Sustain. Dev., 27: 29-43.

15.Lavakush, Y.J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K., and Kumar, A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). Ecol. Eng., 62: 123-128

16.Mehrvarz, S., Chaichi, M.R., and Alikhani, H.A. 2008. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). Am. Euras. Agr. Envarion. Sci., 3: 822-828

17.Mirahmadi, M., Malakuti, M.J., and Khavazi, K. 2011. Effect of PSB on P uptake by corn in alkaline soils. 12$^{th}$Iranian Soil Science Congress. Univ. Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian)

18.Mirzashahi, K. 2012. The effect of phosphorus fertilizer Consumption Management on grain yield and P Absorption in the north of Khuzestan. Crop Physiol. J., 4: 99-114. (In Persian)

19.Mohammadi, A., Asghari, H.R., Abasdokht, H., and Rahimi, M. 2011. Effect of Mycorrhiza and Bavar 2 on root colonization and some features of Pea (Hashem cultivar) at various levels of phosphorus fertilization. 1stNational Conference on Modern Agricultural Sciences and Technologies. Univ. Zanjan, Zanjan, Iran. (In Persian)
20.Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. Field Crops Res., 18: 1–16.
21.Rastin, S. 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)
22.Rodrguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotecnol. Adv., 17: 319-339.
23.Sarikhani, M.R., Aliasgharzad, N., and Malboobi, M.A. 2013. Improvement of wheat phosphorus nutrition using phosphate solubilizing bacteria. J. Soil Manag. Sustain. Prod., 3: 39-57. (In Persian)
24.Soltani, A. 2006. Application of SAS in Statistical Analysis. Jihad Univ. Mashhad. Pp: 182.
25.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 Res., 77: 43-49.
26.Tohidinia, M.A., Mazaheri, D., Bagher-Hosseini, S.M., and Madani, H. 2014. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize (*Zea mays* cv. SC704). Iran. J. Crop Sci., 15: 295-307. (In Persian)
27.Zabihi, H.R., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., Ganjali, A., and Miransari, M. 2009. Response of wheat growth and yield to application of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of phosphorus fertilization. Iran. J.Field Crops Res., 7: 41-51. (In Persian)
28.Zabihi, H.R., Savaghebi, G.R., Khavazi, K., Ganjali, A., and Miransari, M. 2011. *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. Acta. Physiol. Plant., 33: 145-152.
29.Zadoks, J.C., Chang, T.T., and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res., 14: 415-421