

غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در تعدادی از گونه‌های زراعی و هرز خانواده گندمیان

آرزو عبیدی^۱، ابراهیم زینلی^{۱*}، افشین سلطانی^۱، عبدالرضا قرنجیکی^۲

^۱گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
^۲موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۳

چکیده

اطلاعات مربوط به تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در گونه‌های مختلف گیاهی در راستای بهبود کارایی جذب و استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های فقیر حائز اهمیت است. از این‌رو، به منظور بررسی تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر در تعدادی از گونه‌های زراعی و هرز خانواده گندمیان، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ آزمایشی گلدانی در شرایط هوای آزاد در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در خاکی با مقدار فسفر قابل استفاده کم (۴/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل هفت گونه زراعی و هرز از خانواده گندمیان (گندم نان، گندم دوروم، جو معمولی، جو لخت، چاودم، یولاف وحشی و علف‌خونی) و دو شرایط عدم مصرف و مصرف کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه به مقدار توصیه شده بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی با مصرف کود، غلظت و تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه، به‌استثنای غلظت فسفر ریشه در مرحله ساقه‌رفتن، به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. میانگین غلظت فسفر بخش هوایی بوته در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در شرایط عدم کوددهی به‌ترتیب $3/9$ و $1/9$ گرم در کیلوگرم بود که در نتیجه مصرف کود به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و به‌ترتیب به $4/5$ و $2/1$ گرم در کیلوگرم رسید. همچنین، در نتیجه کوددهی میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در بخش هوایی بوته در ساقه‌رفتن از $0/92$ به $3/2$ و در گرده‌افشانی از $2/45$ به $9/2$ میلی‌گرم در بوته رسید. در گرده‌افشانی، تأثیر گونه گیاهی بر غلظت فسفر در تمام اندام‌های گیاه اما در ساقه‌رفتن فقط بر غلظت فسفر در ساقه و بخش هوایی بوته معنی‌دار بود. با این حال، در هر دو مرحله، تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گونه گیاهی و اثرات متقابل گونه و کوددهی قرار گرفت. میانگین غلظت فسفر بخش هوایی بوته در گونه‌های مورد مطالعه در ساقه‌رفتن از $2/9$ تا $4/7$ و در گرده‌افشانی از $1/4$ تا $2/7$ گرم در کیلوگرم متغیر بود. نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که در مرحله ساقه‌رفتن، در شرایط عدم کوددهی هیچ اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در بخش‌های مختلف بوته وجود نداشت. در مرحله گرده‌افشانی نیز اختلاف‌های بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در شاهد عدم کوددهی به‌مراتب کمتر از شرایط کوددهی بود.

واژه‌های کلیدی: اندام‌های گیاه، توزیع فسفر، کوددهی، گیاهان زراعی، علف‌های هرز

(Sharma et al., 2013). مقدار کل فسفر تجمع یافته در گیاه با گذشت زمان و افزایش تجمع ماده خشک افزایش اما غلظت فسفر در گیاه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علت کاهش غلظت فسفر و رقیق شدن آن در ماده خشک گیاهی، کاهش سهم اندام‌های فعال به‌لحاظ متابولیک از کل ماده خشک گیاهی و پیر شدن این بافت‌ها با پیشرفت نمو گیاه است (Ziadi et al., 2008). مطالعه گیاهان مختلف، به‌وضوح نشان‌دهنده میزان متفاوت تجمع فسفر در گیاهان زراعی در مراحل مختلف رشد و نمو می‌باشد. برای مثال، Fageria و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی الگوی جذب فسفر در گیاهان زراعی مختلف (شامل ذرت، برنج، آبلند، 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 گندمیان)، سرعت جذب فسفر به‌سرعت 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 و همکاران (۱۳۹۰) در مورد گندم مطابقت دارد. در مطالعه Fageria و همکاران (۲۰۱۳)، در ابتدای فصل رشد، برعکس زمان برداشت، غلظت فسفر در غلات بیشتر از لگوم‌ها بود. 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.

با توجه به کم بودن مقدار فسفر قابل جذب در بیشتر خاک‌های زراعی، به‌طور معمول گیاهان در بیشتر مزارع به مقدار مصرف فسفر کودی واکنش

شرایط محیطی در زمان تشکیل اجزای عملکرد دانه نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد دانه گیاهان دارد. تشکیل سنبلیچه‌ها و آغازش گلچه‌ها در مرحله طویل شدن ساقه و تعیین تعداد دانه در مرحله گرده‌افشانی این دو مرحله را به حساس‌ترین مراحل نمو گندمیان تبدیل کرده است به‌طوری‌که هرگونه تنش محیطی از جمله تنش کمبود عناصر غذایی در این مراحل می‌تواند از طریق کاهش اجزای یاد شده و در نهایت تعداد دانه در واحد سطح تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه داشته باشد (Modhaj and Fathi, 2003; Emam and Seghat eslami, 2005; Siadat et al., 2013). از سوی دیگر، اطلاعات مربوط به غلظت، تجمع و چگونگی تخصیص عناصر غذایی به اندام‌های گیاه در گونه‌های مختلف گیاهی، ضمن نشان دادن تنوع ژنتیکی موجود در رابطه با این صفات و امکان استفاده از این تنوع در به‌نژادی می‌تواند به برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای بهینه‌سازی تغذیه معدنی گیاهان زراعی کمک کند. علاوه بر آن، این اطلاعات در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی نیز مورد نیاز می‌باشد (Arduini et al., 2006; Dordas and Sioulas, 2009).

فسفر یکی از عناصر معدنی ضروری برای رشد گیاهان و یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی است (Stewart et al., 2005). با این حال، مقدار فسفر قابل استفاده تقریباً در تمام خاک‌ها برای تأمین نیازهای گیاهان زراعی به این عنصر ناکافی است. بنابراین، رسانیدن مقدار فسفر خاک به حد کفایت از طریق کاربرد منابع فسفر غیر آلی و آلی برای پایداری درازمدت نظام‌های زراعی ضروری می‌باشد (Richardson, 1994).

در شرایط مطلوب تغذیه معدنی، فسفر حدود ۰/۲ تا ۰/۸ درصد از ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد

مقابل، Bélanger و همکاران (۲۰۱۵) با انجام آزمایش‌هایی در ۸ سال-محل، عدم تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر کودی بر غلظت فسفر ماده خشک گیاهی در مراحل مختلف نمو گندم در تمام سال-محل‌های اجرای آزمایش را گزارش و دلیل آن را زیاد بودن مقدار فسفر قابل‌استفاده در خاک ذکر کردند.

به‌طور کلی، گیاهان برای حفظ رشد در شرایط کمبود فسفر به‌طور عمده دو سازوکار را توسعه می‌دهند: ۱) افزایش جذب فسفر (مکانیسم‌های مورفولوژی ریشه، ترشحات ریشه و جذب فسفر) و ۲) استفاده کارآمدتر از فسفر جذب شده (مکانیسم‌های داخلی همبسته با استفاده بهتر از فسفر جذب‌شده در سطح سلولی) (Marschner, 2012; Rengel, 1999; Bates and Lynch, 2001; Vance et al., 2003). مطالعه Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) به‌وضوح نشان داد که در هر گروه از گونه‌های گندم تنوع زیادی از نظر کارایی در جذب مقادیر کم فسفر موجود در خاک به علاوه چگونگی واکنش به کود فسفره اضافه شده به خاک وجود دارد. چنین تنوعی توسط پژوهشگران دیگر برای گندم (Horst et al., 2005; Ozturk et al., 1993) و ذرت (Alves et al., 2001) نیز گزارش شده است. این تنوع طبیعی انعکاسی از توانایی ذاتی گونه‌ها برای سازگاری با شرایط رشد بدون مصرف کودهای فسفر است. مصرف کودهای شیمیایی تا حد زیادی این اختلافات ژنتیکی را از میان می‌برد. Wang و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در شرایط فراهمی فسفر اختلاف معنی‌داری در جذب فسفر بین گونه‌ها وجود نداشت، اما در شرایط فسفر کم، جذب فسفر توسط گونه فسفرکارآمد به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه ناکارآمد بود. Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) نیز اختلاف‌های گسترده‌ای بین گونه‌ها از نظر غلظت و مقدار جذب فسفر مشاهده کردند و اظهار داشتند که اختلاف

نشان می‌دهند. در مطالعه Taiz و همکاران (۲۰۱۵) افزایش مقدار مصرف فسفر کودی به تجمع بیشتر فسفر در برگ‌های دو گونه لگوم مورد مطالعه منتهی گردید. همچنین، در هر دو گونه افزایش غلظت فسفر برگ تا یک حد معین با افزایش تجمع ماده خشک همراه بود اما پس از آن تأثیری بر ماده خشک نداشت و در مواردی نیز حتی موجب کاهش ماده خشک شد. در مطالعه‌ای دیگر، مصرف کم کود فسفره به کاهش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی (تا ۵۰ درصد) در گونه‌ها منتهی شد. در این شرایط، گونه‌های هر دو گونه گندم دوروم و نان تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از نظر غلظت فسفر بخش هوایی نشان دادند. در مقدار مصرف کافی فسفر، غلظت‌های فسفر بخش هوایی در گونه‌ها در دامنه کفایت (۲ تا ۴ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) قرار داشتند (Reuter and Robinson, 1997).

Khosravian و همکاران (2016) نیز با مطالعه‌ای دو گیاه گندم و جو گزارش کردند که با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، غلظت و تجمع فسفر در بخش‌های مختلف گیاه به‌صورت خطی افزایش یافت. نتایج آن‌ها حاکی از ثبات بیشتر ضریب تخصیص فسفر به بخش‌های گیاه در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود. همچنین، یافته‌های مطالعه یاد شده نشان‌دهنده همبستگی قوی بین مقدار فسفر جذب شده در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی با عملکرد دانه بود. Dordas (۲۰۰۹) نیز افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه و بخش رویشی گیاه در مرحله رسیدگی را تحت تأثیر مصرف کود فسفره و کود فسفره همراه با کود نیتروژنه گزارش کرد. با این‌حال در مرحله گرده‌افشانی، تنها تأثیر مصرف کود فسفره بر غلظت فسفر 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

گونه‌ها از نظر میزان جذب فسفر بسیار بیشتر از غلظت فسفر بود.

با توجه به مطالب ذکر شده، مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات غلظت، تجمع و تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در هفت گونه زراعی و هرز خانواده گندمیان در خاکی با مقدار فسفر قابل استفاده بسیار کم در دو شرایط مصرف و عدم مصرف کود در مراحل نمو کلیدی ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در پردیس جدید دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال زراعی ۹۵-۹۴ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل هفت گونه زراعی و هرز از خانواده گندمیان شامل یولاف وحشی (*Avena fatua* L.)، علف‌خونی (*Phalaris minor* Retz)، گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، گندم دوروم (*Triticum durum* L.)، جو معمولی (*Hordeum vulgare* L.)، جو لخت (*Hordeum vulgare* L. var. *Nudum*) و چاودم (X *Triticosecale*) و دو شرایط عدم مصرف و مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم کودی به ترتیب به میزان ۷۶/۹۲، ۳۳/۲۵ و ۴۶/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک برابر با ۱۸۰، ۸۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص در هکتار بود. برای تأمین عناصر غذایی اصلی از کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ۲۲/۷ درصد فسفر)، کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) و کود سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد پتاسیم) استفاده شد. با توجه به اهداف آزمایش، خاکی با محتوای فسفر قابل استفاده بسیار کم (۴/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به روش اولسون) تهیه شد. خاک مورد استفاده دارای ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل

استفاده و ۱۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن معدنی، هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۱۴ و ۱/۵۸ درصد کربن آلی بود. بافت خاک لوم رسی و درصد رس، شن و سیلت خاک به ترتیب ۲۸، ۳۰ و ۴۲ درصد بود. قطر گلدان‌های مورد استفاده ۲۵ و ارتفاع آن ۱۸ سانتی‌متر بود و بذور با تراکم نهایی ۱۰ بوته در گلدان (۲۰۰ بوته در متر مربع) کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط هوای آزاد قرار داده شدند و فقط در شرایط بارندگی سنگین با کشیدن پلاستیک شفاف محل آزمایش مسقف می‌گردید. در طول فصل رشد، آبیاری، کنترل آفات و گیاهان هرز و سایر عملیات لازم برای فراهم کردن شرایط مطلوب برای گیاهان مورد آزمایش انجام شد. نمونه برداری از گیاهان در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی (بر مبنای روش زادوکس) با سه تکرار متشکل از هفت بوته انجام شد. نمونه‌های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه و جدا کردن اندام‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و در نهایت اندام‌ها به تفکیک توزین و آسیاب شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی به روش رنگ‌سنجی (با استفاده از معرف نیترو-وانادو-مولیبدات)، نمونه‌های خشک شده به تفکیک اندام (ریشه، ساقه، برگ)، به وسیله آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند. غلظت فسفر نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل شیمادزو-یو وی-۱۸۰۰ قرائت و سپس مقدار فسفر موجود در ماده خشک گیاهی (بر اساس میلی‌گرم فسفر در گرم ماده خشک) محاسبه شد (Ali Ehyayi, M. 1997; Ghazanshahi, J. 2006). در هر مرحله از نمونه‌برداری مقدار فسفر تجمع یافته در هر اندام، با ضرب وزن خشک در غلظت فسفر در آن اندام به دست آمد. از حاصل جمع عنصر تجمع یافته در اندام‌ها مقدار کل فسفر تجمع یافته در بوته محاسبه شد. ضریب تخصیص فسفر به

هر یک از اندام‌های گیاه در هر یک از دو مرحله نیز از تقسیم مقدار عنصر تجمع یافته در آن اندام به کل فسفر تجمع یافته در بوته محاسبه شد. توضیح این‌که ماده خشک بوته‌ها و به تبع آن عناصر غذایی در مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی گندمیان بین برگ‌ها (پهنک برگ‌ها)، ساقه و ریشه توزیع می‌شود. همچنین، در مرحله ساقه‌رفتن، ساقه هنوز رشد سریع خود را آغاز نکرده و در نتیجه سهم چندانی از کل ماده خشک ندارد و آنچه به نام ساقه در نظر گرفته می‌شود به طور عمده غلاف برگ‌ها می‌باشد. در ضمن، در مرحله گرده‌افشانی سنبله (فاقد دانه) نیز به عنوان بخشی از ساقه در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار SAS (Soltani, 2007) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج
غلظت فسفر در ماده خشک گیاهی: نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار کوددهی بر غلظت فسفر برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در مراحل ساقه‌رفتن (بجز ریشه) و گرده‌افشانی بود. در مرحله ساقه‌رفتن، اثر گونه بر غلظت فسفر ساقه و بخش هوایی معنی‌دار ($p=0.01$) و در گرده‌افشانی اثر گونه بر غلظت فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته معنی‌دار ($p=0.01$) بود. همچنین، اثر متقابل بین دو فاکتور به‌جز در مورد غلظت فسفر ریشه در گرده‌افشانی معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی (F)، نوع گیاه (Gen) و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر برگ ($[P]_{Lf}$)، ساقه ($[P]_{St}$)، ریشه ($[P]_{Rt}$)، و اندام هوایی ($[P]_{Sh}$) و کل بوته ($[P]_{Tot}$) در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی.

مرحله رشد	منابع تغییر	df	$[P]_{Lf}$	$[P]_{St}$	$[P]_{Rt}$	$[P]_{Sh}$	$[P]_{Tot}$
	F	۱	۳/۵۵۳**	۱/۶۲۵ ^{ns}	۰/۳۹۱ ^{ns}	۲/۴۷۱*	۲/۹۶۲**
	Gen	۶	۰/۸۷۸ ^{ns}	۶/۵۹۰**	۰/۳۴۲ ^{ns}	۱/۶۴۷*	۰/۵۵۶ ^{ns}
ساقه‌رفتن	F*Gen	۶	۰/۹۰۵ ^{ns}	۰/۲۸۲ ^{ns}	۰/۲۴۶ ^{ns}	۰/۳۵۴ ^{ns}	۰/۱۲۸ ^{ns}
	Error	۱۴	۰/۳۲۱	۰/۹۵۰	۰/۱۹۱	۰/۳۹۷	۰/۲۶۸
	C.V.		۱۴/۴۶	۲۰/۹۱	۲۶/۳۷	۱۴/۹۸	۱۶/۵۰
	F	۱	۵/۰۹**	۰/۰۱۴ ^{ns}	۲/۱۱۴**	۰/۴۸*	۰/۷۰۴*
	Gen	۶	۵/۲۳۵**	۲/۰۲۱**	۲/۳۲۸**	۱/۵۹۷**	۰/۸۴**
گرده‌افشانی	F*Gen	۶	۰/۱۵۱ ^{ns}	۰/۱۱۴ ^{ns}	۰/۴۹۴*	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۸۶ ^{ns}
	Error	۱۴	۰/۲۶۸	۰/۱۳۴	۰/۱۷۰	۰/۰۹۸	۰/۰۸۳
	C.V.		۲۵/۲۶۴	۱۸/۵۱۷	۲۶/۰۲	۱۵/۸۲	۱۵/۳۵

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ ns: معنی‌دار نبودن تأثیر؛ C.V.: ضریب تغییرات.

مورد مطالعه (یولاف وحشی و علف‌خونی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از گونه‌های زراعی بود. همچنین، در این مرحله، غلظت فسفر بخش هوایی (به‌طور عمده متشکل از غلاف و پهنک برگ) از ۲/۹۲ (گندم

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مرحله ساقه‌رفتن دامنه تغییرات غلظت فسفر بین ۲/۸۸ (گندم مروارید) و ۶/۴۳ (یولاف) گرم در کیلوگرم قرار داشت و غلظت فسفر ساقه در دو گونه‌ی علف‌ه‌رز

(جو صحرا) گرم در کیلوگرم متغیر بود. غلظت فسفر کل بوته، بخش‌هوایی بوته و ساقه در سه گیاه گندم دوروم، گندم مروارید و جو لخت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌های مورد مطالعه بود و بین چهار گیاه جو معمولی، تریتیکاله، علف‌خونی و یولاف وحشی از نظر غلظت فسفر در اندام‌های یاد شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (بجز غلظت فسفر ساقه جو صحرا و تریتیکاله که از لحاظ آماری متفاوت بودند). همچنین، غلظت فسفر برگ در سه گیاه جو معمولی، جو لخت و گندم مروارید به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود اما بین سایر گونه‌ها تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۲).

مروارید) تا ۴/۷۲ گرم در کیلوگرم (علف‌خونی) متغیر بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بین گونه‌های مورد بررسی، به‌استثنای گندم مروارید، از نظر غلظت فسفر بخش‌هوایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و فقط غلظت فسفر بخش‌هوایی گندم مروارید به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر گونه‌ها بود.

در مرحله گرده‌افشانی، غلظت فسفر کل بوته در گونه‌های مورد مطالعه بین ۱/۴۶ (جو صحرا) تا ۲/۵۲ (گندم دوروم)، غلظت فسفر بخش‌هوایی بین ۱/۳۵ (علف‌خونی) تا ۲/۶۷ (گندم مروارید)، غلظت فسفر ساقه بین ۱/۱۲ (جو صحرا) تا ۲/۸۸ (گندم دوروم) و غلظت فسفر برگ بین ۱/۰۰ (علف‌های هرز) تا ۳/۸۲

جدول ۲: مقایسه میانگین[#] اثر گونه گیاهی بر غلظت فسفر برگ ([P]Lf)، ساقه ([P]St)، دانه ([P]Gn)، بخش‌هوایی ([P]Sh) و کل بوته ([P]Tot)، مقدار فسفر ساقه (P_{St}Cont) و کل بوته (P_{Tot}Cont) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

تیمار	[P]StSE (g.kg ⁻¹)	[P]ShSE (g.kg ⁻¹)	[P]LfAn (g.kg ⁻¹)	[P]StAn (g.kg ⁻¹)	[P]ShAn (g.kg ⁻¹)	[P]TotAn (g.kg ⁻¹)	P _{St} ContSE (mg P.plant ⁻¹)	P _{Tot} ContAn (mg P.plant ⁻¹)
WMOR	۲/۸۸ ^e	۲/۹۱ ^b	۲/۵۴ ^b	۲/۶۹ ^a	۲/۶۷ ^a	۲/۴۱ ^a	۰/۹۰ ^{ab}	۸/۹۴ ^a
WDRM	۳/۳۶ ^{de}	۳/۹۲ ^a	۱/۵۱ ^c	۲/۸۷ ^a	۲/۶۱ ^a	۲/۵۱ ^a	۰/۷۹ ^{abc}	۸/۰۹ ^{ab}
BSAH	۵/۴۲ ^{abc}	۴/۷۱ ^a	۳/۸۱ ^a	۱/۱۲ ^c	۱/۵۷ ^b	۱/۴۵ ^b	۱/۲۱ ^a	۵/۹۵ ^c
BNKD	۴/۰۶ ^{cde}	۴/۱۳ ^a	۳/۲۱ ^{ab}	۲/۵۳ ^a	۲/۶۵ ^a	۲/۱۲ ^a	۰/۷۶ ^{abc}	۸/۵۸ ^a
TTkL	۴/۸۰ ^{bcd}	۴/۵۴ ^a	۴/۵۴ ^a	۱/۷۲ ^b	۱/۶۴ ^b	۱/۵۱ ^b	۱/۳۴ ^a	۵/۲۴ ^c
AVEN	۶/۴۲ ^a	۴/۵۰ ^a	۰/۹۹ ^c	۱/۵۰ ^{bc}	۱/۳۶ ^b	۱/۶۱ ^b	۰/۳۷ ^{bc}	۶/۵۶ ^{bc}
PHLRS	۵/۶۴ ^{ab}	۴/۷۲ ^a	۰/۹۹ ^c	۱/۳۶ ^{bc}	۱/۳۵ ^b	۱/۵۲ ^b	۰/۲۹ ^c	۴/۹۰ ^c
LSD	۱/۴۷۸	۰/۹۵۶	۰/۷۸۵	۰/۵۵۴	۰/۴۷۶	۰/۴۳۸	۰/۵۹۰	۲/۰۱۱

WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی. LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

در این مطالعه مصرف کودهای شیمیایی موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه شد. بدین ترتیب که غلظت فسفر برگ، بخش‌هوایی و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن را به‌ترتیب از ۳/۵۶، ۳/۹۱ و ۲/۸۱ به ۴/۲۷، ۴/۵۱ و ۳/۴۶ گرم در کیلوگرم و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب از ۱/۶۲، ۱/۸۵ و ۱/۷۲ به ۲/۴۸، ۲/۱۲ و ۲/۰۴ افزایش داد (جدول ۳). در مرحله گرده‌افشانی، غلظت فسفر ریشه گونه‌های مورد مطالعه

در شرایط عدم مصرف کود بین ۰/۷۷ (جو صحرا) و ۲/۳۷ (علف‌خونی) و در شرایط کوددهی بین ۰/۹۰ (جو لخت) و ۲/۹۶ (گندم دوروم) گرم در کیلوگرم قرار داشت. در هر دو شرایط عدم کوددهی و کوددهی غلظت فسفر ریشه دو گونه علف هرز (علف‌خونی و یولاف وحشی) به‌طور معنی‌دار بیشتر از گونه‌های زراعی بود (جدول ۴).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر کوددهی بر غلظت فسفر برگ ($[P]_{Lf}$)، بخش هوایی ($[P]_{Sh}$) و کل بوته ($[P]_{Tot}$)، مقدار فسفر ساقه (P_{StCont}) و کل بوته ($P_{TotCont}$) و و ضریب تخصیص فسفر برگ (P_{LiPC}) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

P_{LiPCAn}	$P_{TotContAn}$ (mg P.plant ⁻¹)	$P_{StContSE}$ (mg P.plant ⁻¹)	$[P]_{TotAn}$ (g.kg ⁻¹)	$[P]_{ShAn}$ (g.kg ⁻¹)	$[P]_{LfAn}$ (g.kg ⁻¹)	$[P]_{TotSE}$ (g.kg ⁻¹)	$[P]_{ShSE}$ (g.kg ⁻¹)	$[P]_{LfSE}$ (g.kg ⁻¹)	تیمار
۰/۱۹۲ ^a	۱۰/۷۲۳ ^a	۱/۰۳۱ ^a	۲/۰۳۹ ^a	۲/۱۱۵ ^a	۲/۴۷۶ ^a	۳/۴۶۲ ^a	۴/۵۰۵ ^a	۴/۲۶۹ ^a	F ₁
۰/۰۹۷ ^b	۳/۰۷۱ ^b	۰/۳۹۴ ^b	۱/۷۲۲ ^b	۱/۸۵۳ ^b	۱/۶۲۳ ^b	۲/۸۱۱ ^b	۳/۹۱۱ ^b	۳/۵۵۸ ^b	F ₀
۰/۰۲۵	۱/۰۷۵	۰/۱۵۰	۰/۲۳۴	۰/۲۵۵	۰/۴۲۰	۰/۴۲۰	۰/۵۱۱	۰/۵۰۷	LSD

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار، #در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد و بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. F₀: عدم مصرف کودهای شیمیایی و F₁: مصرف کودهای شیمیایی.

فسفر در بخش‌های یاد شده در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد.

تجمع فسفر در ماده خشک گیاهی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، کوددهی و گونه گیاهی تأثیر معنی‌داری ($p=0.01$) بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه (برگ، ساقه، ریشه، بخش هوایی) و کل بوته گیاهان مورد مطالعه داشت. اثر متقابل بین دو فاکتور نیز بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های یاد شده بجز ساقه در مرحله ساقه‌رفتن و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی از لحاظ آماری معنی‌دار بود.

مطابق انتظار نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش قابل توجه میانگین غلظت فسفر در بخش‌های مختلف و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن می‌باشد. در شرایط عدم مصرف کود، میانگین غلظت فسفر در برگ، بخش هوایی و کل بوته گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن به‌ترتیب ۳/۶، ۳/۹ و ۲/۸ گرم در کیلوگرم بود و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب به ۱/۶، ۱/۹ و ۱/۷ گرم در کیلوگرم تقلیل یافت. همچنین، در شرایط مصرف کود، میانگین غلظت فسفر بخش‌های یاد شده در مرحله ساقه‌رفتن به‌ترتیب ۴/۳، ۴/۵ و ۳/۵ گرم در کیلوگرم و در مرحله گرده‌افشانی به‌ترتیب به ۲/۵، ۲/۱ و ۲/۰ گرم در کیلوگرم بود که حاکی از کاهش محسوس غلظت

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات متقابل کوددهی و گونه گیاهی بر غلظت فسفر ریشه ($[P]_{Rt}$) و ضریب تخصیص ریشه (P_{RtPCAn}) در مرحله گرده‌افشانی.

P_{RtPCAn}	$[P]_{Rt}$ (g.kg ⁻¹)	گونه	تیمار
۰/۱۶۸ ^c	۱/۳۱۷ ^b	WMOR	F ₁
۰/۱۹۵ ^c	۲/۹۶۳ ^a	WDRM	
۰/۱۱۳ ^d	۰/۹۱۳ ^b	BSAH	
۰/۰۷۵ ^d	۰/۹۰۲ ^b	BNKD	
۰/۳۳۴ ^b	۱/۲۷۷ ^b	TTkL	
۰/۳۵۴ ^{ab}	۲/۸۷۷ ^a	AVEN	
۰/۳۹۶ ^a	۲/۷۶۶ ^a	PHLRS	
۰/۰۹۰ ^{cd}	۱/۲۸۷ ^b	WMOR	F ₀
۰/۰۶۱ ^d	۰/۸۹۸ ^b	WDRM	
۰/۰۴۵ ^d	۰/۷۷۰ ^b	BSAH	

۰/۰۹۶ ^{cd}	۰/۷۹۶ ^b	BNKD
۰/۱۲۳ ^c	۰/۸۱۴ ^b	TTkL
۰/۲۸۵ ^b	۲/۲۳۱ ^a	AVEN
۰/۲۳۰ ^a	۲/۳۷۱ ^a	PHLRS

WMOR* گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریبتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی. F₀: عدم مصرف کودهای شیمیایی و F₁: مصرف کودهای شیمیایی.

نشده. دامنه مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های یاد شده به ترتیب از ۰/۳۲ (جو لخت)، ۰/۱۷، ۰/۶۱ و ۰/۷۸ (علف‌خونی) میلی‌گرم در بوته تا ۰/۶۲ (تریبتیکاله)، ۰/۴۵ (یولاف وحشی)، ۱/۱۶ (جو معمولی) و ۱/۵۳ (تریبتیکاله) میلی‌گرم در بوته متغیر بود (جدول ۵).

در شرایط مصرف کود در مرحله ساقه‌رفتن نیز کمترین و بیشترین مقدار فسفر تجمع یافته به ترتیب در برگ ۰/۸۷ (علف‌خونی) و ۲/۶۵ (تریبتیکاله) میلی‌گرم در بوته، در ریشه ۰/۳ (علف‌خونی) و ۱/۰۲ (جو معمولی) میلی‌گرم در بوته، در بخش هوایی ۱/۳۱ (علف‌خونی) و ۵/۶۹ (تریبتیکاله) میلی‌گرم در بوته و در کل بوته ۱/۶۱ (علف‌خونی) و ۶/۶۰ (تریبتیکاله) میلی‌گرم در بوته بود. با توجه به نتایج به دست آمده مقدار فسفر تجمع یافته در برگ سه گونه زراعی جو معمولی، جو لخت و تریبتیکاله بیشتر از گندم دوروم، گندم مروارید و دو گونه علف‌هرز، و در همه گونه‌های زراعی بیشتر از علف‌خونی بود. همچنین، مقدار فسفر در ریشه و بخش هوایی گونه‌های زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو گونه علف‌هرز بود. جو صحرا و جو لخت نیز پس از تریبتیکاله بیشترین تجمع فسفر در کل بوته را داشتند (جدول ۵).

میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه و بخش هوایی گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود به ترتیب ۰/۴۸، ۰/۳۰ و ۰/۹۲ میلی‌گرم در بوته بود و در شرایط مصرف کود به ترتیب ۱/۸۳، ۰/۷۳ و ۳/۲ میلی‌گرم در بوته که به ترتیب نشان‌دهنده ۲۸۱، ۱۴۳ و ۲۴۸ درصد افزایش در تجمع فسفر در نتیجه مصرف کود در بخش‌های یاد شده می‌باشد. میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته در این مرحله نیز در شاهد عدم مصرف کود ۱/۲۰ و در شرایط مصرف کود ۳/۹۰ میلی‌گرم در بوته بود که افزایشی معادل ۲۲۵ درصد در مقدار تجمع فسفر در کل بوته در نتیجه مصرف کود را نشان می‌دهد. به بیانی دیگر، میانگین مقدار جذب فسفر گونه‌های مورد بررسی در شرایط مصرف کود در مرحله ساقه‌رفتن ۳/۲۵ برابر شرایط عدم مصرف کود بود. این مقادیر برابر با جذب ۲/۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط عدم مصرف کود و ۷/۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در شرایط مصرف کود می‌باشد (جدول ۵).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود تفاوت معنی‌داری در مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته گیاهان مورد بررسی مشاهده

جدول ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل کوددهی و گونه گیاهی بر مقدار فسفر برگ (P_{Lf}Cont)، ریشه (P_{Rt}Cont)، بخش هوایی (P_{St}Cont) و کل بوته (P_{Tot}Cont) در مراحل ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

P _{St} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{Rt} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _S Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{Lf} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{Tot} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{St} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{Rt} Cont (mg P.plant ⁻¹)	P _{Lf} Cont (mg P.plant ⁻¹)	گونه	تیمار
An				SE					
۹/۹۶۲ ^b	۰/۹۶۴ ^d	۷/۷۷۸ ^b	۲/۴۱۲ ^b	۳/۶۷۰ ^c	۲/۷۴۱ ^{cd}	۰/۹۲۹ ^{ab}	۱/۴۸۸ ^b	WMOR	F ₁

۱۰/۴۱۳ ^b	۲/۴۹۹ ^b	۸/۰۳۸ ^b	۱/۳۷۴ ^{cd}	۳/۷۶۵ ^c	۲/۸۷۳ ^c	۰/۸۹۲ ^{ab}	۱/۴۹۷ ^b	WDRM
۸/۲۳۹ ^{bc}	۱/۰۴۹ ^d	۴/۵۳۰ ^c	۳/۷۰۹ ^a	۵/۱۶۰ ^b	۴/۱۴۳ ^b	۱/۰۱۷ ^a	۲/۳۷۵ ^a	BSAH
۱۲/۶۲۶ ^a	۱/۳۸۵ ^{cd}	۹/۸۱۰ ^a	۲/۸۱۵ ^b	۴/۴۷۵ ^{bc}	۳/۶۹۰ ^b	۰/۷۸۵ ^{ab}	۲/۴۵۶ ^a	BNKD
۱۰/۸۸۳ ^{ab}	۱/۷۹۱ ^c	۹/۶۱۳ ^a	۱/۱۱۷ ^d	۶/۵۹۸ ^a	۵/۶۸۵ ^a	۰/۷۱۴ ^{bc}	۲/۶۴۹ ^a	TTkL
۶/۵۰۵ ^c	۲/۸۹۰ ^{ab}	۶/۵۴۰ ^b	۱/۷۵۴ ^c	۲/۰۴۶ ^d	۲/۰۴۷ ^d	۰/۴۵۳ ^{cd}	۱/۴۹۳ ^b	AVEN
۵/۴۵۵ ^c	۳/۳۸۱ ^a	۳/۴۹۷ ^c	۱/۲۰۶ ^{cd}	۱/۶۱۳ ^d	۱/۳۱۲ ^d	۰/۳۰۱ ^d	۰/۸۶۶ ^c	PHLRS
۴/۰۱۷ ^a	۰/۴۹۶ ^{ab}	۲/۵۶۲ ^{ab}	۰/۴۵۵ ^b	۱/۲۸۸ ^a	۱/۰۶۵ ^a	۰/۲۲۲ ^a	۰/۵۱۱ ^a	WMOR
۳/۰۸۳ ^{ab}	۰/۱۹۵ ^b	۲/۸۳۹ ^a	۰/۲۴۵ ^b	۱/۰۶۸ ^a	۰/۷۴۸ ^a	۰/۳۲۰ ^a	۰/۵۲۸ ^a	WDRM
۱/۵۱۶ ^b	۰/۲۷۲ ^b	۰/۷۶۸ ^c	۱/۳۹۹ ^a	۱/۴۶۹ ^a	۱/۱۵۹ ^a	۰/۳۱۰ ^a	۰/۴۹۲ ^a	BSAH
۲/۹۵۶ ^{ab}	۰/۴۳۰ ^b	۲/۳۲۳ ^{ab}	۰/۶۸۳ ^{ab}	۱/۳۶۲ ^a	۱/۰۸۱ ^a	۰/۲۵۲ ^a	۰/۳۳۱ ^a	BNKD
۲/۰۵۶ ^{ab}	۰/۲۹۰ ^b	۱/۸۴۹ ^{abc}	۰/۲۰۷ ^b	۱/۵۲۹ ^a	۱/۱۲۳ ^a	۰/۴۰۷ ^a	۰/۶۱۶ ^a	TTkL
۱/۸۴۳ ^b	۰/۸۹۸ ^a	۱/۵۹۴ ^{bc}	۰/۲۹۹ ^b	۰/۸۷۸ ^a	۰/۶۷۳ ^a	۰/۴۵۳ ^a	۰/۴۳۱ ^a	AVEN
۱/۶۹۴ ^b	۰/۶۳۸ ^{ab}	۱/۴۵۳ ^{bc}	۰/۲۴۱ ^b	۰/۷۸۰ ^a	۰/۶۱۲ ^a	۰/۱۶۸ ^a	۰/۴۶۴ ^a	PHLRS

WMOR* گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی.

نسبت به ساقه را می‌توان به مقدار و سهم بیشتر این اندام از کل ماده خشک بوته نسبت داد که با چگونگی تخصیص ماده خشک گندمیان به اندام‌های مختلف بوته در مرحله ساقه‌رفتن مطابقت دارد (Khosravian et al., 2016). در این مرحله از نمو گندمیان، با توجه به این‌که هنوز میانگره‌ها و در نتیجه ساقه گیاه هنوز طویل نشده است، بخش عمده ماده خشک به برگ‌ها اختصاص می‌یابد. داده‌ها نشان می‌دهند که در این مرحله، از کل ماده خشک بوته ۴۶ درصد به برگ، ۳۳ درصد به ساقه و ۲۱ درصد به ریشه اختصاص یافته بود که به روشنی اختلافات سه اندام از نظر مقدار فسفر تجمع‌یافته را توجیه می‌کند. البته لازم است اضافه شود که در مطالعات توزیع ماده خشک، غلاف برگ‌ها نیز به‌عنوان بخشی از ساقه در نظر گرفته می‌شود و آنچه به‌عنوان وزن خشک برگ اندازه‌گیری می‌شود فقط شامل وزن خشک پهنک برگ است. از این‌رو، چنان‌چه غلاف برگ‌ها نیز به‌عنوان بخشی از برگ در نظر گرفته شود، بدون تردید ضریب تخصیص ماده خشک به برگ در این مرحله بسیار بزرگ‌تر از ضریب فعلی خواهد شد.

در مرحله گرده‌افشانی، میانگین فسفر تجمع یافته در برگ گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف

در مرحله ساقه‌رفتن، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد مطالعه ۰/۸۲ میلی‌گرم در بوته و دامنه مقادیر آن‌ها از ۰/۳۰ در علف‌خونی تا ۱/۳۴ میلی‌گرم در بوته در تریتیکاله متغیر بود (جدول ۲). همچنین، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف کود ۰/۳۹ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود با افزایشی برابر با ۱۶۴ درصد به ۱/۰۳ میلی‌گرم در بوته رسید (جدول ۳).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در مرحله ساقه‌رفتن میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی در برگ، ساقه و ریشه گونه‌های مورد آزمایش به‌ترتیب ۱/۱۵۵، ۰/۸۱۵ و ۰/۵۱۶ میلی‌گرم در بوته بود که نشان‌دهنده تجمع بیشتر فسفر در برگ (پهنک برگ‌ها) نسبت به ساقه (به‌طور عمده متشکل از غلاف برگ‌ها) به میزان ۴۲ درصد و در ساقه نسبت به ریشه به میزان ۵۸ درصد می‌باشد. این نتیجه در حالی به‌دست آمد که در این مرحله از نمو میانگین غلظت فسفر برگ گونه‌ها (۳/۹۱ گرم در کیلوگرم) به مقدار قابل‌اعتنایی از غلظت فسفر ساقه (۴/۶۶ گرم در کیلوگرم) کمتر بود. بنابراین، بدون تردید تجمع بیشتر فسفر در برگ‌ها

کود ۰/۵۰ و در شرایط مصرف کود ۱/۹۱ میلی‌گرم در بوته بود که نشان می‌دهد تجمع فسفر در شرایط مصرف کود ۳/۸ برابر شرایط عدم مصرف کود بوده است (جدول ۵). در هر دو شرایط مقدار فسفر تجمع یافته به میزان غیر قابل اعتنایی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن افزایش یافته است ولی میزان افزایش وزن خشک برگ نسبتاً قابل توجه بوده است. کاهش چشمگیر میانگین غلظت فسفر برگ در مرحله گرده‌افشانی (۲/۰۵ گرم در کیلوگرم) نسبت به مرحله ساقه‌رفتن (۳/۹۱ گرم در کیلوگرم)، عدم افزایش تجمع فسفر در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن علی‌رغم افزایش وزن خشک برگ را به‌خوبی توجیه می‌کند.

بر اساس نتیجه مقایسه میانگین‌ها، در مرحله گرده‌افشانی در شرایط عدم مصرف کود فقط مقدار فسفر تجمع یافته در برگ جو صحرا (۱/۴۰ میلی‌گرم در بوته) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود و بین سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط مصرف کودهای شیمیایی بیشترین میزان تجمع فسفر برگ در جو صحرا (۳/۷۱ میلی‌گرم در بوته) و کمترین آن در تریتیکاله (۱/۱۲ میلی‌گرم در بوته) مشاهده شد. مقدار فسفر برگ در جو معمولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از جو لخت و گندم نان و در این دو گونه بیشتر از سایر گونه‌ها بود ولی بین سایر گونه‌ها به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). نکته جالب این‌که علی‌رغم تغییرات بیشتر تجمع فسفر برگ در گونه‌های مورد بررسی در شرایط کوددهی، ترتیب آن‌ها از کمترین به بیشترین مقدار تجمع فسفر در هر دو شرایط مشابه بود.

بر خلاف مرحله ساقه‌رفتن، که ساقه حقیقی کسر کوچکی از کل وزن خشک بوته را تشکیل می‌دهد، وزن خشک ساقه در نتیجه طویل شدن سریع میان‌گره‌ها در فاصله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی به

حداکثر مقدار خود رسیده و در گرده‌افشانی کسر قابل توجهی از وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد. در نتیجه، علی‌رغم کاهش شدید غلظت فسفر ساقه در این مرحله (۱/۹۷ میلی‌گرم در بوته) نسبت به مرحله ساقه‌رفتن (۴/۶۶ میلی‌گرم در بوته)، میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه در مرحله گرده‌افشانی ۵/۵ برابر شده و از ۰/۸۲ در مرحله ساقه‌رفتن، در گرده‌افشانی به ۴/۵۱ میلی‌گرم در بوته رسید. میانگین مقدار فسفر تجمع یافته در ساقه گونه‌های مورد بررسی در این مرحله در شاهد عدم مصرف کود ۱/۹۱ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود ۳/۷ برابر شده و به ۷/۱۱ میلی‌گرم در بوته رسید. در شرایط عدم کوددهی بیشترین تجمع فسفر ساقه (۲/۸۴ میلی‌گرم در بوته) مربوط به گندم دوروم بود که اختلاف معنی‌داری با دو علف‌هرز مورد آزمایش و جو معمولی داشت. در این شرایط بین سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط مصرف کود دامنه تغییرات مقدار فسفر ساقه در گونه‌های مختلف بسیار متفاوت (از ۳/۵۰ در علف‌خونی تا ۹/۸۱ میلی‌گرم در بوته در جو لخت) بود (جدول ۵). در مرحله گرده‌افشانی، میانگین مقدار فسفر ریشه در شاهد عدم مصرف کود، ۰/۴۶ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی ۴/۳ برابر شده و به ۱/۹۹ میلی‌گرم در بوته رسید (جدول ۵). این نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه تجمع فسفر در ریشه در هر دو شرایط عدم کوددهی (۱/۵ برابر) و کوددهی (۲/۷ برابر) در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد. این افزایش را تا حد زیادی می‌توان به افزایش وزن خشک ریشه در هر دو شرایط در فاصله ساقه‌رفتن تا گرده‌افشانی نسبت داد که بر اساس داده‌های موجود به‌طور متوسط ۲/۶ برابر شده است. افزایش قابل توجه مقدار فسفر ریشه در گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن در حالی اتفاق افتاد

که افزایش مقدار فسفر برگ چندان قابل توجه نبود. در شاهد عدم کوددهی فقط اختلاف مقدار فسفر ریشه یولاف وحشی با سایر گونه‌ها به‌جز علف‌خونی و گندم مروارید معنی‌دار بود و بین ۶ گونه دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. یکنواختی نسبی مقدار فسفر بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد بررسی در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، به‌عنوان دو مرحله بسیار مهم از زندگی گیاهان خانواده گندمیان، دلالت بر عدم تنوع ژنتیکی این گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در شرایط کمبود فسفر خاک دارد. جالب این‌که در مورد ریشه نیز تغییرات مقدار فسفر در گونه‌های مختلف در شرایط کوددهی بسیار بیشتر از شاهد بود. در مرحله گرده‌افشانی، مقدار فسفر ریشه گونه‌ها در شرایط کوددهی از ۰/۹۶ در گندم مروارید تا ۳/۳۸ میلی‌گرم در بوته در علف‌خونی متغیر بود. بین مقدار فسفر ریشه دو علف‌هرز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما مقدار فسفر ریشه گونه‌های زراعی (به‌جز گندم دوروم) به‌طور معنی‌داری کمتر از علف‌های هرز بود (جدول ۵).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین مقدار فسفر بخش هوایی گونه‌های مختلف در مرحله گرده‌افشانی، در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی ۳/۷ برابر شد و از ۲/۴۵ (در شاهد) به ۹/۱۵ میلی‌گرم در بوته (در شرایط کوددهی) رسید (جدول ۵). داده‌های ماده خشک و غلظت فسفر بخش هوایی گونه‌ها در دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی تأیید می‌کند که دلیل اصلی افزایش مقدار فسفر بخش هوایی در نتیجه کوددهی افزایش ۳/۱۸ برابری میانگین مقدار ماده خشک گونه‌ها بوده است و نقش افزایش غلظت فسفر (۱۶ درصد) قابل‌اعتنا نبوده است. همچنین، در فاصله ساقه‌رفتن تا گرده‌افشانی میانگین مقدار فسفر بخش هوایی در تیمار عدم کوددهی از ۰/۹۲ به ۲/۴۵ میلی‌گرم در بوته و در تیمار کوددهی از ۳/۲۱ به

۹/۱۶ میلی‌گرم در بوته افزایش پیدا کرد. این افزایش در حالی رخ داد که غلظت فسفر بخش هوایی در شاهد از ۳/۹۱ به ۱/۸۵ و در تیمار مصرف کود از ۴/۵۱ به ۲/۱۲ گرم فسفر در کیلوگرم ماده خشک کاهش پیدا کرد که بسیار قابل توجه است. علت افزایش مقدار فسفر بخش هوایی بوته در مرحله گرده‌افشانی نسبت به مرحله ساقه‌رفتن در هر دو شرایط شاهد و کوددهی، افزایش چشمگیر ماده خشک بود؛ میانگین ماده خشک بخش هوایی بوته در مرحله ساقه‌رفتن در شاهد ۰/۲۴ و در تیمار کوددهی ۰/۶۶ گرم در بوته بود که در مرحله گرده‌افشانی به ترتیب به ۱/۳۵ و ۴/۲۹ گرم در بوته رسید که نشان‌دهنده افزایش ۶/۳ برابر در هر دو شرایط کوددهی و عدم کوددهی می‌باشد. در مرحله گرده‌افشانی مقدار کل فسفر بخش هوایی در شاهد عدم مصرف کود ۴/۹ کیلوگرم در هکتار و در تیمار کوددهی ۱۸/۳ کیلوگرم در هکتار بود که تأثیر مصرف کود در میزان جذب را به‌وضوح نشان می‌دهد.

در مرحله گرده‌افشانی، مقدار فسفر بخش هوایی بوته در شرایط عدم کوددهی، بین ۱/۵۲ (جو معمولی) و ۴/۰۲ میلی‌گرم در بوته (گندم نان) متغیر بود. مقدار فسفر بخش هوایی گندم نان به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو علف‌هرز و جو معمولی بود و بین ۶ گونه دیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار مصرف کود، مقادیر تجمع فسفر در دامنه ۵/۴۶ (علف‌خونی) و ۱۲/۶۳ (جو لخت) نوسان داشت. بین علف‌های هرز با یکدیگر و با جو معمولی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار فسفر بخش هوایی گونه‌ها در مرحله گرده‌افشانی در شاهد بین ۳/۰ در جو معمولی و ۸/۰ کیلوگرم در هکتار در گندم نان و در شرایط کوددهی بین ۱۰/۹ در علف‌خونی و ۲۵/۳ کیلوگرم در هکتار در جو لخت متغیر بود.

مرحله ساقه‌رفتن تحت تأثیر فاکتورها قرار گرفتند. در این مرحله، اثر کوددهی فقط بر ضریب تخصیص فسفر به برگ و ریشه اما اثر گونه بر ضریب تخصیص فسفر به تمام بخش‌های بوته معنی‌دار بود. اثر متقابل بین فاکتورها نیز فقط بر ضریب تخصیص فسفر به ریشه معنی‌دار بود (جدول ۶).

در مرحله ساقه‌رفتن، علف‌خونی، یولاف وحشی و جو لخت به ترتیب ۵۷، ۵۴ و ۵۱ درصد از کل فسفر بوته خود را به برگ اختصاص دادند. ضریب تخصیص فسفر به برگ در این سه گونه به‌طور معنی‌داری بیشتر از چهار گونه دیگر بود اما بین چهار گونه دیگر مورد مطالعه از این نظر اختلافی به لحاظ آماری وجود نداشت. در مقابل، مطابق انتظار سه گونه جو صحرا، تریتیکاله و گندم دوروم که کمترین ضریب تخصیص فسفر به برگ را داشتند، دارای بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه (به ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۳۸ درصد) بودند (جدول ۷). هم‌چنان که انتظار می‌رفت در مرحله گرده‌افشانی با افزایش سهم ساقه از کل ماده خشک بوته در نتیجه طول شدن ساقه، ضریب تخصیص فسفر به ساقه به‌طور قابل توجهی در مقایسه با مرحله ساقه‌رفتن افزایش پیدا کرد و در مقابل کاهش قابل ملاحظه‌ای در سهم برگ از کل فسفر تجمع یافته در گیاه مشاهده شد. میانگین فسفر تخصیص یافته به برگ در گونه‌های مورد

مقدار فسفر کل بوته در این مرحله در شاهد عدم کوددهی ۳/۰۷ میلی‌گرم در بوته بود که در نتیجه مصرف کود به‌طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد و به ۱۰/۷۲ میلی‌گرم در بوته رسید. بخش کوچکی از این افزایش ناشی از افزایش غلظت فسفر بود که از ۱/۷۲ به ۲/۰۴ گرم در کیلوگرم افزایش یافت اما بخش عمده آن ناشی از افزایش وزن خشک بوته بود. به بیان دیگر، در نتیجه کوددهی ضمن افزایش سرعت رشد بوته غلظت فسفر نیز نه تنها کاهش نیافت بلکه تا حدی افزایش پیدا کرد. هم‌چنین، مقدار فسفر کل بوته در گونه‌های مورد مطالعه از ۴/۹۰ میلی‌گرم در بوته در علف‌خونی تا ۸/۹۴ میلی‌گرم در بوته در گندم نان متغیر بود. این مقادیر به ترتیب برابر با ۹/۸ و ۱۷/۸۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بر اساس نتیجه مقایسه میانگین‌ها، مقدار فسفر کل بوته در سه گیاه گندم نان، جو لخت و گندم دو روم به‌طور معنی‌داری بیشتر از یولاف وحشی، علف‌خونی، تریتیکاله و جو صحرا بود (جدول ۲).

ضریب تخصیص فسفر: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، در مرحله ساقه‌رفتن تنها اثر نوع گیاه بر ضریب تخصیص فسفر به برگ و ساقه معنی‌دار بود و اثر دو فاکتور و اثرات متقابل بین آن‌ها بر ضرایب تخصیص فسفر به سایر اندام‌ها معنی‌دار نبود. در مرحله گرده‌افشانی ضرایب تخصیص فسفر بیشتر از

جدول ۶: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی (F) و نوع گیاه زراعی (Gen) بر ضریب تخصیص فسفر به برگ (PLtPC)، ساقه (PStPC)، ریشه (PRtPC)، و اندام هوایی (PShPC) در مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی.

PShPC	PRtPC	PStPC	PLtPC	df	منابع تغییر	مرحله نمونه برداری
۰/۰۱۱ ^{NS}	۰/۰۱۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۱	F	
۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۱۷ ^{NS}	۰/۰۱۸ [°]	۰/۰۲ ^{°°}	۶	Gen	
۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۲۲ ^{NS}	۰/۰۱۲ ^{NS}	۰/۰۰۸ ^{NS}	۶	P* Gen	ساقه‌رفتن
۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۱۴	Error	
۶/۴۷	۲۳/۸۴	۲۲/۰۵	۱۲/۶۴		C.V.	
۰/۰۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۴۹ ^{°°}	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۰۴۴ ^{°°}	۱	F	
۰/۰۳۵ [°]	۰/۰۳۲ ^{°°}	۰/۰۵ ^{°°}	۰/۰۱۶ ^{°°}	۶	Gen	گرده‌افشانی
۰/۰۰۷ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{°°}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۶	P* Gen	

۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۷	۱۴	Error
۱۲/۰۴	۹/۸۶	۱۶/۲۶	۱۶/۶۲		C.V.

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد؛ NS: معنی‌دار نبودن تأثیر؛ C.V. ضریب تغییرات.

علف‌هرز و جو صحرا کمترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه را میان گونه‌ها داشتند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در مرحله گرده‌افشانی حدود ۸۲ درصد از کل فسفر جذب شده به بخش هوایی و کمتر از ۱۸ درصد آن به ریشه اختصاص یافته است. در مجموع ضریب تخصیص فسفر به بخش هوایی در گونه‌های زراعی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو علف‌هرز یولاف وحشی (۶۶ درصد) و علف‌خونی (۷۲ درصد) بود ولی بین گونه‌های زراعی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (جدول ۷).

مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن ۴۷ درصد و در مرحله گرده‌افشانی ۱۶/۴ درصد بود. همچنین، در گونه‌های مورد مطالعه در مرحله ساقه‌رفتن ۳۲ درصد از کل فسفر جذب شده توسط گیاه به ساقه تخصیص یافته بود در حالی که در مرحله گرده‌افشانی سهم ساقه از کل فسفر ۶۵ درصد بود که تقریباً دو برابر مرحله ساقه‌رفتن می‌باشد. در مرحله گرده‌افشانی بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ساقه مربوط به گندم مروارید (۷۸ درصد)، گندم دوروم (۷۵ درصد) و تریتیکاله (۷۳ درصد) بود که به‌طور معنی‌دار بیشتر از سایر گونه‌های مورد مطالعه بودند. در مقابل، دو

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر گونه گیاهی بر ضریب تخصیص فسفر برگ (P_{Lf}PC) و ساقه (P_{St}PC) و اندام هوایی (P_{Sh}PC) در مرحله ساقه‌رفتن (SE) و گرده‌افشانی (An).

P _{Sh} PCAn	P _{St} PCAn	P _{Lf} PCAn	P _{St} PCSE	P _{Lf} PCSE	تیمار
۰/۸۸۸ ^a	۰/۷۸۰ ^a	۰/۱۴ ^{bc}	۰/۳۸۱ ^{ab}	۰/۴۰۲ ^c	WMOR
۰/۸۷۲ ^{ab}	۰/۷۴۷ ^a	۰/۰۹ ^d	۰/۲۷۱ ^c	۰/۴۶۰ ^{bc}	WDRM
۰/۸۹۶ ^a	۰/۵۳۶ ^{bc}	۰/۳۶ ^a	۰/۳۹۷ ^a	۰/۳۹۸ ^c	BSAH
۰/۸۸۴ ^a	۰/۶۹۳ ^{ab}	۰/۱۹ ^b	۰/۲۸۲ ^{bc}	۰/۵۱۱ ^{ab}	BNKD
۰/۸۳۵ ^{ab}	۰/۷۳۱ ^a	۰/۱ ^{cd}	۰/۳۸۷ ^{ab}	۰/۴۰۵ ^c	TTkL
۰/۶۶۱ ^c	۰/۵۳۵ ^{bc}	۰/۱۳ ^{cd}	۰/۲۷۱ ^c	۰/۵۴۱ ^{ab}	AVEN
۰/۷۲۲ ^{bc}	۰/۵۳۰ ^c	۰/۱۳ ^{cd}	۰/۲۳۵ ^c	۰/۵۶۷ ^a	PHLRS
۰/۱۵۰	۰/۱۶۰	۰/۰۵۴	۰/۱۰۶	۰/۰۹۰	LSD

*WMOR گندم رقم مروارید؛ WDRM گندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL تریتیکاله؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS

علف خونی. LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار.

مطالعه به‌طور قابل توجهی بیشتر از گونه‌های زراعی بود. در این مرحله، در شرایط عدم مصرف کود مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در دو علف‌هرز به‌طور متوسط ۲۶ درصد و در گونه‌های زراعی ۸/۳ درصد بود. همچنین، در شرایط مصرف کود، مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در دو علف‌هرز به‌طور متوسط ۳۷/۵ درصد و در گونه‌های زراعی ۱۷/۷

نتایج حاکی از افزایش قابل توجه مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در شرایط مصرف کود (۲۳/۴ درصد) و عدم مصرف کود (۱۳/۴ درصد) در گونه‌های مورد مطالعه در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن می‌باشد. در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف کودهای شیمیایی مقدار فسفر تخصیص یافته به ریشه در مرحله گرده‌افشانی در دو علف‌هرز مورد

درصد بود. در میان گونه‌های زراعی نیز در هر دو شرایط مصرف و عدم مصرف کود، بیشترین ضریب تخصیص فسفر به ریشه در تربیتکاله مشاهده شد (جدول ۴).

بحث

هم‌چنان‌که اشاره شد نتایج این مطالعه حاکی از تأثیر معنی‌دار ژنوتیپ بر غلظت فسفر در تمام بخش‌ها و کل بوته در مرحله گرده‌افشانی بود در حالی‌که در مرحله ساقه رفتن تأثیر ژنوتیپ فقط بر غلظت فسفر ساقه و بخش هوایی بوته معنی‌دار بود. در ضمن، در دو مرحله یاد شده بین ژنوتیپ و مصرف کود برای غلظت فسفر در هیچ‌یک از بخش‌های بوته اثر متقابل معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱) که می‌تواند نشان‌دهنده واکنش مشابه غلظت فسفر به مصرف کود در ژنوتیپ‌های مورد بررسی باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اگرچه غلظت فسفر در مرحله گرده‌افشانی به‌طور محسوسی کمتر از مرحله ساقه‌رفتن بود ولی تغییرات غلظت فسفر در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن بیشتر بود؛ برای مثال، در مرحله ساقه‌رفتن دامنه تغییرات غلظت فسفر بخش هوایی ژنوتیپ‌ها از $\frac{3}{9}$ تا $\frac{4}{7}$ گرم در کیلوگرم بود و به استثنای گندم رقم مروارید اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت در حالی‌که غلظت فسفر بخش هوایی ژنوتیپ‌ها در مرحله گرده‌افشانی بین $\frac{1}{4}$ و $\frac{2}{7}$ گرم در کیلوگرم متغیر بود و اختلاف‌های بیشتری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. به بیان دیگر، با پیشرفت نمو و افزایش مقدار فسفر مورد نیاز گیاه و همچنین بیشتر شدن فرصت گیاه برای جذب عناصر معدنی، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها آشکارتر شد. این نتیجه بر این نیز دلالت دارد که غربال ژنوتیپ‌ها برای صفات مرتبط با جذب و استفاده از فسفر در مراحل پیشرفته‌تر در مقایسه با مراحل اولیه نمو به نتایج دقیق‌تر و مطمئن‌تری منتهی خواهد شد.

Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) نیز اختلاف‌های گسترده‌ای را بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر غلظت و مقدار جذب فسفر مشاهده کردند و مطابق با یافته‌های ما اظهار داشتند که اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر میزان جذب فسفر بسیار بیشتر از غلظت فسفر بود. ایشان به‌وضوح نشان دادند که در هر گروه از گونه‌های گندم تنوع زیادی از نظر کارایی در جذب مقادیر کم فسفر موجود در خاک به علاوه چگونگی واکنش به کود فسفوره وجود دارد. چنین تنوعی توسط پژوهشگران دیگر برای گندم (Horst, et al., 1993; Alves et al., 2005) و ذرت (Ozturk, et al., 2005) نیز گزارش شده است. در ضمن، کاهش غلظت فسفر گیاه در مرحله گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن را می‌توان به پدیده رقیق شدن فسفر در گیاه در نتیجه افزایش سهم اندام‌های کم‌فسفر و پیر شدن برگ‌ها نسبت داد (Ziadi et al., 2009; Fageria et al., 2013; Bélanger et al., 2015). مطابق با این نتایج، نتایج Khosravian و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان‌دهنده کاهش محسوس غلظت فسفر در اندام‌های مختلف گندم و جو با گذشت زمان و پیشرفت نمو گیاه بود. یافته‌های مشابهی توسط Gunes و همکاران (۲۰۰۶) و Fageria و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

تأثیر مصرف کود بر غلظت فسفر و سایر عناصر معدنی به عواملی همچون ژنوتیپ، مرحله نمو، حاصل‌خیزی خاک، زمان کوددهی و اندام گیاهی بستگی دارد. به‌طور معمول، مصرف کودها در شرایط کمبود عناصر غذایی با افزایش رشد و غلظت عناصر در بافت‌های گیاهی همراه است اما تا رسیدن به غلظت بحرانی تأثیر آن بر رشد گیاه بیشتر از غلظت عنصر در بافت گیاه است. پس از آن‌که سرعت رشد به حداکثر رسید، مصرف بیشتر کود تأثیری بر سرعت رشد گیاه نداشته و فقط موجب افزایش غلظت عنصر در گیاه می‌شود (Taiz et al., 2015; Fageria et al., 2015).

2013). در این مطالعه مصرف کود موجب افزایش غلظت فسفر در گیاه شد. بدین ترتیب که در نتیجه کوددهی غلظت فسفر برگ، بخش هوایی و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن به ترتیب ۱۹/۹، ۱۵/۳ و ۲۳/۱ درصد و در مرحله گرده‌افشانی به ترتیب ۵۳/۱، ۱۴/۶ و ۱۸/۶ درصد افزایش یافت (جدول ۳). مطابق با این یافته‌ها، Fist و همکاران (۱۹۸۷) نیز افزایش غلظت فسفر بافت‌های ریشه و بخش هوایی در پنج لگوم دانه‌ای گرمسیری را با افزایش مقدار فسفر خاک گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مقادیر بیش از حد کفایت فسفر، شیب افزایش غلظت فسفر در بافت‌های گیاه رو به کاهش می‌گذارد. غلظت فسفر برگ در دو گونه لگوم دانه‌ای مورد مطالعه آن‌ها مطابق با این نتایج در برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های مسن بود. افزایش غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی در نتیجه افزایش مقدار مصرف فسفر کودی در تعداد زیادی از مطالعات دیگر از جمله Gunes و همکاران (۲۰۰۶)، Fageria و همکاران (۲۰۱۳)، Khosravian و همکاران (۲۰۱۶) اثبات شده است. با این حال، در مطالعه Bélanger و همکاران (۲۰۱۵) مصرف کود شیمیایی تأثیری بر غلظت فسفر در بافت‌های گیاهی نداشت که دلیل آن زیاد بودن مقدار فسفر قابل استفاده در خاک اعلام شده است.

نگاهی به نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تجمع فسفر در گیاه بیشتر از غلظت فسفر و غلظت فسفر بیشتر از ضرایب تخصیص فسفر تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها تغییر یافته است به طوری که اثر فاکتورهای آزمایش و اثرات متقابل آن‌ها بر تجمع فسفر در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی معنی‌دار (اغلب در سطح احتمال یک درصد) بود. تغییرات بیشتر تجمع فسفر در واکنش به فاکتورهای آزمایش در مقایسه با غلظت و ضریب تخصیص فسفر

را می‌توان به این دلیل دانست که میزان تغییر تجمع فسفر به وسیله تغییرات دو جزء تشکیل دهنده آن یعنی "غلظت فسفر" و "مقدار ماده خشک" تعیین می‌شود که هر دو تحت تأثیر گونه گیاهی و کوددهی تغییر کرده‌اند، اگرچه تغییرات مقدار ماده خشک و در نتیجه سهم آن در تغییرات تجمع فسفر بیشتر از غلظت فسفر بوده است. نگاهی به نتایج مقایسات میانگین‌ها (جدول ۵) این نکته مهم را به وضوح نشان می‌دهد که در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی تغییرات (تنوع) مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد بررسی در شرایط عدم مصرف کود (کمبود فسفر) کمتر از شرایط مصرف کود بود. در مرحله ساقه‌رفتن، هیچ مورد اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های مورد مطالعه از نظر مقدار فسفر تجمع یافته در برگ، ریشه، بخش هوایی و کل بوته در شرایط عدم مصرف کود مشاهده نشد در حالی که در شرایط مصرف کود تفاوت‌های زیادی بین گونه‌ها از نظر مقدار فسفر تجمع یافته در بخش‌های مختلف بوته وجود داشت. برای مثال، مقدار فسفر تجمع یافته در کل بوته در گونه‌های مورد بررسی در شرایط کمبود فسفر از ۰/۶ تا ۱/۵ میلی‌گرم در بوته متغیر بود در حالی که دامنه این تغییرات در شرایط مصرف کود از ۱/۶ تا ۶/۶ میلی‌گرم در بوته بود. هم‌چنان که در مورد غلظت اشاره شد در مورد تجمع فسفر نیز با پیشرفت نمو و گذشت زمان اختلاف‌های بین گونه‌ها آشکارتر شد. در نتیجه، اختلاف‌های بین گونه‌ها در مرحله گرده‌افشانی در مقایسه با ساقه‌رفتن به‌ویژه در شرایط عدم کوددهی بیشتر بود. با این حال، همانند مرحله ساقه‌رفتن، در مرحله گرده‌افشانی نیز تغییرات تجمع فسفر در بخش‌های مختلف بوته در گونه‌های مورد مطالعه در شرایط عدم کوددهی کمتر از شرایط مصرف کود بود. عدم اختلاف معنی‌دار گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در

اندام‌های مختلف و کل بوته در مرحله ساقه‌رفتن در شرایط عدم مصرف کود را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از کارایی نسبتاً مشابه این گونه‌ها در جذب فسفر از خاک در شرایط کمبود فسفر قابل استفاده خاک در اوایل فصل رشد، و عدم وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در گونه‌های مورد مطالعه از نظر قدرت جذب فسفر از خاک در این شرایط تلقی نمود. همچنین، تغییرات بیشتر مقدار فسفر تجمع یافته در گونه‌های مورد آزمایش در شرایط مصرف کود را می‌توان به‌عنوان شاخصی از پاسخگویی متفاوت این گونه‌ها به مصرف کودهای شیمیایی قلمداد نمود. این نتایج اگرچه با نتایج بعضی از مطالعات انجام شده در این زمینه از جمله مطالعه Ozturk و همکاران (۲۰۰۵)، Gunes و همکاران (۲۰۰۶)، Korkmaz و همکاران (۲۰۰۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر اختلافات بیشتر گونه‌ها در شرایط کم‌فسفر و کاهش اختلافات بین آن‌ها در شرایط کفایت فسفر مغایرت دارد، می‌تواند نشانه‌ای از تشابه و یکنواختی گونه‌های مورد مطالعه از نظر تحمل کمبود فسفر و از سوی دیگر پاسخگویی متفاوت آن‌ها به مصرف کود فسفره است.

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده ثبات بیشتر ضریب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی در مقایسه با غلظت و تجمع فسفر بود ضمن این‌که مطابق انتظار به دلیل طویل شدن میان‌گره‌های ساقه در فاصله دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی، میزان تخصیص فسفر به ساقه در مرحله گرده‌افشانی بسیار بیشتر از مرحله ساقه‌رفتن و در مقابل میزان تخصیص فسفر به برگ کمتر از مرحله ساقه‌رفتن بود. این نتایج با یافته‌های مطالعه Khosravian و همکاران (۲۰۱۶) در دو گیاه گندم و جو مطابقت دارد. آن‌ها نیز ثبات بسیار زیاد ضرایب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف بوته در

گندم و جو در واکنش به افزایش مقدار مصرف فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری استرپتومایسس حل‌کننده فسفات گزارش کردند. ضمن این‌که، ثبات نسبی ضرایب تخصیص فسفر به بخش‌های مختلف گیاه را می‌توان به وجود روابط آلومتریک نسبتاً ثابت بین اندام‌های مختلف گیاه در دامنه وسیعی از شرایط محیطی نسبت داد.

نتیجه‌گیری نهایی

یافته‌های این مطالعه حاکی از تغییرات بسیار زیاد مقدار فسفر تجمع یافته در تمام بخش‌های گیاه و کل بوته تحت تأثیر گونه گیاهی و کوددهی و اثرات متقابل این دو عامل در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی بود. نتایج مقایسه میانگین‌های مقدار تجمع فسفر در اندام‌ها و بخش‌های مختلف گیاه در این دو مرحله بازگوکننده تنوع بسیار کم گونه‌ها به لحاظ تجمع فسفر در شرایط عدم کوددهی (شرایط محیطی فقیر از نظر فسفر قابل استفاده خاک) در مقایسه با شرایط کوددهی (شرایط محیطی مطلوب از نظر قابل استفاده خاک) می‌باشد به‌طوری‌که هیچ اختلاف معنی‌داری بین گونه‌ها از نظر تجمع فسفر در اندام‌ها و بخش‌های مختلف بوته در شرایط عدم مصرف کود مشاهده نشد، در حالی که در شرایط کوددهی اختلافات نسبتاً زیادی بین گونه‌ها از این نظر مشاهده گردید.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، دو گونه علف‌هرز یولاف وحشی و علف‌خونی به‌عنوان مهم‌ترین گونه‌های هرز گرامینه زمین‌های زیر کشت غلات سرمدوست از نظر تجمع فسفر در شرایط عدم کوددهی اختلاف معنی‌داری با گونه‌های زراعی نداشتند، اما در شرایط مصرف کود به مقدار توصیه شده همواره یا کمترین مقدار فسفر تجمع یافته را داشتند یا این‌که در شمار گونه‌های دارای کمترین مقدار فسفر تجمع یافته بودند

سازگارتر خواهند بود. در مقابل، در شرایط عدم کمبود ضرورتی برای تخصیص بیشتر ماده خشک به ریشه‌ها وجود ندارد و تخصیص بیشتر ماده خشک به ریشه نه تنها مزیت به شمار نمی‌رود، بلکه از دیدگاه اقتصاد کربن گیاه نوعی زیان محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

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

که بر عدم برتری آن‌ها بر گونه‌های زراعی از نظر قدرت جذب فسفر از خاک دلالت دارد. یافته‌های این مطالعه همچنین بر بزرگ‌تر بودن نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی در هر دو مرحله ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی دلالت دارد که به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های اصلی سازگاری گیاهان به کمبود فسفر شناخته شده است. این واکنش می‌تواند در نهایت به بزرگ‌تر شدن ضریب تخصیص فسفر به ریشه در شرایط کمبود فسفر منتهی شود. بر این اساس، گیاهانی که بتوانند در محیط‌های کم‌فسفر سیستم ریشه خود را بیشتر و سریع‌تر توسعه دهند با این محیط‌ها

References

- Ali Ehyayi, M. (1997).** Description of Methods of Soil Chemical Analysis. Vol. 2, Publication No. 1024. Tehran Soil and Water Research Institute. (In Persian)
- Modhaj, A. and Fathi, GH. (2003).** Wheat Physiology. Islamic Azad University of Shooshtar. Pp: 317. (In Persian)
- Alves, V.M.C., Parentoni, S.N., Vasconcelos, C.A., Bahia Filho, A.F.C., Pitta, G.V.E. and Schaffert, R.E. (2001).** Mechanisms of phosphorus efficiency in maize. In: Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agroecosystems, eds. W.J. Horst, M.K. Schenk, A. Burkert, N. Claassen, H. Flessa, W.B. Frommer, H. Goldbach, H.W. Olf, V. Romheld, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert, N.V. Wieren, and L. Wittenmayer, pp. 566–567. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- 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. *European Journal of Agronomy*. 25: 309–318.
- Bates, T.R. and Lynch, J.P. (2001).** Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability. *Plant Soil*. 236:243–250.
- 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. *Agronomy Journal*. 107: 963–970.
- Dordas, C. (2009).** Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. *European Journal of Agronomy*. 30(2): 129-139.
- 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 Crops Research*. 110: 35-43.
- Emam, Y. and Seghat eslami, M.J. (2005).** Physiology and Yield Trend in Crop Plants. Shiraz University Press. Pp: 593. (In Persian)
- Fageria, N.K., Moreira, A. and Dos santos, A.B. (2013).** Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. *Journal of Plant Nutrition*. 36: 13.
- Fist, A.J., Smith, F.W. and Edwards, D.G. (1987).** External phosphorus requirements of five tropical grain legumes grown in flowing-solution culture. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Springer Netherlands. P: 299-308.
- Ghazanshahi, J. (2006).** Plant and Soil Analysis. Aiihz Publication. Pp: 272. (In Persian)

- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M. and Cakmak, I. (2006).** Genotypic variation in phosphorus efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*. 52(4): 470-478.
- Horst, W.J., Abdou, M. and Wiesler, F. (1993).** Genotypic differences in P efficiency of wheat. *Plant Soil*. 156: 293-296.
- Khosravian, T., Zeinali, E., Siahmarguee, A., GhorbaniNasrAbadi, R., and 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*. (In Persian)
- Korkmaz, K., Ibrici, H., Karnez, E., Buyuk, G., Ryan, J., Ulger, A. C. and Oguz, H. (2009).** Phosphorus Use Efficiency of Wheat Genotypes Grown in Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition*. 32:12-18.
- Marschner, P. (2012).** Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edition. Elsevier, USA.
- Ozturk, L., Eker, S., Torun, B. and Cakmak, I. (2005).** Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant Soil*. 269:69-80.
- Rengel, Z. (1999).** Physiological mechanisms underlying differential nutrient efficiency of crop genotypes. In *Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications*. Ed. Z Rengel, pp. 227-265, Haworth Press, New York.
- Richardson, A.E. (1994).** Soil microorganisms and phosphorus availability. *Soil Biota*. 17: 50-62.
- Reuter, D.J. and Robinson, J.B. (1997).** *Plant Analysis: An Interpretation Manual*, 2nd ed., CSIRO Publishing, Australia.
- Raghothama K.G. (1999).** Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 50:665-693.
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M.T. and Gobi, T.A. (2013).** Phosphate solubilizing microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils. *Springer Plus*. 2(1): 587.
- Stewart, W.M., Dibb, D.W., Johnston, A.E. and Smyth, T.J. (2005).** The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*. 97: 1-6.
- Siadat, S. A. Modhaj, A. and Esfahani, M. (2013).** *Cereal Crops*. Jihad Daneshgahi Mashhad Press. Pp: 352. (In Persian)
- Soltani, A. (2006).** Application of SAS in Statistical Analysis. Jihad Daneshgahi of Mashhad. Pp: 182. (In Persian)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. and Murphy, A. (2015).** *Plant physiology and development*. Sinauer Associates, Incorporated.
- Vance, C.P., Uhde, S.C. and Allan, D.L. (2003).** Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytology*. 157:423-447.
- Wang, L., Chen, F., Zhang, F. and Guohua, M. (2010).** Two strategies for achieving higher yield under phosphorus deficiency in winter wheat grown in field conditions. *Field Crops Research*. 118: 36-42.
- Zadoks J.C., Chang T.T. and Konzak C.F. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14: 415-421.
- Zahedifar, M. Karimian, N. Ronaghi, A. Yasrebi, J. and Emam, Y. (2011).** Phosphorus and Zinc partitioning coefficients in different organs and development stages of wheat as influenced by environmental factors. *Journal of Water and Soil*. 25(3): 435-436. (In Persian)
- Ziadi, N., Belanger, G., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C. and Claessens, A. (2008).** Relationship between phosphorus and nitrogen concentration in spring wheat. *Agronomy Journal*. 100(1): 80-86.