



University of Guilan  
Faculty of Agricultural Sciences

## Cereal Research

Vol. 12, No. 4, Winter 2023 (367-382)

doi: 10.22124/CR.2023.25076.1776

pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

### Effect of planting method and nitrogen fertilizer on radiation use efficiency, energy balance, soil characteristics and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Mohammad Hossein Nadimi Dafrazi<sup>1\*</sup>, Masoud Esfahani<sup>2\*</sup>, Gholamreza Mohsenabadi<sup>3</sup> and Ali Aalami<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran (\* Corresponding author: [mhnadimi96@gmail.com](mailto:mhnadimi96@gmail.com))
2. Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran (\* Corresponding author: [esfahani@guilan.ac.ir](mailto:esfahani@guilan.ac.ir))
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
4. Associate Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

#### Comprehensive abstract

##### Introduction

Food security has become one of the most important global issues due to rapid population growth and changing weather conditions, drought and heat stress. Cereals and especially wheat are among the strategic and important agricultural products and they have a special role in the food security of many countries of the world including Iran. Increasing mechanization, improving production methods and the widespread use of fertilizers during the 20<sup>th</sup> century have greatly helped to increase production and the production of agricultural products is the result of a complex interaction between various environmental factors such as soil properties and management operations. Different tillage systems have different effects on crop production in rainfed agriculture. Nitrogen is one of the most important nutrients in the production of crops, which affects the growth and performance of the plant. The purpose of this experiment was to determine the most appropriate method of seeded preparation and the amount of nitrogen fertilizer on wheat grain yield and soil properties.

##### Materials and methods

To investigate the effect of raised bed and flat planting methods and the amount of nitrogen fertilizer on soil characteristics, radiation efficiency, energy balance and grain yield of Kohdasht wheat cultivar, a factorial experiment was conducted in randomized complete block design layout with three replications in the cropping years of 2019-2020 and 2020-2021 were implemented in an experimental farm in the suburbs of Rostam Abad, Rudbar, Guilan, Iran. The experimental factors included the methods of raised bed and flat planting and nitrogen fertilizer at four levels of zero, 75, 150 and 225 kg.ha<sup>-1</sup>. Measured plant traits and other indices included plant height, 1000 grain weight, fruiting efficiency, radiation efficiency, grain protein content, biological yield, grain yield, soil bulk density, soil porosity and energy balance.

##### Research findings

Results showed that in the treatment of 225 kg.ha<sup>-1</sup> of nitrogen in the method of raised bed and flat planting, the highest plant height (66.3 cm), grain yield (4908 kg.ha<sup>-1</sup>), 1000 grain weight (40 g), grain protein content (11%), fruiting efficiency (88 grain.g spike<sup>-1</sup>DW), radiation use efficiency (2.05 g.MJ<sup>-1</sup>) and biological yield (11349 kg.ha<sup>-1</sup>) were obtained. Raised bed planting methods increased the soil bulk density (1.16 g.cm<sup>-3</sup>) and decreased soil porosity. The results showed that in terms of the total



energy consumption for wheat production, the lowest and highest amounts were related to raised bed and flat methods, respectively (11681.1 and 13606.8 MJ.ha<sup>-1</sup>). The highest amount of energy consumed in the flat method was allocated to nitrogen fertilizer (51%) and fuel (19%), respectively.

### **Conclusion**

Increasing nitrogen fertilizer application through the faster canopy closure and sooner maximum leaf area index caused an increase in the number of grain.spike<sup>-1</sup>, 1000 grain weight and the absorption of radiation, which ultimately increased the efficiency of radiation, biomass and grain yield. Due to the minimization of the traffic of machines on the soil by reducing the soil preparation operations, the tillage system of the raised bed planting method led to a decrease in the hours and energy required for the work of the machines per hectare compared to the flat planting method. Also, raised bed planting system along with nitrogen fertilizer increased the soil bulk density and decrease the porosity. According to the results of this experiment, it seems that the method of raised bed planting along with the consumption of 225 kg of nitrogen fertilizer.ha<sup>-1</sup> is due to having favorable weather conditions in terms of grain yield and other studied traits for the production of Kohdasht wheat cultivar in the region, the subject of study seems to be more suitable.

**Key words:** Energy, Fruiting efficiency, Radiation use efficiency, Rainfed wheat, Soil bulk density

---

Received: November 9, 2022

Accepted: February 20, 2023

### **Cite this article:**

**Nadimi Dafrazi, M.H., Esfahani, M., Mohsenabadi, Gh. and Aalami, A. 2023.** Effect of planting method and nitrogen fertilizer on radiation use efficiency, energy balance, soil characteristics (*Triticum aestivum* L.) and wheat grain yield. *Cereal Research*, 12(4), pp. 367-382.



## اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر کارایی مصرف تابش، بیلان انرژی، ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.)

محمدحسین ندیمی<sup>۱\*</sup>، مسعود اصفهانی<sup>۲\*</sup>، غلامرضا محسن‌آبادی<sup>۳</sup> و علی اعلمی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (\* نویسنده مسئول):

[mhnadimi96@gmail.com](mailto:mhnadimi96@gmail.com)

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (\* نویسنده مسئول):

[esfahani@guilan.ac.ir](mailto:esfahani@guilan.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

### چکیده جامع

**مقدمه:** امنیت غذا به دلیل افزایش سریع جمعیت و تغییر شرایط آب و هوایی، خشک‌سالی و تنش گرما تبدیل به یکی از مهم‌ترین مسائل جهانی شده است. غلات و به‌ویژه گندم از جمله تولیدات راهبردی و مهم کشاورزی محسوب می‌شوند و در الگوی غذایی و امنیت غذایی بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. افزایش مکانیزاسیون، بهبود روش‌های تولید و مصرف گسترده کودها طی قرن بیستم، به افزایش تولید گیاهان زراعی کمک زیادی کرده و تولید محصولات کشاورزی نتیجه عملکرد پیچیده میان عوامل مختلف محیطی مانند ویژگی‌های خاک و عملیات مدیریتی است. روش‌های مختلف خاک‌ورزی اثرات متفاوتی بر تولید محصول در زراعت دیم دارند. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در تولید گیاهان زراعی است که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیرگذار است. هدف از اجرای این آزمایش، تعیین مناسب‌ترین روش کاشت و میزان کود نیتروژن بر عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک بود.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور بررسی اثر روش کاشت جوی و پشته و سطح و میزان کود نیتروژن بر ویژگی‌های خاک، کارایی مصرف تابش، بیلان انرژی و عملکرد دانه گندم رقم کوه‌دشت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در یک مزرعه آزمایشی در حومه شهر رستم آباد رودبار استان گیلان به‌صورت دیم اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل روش کاشت جوی و پشته (بستر بلند) و کاشت سطح و کود نیتروژن در چهار سطح صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بودند. صفات گیاهی و سایر شاخص‌های مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، کارایی محصول دهی، کارایی مصرف تابش، محتوای پروتئین دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، جرم مخصوص ظاهری خاک، تخلخل خاک و بیلان انرژی بودند.

**یافته‌های تحقیق:** نتایج این آزمایش نشان داد که در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در روش کاشت جوی و پشته بیش‌ترین ارتفاع بوته (۶۶/۳ سانتی‌متر)، عملکرد دانه (۴۹۰۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن هزار دانه (۴۰ گرم)، پروتئین دانه (۱۱ درصد)، کارایی محصول دهی (۸۸ دانه در گرم وزن خشک سنبله)، کارایی مصرف تابش (۲/۰۵ گرم بر مگاژول) و عملکرد

زیستی (۱۱۳۴۹ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. روش کاشت جوی و پشته باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۱۶ گرم بر سانتی متر مکعب) و کاهش تخلخل خاک شد. از لحاظ مجموع انرژی مصرفی جهت تولید گندم، کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب مربوط به روش جوی و پشته و مسطح (به ترتیب ۱۱۶۸۱/۱ و ۱۳۶۰۶/۸ مگاژول در هکتار) بود. علاوه بر این، بیشترین مقدار انرژی مصرفی در روش مسطح، به ترتیب به کود نیتروژن (۵۱ درصد) و سوخت (۱۹ درصد) اختصاص یافت.

**نتیجه‌گیری:** افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از طریق توسعه سریع پوشش گیاهی با دستیابی سریع به حداکثر شاخص سطح برگ، باعث افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و جذب حداکثر تابش شد که در نهایت باعث افزایش کارایی مصرف تابش، ماده خشک گیاهی و عملکرد دانه شد. خاک‌ورزی به روش جوی و پشته به دلیل به حداقل رساندن تردد ماشین‌آلات روی زمین، با کاهش عملیات آماده‌سازی خاک، باعث کاهش ساعت و انرژی مورد نیاز کار ماشین‌آلات در هر هکتار نسبت به روش کاشت مسطح شد. همچنین روش جوی و پشته همراه با کود نیتروژن باعث افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش تخلخل خاک شد. با توجه به نتایج این آزمایش، به نظر می‌رسد که آماده‌سازی زمین به روش جوی و پشته همراه با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، به دلیل برخورداری از شرایط مساعد آب و هوایی، از نظر عملکرد دانه و سایر صفات و شاخص‌های مورد مطالعه برای زراعت گندم رقم کوه‌دشت در منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی، جرم مخصوص ظاهری خاک، کارایی استفاده از تابش، کارایی محصول دهی، گندم دیم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

نحوه استناد به این مقاله:

ندیمی دفرازی، محمدحسین، اصفهانی، مسعود، محسن‌آبادی، غلامرضا و اعلمی، علی. ۱۴۰۱. اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر کارایی مصرف تابش، بیلان انرژی، ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.). *تحقیقات غلات*، ۱۲(۴): ۳۶۷-۳۸۲.

## مقدمه

امنیت غذا به دلیل افزایش سریع جمعیت و تغییر شرایط آب و هوایی، خشک‌سالی و تنش گرما تبدیل به یکی از مهم‌ترین مسائل جهانی شده است (Lesk *et al.*, 2019). مطالعات نشان می‌دهند که جمعیت جهان سالانه حدود ۸۰ میلیون نفر افزایش می‌یابد و پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۲۵ به بیش از هشت میلیارد نفر و تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۷ میلیارد نفر برسد (Kopittke *et al.*, 2019). بنابراین با افزایش روزافزون جمعیت جهانی، افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه گندم به عنوان یک گیاه راهبردی در جهت نیل به امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر اگرچه توانسته است انسان را در تأمین غذای مورد نیاز یاری دهد، اما تلاش جهت افزایش بهره‌وری و تولید غذای سالم، ضرورت نیاز به انقلابی با تأکید بر رعایت اصول زیست‌محیطی و حفظ پایدار منابع را ملموس‌تر می‌کند (Khan *et al.*, 2007).

در حال حاضر، سطح زیر کشت گندم در دنیا بیش از ۲۲۰ میلیون هکتار و تولید کل آن در جهان بیش از ۷۶۷ میلیون تن است. سطح زیر کشت گندم در ایران در سال ۲۰۲۰ حدود شش میلیون هکتار بوده که نسبت به سطح زیر کشت ۵/۵۸ میلیون هکتار سال قبل کمی افزایش داشته است. حدود یک‌سوم مزارع گندم در ایران به کشت آبی و بقیه به صورت دیم کشت می‌شود. برداشت محصول گندم در ایران حدود ۱۴ میلیون تن پیش‌بینی شده است که نسبت به سال ۲۰۱۹ حدود سه درصد کم‌تر بوده است (FAO, 2020). طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت گندم دیم استان گیلان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ برابر با ۷،۵۳۹ هکتار، میزان تولید ۷،۴۷۷ تن و عملکرد آن ۹۹۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (Agricultural Statistics, 2020).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در تولید گیاهان زراعی است که مقدار آن در گیاهان بعد از کربن و هیدروژن بیش از سایر عناصر غذایی است (Guo *et al.*, 2019). این عنصر یکی از عناصر غذایی پرمصرف در ساختار گیاهان است و کمبود آن در گیاهان مختلف در جهان بسیار شایع می‌باشد. به همین دلیل، در بین همه عناصری که به صورت کود به خاک افزوده می‌شوند، نیتروژن از لحاظ مقدار مصرف رتبه اول را دارا است (Sun *et al.*, 2019).

در بیش‌تر موارد، تنوع در عملکرد دانه گندم و بهبود آن مربوط به تغییرات در تعداد دانه در سنبله است. بنابراین، شناسایی صفات زراعی، فنولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تعداد دانه در ارقام گندم کشت شده در شرایط نیمه‌خشک، می‌تواند به تسریع بهبود ژنتیکی برای افزایش پتانسیل عملکرد دانه گندم کمک کند (Joudi *et al.*, 2016). افزایش کارایی محصول دهی، به تخصیص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به سنبله‌های در حال رشد (به جای تخصیص به اجزای ساختاری سنبله‌ها) در ارقام جدید نسبت داده شد (Acreche *et al.*, 2008). افزایش تعداد دانه در گندم منجر به افزایش عملکرد می‌شود که حاصل نسبت تعداد دانه‌ها به وزن خشک سنبله در مرحله گرده‌افشانی است و به صورت کارایی محصول دهی (Fruiting Efficiency) بیان می‌شود (Terrile *et al.*, 2017). علاوه بر پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم از نظر صفات زراعی، فنولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تعداد دانه در سنبله، انواع مدیریت‌های زراعی از جمله بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مدیریت حاصل خیزی خاک، و توزیع مناسب بوته در واحد سطح مزرعه به منظور بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها (تابش، کود و آب) که می‌توانند به بهبود صفات فیزیولوژیک مؤثر بر تعداد دانه در سنبله کمک کنند، می‌توانند سبب بهبود در کارایی محصول دهی گیاه شوند (Slafer *et al.*, 2015).

نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که استفاده از سامانه کاشت روی پشته‌های عریض نسبت به روش کاشت مرسوم روی سطح مسطح، باعث افزایش عملکرد دانه گندم به میزان ۲۴/۵ درصد شده است (Ali *et al.*, 2012). تحقیقات انجام‌شده در پنج منطقه کشور چین نشان داده است که روش کاشت روی پشته‌های عریض نسبت به روش کاشت بر سطح مسطح، عملکرد گندم را بین ۶/۶ تا ۱۳ درصد افزایش داد (Wang *et al.*, 2009). فاهونگ و همکاران (Fahong *et al.*, 2004) در آزمایشی که در چین برای مقایسه روش کاشت مسطح و پشته‌ای انجام دادند، نشان دادند که عملکرد دانه در ارقام گندم مورد بررسی، در روش کاشت پشته‌ای ۱۰ تا ۱۳/۴ درصد بیش از روش کاشت به صورت مسطح بود. در آزمایش تأثیر انواع شخم و گیاهان پوششی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در بیرجند گزارش داده شد که خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم (عملکرد زیستی، وزن هزار دانه و وزن سنبله) شد (Sharefee *et*

(*al.*, 2018). سانچز و همکاران (Sanchez *et al.*, 2007) معتقدند که سامانه کم‌خاک‌ورزی در درازمدت باعث بهبود حاصل‌خیزی خاک، کاهش فرسایش خاک، کاهش هزینه کارگر، کاهش هزینه سوخت و کاهش تجهیزات موردنیاز می‌شود. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2009) نیز گزارش کردند که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم دیم داشت، به طوری که خاک‌ورزی با گاو آهن قلمی نسبت به گاو آهن برگردان‌دار، عملکرد دانه گندم دم را در حدود ۱۵ درصد افزایش داد.

با توجه به اهمیت تأثیر روش‌های آماده‌سازی بستر بذر و با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی، این تحقیق با هدف شناسایی مناسب‌ترین روش کاشت و سطوح کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های خاک در شرایط دیم طراحی و اجرا شد.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در حومه شهر رستم‌آباد شهرستان رودبار استان گیلان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی با ارتفاع ۳۷۴ متر از سطح دریای آزاد طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. متوسط بارش سالیانه ۳۶۴ میلی‌متر، بافت خاک لومی، pH خاک در حدود ۷/۷، هدایت الکتریکی خاک در حدود یک دسی‌زیمنس بر متر و مواد آلی خاک ۱/۸۷ درصد بود. تیمارهای آزمایشی، ترکیب سطوح دو فاکتور روش کاشت و سطوح نیتروژن بود. روش کاشت در دو سطح شامل کاشت جوی و پشته یا بستر بلند (Raised bed) و کاشت مسطح (Flat) و کود نیتروژن در چهار سطح شامل صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بود. در این آزمایش، از گندم رقم کوه‌دشت استفاده شد که توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در سال ۱۳۷۹ معرفی شد (Roustai *et al.*, 2001) و مبدأ آن موسسه ایکاردا (ICARDA) بوده است. گندم رقم کوه‌دشت دارای تیپ بهاره، متوسط ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر، رنگ دانه سفید، متوسط وزن هزار دانه ۳۷ گرم، زودرس، مقاوم به ورس، مقاوم به بیماری‌های زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای و نیمه‌مقاوم به ریزش دانه است.

زمین محل اجرای آزمایش در هر دو سال زراعی در ابتدای پاییز شخم زده شد. در روش کاشت مسطح (روش متداول) ابتدا شخم اولیه زمین تا عمق ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر با گاوآهن برگردان‌دار و سپس عملیات دیسک‌زنی جهت خرد کردن کلوخه‌ها به صورت دو بار دیسک عمود بر هم و یک بار روتواتور، مطابق عرف منطقه، انجام شد. در روش کاشت جوی و پشته (کاشت روی بستر بلند) پس از انجام شخم اولیه، کرت‌هایی به طول هشت متر و به عرض چهار متر ایجاد شدند که هر کرت شامل چهار پشته به طول هشت متر و به عرض ۸۰ سانتی‌متر بود. در هر پشته چهار ردیف کاشت به صورت نواری در نظر گرفته شد و بنابراین هر کرت شامل ۱۶ ردیف کاشت با فاصله بین ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین بلوک‌ها نیز یک متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر گندم به طور همزمان در همه تکرارها با تراکم کاشت ۳۰۰ بوته در متر مربع انجام شد. کاشت بذرها در هر دو روش به صورت دستی و در عمق سه تا پنج سانتی‌متری خاک به صورت نواری انجام شد. تاریخ کاشت در سال اول و دوم ۲۰ دی، پس از آماده‌سازی بستر بذر بود. در کرت‌های بستر بلند، پشته‌ها هر سال بعد از برداشت محصول بازسازی شد و ردیف‌ها و پشته‌ها برای سال بعد در محل اولیه خود باقی ماند.

جهت تعیین مقدار کود مصرفی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه با نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک قبل از اجرای آزمایش تعیین شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از کودهای فسفر (پنتا اکسید فسفر) از منبع سوپرفسفات تریپل حاوی ۲۳ درصد فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (اکسید پتاس) از منبع سولفات پتاسیم حاوی ۴۱ درصد پتاس استفاده شد. تمام کود فسفر و پتاس و یک‌سوم کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین داده شد و باقیمانده کود نیتروژن، یک‌سوم در مرحله ساقه‌رفتن (کد ۲۱ زیداکس) و یک‌سوم قبل از سنبله‌دهی (کد ۵۰ زیداکس)، به خاک داده شد. کلیه عملیات زراعی از قبیل وجین (به صورت دستی قبل از بسته‌شدن پوشش گیاهی)، سله‌شکنی، تنک کردن (میزان بذر با توجه به وزن هزار دانه و بعد از سبز شدن به تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع رسانده شد)، مبارزه با آفات و بیماری‌ها به طور همزمان در کلیه کرت‌ها طی فصل رشد اجرا شد.

صفات گیاهی مورد ارزیابی عبارت بودند از: ارتفاع بوته در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (تعداد ده بوته از هر کرت به طور تصادفی و با در نظر گرفتن حاشیه، انتخاب و اندازه گیری‌ها روی هر بوته به طور جداگانه انجام و میانگین آنها به عنوان صفت مورد نظر ثبت شد)، وزن هزار دانه (سه نمونه دانه از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و پس از شمارش ۱۰۰۰ عدد دانه، وزن آنها با رطوبت ۱۴ درصد با استفاده از ترازوی دقیق توزین و برحسب گرم ثبت شد)، عملکرد دانه و عملکرد زیستی (در پایان فصل رشد، ردیف‌های کناری هر کرت (یک ردیف از هر طرف) و ۰/۵ متر از دو انتهای هر ردیف به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و محصول ۱۲ مترمربع از هر کرت برداشت و پس از خشکاندن در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و پس از رسیدن به وزن ثابت، با استفاده از ترازوی دقیق توزین شد). برای اندازه گیری کارایی محصول دهی (Fruiting Efficiency) (۳۰ سنبله اصلی به طور تصادفی از هر کرت در دو مرحله گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک از محل گره گردن سنبله برداشت و پس از خشکاندن در آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، وزن آنها اندازه گیری و میانگین وزن آنها ثبت شد. سپس، نسبت تعداد دانه در سنبله به وزن خشک سنبله در مرحله گرده افشانی به عنوان کارایی محصول دهی محاسبه شد (Ferrante et al., 2015). کارایی مصرف تابش (Radiation Use Efficiency)، بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای واحد نور جذب شده و واحد آن، گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده است (Bozorgi Hossein Abad et al., 2017). برای محاسبه کارایی مصرف تابش، میزان شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشع جذب شده روزانه برآورد و سپس کارایی مصرف تابش با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - P) \times (1 - e^{-k \times LAI}) \quad (1)$$

در این رابطه،  $I_{abs}$  میزان تابش جذب شده بر اساس مگاژول در مترمربع،  $I_0$  میزان تابش خورشیدی رسیده به بالای پوشش گیاهی بر حسب مگاژول بر متر مربع،  $K$  ضریب استهلاک نور،  $LAI$  شاخص سطح برگ و  $P$  ضریب انعکاس نور (که پنج درصد در نظر گرفته شد) است.

برای برآورد شاخص سطح برگ، ابتدا مساحت برگ‌ها با دستگاه اندازه گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) طی چند نوبت و به طور تصادفی از میانگین سطح برگ ۱۰

بوته اندازه گیری شده و شاخص سطح برگ محاسبه شد. همچنین در چند نوبت با اندازه گیری تابش در بالا و پایین تاج پوشش گیاهی، با استفاده از دستگاه Sun Scan (LI.COR, LINE QUANTUM, USA) کارایی مصرف تابش برآورد شد. برای اندازه گیری، در ظهر خورشیدی (بین ساعات ۱۲ تا ۱۴) در بخشی از کرت که پوشش گیاهی مناسب داشت، سنسور دستگاه یک بار در بالای تاج پوشش گیاهی و دوبار در پایین پوشش گیاهی (در ارتفاعی از ساقه که برگ‌های زرد در پایین و برگ‌های سبز در بالا قرار داشته باشند) قرار داده شد، به نحوی که ابتدا و انتهای سنسور دستگاه در فاصله بین ردیف‌ها قرار گیرد. اندازه گیری‌ها از مرحله طویل شدن ساقه (کد ۳۰ زیداکس) تا بسته شدن پوشش گیاهی (کد ۶۰ زیداکس) به فاصله زمانی ۷ تا ۱۰ روز (جمعاً پنج بار) و دقیقاً قبل از نمونه برداری ماده خشک انجام شد (Tsubo et al., 2005). برای اندازه گیری پروتئین دانه نیز ابتدا نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه گیری و سپس درصد پروتئین نمونه‌ها با اعمال ضریب ۶/۲۵ فاکتور پروتئین محاسبه شد (Rossi et al., 2004). برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، تعداد سه نمونه دست نخورده خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در دو نوبت (قبل از اجرای آزمایش و پس از برداشت محصول) با استفاده از اوگر برداشت شد و پس از توزین آن‌ها، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آن خشکانده شدند و سپس جرم مخصوص ظاهری (Bulk density) با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد (Heidarpour et al., 2016):

$$B_d = \frac{W_s}{V} \quad (2)$$

که در آن،  $B_d$  جرم مخصوص ظاهری خاک (بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب)،  $W_s$  جرم خاک خشک (بر حسب گرم) و  $V$  حجم استوانه (بر حسب سانتی متر مکعب) است. برای تعیین تخلخل خاک (پس از مشخص کردن حجم نمونه‌ها، خشکاندن در آن و توزین نمونه‌ها و پس از محاسبه جرم مخصوص ظاهری خاک، با در نظر گرفتن عدد ۲/۶۵ به عنوان جرم مخصوص حقیقی خاک (Particle density)، از طریق رابطه (۳) محاسبه شد.

$$S_p = 1 - \frac{(B_d)}{(P_d)} \times 10 \quad (3)$$

در این رابطه،  $S_p$  تخلخل (بر حسب درصد)،  $B_d$  جرم مخصوص ظاهری خاک و  $P_d$  جرم مخصوص حقیقی خاک

در هکتار)، مقدار انرژی ورودی بر حسب مگاژول در هکتار برای هر تیمار با استفاده از ضرایب تبدیل انرژی محاسبه شد (Rajabi *et al.*, 2012).

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، به منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی از آزمون  $F_{max}$  هارتلی استفاده شد. در صورت عدم معنی دار بودن، تجزیه واریانس داده‌ها به صورت مرکب و در صورت معنی دار شدن  $F_{max}$  تجزیه واریانس ساده برای هر سال به صورت جداگانه انجام شد. تجزیه واریانس و تجزیه همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها و برهمکنش آنها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

هر دو بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب) هستند (Mousavi *et al.*, 2012).

بیان انرژی بر اساس انرژی‌های ورودی و انرژی‌های خروجی محصول شامل دو بخش دانه و کاه و کلس گندم محاسبه شدند. به منظور ارزیابی مصرف سوخت، مدت زمان هر عملیات از آغاز تا پایان به طور جداگانه بر اساس رابطه (۴) محاسبه شد (Yadi *et al.*, 2021):

$$FT = t \times FH \quad (4)$$

که در آن، FT سوخت موردنیاز برای انجام عملیات زراعی در سطح یک هکتار (بر حسب لیتر)، t مدت زمان کارکرد تراکتور (بر حسب ساعت) و FH سوخت موردنیاز تراکتور در یک ساعت انجام عملیات (بر حسب لیتر) است. سپس با به دست آمدن میزان کل سوخت مصرفی (لیتر

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental field

Soil texture	Total N (%)	Available P (mg.kg <sup>-1</sup> )	Available K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Organic carbon (%)	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	porosity (%)	Bulk density (g.cm <sup>-3</sup> )
Loam	0.07	9.9	444	0.68	7.7	0.84	59	1.12

Reference: Soil Science Laboratory, Soil and Water Research Department, Country Rice Research Institute

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 2. Meteorological information of the experimental site during cropping seasons (2018-19 and 2019-20 years)

Parameter	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June
Rainfall (mm)	46.6	54.4	61.1	75.2	73.0	53.1	0.8
Min. temperature (°c)	9.0	11.6	12.2	14.0	16.5	17.7	21.1
Max. temperature (°c)	12.8	14.3	15.4	17.1	18.4	20.6	22.3
Min. relative humidity (%)	54.1	56.2	48.4	57.7	63.0	51.4	44.8
Max. relative Humidity (%)	86.6	78.7	74.0	83.3	89.2	88.7	75.5
Sunny hours	107.2	111.0	123.3	151.3	185.0	207.2	265.7
Daily evaporation (mm)	7.2	8.8	10.9	12.7	13.0	12.3	11.0

Source: Roudbar Meteorological Station.

## نتایج و بحث

با توجه به معنی‌داری آزمون  $F_{max}$  برای صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، میزان پروتئین دانه و جرم مخصوص ظاهری خاک، نتایج تجزیه واریانس ساده این صفات به صورت جداگانه برای هر سال انجام و در جدول ۳ ارائه شد، اما برای صفات عملکرد زیستی، عملکرد دانه، کارایی محصول دهی، کارایی مصرف تابش و تخلخل خاک، با توجه به معنی‌دار نشدن  $F_{max}$ ، تجزیه واریانس مرکب دو ساله انجام و نتایج در جدول ۴ ارائه شد.

## ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب برای سال اول و سال دوم با میانگین ۶۱/۹ و ۶۶/۳ سانتی‌متر در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۵۹/۹ و ۵۵/۲ سانتی‌متر در روش کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (شکل ۱). نیتروژن می‌تواند با تأثیر بر تقسیم سلولی و همچنین کمک به



اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر کارایی تابش و عملکرد گندم جذب سایر عناصر توسط گیاه، باعث افزایش رشد رویشی در گندم شود و به این ترتیب افزایش نیتروژن می‌تواند ارتفاع ساقه گندم را افزایش دهد (Asadi *et al.*, 2013). گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن باعث رشد و توسعه مناسب و متوازن بخش‌های مختلف گیاه گندم می‌شود و با افزایش ارتفاع و تولید سطح برگ بیشتر، مقدار کربوهیدرات‌های فتوسنتزی افزایش می‌یابد و در نتیجه رشد رویشی و زایشی گیاه بیش‌تر شده و به دنبال آن، عملکرد بیش‌تری تولید می‌شود (Shekoofa and Emam, 2008).

### وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه به ترتیب برای سال اول و سال دوم با میانگین ۴۱ و ۴۰ گرم در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۳۸ گرم در روش کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (شکل ۱). گزارش شده است که نیتروژن از طریق افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد گندم می‌شود. به‌طور کلی، اجزای عملکرد در گندم تحت تأثیر مستقیم مصرف نیتروژن قرار می‌گیرند (Hatfield and Prueger, 2004). اثر کود نیتروژن بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و با افزایش مصرف کود نیتروژن، بر وزن هزار دانه افزوده شد. نتایج یک آزمایش نشان داده است که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن از صفر به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار، وزن هزار دانه گندم به میزان ۲۳/۳ درصد افزایش یافت (Sepidedam and Ramroudi, 2016).

### پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه به ترتیب برای سال اول و سال دوم با میانگین ۱۱/۳ و ۱۱/۸ درصد در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن به ترتیب با میانگین ۱۱ و ۱۰/۳ درصد در روش کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد (شکل ۱). در آزمایش اثر سامانه‌های خاک‌ورزی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه گندم رقم کویر نیز گزارش شده است که افزایش کود نیتروژن از

تحقیقات غلات/ دوره دوازدهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۴۰۱  
سطح صفر به ۲۲۰ کیلوگرم، باعث افزایش ۱۸ درصدی میزان پروتئین دانه گندم نسبت به تیمار شاهد شد (Sepidedam and Ramroudi, 2016). در آزمایش دیگری واکنش رشد و کارایی جذب و مصرف نیتروژن در گندم و خردل وحشی به افزایش مصرف نیتروژن (Moradi Telavat and Siadat, 2013) مطالعه و گزارش شد که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان پروتئین دانه افزایش پیدا کرد. در آزمایش صادقی و کاظمینی (Sadeghi and Kazemeini, 2011) نیز که اثر مدیریت بقایای گیاهی و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد جو انجام شد، گزارش شد که با افزایش مصرف نیتروژن، میزان پروتئین دانه جو افزایش یافت.

### عملکرد زیستی

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد زیستی با میانگین ۱۱۲۶۵ و ۱۱۳۴۹ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در روش کاشت جوی و پشته و مصرف کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۱۰۸۲۵ و ۱۰۴۸۸ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در روش کاشت مسطح و عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (شکل ۲). در بررسی اثرات مقادیر مصرف کود نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر ویژگی‌های زراعی و عملکرد دانه ارقام گندم نیز گزارش شد که بیش‌ترین عملکرد زیستی از مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد که دلیل آن را افزایش تعداد برگ‌ها، تعداد پنجه‌ها و ارتفاع بوته عنوان کردند (Hosseinpour *et al.*, 2018). در آزمایش دیگری تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد گندم مطالعه و گزارش شد که سامانه‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی گندم داشتند و خاک‌ورزی کاهش‌یافته با ۱۴۷۲۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد زیستی را تولید کرد که نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ۲۹/۳ درصد بیش‌تر بود (Bannayan Aval *et al.*, 2020).

### عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۴۷۰۴ و ۴۹۰۸ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۴۲۳۹ و ۳۷۶۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در روش

مسطح، هشت درصد افزایش عملکرد و ۲۵ درصد کاهش هزینه عملیاتی داشته است (Sayre, 1998). فاهونگ و همکاران (Fahong *et al.*, 2004) در آزمایشی در چین عملکرد گندم در دو روش کاشت روی پشته (عرض ۷۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۲۲ سانتی‌متر) و کاشت مسطح مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاشت روی پشته، ۲۰ درصد افزایش عملکرد داشت. بکر و همکاران (Bakker *et al.*, 2005) مشاهده کردند که در روش کاشت جوی و پشته‌ای، وزن مخصوص خاک، نفوذپذیری و ساختمان خاک بهبود یافته و عملکرد دانه گندم ۱۸ درصد نسبت به کاشت مسطح بیش تر بود.

کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (شکل ۲). به نظر می‌رسد که مصرف مقادیر بیش‌تر کود نیتروژن از طریق بهبود ویژگی‌هایی نظیر شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد گیاه، باعث افزایش میزان تجمع ماده خشک کل و همچنین تخصیص مواد فتوسنتزی بیش‌تر به اندام‌های ذخیره‌ای گیاه شده و این موضوع باعث بهبود ویژگی‌هایی نظیر تعداد دانه در سنبله شد که در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه در گندم شد. گزارش شده است که در منطقه یاکویی والی مکزیک، کشت گندم روی پشته‌های عریض نسبت به کاشت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ساده اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، پروتئین دانه و جرم مخصوص ظاهری خاک تحت شرایط دیم

Table 3. The results of simple analysis of variance of the effect of planting method and nitrogen fertilizer on plant height, 1000-grain weight, protein content and soil bulk density under rainfed conditions

Source of variation	df	Mean square							
		First year (2018-19)				Second year (2019-20)			
		PH	GP	GPC	SBD	PH	GP	GPC	SBD
Replication	2	20.22**	7.93**	0.22**	0.0005**	15.70**	3.51**	0.15**	0.02**
Planting method (P)	1	27.99**	85.12**	0.15*	0.10**	24.60**	53.70**	0.48**	0.03**
Nitrogen Fertilizer (N)	3	142.80**	11.25**	2.65**	0.01**	163.10**	7.60**	2.71**	0.01**
P × N	3	3.21**	1.21*	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	0.177*	0.005 <sup>ns</sup>	0.03*
Error	14	0.093	0.36	0.01	0.02	0.38	0.05	0.002	0.04
CV (%)	-	0.51	1.56	1.02	0.45	1.01	0.60	0.45	0.17

<sup>ns</sup>, \* and \*\* Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

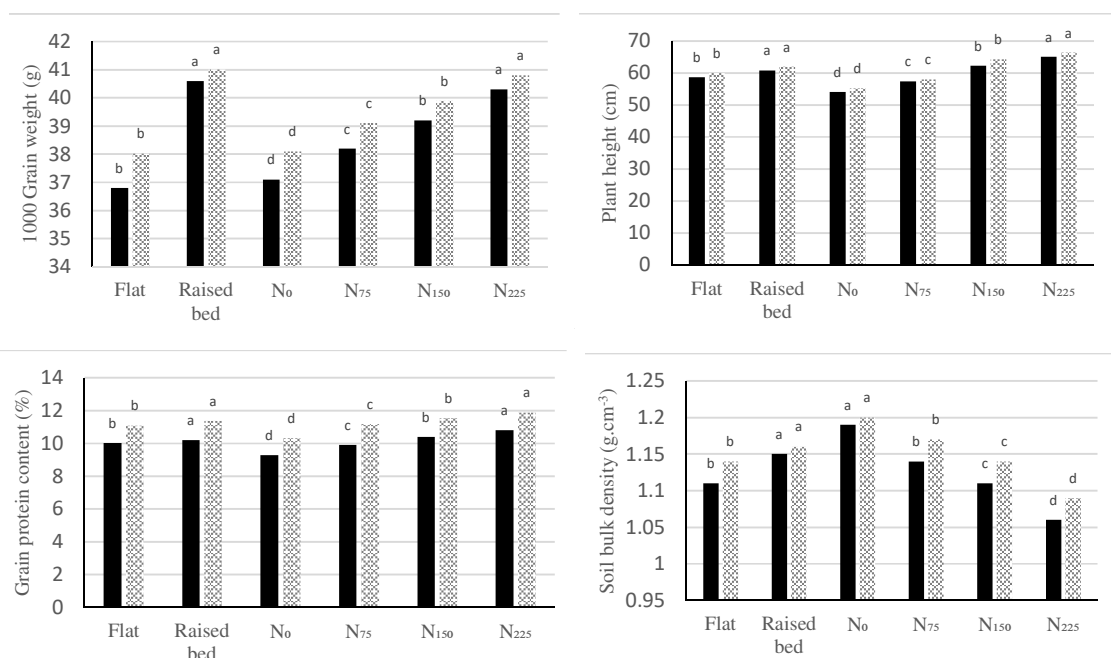
The traits abbreviation are including: PH, plant height; GW, 1000-grain weight; GPC, grain protein content; SBD, soil bulk density.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر صفات مورد مطالعه در گندم تحت شرایط دیم

Table 4. Composite analysis of variance for the effect of planting method and nitrogen fertilizer on the studied traits of wheat under rainfed conditions

Sources variation	df	Mean square				
		Biological yield	Grain yield	Energy use efficiency	Radiation use efficiency	Soil porosity
Year (Y)	1	156408.33**	433200.00**	58.49**	0.47**	4.25**
Replication / Y	4	125004.16	204241.66	68.69	0.05	0.58
Planting method (P)	1	2323200.00**	2594700.00**	6616.89**	0.23**	16.0**
Nitrogen fertilizer (N)	3	1766294.44**	3013227.77**	3.70*	0.19**	3.72**
P × N	3	82016.66**	83394.44**	183.67**	0.01 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>
P × Y	1	126075.00**	33.33 <sup>ns</sup>	0.04**	0.02 <sup>ns</sup>	0.84**
N × Y	3	79780.55**	1227.77 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.48**
P × N × Y	3	28280.55*	283.33 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>
Error	28	5520.83	3134.52	0.50	0.06	0.02
CV (%)	-	0.67	1.25	0.80	1.31	0.28

<sup>ns</sup>, \* and \*\* Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات گیاهی گندم و وزن مخصوص خاک در تیمارهای روش کاشت و کود نیتروژن (سال اول ■ سال دوم □)  
 Figure 1. Mean comparison of wheat plant traits and soil bulk density in planting method and nitrogen fertilizer treatments (first year ■ second year □)

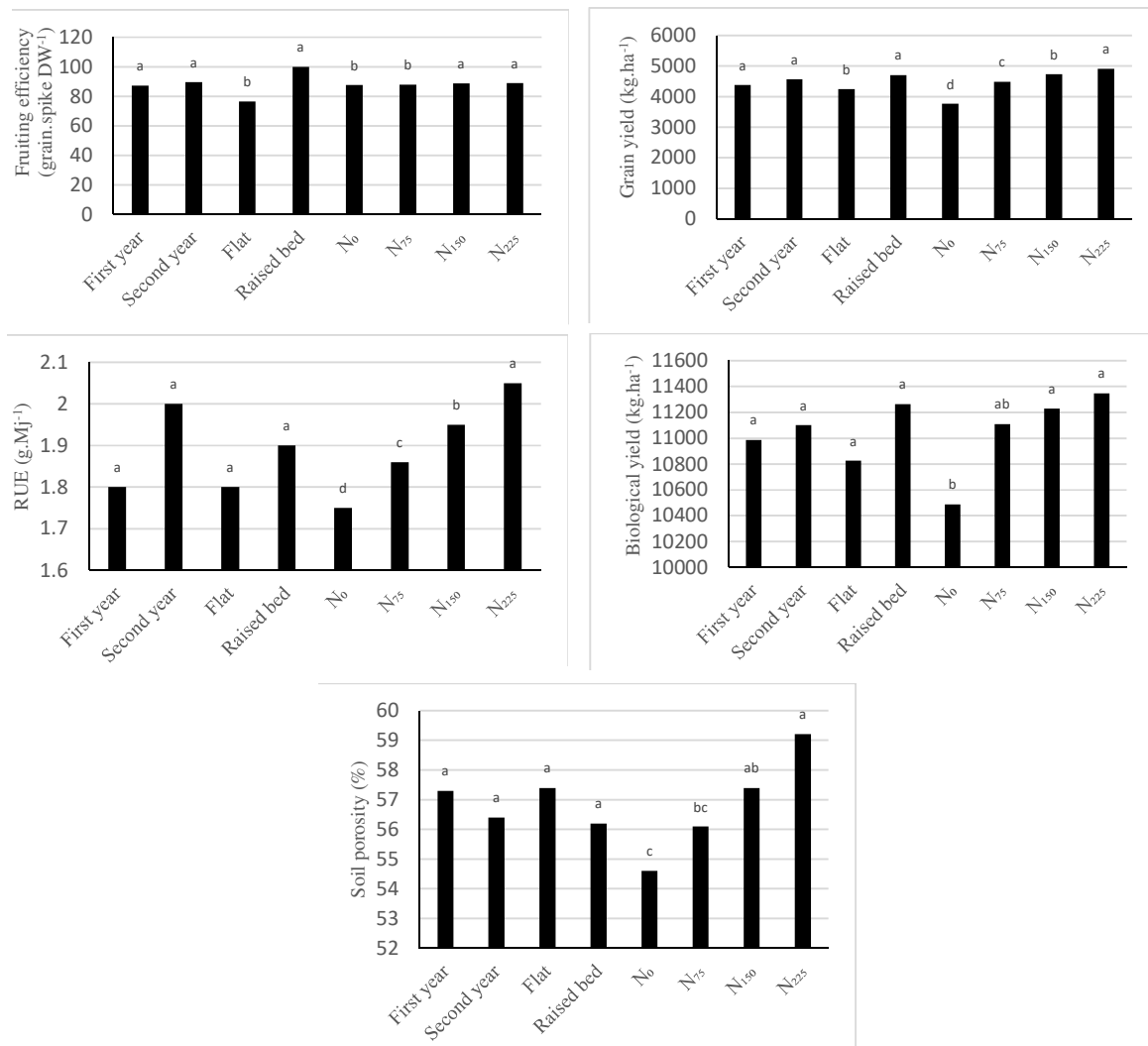
و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شود ( Villamil and Nafziger, 2015).

### تخلخل خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان تخلخل خاک به‌ترتیب برای سال اول و دوم با میانگین ۵۷/۴ و ۵۹/۲ درصد در روش کاشت مسطح و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۵۶/۲ و ۵۴/۶ درصد در روش کاشت جوی و پشته و در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۲). در آزمایش بررسی تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد دانه گندم و ویژگی‌های فیزیکی خاک در تناوب آیش- گندم در شرایط دیم گزارش شد که اثر سامانه‌های خاک‌ورزی بر تخلخل خاک معنی‌دار بود (Koocheki et al., 2020). استفاده از روش‌های خاک‌ورزی سبب تغییر در ساختمان خاک از طریق خرد کردن خاکدانه‌ها، تغییر در ساختار و یا اندازه خلل و فرج و نظم و ترتیب ذرات خاک می‌شود و همه این تغییرات به دنبال خود، سبب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی خاک خواهد شد.

### جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین جرم مخصوص ظاهری خاک به‌ترتیب برای سال اول و دوم با میانگین ۱/۱۶ و ۱/۲۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن با میانگین ۱/۱۴ و ۱/۰۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب در روش کاشت مسطح و در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۱). ویلامیل و همکاران (Villamil et al., 2015) اثر خاک‌ورزی و سطوح مختلف نیتروژن بر ویژگی‌های خاک در تک‌کشتی ذرت را مورد بررسی قرار دادند و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را در شرایط بدون خاک‌ورزی گزارش کردند. در بررسی اثر شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن روی برخی از ویژگی‌های خاک در تناوب زراعی ذرت- کلزا- ذرت گزارش شد که جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح نیتروژن ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کاهش معنی‌داری نسبت به سطوح پایین‌تر داشت (Moinoddini et al., 2022). افزایش سطح نیتروژن به‌دلیل افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و نیز افزایش رشد ریشه و بهبود شرایط فضای اطراف ریشه، می‌تواند سبب کاهش فشردگی خاک



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر صفات گندم و تخلخل خاک تحت شرایط دیم  
 Figure 2. Mean comparison of the effect of planting method and nitrogen fertilizer on wheat traits and soil porosity under rainfed conditions

کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با میانگین ۷۶ و ۸۷ دانه بر وزن خشک سنبله به ترتیب در روش کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد که تفاوت معنی داری با یکدیگر داشتند (شکل ۲). در آزمایش کارایی محصول دهی در ارقام گندم ایران، گزارش شد که با گذشت زمان، تغییرات ژنتیکی در صفات زراعی ایجاد شده و از نظر کارایی محصول دهی اختلاف معنی داری در بین ارقام مورد بررسی گندم ایرانی وجود داشت، به طوری که محدوده کارایی محصول دهی در ارقام گندم ایرانی بین ۳۰/۹ تا ۱۰۵/۶ دانه بر وزن خشک سنبله گزارش شد (Joudi *et al.*, 2016).

### کارایی محصول دهی

کارایی محصول دهی (Fruiting Efficiency)، تعداد دانه در واحد وزن خشک سنبله در مرحله گرده افشانی، یک شاخص مناسب برای بررسی افزایش تعداد دانه در سنبله است. این شاخص نشان دهنده کارایی استفاده از مواد فتوسنتزی است که بین سنبله‌ها، برای تولید تعداد مشخصی دانه، تقسیم می‌شود (Slafer *et al.*, 2015). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مورد مطالعه در این آزمایش نشان داد که بیشترین کارایی محصول دهی با میانگین ۱۰۰ و ۸۸ دانه بر وزن خشک سنبله به ترتیب در روش کاشت جوی و پشته و در سطح کود نیتروژن ۲۲۵

**کارایی مصرف تابش**

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین کارایی مصرف تابش به میزان ۱/۹۷ و ۲/۰۵ گرم بر مگاژول) به ترتیب در روش کاشت جوی و پشته و میزان کود نیتروژن ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن (۱/۸۳ و ۱/۷۵ گرم بر مگاژول) در روش کاشت مسطح و در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن به دست آمد (شکل ۲). در آزمایشی گزارش شد که نیتروژن به شدت کارایی مصرف تابش را تحت تأثیر قرارداد، به طوری که با افزایش کود نیتروژن از ۱۰۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف تابش از ۱/۷۲ به ۱/۹۵ گرم بر مگاژول افزایش یافت (Bozorgi Hossein Abad *et al.*, 2017). گیاهان در مقادیر بیش تر کود نیتروژن، سرعت گسترش سطح برگ بیشتری دارند و در نتیجه شاخص سطح برگ و جذب تابش توسط پوشش گیاهی افزایش می یابد و این موارد سبب افزایش کارایی مصرف تابش و تولید ماده خشک می شود و در نهایت عملکرد دانه افزایش می یابد.

**انرژی ورودی و خروجی**

نتایج مقایسه میانگینها نشان داد که حداکثر انرژی ورودی مربوط به سامانه خاکورزی مسطح (۱۳۶۰۶/۸ مگاژول در هکتار) بود. همچنین بیشترین انرژی مصرفی گندم در هر دو سامانه خاکورزی مسطح و جوی و

پشته به ترتیب مربوط به کود نیتروژن (۷۰۶۷/۵ و ۶۸۱۷/۵ مگاژول در هکتار) و بعد از آن به سوخت (۲۵۹۶/۶۶ و ۱۵۹۲/۸۳ مگاژول در هکتار) تعلق داشت (جدول ۵). در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که از بین دو روش کاشت، سامانه کاشت خاکورزی مسطح بیشترین مصرف انرژی را دارا بود. علت آن را می توان به افزایش ساعات کارکرد تراکتور در این روش خاکورزی و نیز به دلیل نیاز به تعداد کارگر بیشتر جهت انجام عملیات کاشت گندم که به صورت دستی انجام شد، نسبت داد. همچنین نتایج نشان داد که از انرژی ورودی کل در هر دو سامانه کاشت، کود نیتروژن و سوخت بالاترین مصرف انرژی را داشتند (جدول ۵). در آزمایش بررسی جریان انرژی در مزارع گندم دیم و آبی شهرستان شهرکرد تحت دو روش خاکورزی گزارش شد که از لحاظ مجموع انرژی مصرفی جهت تولید گندم، کمترین مقدار به مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی با گاوآهن قلمی (۱۲۸۶۰ مگاژول در هکتار) و بیشترین مقدار به مدیریت کشت دیم همراه با خاکورزی با گاوآهن برگردان دار (۱۹۲۵۹ مگاژول در هکتار) تعلق داشت. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در مزارع کشت دیم بدون خاکورزی، به ترتیب به کود نیتروژن (۵۴/۱ درصد)، بذر (۱۸/۸ درصد) و سوخت (۸/۶ درصد) اختصاص یافت (Kazemi *et al.*, 2016).

جدول ۵- اثر روش کاشت و کود نیتروژن بر مقادیر انرژی ورودی و خروجی مزرعه گندم در شرایط دیم (برحسب مگاژول در هکتار)

Table 5. Input and output energy values of wheat field in planting method and nitrogen fertilizer treatments

Variable	Energy (MJ.ha <sup>-1</sup> )	
	Flat bed	Raised bed
<b>Input energy</b>		
Human labor	260.92	24.01
Machinery	592.20	240.17
Fuel	2596.66	1592.83
Nitrogen	7067.5	6817.5
Phosphate	930.55	860.25
Potassium	274.97	262.41
Seed	1884.0	1884.0
Total input energy	13606.8	11681.17
<b>Output energy</b>		
Grain yield	62315.8	69151.3
Straw	100131.0	100326.0
Total output energy	162446.8	169477.3

نیروی انسانی سبب کاهش انرژی مصرفی کل در تولید گندم شد. بنابراین جهت کاهش مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر در منطقه مورد نظر، کاهش مصرف کودهای شیمیایی از جمله نیتروژن از طریق مدیریت بهینه کود،

به طور کلی، از نظر جریان انرژی، بهترین سامانه خاکورزی در آزمایش حاضر مربوط به روش کاشت جوی و پشته بود. نتایج نشان داد که خاکورزی جوی و پشته با کاهش انرژی مصرفی، نهادهای سوخت، ماشین آلات و

افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش تخلخل خاک شود. بر این اساس، روش کاشت جوی و پشته همراه با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن برای زراعت گندم رقم کوهدشت در منطقه مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شد.

### تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

### رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

### اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

استفاده بهینه از ادوات و ماشین‌آلات و نیز مدیریت صحیح در انتخاب نوع خاک‌ورزی توصیه می‌شود. کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2016) نیز نشان دادند که بیش‌ترین انرژی مصرفی در تمامی مدیریت‌ها مربوط به کود نیتروژن بود که این عمل علاوه بر کاهش کارایی انرژی مصرفی، باعث آلودگی منابع آبی و خاکی می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش میزان کاربرد کود نیتروژن از صفر به ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، شاخص سطح برگ و میزان جذب تابش بهبود یافت. نتایج حاصل نشان داد که اثر کاربرد کود نیتروژن بر تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود. افزایش مصرف کود نیتروژن از طریق توسعه سریع پوشش گیاهی با دستیابی سریع به حداکثر شاخص سطح برگ، باعث جذب حداکثر تابش شده و در نهایت باعث افزایش کارایی مصرف تابش و عملکرد دانه گندم شد.

همچنین، نتایج این آزمایش نشان داد که آماده‌سازی بستر بذر به روش جوی و پشته به‌دلیل به حداقل رساندن تردد ماشین‌آلات روی زمین با کاهش عملیات آماده‌سازی زمین، باعث کاهش ساعت و انرژی مورد نیاز کار ماشین‌آلات در مزرعه نسبت به روش کاشت مسطح شد. بر اساس نتایج این آزمایش، روش خاک‌ورزی جوی و پشته به‌همراه مصرف صحیح کود نیتروژن می‌تواند سبب

### References

- Acreche, M.M., Briceno-Felix, G., Martin Sanchez, J.A. and Slafer, G.A. 2008. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*, 28, pp. 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.001>.
- Ali, M., Ali, L., Waqar, M. Q. and Ali, M. A. 2012. Bed planting: A new crop establishment method for wheat (*Triticum aestivum* L.) in cotton-wheat cropping system of southern Punjab. *International Journal of Agriculture and Applied Science*, 4(1), pp. 8-14.
- Asadi, S., Aynehband, A. and Rahnama Ghahfarokhi, A. 2013. Wheat yield response to the competition stress and different levels of nitrogen. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(2), pp. 365-376. [In Persian]. <http://doi.org/10.22067/GSC.V11I2.26152>.
- Bakker, D.M., Hanilton, G.J., Joulbrooke, D.J. and Spamn, C. 2005. The effect of raised beds on soil structure, water lodging, and productivity on duplex soils in western Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 43, pp. 575-585. <https://doi.org/10.1071/SR03118>.
- Bannayan Aval, M., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Yaghoubi, F., Rashidi, Z. and Valaie, N. 2020. Effect of tillage systems and residue management on soil water conservation, yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(1), pp. 71-83. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i1.78442>.
- Bozorgi Hossein Abad, A., Mondani, F., Saeedi, M., Heidari, H. and Bagheri, A. 2017. Study of radiation absorption and use efficiency of wheat cultivars (*Triticuma estivum* L.) under nitrogen

- fertilizer effect. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(37), pp. 202-216. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1398.11.37.19.1>.
- Fahong, W., Xuqin, W. and Sayre, K. 2004.** Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research*, 87, pp. 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.003>.
- FAO. 2020.** FAOSTAT. <http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=IRN>.
- Ferrante, A., Savin, R. and Slafer, G.A. 2015 .** Relationship between fruiting efficiency and grain weight in durum wheat. *Field Crops Research*, 177, pp. 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.009>.
- Guo, S., Jiang, R., Qu, H., Wang, Y., Misselbrook, T., Gunina, A. and Kuzyakov Y. 2019.** Fate and transport of urea-N in a rain-fed ridge-furrow crop system with plastic mulch. *Soil Tillage Research*, 186, pp. 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.022>.
- Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. 2004.** Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. Proceedings of the 4<sup>th</sup> international Crop Science Congress, Sep. 26- Oct. 1, Brisbane, Australia.
- Heidarpour N., Ghasemi Mobtaker, H. and Toushah, V. 2016.** Effects of different tillage methods on dryland wheat yield and soil physical properties in wheat – fallow rotation in Kurdistan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(4), pp. 61-77. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23221267.1394.5.4.4.1>.
- Hosseinpour, T., Rahmati1, M., Ahmadi, A. and Doolatshah, J. 2018.** Effects of different nitrogen application rates and supplemental irrigation on agronomic characteristics and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 7(1), pp. 15-31. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/IDAJ.2018.116230.187>.
- Iran Agricultural Statistics. 2020.** Iran Agricultural Statistics. Vol. 1. Crop Products. Ministry of Agriculture Jihad. Tehran. Iran. [In Persian].
- Joudi, M., Shiri, M. and Kamrani, M. 2016.** Fruiting efficiency in Iranian wheat cultivars: Genetic changes over time and associations with agronomic traits. *Journal of Agronomy*, 15(1), pp. 19-25. <https://doi.org/10.3923/ja.2016.19.25>.
- Kazemi, H., Alizadeh, P. and Nehbandani, A. 2016.** Assessing energy flow in rainfed and irrigated wheat fields of Shahrekourd township under two tillage systems. *Journal of Agroecology*, 8(2), pp. 281-295. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v8i2.48219>.
- Khan, M.S., Zaidi, A. and Wani, P.A. 2007.** Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, pp. 29-43. <https://doi.org/10.1051/agro:2006011>.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Azimzadeh, S.J., 2020.** Effect of different tillage systems on wheat yield and some soil physical characteristics in a fallow-wheat rotation under rainfed condition. *Journal of Agroecology*, 12(2), pp. 299-317. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.52175>.
- Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A. and Lombi, E. 2019.** Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.
- Lesk, C., Rowhani, P. and Ramankutty, N. 2019.** Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, pp. 84-87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>.
- Moinoddini, S.S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Borzouei, A. 2022.** The effects of Tillage and N application rate on soil quality in corn-canola-corn rotation. *Journal of Agroecology*, 13(4), pp. 619-630. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.45219>.
- Moradi Telavat, M.R., Siadat, A. 2013.** Growth and nitrogen use efficiency response of wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) to increased nitrogen levels. *Journal of Crops Improvement*, 13(2), pp. 111-124. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.36103>.
- Mousavi Boogar, A.A., Jahansouz, M., Mehrvar, M., Hossinpur, R. and Madadi, R. 2012.** Study the soil physical properties and some wheat cultivars grain yield under different tillage systems. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8 (2), 11-20.
- Rajabi, M.H., Zeinali, A. and Soltani, E. 2012.** Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production*, 19(3), pp. 143-171. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9>.
- Rossi, A.R., Ungaro, A., De Innocentiis, S., Crosetti, D. and Sola, L., 2004.** Phylogenetic analysis of Mediterranean Mugilids by allozymes and 16S rRNA genes investigation: Are the

- Mediterranean species of *Liza* monophyletic? *Biochemical Genetics*, 42, pp. 301-313. <https://doi.org/10.1023/b:bigi.0000039806.12756.81>.
- Roustai, M., Hossaini, K., Hossainpour, T., Katata, M., Hassanpour-Hossni, M., Amiri, A., Khalilzadeh, Gh., Mohammadi, M., Naraki, F., Mahfoosi, B., Torabi, M., Banisadr, N., Mokhtarpour, H. and Vahabzadeh, M. 2001.** Introduction of a new bread wheat cultivar, Kohdasht. *Seed and Plant Journal*, 17(2), pp. 230-233. [In Persian].
- Sadeghi, H. and Kazemeini, A.R. 2011.** Effect of crop residue management and nitrogen fertilizer on grain yield and yield components of two barley cultivars under dry land conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(3), pp. 436-451. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1390.13.3.1.9>.
- Sanchez, V., Serrano A., Suarez M., Hernanz J.L. and Navarrete L. 2007.** Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research*, 78, pp. 120-180. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.12.007>.
- Sayre, K.D. 1998.** Ensuring the Use of Sustainable Crop Management Strategies by Small Wheat Farmers in the 21<sup>st</sup> Century. Wheat Special Report, No. 48. Mexico.
- Sepidedam, S., Ramroudi, M. 2016.** Effects of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and seed protein of wheat. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 2(2), pp. 33-46. [In Persian]. URL: <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-162-fa.html>.
- Shekoofa, A., and Emam, Y. 2008.** Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10, pp. 101-108. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2008.10.2.6.0>.
- Sharefee, Z., Eslami, S.V., Jami AL-Ahmadi, M. and Mahmoodi, S. 2018.** Effect of different tillage methods and cover crop types on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), pp. 217-228. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.62248>.
- Slafer, G.A., Elia, M., Savin, R., Garcia, A. and Terrile, I. 2015.** Fruiting efficiency: An alternative trait to further rise whea yield. *Food and Energy Security*, 4, pp. 92-109. <https://doi.org/10.1002/fes3.59>.
- Sun, Y., Mi, W., Su, L., Shan, Y. and Wu, L. 2019.** Controlled-release fertilizer enhances rice grain yield and N recovery efficiency in continuous non- flooding plastic film mulching cultivation system. *Field Crops Research*, 231, pp. 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.013>.
- Terrile, I.I., Miralles, J.D. and Gonzalez, F.G. 2017.** Fruiting efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.): Trait response to different growing conditions and its relation to spike dry weight at anthesis and grain weight at harvest. *Field Crops Research*, 200, pp. 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.026>.
- Tsubo, M., Walker, S. and Ogindo, H.O. 2005.** A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions. II. Model application. *Field Crops Research*, 93, pp. 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.002>.
- Villamil, M.B., Little, J. and Nafziger, D.E. 2015.** Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties. *Soil and Tillage Research*, 151, pp. 61-66. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2015.03.005>.
- Wang, F., He, Z., Sayre, K., Li, S., Si, J., Feng, B., & Kong, L. A. 2009.** Wheat cropping systems and technologies in China. *Field Crops Research*, 111, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.12.004>.
- Yadi, E., Barari Tari, D. and Mahmoudi, M. 2021.** Investigating the amount of energy consumption and the relationship between input and output energy in wheat production. *Journal of Plant Production Science*, 11(2), pp. 59-74. [In Persian]. <https://doi.org/10.2/jpps.2022.691243>.