Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (163-173)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020262408.654500

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص۱۷۳-۱۶۳)

تغییرات کارآیی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تعدادی از گونه‌های زراعی و هرز خانواده گندمیان

آرزو عبیدی[۱]، ابراهیم زینلی[۲*]، افشین سلطانی[۳]، عبدالرضا قرنجیکی[٤]

۱و۲و۳- به‌ترتیب کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ٤- استادیار، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹)

چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعهٔ تنوع ژنوتیپی برای کارایی استفاده از عناصر غذایی، توجه محققین در سراسر جهان را به خود جلب کرده است. در این راستا، تغییرات کارایی استفاده از نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شش گونه زراعی و هرز (گندم دوروم، جو معمولی، جو لخت، چاودم، یولاف وحشی و علف‌خونی)، در سال زراعی ۹۵-۹٤ در آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در دانشگاه علوم کشاورزی گرگان بررسی شد. آزمایش در دو شرایط عدم مصرف و مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌مقدار مطلوب و اندازه‌گیری غلظت عناصر و ماده خشک در مراحل ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و رسیدگی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهندهٔ تأثیر معنی‌دار فاکتورهای آزمایش بر شاخص کارآیی (نسبت ماده خشک به عنصر تجمع‌یافته در بوته)، نسبت کارآیی عناصر (نسبت ماده خشک در شاهد به ماده خشک در کوددهی) و شاخص برداشت عناصر (نسبت مقدار عنصر تجمع یافته در دانه به مقدار عنصر در کل ماده خشک) و عدم وجود اثرات متقابل معنی‌دار بین آن‌ها برای صفات مورد بررسی در هر سه مرحله بود. همچنین، نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار صفات یاد شده در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی بود. با توجه به نتایج این مطالعه، ارزیابی کارایی عناصر در مراحل اولیه رشد برای مقایسه یا غربال ژنوتیپ‌ها کافی نیست و باید در مراحل پیشرفته‌تر رشد، به‌ویژه رسیدگی انجام شود. همچنین، با توجه به تنوع چشمگیر بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر شاخص‌های کارایی عناصر، انجام مطالعات مفصل‌تر در زمینهٔ تنوع ژنوتیپی برای شناسایی صفات مرتبط با کارایی عناصر معدنی مفید به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت عناصر، شاخص کارآیی عناصر، عناصر پرمصرف، مراحل رشد، نسبت کارآیی عناصر.

Variation in efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium in some crop and weeds of Gramineae family

Arezoo Abidi[1], Ebrahim Zeinali[1*], Afshin Soltani[2], Abdolreza Gharanjiki[1]
1. Agronomy Department, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resources, 3- Cotton Research Institute of Iran, AREEO, Gorgan.
(Received: July 28, 2018 - Accepted: January 9, 2020)

ABSTRACT

In the recent years, the study of genotypic variation in terms of efficiency of mineral nutrient has attracted the attention of researchers worldwide. Hence, to investigate the variation in the nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) use efficiency in 6 important crop and weed species (durum wheat, common barley, naked barley, triticale, wild oat and canary grass), a pot experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications in Gorgan University of Agricultural Sciences during 2016-17 growing season. This experiment was carried out under unfertilized and fertilized at optimum rate conditions. Concentrations of elements and dry matter were measured in stem elongation, anthesis and physiological maturity. The results of variance analysis showed a significant effect of experimental factors on efficiency (dry matter to nutrient content ratio), nutrient efficiency ratio (dry matter in control to fertilized treatment ratio) and nutrient harvest index (nutrient content in grain to total dry matter ratio). There was no significant interaction between experimental factors for the traits studied in three stages. The results also showed a significant decrease in traits as a result of fertilizer application. According to the results, evaluation of nutrients efficiency in early stages of growth is not sufficient for comparison or screening of genotypes and should be done in more advanced stages, especially maturity. Also, considering the substantial variation among studied genotypes in terms of nutrient efficiency, more detailed studies on genotypic variation seems to be useful for identifying traits related to mineral nutrient efficiency.

Keywords: Bread Growth Stages, macro-nutrients, nutrient efficiency index, Nutrient efficiency ratio, nutrient harvest index

* Corresponding author E-mail: e.zeinali@gau.ac.ir

مقدمه

کارآیی استفاده از عناصر غذایی[1] در گیاهان زراعی دانه‌ای، به وسیله سه مؤلفه کارآیی جذب عنصر از خاک[2]، کارآیی مصرف عنصر در گیاه[3] و کارآیی انتقال مجدد عنصر غذایی از بخش رویشی به دانه[4] تعیین می‌شود. بر این اساس، گیاهانی که عناصر غذایی معدنی را به‌طور کارآمدتری از خاک جذب می‌کنند، عنصر جذب شده را به‌طور کارآمدتری در تولید ماده خشک مورد استفاده قرار می‌دهند و عنصر تجمع یافته در بخش رویشی را به‌طور کارآمدتری به دانه منتقل می‌نمایند و برای تولید دانه به‌کار می‌گیرند، NUE بیشتری خواهند داشت (Barraclough *et al*., 2010; Hawkesford, 2012; Reich *et al*., 2014; Kostadinova *et al*., 2016). NUtE که کارآیی فیزیولوژیک یا درونی عنصر نیز نامیده می‌شود، نسبت عملکرد ماده خشک بخش هوایی به عنصر تجمع‌یافته در بخش هوایی گیاه می‌باشد که در بعضی از گزارش‌ها مانند Korkmaz *et al*. (2009) از این کارآیی با عنوان شاخص کارآیی عنصر[5] نیز یاد شده است. شاخص کارآیی عنصر برای دانه (Grain-NUtE) عملکرد دانه به کل عنصر تجمع‌یافته در بخش هوایی گیاه زراعی در زمان رسیدگی است که از آن با عنوان کارآیی زراعی- فیزیولوژیک[6] نیز یاد می‌شود (Barraclough *et al*., 2010).

در بیشتر خاک‌های کشاورزی، کمبود عناصر غذایی پرمصرف، یک عامل مهم محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود؛ از این‌رو، برای بهینه‌سازی تغذیه معدنی گیاهان زراعی، به‌طور گسترده از کودهای شیمیایی این عناصر استفاده می‌شود که با افزایش هزینه تولید و اثرات نامطلوب کشاورزی بر محیط زیست همراه است. بنابراین در سال‌های اخیر، یافتن راهکارهای مقتصدانه و سالم، از جمله استفاده از ارقام کارآمد در جذب و استفاده از عناصر غذایی پرمصرف، توجه محققین را به خود جلب کرده است و تحقیقات زیادی برای شناسایی تنوع ژنوتیپی بین- و درون- گونه‌ای گیاهان زراعی از نظر NUE انجام شده است. تنوع NUE در ارقام امروزی گندم به اختلافات آن‌ها از نظر NUpE ، NUtE و NRE نسبت داده شده است (Kichey *et al*., 2007; Barraclough *et al*., 2010; Pask *et al*., 2012; Gaju *et al*., 2014; Guo et al., 2014). در مطالعه Kostadinova *et al*. (2016) اختلافات زیادی بین ژنوتیپ‌های جو دو ردیفه از نظر کارآیی استفاده از نیتروژن و فسفر برای تولید ماده خشک کل و دانه مشاهده شد. در مطالعه آن‌ها، میانگین کارآیی مصرف نیتروژن برای تولید ماده خشک، ۸۱/۶ و برای دانه، ۳۴ کیلوگرم بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده و کارآیی مصرف فسفر برای تولید ماده خشک، ۱۷۱/۳ و برای دانه، ۷۱/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. Barraclough *et al* (2010) با مطالعه ۳۹ ژنوتیپ گندم در مقادیر مختلف نیتروژن کودی (از صفر تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار)، کارآیی مصرف نیتروژن برای تولید دانه را بین ۲۷ تا ۷۷ کیلوگرم برکیلوگرم گزارش کردند. در رابطه با کارآیی استفاده از پتاسیم نیز وجود اختلافات قابل توجه بین ارقام گندم (Woodend *et al*., 1987; Rengel & Damon, 2008; Krishnasamy *et al*., 2014) و جو (Pettersson & Jensen, 1983; Wu *et al*., 2011; Kuzmanova *et al*., 2014) گزارش شده است. ارقام گندم مورد بررسی در مطالعه Gunes *et al*. (2006) در هر دو شرایط گلخانه و مزرعه، دامنه وسیعی از تغییرات را از نظر واکنش به کمبود فسفر و در نتیجه نسبت کارآیی فسفر، نسبت عملکرد ماده خشک بخش هوایی یا عملکرد دانه در شرایط فسفر ناکافی به کافی به نمایش گذاشتند. در مطالعه آن‌ها، نسبت کارآیی فسفر بر مبنای عملکرد دانه در شرایط مزرعه، از ۵۷ تا ۹۲ درصد و بر مبنای عملکرد ماده خشک در مرحله سنبله-رفتن در شرایط مزرعه و گلخانه، از ۸۳ تا ۱۰۱ درصد متغیر بود. مطالعه Korkmaz *et al*. (2009) به‌وضوح نشان داد که در هر گروه از ژنوتیپ‌های گندم، تغییرات

[1] Nutrient Use Efficiency; NUE
[2] Nutrient Uptake Efficiency; NUpE
[3] Nutrient Utilization Efficiency; NUtE
[4] Nutrient Remobilization Efficiency; NRE
[5] Nutrient Efficiency Index
[6] Agronomic-physiological Efficiency

گسترده‌ای از نظر کارآیی در جذب مقادیر کم فسفر موجود در خاک، به‌علاوه چگونگی واکنش به کود فسفر اضافه شده به خاک وجود دارد. آن‌ها در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تغییرات چشمگیری را از نظر شاخص کارایی و نسبت کارایی مشاهده کردند.

شاخص برداشت عناصر غذایی، به نسبتی از کل عنصر جذب‌شده توسط گیاه اشاره دارد که به دانه اختصاص یافته‌است. عنصر تجمع‌یافته در دانه، از دو منبع تامین می‌شود: الف) جذب عنصر توسط ریشه‌ها پس از گرده-افشانی و ب) انتقال مجدد عنصر از بخش رویشی به دانه‌های درحال رشد. بنابراین، شاخص برداشت عناصر با اجزای NUE مرتبط می‌باشد (Gaju *et al*., 2014). در مطالعه Kostadinova *et al*. (2016) اختلافات معنی‌داری از نظر شاخص برداشت نیتروژن و فسفر بین ژنوتیپ‌های مختلف جو دو ردیفه مشاهده شد. در مطالعه آن‌ها، شاخص برداشت نیتروژن، بین ۵۰/۲ تا ۶۷/۷ و شاخص برداشت فسفر، بین ۵۱/۶ تا ۶۲/۹ درصد متغیر بود. Khosravian *et al* (2018) شاخص برداشت فسفر در دو گونه گندم و جو را در تیمارهای مختلف مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری حل-کننده فسفات، ۴۲ تا ۵۸ درصد گزارش کردند.

با وجود تحقیقات گسترده در زمینه ارزیابی ژنوتیپ‌های زراعی از نظر کارآیی عناصر غذایی و صفات مرتبط با آن در جهان، در کشور ما مطالعه چندانی در زمینه جنبه‌های مختلف به کارگیری این رهیافت که رشد و عملکرد گیاهان زراعی به‌وسیله حاصلخیزی پایین و رطوبت کم خاک محدود می‌شود، صورت نگرفته است. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه چهار گونه زراعی و دو علف‌هرز مهم از خانواده گندمیان، از نظر کارایی عناصر غذایی پرمصرف اولیه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، با استفاده از معیارهای نسبت و شاخص کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک و دانه و شاخص برداشت این عناصر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل شش گونه زراعی و علف‌هرز از خانواده گندمیان (گندم دوروم (*Triticum durum* L.)، جو معمولی رقم صحرا (*Hordeum vulgare* L.)، جولخت (*Hordeum vulgare* L. var. nudum)، چاودم (*X Triticosecale*)، یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) و علف‌خونی (*Phalaris minor* Retz.)) و دو شرایط عدم مصرف و مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم کودی (به‌ترتیب ۷۶/۹۲، ۳۳/۲۵ و ۴۶/۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک برابر با ۱۸۰، ۸۰ و ۹۰ کیلوگرم عنصر خالص در هکتار) و بر اساس توصیه کودی بود. برای تأمین عناصر، از کودهای سوپرفسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم استفاده شد. خاک آزمایش دارای ۱۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن معدنی، ۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده (به‌روش Olsen *et al*., 1954)، ۲۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده و ۱/۵۸ درصد کربن آلی بود. درصد رس، شن و سیلت خاک به‌ترتیب ۲۸، ۳۰ و۴۲ درصد و بافت خاک لوم رسی بود. بذرها در گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر و با تراکم نهایی ۱۰ بوته در گلدان (معادل ۲۰۰ بوته در متر مربع) کشت شدند. گلدان‌ها در هوای آزاد قرار داده شدند و فقط در شرایط بارندگی سنگین، محل آزمایش با کشیدن پلاستیک شفاف مسقف شد. در طول فصل رشد، آبیاری (به‌منظور جلوگیری از تنش) و مبارزه با آفات و بیمارگرها در مواقع لزوم انجام شد. نمونه برداری در مراحل ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک (بر مبنای روش Zadoks *et al*., 1974) انجام شد. نمونه‌ها پس از جدا کردن اندام‌ها (ریشه، ساقه (به‌همراه سنبله بدون دانه)، برگ و دانه) به مدت ۴۸ ساعت، در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن آن‌ها اندازه‌گیری شدند. غلظت فسفر نمونه‌ها به روش رنگ‌سنجی (معرف نیترو وانادو-مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل شیماتزو-یو وی- ۱۸۰۰، غلظت نیتروژن با استفاده از روش کجلدال، شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتر و غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل Jenway PFP7 اندازه‌گیری شدند

(Ali Ehyayi., 1997; Ghazanshahi, 2006). مقدار

تجمع هر یک عناصر در هر اندام، از ضرب وزن خشک در غلظت عنصر در آن اندام به‌دست آمد و از حاصل-جمع مقدار عنصر تجمع یافته در اندام‌ها، مقدار کل عنصر تجمع یافته در بوته محاسبه شد.

نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک[1] از نسبت مقدار ماده خشک بخش هوایی (TotalDM) در تیمار شاهد (DM_{F0}) به کوددهی (DM_{F1}) به‌دست آمد (Korkmaz *et al*., 2009):

$$MNER = (TotalDM_{F0}/TotalDM_{F1})*100 \quad (۱)$$

برای محاسبه نسبت کارآیی عناصر برای تولید دانه ($MNER_{Gn}$)، از نسبت مقدار ماده خشک دانه (GrainDM) در تیمار شاهد (DM_{F0}) به کوددهی (DM_{F1}) استفاده شد (Korkmaz *et al*., 2009):

$$MNER_{Gn}=(GrainDM_{F0}/GrainDM_{F1})*100 \quad (۲)$$

شاخص کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک[2] با استفاده از نسبت مقدار ماده خشک بخش هوایی (DM_{Sh}) به مقدار عنصر تجمع یافته در بخش هوایی ($MNcont_{Sh}$) به‌دست آمد و برای هر یک از عناصر جداگانه محاسبه شد (Korkmaz *et al*., 2009):

$$MNEI=DM_{Sh}/MNcont_{Sh} \quad (۳)$$

با استفاده از نسبت مقدار ماده خشک دانه (DM_{Gn}) به مقدار عنصر تجمع یافته در بخش هوایی ($MNcont_{Sh}$)، شاخص کارآیی عناصر برای تولید دانه ($MNEI_{Gn}$) به‌دست آمد. این شاخص نیز برای هر یک از عناصر جداگانه محاسبه شد (Korkmaz *et al*., 2009):

$$MNEI_{Gn}=DM_{Gn}/MNcont_{Sh} \quad (۴)$$

برای محاسبه شاخص برداشت عناصر (MNHI)، از نسبت مقدار عنصر تجمع یافته در دانه به مقدار کل عنصر تجمع یافته در بخش هوایی بوته استفاده شد. این شاخص نیز برای هر یک از عناصر جداگانه محاسبه شد (Fageria *et al*., 2004):

$$MNHI= (MNcont_{Gn}/MNcont_{Sh})*100 \quad (۵)$$

در این روابط: DM، ماده خشک (Dry Matter)، Gn، دانه (Grain)، Ncont، مقدار عنصر (Nutrient content) و sh، بخش هوایی (shoot) می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و با نرم‌افزار SAS ویراست ۹,۳ انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک و دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر گونه گیاهی و مصرف کودهای شیمیایی بر شاخص کارآیی هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید ماده خشک، در هر سه مرحله ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک (به‌استثنای اثر گونه بر شاخص کارایی فسفر در مرحله ساقه‌رفتن و اثر کوددهی بر شاخص کارایی پتاسیم در گرده‌افشانی)، از نظر آماری معنی‌دار بود اما اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای آزمایش روی شاخص کارآیی عناصر در مراحل نمو یاد شده وجود نداشت که حاکی از واکنش نسبتا مشابه گونه‌ها به مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد (جدول ۱).

در هر سه مرحله نمونه‌برداری، مصرف کود موجب کاهش معنی‌دار شاخص کارآیی فسفر برای تولید ماده خشک بخش هوایی نسبت به شرایط عدم مصرف کود شد. میانگین شاخص کارآیی فسفر در گونه‌ها در مرحله ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، به‌ترتیب ۲۴۹/۶۵، ۵۲۰/۷۹ و ۵۵۹/۷۳ گرم بر گرم بود (جدول ۲). در میان ارقام مورد بررسی توسط Sepehr *et al*. (2009) این شاخص از ۳۸ تا ۸۱ گرم ماده خشک بر گرم فسفر جذب شده تغییر کرد و از این نظر ارقام جو، جودوسر، چاودار و ترتیکاله کارآتر از ارقام گندم نان و دوروم بودند. به‌طور کلی در مطالعه ایشان نیز با مصرف کود فسفر در تمامی ارقام، این شاخص به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت و میانگین آن از ۵۵ به ۲۱ رسید؛ این یافته با نتایج Fageria *et al*. (1988) مطابقت دارد. مصرف کود شیمیایی نیتروژن نیز موجب کاهش معنی‌دار شاخص کارآیی نیتروژن در هر سه مرحله ساقه‌رفتن، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، به‌ترتیب ۲۸، ۲۷ و ۱۸ درصد نسبت به شاهد عدم مصرف کود بود (جدول ۲). میانگین شاخص کارآیی نیتروژن گونه‌ها

[1] Mineral Nutrient Efficiency Ratio: MNER

[2] Mineral Nutrient Efficiency Index; MNEI

در ساقه‌رفتن، ۴۴/۳۷ گرم بر گرم بود که با پیشرفت نمو گیاه افزایش یافت و در گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، به‌ترتیب به ۱۲۲/۳۱ و ۹۷/۷۳ گرم بر گرم رسید (جدول ۲). Zeinali (2009) شاخص کارآیی نیتروژن در تعدادی از مزارع گندم در گرگان را بررسی نمود و ۶۲ تا ۹۳ کیلوگرم ماده خشک به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده را گزارش کرد. اختلاف شرایط محیط رشد گیاه در مزرعه با شرایط انجام این آزمایش را می‌توان به‌عنوان علت اصلی کمتر بودن شاخص کارآیی در مطالعهٔ آن‌ها بیان کرد. همانند این مطالعه، نتایج نامبرده و Hosseini (2012) نیز حاکی از رابطهٔ معکوس بین مقدار مصرف کود نیتروژن و شاخص کارآیی نیتروژن بود.

جدول ۱- میانگین مربعات اثر کوددهی (F)، گونه گیاهی (Species) و اثرات متقابل بین آن‌ها بر شاخص کارآیی عناصر نیتروژن (NEI)، فسفر (PEI) و پتاسیم (KEI) برای تولید ماده خشک در مراحل ساقه‌رفتن (SE)، گرده‌افشانی (An) و رسیدگی فیزیولوژیک (PM).

Table 1. Mean squares of the effect of fertilization (F), plant species (species) and their interactions on the nutrient efficiency index of nitrogen (NEI), phosphorus (PEI) and potassium (KEI) for shoot dry matter in stem elongation (SE), anthesis (An) and physiological maturity (PM).

s. o. v.	df	$NEI_{(SE)}$	$NEI_{(An)}$	$NEI_{(PM)}$	$PEI_{(SE)}$	$PEI_{(An)}$	$PEI_{(PM)}$	$KEI_{(SE)}$	$KEI_{(An)}$	$KEI_{(PM)}$
F	1	1585.65**	9975.92**	1952.68**	11970.87*	89988.57**	400739.1**	281.37**	457.91^{ns}	1740.75**
Species	5	240.16**	836.78*	3130.71**	10516.16^{ns}	88805.50**	67306.45**	84.22*	442.54*	6057.57**
Species*F	5	10.7^{ns}	621.95^{ns}	69.81^{ns}	2418.83^{ns}	4233.71^{ns}	4909.42^{ns}	9.85^{ns}	155.39^{ns}	158.48^{ns}
Error	12	6.98	233.93	135.46	1796.41	4093.07	2515.07	19.52	100.51	87.94
C.V.		5.79	12.54	11.90	16.98	12.15	8.96	15.64	14.66	8.47

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: not nsignificant, significant difference at 1 and 5% probability level, respectively.

جدول ۲- شاخص کارآیی نیتروژن (NEI)، فسفر (PEI) و پتاسیم (KEI) برای تولید ماده خشک در مراحل ساقه‌رفتن (SE)، گرده‌افشانی (An) و رسیدگی فیزیولوژیک (HM) در گونه‌های مختلف در دو شرایط مصرف (F_1) و عدم مصرف (F_0) کود.

Table 2. Efficiency index of nitrogen (NEI), phosphorus (PEI) and potassium (KEI) for dry matter production in stem elongation (SE), anthesis (An) and physiological maturity (HM) in different species with (F_1) and without (F_0) fertilization.

Treatment	$NEI_{(SE)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$NEI_{(An)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$NEI_{(HM)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$PEI_{(SE)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$PEI_{(An)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$PEI_{(HM)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$KEI_{(SE)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$KEI_{(An)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$KEI_{(HM)}$ ($gr.gr^{-1}$)
F_1	38.12^{b}	103.09^{b}	87.85^{b}	228.97^{b}	453.14^{b}	430.51^{b}	25.07^{b}	-	102.19^{b}
F_0	53.17^{a}	140.84^{a}	107.61^{a}	270.33^{a}	588.43^{a}	688.94^{a}	31.41^{a}	-	119.22^{a}
LSD	2.14	12.40	11.60	34.36	11.92	44.61	3.58	-	8.34
WDRM	44.25^{c}	105.98^{c}	75.40^{c}	-	384.85^{d}	416.90^{c}	32.31^{a}	79.71^{a}	159.67^{a}
BSAH	52.08^{a}	138.73^{ab}	93.98^{b}	-	652.24^{bc}	535.71^{b}	24.83^{b}	53.58^{c}	113.32^{c}
BNKD	49.58^{a}	117.43^{bc}	81.09^{bc}	-	380.16^{d}	467.36^{bc}	26.12^{ab}	58.76^{c}	117.58^{c}
TTkL	49.27^{a}	107.01^{c}	87.98^{bc}	-	577.51^{c}	500.23^{b}	28.75^{ab}	77.96^{ab}	141.68^{b}
AVEN	38.97^{d}	143.62^{a}	139.15^{a}	-	708.29^{ab}	731.35^{a}	24.34^{b}	67.22^{abc}	56.97^{e}
PHLRS	32.06^{e}	121.09^{abc}	145.25^{a}	-	798.16^{a}	706.80^{a}	24.92^{b}	63.07^{bc}	75.02^{d}
LSD	4	23.20	18.34	-	120.53	77.26	6.7	15.21	14.45

در مرحله ساقه‌رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک، مصرف کود شیمیایی پتاس، موجب کاهش شاخص کارآیی پتاسیم گونه‌ها به میزان ۲۰ و ۱۴ درصد شد. میانگین شاخص کارآیی پتاسیم گونه‌ها در مرحله ساقه‌رفتن ۲۶/۸۹، گرده‌افشانی ۶۶/۷۲ و رسیدگی فیزیولوژیک ۱۱۰/۷ گرم بر گرم بود (جدول ۲). اختلافات کارآیی استفاده پتاسیم در ژنوتیپ‌های گندم (Rengel & Damon., 2008; Krishnasamy *et al*., 2014) و جو (Kuzmanova *et al*., 2014; Wu *et al*., 2011) نیز گزارش شده است. در یک نگاه کلی به نتایج مقایسه میانگین‌ها می‌توان گفت که گندم دوروم، کارآمدترین گونه از نظر شاخص کارآیی پتاسیم (در هر سه مرحله) و ناکارآمدترین گونه از نظر شاخص کارآیی فسفر و نیتروژن (در هر سه مرحله) بود. در تمام گونه‌های

مورد مطالعه و در مورد هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، کمترین مقدار شاخص کارآیی با اختلافی قابل توجه با دو مرحله دیگر، به مرحله ساقه‌رفتن تعلق داشت. این شاخص در مرحله گرده‌افشانی، به بیشترین میزان خود رسید. بیشتر بودن شاخص کارآیی در گرده‌افشانی نسبت به ساقه‌رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک را می‌توان به غلظت بیشتر عناصر در ماده خشک گیاهی در مرحله ساقه‌رفتن (که بخش عمده آن را برگ تشکیل می‌دهد) و همچنین ریزش برگ‌ها در فاصله بین دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک نسبت داد. شاخص کارآیی هر سه عنصر در دو گونه علف هرز در مرحله ساقه‌رفتن، کمتر و در دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، بیشتر از گونه‌های زراعی بود. رشد اولیه کندتر (تولید ماده خشک کمتر) به‌علاوه غلظت بیشتر عناصر در مرحله ساقه‌رفتن و بر عکس آن، ماده خشک بیشتر و غلظت کمتر عنصر در ماده خشک گیاهی در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک در دو گونه علف هرز یاد شده نسبت به گونه‌های زراعی (Abidi *et al*., 2018; Abidi *et al*., 2019) را می‌توان به‌عنوان دلایل این نتایج ذکر کرد.

بین گونه‌های گیاهی از نظر شاخص کارآیی فسفر در مرحله ساقه‌رفتن اختلافی وجود نداشت؛ درحالی‌که در مراحل بعدی نمو، این تأثیر معنی‌دار بود. تأثیر گونه گیاهی بر شاخص کارآیی نیتروژن و پتاسیم در هر سه مرحله معنی‌دار بود، اما اختلافات بین گونه‌ها در مرحله ساقه‌رفتن، به‌طور محسوس از دو مرحله بعدی کمتر بود و می‌توان گفت مرحله ساقه‌رفتن برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گیاهی از نظر کارآیی مصرف عناصر مناسب‌تر است و بهتر است که این صفت در مراحل پیشرفته‌تر نمو (گرده‌افشانی یا رسیدگی فیزیولوژیک) بررسی شود.

شاخص کارآیی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید دانه، واکنش معنی‌داری به هر دو فاکتور کوددهی و گونه گیاهی نشان داد، درحالی‌که اثر متقابل بین فاکتورهای آزمایش برای هیچ کدام از عناصر مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین مربعات اثر کوددهی (F)، گونه گیاهی (Species) و اثرات متقابل بین آن‌ها بر شاخص کارآیی عناصر نیتروژن (NEI_{Gn})، فسفر (PEI_{Gn}) و پتاسیم (KEI_{Gn}) برای تولید دانه و شاخص برداشت نیتروژن (NHI)، فسفر (PHI) و پتاسیم (KHI).

Table 3. Mean squares of the effect of fertilization (F), plant species (species) and their interactions on the nutrient efficiency index of nitrogen (NEI_{Gn}), phosphorus (PEI_{Gn}) and potassium (KEI_{Gn}) for grain, and harvest index of nitrogen (NHI), phosphorus (PHI) and potassium (KHI).

s. o. v.	df	NEI_{Gn}	PEI_{Gn}	KEI_{Gn}	PHI	KHI	NHI
F	1	424.18*	72834.11**	420.90**	0.08**	0.008**	0.006*
Species	5	581.02**	21414.32**	3737.63**	0.1**	0.032**	0.26**
Species* F	5	40.83^{ns}	1897.82^{ns}	51.53^{ns}	0.005^{ns}	0.002^{ns}	0.003^{ns}
Error	12	46.53	697.17	17.89	0.005	0.008	0.001
C.V.		17.72	13.33	8.85	11.93	14.46	4.59

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: not nsignificant, significant difference at 1 and 5% probability level, respectively.

با مصرف کودهای شیمیایی، شاخص کارآیی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید دانه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت و به‌ترتیب از ۴۳/۱، ۲۵۳/۱۳ و ۵۱/۹۷ در شرایط شاهد به ۳۳/۸۸، ۱۴۲/۹۰ و ۴۳/۵۹ گرم بر گرم رسید. میانگین شاخص کارآیی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید دانه در گونه‌های گیاهی، به‌ترتیب ۳۶/۷۹، ۱۹۸/۰۴ و ۴۷/۷۸ گرم بر گرم بود. بیشترین شاخص کارآیی عناصر برای تولید دانه برای نیتروژن و فسفر در جو صحرا (نیتروژن ۵۱/۳۲ و فسفر ۲۷۸/۰۷ گرم بر گرم) و برای پتاسیم در گندم دوروم (۷۶/۶۲ گرم بر گرم) مشاهده شد. این شاخص در گونه‌های زراعی برای نیتروژن ۱/۸ برابر، فسفر ۲/۲ برابر و پتاسیم ۷/۶ برابر علف‌های هرز بود (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص کارآیی نیتروژن (NEI_{Gn})، فسفر (PEI_{Gn}) و پتاسیم (KEI_{Gn}) برای تولید دانه ($MNEI_{Gn}$)، شاخص برداشت نیتروژن (NHI)، فسفر (PHI) و پتاسیم (KHI) (MNHI)، نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک (MNER) و دانه ($MNER_{Gn}$) گونه‌های مختلف در شرایط کوددهی (F_1) و عدم کوددهی (F_0) در مراحل ساقه‌رفتن (SE)، گرده‌افشانی (An) و رسیدگی فیزیولوژیک (HM).

Table 4. Nutrient efficiency index for grain (N; NEI_{Gn}, P; PEI_{Gn}, K; KEI_{Gn}), nutrient harvest index (N;NHI, P; PHI, K; KHI), nutrient efficiency ratio for total dry matter (MNER) in different species with (F_1) and without (F_0) fertilization in stem elongation (SE), anthesis (An) and physiological maturity (HM), and nutrient efficiency ratio for grain (MNERGn).

	NEI_{Gn} ($gr.gr^{-1}$)	PEI_{Gn} ($gr.gr^{-1}$)	KEI_{Gn} ($gr.gr^{-1}$)	NHI ($gr.gr^{-1}$)	PHI ($gr.gr^{-1}$)	KHI ($gr.gr^{-1}$)	$MNER_{(SE)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$MNER_{(An)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$MNER_{(HM)}$ ($gr.gr^{-1}$)	$MNER_{Gn}$ ($gr.gr^{-1}$)
F_1	33.88 b	142.9b	43.59 b	0.67 b	0.52 b	0.11 b	-	-	-	-
F_0	43.1 a	253.13a	51.97 a	0.7 a	0.64 a	0.15 a	-	-	-	-
LSD	6.8	23.49	3.76	0.02	0.06	0.03	-	-	-	-
WDRM	37.02 b	204.12c	76.62 a	0.72 b	0.69 a	0.20 a	0.3b	0.33b	0.32d	0.30 bc
BSAH	51.32 a	278.07a	61.99 b	0.77 b	0.64 a	0.17 a	0.38a	0.55a	0.3d	0.31 bc
BNKD	44.46 ab	255.85ab	61.87 b	0.88 a	0.7 a	0.19 a	0.27b	0.28b	0.28d	0.29 c
TTkL	40.51 b	227.35bc	68.33 b	0.83 a	0.68 a	0.20 a	0.36a	0.33b	0.41c	0.37 b
AVEN	28.26bc	135.16d	9.33 c	0.28c	0.41 b	0.02 b	0.37a	0.27b	0.58a	0.71 a
PHLRS	19.14c	87.71e	8.55 c	0.24c	0.35 b	0.02 b	0.39a	0.29b	0.51b	0.71 a
LSD	10.75	40.68	6.52	0.05	0.11	0.04	0.05	0.09	0.07	0.07

WDRMگندم دوروم؛ BSAH جو رقم صحرا؛ BNKD جو لخت؛ TTkL چاودم؛ AVEN یولاف وحشی؛ PHLRS علف خونی؛ F_1 کوددهی و F_0 عدم کوددهی.

WDRM: Durum wheat, BSAH: Barely Sahra variety, BNKD: Naked barely, TTkL: Triticale, AVEN: Wild oat, PHLRS: canary grass.

به‌طور کلی، یافته‌های مطالعه حاضر همانندیافته‌های سایر محققین از جمله Sepehr *et al.* (2009)، Zeinali (2009) و Hosseini (2009) در مورد نیتروژن، Wu *et al.* (2011)، Krishnasamy *et al.* (2014) و Kuzmanova *et al.* (2014) در مورد پتاسیم و Khosravian (2016)، Gunes *et al.* (2016) و Korkmaz *et al.* (2009) در مورد فسفر، حاکی از کاهش شاخص کارایی با مصرف کودهای شیمیایی بود. Lawlar *et al* (1988) اظهار داشتند که بیشترین کارایی عناصر غذایی در فرآیندهای شیمیایی زمانی به‌دست می‌آید که عنصر به‌شدت محدود کننده باشد و رشد گیاه بسیار ضعیف است؛ به این دلیل که در چنین شرایطی، مصرف تجملی وجود ندارد. در مقابل، چنانچه تأمین عنصر غذایی به مقدار لازم برای حداکثر سرعت رشد در یک شرایط محیطی معین باشد، با مصرف مقدار بیشتر آن عنصر، افزایشی در تولید ماده خشک اتفاق نمی‌افتد و بر غلظت و ذخیره آن عنصر در گیاه افزوده می‌شود. به بیان دیگر، با افزایش مقدار مصرف عناصر غذایی و کاهش محدودیت آن برای فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه، تأثیر آن بر سرعت رشد و در نتیجه کارایی عنصر کاهش می‌یابد. Fageria & Buligar (2005) و Zeinal (2009) نیز عدم توانایی جذب عناصر توسط گیاه، متناسب با افزایش مقدار مصرف آن‌ها و افزایش تلفات آن‌ها در مقادیر بیشتر مصرف را از دلایل رابطه معکوس بین مقدار مصرف و کارایی عناصر غذایی توسط گیاه ذکر کردند.

نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک و دانه

نتایج تجزیه واریانس، حاکی از تأثیر معنی‌دار گونه گیاهی بر نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک و دانه در هر سه مرحله نمونه‌برداری بود (جدول ۵). نسبت کارآیی عناصر به‌دست آمده در این مطالعه برای تولید ماده خشک، ۳۴ در صد در مراحل ساقه‌رفتن و گرده‌افشانی و ۴۰ درصد در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و برای تولید دانه، ۴۵ درصد بود که از مقادیرگزارش شده توسط سایر محققین کمتر بود. برای مثال، Ozturk *et al.* (2005) در آزمایشی گلخانه‌ای، نسبت کارآیی فسفر در ۳۹ رقم گندم نان، به‌طور متوسط ۶۱/۲ درصد و ۳۴ رقم گندم دوروم ۶۵/۹ درصد گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین- و درون-گونه‌ای قابل توجه برای نسبت کارآیی فسفر در گندم بود که این تغییرات در گونه‌های گندم دوروم نسبت به گندم نان بیشتر بود. مشابه با نتایج مطالعه حاضر، تنوع ژنتیکی قابل

توجهی از نظر تحمل کمبود فسفر و واکنش رشد و عملکرد به مصرف کود فسفر در ارقام مختلف گندم در استرالیا (Batten, 1986; Osborne & Rengel, 2002) و سیمیت (Manske et al., 2000) مشاهده شده است. کمتر بودن نسبت کارآیی عناصر در این مطالعه نسبت به سایر مطالعات را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی ارقام و گونه‌های مورد استفاده از نظر سازگاری سازگاری به کمبود عناصر غذایی و تفاوت بین خاک‌های مورد استفاده نسبت داد. در این آزمایش، از خاکی استفاده شد که از نظر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (۴/۸ میلی گرم در کیلوگرم) از خاک مطالعات یاد شده فقیرتر بود که به کاهش شدید رشد و تولید ماده خشک کل و دانه و در نهایت کاهش شدید نسبت کارآیی عناصر منتهی شد.

جدول ۵- میانگین مربعات اثر نوع گونه گیاهی (Species) بر نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک (MNER) در مراحل ساقه‌رفتن (SE) گرده‌افشانی (An) و رسیدگی فیزیولوژیک (HM) و نسبت کارآیی عناصر برای تولید دانه ($MNER_{Gn}$).

Table 5. Mean squares of the effect of plant species on the nutrient efficiency ratio for total dry matter (MNER) at stem elongation (SE), anthesis (An) and physiological maturity (PM) and nutrient efficiency ratio for grain (MNERGn).

s. o. v.	df	$MNER_{(SE)}$	$MNER_{(An)}$	$MNER_{(PM)}$	$MNER_{Gn}$
Species	5	0.005*	0.02**	0.03**	0.085**
Error	6	0.0004	0.001	0.0008	0.0009
C.V.		5.91	11.17	7.2	6.58

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: not nsignificant, significant difference at 1 and 5% probability level, respectively.

میانگین نسبت کارآیی عناصر برای تولید دانه گونه‌ها، ۴۵ درصد بود و از ۲۹ (جو لخت) تا ۷۱ درصد (دو گونه علف هرز) تغییر کرد و به‌طورکلی، در دو گونه علف‌هرز، نسبت کارآیی عناصر برای تولید دانه (۲/۲ برابر) نسبت به گونه‌های زراعی بیشتر بود (جدول ۴).در این مطالعه، تخصیص ماده خشک و در نتیجه عناصر غذایی به دانه در دو گونه علف‌هرز، به‌طور چشمگیری کمتر از گونه‌های زراعی بود. از آن‌جا که غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه به‌طور محسوسی بیشتر از بخش رویشی می‌باشد و کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک بخش رویشی از دانه بیشتر است، نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در این دو علف‌هرز (۵۵ درصد)، به‌طور معنی‌دار از گونه های زراعی (۳۳ درصد) بیشتر شد.

شاخص برداشت عناصر

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده تأثیر معنی‌دار کوددهی و گونه گیاهی بر شاخص برداشت هرسه عنصر بود، اما اثر متقابل معنی‌داری بین فاکتورهای آزمایش مشاهده نشد (جدول ۳). مصرف کودهای شیمیایی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت عناصر شد؛ با کوددهی، شاخص برداشت نیتروژن از ۷۰ (شاهد) به ۶۷ درصد، فسفر از ۶۴ (شاهد) به ۵۲ درصد و پتاسیم از ۱۵ (شاهد) به ۱۱ درصد کاهش یافت (جدول ۴). بر اساس نتایج بدست‌آمده، شاخص برداشت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گونه‌های زراعی، بسیار نزدیک به یکدیگر و بسیار بیشتر از گونه‌های هرز بود. میانگین شاخص برداشت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گونه‌های زراعی، ۸۰، ۶۸ و ۱۹ درصد و در گونه‌های علف‌هرز به‌ترتیب ۲۶، ۳۸ و دو درصد بود. بیشترین شاخص برداشت عناصر غذایی در جو لخت (۸۸ درصد نیتروژن، ۷۰ درصد فسفر و ۱۹ درصد پتاسیم) و کمترین آن در علف‌خونی (۲۴ درصد نیتروژن، ۳۵ درصد فسفر و دو درصد پتاسیم) مشاهده شد (جدول ۴). تخصیص بسیار کم ماده خشک به دانه در گونه‌های هرز به‌ویژه علف‌خونی در مقایسه با گونه‌های زراعی، علت اصلی کمتر بودن شاخص برداشت عناصر غذایی در علف‌های‌هرز مورد مطالعه بود. به بیان دیگر، به‌نژادی گونه‌های زراعی، موجب افزایش ضریب تخصیص ماده خشک به دانه و در نتیجه شاخص برداشت دانه و در

نهایت انتقال بیشتر و کارآمدتر عناصر غذایی به دانه‌ها و افزایش شاخص برداشت عناصر غذایی در این گونه‌ها شده است. همچنین یافته‌های این مطالعه حاکی از آن بود که از کل مقدار فسفر جذب شده توسط بوته‌ها در شرایط عدم مصرف کود، ۵۹/۶ درصد و در شرایط مصرف کود، ۴۹/۰ درصد به دانه اختصاص یافته است (جدول ۵) که این کاهش را می‌توان به تأثیر بیشتر مصرف کودهای شیمیایی بر رشد رویشی در مقایسه با رشد زایشی نسبت داد. Khosravian *et al* (2018) در مطالعه تأثیر مقدار فسفر کودی و مایه‌زنی با باکتری حل‌کننده فسفات، شاخص برداشت فسفر در دو گونه گندم و جو را در تیمارهای مختلف، ۴۲ تا ۵۸ درصد و مطابق با یافته‌های این مطالعه، شاخص برداشت فسفر در گندم (۵۶ درصد) را بیشتر از جو (۴۷ درصد) گزارش کردند. Moeini Rad (2018) با بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر کودی، کاهش خطی اما با شیب کم شاخص برداشت فسفر با افزایش مقدار مصرف کود فسفر را گزارش کرد و آن را به افزایش سرعت رشد رویشی، تحت تأثیر افزایش مصرف کود نسبت داد. در مطالعه ژنوتیپ‌های مختلف جو دو ردیفه توسط Kostadinova *et al*. (2016) شاخص برداشت نیتروژن بین ۵۰/۲ تا ۶۷/۷ و شاخص برداشت فسفر بین ۵۱/۶ تا ۶۲/۹ درصد متغیر بود. Fageria *et al* (2004) شاخص برداشت نیتروژن در ژنوتیپ‌های لوبیا را در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن، ۴۳ تا ۸۲ درصد و در شرایط مصرف کود، ۵۳ تا ۸۸ درصد گزارش کردند. همچنین، Fageria *et al* (2001) شاخص برداشت پتاسیم ژنوتیپ‌های لوبیا را در مقادیر کم پتاسیم، ۳۱ تا ۶۸ و در مقادیر زیاد پتاسیم، ۳۳ تا ۵۷ درصد گزارش کردند. به‌طورکلی، کاهش شاخص برداشت عناصر با مصرف کودهای شیمیایی را می‌توان به تأثیر بیشتر مصرف این کودها بر رشد رویشی در مقایسه با بخش زایشی (دانه) نسبت داد. این نتایج همچنین نشان دهندهٔ تخصیص بیشتر نیتروژن به دانه در مقایسه با فسفر و پتاسیم می‌باشد که می‌تواند از نیاز بیشتر دانه به نیتروژن برای رشد و در نتیجه اختلاف بیشتر بین دانه و بخش رویشی از نظر غلظت نیتروژن در مقایسه با غلظت فسفر و پتاسیم ناشی شده باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده، حاکی از وجود تفاوت‌های قابل توجه بین گونه‌های مورد مطالعه از نظر شاخص و نسبت کارآیی عناصر برای تولید ماده خشک و دانه و شاخص برداشت عناصر بود؛ با این حال، نگاهی دقیق‌تر به نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان می‌دهد که اختلاف‌های بین گونه‌های زراعی در بیشتر موارد، بسیار کمتر از اختلاف بین آن‌ها با دو گونه علف‌هرز بوده است. بدین ترتیب که شاخص برداشت هر سه عنصر مورد بررسی در دو گونه علف‌هرز، بسیار کمتر از گونه‌های زراعی ولی نسبت کارایی عناصر برای تولید دانه و ماده خشک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در آن‌ها، بسیار بیشتر از گونه‌های زراعی بود که نشان‌دهنده تخصیص کمتر عناصر جذب شده به دانه در گونه‌های هرز و همچنین تحمل بیشتر گونه‌های هرز به شرایط کمبود عناصر غذایی می‌باشد که قابل تأمل است. از این‌رو، انجام مطالعات مفصل‌تر با استفاده از تعداد بیشتری از ارقام هر یک از گونه‌های زراعی و همچنین تعداد بیشتری از گونه‌های هرز خویشاوند آن‌ها برای آگاهی از میزان تنوع ژنوتیپی از نظر اجزای کارآیی استفاده از عناصر غذایی مفید به نظر می‌رسد. بدیهی است که در مطالعات بعدی، بررسی صفات مرتبط با تغییر کارایی استفاده از عناصر، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار به‌نژادگران قرار خواهد داد. همچنین با توجه به عدم وجود همبستگی قوی بین نتایج مرحله ساقه‌رفتن با مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی و این‌که اختلاف‌های بین ارقام، ممکن است ناشی از اختلاف کارایی انتقال مجدد عناصر از بخش رویشی به بخش زایشی در دوره پس از گرده‌افشانی باشد، توصیه می‌شود که ارزیابی ژنوتیپ‌های غلات از نظر کارایی استفاده از عناصر در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شود.

REFERENCES

1. Abidi, A., Zeinali, E., Soltani, A. & Gharanjiki. A. (2019). Variations in phosphorus concentration, accumulation and distribution in some of crop and weed species of Poaceae family. *Journal of Plant Production Research*, 25(1), 45-69 (In Persian)**.**
2. Abidi, A., Zeinali, E., Soltani, A. & Gharanjiki. A. (2018). Phosphorus Concentration, Accumulation and Allocation in Stem Elongation and Anthesis Growth Stages in Some Crop and Weed Species of Gramineae. *Journal of Plant Enviromental Physiology*, (4), 35-52. (In Persian)**.**
3. Ali Ehyayi, M. (1997). *Description of Methods of Soil Chemical Analysis*. Vol. 2, Publication No. 1024. Tehran Soil and Water Research Institute. (In Persian)**.**
4. Barraclough, P. B., Howarth, J. R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E. & Hawkesford, M.J. (2010). Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*, (33), 1-11.
5. Batten, G. D. (1986). The uptake and utilization of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum spp*.). *Annals of Botany*, (58), 49–59.
6. Fageria, N. K. & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. 88, 97-185.
7. Fageria, N. K., Barbosa Filho, M. P. & da Costa, B. (2001). Potassium use efficiency common bean genotypes. *J. Plant Nutrition*, (24), 1937-1945.
8. Fageria, N. K., Barbosa Filho, M. P. & Stone, L. F. (2004). Phosphorus nutrition of common bean. In: *Phosphorus in Brazilian Agriculture*. Eds: Yamada, T. & Abdalla, S. R. S. 435-455.
9. Fageria, N.K., Wright, R.J. & Baligar, V.C. (1988). Rice cultivar evaluation for phosphorus-use efficiency. *Plant Soil*, (111), 105–109.
10. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Le Gouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Hubbart, S. & Foulkes, M. J. (2014). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Research*, (155), 213–223.
11. Ghazanshahi, J. (2006). Plant and Soil Analysis. *Aiizh Publication*, Pp, 272. (In Persian)
12. Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M. & Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in P efficiency between wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52 (4), 470-478.
13. Guo, Z., Zhang, Y., Zhao, J., Shi, Y. & Yu, Z. (2014). Nitrogen use by winter wheat and changes in soil nitrate nitrogen levels with supplemental irrigation based on measurement of moisture content in various soil layers. *Field Crops Research*, 164, 117-125.
14. Hawkesford, M. J. (2012). The diversity of nitrogen use efficiency for wheat varieties and the potential for crop improvement. *Better Crops*, (96), 10-12.
15. Hosseini, M. S. (2013). *Investigating the possibility of the enhancement of nitrogen use efficiency and nitrogen nutrition index using DMPP in wheat*. MSc. Thesis in Agronomy. Crop Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 73 pages. (In Persian).
16. Khosravian, T. (2016). *Investigating the effect of inoculation with phosphate solubilizing bacteria and fertilizer phosphorus rate on some of physiological and agronomic characteristics in wheat and barley*. MSc. Thesis in Agronomy. Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 202 pages. (In Persian).
17. Khosravian, T., Zeinali, E., Siamarguee, A., Ghorbani Nasrabadi, R. and Alimagham, M. 2018. Phosphorus and dry matter accumulation and partitioning coefficients as affected by fertilizer phosphorus rate and inoculation by *Streptomyces* bacteria in wheat and barley. *Jounal of Crop Production*, 10 (4), 39-58.
18. Kichey, T., Hirel, B., Heumez, E., Dubois, F. & Le Gouis, J. (2007). In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*, 102(1), 22-32.
19. Korkmaz, K., Ibrikci, H., Karnez, E., Buyuk, G., Ryan, J., Ulger, A. C. & Oguz, H. (2009). Phosphorus Use Efficiency of Wheat Genotypes Grown in Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition*, (32), 12.
20. Kostadinova, S., Ganusheva, N. and Marcheva, M. (2016). Uptake and utilization efficiency of nitrogen and phosphorus in barley genotypes. *Journal of Central European Agriculture*, 17(2), 346-355.
21. Krishnasamy, K., Bell, R. W. & Ma, Q. (2014). Wheat responses to sodium vary with potassium use efficiency of cultivars. *Front. Plant Science*, (5), 1-10.
22. Kuzmanova, L., Kostadinova, S. & Ganusheva, N. (2014). Efficiency of potassium in barley genotypes.Turk. *Journal of Agriculture and Natural Science Spec*, Is, (1), 584-589.

23. Lawlar, D. W., Boyle, F. A., Keys, A. J., Kendall, A. C. & Young, A. T. (1988). Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: a synthesis of plant growth and nitrogen uptake in relation to metabolic and physiological processes. *Journal of Experimental Botany*, 39, 329-343.
24. Manske, G. B., Luttger, A., Behi, R. K., Vlek, P. G., & Cimmit, M. (2000). Enhancement of mycorhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by Azotobacter chroococcum in wheat. *Plant Breeding*, (13), 78-83.
25. Moeini Rad, A. (2018). Study of the agronomic and physiological aspects of wheat nitrogen and phosphorus nutrition in Aliabad Katool. PhD. Thesis in Agronomy. Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 167 pages. (In Persian).
26. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA Circ., 939. U. S. Gov. Print Office, Washington, DC.
27. Osborne, L.D. & Rengel, Z. (2002). Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from iron phosphate. Aust. *Australian Journal of Agricultural Research*, (53), 837–844.
28. Ozturk, L., Eker, S., Torun, B. & Cakmak, I. (2005). Variation in P efficiency among bread and durum wheat genotypes grown in a P-deficient calcareous soil. *Plant Soil*, (269), 69 - 80.
29. Pask, A. J. D., Sylvester-Bradley, R., Jamieson, P. D. & Foulkes, M. J. (2012). Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth. *Field Crops Research*, (126), 104-118.
30. Pettersson, S. & Jensen, P. (1983). Variation among species and varieties in uptake and utilization of potassium. *Plant Soil*, (72), 231-237.
31. Reich, M., Aghajanzadeh, T. & De Kok L. J. (2014). Physiological basis of plant nutrient use efficiency - Concepts, opportunities and challenges for its improvement. p. 1-27. In M.J. Hawkesford et al. (ed.) *Nutrient Use Efficiency in Plants*, Concepts and Approaches. Springer.
32. Rengel, Z. & Damon, P. M. (2008). Crops and genotypes differ in efficiency of K uptake and use. *Physiologia Plantarum*, (133), 624-636.
33. Sepehr, E., Malakooti, M. J., Kholdbarin, B., Karimian, N., Samadi, A., Rasooli, H., Nourgholipour, F., Rezaee, H. & Khademi, Z. (2009). Investigating the phosphorus uptake efficiency in different cultivars of cereals. *Soil Research Journal (Water and Soil Sciences)*, 23 (2), 125-134.
34. Woodend, J. J., Glass, A. D. M. & Person, C. O. (1987). Genetic variation in the uptake and utilization of potassium in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties grown under potassium stress. In: W.H.Gabelman and B.C. Loughman (eds.) *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, Netherlands, Madison, pp, 383-391.
35. Wu, J., Zhang, X., Li, T., Yu, H. & Huang, P. (2011). Differences in the efficiency of potassium (K) uptake and use in barley varieties. *Agricultural Sciences in China*, 10(1), 101-108.
36. Zadoks, J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, (14), 415-421.
37. Zeinali, E. (2009). *Nitrogen nutrition of wheat crop in Gorgan*. *Agronomic physiological and environmental aspects.* PhD Thesis in Agronomy, Crop Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 201 pages. (In Persian).