نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۴- شماره ۲- پیاپند ۱۳۱ تابستان ۱۴۰۰

بررسی تأثیر مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر در زراعت کلزای پاییزه

The Effect of cropping systems management and wheat residues on grain yield and efficiency indices of nitrogen and phosphorus in autumnal rapeseed

هوشنگ ناصری راد[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*]، علیرضا کوچکی[۳]، علی اشرف جعفری[۴]

۱. دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. (نگارنده مسئول)
۳. استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. استاد ، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2021.352417.1509

چکیده

ناصری راد، ه.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی، ع.، اشرف جعفری، ع.، **. بررسی تأثیر مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر در زراعت کلزای پاییزه**
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۴ - شماره ۲- پیاپند ۱۳۱ تابستان ۱۴۰۰ صفحه: ۱۴۲-۱۲۰

به منظور بررسی تأثیر مدیریت بقایا و نظام های مختلف زراعی بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر در زراعت کلزای پاییزه (*Brassica napus*)، دو آزمایش مجزا به صورت کرت های خرد شده نواری در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان های رومشگان و سرابله اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل نظام های زراعی در سه سطح کم، متوسط و پرنهاده و مدیریت بقایای گندم در چهار سطح صفر، دو، چهار و شش تن در هکتار بود. نتایج نشان داد در مدیریت کم نهاده با افزایش بقایای گندم کارایی مصرف (بهره وری) نیتروژن و فسفر کاهش یافت، به طوریکه در تیمارهای چهار و شش تن بقایا در هکتار در مقایسه با تیمار بدون بقایا بهره وری نیتروژن به طور معنی داری به میزان ۱۵ و ۲۲ درصد و بهره وری فسفر به میزان ۱۵ و ۲۰ درصد کاهش یافت. با افزایش مدیریت نظام زراعی به سمت پرنهاده تأثیر مثبت سطوح پایین بقایا بر کارایی مصرف عناصر غذایی مشخص شد. به طوریکه در مدیریت پرنهاده بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن و فسفر به ترتیب با ۱۲/۳ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن و ۳۰/۳ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم فسفر از تیمارهای چهار تن بقایای گندم بدست آمد. نتایج همچنین مشخص نمود که در تمامی تیمارها تأثیر کارایی جذب نیتروژن و فسفر در مقایسه با کارایی تبدیل آنها بر کارایی مصرف هر یک از این عناصر غذایی بیشتر بود. از این رو مدیریت نظام های زراعی براساس افزایش کارایی جذب هر یک از عناصر غذایی در زراعت کلزا می تواند نقش تعیین کننده ای در افزایش عملکرد داشته باشد.

واژه های کلیدی: بقایای گیاهی، بهره وری عناصر غذایی، خاکورزی، کارایی تبدیل، کارایی جذب

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir

مقدمه:

با افزایش فرهنگ مصرف، رشد سریع جمعیت و نبود تعادل بین تولید و مصرف، نظام های صنعتی یا پرنهاده کشاورزی جایگزین نظام های سنتی تولید شدند (Schemidhuber & Shetty, 2009). این نظام ها اگرچه افزایش چشمگیری در کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارند، اما به علت استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی، آفت کش ها، علف کش ها و منابع طبیعی باعث آلودگی های زیرزمینی، کاهش تنوع زیستی کشاورزی، فرسایش خاک و کمبود آب آبیاری شده اند (The World Bank, 2011). از طرف دیگر کاربرد بیش از حد و نامتعادل نهاده ها در این نظام ها منجر به کاهش کارایی مصرف عناصر غذایی و در نهایت افزایش هزینه های تولید می شود (Adediran et al., 2004; Aseri et al., 2008). بنابراین طراحی نظام های زراعی جدید به منظور مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک، علاوه بر اینکه آلودگی های زیست محیطی را کاهش داده و تنوع زیستی را حفظ می کند، با اجتناب از کاربرد بی رویه عناصر غذایی می تواند هزینه ها را به حداقل برساند و کارایی مصرف نهاده ها را افزایش دهد (Dobermann, 2005). ازاین رو، درک درست تغییرات کارایی مصرف عناصر غذایی و مولفه های تشکیل دهنده آنها در این نظام ها، می تواند کمک بزرگی در پیشبرد این اهداف داشته باشد.

کارایی مصرف عناصر غذایی شامل دو جزء عمده کارایی جذب و کارایی تبدیل (فیزیولوژیک) است (Akbari et al., 2019). کارایی جذب یک عنصر نسبت مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه به ازاء هر واحد عنصر فراهم شده در خاک می‌باشد و توانایی گیاه در جذب آن عنصر از خاک را نشان می دهد (Lopez-Bellido, 2001 Lopez-Bellido &). در مطالعه ای مشخص شد که نظام خاک‌ورزی رایج در مقایسه با نظام بدون شخم، جذب و کارایی جذب نیتروژن کلزا را بهبود داد(Malhi & Lemke, 2007). مدیریت بقایای گیاهی نیز یکی از عوامل مدیریتی موثر در افزایش کارایی عناصر غذایی در نظام های زراعی است (Bakht et al., 2009). افزودن بقایای گیاهی به زمین نسبت به عدم کاربرد آن موجب افزایش جذب نیتروژن می شود که این افزایش جذب به علت بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی و در نتیجه رشد بیشتر ریشه و جذب بهتر نیتروژن توسط گیاه است (Khamadi et al., 2015).

کارایی تبدیل(فیزیولوژیک) یک عنصر که به عنوان عملکرد دانه در هر واحد عنصر جذب شده توسط گیاه تعریف می شود، که در واقع توانایی گیاه را در استفاده از آن عنصر جذب شده جهت تولید محصول اقتصادی نشان می‌دهد (Chen et al., 2017). طی مطالعه ای که اثر خاک‌ورزی بر کارایی تبدیل نیتروژن گندم مورد بررسی قرار گرفته بود، مشاهده شد با افزایش کاربرد نیتروژن کارایی فیزیولوژیک کاهش یافت (Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001). در پژوهشی دیگر به منظور بررسی کارایی تبدیل نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و لوبیا تحت تأثیر سیستم های رایج، کم

خاک ورزی و بدون خاک ورزی و سطوح صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد عملکرد کاه و کلش گندم، مشاهده گردید که بیش ترین کارایی تبدیل نیتروژن از تیمار بدون خاکورزی و ۶۰ درصد بقایای گیاهی به دست آمد (Akbari et al., 2019). به نظر می رسد آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از بقایای گیاهی طی مراحل رشد گیاه باعث افزایش حاصلخیزی، تامین عناصر ضروری و بنابراین افزایش کارایی فیزیولوژیک می شود (Limon-Ortega et al., 2008). برخی محققین دیگر نیز اظهار داشتند که تلفیق بقایای گیاهی در خاک به همراه خاکورزی حفاظتی علاوه بر بهبود عملکرد ذرت موجب بهبود کیفیت خاک می شود، اما اثربخشی آن مستلزم کاربرد کود نیتروژن به میزان موردنیاز می باشد(Asadi saryazdi et al., 2016).

کارایی مصرف (بهره وری) عناصر غذایی، نسبت بین عملکرد دانه به عنصر غذایی عرضه شده می باشد (Rossato et al., 2001؛ Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001). برخی محققین گزارش نموده اند که اثر شخم بر تغییرات بهره وری نیتروژن مشابه عملکرد گیاه بوده و خاک‌ورزی رایج صرف نظر از میزان کود مصرفی، بالاترین میزان بهره وری نیتروژن را نشان داده است (Brennan et al., 2015; Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, ۲۰۰۱). اگرچه طی مطالعه ی دیگری مشخص شد با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژنه، شاخص های کارایی مصرف نیتروژن و نسبت بین عملکرد به جذب نیتروژن کاهش یافت که نشان دهنده پایین بودن سودمندی نیتروژن در این شرایط است (Power et al., 2000). همچنین در مورد تأثیر بقایای گیاهی و کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن نتایج مشابهی گزارش شده است به طوری که در تولید ذرت، افزایش نیتروژن از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و افزایش بقایای گیاهی از ۲۵ به ۵۰ درصد باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن شد (Jalali & Bahrani., 2014). اما به طور کلی در نظام رایج، مصرف کود نیتروژنه در حد متعادل و بهینه در مقایسه با کاربرد زیاد آن می تواند کارایی مصرف نیتروژن را به میزان ۳/۵ برابر افزایش دهد (Ju et al., 2006).

بنابراین هدف اولیه این تحقیق بررسی تأثیر نظام های زراعی مختلف و مدیریت بقایای گندم بر روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و فسفر و مولفه های موثر بر این کارایی ها در زراعت کلزا بود. سپس نقش هر یک از مولفه های کارایی بر شاخص کارایی مصرف عناصر غذایی و در نهایت عملکرد گیاه بررسی شد.

مواد و روش ها

این تحقیق در دو آزمایش جداگانه به صورت کرت های خرد شده نواری در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار (هر دو قطعه زمین محل آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بودند) در نیمه اول مهرماه سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در دو منطقه در شهرستان های سرابله واقع در شمال شرقی استان ایلام با طول ۴۶ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۴۵متر از سطح دریا و رومشگان واقع در جنوب غربی استان لرستان با طول ۳۳ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۹۵ متر از

سطح دریا انجام شد.

نظام های زراعی شامل سه نظام: ۱- کم نهاده: دیسک + ۲۵ درصد نیاز غذایی گیاه به صورت کود شیمیایی + ۲ مرحله وجین علف های هرز به صورت دستی ۲- متوسط نهاده: شخم با گاو آهن برگردان دار + دیسک + ۵۰ درصد نیاز غذایی گیاه به صورت کود شیمیایی + یک مرحله وجین دستی علف های هرز و یک مرحله سم پاشی با علف کش و ۳- پرنهاده: دو بار شخم با گاو آهن برگردان دار + دو بار دیسک + ۱۰۰ درصد نیاز غذایی گیاه به صورت کود شیمیایی + دو مرحله سم پاشی با علف کش، به عنوان عامل عمودی و چهار سطح کاه و کلش صفر(W_0)، دو(W_2)، چهار(W_4) و شش(W_6) تن بقایای گندم (به ترتیب صفر، ۶۶،۳۳ و ۱۰۰ درصد بقایای گندم) به عنوان عامل افقی در نظر گرفته شد (میزان کاه و کلش با توجه به شاخص برداشت دانه گندم دیم در هر دو منطقه محاسبه شد). قبل از انجام آزمایش، نمونه برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک انجام گرفت، سپس نمونه ها برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل و بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و میزان نیاز گیاه (Rezaie-Zadeh & Zarei-Seyahbidi, 2016)، مقادیر کودهای شیمیایی مورد نیاز محاسبه شد.

ر این اساس در رومشگان، مقدار۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم اوره، و در شهرستان سرابله مقدار ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۳۰۰ کیلوگرم اوره مورد نیاز بود. سپس کرت هایی با ابعاد هشت در شش متر ایجاد و عملیات خاکورزی طبق تیمارهای

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیک وشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil (0-30 cm depth) at the experimental site

مکان Location	بافت خاک Soil texture	نیتروژن N (%)	نیترات NO^{3-} (ppm)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	کربن آلی Organic carbon (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Meq/100gr)	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($gr.cm^{-3}$)
سرابله Sarableh	Silty-Clay-Loam	0.09	13.8	6.5	214	0.58	14.28	0.91	7.21	1.3
رومشگان Roumeshgan	Silty-Clay-Loam	0.15	21.6	10	252	1.24	17.98	0.86	7.35	1.26

آزمایش انجام شد. فسفر مورد نیاز به صورت یکجا و قبل از کاشت به زمین داده شد، اما نیمی از کود نیتروژن در هنگام کاشت و نیم دیگر به صورت سرک در دو مرحله ساقه دهی و گلدهی به خاک اضافه گردید (Rezaie-Zadeh & Zarei-Seyahbidi, 2016). در حین عملیات خاک‌ورزی و قبل از آخرین دیسک، بر طبق تیمارهای آزمایش کاه و کلش گندم به خاک اضافه شد. برای مبارزه با علف های هرز در سیستم کم نهاده دو مرحله وجین مکانیکی در

مراحل ۷ و ۴۵ روز پس از کاشت، در سیستم متوسط نهاده یک مرحله کنترل شیمایی (ترفلان) همزمان با کاشت و یک مرحله وجین مکانیکی در ۴۵ روز پس از کاشت و در سیستم پرنهاده دو مرحله سم پاشی همزمان با کاشت (ترفلان) و ۴۵ روز پس از کاشت (لونترل + سوپرگالانت) انجام گردید. جهت کاشت با استفاده از فاروئر پشته هایی به عرض ۶۰ سانتیمتر ایجاد و در دو طرف پشته اقدام به کاشت کلزا شد (Rezaie-Zadeh & Zarei-Zeyahbidi, 2016). به منظور رسیدن به تراکم مورد نظر، تنک کردن بعد از استقرار گیاهچه ها و در مرحله سه برگی انجام گرفت، به گونه ایی که فاصله روی ردیف سه تا چهار سانتیمتر و تراکم به ۸۰ بوته در متر مربع رسید. اولین آبیاری (به صورت بارانی) بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و این آبیاری مبنای تاریخ کاشت قرار داده شد (رومشگان ۷ و سرابله ۹ مهر ماه ۱۳۹۴). در هنگام برداشت، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده کلزا با رعایت اثر حاشیه اندازه گیری و پس از خشک شدن وزن شدند. سپس نمونه ای ۱۰۰ گرمی از اندام هوایی هر تیمار جداگانه به آزمایشگاه منتقل و درصد نیتروژن و فسفر آنها به ترتیب به وسیله دستگاه میکروکجلدال و اسپکتروفتومتر تعیین شد. پس از محاسبه عملکرد دانه و زیست توده، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن با استفاده از روابط زیر تعیین شد (Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001).

کارایی جذب نیتروژن(NU_PE)

$$NU_PE=\frac{Nuptake}{NSUPPLY}(kg.kg^{-1})$$

کارایی تبدیل نیتروژن(NU_tE)

$$NU_tE=\frac{GY}{Total\ Plant\ N\ Uptake}(kg.kg^{-1})$$

کارایی مصرف نیتروژن(NUE)

$$(NUE)=\frac{GY}{Nsupply}$$

$$N_{SUPPLY}=N_{mineralized}+N_{fertilized}$$

N = نیتروژن، GY = عملکرد دانه، Nuptake = نیتروزن جذب شده (حاصل ضرب درصد نیتروژن در عملکرد زیست توده گیاه)، NSUPPLY = نیتروژن عرضه شده، Nminerlized = نیتروژن معدنی خاک، Nfertilized = کود نیتروژن

کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف فسفر نیز با استفاده از روابط زیر تعیین گردید (Manske et al., 2001).

کارایی جذب فسفر(PU_PE)

$$PU_PE=\frac{Puptake}{PSUPPLY}(kg.kg^{-1})$$

کارایی تبدیل فسفر(PU_tE)

$$PU_tE=\frac{GY}{Total\ Plant\ P\ Uptake}(kg.kg^{-1})$$

کارایی مصرف فسفر(PUE)

$$(PUE)=\frac{GY}{Psupply}$$

$$P_{SUPPLY}=P_{mineralized}+P_{fertilized}$$

P = فسفر، GY = عملکرد دانه، P_{uptake} = فسفر جذب شده (حاصل ضرب درصد نیتروژن در عملکرد زیست توده گیاه)، P_{supply} = فسفر عرضه شده، $P_{minerlized}$ = فسفر معدنی خاک، $P_{fertilized}$ = کود فسفر

برای اندازه گیری نیتروژن معدنی خاک ابتدا وزن خاک در عمق ۳۰ سانمتی متری با استفاده از جرم مخصوص ظاهری خاک اندازه گیری شد، سپس این مقدار در درصد نیتروژن کل خاک ضرب گردید تا مقدار نیتروژن کل خاک محاسبه شود. سپس ۴ ٪ از این مقدار به عنوان نیتروژن معدنی در نظر گرفته شد. در مورد فسفر معدنی خاک نیز با ضرب وزن خاک در فسفر قابل تبادل، مستقیما میزان فسفر معدنی خاک محاسبه گردید.

پس از آزمون یکنواختی واریانس ها با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه مرکب داده ها به وسیله نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. در مورد صفاتی که برهمکنش فاکتورها معنی دار شد برش دهی اثر متقابل با روش LS Means انجام شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت. به منظور ارزیابی اثر مستقیم کارایی جذب و تبدیل بر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر در تجزیه مسیر ابتدا داده ها استاندارد شد، سپس با استفاده از نرم افزار Minitab 17.1 و رابطه رگرسیونی اثر مستقیم هر یک از مولفه ها بر کارایی کل تعیین شد.

نتایج و بحث

کارایی جذب نیتروژن:

کلزا در مدیریت متوسط و پرنهاده بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن را دارا بود، به طوریکه مقادیر آن در مقایسه با نظام کم نهاده تفاوت معنی داری داشت (جدول ۲). میزان افزایش کارایی جذب نیتروژن در این تیمارها در مقایسه با نظام کم نهاده به ترتیب حدود ۲۵ تا ۵۸ درصد بود (جدول ۳). علت افزایش کارایی جذب نیتروژن در این نظام های زراعی افزایش غلظت نیتروژن (جدول ۳) و عملکرد زیست توده اندام هوایی کلزا بود (Naseri Rad *et al.,* 2019)، که ناشی از دلایل متعدد دیگری است که می توان به برخی از آنها اشاره نمود. ۱) کارایی جذب نیتروژن به توسعه سیستم ریشه گیاه وابسته است (تراکم و عمق نفوذ ریشه) که خصوصیت ذاتی هر گیاه می باشد، بنابراین کل مقدار نیتروژن جذب شده به وسیله گیاه را کنترل می کند (Chen *et al.*, 2017). ازاین رو، افزایش شدت خاکورزی در نظام های پرنهاده تأثیر مثبتی بر خصوصیات فیزیکی از جمله جرم مخصوص ظاهری و نفوذپذیری خاک نشان داد (Naseri Rad *et al.,* 2019)، که به نظر می رسد تحت این شرایط سیستم ریشه گیاه توسعه بیشتری پیدا نموده که در نهایت باعث بهبود کارای جذب کلزا شد. ۲) کلزا در مراحل اولیه رشد کارایی جذب نیتروژن بالایی را نشان می دهد، به گونه ای که بیش از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را جذب می کند (Bouchet et al., 2016). بنابراین هر نوع عملیات مدیریت زراعی در ابتدای رشد تأثیر قابل توجهی بر کارایی جذب کلزا نشان می دهد. از طرفی مشخص شده است که معدنی شدن سریع نیتروژن در خاکورزی رایج در مقایسه با خاکورزی حفاظتی در مراحل اولیه رشد باعث افزایش رشد گیاه می شود

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم بر محتوی، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر کلزا

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for the effect of cropping systems management and wheat residues on N/P content, uptake efficiency, utilization efficiency and use efficiency in rapeseed

تیمارها Treatments	درجه آزادی df	غلظت نیتروژن زیست توده Biomass nitrogen concentration	محتوی نیتروژن زیست توده Biomass nitrogen content	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	غلظت فسفر زیست توده Biomass phosphorus concentration	محتوی فسفر زیست توده Biomass phosphorus content	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency	کارایی تبدیل فسفر Phosphorus utilization efficiency	کارایی مصرف فسفر Phosphorus use efficiency
مکان Location	1	0.06^{ns}	2366^{ns}	432.5^{ns}	78.8^{ns}	7.7^{ns}	0.007^{*}	214.6^{*}	478.7^{**}	2173.8^{ns}	217.9^{**}
مکان×تکرار Location×R	4	0.02	582.7	77.4	25.9	1.7	0.0001	18.7	16	330.8	9.7
سیستم‌های زراعی Cropping systems (a)	2	0.1^{**}	12886^{**}	1694.7^{**}	136.4^{**}	66^{**}	0.008^{**}	844.6^{**}	674.7^{**}	2980.1^{**}	398.8^{**}
Location×a	2	0.002^{ns}	45^{ns}	4.1^{ns}	12.9^{ns}	1.3^{ns}	0.00001^{ns}	0.1^{ns}	0.9^{ns}	209.9^{ns}	6.3^{ns}
R×a	8	0.007	148	19.8	6.1	0.9	0.0003	26	21.9	283.5	5.8
بقایای گندم Wheat residues (b)	3	0.005^{ns}	640.4^{*}	84.1^{*}	17.2^{ns}	4.9^{*}	0.0008^{ns}	73.9^{*}	59.2^{*}	350.4^{ns}	29.7^{*}
Location×b	3	0.002^{ns}	14.5^{ns}	1.7^{ns}	0.7^{ns}	0.1^{ns}	0.0002^{ns}	1.1^{ns}	1.1^{ns}	36.5^{ns}	0.5^{ns}
R×b	12	0.01	309.7	41.3	22.2	0.9	0.0004	13.8	11.6	286.6	5.3
a×b	6	0.0001^{ns}	243^{ns}	32^{ns}	3.3^{ns}	1.8*	0.0002^{ns}	17.5^{ns}	14.2^{ns}	114.3^{ns}	10.7^{*}
Location×a×b	6	0.001^{ns}	22^{ns}	2.9^{ns}	2.3^{ns}	0.1^{ns}	0.0001^{ns}	2.4^{ns}	2.2^{ns}	39^{ns}	0.3^{ns}
خطا Error	24	0.009	186	24.3	12.2	0.7	0.0008	15.8	12.7	259.3	3.8
ضریب تغییرات CV (%)		8.8	13.6	13.5	12	7.9	10.6	16.2	16.2	13.5	7.7

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

**, * and ^{ns} significant at 1%, 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم بر درصد و محتوی نیتروژن زیست توده، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف نیتروژن کلزا

Table 3. Mean comparison for the simple effect of cropping systems management and wheat residues on the percentage and content of biomass nitrogen, uptake efficiency, utilization efficiency and nitrogen use efficiency of rapeseed

تیمارها Treatments		درصد نیتروژن زیست توده The percentage of biomass nitrogen (%)	محتوی نیتروژن زیست توده Biomass nitrogen content ($kg.ha^{-1}$)	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (kg N uptake/ kg N supply)	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency (kg grain /kg N uptake)	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (kg grain/ kg N supply)
کم نهاده (Low input)		0.99	78.6	28.5	30.38	8.49
متوسط نهاده (Medium input)	نظام‌های زراعی مختلف Different cropping systems	1.06	98.1	35.6	30.42	10.68
پرنهاده (High input)		1.12	124.7	45.3	26.3	1175
LSD (5%)		0.05	8.5	3.1	2.2	0.51
بقایای گندم Wheat residue ($t.ha^{-1}$)	0	1.05	103.4	37.5	28.7	10.6
	2	1.07	107.3	39	28.3	10.7
	4	1.04	97	35.2	30.6	10.3
	6	1.07	94.1	34.2	28.7	9.6
	LSD (5%)	0.06	9.8	3.6	2.5	0.6

Francis & Knight., 1993; Devkota et al., 2013). بنابراین چنین به نظر می رسد که افزایش کود نیتروژن مصرفی به همراه معدنی شدن بیشتر نیتروژن در نظام های متوسط و پرنهاده و همچنین تقاضای بیشتر کلزا برای جذب نیتروژن در ابتدای مراحل رشد منجر شد که نیتروژن در تیمارهای مدیریت متوسط و پرنهاده به ترتیب با ۱۹/۵ و ۴۶/۱ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با نظام کم نهاده بیشتر جذب شود و از این طریق کارایی جذب نیتروژن افزایش یابد (جدول ۳).

کارایی جذب نیتروژن در بین تیمارهای بقایای گیاهی اختلاف معنی داری نشان داد (جدول۲)، به طوری که بیشترین کارایی جذب نیتروژن با ۳۹ و ۳۷/۵ ٪ به ترتیب در تیمارهای دو تن بقایا در هکتار و بدون بقایا مشاهده شد. با افزایش مقدار بقایای اضافه شده به خاک تا ۶ تن در هکتار، کارایی جذب نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳). غلظت نیتروژن زیست توده در تیمارهای بقایای گندم تفاوت معنی داری نداشت، بنابراین دلیل عمده افزایش کارایی جذب نیتروژن را می توان به افزایش عملکرد گیاه نسبت داد، به طوری‌که که در تیمارهای

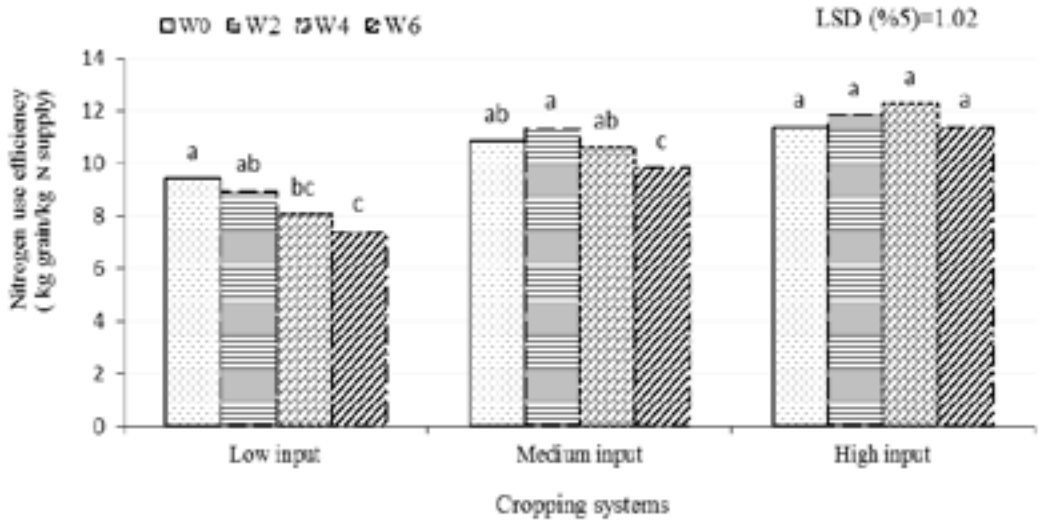
دو تن بقایا در هکتار و بدون بقایا در نتیجه افزایش عملکرد زیست توده گیاه (Naseri Rad et al., 2019) به ترتیب ۱۰۷ و ۱۰۳ کیلوگرم در هکتار نیتروژن جذب شد (جدول ۳). نتایج مشابهی توسط محققان مختلف گزارش شده است که کارایی جذب نیتروژن و عملکرد گیاه با یکدیگر همبستگی مثبتی دارند (Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001؛ Brennan et al., 2015). از این رو به نظر می رسد با افزایش ورود حجم زیادی از بقایای گیاهی با نسبت کربن به نیتروژن بالا در تیمارهای ۴ و ۶ تن در هکتار بقایای گندم، در نتیجه غیر متحرک شدن نیتروژن، عمکلرد و جذب نیتروژن کلزا در این تیمارها کاهش یافت.

کارایی تبدیل (فیزیولوژیک) نیتروژن:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کارایی تبدیل نیتروژن تنها تحت تأثیر مدیریت نظام های زراعی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان کارایی مصرف به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در تیمارهای مدیریت نظام های متوسط و کم نهاده (به ترتیب با ۳۰/۴ و ۳۰/۳ کیلوگرم دانه) مشاهده شد (جدول ۳). درمطالعه ای دیگری مشابه با نتایج این آزمایش، حداکثر مقدار کارایی تبدیل نیتروژن کلزا، ۳۲ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن بود (Taylor et al., 1991). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش ورود نهاده ها ازجمله کود نیتروژن در مدیریت پرنهاده و افزایش غلظت و جذب نیتروژن، کارایی تبدیل به ۲۶/۳ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳). این نتایج مشخص می کند که به ازای هر واحد نیتروژن جذب شده در زیست توده اندام هوایی، عملکرد گیاه با روندی غیرخطی افزایش پیدا می کند. مطابق با این یافته ها در مطالعه ای گزارش شده است که اثر خاکورزی بر کارایی مصرف گندم معنی دار نبود، اما با افزایش کاربرد نیتروژن کارایی فیزیولوژیک کاهش یافت. این محققین چنین اذعان داشتند که در چنین شرایطی جذب نیتروژن در مقایسه با عملکرد بیشتر افزایش می یابد که در نهایت باعث کاهش معنی دار کارایی مصرف شد(Lopez-Bellido & Lopez-Bellido, 2001). در آزمایش دیگری نتایج آنالیز رگرسیون نشان داد که در مقادیر پایین نیتروژن، رابطه بین عملکرد و جذب نیتروژن در کلزا خطی بود، اما در مقادیر بالاتراستفاده از نیتروژن ارتباط خطی مشاهده نشد و استفاده از ۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کارایی مصرف کلزا را از ۳۰ به ۲۰ گرم دانه در گرم نیتروژن کاهش داد. (Taylor et al., 1991).

کارایی مصرف(بهره وری) نیتروژن:

اثر مدیریت نظام های زراعی مختلف، بقایای گیاهی و همچنین اثر متقابل این مدیریت ها بر کارایی مصرف نیتروژن معنی دار بود (جدول ۲). به گونه ای که بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب با ۱۲/۳ و ۷/۴ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن از چهار تن بقایای گندم در مدیریت پرنهاده و شش تن بقایای گندم در مدیریت کم نهاده بدست آمد (شکل ۱). نتایج برش دهی اثر متقابل مدیریت بقایای گیاهی در هر یک از سطوح مدیریت نظام های زراعی نشان داد که در مدیریت کم نهاده با افزایش بقایای گندم کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت، به طوری که در تیمارهای چهار تن بقایا در هکتار و شش تن بقایا در هکتار در مقایسه با بدون بقایا کارایی مصرف به طور



شکل۱- اثر متقابل مدیریت نظام‌های زراعی و بقایای گندم بر کارایی مصرف نیتروژن کلزا (W6, W4, W2, W0 به ترتیب معادل ۰، ۲، ۴ و ۶ تن بقایای گندم در هکتار می‌باشد)

Figure 1. Interaction of cropping systems management and wheat residues on the nitrogen use efficiency in rapeseed (W0, W2, W4 and W6 are zero, two, four and six tons of remains per hectare, respectively).

معنی داری به میزان ۱۵ و ۲۲ درصد کاهش یافت (شکل ۱). با توجه به اینکه در مدیریت کم نهاده ۲۵ درصد از نیتروژن مورد نیاز گیاه مورد استفاده قرار گرفت و ضمن اینکه همین مقدار کود نیز در سه مرحله به گیاهان داده شد، از این رو به نظر می رسد تحت تأثیر بقایای گندم غیر متحرک شدن نیتروژن در اوایل فصل تأثیر منفی زیادی بر جذب نیتروژن نشان داد که نهایتا باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن کلزا در این نظام زراعی شد. با افزایش ورود نهاده ها به خصوص نیتروژن در مدیریت متوسط و پرنهاده اختلاف بین کارایی مصرف نیتروژن در تیمارهای بقایای گندم کمتر شد، به طوری که در مدیریت متوسط نهاده تنها تیمار شش تن بقایا در هکتار در مقایسه با سایر تیمارها کمترین میزان کارایی مصرف (۹/۸۳ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن) را نشان داد (شکل ۱). در مدیریت پرنهاده علیرغم اینکه اختلاف معنی دار بین تیمارهای بقایای گیاهی مشاهده نشد، اما بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب با ۱۲/۲۹ و ۱۱/۸۷ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن در تیمارهای چهار و دو تن بقایا در هکتار بدست آمد. این نتایج نشان می دهد که در مدیریت پرنهاده به دلیل مصرف بیشتر کود نیتروژن اثر منفی بقایا بر غیر متحرک شدن آن تعدیل شد. بنابراین تیمارهای چهار تن بقایا در هکتار و دو تن بقایا در هکتار با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک باعث افزایش رشد و عملکرد کلزا شدند که نهایتا به بهبود کارایی مصرف نیتروژن در این تیمارها منجر شد. علاوه بر این در مدیریت پرنهاده افزایش خاک‌ورزی به خصوص در لایه های پایین خاک باعث افزایش معدنی شدن نیتروژن خاک می شود که می تواند به افزایش جذب نیتروژن در این تیمارها منجر شود. در مطالعه ای افزایش جذب نیتروژن در مراحل اولیه رشد گیاه در نتیجه خاک‌ورزی به

جدول ۴- اثر مستقیم کارایی جذب و تبدیل نیتروژن و فسفر بر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر کلزا تحت تأثیر مدیریت مختلف نظام‌های زراعی و بقایای گندم در آنالیز مسیر

Table 4. Direct effect of nitrogen and phosphorus uptake and utilization efficiency as affected by different cropping systems and wheat residue on NUE and PUE in rapeseed using path analysis

تیمارها Treatments		سهم کارایی جذب نیتروژن Contribution of nitrogen uptake efficiency	سهم کارایی تبدیل نیتروژن Contribution of nitrogen utilization efficiency	R^2	سهم کارایی جذب فسفر Contribution of phosphorus uptake efficiency	سهم کارایی تبدیل فسفر Contribution of phosphorus utilization efficiency	R^2
نظام‌های زراعی مختلف Different cropping systems	بقایای گندم Wheat residue ($t.ha^{-1}$)						
کم نهاده (Low input)	0	1.81	0.96	99.8	1.4	0.6	99.8
	2	1.2	0.9	98.4	1	0.7	98.8
	4	1.7	0.9	96	1.7	0.8	98.9
	6	0.9	0.7	98.9	1.1	0.9	96.6
متوسط نهاده (Medium input)	0	2	1.3	99.2	2	1.1	97.2
	2	2.7	2.4	98.9	2.4	2	98
	4	2.3	1.6	98.8	2.2	1.4	97.9
	6	1.9	1.6	98.5	2.3	1.8	95.6
پرنهاده (High input)	0	2.6	2.5	91.3	1.6	1	99.6
	2	2.2	2.3	96.3	2.2	1.7	94.5
	4	2.1	1.6	97	1.9	1.1	98.8
	6	1.7	0.9	99	1.7	1	97.5

پتانسیل معدنی شدن نیتروژن خاک این تیمارها در مقایسه با خاک‌ورزی حفاظتی نسبت داده شده است (Brennan et al., 2015). در مطالعه ای دیگر مشخص شد که جذب نیتروژن کلزا در خاک‌ورزی رایج در مقایسه با بدون شخم بیشتر بود (Malhi & Lemke, 2007).

نتایج آنالیز مسیر نشان داد که به طور کلی در تمامی تیمارهای آزمایش کارایی جذب نقش بیشتری در کارایی مصرف نیتروژن داشت (جدول ۵). میانگین اثر هر یک از سطوح تیمارها نشان داد که با افزایش مدیریت زراعی به سمت پرنهاده، تأثیر کارایی جذب بر کارایی مصرف نیتروژن بیشتر شد، اما کارایی تبدیل نیتروژن در سطح مدیریت متوسط نهاده بیشترین میزان را نشان داد (جدول ۵). مطابق با این یافته ها در شرایطی که محدودیت کوددهی نیتروژن در مزرعه وجود داشت، بهره وری نیتروژن به میزان زیادی به کارایی جذب نیتروژن وابسته بود (Berry et al., 2010; ; Nyikako et al., 2014; Miersch, 2014). در تحقیق دیگری نیز

گزارش شد که کارایی جذب نیتروژن تأثیر نسبی بیشتری نسبت به کارایی تبدیل نیتروژن بر بهره وری نیتروژن در غلات داشت(Hartemink et al., 2000). در مطالعه دیگری نیز بیان شد که به منظور افزایش بهره وری نیتروژن باید کارایی جذب آن بهبود یابد (Nangia et al., 2008). همچنین گزارش شده که کارایی جذب در مقایسه با کارایی تبدیل نقش بیشتری در تعیین کارایی مصرف نیتروژن دارد و با افزایش مصرف نیتروژن نیز همین رابطه مشاهده شده است(Moll et al., 1982).

کارایی جذب فسفر:

نتایج نشان داد که اثر مدیریت نظام های زراعی بر کارایی جذب فسفر معنی دار بود (جدول ۲). نظام های زراعی متوسط و پرنهاده در مقایسه با کم نهاده با افزایش ورود نهاده ها از جمله کاربرد نیتروژن، فسفر و افزایش عملیات خاک‌ورزی، غلظت و محتوای فسفر زیست توده گیاه را افزایش دادند (جدول ۵). به طور کلی مطالعات نشان داده است که میزان جذب فسفر با افزایش میزان کود ارتباط مثبتی دارد (Alves et al., 2001; Korkmaz et al., 2009). در آزمایش دیگری گزارش شده است که افزایش میزان نیتروژن، از طریق کاهش ظرفیت جذب سطحی یون های خاک باعث افزایش فسفر قابل دسترس و کارایی جذب آن به ویژه در خاک های آهکی می شود (Stroia et al., 2011). کارایی جذب و مصرف فسفر به غیر از ژنوتیپ، تحت تأثیر فاکتورهای خاک از قبیل رس، pH و پارامترهای ریشه از جمله طول و مساحت سطح ریشه است (Korkmaz & Altıntas, 2016). در نتیجه توسعه و رشد ریشه برای جستجوی فسفر در خاک نقش بسیار مهمی برای جذب فسفر از خاک دارد (Watt & Evans, 2003; Lynch, 2007). بنابراین به نظر می رسد خاک‌ورزی نقشی دوگانه ای در کارایی جذب فسفر ایفا میکند، به این شکل که از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، از جمله افزایش نفوذپذیری باعث افزایش رشد ریشه شده و در نتیجه افزایش جذب فسفر شود. اما از طرف دیگر در نتیجه مخلوط نمودن خاک باعث تثبیت بیشتر فسفر در خاک شده و جذب فسفر را کاهش می دهد (Dos-Santos-Rheinheimer & Anghinoni, 2003). با این وجود به نظر می رسد در این آزمایش در نظام های پرنهاده با افزایش کاربرد فسفر و همچنین بهبود نفوذپذیری خاک (Naseri Rad et al., 2019)، ریشه کلزا بیشتر توسعه یافت، در نتیجه کارایی جذب فسفر در مقایسه با کم نهاده به طور معنی داری افزایش یافت. به گونه ای که بیشترین و کمترین میزان این کارایی به ترتیب با ۲۷/۷ و ۱۷/۲ درصد در مدیریت پرنهاده و کم نهاده مشاهده شد (جدول۵).

مدیریت بقایای گندم نیز به طور معنی داری کارایی جذب فسفر را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). طبق مطالب پیش‌گفته در مورد کارایی جذب نیتروژن،عمده ترین تغییرات کارایی جذب تحت تأثیر عملکرد گیاه است. از این رو بیشترین میزان کارایی جذب فسفر در تیمارهای دو تن بقایا در هکتار و بدون بقایا به ترتیب با ۲۳/۷ و ۲۲/۹ درصد بدست آمد، که بالاترین عملکرد کلزا را نیز دارا بودند (Naseri Rad et al., 2019). با افزایش بقایای گندم و کاهش عملکرد، به خصوص تیمار شش تن

جدول۵- مقایسه میانگین اثر ساده مدیریت نظام‌های زراعی و بقایای گندم بر درصد و محتوی فسفر زیست توده، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف فسفر

ble 5. Mean comparison of the simple effect of cropping systems management and wheat residues on the percentage and content of biomass phosphorus, uptake efficiency, utilization efficiency and phosphorus use efficiency of rapeseed

تیمارها Treatments		درصد فسفر زیست توده The percentage of biomass phosphorus (%)	محتوی فسفر زیست توده Biomass phosphorus content (kg.ha^{-1})	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency (kg P uptake/ kg P supply)	کارایی تبدیل فسفر Phosphorus utilization efficiency (kg grain /kg P uptake)	کارایی مصرف فسفر Phosphorus use efficiency (kg grain/ kg P supply)
نظام‌های زراعی Different cropping systems	کم نهاده (Low input)	0.242	19.19	17.24	124.17	20.97
	متوسط نهاده (Medium input)	0.254	23.63	21.20	127.28	26.31
	پرنهاده (High input)	0.277	30.94	27.74	106.61	28.97
	LSD (5%)	0.014	2.41	2.18	9.58	1.25
بقایای گندم Wheat residue (t.ha^{-1})	0	0.259	25.62	22.98	116.01	26.11
	2	0.262	26.41	23.68	115.59	26.47
	4	0.261	24.54	22.03	120.92	25.50
	6	0.247	21.77	19.54	124.89	23.58
	LSD (5%)	0.016	2.78	2.52	11.06	1.44

بقایا در هکتار کارایی جذب فسفر به طور معنی داری تا ۱۹/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

کارایی تبدیل (فیزیولوژیک) فسفر:

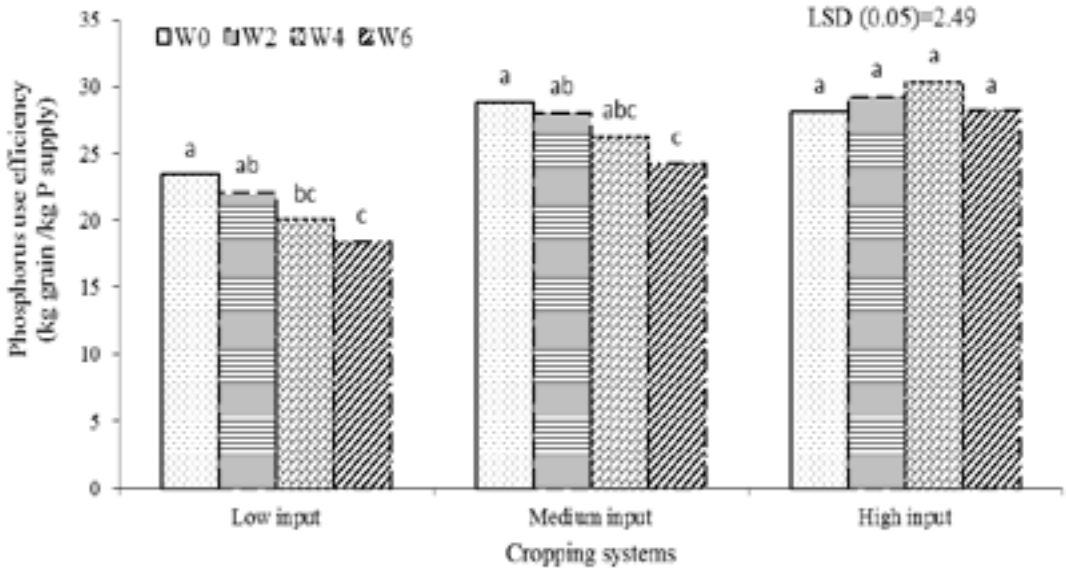
بر طبق نتایج به دست آمده کارایی تبدیل فسفر تحت تأثیر مدیریت نظام های زراعی قرار گرفت، اما بقایای گندم تأثیر معنی داری بر کارایی تبدیل فسفر نشان ندادند (جدول ۲). کارایی تبدیل فسفر بین ۱۰۶/۶ و ۱۲۴/۹ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم فسفر تحت تأثیر تیمارها تغییر نمود (جدول ۵) که در مقایسه با کارایی تبدیل نیتروژن بالاتر بود. در همین رابطه گزارش شده است که کارایی تبدیل فسفر در مقایسه با نیتروژن بالاتر است (Fageria et al., 2013 ; Fageria et al., 2006). نتایج همچنین نشان داد که کارایی تبدیل فسفر در مدیریت متوسط نهاده در مقایسه با کم نهاده با وجود عدم تفاوت معنی دار، افزایش جزئی یافت. با ورود بیشتر نهاده ها از جمله کود فسفره در مدیریت پرنهاده این کارایی به طور معنی داری در مقایسه با مدیریت کم نهاده به میزان ۱۴ درصد کاهش یافت (جدول ۵). تحقیقات نشان داده است که کارایی تبدیل عناصر غذایی با افزایش میزان

کود مصرفی کاهش می یابد (Essel, 2014). به طورکلی می توان گفت که گیاهان در شرایط محدودیت عناصر غذایی با کارایی بالاتر از آن عناصر غذایی استفاده می کنند (Akande et al., 2010). با توجه به اینکه کارایی تبدیل فسفر به طور معکوسی با غلظت فسفر در گیاه در ارتباط است (Ahmad et al., 2001 ; Peng, 2011;). از این رو به نظر می رسد که در مدیریت پرنهاده غلظت و جذب فسفر به طور معنی داری بیشتر بود، در نتیجه گیاه با کارایی کمتری از آن استفاده نمود. در مقابل در مدیریت متوسط نهاده تعادل مناسبی بین افزایش جذب فسفر و عملکرد گیاه مشاهده شد، بنابراین بیشترین کارایی تبدیل فسفر را نیز به خود اختصاص داد.

کارایی مصرف(بهره وری) فسفر:

نتایج نشان داد که اثر ساده مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم بر کارایی مصرف فسفر معنی دار بود (جدول ۲). با افزایش ورود نهاده ها کارایی مصرف فسفر افزایش یافت، به طوریکه بیشترین و کمترین میزان بهره وری فسفر به ترتیب با ۲۸/۹ و ۲۰/۹ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم فسفر در تیمارهای مدیریت پرنهاده و کم نهاده مشاهده شد (جدول ۵). نظام های متوسط و پرنهاده عمدتا به صورت غیر مستقیم از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و متعاقبا افزایش رشد و توسعه ریشه، نفوذ بهتر آب و همچنین به طور مستقیم در نتیجه استفاده بیشتر از کود نیتروژن و فسفر باعث بهبود عملکرد کلزا و در نتیجه افزایش بهره وری فسفر شدند. گزارش شده است که نیتروژن و فسفر به‌صورت هم افزایی جذب یکدیگر را تحت تأثیر قرار می دهند(Li *et al.,* 2014; Yang *et al.,* 2012; Xu *et al.,* 2011; Aulakh & Malhi, 2005). به گونه ای که در مطالعه ای مشاهده شد که افزایش جذب نیتروژن، جذب فسفر اندام هوایی ذرت را به‌صورت غیرخطی افزایش داد (Ziadi *et al.,* 2007). از این رو افزایش کارایی مصرف فسفر در شرایط مدیریت پرنهاده که گیاهان کود نیتروژن و خاکورزی بیشتری دریافت نمودند،کاملا مورد انتظار است. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش کاربرد بقایای گندم بیش از ۲ تن در هکتار، بهره وری فسفر کاهش یافت. با اینحال تنها تیمار شش تن بقایا در هکتار اختلاف معنی داری با شاهد نشان داد (جدول ۵). با توجه به اینکه غلظت فسفر اندام هوایی گیاه تحت تأثیر بقایای گندم قرار نگرفت، از این رو دلیل اصلی کاهش بهره وری فسفر کاهش عملکرد گیاه بود.

اثر متقابل مدیریت نظام زراعی و بقایای گندم بر بهره وری فسفر معنی دار بود (شکل ۲) که نشان می دهد اثر بقایای گندم بر بهره وری فسفر به مدیریت نظام های زراعی وابسته است. نتایج نشان داد که در مدیریت متوسط و کم نهاده روند تغییرات بهره وری فسفر، به صورت بدون بقایا >دو تن بقایا در هکتار >چهار تن بقایا در هکتار >شش تن بقایا در هکتار بود (شکل ۲). اما در مدیریت پرنهاده بیشترین میزان بهره وری فسفر به ترتیب با ۳۰/۳ و ۲۹/۳ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم فسفر در تیمارهای چهار تن بقایا در هکتار و دو تن بقایا در هکتار مشاهده شد (شکل ۲). به نظر می رسد که عمده ترین دلیل کاهش بهره وری فسفر کلزا در نتیجه افزایش بقایای گندم بخصوص در نظام های کم نهاده، غیر متحرک شدن نیتروژن و کاهش شدید عملکرد



شکل۲- اثر متقابل مدیریت نظام‌های زراعی و بقایای گندم بر کارایی مصرف فسفر کلزا (W6, W4, W2, W0 به ترتیب معادل ۰، ۲، ۴ و ۶ تن بقایای گندم در هتکار می باشد)

Figure 2. Interaction of cropping systems management and wheat residues on the phosphorus use efficiency of rapeseed (W0, W2, W4 and W6 are zero, two, four and six tons of remains per hectare, respectively)

در این شرایط باشد (Naseri Rad et al., 2019). درحالیکه در مدیریت پرنهاده به دلیل افزایش کاربرد نیتروژن این فرایند کمتر صورت گرفت در نتیجه تیمارهای چهار تن بقایا در هکتار و دو تن بقایا در هکتار با استفاده از سایر خصوصیات مثبت بقایا در بهبود نفوذپذیری (Barzegar *et al.,* 2002)، کاهش جرم مخصوص ظاهری (Oliveira & Merwin, 2001) و افزایش عناصر غذایی(Palm et al., 2014) عملکرد و بهره وری فسفر بالاتری نشان دادند. در همین رابطه گزارش شده است که کود نیتروژن تجزیه ماده خشک را تسریع می کند و آزادسازی نیتروژن و فسفر از بقایا را افزایش می دهد (Soon & Arshad, 2002).

همانگونه که قبلا در مورد نیتروژن نیز بیان شد بهره وری فسفر بیشتر تحت تأثیر کارایی جذب فسفر بود.. نتایج آنالیز مسیر نیز تایید نمود که در اغلب تیمارهای آزمایش اثر کارایی جذب در مقایسه با کارایی تبدیل بر کارایی مصرف فسفر بیشتر بود (جدول ۵). مطابق با این نتایج در مطالعه ای کارایی مصرف فسفر همبستگی بالا و معنی داری با محتوی فسفر جذب‌شده و کارایی جذب فسفر نشان داد، اما با کارایی تبدیل فسفر همبستگی نشان نداد (Sandana, 2016). به‌طورکلی مشخص شده که نقش هر یک از این مولفه ها در تعیین کارایی مصرف عناصر غذایی به ژنوتیپ، شرایط محیطی و سطح نهاده موردِ استفاده بستگی دارد (Dordas, 2011).

نتیجه گیری:

به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش ورود

نهاده ها و مدیریت نظام زراعی، کارایی جذب و مصرف نیتروژن و فسفر افزایش یافت، اما کارایی تبدیل عناصر غذایی در مدیریت متوسط نهاده حداکثر میزان را دارا بود. همچنین مشخص شد که با افزایش کاربرد بقایای گندم به خاک میزان کارایی جذب و مصرف عناصر غذایی نیتروزن و فسفر روند کاهشی نشان داد. با این حال برش دهی اثر متقابل تیمارها تأثیر مدیریت نظام های زراعی و بقایای گندم را بهتر مشخص نمود، به گونه ای که مشاهده شد در شرایط مدیریت کم نهاده، افزایش بقایای گندم به خاک احتمالا به دلیل آلی شدن نیتروژن در پیکره ریزموجودات زنده و کاهش نیتروژن در دسترس در مراحل اولیه رشد کلزا، تأثیر منفی بر کارایی جذب و مصرف عناصر غذایی داشت که نهایتا باعث کاهش عملکرد کلزا نیز گردید، اما با افزایش ورود نهاده ها و به خصوص کاربرد نیتروژن اثر منفی استفاده از بقایای گندم در نظام های زراعی متوسط و پرنهاده تا حدودی کمتر شد و سایر خصوصیات مثبت استفاده از بقایا از قبیل بهبود نفوذپذیری و افزایش عناصر غذایی و غیره تأثیر خود را در افزایش کارایی مصرف نیتروژن و فسفر و در نهایت عملکرد کلزا نشان داد. به طوریکه در مدیریت پرنهاده بیشترین میزان کارایی مصرف نیتروزن و فسفر از تیمارهای دو و چهار تن بقایای گندم بدست آمد. همچنین نتایج آنالیز مسیر به منظور تشخیص مهمترین مولفه موثر بر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر نشان داد که اثر کارایی جذب در مقایسه با کارایی تبدیل بر کارایی مصرف عناصر غذایی بیشتر بود. از این رو به نظر می رسد که توجه به مدیریت نظام های زراعی کلزا براساس افزایش کارایی جذب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، می تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود بهره وری عناصر غذایی و در نهایت عملکرد گیاه داشته باشد.

References:

Adediran, J.A., Taiwo, I.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., and Idowu, O.I. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, 27:1163-1181.

Ahmad, Z., Gill, M.A., and Qureshi, R.H. 2001. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 24:1149–1171.

Akande, M.O., Makinde, E.A., Oluwatoyinbo, F.I., and Adetunji, M.T. 2010. Effects of phosphate rock application on dry matter yield and phosphorus recovery of maize and cowpea grown in sequence. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5): 293 – 303.

Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshdi, A., Ghanbari, A., and Khoramdel, S. 2019. The influences of tillage system and plant residue on nitrogen uptake and use efficiency in corn and bean intercropping systems. *Journal of Crops Improvement,* 20(4): 786-798 (In Persian with English Summary).

Alves,V.M.C., Parentoni, S.N., Vasconcellos, C.A., Bahia-Filho, A.F.C., Pitta, G.V.E., and Schaffert, R.E. 2001. Mechanisms of phosphorus efficiency in maize. *Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems*, 99: 566-567.

Asadi Saryazdi, A., Veisi, V., Mirzai Talarposhti, R., Liaghati, H., and khoshbakht, K. 2016. A performance assessment of the agroecosystem of forage maize under different tillage methods and crop residue management. *Journal of ecological agriculture,* 7(1): 1-16 (In Persian with English Summary).

Aseri, G.K., Jain, N., Panwar, J., Rao, A.V., and Meghwal, P.R. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (Punica granatum L.) in Indian Desert. *Scientia Horticulturae*,117, 130-135.

Aulakh, M.S., and Malhi, S.S. 2005. Interactions of nitrogen with other nutrients and water: effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon sequestration, and environmental pollution. *Advances in Agronomy*, 86: 342-409.

Bakht, J., Shafi, M., Jan, M.T., and Shah, Z. 2009. Influence of crop residue

management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Soil and Tillage Research*, 104: 233-240.

Barzegar, A.R., Yousefi, A., and Daryashenas, A. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil Journal*, 247: 295–301.

Berry, P.M., Spink, J., Foulkes, M.J., and White, P.J. 2010. The physiological basis of genotypic differences in nitrogen use efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Field Crops Research Journal*, 119(2–3):365–373.

Bouchet, A.S., Laperche, A., Bissuel-Belaygue, C., Snowdon, R., Nesi, N., and Stahl, A. 2016. Nitrogen use efficiency in rapeseed. A review. *Agronomy for Sustainable Development Journal*, 36:36- 38.

Brennan, J., Forristal, P.D., Mccabe, T., and Hackett, R. 2015. The effect of soil tillage system on the nitrogen uptake. grain yield and nitrogen use efficiency of spring barley in a cool Atlantic climate. *Journal of Agricultural Science*, 153: 862–875.

Chegeni, M., Ansari-Dust, S.H., and Eskandari, H. 2014. Effect of tillage methods and residuals management on some physical properties of soil to achieve sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 24: 31-40.*

Chen, J., Zheng, M.j., Pang, D.W., Yin, Y.P., Han, M.M., Li,Y.X., Luo,Y.l., Xu, X., Li,Y., and Wang, Z.l. 2017. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 16: 1708-1719.

Devkota, M., Martius, C., Lamers, J.P.A., Sayre, K.D., Devkota, K.P., Vlek, P.L.G. 2013. Tillage and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen use efficiency of irrigated cotton. *Soil and Tillage Research,* 134:72-82.

Dobermann, A. 2005. Nitrogen use efficiency-state of the art. *IFA International workshop on enhanced-efficiency fertilizers Frankfurt*, Germany.

Dordas, C.A. 2011. Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European Journal of Agronomy*, 34: 124-132.

Dos-Santos-Rheinheimer, D., and Anghinoni, I. 2003. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems under subtropical conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2339-2354.

Essel, B. 2014. Impact of tillage and phosphorus application on phosphorus uptake and use efficiency of maize (*Zea mays* L.). Master of Science Thises in Soil Science. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Kumasi. Ghana.

Fageria, N.K., Moreira, A., and Dos-Santos, A.B. 2013. Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. *Journal of Plant Nutrition,* 36:2013-2022.

Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Clark, R.B. 2006. Physiology of Crop Production. New York: The Haworth Press. 345p.

Francis, G.S., and Knight, T.L. 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury. New Zealand. *Soil and Tillage Research*, 26 (3) 193–210.

Hartemink, A.E., Johnston, M., O'Sullivan, J.N., and Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 79:271-280.

Jalali, A.H., and Bahrani, M.J. 2014. Effect of crop residue and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) production. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi),* 102: 197-204

Ju, J., Yamamoto,Y., Wang,Y.L., Shan,Y.H., Dong,G.C., Yoshida,T., and Miyazaki, A. 2006. Genotypic differences in grain yield. and nitrogen absorption and utilization in recombinant inbred lines of rice under hydroponic culture. *Soil Science and Plant Nutrition Journal*, 52: 321–330.

Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hosaibi, P., Enaiat, N., and Farzaneh, M. 2015. The effect of crop residue and nitrogen fertilizer levels on soil biological properties and nitrogen indices and redistribution of dry matter in wheat (*Triticum aestivum*). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 108: 149-157.

Korkmaz, K., and Altıntaş, C. 2016. Phosphorus use efficiency in canola genotypes. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(6): 424-

430.

Korkmaz, K., Ibrikci, 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*, 32:2094–2106.

Li, M., Zhang, H., Yang, X., Ge, M., Ma, Q., Wei, H., Dai, Q., Huo, Z., Xu, K., and Luo, D. 2014. Accumulation and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium of irrigated rice cultivars with high productivities and high N use efficiencies. *Field Crops Research*, 161: 55-63.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B., and Sayre, K.D. 2008. Straw management. crop rotation. and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy,* 29: 21-28.

Listrom, G.M., Terman, G.L., Dreier, A.F., and Olson, R.A. 2001. Residual nitrate nitrogen in fertilized deep loess-derived soils. *Journal of Agronomy, 60: 477-482.*

Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage. crop rotation and N fertilization. *Journal of Field Crops Research,* 71:31–46.

Lynch, J.2007. Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 55:493–512.

Malhi, S.S., and Lemke, R. 2007. Tillage. crop residue and N fertilizer effects on crop yield. nutrient uptake. soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Journal of Soil and Tillage Research*, 96:269–283.

Manske, G.G.B., Ortiz-Monasterio, J.I., van-Ginkel, M., González, R.M., Fischer, R.A., Rajaram, S., and Vlek, P.L.G. 2001. Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. *European Journal of Agronomy,* 14:261-274.

Miersch, S.2014. Nitrogen efficiency in semi-dwarf and normal hybrids of oilseed rape. Faculty of Agricultural Sciences.Georg-August Universitat Gottingen. Gottingen.

Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy*

Journal, 74: 562–564.

Nangia,V., de-Fraiture, C., and Turral, H. 2008. Water quality implications of raising crop water productivity. *Agricultural Water Management Journal*, 95:825-835.

Naseri Rad, H., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., and Jafari, A. A. 2019. Effect of different farming systems and wheat residues management on growth indices, yield and yield components of autumn-sown canola in Roumeshgan and Sarableh regions in southwes of Iran. *Applied Research in Field Crops*, 32(3). 89-116.

Nyikako, J., Schierholt, A., Kessel,B., and Becker, H.C. 2014. Genetic variation in nitrogen uptake and utilization efficiency in a segregating DH population of winter oilseed rape. *Euphytica(International Journal of Plant Breeding),* 199(1–2):3–11.

Oliveira,M.T., and Merwin, I.A. 2001. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant and Soil Journal*, 234:233–237.

Palm,C.,Blanco-Canqui,H.,DeClerck,F.,Gatere,L.,andGrace,P.2014.Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Journal of Agriculture*. *Ecosystems* and *Environment*, 187:87–105.

Peng, S.B.2011. Crop Improvement for nitrogen use efficiency in irrigated lowland rice. The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. Malcolm. J.H.. Peter. B. Wiley online library. United Kingdom. DOI: 10.1002/9780470960707.ch11

Power,J.F., Wiese,R., and Flowerday, D. 2000. Managing nitrogen for water quality: Lesson from management systems evaluation area. *Journal of Environmental Quality*, 29:335-366.

Rathke, G.W., Behrens, T., and Diepnborck, W. 2004. Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) Nitrogen uptake dynamics and fertilizer efficiency. *Journal of Agricultural and Crop Science, 190(3):314-323.*

Rezaie-Zadeh, A., and Zarei-Seyahbidi, A. 2016. Promotional publication of

technical guidelines. planting and harvesting canola in Kermanshah province. *Agricultural Research. Education and Extension Organization Publications*. (In Persian).

Rossato, L., P. Laine., and Ourry, A. 2001. Nitrogen storage and remobilization in Brassica napus L. during the growth cycle: nitrogen fluxes within the plant and changes in soluble protein patterns. *Journal of Experimental Botany,* 52: 1655–1663.

Sandana, P. 2016. Phosphorus uptake and utilization efficiency in response to potato genotype and phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*, 76: 95-106.

Schemidhuber, J., and Prakash, S. 2009. "The nutrition transition to 2030 why developing countries are likely to bear the major burden". Available in: http://www.fao.org/esa/JSPStransition.pdf

Soon,Y.K., and Arshad, M. 2002. Comparison of the decomposition and N and P mineralization of canola. pea and wheat residues. *Biology and Fertility of Soils*, 36(1):10-17

Stroia, C., Morel, C., and Jouany, C. 2011. Nitrogen fertilization effects on grassland soil acidification: consequences on diffusive phosphorus ions. *Soil Science Society of America Journal*, 75: 112.

Taylor, A.J., Smith, C.J., and Wilson, I.B. 1991. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield. oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (Brassica napus L.). *Fertilizer Research,* 29. 249-260.

The World Bank. 2011. Climate-Smart Agriculture, A Call to Action. Available in: http://www.climatechange.worldbank.org/CSA_Brochu.

Watt, M., and Evans, J. 2003. Phosphorus acquisition from soil by white lupin (Lupinus albus L.) and soybean (Glycine max L.). species with contrasting root development. *Plant and Soil Journal*, 248:271–283.

Xu, F., Xiong, H., Zhang, L., Guo, X., Zhu, Y., Zhou, X., and Liu, M. 2011. Characteristics of nutrient uptake and utilization of mid-season hybrid rice under different nitrogen application rates in different locations of southwest China. *Acta Agronomica Sinica*, 37: 882–894.

Yang, X., Ma, Q., Zhang, H., Wei, H., Li, G., Li. M., Dai. Q., Huo, Z., Xu, K., Zhang, Q., Guo, B., and Ge, M. 2012. Characteristics and correlation analysis of N and P uptake and utilization ofearly maturing late Japonica under different N fertilizer levels. *Acta Agronomica Sinica*, 38: 174–180 (in Chinese with English abstract).

Ziadi, N., Be´langer, G., Cambouris, N.A., Tremblay, N., Nolin, M.C., and Claessens, A. 2007. Relationship between P and N Concentrations in Corn. *Agronomy Journal*, 99: 833–841.

The Effect of cropping systems management and wheat residues on grain yield and efficiency indices of nitrogen and phosphorus in autumnal rapeseed

Houshang Nasseri Rad[1], Parviz Rezvani Moghaddam[2*], Alireza Kuchiki[3], Ali Ashraf Jafari[4]

1. Ph.D. of crop ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad .
2. Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (Corresponding author)
3. Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
4. Professor, Research Institute of Forests and Rangelands

Received: November 2020 Accepted: March 2021- DOI: 10.22092/aj.2021.352417.1509

Extended Abstract

Nasseri Rad, H., Rezvani Moghaddam, P., Kuchiki, A., Ashraf Jafari,A ., The Effect of cropping systems management and wheat residues on grain yield and efficiency indices of nitrogen and phosphorus in autumnal rapeseed**Applied Research in Field Crops Vol 34, No. 1, 2021 18-20:** 120-142(in Persian)

Introduction

Maximizing crop yields through the excessive consumption of chemical inputs is highly costly, which has led agricultural experts and analysts to seek suitable ways to integrate technology and conserve natural resources in order to create a favorable environment for the optimal use of available resources, the reduction of environmental problems and yield increases per-unit area, thereby achieving higher profitability in agriculture (Ratek *et al.,* 2004; Listrom *et al.,* 2001). On the other hand, Iran's location in an arid and semi-arid climate has caused the arable soil to be poor in organic matter (Chegni *et al.,* 2014). Therefore, it seems maintaining sufficient quantities of plant residues in the soils is an effective way to overcome the dilemma of soil quality. This research was carried out with the aim of investigating the effects of different cropping systems management and wheat residues on grain yield and efficiency indices of nitrogen and phosphorus in autumnal rapeseed.

Materials and Methods

The experiment was conducted as strip split plot based on a randomized complete

Email address of the corresponding author: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir

block design with three replications in 2015-2016 in two locations (Sarableh and Roumeshgan) in the southern west of Iran. The first factor was cropping systems as low input (one disking + 25% of plant nutrient requirement as fertilizer + two stages manual weed control), mid-input (one plowing + one disking+ 50% of plant nutrient requirement as fertilizer + one stage manual weeding and one stage herbicide application to control weeds) and full input (two plowing + two disking + 100% of plant nutrient requirement as fertilizer+ a two-stage herbicide application to control weeds). The second factor was wheat residues managements at four levels of 0 as control, 2, 4 and 6 $t.ha^{-1}$. The required fertilizer was calculated based on the results of soil analysis so that 100 kg of superphosphate and 200 kg of urea in Romeshgan and 150 kg of superphosphate and 300 kg of urea in Sarablah were applied. To control weeds in the low input system, two stages of mechanical weeding in 7 and 45 days after planting, in the medium input system, one stage of chemical control (Terflan) together with planting and one stage of mechanical weeding in 45 days after planting, and in the full input system, two stages of spraying simultaneously with planting (Terflan) and 45 days after planting (Lontrol + Supergalant) were performed. Finally, after calculating grain and biological yields, uptake efficiency, utilization efficiency and nutrient use efficiency were determined.

After testing the uniformity of variance using Bartlett test, the combined analysis of data was performed by SAS 9.1 software. Difference between means was compared using Duncan's Multiple Range Test or the LSD at 5% level ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that in low input management with increasing wheat residues, the phosphorus and nitrogen use efficiency was decreased so that four and six tons of plant residues per hectare significantly reduced nitrogen productivity by 15% and 22% and phosphorus productivity by 15% and 20% as compared to non-residue, respectively, With the move of crop system management towards high input management, the positive effect of low residue levels on nutrient use efficiency was determined so that in the high input management, the highest efficiency of nitrogen and phosphorus consumption was obtained with 12.3 kg of grain per kg of nitrogen and 30.3 kg of grain per kg of phosphorus from treatments of four tons of wheat residues, respectively. The results also indicated that in the all treatments, the effect of nitrogen and phosphorus uptake efficiency was higher than their utilization efficiency on the use efficiency of each of these nutrients. Therefore,

the management of crop systems based on increasing the uptake efficiency of each nutrient in rapeseed cultivation can play a decisive role in increasing yield.

Conclusion

In general, the results showed that with increasing the entrance of inputs and crop system management, the uptake and use efficiency of nitrogen and phosphorus increased, but nutrient utilization efficiency was maximized in the medium input management. It was also found that with increasing the incorporation of wheat residues into the soil, the efficiency of uptake and use of nitrogen and phosphorus nutrients registered a decreasing trend.

Keywords: Nutrient efficiency, plant residue, tillage, utilization efficiency, uptake efficiency

References

Chegeni, M., Ansari-Dust, S.H., and Eskandari, H. 2014. Effect of tillage methods and residuals management on some physical properties of soil to achieve sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 24: 31-40.*

Listrom, G.M., Terman, G.L., Dreier, A.F., and Olson, R.A. 2001. Residual nitrate nitrogen in fertilized deep loess-derived soils. *Journal of Agronomy, 60: 477-482.*

Rathke, G.W., Behrens, T., and Diepnborck, W. 2004. Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) nitrogen uptake dynamics and fertilizer efficiency. *Journal of Agricultural and Crop Science, 190(3):314-323.*