دانشگاه جیرفت

Soil and Sustainable Development

خـــاک و توسعه پایدار

Homepage: https://ssd.ujiroft.ac.ir

Investigating the effects of chickpea pre-Planting and nitrogen fertilizer levels on nitrogen efficiency indicators in three Millet Species

Ashraf Dabir[1], Bahareh Parsa Motlagh[2]✉, Amanollah Soleimani[3], Mahdiyeh Amiri Nejad[3]

1- MS Graduated of Agroecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

Email: bparsam@ujiroft.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: April 29, 2025

Revised: July 12, 2025

Accepted: Aug. 04, 2025

Published: Autumn, 2025

Keywords:

Absorption efficiency,

Biomass yield,

Forage plant,

Physiological efficiency,

Use efficiency.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of chickpea pre-planting, different levels of nitrogen fertilizer in three species genus of millet on yield and nitrogen efficiency indicators, a split factorial research was carried out in a randomized complete block design with three replications in research farm of University of Jiroft. The treatments included two levels of chickpea pre-planting and no chickpea pre-planting, nitrogen fertilizer from urea source at three levels of 200, 300 and 400 kg.ha^{-1} and three millet plant species (pearl millet (*Pennisetum glaucum*), fox tail (*Setaria italica*) and common millet (*Panicum miliaceum*)).millet plant in three species of pearl millet (*Pennisetum glaucum*), fox tail (*Setaria italica*) and common millet (*Panicum miliaceum*). The results showed that seed yield, biomass yield, seed nitrogen percentage, biomass nitrogen percentage, productivity efficiency and nitrogen harvesting index were significantly affected by crop rotation. Comparison of the average interaction effect of pre-planting × nitrogen fertilizer showed that the highest biomass yield (6707 kg.ha^{-1}) and grain yield (3603 kg.ha^{-1}) were produced from chickpea pre-planting treatment at the fertilizer level of 400 kg.ha^{-1}, and pearl millet compared to other millet species produced more seed yield and biomass. The highest nitrogen absorption efficiency was obtained in the treatment of 200 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer with an average of 0.42%, and there was no significant difference between the treatments of 300 and 400 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer. The highest of nitrogen use efficiency was obtained in the treatment of nitrogen fertilizer 200 kg.ha^{-1} and pearl and common millet. In general, with the application of crop rotations of plants of the leguminous family, a part of the plants' nitrogen requirement is provided with biological nitrogen fixation.

Cite this article: Dabir, A., Parsa Motlagh, B., Soleimani, A., Amiri Nejad, M. (2025), Investigating the effects of chickpea pre-Planting and nitrogen fertilizer levels on nitrogen efficiency indicators in three Millet Species, Soil and Sustainable Development, 1 (2), 174-193.

DOI: https://doi.org/10.22034/ssd.2025.519998.1005

© The Author(s). Publisher: The University of Jiroft Press

خـــاک
و توسعه پایدار

خاک و توسعه پایدار
Homepage: https://ssd.ujiroft.ac.ir

دانشگاه جیرفت

بررسی پیش کاشت نخود و سطوح مختلف کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در سه جنس ارزن

اشرف دبیر[۱]، بهاره پارسا مطلق[۲]✉، امان‌الله سلیمانی[۳]، مهدیه امیری‌نژاد[۳]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران، ایمیل: bparsam@ujiroft.ac.ir

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌دریافت: ۹ اردیبهشت ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری: ۲۱ تیر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
عملکرد زیست توده،
کارایی جذب،
کارایی فیزیولوژیک،
کارایی مصرف،
گیاه علوفه‌ای.

چکیده

به منظور بررسی اثر پیش کاشت نخود، سطوح مختلف کود نیتروژن در سه جنس ارزن بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن پژوهشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه جیرفت اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح پیش کاشت نخود و عدم پیش کاشت نخود، کود ازته از منبع اوره در سه سطح ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و گیاه ارزن در سه جنس ارزن مرواریدی، دم روباهی و معمولی بودند. نتایج نشان داد عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، درصد نیتروژن دانه، درصد نیتروژن زیست توده، کارایی بهره‌وری و شاخص برداشت نیتروژن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پیش کاشت نخود قرار گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل پیش کاشت نخود × کود نیتروژن نشان داد بیشترین عملکرد زیست‌توده (۶۷۰۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۳۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار پیش کاشت نخود در سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار تولید شد، همچنین ارزن مرواریدی نسبت به سایر جنس‌های ارزن عملکرد دانه و زیست‌توده بیشتری تولید کرد. بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با میانگین ۰/۴۲ درصد حاصل شد و بین تیمارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ارزن مرواریدی و معمولی مشاهده شد. بطور کلی با اجرای تناوب‌های زراعی مبتنی بر کشت گیاهان خانواده حبوبات به منظور تثبیت بیولوژیک نیتروژن می‌توان بخشی از نیاز نیتروژن گیاهان را مرتفع ساخت و با مصرف بهینه کود، کارایی مصرف را افزایش داد.

ارجاع به مقاله: دبیر، اشرف، پارسا مطلق، بهاره، سلیمانی، امان‌الله، امیری‌نژاد، مهدیه، (۱۴۰۴)، بررسی پیش کاشت نخود و سطوح مختلف کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در سه جنس ارزن، مجله خاک و توسعه پایدار، ۱ (۲)، ۱۷۴-۱۹۳.

© نویسندگان ، ناشر: انتشارات دانشگاه جیرفت

DOI: https://doi.org/10.22034/ssd.2025.519998.1005

مقدمه

ارزن ششمین غله دانه‌ریز مناطق نیمه‌خشک جهان با قدمت چندین هزار ساله است؛ در واقع ارزن با داشتن ارزش تغذیه‌ای بالا و تاثیرات مثبت آن بر سلامت، توجه محققان را به خود معطوف کرده است (مهاجرخراسانی و اعلمی، ۱۳۹۸). سطح زیر کشت این گیاه در جهان ۳۱/۲ میلیون هکتار گزارش شده است که تولیدات آن تقریباً ۲۸/۴ میلیون تن می‌باشد، سطح زیر کشت این گیاه در ایران تقریبا ۸/۹ هزار هکتار و مقدار تولیدات آن ۱۸/۴ هزار تن گزارش شده است (FAO, 2017). این گیاه متحمل به خشکی می‌باشد، بنابراین در مناطقی که شرایط برای سایر محصولات زراعی، بسیار گرم خشک محسوب می‌شود، این گیاه قابلیت کشت دارد؛ در واقع با افزایش روزافزون پدیده خشکسالی و شوری در کشور می‌توان کشت این گیاه را در سال‌های آینده گسترش داد (عباس‌پور، ۱۳۹۸).

تناوب زراعی شامل کشت گیاهان زراعی مختلف با نظم و ترتیب خاص به جای یکدیگر در طی سال‌های متوالی می‌باشد که از مهم‌ترین راه‌های افزایش کارایی مصرف نیتروژن در بوم نظام‌های زراعی بوده است؛ در واقع تناوب زراعی باعث بهبود شرایط برای رشد گیاهان، کاهش عوامل محدود کننده رشد و تولید، افزایش استفاده گیاه از منابع به‌ویژه نیتروژن در دسترس و به حداقل رساندن تلفات نیتروژن می‌شود، بطور کلی تناوب زراعی با مدیریت تغذیه‌ای مناسب باعث مصرف بهینه کود نیتروژن به موازات آن افزایش کارایی استفاده از آن، دستیابی به عملکرد بیشتر، بهبود یا حفظ حاصلخیزی خاک و نهایتاً باعث ارتقا سطح زندگی کشاورزان می‌شود. همچنین تناوب زراعی می‌تواند با تاثیر بر روابط نیتروژن در خاک و فرایندهای فیزیولوژیک گیاه در جذب و کارایی مصرف نیتروژن کمک نماید (رحیمی زاده و همکاران، ۱۳۹۰ و میرزاخانی، ۱۳۹۶).

در میان نهاده‌های مصرفی، نیتروژن می‌تواند نقش ضروری برای انسان و دام داشته باشد و روند افزایش مصرف این عنصر موجب سه برابر شدن تولید غذا در ۵۰ سال گذشته شده است؛ بنابراین مدیریت این عنصر الزامی می‌باشد (Musyoka et al., 2019). بطور کلی این عنصر برای رشد و تولید مثل ضروری می‌باشد، لذا هرگونه محدودیت در جذب نیتروژن و کارایی تبدیل آن با کمک فرایندهای محیطی، فیزیولوژی و زراعی باعث کاهش عملکرد می‌شود (De Oliveira Silva et al., 2020). از این‌رو کشاورزان نیازمند استفاده مقادیر زیادی کود نیتروژن به دلیل کارایی پایین آن در سیستم‌های خاک و گیاه هستند که کمبود این عنصر در همه خاک‌های کشاورزی و همه بوم نظام‌های زراعی جهان دیده می‌شود، لذا

کاربرد این کود در تولید گیاهان زراعی به منظور برآورد تقاضای رو به رشد جمعیت ضروری می‌باشد (Yadav et al., 2017). کمبود این عنصر در اکثر بوم نظام‌های زراعی از طریق مصرف انواع مختلفی از کودهای شیمیایی جبران می‌شود. بنابراین، مدیریت صحیح کود و اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه عناصر غذایی، هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند و کارآیی مصرف نهاده‌ها را افزایش می‌دهد (Hiremath and Ewel, 2001). یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های این عنصر در بیشتر بوم‌نظام‌های زراعی جابه‌جایی بالا آن و تمایل طبیعی این عنصر برای خروج از سیستم خاک - گیاه در محیط زیست بوده است، از این‌رو انتظار می‌رود از روش‌های مدیریت کارآمد نیتروژن به‌منظور حفظ این عنصر جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد اقتصادی گیاه، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود پایداری اقتصادی در بوم‌نظام‌های زراعی استفاده شود که از جمله عوامل بهبود دهندهٔ کارایی مصرف نیتروژن شامل مصرف کود دامی، تناوب زراعی، کاربرد گیاهان واسطه، بقایای گیاهی، مقدار و زمان مصرف کودها و بکارگیری ژنوتیپ‌های کارآمد نیتروژن می‌باشند (Musyoka et al., 2019). کارایی جهانی بازیافت کودهای نیتروژنی برای تولید غلات ۳۳ درصد گزارش شده است که این میزان در کشورهای درحال توسعه و کشورهای پیشرفته به ترتیب ۲۹ و ۴۲ درصد می باشد. از جمله دلایل پایین بودن راندمان جذب نیتروژن، آزادسازی نیتروژن از بافت های گیاهی، دنیتریفیکاسیون، آبشویی و تصعید آمونیوم می‌باشد (Zhu, 2000; Raun and Johnson., 1991) .

کارایی زراعی نیتروژن بیان‌کنندهٔ توانایی گیاه در تولید خالص اولیه به ازای نیتروژن جذب شده می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان بهترین تیمار کودی از نظر اقتصادی را با توجه به قیمت منابع کودی و قیمت خرید محصول تعیین نمود. کارایی زراعی نیتروژن شامل دو مولفه کارایی فیزیولوژیک نیتروژن و بازیافت ظاهری نیتروژن می‌باشد و اختلاف کارایی زراعی نیتروژن در بین گیاهان و یا بوم‌نظام‌های زراعی برگرفته از این دو مولفه می‌باشد. از جمله عوامل موثر در کارایی زراعی نیتروژن ویژگی‌ها ژنتیکی ارقام گیاهی، مقدار، نوع و روش مصرف کود، ارقام زراعی، مقدار بارش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و سایر عوامل محیطی می‌باشند. کارایی تبدیل یا بهره‌وری کیلوگرم ماده خشک تولید شده به ازای کیلوگرم عنصر جذب شده می‌باشد، در تعریفی دیگر بهره‌وری نیتروژن نسبت عملکرد دانه بر مقدار کل نیتروژن جذب شده بیان شده است (نصری و همکاران، ۱۳۹۴). لذا با توجه به اهمیت موضوع و مطالب گفته شده در فوق، این پژوهش به منظور بررسی پیش کاشت نخود و سطوح مختلف کاربرد کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی در سه جنس ارزن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ی پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه جیرفت اجرا شد. جیرفت در جنوب استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۶۲۵/۶ متر از سطح دریا قرار دارد و بر اساس روش اقلیمی دپائو دارای اقلیم فراخشک با زمستان‌های ملایم و تابستان بسیار گرم است (De Pauw et al., 2008). آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی در دو سطح شامل پیش کاشت نخود و عدم پیش کاشت نخود، عامل فرعی شامل ترکیبات تیماری دو عامل کود ازته در سه سطح از کود نیتروژن ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره و عامل گیاه ارزن در سه سطح شامل ارزن مرواریدی[1]، دم‌روباهی[2] و معمولی یا پرسو[3] در نظر گرفته شد. تراکم گیاهان با تعداد ۴۰ بوته در مترمربع به روش دستی در داخل شیارهای ایجاد شده به عمق دو الی سه سانتی‌متری کشت شدند (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۵). ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۲ متر مربع، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارهای آزمایش یک و نیم متر در نظر گرفته شد. سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای و عملیات کاشت در ۲۰ مردادماه انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

نام شاخص	پیش‌کاشت با نخود	عدم پیش‌کاشت با نخود
ماده آلی خاک (٪)	۰/۲۰	۰/۲۳
pH	۷/۶	۷/۹
EC ($dS\ m^{-1}$)	۱/۱	۰/۴
پتاسیم($mg\ kg^{-1}$)	۲۳۵	۱۴۸
فسفر($mg\ kg^{-1}$)	۱۰/۲	۸/۵
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۰۸	۰
بافت خاک	لومی	سیلت-لوم

1 *Pennisetum glaucum*
2 *Setaria italica*
3 *Panicum miliaceum*

برای محاسبه کارآیی زراعی مصرف نیتروژن[۴] (ANUE) از رابطه ۱ استفاده شد (زادبهتوئی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$\text{ANUE} = \frac{\text{GY (NF)} - \text{GY(N0)}}{\text{NF}}$$ رابطه (۱)

$GY\ (N_F)$ و $GY\ (N_0)$ به ترتیب عملکرد دانه در تیمار کودی مورد نظر و شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و N_F مقدار کود نیتروژن هستند. محاسبه شاخص‌های مختلف کارایی نیتروژن بر اساس مطالعه Bingham و همکاران (۲۰۱۲) طبق معادلات شماره ۲ تا ۶ انجام گرفت.

برای محاسبه کارآیی جذب نیتروژن (NUPTE)[۵] از رابطه ۲ استفاده شد:

$$\text{NUPTE (\%)} = \frac{\text{SNYF}}{NF} \times 100$$ رابطه (۲)

SNY_F: مقدار نیتروژن دانه گیاهان (گرم در مترمربع)

NF: مقدار کود نیتروژن استفاده شده (گرم در مترمربع)

برای محاسبه کارآیی استفاده از نیتروژن[۶] (کارآیی فیزیولوژیک) از رابطه ۳ استفاده شد:

$$NUTE = \frac{SY_F}{SNY_F}$$ رابطه (۳)

NUTE: کارآیی استفاده از نیتروژن (گرم محصول تولیدی به ازای گرم نیتروژن)

SY_F: عملکرد دانه در کرت کود داده شده (گرم بر مترمربع)

SNY_F: مقدار نیتروژن در دانه گیاهان کود داده شده (گرم بر مترمربع)

برای محاسبه کارآیی مصرف نیتروژن (NUE[۷]) از رابطه ۴ استفاده شد (Parsa et al., 2009):

$$NUE = \frac{SY_F}{N_F}$$ رابطه (۴)

NUE: کارآیی مصرف نیتروژن (گرم برگ خشک به ازای گرم نیتروژن)

SY_F: عملکرد دانه در کرت کود داده شده (گرم در مترمربع)

N_F: مقدار کود استفاده شده (گرم در مترمربع)

4 Agronomic nitrogen use efficiency
5 Nitrogen Uptake Efficiency
6 Nitrogen Utilization Efficiency
7 Nitrogen Use Efficiency

کارآیی بهره‌وری نیتروژن (NPE[8])، از نسبت عملکرد دانه Ng (کیلوگرم در هکتار) به کل نیتروژن جذب شده Nt در گیاه (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (رابطه ۵).

$$\mathrm{NPE} = \frac{N_g}{N_t} \times 100$$ رابطه (۵)

و برای محاسبه شاخص برداشت نیتروژن (NHI[9]) از رابطه ۶ استفاده شد:

$$\mathrm{NHI} = \frac{N_s}{N_t} \times 100$$ رابطه (۶)

در این رابطه NHI شاخص برداشت نیتروژن بر حسب درصد، Ns مقدار نیتروژن جذب شده در دانه (کیلوگرم در هکتار) و Nt مقدار نیتروژن جذب شده در کل بوته (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند.

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، پس از آزمون نرمال بودن خطاها، یکنواختی واریانس‌ها و همبستگی بین میانگین‌ها و واریانس‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab 16 و همچنین افزایشی بودن اثر تیمار و محیط به کمک نرم افزار SAS 9.4 (به عنوان مفروضات تجزیه واریانس)، تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی و همچنین مقایسه میانگین آن‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد نیتروژن دانه به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) تحت تأثیر پیش‌کاشت نخود قرار گرفت و کود نیتروژن، ارزن و اثرات متقابل دوگانه پیش کاشت نخود × کود نیتروژن، اثرات متقابل دوگانه پیش کاشت نخود × ارزن و اثرات متقابل کود نیتروژن × ارزن تحت تأثیر قرار نگرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین درصد نیتروژن دانه در پیش کاشت نخود نشان داد که بیشترین مقدار درصد نیتروژن دانه (۲/۵۶) در تیمار پیش‌کاشت نخود به دست آمد که نسبت به تیمار عدم پیش کاشت نخود ۲۱ درصد افزایش داشت (جدول ۳). پژوهشگران به‌منظور بررسی تاثیر تناوب و مدیریت بقایای گیاهای بر مقدار نیتروژن مصرفی در گیاه ذرت بیان داشتند با افزایش مصرف نیتروژن درصد نیتروژن دانه بطور معنی‌داری افزایش یافت (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۳).

[8] Nitrogen Productivity Efficiency
[9] Nitrogen Harvest Index

عملکرد دانه و زیست‌توده

نتایج جدول تجزیه واریانس نشـــان داد عملکرد دانه و زیســـت‌توده به طور معنی‌دار تحت تأثیر پیش‌کاشـــت نخود، کود نیتروژن و جنس ارزن قرار گرفت (جدول ۲). بیشـترین عملکرد دانه و زیسـت‌توده در تیمار پیش‌کاشـت نخود در سـطح کودی سوم به ترتیب ۳۶۰۳/۶ و ۶۷۰۷/۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در سطح کودی اول با میانگین ۲۵۴۵ و ۵۰۵۳ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـد (جدول ۳). مقایسـه میانگین عملکرد زیسـت‌توده جنس‌های مختلف ارزن نشـان داد که بیشـترین مقدار عملکرد زیست‌توده در پیش‌کاشت نخود و عدم پیش‌کاشت نخود مربوط به ارزن مرواریدی به ترتیب با میانگین ۶۹۷۰/۳ و ۵۶۸۱ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین مقدار آن مربوط به ارزن دم روباهی به ترتیب با میانگین ۴۸۵۹/۳ و ۳۷۸۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). بیشـترین عملکرد دانه در ترکیب تیماری کود ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مربوط به ارزن مرواریدی به ترتیب با میانگین ۲۵۸۷، ۲۹۵۰/۵ و ۳۸۰۶ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین مقدار آن مربوط به ارزن معمولی با میانگین ۱۵۹۵، ۱۸۹۶ و ۲۳۳۶/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین افزایش کود نیتروژن در تمامی جنس‌های ارزن سبب افزایش عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که تیمار کود ۴۰۰ کیلوگرم + ارزن معمولی نسـبت به تیمار کود ۲۰۰ کیلوگرم + ارزن معمولی، ۳۱/۷ درصـد عملکرد دانه بیشـتری داشـت (شکل ۱).

عملکرد دانه و زیست‌توده

نتایج جدول تجزیه واریانس نشـــان داد عملکرد دانه و زیســـت‌توده به طور معنی‌دار تحت تأثیر پیش‌کاشـــت نخود، کود نیتروژن و جنس ارزن قرار گرفت (جدول ۲). بیشـترین عملکرد دانه و زیسـت‌توده در تیمار پیش‌کاشـت نخود در سـطح کودی سوم به ترتیب ۳۶۰۳/۶ و ۶۷۰۷/۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در سطح کودی اول با میانگین ۲۵۴۵ و ۵۰۵۳ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـد (جدول ۳). مقایسـه میانگین عملکرد زیسـت‌توده جنس‌های مختلف ارزن نشـان داد که بیشـترین مقدار عملکرد زیست‌توده در پیش‌کاشت نخود و عدم پیش‌کاشت نخود مربوط به ارزن مرواریدی به ترتیب با میانگین ۶۹۷۰/۳ و ۵۶۸۱ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین مقدار آن مربوط به ارزن دم روباهی به ترتیب با میانگین ۴۸۵۹/۳ و ۳۷۸۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و شاخص‌های کارآیی نیتروژن در جنس‌های مختلف ارزن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	درصد نیتروژن دانه	درصد نیتروژن زیست‌توده	محتوی نیتروژن دانه	محتوی نیتروژن زیست توده	محتوی نیتروژن بوته	کارآیی جذب نیتروژن	کارآیی مصرف نیتروژن	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن	کارآیی بهره‌وری نیتروژن	شاخص برداشت نیتروژن
تکرار	۲	۵۰۸۱۲۰/۶۷^{ns}	۲۹۷۶۹۸۰/۱۷^{ns}	۰/۱۷۵ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۱۲۸۲۷/۶ ^{ns}	۱۸۷۱۷/۴ ^{ns}	۴۴۲۶۴/۲ ^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۴۳^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۸۲^{ns}	۲۷/۷۵^{ns}
پیش کاشت	۱	۱۵۱۷۴۹۶۰/۶۷*	۱۶۰۶۸۷۹۳/۵**	۴/۰۰۱*	۱/۵۲۳**	۳۷۱۲۲۲*	۸۲۰۷۷۴/۵ ^{ns}	۲۳۰۳۸۴۷/۵^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۵/۳۸^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۱۵/۴*	۱۹۰/۸۹*
تکرار × پیش کاشت (خطای a)	۲	۴۷۴۲۷۴/۶۷	۲۸۴۵۰۰/۵	۰/۰۶۲	۰/۰۰۸	۱۷۳۵۳/۴	۵۱۷۳۷/۸	۱۳۲۲۳۳/۶	۰/۰۰۶	۱/۵۹	۰/۰۰۰۰۳	۰/۲۰۴	۴/۱۴
کود نیتروژن	۲	۳۷۳۰۳۶۰/۶۷**	۸۷۲۲۷۱۲/۶۷**	۰/۴۸۷^{ns}	۰/۲۰۴**	۱۳۹۵۶۴/۳**	۱۹۷۸۱۰/۱**	۷۰۳۷۶۰/۸**	۰/۰۲۲**	۲۶۴/۳**	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۴۱^{ns}	۱۰۳/۹**
ارزن	۲	۶۳۱۸۲۳۶/۱۷**	۱۸۱۴۵۶۸۸/۱۷**	۰/۰۵^{ns}	۰/۱۹۸**	۵۲۵۵۰/۴**	۹۳۴۴۸/۳ *	۲۸۲۰۰۳/۸**	۰/۰۲۲**	۱۹/۰۲**	۰/۰۰۳**	۱۲/۸۹**	۴۰/۸۱^{ns}
پیش کاشت × کود نیتروژن	۲	۱۴۱۳۴۸/۶۷*	۳۳۲۱۵۰*	۰/۰۴۳^{ns}	۰/۰۳۹^{ns}	۳۲۵۷۳/۵*	۵۷۰۳۹/۳ ^{ns}	۱۸۲۵۶۳/۸*	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۹۵^{ns}	۵۳/۱^{ns}
پیش کاشت × ارزن	۲	۲۸۱۸۰۵/۱۷**	۱۶۶۴۲۹/۵^{ns}	۰/۱۱۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۹۴۰۸/۳^{ns}	۳۸۴۳۳/۴ ^{ns}	۸۰۳۵۳/۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۰۹^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۸۲/۲^{ns}
کود نیتروژن × ارزن	۴	۱۳۵۳۱۵/۹۲**	۲۷۰۹۰۸/۹۲**	۰/۰۵۴^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۴۰۴۷/۰۶^{ns}	4059.4 ^{ns}	۱۴۳۰۸/۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۴۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۲/۲۳^{ns}
پیش کاشت × کود نیتروژن × ارزن	۴	۴۹۹۱۹/۴۲^{ns}	۳۱۱۱۵/۷۵^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۱۳۸۹/۵^{ns}	۵۸۵۹/۱^{ns}	۱۱۱۵۰/۹^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۱۴۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱/۶۶^{ns}
خطای b	۳۲	۲۸۷۶۵/۸۵	۶۶۰۶۹/۳۳	۰/۱۵۲	۰/۰۱۷	۷۵۱۷/۳	۱۸۰۱۸/۴	۳۵۵۴۳/۴	۰/۰۰۲	۲/۸۶	۰/۰۰۰۴	۱/۴۴	۱۷/۱۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۶/۸	۴/۸	۱۷	۴/۹	۲۴	۱۳/۹	۱۴/۲	۱۳/۸	۱۲/۹	۱۲/۶	۱۰/۲	۱۵/۶

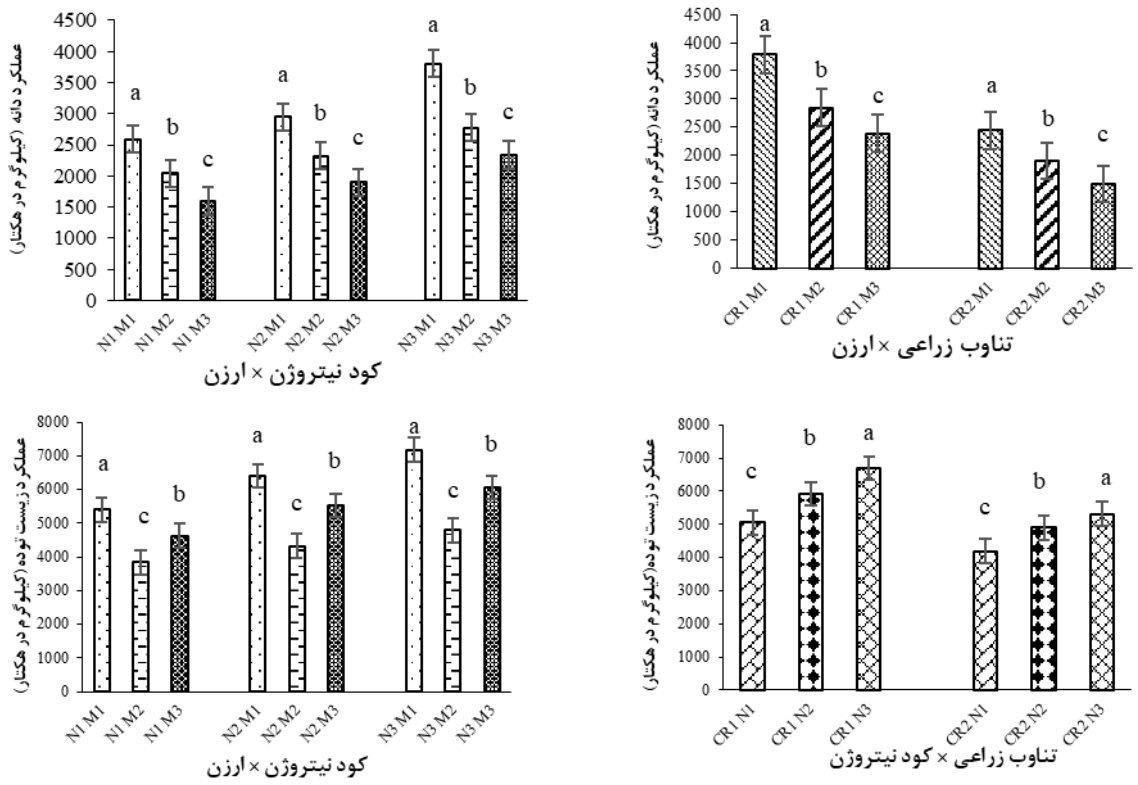
**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف عامل‌های اصلی بر صفات کارآیی نیتروژن ارزن

تیمار	سطح	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	نیتروژن دانه (درصد)	نیتروژن زیست‌توده (درصد)	محتوی نیتروژن دانه (گرم در مترمربع)	محتوی نیتروژن زیست توده (گرم در مترمربع)	محتوی نیتروژن بوته (گرم در مترمربع)	کارآیی جذب نیتروژن (درصد)	کارآیی مصرف نیتروژن (گرم برگ خشک بر گرم نیتروژن)	کارآیی فیزیولوژیک (گرم برگ خشک بر گرم نیتروژن)	کارآیی بهره‌وری	شاخص برداشت (درصد)
پیش کاشت	پیش اشت نخود	۵۸۹۷ a	۳۰۰۸ a	۲/۵۶ a	۲/۸۵ a	۴۴۴/۰۶ a	۱۰۹۲/۵ a	۱۵۲۹/۶ a	۰/۳۷ a	۱۳/۴ a	۰/۱۵۵ a	۱۱/۱ b	۲۸/۳ a
	عدم‌پیش‌کاشت نخود	۴۸۰۶ b	۱۹۴۸ b	۲/۰۲ b	۲/۵۱ b	۲۷۸/۲ b	۸۳۸/۲ a	۱۱۱۶/۵ a	۰/۴۱ a	۱۲/۷ a	۰/۱۶۲ a	۱۲/۲ a	۲۴/۶ b
کود نیتروژن	۲۰۰ کیلوگرم	۴۶۲۵ c	۲۰۴۷ c	۲/۱۲ b	۲/۵۶ b	۲۷۱/۱ c	۸۳۷/۹ b	۱۱۱۲/۸ c	۰/۴۲ a	۱۷/۲ a	۰/۱۵۳ b	۱۱/۶ a	۲۹ a
	۳۰۰ کیلوگرم	۵۴۱۷ b	۲۳۸۸ b	۲/۳۱ ab	۲/۷۶ a	۳۶۵/۲ b	۹۸۵/۸ a	۱۳۵۱/۱ b	۰/۳۸ b	۱۲/۲ b	۰/۱۵۵ ab	۱۱/۳ a	۲۶/۲ ab
	٤۰۰ کیلوگرم	۶۰۱۳ a	۲۹۷۱ a	۲/۴۵ a	۲/۷۲ a	۴۴۷/۱ a	۱۰۵۸/۱ a	۱۵۰۵/۲ a	۰/۳۵ b	۹/۷ c	۰/۱۶۸ a	۱۱/۹ a	۲۴/۲ b
ارزن	مرواریدی	۶۳۲۵ a	۳۱۱۴ a	۲/۳۲ a	۲/۷۹ a	۳۹۲/۱ a	۱۰۱۴/۷ a	۱۴۰۰/۸ a	۰/۳۷ b	۱۳/۹ a	۰/۱۶۳ a	۱۱/۸ a	۲۷/۱ a
	دم‌روباهی	۴۳۲۰ c	۲۳۷۷ b	۲/۳۲ a	۲/۶۷ b	۲۹۸/۷ b	۸۷۹/۹ b	۱۱۷۸/۶ b	۰/۴۳ a	۱۱/۹ b	۰/۱۴۳ b	۱۰/۷ b	۲۴/۷ a
	معمولی	۵۴۱۱ b	۱۹۴۲ c	۲/۲۳ a	۲/۵۹ b	۳۹۲/۵ a	۹۹۷/۱ a	۱۳۸۹/۷ a	۰/۳۶ b	۱۳/۴ a	۰/۱۷ a	۱۲/۴ a	۲۷/۵ a

در بین سطوح هر عامل میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

بیشترین عملکرد دانه در ترکیب تیماری کود ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مربوط به ارزن مرواریدی به ترتیب با میانگین ۲۵۸۷، ۲۹۵۰/۵ و ۳۸۰۶ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین مقدار آن مربوط به ارزن معمولی با میانگین ۱۵۹۵، ۱۸۹۶ و ۲۳۳۶/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین افزایش کود نیتروژن در تمامی جنس‌های ارزن سبب افزایش عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که تیمار کود ۴۰۰ کیلوگرم + ارزن معمولی نسبت به تیمار کود ۲۰۰ کیلوگرم + ارزن معمولی، ۳۱/۷ درصد عملکرد دانه بیشتری داشت (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه و زیست توده جنس‌های ارزن تحت تاثیر اثر متقابل تیمارهای مختلف آزمایش

(CR_1: پیش کاشت نخود، CR_2: عدم پیش کاشت نخود، M_1: ارزن مرواریدی، M_2: ارزن دم‌روباهی، M_3: ارزن معمولی، N_1: کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود نیتروژن ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_3: کود نیتروژن ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)

درصد نیتروژن زیست توده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر پیش‌کاشت، کود نیتروژن و ارزن بر صفت درصد نیتروژن زیست توده معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$) و اثرات متقابل دوگانه پیش‌کاشت × کود نیتروژن، اثرات متقابل دوگانه پیش‌کاشت × ارزن و اثرات متقابل کود نیتروژن × ارزن بر روی این صفت معنی‌دار نبودند (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین مقدار درصد نیتروژن زیست توده (۲/۸۵) در تیمار پیش‌کاشت نخود به دست آمد که نسبت به تیمار عدم پیش‌کاشت نخود ۱۱/۹ درصد افزایش داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف عامل‌ها نشان داد بیشترین مقدار درصد نیتروژن زیست توده در سطح ۴۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب با میانگین ۲/۷۲ و ۲/۷۶ درصد حاصل شد (جدول ۳). این مطلب تأثیرپذیری صفت درصد نیتروژن زیست توده از سطوح مختلف کود نیتروژن را تأیید می‌نماید.

مقایسه میانگین سطوح عامل فرعی ارزن نشان داد که بیشترین مقدار درصد نیتروژن زیست توده مربوط به ارزن مرواریدی با میانگین ۲/۷۹ بود و بین ارزن دم‌روباهی و معمولی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

درصد نیتروژن بافت‌های گیاهی رابطه مستقیمی با مقدار فراهمی نیتروژن در خاک، مورفولوژی و نحوه گسترش ریشه، رطوبت خاک و مدیریت آبیاری، مقدار سایر عناصرغذایی موجود در خاک، زمان و روش مصرف کود، مقدار حلالیت کود دارد. بنابراین چنان‌چه مقدار کافی از نیتروژن توسط کود دهی در اختیار ریشه‌ها قرار گیرد، گیاه می‌تواند آن‌ها را جذب نماید و در نتیجه درصد نیتروژن موجود در بافت‌های گیاه نیز افزایش خواهد یافت.

محتوی نیتروژن دانه

محتوی نیتروژن دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود نیتروژن و ارزن و پیش‌کاشت و اثر متقابل دوگانه پیش‌کاشت × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی، محتوی نیتروژن دانه در تیمار پیش‌کاشت نخود مقدار ۴۴۴/۰۴ گرم در مترمربع حاصل شد که نسبت به تیمار عدم پیش کاشت نخود ۳۷/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). بیشترین و کمترین محتوی نیتروژن دانه به ترتیب در سطح کود نیتروژن ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (۴۴۷/۱ گرم در مترمربع) و سطح کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۲۷۱/۱ گرم در مترمربع) حاصل شد؛ همچنین محتوی نیتروژن دلنه در ارزن مرواریدی (۳۹۲/۱ گرم در مترمربع) با ارزن معمولی (۳۹۲/۵ گرم در مترمربع) اختلاف معنی‌داری نداشتند و دارای بیشترین مقدار محتوی نیتروژن دانه بودند (جدول ۳).

محتوی نیتروژن زیست توده

اثر کود نیتروژن ($p<۰/۰۱$) و ارزن ($p<۰/۰۵$) بر محتوی نیتروژن زیست توده معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین محتوی نیتروژن زیست توده به ترتیب در سطح سوم (۱۰۵۸/۱ گرم در متر مربع) و سطح دوم (۹۸۵/۸ گرم در متر مربع) کود اوره حاصل شد. محتوی نیتروژن زیست توده گیاهان شاهد نسبت به سطح کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۲۰/۸ درصد کمتر بود (جدول ۳). همچنین ارزن مرواریدی و معمولی به ترتیب با ۱۰۱۴/۷ و ۹۹۷/۱ گرم در متر مربع بیشترین محتوی نیتروژن زیست توده و ارزن دم‌روباهی با ۸۷۹/۹ گرم در متر مربع کمترین مقدار محتوی نیتروژن زیست توده را دارا بودند (جدول ۳).

محتوی نیتروژن بوته

محتوی نیتروژن بوته ارزن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود نیتروژن و ارزن قرار گرفت و اثر متقابل پیش‌کاشت × کود نیتروژن معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار محتوی نیتروژن بوته در سطح ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل شد (جدول ۳). سطح کودی سوم نسبت به سطح اول ۲۶ درصد افزایش در محتوی نیتروژن بوته داشت (جدول ۳). ارزن مرواریدی با ۱۴۰۰/۸ گرم در متر مربع و ارزن معمولی با ۱۳۸۹/۷ گرم در مترمربع بیشترین مقدار محتوی نیتروژن بوته را داشتند (جدول ۳).

پژوهشگران در بررسی کارآمدی مصرف نیتروژن در تناوب‌های مختلف زراعی نشان دادند، پیش‌کاشت و کود نیتروژن بطور معنی‌داری بر محتوی نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن تاثیر داشته است. در واقع می‌توان بیان داشت افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن، نیتروژن آلی و کاهش تلفات آن از مهمترین دلایل بهبود کارایی نیتروژن بوده است (اعتضادی جمع و همکاران، ۱۴۰۱).

در ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم، در آب و هوایی کرمانشاه گزارش شد که اثر مصرف نیتروژن و ارقام گندم بر درصد نیتروژن زیست‌توده در دو زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک گیاه معنی‌دار بود. با افزایش کاربرد کود نیتروژن، درصد نیتروژن زیست‌توده در زمان گلدهی و رسیدگی افزایش یافت. همچنین بیشترین درصد نیتروژن در ارقام مختلف گندم تفاوت معنی‌داری (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸).

با بررسی اثر توأم کودهای شیمیایی و زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی برخی از ارقام گندم نان بیان شد برهمکنش تیمار کودی و رقم بر کلیه صفات اندازه‌گیری عملکرد دانه، پروتئین دانه، درصد نیتروژن دانه و درصد فسفر دانه معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد بیولوژیک (۱۲ تن در هکتار) و عملکرد دانه (۶ تن در هکتار) مربوط به تیمار کودی ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و رقم چمران بود. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین مقدار درصد پروتئین، درصد نیتروژن و درصد فسفر دانه از تیمار کودی ۱۰۰ درصد کود شیمیایی حاصل شد (سیدی و همکاران، ۱۳۹۱). علاوه بر آن محققین در پژوهشی با هدف بررسی اثر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر، گوگرد و کود زیستی بر برخی شاخص‌های رشدی گیاه کاملینا[10] بیان داشتند تیمار کود شیمیایی بر تمامی صفات معنی‌دار بود و برهمکنش تیمار کود زیستی

10 - *Camelina sativa*

همراه با کود شیمیایی بر صفات عملکرد دانه، کارایی زراعی و جذب فسفر، گوگرد و نیتروژن معنی‌دار بود (Hassani et al., 2021). با توجه به اینکه کارایی مصرف نیتروژن از نسبت مقدار دانه تولید شده به محتوی نیتروژن خاک به دست می‌آید، بنابراین هر گونه افزایش در کارایی مصرف کود نیتروژن سبب بهره‌وری بیشتر از نهاده‌ها شده، که در نهایت تولید پایدار و پر منفعت کشاورزان را به همراه دارد (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۳). در واقع می‌توان بیان داشت؛ منابعی از نیتروژن که قابلیت جذب بیشتری داشته باشند علاوه بر فراهم کردن نیتروژن مورد نیاز گیاه به دلیل افزایش رشد اندام هوایی و عملکرد مطلوب منجر به دستیابی بیشترین کارایی این عنصر در گیاه می‌شود.

کارایی جذب نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کود نیتروژن و ارزن بر صفت کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با ۰/۴۲ درصد حاصل شد و بین تیمارهای ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین ارزن دم‌روباهی با ۰/۴۳ درصد، بیشترین مقدار کارایی جذب نیتروژن را داشت (جدول ۳).

کارایی مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود نیتروژن و ارزن قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ارزن مرواریدی و معمولی مشاهده شد (جدول ۳).

مصرف زیاد کود نیتروژن از طریق تحریک افزایش جذب نیترات و اشباع فرآیندهای متابولیسم نیتروژن باعث کاهش نسبت کربن به نیتروژن شده و کاهش کارایی مصرف نیتروژن را به دنبال دارد (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۸۶). در تحقیقی در ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم در آب و هوایی کرمانشاه نتایج نشان داد که بیشترین کارایی جذب نیتروژن در رقم پارسی و کمترین آن در رقم اروم مشاهده شد. همچنین بیشترین کارایی مصرف نیتروژن به مقدار ۳۰/۹۵ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده + قابل جذب خاک به تیمار ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین آن به مقدار ۱۲/۰۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده + قابل جذب خاک به تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار مربوط بود (مندنی و همکاران، ۱۳۹۸). پژوهشگران در بررسی کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی بر عملکرد برنج گزارش کردند که با کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن، کارایی مصرف کود افزایش یافت. نتایج آن‌ها نشان

داد که مصرف ۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و کاربرد توأم میکوریز با باکتری‌های محرک رشد بیشترین کارایی مصرف نیتروژن به دست آمد (زادبهتوئی و همکاران، ۱۳۹۷). محققان در بررسی ارزیابی شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن ارقام جدید و قدیم جو در شرایط اقلیمی استان گلستان گزارش کردند که کارایی مصرف نیتروژن در ارقام مختلف متغیر بود. ارقامی که دارای پایین‌ترین و بالاترین عملکرد بودند به ترتیب از پایین‌ترین و بالاترین کارایی مصرف نیتروژن برخوردار بودند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷). در بررسی کاربرد سطوح مختلف نیتروژن بر روی ارزن مرواریدی در منطقه نیجریه نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن مقدار کارایی نیتروژن کاهش یافت (Hakeem et al., 2020). پژوهشگران در بررسی تأثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک و بر ارزن پادزهری گزارش کردند رژیم آبیاری، کود نیتروژن و کود پتاسیم به طور معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن گیاه ارزن اثرگذار بود، کارایی مصرف نیتروژن در تمامی سطوح آبیاری و کود پتاسیم، در سطح کود نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بالاتر بود (جویبان و همکاران، ۱۳۹۸).

محققان در مطالعه پاسخ کارایی مصرف نیتروژن و برخی صفات زراعی گندم زمستانه به مقدار، زمان و روش مصرف کود نیتروژن گزارش کردند که با افزایش مصرف نیتروژن از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، کاهش ۳۵/۱۳ درصدی کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد. زیرا با افزایش مصرف نیتروژن به دلیل بالا بودن آبشویی و هدرروی آن، به شدت کارایی مصرف کود کاهش می‌یابد (میرزاخانی، ۱۳۹۶). در تحقیق دیگری، کارآیی مصرف نیتروژن در تناوب‌های زراعی دوگانه گندم در شرایط مقادیر متفاوت نیتروژن و برگشت بقایای محصول، گزارش شد که بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن گندم به ترتیب در شرایط تیمار شاهد (۵۳/۹ کیلوگرم محصول به ازای هر کیلوگرم نیتروژن قابل دسترس) و در شرایط حداکثر مصرف نیتروژن (۱۷ کیلوگرم محصول به ازای هر کیلوگرم نیتروژن قابل دسترس) مشاهده شده است (رحیمی زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع گونه ارزن بر صفت کارایی فیزیولوژیک معنی‌دار بود و اثر سایر تیمارها بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۲). کارایی فیزیولوژیک در ارزن مرواریدی ۰/۱۶۳ حاصل شد که با ارزن معمولی (۰/۱۷) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن، میزان محصول تولیدی (برگ) به ازای میزان نیتروژن موجود در برگ است. در نظام‌های مدرن کشاورزی، افزایش کارآیی فیزیولوژیک، جذب و مصرف نیتروژن با هدف افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و نیز مخاطرات زیست محیطی، یک ضرورت بوده و حائز اهمیت ویژه‌ای است (Liu *et al*., 2018; Seyyedi *et al*., 2015). علاوه بر توانایی گیاه در جذب نیتروژن خاک، کارآیی مصرف نیتروژن می‌تواند تحت تأثیر نوع منبع تأمین کننده این عناصر نیاز قرار گیرد (Limon-Ortega *et al*., 2008). در مطالعه محمدیان و همکاران (۱۳۹۸) نتایج نشان داد که جایگذاری عمقی کود اوره سوپرگرانوله به دلیل افزایش مقدار جذب نیتروژن باعث کاهش تلفات کود نیتروژن شده و مزیت نسبی بیشتری نسبت به سایر منابع کود نیتروژن در زراعت برنج دارد.

کارایی بهره‌وری نیتروژن

کارایی بهره‌وری نیتروژن تحت تأثیر پیش‌کاشت و نوع ارزن قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار کارایی بهره‌وری نیتروژن در تیمار عدم پیش‌کاشت نخود به دست آمد که نسبت به تیمار پیش‌کاشت نخود ۹ درصد افزایش داشت، همچنین کارایی بهره‌وری در ارزن مرواریدی و ارزن معمولی با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند و دارای بیشترین مقدار کارایی بهره‌وری در مقایسه با رقم دم‌روباهی بودند (جدول ۳).

مدیریت صحیح کودهای حاوی نیتروژن به منظور بهبود کارایی مصرف این عنصر می‌تواند افزایش بهره‌وری اکوسیستم‌های زراعی را امکان‌پذیر سازد (Ankumah et al., 2003). از آن‌جایی که کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده بازدهی گیاه در تبدیل نیتروژن قابل دسترس در خاک به عملکرد دانه و یا بیولوژیک می‌باشد (Salvagiotti et al., 2009)، درک صحیح مکانسیم‌های مؤثر بر تنظیم کارایی نیتروژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تولید در واحد سطح داشته باشد. علاوه بر این، آگاهی از واکنش گیاهان براساس شرایط محیطی به سطوح و یا منابع تأمین کننده این عنصر ضروری می‌باشد (Kant et al., 2011).

شاخص برداشت نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر پیش‌کاشت نخود و کود نیتروژن بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). شاخص برداشت در تیمار پیش کاشت نخود نسبت به تیمار عدم پیش کاشت نخود ۱۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت در تیمارهای کودی ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با ۲۹ و ۲۶/۲ درصد حاصل

شد و سطح اول کود نسبت به کود سطح سوم ۱۶/۵ درصد افزایش در مقدار شاخص برداشت داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که سطح بالای کاربرد کود نیتروژن (۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) نسبت به سطوح پایین‌تر منجر به کاهش معنی‌داری در این شاخص شده است. علت این روند را می‌توان چنین بیان داشت که با افزایش کاربرد نیتروژن، در یک محدوده‌ای خاص، انتقال نیتروژن به دانه‌ها انجام خواهد شد و با کاربرد بیشتر جذب نیتروژن از خاک، متوقف خواهد شد. پژوهشگران در مطالعه اثر کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن در ارقام گندم، با افزایش کاربرد سطوح کود نیتروژن، کاهش شاخص برداشت نیتروژن را مشاهده نمودند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین تغییر شاخص برداشت نیتروژن تحت تاثیر نوع آبیاری، روش مصرف کود، زمان کاربرد و ارقام مختلف گیاه نیز گزارش شده است (درزی و مختصی، ۱۴۰۰).

کارآیی جذب نیتروژن در واقع نیتروژن جذب شده در بوته به ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و نیاز استراتژی‌های مدیریتی می‌توانند بر کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در گیاهان زراعی تأثیر گذار باشند (Guarda et al., 2004). در کنار مصرف بهینه نهاده‌های کودی، کاهش تلفات نیتروژن از خاک نیز از عوامل مؤثر جهت افزایش کارآیی جذب نیتروژن می‌باشد. مصرف نیتروژن در زمان مناسب و بر حسب نیاز گیاه، شیوه صحیح مصرف کود نیتروژن، مصرف نیتروژن از منابع آلی و جایگزینی نهاده‌های آلی به جای کودهای شیمیایی از جمله مهمترین راهکارها جهت افزایش کارآیی جذب و مصرف نیتروژن به شمار می‌رود. در این ارتباط محققان، افزایش کارآیی جذب و مصرف نیتروژن در زعفران را در نتیجه مصرف منابع کود آلی نسبت به کود شیمیایی مشاهده نمودند. این محققین دلیل این افزایش را ناشی از تلفات کمتر نیتروژن از خاک در نتیجه مصرف کمپوست و کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی دانستند (Koocheki & Seyyedi, 2015).

در بررسی کارآیی نیتروژن در گیاه گندم گزارش شد ضمن آن‌که آزاد شدن سریع نیتروژن در کود اوره را در کاهش کارآیی جذب نیتروژن در گندم مؤثر دانستند، همچنین بیان کردند که اعمال روش‌هایی که بتواند منجر به کاهش سرعت آزاد شدن عناصر از کودهای شیمیایی شود، می‌تواند علاوه بر افزایش رفع نیاز گیاه به این عنصر، منجر به افزایش کارآیی مصرف نیتروژن شود (Yang *et al*., 2017). افزایش کارآیی استفاده از عناصر غذایی به ویژه نیتروژن نقش مهمی در بهبود عملکرد پایدار اکوسیستم‌های زراعی دارد (Weih et al., 2011). در بررسی ارزیابی شاخص‌های کارایی مصرف

نیتروژن ارقام جدید و قدیم جو در شرایط اقلیمی استان گلستان گزارش شد که بین ارقام بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در رقم خرم که از جدیدترین ارقام می‌باشد و کمترین آن در رقم قدیمی ترکمن مشاهده شد که نشان از آن دارد که در طی سال‌های آزادسازی ارقام، به‌نژادی باعث بیش از سه برابر شدن شاخص برداشت نیتروزن در ارقام جدید شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد پیش‌کاشت نخود باعث افزایش عملکرد دانه و زیست توده جنس‌های مختلف ارزن نسبت به شرایط عدم پیش‌کاشت نخود شد. در بین ارقام مورد بررسی، بیشترین کارایی مصرف، فیزیولوژیک و بهره‌وری نیتروژن مربوط به ارزن‌های مرواریدی و معمولی بود. با افزایش مصرف کود نیتروژن علیرغم افزایش عملکرد دانه و ماده خشک کل، کارایی نیتروژن کاهش یافت که نشان می‌دهد با وجود بهبود عملکرد در شرایط مصرف بالای نیتروژن، به منظور جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین آبشویی، تصعید و تخریب خاک در بوم نظام‌های کشاورزی پیشنهاد می‌شود از مصرف بیش از اندازه کود خودداری شود و با درنظر گرفتن نتایج آزمون خاک و کارایی مصرف کود از منابع مختلف تغذیه‌ای استفاده نمود. افزایش سطوح مصرف کود نیتروژن اگرچه موجب افزایش عملکرد دانه و ماده خشک کل شد، اما کاهش کارایی مصرف نیتروژن را به دنبال داشت. این موضوع نشان می‌دهد که مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه، علاوه بر کاهش بهره‌وری اقتصادی، می‌تواند پیامدهای منفی زیست‌محیطی از جمله آبشویی نیترات، تصعید نیتروژن، آلودگی منابع آب و تخریب خاک را در بوم‌نظام‌های کشاورزی تشدید کند. بنابراین، مدیریت بهینه نیتروژن از طریق تلفیق تناوب زراعی مناسب، انتخاب ارقام کارآمد و مصرف متعادل کودهای شیمیایی، نقش کلیدی در دستیابی به کشاورزی پایدار ایفا می‌کند.

منابع مورد استفاده

اعتضادی جمع، ج.، س. و. اسلامی، م. جامی الاحمدی، و م.ح. سیاری زهان. ۱۴۰۱. بررسی کارایی مصرف نیتروژن گیاهی در تناوب های مختلف زراعی. مجله تحقیقات محصولات زراعی ایران، دوره ۲۰، شماره ۴، صفحه ۴۱۵-۴۰۱.

جویبان، ز.، م. کافی، ا. نظامی، و س.غ. موسوی. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر سطوح آبیاری، نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد ماده خشک و برخی از صفات فیزیولوژیکی ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz). پژوهشهای زراعی ایران، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحه ۴۱۴-۴۰۳.

حسینی، ر.س.، س. گالشی، ع. سلطانی، م. کلاته، و م. زاهد. ۱۳۹۲. تأثیر کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L). نشریه پژوهشهای زراعی ایران، دوره ۱۱، شماره ۲، صفحه ۳۰۶-۳۰۰.

درزی نفت‌چالی، ع.، و ع. مختصی بیدگلی. ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری و زهکشی متناوب بر جذب و شاخص برداشت نیتروژن دو رقم برنج. مجله مهندسی آبیاری و آب. دوره ۱۱، شماره ۴، صفحه ۱۴۰-۱۲۳.

رحیمی‌زاده، م.، ا. زارع فیض‌آبادی، و ع. کاشانی.۱۳۹۰. کارآیی زراعی نیتروژن در تناوب‌های زراعی دو گانه گندم تحت تاثیر کود نیتروژنه و برگشت بقایای محصول. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. دوره ۹، شماره ۲، صفحه ۲۲۱-۲۱۱.

زادبهتوئی، م.، ر. سیدشریفی، و ر. خلیل زاده. ۱۳۹۷.کاربرد نیتروژنو کودهای زیستی بر عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن و برخیصفات مورفوفیزیولوژیک برنج. تحقیقات غلات. دوره ۸، شماره ۴، صفحه ۴۲۱-۴۰۹.

سیدی، س. م.، ر. قربانی، پ. رضوانی مقدم، و م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۱. تاثیر طول دوره تداخل علف های هرز بر درصد و کارایی جذب فسفر و پتاسیم سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و علف های هرز آن. پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران. دوره ۲۶، شماره ۱، صفحه ۹۱-۸۲.

عباس‌پور، م. ۱۳۹۸. کنترل شیمیایی علف های هرز در ارزن دم روباهی (*Setaria italica* L.). مجله تولیدات گیاهی (مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی). جلد ۲۶، شماره ۴، صفحه ۱۶۲-۱۴۹.

محمدیان، م.، ا. آستارایی، ا. لکزیان، ح. امامی، و م. کاووسی، ۱۳۹۸. تأثیر منابع تأمین نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن در برنج (*Oryza sativa* L. cv. Shiroudi). مجله علوم زراعی ایران. دوره ۲. شماره ۱. صفحه ۸۲-۹۵.

مشایخی، س.، غ.ر. خواجوی نژاد، و ق. محمدی‌نژاد. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ های مختلف ارزن در دو رژیم آبیاری. پژوهشهای زراعی ایران. دوره ۱۴، شماره۱، صفحه ۱۳۲-۱۲۰.

مندنی، ف.، ع. بزرگی حسین‌آباد، م. سعیدی، ع. باقری، و ح. حیدری. ۱۳۹۸. ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه. بوم شناسی کشاورزی. دوره ۱۱، شماره ۱، صفحه ۸۷-۱۰۲.

مهاجر خراسانی، س.، و م. اعلمی. ۱۳۹۸. ارزن غله فراموش شده - غذایی ارزشمند برای آینده. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. دوره ۱۶، شماره ۹۵، صفحه ۲۵-۱۱.

میرزایی، ع.ا، ع. راحمی کاریزکی، ع. نخزری مقدم، و ع. قلی زاده. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص های کارایی مصرف نیتروژن ارقام جدید و قدیم جو در شرایط اقلیمی استان گلستان (مطالعه موردی: گنبدکاووس). نشریه بوم شناسی کشاورزی. دوره ۱۰، شماره ۴، صفحه- ۱۱۶۰-۱۱۴۹.

میرزاخانی، م. ۱۳۹۶. پاسخ خصوصیات زراعی گلرنگ (*Carthamus Tinctorius* L.) به زمان، میزان و روش‌های کاربرد نیتروژن. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی). دوره ۱۱، شماره ۴، صفحه ۸۸۸-۸۷۵.

میرزاشاهی، ک.، ع. ر. پاک نژاد، و ش. امیدواری. ۱۳۹۳. اثر تناوب، مدیریت کاربرد نیتروژن و بقایای گیاهی بر عملکرد ذرت (cv.SC704) و برخی خواص شیمیایی خاک. مجله تحقیقات خاک (علوم خاک و آب)، دوره ۳۰، شماره ۲، صفحه ۱۲۴-۱۱۶.

نصری، ر.، ع. کاشانی، ف. پاک نژاد، و ص. وازن. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر تناوب و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) و شاخص‌های کارایی نیتروژن. پژوهشهای زراعی ایران، دوره۱۳، شماره ۳، صفحه ۵۶۹-۵۵۳.

نورقلی‌پور، ف.، ی. ر. باقری و م. لطف الهی. ۱۳۸۶. تأثیر منابع نیتروژن بر عملکرد و کیفیت گندم. تحقیقات کشاورزی ایران، دوره ۱۴، شماره ۲، صفحه ۱۲۹-۱۲۰.

Ankumah, R.O., Khan, V., Mwamba, K., & Kpomblekou, K. (2003). The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100(2-3), 201-207.

Bingham, I.J., Karley, A.J., White, P.J., Thomas, W.T.B., & Russell, J.R. (2012). Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *European Journal of Agronomy*, 42, 49- 58.

De Oliveira Silva, A., Ciampitti, I.A., Slafer, G.A., & Lollato, R.P. (2020). Nitrogen utilization efficiency in wheat: A global perspective. *European Journal of Agronomy*, 114, 126008.

De Pauw, E., Mirghasemi, A., Ghaffari, A., & Naseir, B. (2008). Agro ecological zones of Karkheh River Basin: A reconnaissance assessment of climatic and edaphic patterns and their similarity to areas inside and outside the basin. Technical Report, ICARDA, 96pp.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2017). FAOSTAT. http://www.fao.org/ faostat/en/#data/QC.

Guarda, G., Padovan, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy,* 21, 181–192.

Hakeem, A., Ajeigbe, M., Folorunso Akinseye, Y., Alpha Kamara, A., & Hassan Inuwa, A. (2020). Productivity, Water- and Nitrogen-Use Efficiency, and Profitability of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) under Different Nitrogen Applications in Semiarid Region of Nigeria. *International Journal of Agronomy*, 1-12.

Hassani, M., Tadayon, M.R., & Fadaei Tehrani, A.A. (2021). The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in *Camelina sativa* L. *Plant Process and Function,* 10 (45) ,123-140.

Hiremath, A.J., & Ewel, J.J. (2001). Ecosystem nutrient use efficiency, productivity and nutrient accrual in model tropical communities. *Ecosystems*, 4, 669-682.

Kant, S., Bi, Y.M., & Rothstein, S.J. (2011). Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany.* 62 (4), 1499-1509.

Koocheki, A.R., & Seyyedi, S.M. (2015). A Comprehensive Look at Nitrogen and Phosphorus Use Efficiency in Saffron (*Crocus Sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology,* 4(2), 75-91.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B., & 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.

Liu, Z., Gao, J., Gao, F, Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Integrated agronomic practices management improve yield and nitrogen balance in double cropping of winter wheat summer maize. *Field Crop Research*, 221, 196-206.

Musyoka, M.W., Adamtey, N., Bünemann, E.K., Muriuki, A.W., Karanja, E.N., Mucheru-Muna, M., Fiaboe, K.K., & Cadisch, G. (2019). Nitrogen release and synchrony in organic and conventional farming systems of the Central Highlands of Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* 113*,* 283-305.

Parsa, S., Kafi, M., & Nassiri, M. (2009). Effects of salinity and nitrogen levels on nitrogen content of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Scientific information Database,* 7(2)*,* 347-355.

Raun, W.R., & Johnson, G.V. (1991). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91, 357-363.

Salvagiotti, F., Castellarin, J.M., Miralles, D.J., & Pedrol, H.M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113, 170–177.

Seyyedi, S.M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., & Shahandeh, H. (2015). Effects of phosphorus and seed priming on seed vigor, fatty acids composition and heterotrophic seedling growth of black seed (*Nigella sativa* L.) grown in a calcareous soil. *Industrial Crops and Products*, 74, 939–949.

Weih, M., Asplund, L., & Bergkvist, G. (2011). Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: a functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant and Soil*, 339(1-2), 513-520.

Yadav, M., Kumar, R., Parihar, C., Yadav, R., Jat, S., Ram, H., Meena, R., Singh, M., Verma, A., & Kumar, U. (2017). Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews,* 38, 29-40.

Yang, X., Lu, Y., Ding, Y., Yin, X., & Raza, S. (2017). Optimising nitrogen fertilisation: a key to improving nitrogen-use efficiency and minimising nitrate leaching losses in an intensive wheat/maize rotation (2008–2014). *Field Crops Research,* 206,1-10.

Zhu, Z. 2000. Loss of fertilizer N from the plant-soil system and strategies and techniques for its reduction in china. *Soil and Environment Science*. 9, 1-6.