Plant Prod., 2023, 46(2), 263-277
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.42802.2074
Received: 18 January 2023
Accepted: 7 July 2023

Plant Productions
Research Article

Investigating the spatial variations of water use efficiency, and fertilizer sources for irrigated and rainfed wheat systems in different regions of Iran

Mostafa Torkaman[1], Soroor Khorramdel[2]*, Parviz Rezvani Moghaddam[3], Mehdi Nassiri Mahallati[3]

1. PhD student in Agroecolology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Citation: Torkaman, M., Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Nassiri Mahallati, M. (2023). Investigating the spatial variations of water use efficiency, and fertilizer sources for irrigated and rainfed wheat systems in different regions of Iran. *Plant Productions*, 46(2), 263-277.

Abstract

Introduction

Chemical fertilizers have played a significant role in increasing the yield of agricultural products, especially since the 1950s, but the excessive application of these fertilizers in recent years has led to environmental pollution and a drop in agricultural productivity, food security, ecosystem and human health, and economic prosperity. Researchers believed that the best and most accessible approach to solve these problems is the improvement of the efficiency indicators of inputs. So, the purpose of the study was to evaluate the use efficiency indicators for nitrogen and phosphorus and water in wheat-irrigated and dryland systems of Iran.

Materials and Methods

In this research, provinces with more than 80% production in irrigated and rainfed systems of Iran were determined and, in each province, cities with more than 80% production of this crop were selected. The required data were collected by using face-to-face interviews and recorded statistics. Afterward, the consumption productivity of inputs was determined, and then the Pearson correlation coefficient between the productivity of different sources was computed. Also, multiple regression was used to determine the relationship between yield with climatic variables and fertilizers and water. For this purpose, the two-year average for total precipitation for irrigated and rainfed systems in each region were extracted.

Results and Discussion

The results revealed that in the main areas of wheat production, the average productivity of nitrogen consumption for irrigated was calculated as 16.69 kg of grains per kg of nitrogen compared to 17.27 kg of grains per kg of nitrogen for rainfed conditions. Contrary to nitrogen, the efficiency of phosphorus consumption in rainfed agriculture was lower than in the irrigated wheat system. Also, the highest correlation between nitrogen and phosphorus productivity for the irrigated system was computed with r=0.506 and the coefficient between nitrogen and water productivity was calculated with r=0.309 for rainfed conditions. The results for regression analysis between yield and climatic and agronomic parameters showed that increases in

* **Corresponding Author:** Soroor Khorramdel
E-mail: khorramdel@um.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

temperature had a positive effect on grain yield in rainfed conditions. On the other hand, increasing in other parameters such as precipitation, nitrogen, phosphorus, and irrigation in the irrigated and rainfed systems had a direct relationship with grain yield.

Conclusion

Excess use of nitrogen fertilizers in irrigated wheat systems led to lower nitrogen use efficiency. Although, the grain yield in irrigated conditions was higher than in dryland conditions, due to the sensitivity of using nitrogen by farmers and the adverse effects of excessive use in rainfed wheat, the consumption of nitrogen has been used with more precision and sensitivity. This ultimately led to an increase in the efficiency of nitrogen consumption in rainfed compared to irrigated systems. Unlike nitrogen, the phosphorus use efficiency was lower in rainfed compared to the irrigated system due to the direct effect of soil moisture on the release of phosphorus in the soil. According to these results, nitrogen and water were the most important factors affecting the yield in irrigated and rainfed systems. Also, the regression analysis of the relationship between wheat yield and climatic and agronomic parameters showed that in irrigated systems, nitrogen and irrigation and in rainfed conditions, nitrogen and precipitation had the most impact on grain yield.

Keywords: Nitrogen, Phosphorus, Precipitation, Productivity, Temperature

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۲، ۴۶(۲)، ۲۷۷-۲۶۳
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.42802.2074
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

بررسی تنوع مکانی بهره‌وری مصرف آب و منابع کودی در نظام‌های گندم آبی و دیم در مناطق مختلف ایران

مصطفی ترکمان[۱]، سرور خرم‌دل[۲]*، پرویز رضوانی مقدم[۳]، مهدی نصیری محلاتی[۳]

۱. دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲. دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳. استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و آب در نظام‌های تولید گندم آبی و دیم در کشور به اجرا درآمد. در این پژوهش، استان‌های با بیش از هشتاد درصد تولید گندم آبی و دیم در کشور، تعیین و در هر استان، شهرستان‌های دارای بیش از ۸۰ درصد تولید، انتخاب شدند. با استفاده از آمار، اطلاعات و مصاحبه‌های حضوری، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری و بهره‌وری مصرف نهاده‌ها تعیین و سپس ضریب همبستگی پیرسون بین بهره‌وری منابع مختلف محاسبه شد. جهت تعیین رابطه بین عملکرد با متغیرهای اقلیمی و منابع کودی و آب از رگرسیون چندگانه استفاده شد. برای این منظور، میانگین مجموع بارندگی و دما برای طول دوره رشد گندم آبی و دیم در هر منطقه استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش، نشان داد که در مناطق اصلی تولید، میانگین بهره‌وری مصرف نیتروژن در گندم آبی معادل ۱۶/۶۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن محاسبه شد که نسبت به گندم دیم با میانگین بهره‌وری مصرف نیتروژن ۱۷/۲۷ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن پایین‌تر بود. برخلاف نیتروژن، میزان بهره‌وری مصرف فسفر در زراعت دیم پایین‌تر از زراعت آبی بود. نتایج حاصل از این پژوهش، بالاترین همبستگی را در گندم آبی بین بهره‌وری نیتروژن و فسفر با r=۰/۵۰۶ و در زراعت دیم بین بهره‌وری نیتروژن و آب با r=۰/۳۰۹ نشان داد. بررسی رگرسیون ارتباط بین عملکرد گندم با پارامترهای اقلیمی و زراعی نیز نشان داد که بین متغیرهای مورد بررسی تنها افزایش بیشتر دما با عملکرد دانه گندم دیم ارتباط مثبت داشت و افزایش سایر پارامترها از قبیل بارندگی، نیتروژن، فسفر و آبیاری در زراعت گندم دیم و آبی با عملکرد دانه ارتباط مستقیم داشت. مصرف بیشتر کودهای نیتروژن در زراعت آبی منجر به کاهش بهره‌وری نیتروژن شد. با وجود بالاتر بودن عملکرد گندم آبی در مقایسه با دیم، با توجه به حساسیت مصرف کودهای نیتروژن و اثر نامطلوب استفاده بی‌رویه این کودها در زراعت دیم، مصرف نیتروژن با دقت و حساسیت بیشتری صورت گرفته که نهایتاً منجر به افزایش بهره‌وری مصرف نیتروژن نسبت به زراعت آبی شد. برخلاف نیتروژن، بهره‌وری مصرف فسفر به دلیل تأثیر مستقیم محتوی رطوبت خاک در انتشار فسفر در خاک در زراعت دیم پایین‌تر از زراعت آبی بود. براساس این پژوهش، دو منبع نیتروژن و آب مهمترین عوامل موثر بر عملکرد گندم آبی و دیم بودند.

کلیدواژه‌ها: بارندگی، بهره‌وری، دما، فسفر، نیتروژن

مقدمه

* **نویسنده مسئول:** سرور خرم‌دل
رایانامه: khorramdel@um.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

فائو در سال ۲۰۲۰ میلادی اعلام کرد که نیمی از ساکنان کشورهای درحال توسعه از فقر یا سوءتغذیه رنج می‌برند. بر اساس این گزارش، تولید غذا برحسب کالری در سال ۲۰۲۰ در این مناطق به ازای هر فرد ۲۸۰۳ کالری بوده که اگر در سال ۲۰۳۰ این میزان به ۳۰۵۰ کالری به ازای هر نفر افزایش یابد، تنها جبران‌کننده پنجاه درصد از کمبود مواد غذایی خواهد بود (FAO, 2020). در دهه ۶۰ میلادی انقلاب سبز منجر به افزایش عملکرد شد (Rasmussen, 2018). Spiertz (2009) گزارش داد که کودهای شیمیایی نقش بسزایی در افزایش عملکرد بویژه از دهه ۱۹۵۰ میلادی داشته‌اند. هم‌اکنون نیز ضریب همبستگی مصرف کودهای شیمیایی و تولید محصولات کشاورزی در جهان برابر ۰/۹ می‌باشد (Sharma and Singhvi, 2017). اما کاربرد بیش از حد این کودها، منجر به بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی (Trifonov et al., 2018) و افت بهره‌وری، امنیت غذایی، سلامت بوم‌نظام و رفاه اقتصادی گردیده است (Zhang et al., 2015). بر این اساس، محققان قابل دسترس‌ترین راه‌کار برای رفع این مشکلات را بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها معرفی نموده‌اند (Badvan and Alavi Fazel, 2021; Mastalizadeh et al., 2020). نتایج نشان می‌دهد که کارایی مصرف عناصر و آب می‌تواند علاوه بر بهبود عملکرد، منجر به مصرف حداقل منابع و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی گردد (Karmo Silva et al., 2015). در این راستا، درک رابطه بین کارایی مصرف منابع می‌تواند به تعیین معیارهایی برای افزایش عملکرد و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک نماید (Lekshmi et al., 2021). ارتباط بین کارایی استفاده از منابع به شرایط محیطی، تنوع منابع ژنتیکی و مقیاس زمانی بستگی دارد. گاهی کارایی استفاده از یک نهاده منجر به افزایش یا کاهش کارایی استفاده از منابع دیگر می‌گردد (Balyan et al., 2016) که این امر لزوم توجه همزمان به مصرف عناصر غذایی، اثرات متقابل بین نهاده‌ها و شاخص‌های کارایی مصرف منابع را پررنگ‌تر می‌نماید.

اگر چه مطالعات نسبتاً متعددی در خصوص کارایی مصرف منابع مهم در کشور انجام شده است، اما اغلب این مطالعات، کارآیی مصرف منابع را در کرت‌های آزمایشی بررسی کرده‌اند و ارزیابی این کارآیی‌ها در مقیاس ملی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن، با وجود اینکه شرایط اقلیمی و مکانی در میزان مصرف نهاده‌ها تأثیرگذار بوده و همین امر منجر به بروز تفاوت کارایی مصرف منابع در مناطق مختلف می‌گردد، اما در مطالعات داخلی تغییرات مکانی کارایی مصرف منابع کمتر مورد توجه بوده است. بنابراین، با عنایت به مطالب فوق، هدف از این پژوهش تعیین بهره‌وری مصرف منابع مهم از جمله آب، نیتروژن و فسفر در گیاه گندم در شرایط آبی و دیم در مناطق مختلف کشور است، به نحوی‌که تغییرات و نوسانات بهره‌وری منابع در مناطق مختلف بررسی و همبستگی آنها با عوامل اقلیمی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

برای اجرای این آزمایش، استان‌های با تولید تجمعی بیش از هشتاد درصد از تولید گندم آبی و دیم تعیین شده و در هر استان، شهرستان‌های دارای بیش از ۸۰ درصد تولید تجمعی در طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۰، انتخاب شدند. بر این اساس، شهرستان‌های با بیش از ۸۰ درصد تولید تجمعی برای گندم آبی شامل شوش، اهواز، شوشتر، دزفول، دشت‌آزادگان، هویزه، رامهرمز، حمیدیه، بهبهان، اندیمشک، مرودشت، اقلید، داراب، لارستان، شیراز، سپیدان، فسا، فیروزآباد، گنبدکاووس، علی‌آباد، مرودشت، آق‌قلا، گرگان، رامیان، آزادشهر، کردکوی، تربت‌جام، نیشابور، جوین، چناران، تربت‌حیدریه، تایباد، فریمان، مشهد، جغتای، سرخس، کرمانشاه، سرپل‌ذهاب، صحنه، کنگاور، روانسر، هرسین، میاندوآب، ارومیه، پیرانشهر، بوکان، خوی، شاهین‌دژ، تبریز، سراب، شبستر، مرند، بناب، میانه، ملکان، رزن، نهاوند، اسدآباد، همدان، بهار و ملایر و برای شرایط دیم شامل بیجار، سقز، دیواندره، قروه، دهگلان، میانه، اهر، بیجار، سقز، هشترود، چاراویماق، مراغه، گنبدکاووس، هوراند، کلیبر، ورزقان (ارسباران)، کلاله، مراوه‌تپه، آق‌قلا، مینودشت، بندرترکمن، کبودرآهنگ و رزن بودند.

همچنین روستاها بر اساس سطح زمین مورد نظر به سه گروه <۳ (کشاورزان خرده‌پا)، ۱۵-۵ و >۱۵ هکتار (کشاورزان بزرگ مالک) تقسیم‌بندی شدند و بر این اساس، برای گروه‌های ذکر شده به ترتیب ۱۲-۱۰، ۳۰-۲۵ و ۵۰ پرسشنامه بسته به تعداد کشاورزان تکمیل گردید. بنابراین، تعداد پرسشنامه‌ها برای مناطق و محصولات مختلف متفاوت بود. عملکرد و مصرف کودهای نیتروژن و فسفر و آب طی سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۰ از طریق پرسشنامه و روش‌های میدانی و اسنادی-کتابخانه‌ای گردآوری و تعیین شدند. اطلاعات و آمارها شامل آمارنامه‌های جهاد کشاورزی، آمار و اسناد آرشیو سازمان‌ها، اطلاعات سرشماری کشاورزی، نقشه‌های مربوط به سازمان‌های ذی‌ربط،

مصاحبه شفاهی با کارشناسان و مسئولین سازمان‌ها، مصاحبه با کشاورزان و بازدیدهای میدانی بودند.

روش محاسبه شاخص‌های بهروری مصرف نهاده‌ها

بهره‌وری مصرف نهاده‌ها (نیتروژن و فسفر) از نسبت عملکرد بر میزان مصرف محاسبه شد (Vaezi et al., 2002). از آنجا که همیشه مقداری از عناصر کودی در خاک وجود دارد، جهت تعیین کارایی منابع کودی، بین عملکرد و میزان نیتروژن و فسفر مصرفی رگرسیون گرفته شد. عرض از مبدأ خط رگرسیون نشان‌دهنده عملکرد در کود صفر می‌باشد که از عملکرد کسر شد تا عملکرد خالص کودی تعیین شود و سپس کارآیی محاسبه شد (Nassiri and Koocheki, 2017).

لازم به ذکر است عمده کود نیتروژن (بیش از ۸۰ درصد) و فسفر (بیش از ۹۰ درصد) مصرفی در بوم‌نظام‌های آبی و دیم گندم به صورت اوره و سوپرفسفات تریپل بوده است. میانگین مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های آبی و دیم به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره و میانگین مصرف فسفر نیز به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم تعیین گردید.

جهت بررسی هرچه بهتر شرایط محیطی در هر منطقه و همچنین محاسبه بهره‌وری مصرف آب متغیرهای آب و هوایی (شامل دما و بارندگی) جمع‌آوری شد.

لازم به ذکر است، میزان بارندگی تنها در طول دوره رشد در محاسبات لحاظ شده است. میانگین میزان بارندگی و درجه حرارت در مناطق تولید دیم به ترتیب ۲۶۳ میلی‌متر و ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد و برای مناطق مربوط به تولید آبی به ترتیب برابر با ۳۰۰ میلی‌متر و ۱۲/۵ میلی‌متر تعیین گردید. میانگین میزان آب مصرفی برای تولید در شرایط آبی ۴۲۰۰ متر مکعب به ازای یک هکتار تعیین گردید.

بهره‌وری مصرف آب از نسبت عملکرد دانه به مجموع آب آبیاری و بارندگی محاسبه شد (Tripler et al., 2007). اطلاعات بارندگی برای طول دوره رشد گیاه استخراج گردید. از طرف دیگر، چون تمام بارندگی برای گیاه قابل استفاده نمی‌باشد، ۷۰ درصد بارندگی بعنوان باران موثر در نظر گرفته شد (Novosadová et al., 2023). جهت تعیین رابطه بین عملکرد با متغیرهای اقلیمی و مقادیر کود مصرفی از رگرسیون چندگانه با معادله (۱) استفاده شد (Ramazanipour, 2019). در این روش، متغیرهای اقلیمی و کودی به عنوان متغیر مستقل (x) و عملکرد به عنوان متغیر وابسته (y) در نظر گرفته شدند که تغییرات آن‌ها تحت تأثیر توأم متغیرهای مستقل قرار گرفت.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، a_0 تا a_n ضرایب رگرسیون و n تعداد پارامترهای مورد نظر می‌باشد. با توجه به‌اینکه ضرایب رگرسیون بازتابی از واحدهای اندازه‌گیری متغیرهای مستقل می‌باشند، مقایسه ضرایب رگرسیون دشوار بوده بوده و از ضرایب استاندارد (بدون واحد) استفاده گردید. داده‌های عملکردی هر منطقه متناظر با داده‌های اقلیمی و خاکی آن منطقه قرار گرفته و نوعی مدل رگرسیونی اجرا شد. جهت بررسی رابطه بین عملکرد با متغیرهای اقلیمی و کودی از رگرسیون چندگانه و همچنین انواع مختلف بهره‌وری از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

جهت تعیین روابط رگرسیونی و محاسبه ضرایب همبستگی از نرم‌افزار Sigma plot استفاده شد. ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزارهای Excel و Sigma plot انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که میانگین عملکرد گندم آبی در استان‌های اصلی تولید این محصول از شرایط دیم بیشتر بود (شکل‌های ۱ و ۲). به نظر می‌رسد که تأمین نیاز آبی گیاه در زراعت آبی شرایط مناسب‌تری را برای تولید فراهم نموده که بهبود عملکرد را موجب شده است. بر اساس نتایج، استان‌های همدان، کرمانشاه و گلستان بیشترین عملکرد دانه گندم آبی را به خود اختصاص داشتند و استان گلستان در تولید دیم نیز نسبت به سایر استان‌ها عملکرد بالاتری نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲).

در بین مناطق اصلی تولیدگندم آبی و دیم، میانگین عملکرد در زراعت آبی ۴۴۳۲/۵ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم با ۶۱ درصد کاهش معادل ۱۷۱۹/۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل‌های ۱ و ۲).

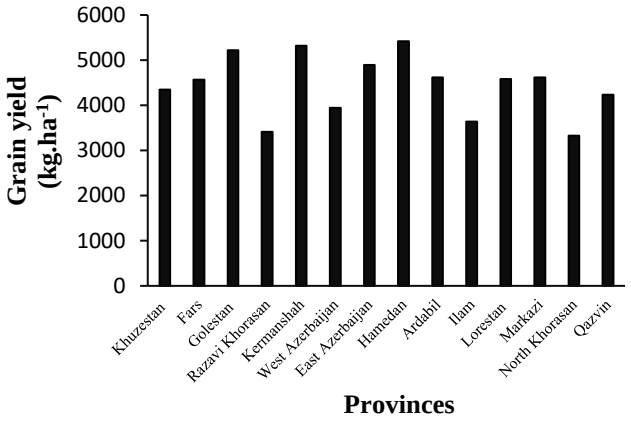

Fig 1. Mean grain yield for irrigated wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

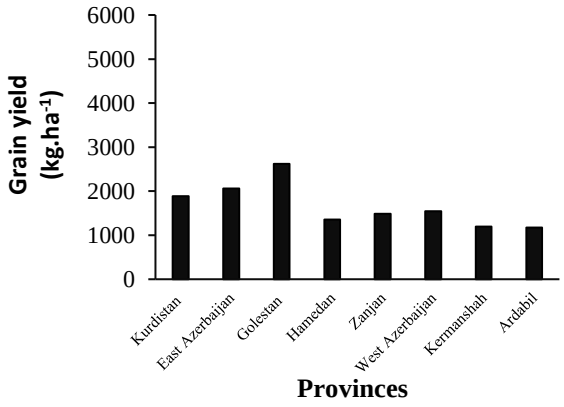

Fig 2. Mean grain yield for dryland wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

با توجه به اینکه بالاترین میزان مصرف آب در مقایسه بین استان‌های مختلف در کشور مربوط به همدان، مرکزی، قزوین و کرمانشاه بود، بالاترین عملکرد گندم در شرایط آبی نیز برای این استان‌ها مشاهده شد (شکل ۱).

براساس آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture-Jihad, 2022) تولید و عملکرد گندم دیم در کشور به ترتیب ۳۴۲۲۷۱۶ تن و ۸۲۹ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. با توجه به وابستگی شدید عملکرد دیم به بارندگی، به نظر می‌رسد که رطوبت بالاتر و بارندگی بیشتر در استان‌هایی مثل استان گلستان منجر به تولید عملکرد بالاتری شده است (شکل‌های ۱ و ۲). در این راستا Bay et al., (2012) در پژوهشی عنوان داشتند که حدود ۶۲/۷ درصد از اراضی کشت گندم دیم در استان گلستان، استعداد مناسب و خیلی مناسب جهت کشت این محصول دارد.

بهره‌وری مصرف نیتروژن

میانگین بهره‌وری مصرف نیتروژن گندم آبی و دیم به ترتیب ۱۹/۵۱ و ۱۵/۳۹ محاسبه شد (شکل‌های ۳ و ۴). بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین بهره‌وری مصرف نیتروژن در کشت آبی بیشتر از دیم بود (شکل‌های ۳ و ۴). با توجه به نحوه محاسبه بهره‌وری مصرف نیتروژن (Vaezi et al., 2002)، به نظر می‌رسد که بالاتر بودن عملکرد گندم، در شرایط آبی منجر به افزایش بهره‌وری مصرف نیتروژن در شرایط آبی شده است. Osman et al., (2021) در پژوهشی بیان داشتند که اثر تنش‌های رطوبتی و حرارتی بر متابولیسم گیاه در شرایط دیم، منجر به کاهش عملکرد اقتصادی می‌شود. Lupini et al., (2021) نیز بیان داشتند که مصرف نیتروژن برای گندم دیم در مقدار و زمان نامناسب به دلیل اثر متقابل با تنش‌های رطوبتی و حرارتی در متابولیسم گیاه عمل نموده و اثر تنش را تشدید می‌کند. با توجه به اهمیت بالای میزان و زمان مصرف کودهای نیتروژن در زراعت گندم، به نظر می‌رسد که پایین بودن عملکرد در شرایط دیم موجب کاهش بهره‌وری مصرف نیتروژن شده است. بدین‌ترتیب، پیشنهاد می‌شود که مدیریت مصرف نیتروژن به ویژه در مورد نحوه و میزان مصرف در شرایط دیم جهت بهبود این شاخص مدنظر قرار گیرد.

در بین استان‌های اصلی تولید کننده گندم، استفاده از ارقام مختلف زراعی تأثیر بالایی بر میزان بهره‌وری مصرف نیتروژن داشت. Mondani et al., (2019) گزارش نمودند که کارایی مصرف نیتروژن گندم در کرمانشاه بین ۱۰ تا ۳۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرفی محاسبه شد. این پژوهشگران نیز وجود ارقام مختلف را عامل اصلی تفاوت در کارایی مصرف نیتروژن اعلام کردند. علاوه بر نوع رقم، سایر عوامل مدیریتی از قبیل زمان کوددهی تأثیر بالایی بر میزان بهره‌وری مصرف نیتروژن دارد (Sharma and Bali, 2017). Rezvani Moghaddam et al., (2014) بیان داشتند که کاربرد کود نیتروژن به صورت تقسیط به دلیل افزایش قابلیت دسترسی این عنصر در مراحل مختلف رشد، افزایش کارایی مصرف نیتروژن را در پی خواهد داشت. در مجموع، به نظر می‌رسد عواملی از قبیل تفاوت در رقم، میزان و نحوه مصرف کود نیتروژن، بارندگی و رطوبت خاک منجر به بروز تفاوت در شاخص بهره‌وری مصرف نیتروژن در مناطق مختلف تولید این محصول در کشور گردیده است.

و گلستان علاوه بر اینکه بهره‌وری فسفر بالایی داشتند (شکل

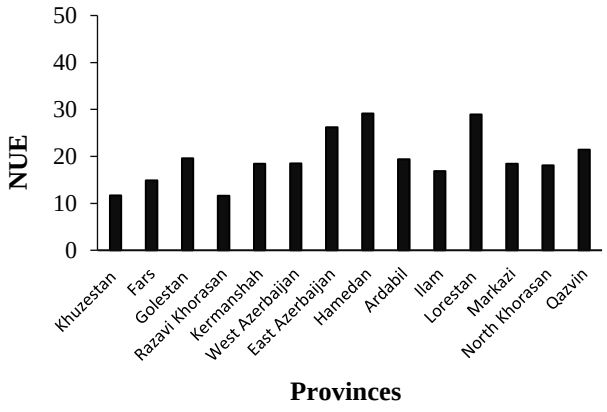

Fig 3. Mean nitrogen use efficiency (NUE) (kg seed kg^{-1} Nitrogen) for irrigated wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

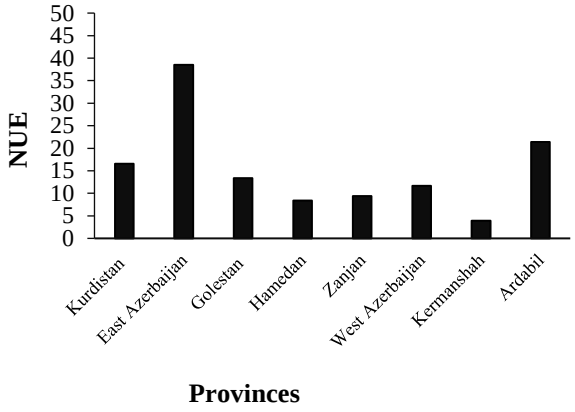

Fig 4. Mean nitrogen use efficiency (NUE) (kg seed kg^{-1} Nitrogen) for dryland wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

بهره‌وری مصرف فسفر

میانگین بهره‌وری مصرف فسفر در زراعت گندم آبی و دیم به ترتیب معادل ۲۸/۴۲ و ۲۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم فسفر محاسبه شد. بالاترین میانگین بهره‌وری مصرف فسفر در زراعت آبی در استان‌های گلستان، همدان و لرستان مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶).

یکی از محدودیت‌های اصلی رشد غلات، قابلیت کم جذب فسفر توسط این گیاهان است. به طوری‌که ممکن است برخی گیاهان علی‌رغم وجود مقدار زیادی فسفر در خاک، در اثر کمبود فسفر صدمه ببینند. فسفر با کانی‌های خاک تشکیل پیوند داده و به شکل‌های آلی و غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌گردد (Dhillon et al., 2017).

به نظر می‌رسد که تفاوت در میزان بهره‌وری مصرف فسفر در مناطق مختلف، بیشتر از اینکه متأثر از میزان کود فسفر مصرفی باشد، تحت تأثیر تفاوت در جذب فسفر از خاک و تبدیل آن در گیاه قرار می‌گیرد (Izhar Shafi et al., 2020). همچنین به نظر می‌رسد که علاوه بر نوع و بافت خاک، ارقام مختلف کشت نیز تأثیر زیادی بر تفاوت بهره‌وری مصرف فسفر در مناطق مختلف دارند. Emami et al., (2020) نیز بیان کردند که در ارقام مختلف گندم برخی تفاوت‌ها از قبیل مورفولوژی، اندازه و انشعابات سیستم ریشه‌ای نیز باعث ایجاد اختلاف در جذب فسفر می‌گردد. در کشت گندم آبی استان‌های همدان، لرستان و گلستان علاوه بر اینکه بهره‌وری فسفر بالایی داشتند (شکل ۵)، عملکرد بالایی را نیز به خود اختصاص دادند (شکل ۱). با توجه به نحوه محاسبه بهره‌وری مصرف فسفر، در صورت مساوی بودن میزان جذب فسفر، مناطقی که عملکرد بالاتری دارند، بهره‌وری فسفر بیشتری نیز نشان خواهند داد. Deng et al., (2018) گزارش نمودند که ژنوتیپ‌های با توانایی بالا در تبدیل و مصرف فسفر، با وجود جذب مقدار مساوی فسفر، عملکرد بالاتری داشتند. براساس نتایج به دست آمده بر خلاف نیتروژن، میانگین بهره‌وری مصرف فسفر در زراعت آبی از دیم بالاتر بود (شکل‌های ۵ و ۶). Shirmohammadi et al., (2020) بیان نمودند که بین محتوی رطوبتی خاک و تغذیه فسفر، رابطه هم‌افزایی وجود دارد و با تغییر محتوی رطوبتی از اشباع به سمت رطوبت‌های کمتر، جریان رطوبت به صورت مایع کاهش می‌یابد. در شرایط وجود رطوبت کم، محتوی رطوبتی محدود به یکسری منافذ خیلی ریز شده که در نتیجه انتشار فسفر را محدود می‌نماید. در شرایط دیم، استان‌های کردستان و آذربایجان شرقی بهره‌وری مصرف فسفر بالاتری نشان دادند (شکل ۶)، درحالی‌که عملکرد این استان‌ها از سایر مناطق اصلی تولید دیم بالاتر نبود (شکل ۲).

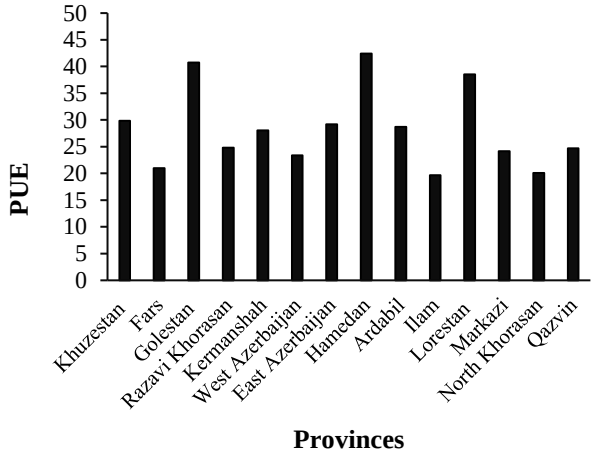

Fig 5. Mean phosphorus use efficiency (PUE) (kg seed kg^{-1} Phosphorous) for irrigated wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

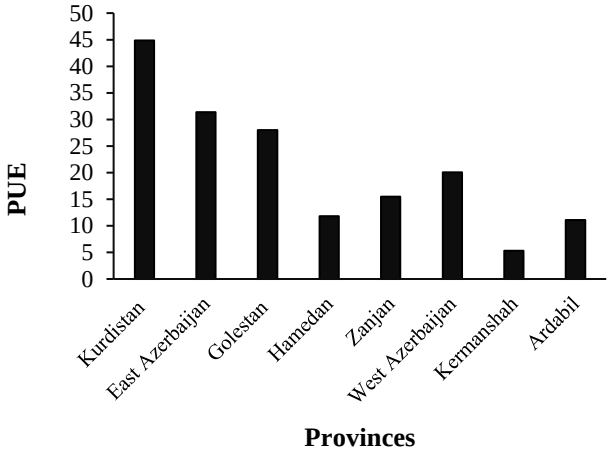

Fig 6. Mean phosphorus use efficiency (PUE) (kg seed kg^{-1} Phosphorous) for dryland wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

بر این اساس، به نظر می‌رسد که علت اصلی بالاتر بودن میزان بهره‌وری فسفر در این دو استان صرفاً به دلیل بالا بودن بهره‌وری جذب فسفر تحت تأثیر تغییرات محتوی رطوبتی بالاتر خاک بوده است.

بهره‌وری مصرف آب

در بین استان‌های اصلی تولید کننده گندم آبی و دیم، استان گلستان بالاترین بهره‌وری مصرف آب را به خود اختصاص داد (شکل‌های ۷ و ۸). میانگین بهره‌وری مصرف آب در گندم آبی معادل ۱/۰۲ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب و در شرایط دیم معادل ۹/۶۱ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب محاسبه شد (شکل-های ۷ و ۸). به نظر می‌رسد که استفاده از روش‌های آبیاری و میزان آب عاملی تأثیرگذار بر شاخص بهره‌وری مصرف آب می-باشد. علاوه بر آن، کارایی مصرف آب در کشت دیم، با افزایش تولید به ازای هر واحد بارندگی، به طور چشمگیری افزایش می-یابد (Rahimi et al., 2019). Blum (2009) نیز بیان داشت که در شرایط دیم بهره‌وری مصرف آب بالاتر ناشی از کاهش تعرق بوده و از افزایش تولید ناشی نمی‌شود. تا هنگامی‌که در شرایط دیم، نسبت به آبی امکان افزایش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های ژنتیکی و محیطی وجود نداشته باشد، بهره‌وری مصرف آب بیشتر با کاهش تعرق همراه بوده و با توجه به وابستگی عملکرد به تعرق، این مسئله به کاهش عملکرد در شرایط دیم می‌انجامد. در کشت دیم در استان گلستان علاوه بر بهره‌وری بالاتر مصرف آب (شکل ۸) نسبت به سایر استان‌ها، عملکرد بالاتری (شکل ۲) نیز مشاهده شد. به نظر می‌رسد که وجود رطوبت بالاتر هوا در این استان به واسطه کاهش تعرق به افزایش بهره‌وری مصرف آب و افزایش عملکرد گندم دیم کمک نموده است؛ درحالی‌که در زراعت آبی در استان‌هایی مانند همدان و آذربایجان شرقی (شکل ۱) با وجود عملکرد بالا، اما بهره‌وری بالایی در مصرف آب (شکل ۷) نداشتند. این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت مصرف آب تأثیر بسیار زیادی بر افزایش اتلاف آب و کاهش بهره‌وری مصرف آب داشته است.

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کارایی مصرف منابع

بهره‌وری فسفر همبستگی مثبت و معنی‌داری با بهره‌وری نیتروژن در شرایط آبی و دیم (به ترتیب با ۰/۵۱ و ۰/۲۶) داشت (جدول ۱). افزایش نیتروژن موجب گسترش و توسعه سیستم ریشه‌ای و جذب بیشتر رطوبت می‌شود. علاوه بر آن، مصرف این عنصر باعث تسریع رشد رویشی، توسعه اندام‌های هوایی گیاه و افزایش تعرق می‌گردد (Liao et al., 2006). بین میزان آب قابل استفاده و نیتروژن همبستگی بالایی وجود دارد، زیرا افزایش نیتروژن با توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب، منجر به کاهش تنش رطوبتی می‌شود، اما اگر آب به اندازه کافی موجود نباشد، افزایش مصرف کودهای نیتروژن باعث تشدید تنش رطوبتی شده و عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد (Ghanbari et al., 2014).

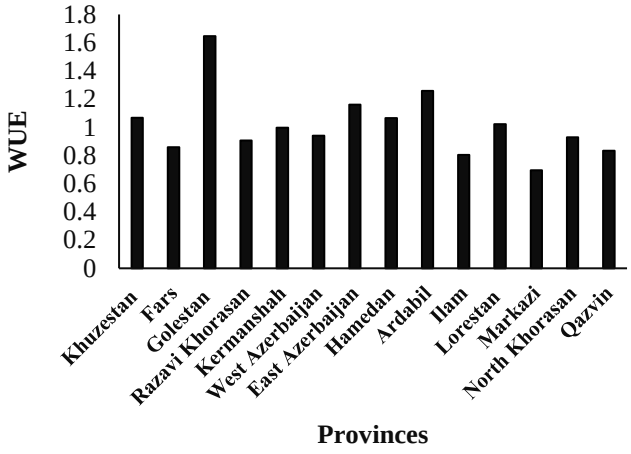

Fig 7. Mean water use efficiency (WUE) (kg seed. m^{-3} water) for irrigated wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

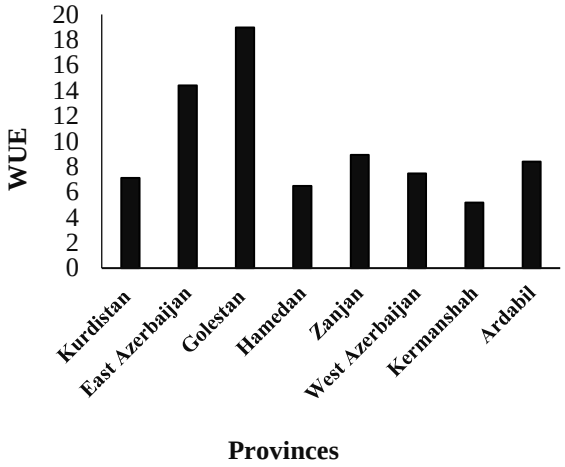

Fig 8. Mean water use efficiency (WUE) (kg seed. m^{-3} water) for dryland wheat in the main production areas of Iran during 2011-2020

Table 1. Correlation coefficients for different sources use efficiencies in wheat production systems of Iran during 2011-2020

Use efficiency indicators	Production system	NUE	PUE	WUE
NUE	Irrigated	1.00		
	Dryland	1.00		
PUE	Irrigated	0.506 **	1.00	
	Dryland	0.255 *	1.00	
WUE	Irrigated	0.161 **	0.439 **	1.00
	Dryland	0.309 *	0.276 *	1.00

بهره‌وری مصرف فسفر و نیتروژن در هر دو شرایط آبی و دیم، همبستگی مثبت و معنی داری نشان دادند (جدول ۱). افزایش میزان نیتروژن، از طریق کاهش ظرفیت جذب سطحی یون‌های خاک باعث افزایش فسفر قابل دسترس می‌شود.

در بین متغیرهای مورد بررسی تمام پارامترهای زراعی (شامل آب، نیتروژن و فسفر) و اقلیمی (درجه حرارت و بارندگی) با عملکرد گندم در شرایط آبی و دیم ارتباط مثبت داشتند (جدول ۲). در خصوص اثر مثبت درجه حرارت بر عملکرد دانه گندم دیم، به نظر می‌رسد که این تأثیر عمدتاً مربوط به مناطق مرتفع کشت می‌باشد، به طوری‌که در این مناطق، افزایش دما به دلیل وجود بارندگی‌های بیشتر موجب بهبود عملکرد دانه می‌شود. در حالی‌که افزایش بارندگی در زراعت دیم موجب بهبود عملکرد می‌شود، کاربرد نیتروژن، فسفر و آبیاری در زراعت آبی با عملکرد دانه ارتباط مستقیم داشت. فسفر و آب (بارندگی و آبیاری) در زراعت آبی و درجه حرارت، بارندگی و نیتروژن در شرایط دیم بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر عملکرد نشان دادند (جدول ۲).

گرما از جمله محدودیت‌های اصلی عملکرد غلات در زراعت دیم به شمار می‌رود که کمیت و کیفیت را با کاهش شدیدی روبه‌رو می‌کند (Wang and Liu, 2021). نتایج نشان داده است که به ازاء افزایش هر یک درجه سانتی‌گراد از دمای مطلوب (۱۵ درجه سانتی‌گراد)، ۵-۳ درصد از عملکرد گندم در شرایط کنترل‌شده کاسته می‌شود. البته این کاهش در شرایط مزرعه‌ای بیش از این مقدار گزارش شده است (Kaboosi and Majidi, 2017).

Table 2. The relationship between grain yield and some climatic and agronomic parameters in the irrigated and dry land of wheat production systems

Variables	Irrigated			Dryland		
	Actual coefficient	t coefficient	Standard coefficient	Actual coefficient	t coefficient	Standard coefficient
Intercept	2443.1	4.90**	0	968	1.57ns	0
Precipitation	5.22	0.40**	0.597	0.943	0.69*	0.300
Temperature	21.98	0.89ns	0.092	53.82	1.30*	0.223
N	0.381	2.15*	0.032	2.04	0.79*	0.161
P	3.20	1.93**	0.132	4.17	0.63ns	0.138
Water	0.139	1.96*	0.164	968	1.57ns	0
	R^2=0.59			R^2 = 0.54		

Abbasi Alikamar et al., (2020) گزارش دادند که در مناطق گرم و خشک جنوب و مرکز ایران، افزایش دما با ایجاد تنش رطوبتی در دوره رسیدگی دانه منجر به کاهش طول دوره پر شدن دانه و افت عملکرد شد. افزایش دما در مناطق معتدل نیز به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش عملکرد دیم را در پی داشت.

Sadeghi et al., (2022) به این نتیجه رسیدند که کاشت دیرهنگام گندم به واسطه مصادف شدن مراحل شیری و خمیری شدن با دوره گرما و خشکی منجر به افت محصول شد. بر اساس نتایج این مطالعه، مصرف نیتروژن و بارندگی تأثیر مثبت و معنی‌داری با افزایش عملکرد گندم دیم نشان دادند (جدول ۲). تأثیر مثبت افزایش مصرف کودهای نیتروژن بر عملکرد در بسیاری از مطالعات گزارش شده است. Pooya Nasab et al., (2018) بیان داشتند که علاوه بر تأمین عناصر غذایی، عوامل اقلیمی نیز تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد گندم دارد؛ به طوری‌که ۴۰ تا ۷۷ درصد از تغییرات عملکرد با دما و بارش توجیه می‌شود. Kaboosi (2020) تأکید نمود که بارندگی و دما دو عامل کنترل‌کننده رشد و نمو و عملکرد گندم محسوب می‌شوند. Peykani et al., (2020) نیز بیان داشتند که افزایش دما همزمان با کاهش بارندگی اثرات منفی بر عملکرد گندم داشته است. Mousavi et al., (2021) افت عملکرد گندم تحت تأثیر افزایش دمای آخر فصل را گزارش نمودند.

ضرایب همبستگی بین عوامل اقلیمی و میزان مصرف نهاده‌ها

بررسی فاکتورهای اقلیمی موثر بر تولید گندم آبی نشان داد که میانگین دما در مناطق اصلی تولید بین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی در مناطق آبی نیز در حدود ۱۰۵ تا ۶۱۱ میلی‌متر تعیین شد (شکل ۹). Vaseghi and Esmaeili (2008) میانگین دمای مناسب در طول فصل کشت گندم را ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد گزارش دادند. اگرچه نتایج برای محصولات زراعی و مناطق جغرافیایی بسیار متفاوت است، ولی Zhao et al., (2022) بدون اجرای راهکارهای سازگاری در نظام‌های زراعی، به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت جهان، کاهش میانگین عملکرد گندم، برنج، ذرت و سویا به ترتیب برابر با ۶/۰، ۳/۲، ۷/۴ و ۳/۱ درصد گزارش شده است.

دامنه پراکنش مصرف کودهای نیتروژن در زراعت آبی گندم بالاتر از کودهای فسفر بود. در شرایط آبی، دامنه مصرف کودهای نیتروژن ۳۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در خصوص کودهای فسفره این دامنه مصرف برابر با ۱۵۰-۵۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (شکل ۹). در این راستا، Izadi-Darbandi and Azad, (2013) میزان بهینه کودهای نیتروژن و فسفر را برای گندم به ترتیب ۲۰۰-۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. Koocheki et al., (2017) بیان کردند که حداکثر عملکرد گندم با کاربرد ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد و با افزایش مصرف نیتروژن از درصد افزایش عملکرد کاسته شد.

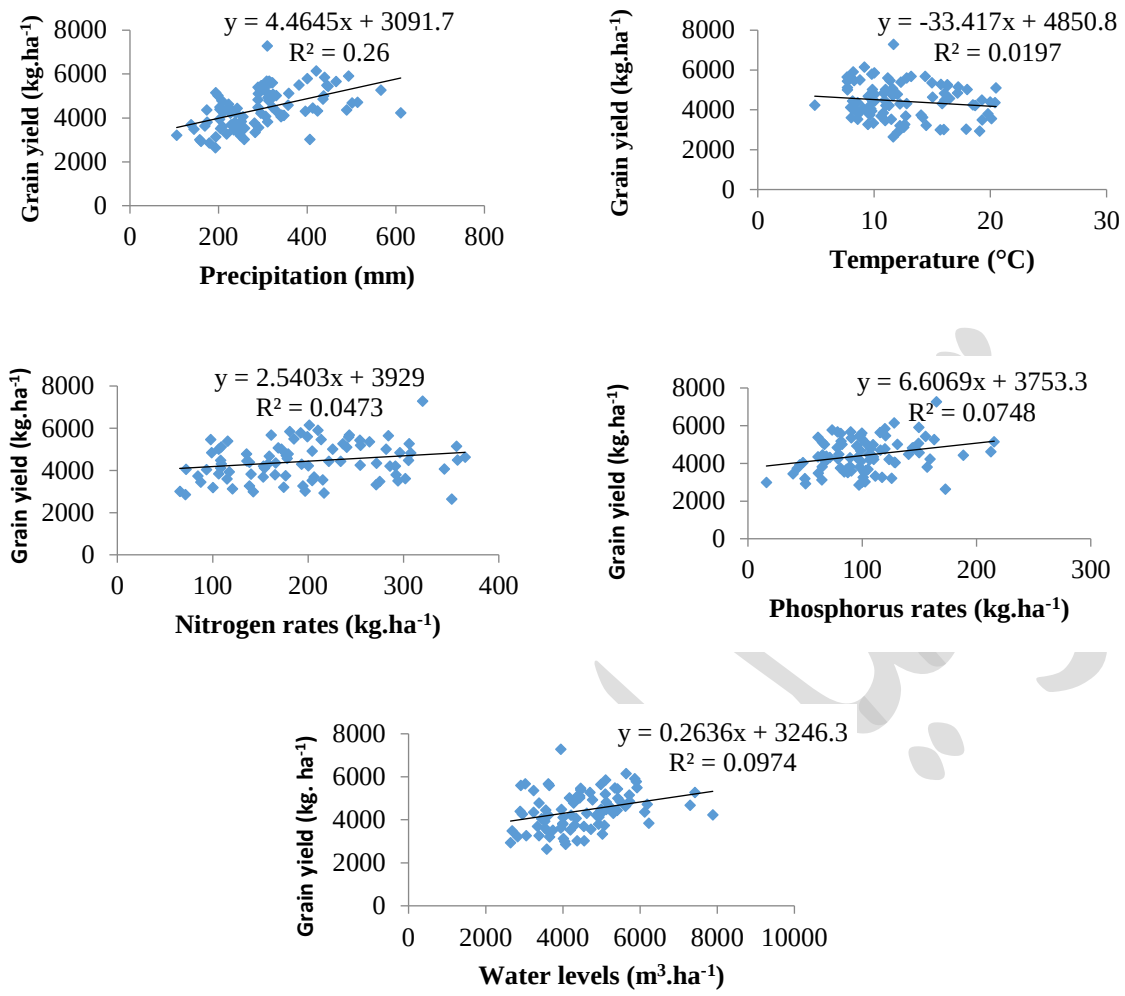

Fig 9. Grain yield dispersions of wheat affected by agronomic and climatic factors (such as precipitation, temperature, N, P, and water) under irrigated conditions.

Khaliliaqdam et al., (2018) نتیجه گرفتند که استفاده از کود نیتروژن در مقادیر ۵۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در کشت آبی باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد. همچنین بیشترین تراکم مصرف آب نیز در تولید آبی بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار بود.

بیش‌ترین تراکم کشت دیم در مناطقی با دامنه دمایی ۱۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود (شکل ۱۰). میانگین دما در شرایط دیم ۵ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از شرایط آبی مشاهده شد (شکل‌های ۹ و ۱۰). بیش‌ترین بارندگی در کشت دیم بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر بود که ۵۰ میلی‌متر بالاتر از شرایط آبی تعیین شد. مصرف کودهای نیتروژن و فسفر در کشت دیم پایین‌تر از آبی بود. بیش‌ترین تراکم مصرف کودهای نیتروژن در کشت دیم بین ۳۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم و در کشت آبی بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم‌درهکتار متغیر بود (شکل‌های ۹ و ۱۰).

در رابطه با کودهای فسفره، بیشترین دامنه پراکندگی مصرف در کشت دیم ۶۰-۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد؛ در حالی‌که در کشت آبی در حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر از کشت دیم تعیین گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰). Asgharipour and Salehi, (2015) گزارش دادند که کل انرژی ورودی در کشت‌زارهای آبی نسبت به دیم در حدود سه برابر بیشتر بود. کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در نهاده‌های ورودی داشتند؛ به طوری‌که سهم این کودها در نظام‌های دیم و آبی به ترتیب ۳۵/۶ و ۳۷/۷ درصد گزارش شد. در مجموع، مصرف کودهای شیمیایی در کشت‌زارهای آبی بیشتر از دیم بود. Esmaeilzadeh et al., (2019) نیز بیان داشتند که سهم مصرف انرژی برای کودهای شیمیایی در زراعت آبی ۲۲ درصد و در زراعت دیم چهار درصد بود.

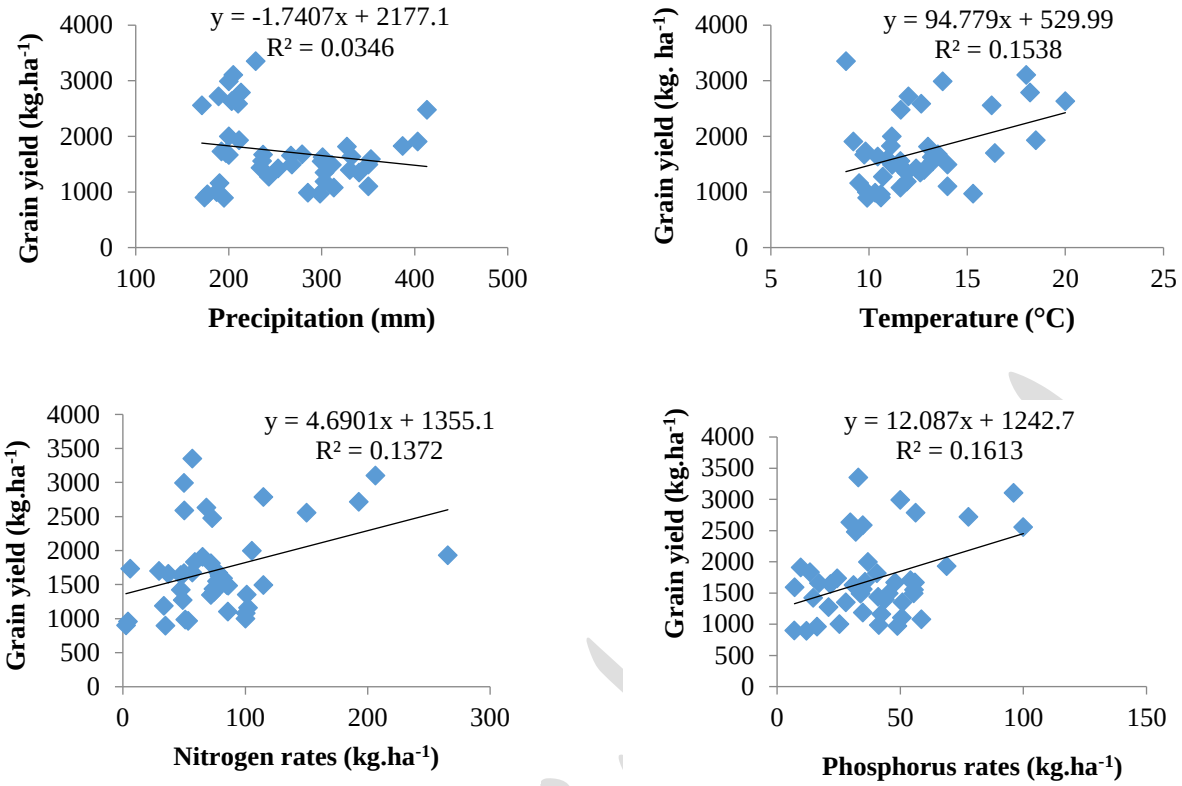

Fig 10. Grain yield dispersions of wheat affected by agronomic and climatic factors (such as precipitation, temperature, N, P, and water) under dryland conditions.

نتیجه‌گیری

در مناطق اصلی تولید گندم، میانگین بهره‌وری مصرف نیتروژن برای شرایط دیم کمتر از آبی بود. با توجه به اجزای شاخص بهره‌وری مصرف نیتروژن و با عنایت به بالاتر بودن عملکرد در شرایط آبی در مقایسه با دیم، این عامل منجر به افزایش این شاخص در شرایط آبی شد. برخلاف نیتروژن، بهره‌وری مصرف فسفر به دلیل تأثیر مستقیم میزان رطوبت خاک در انتشار فسفر بر خاک در زراعت دیم پایین‌تر از آبی بود. عواملی از قبیل رقم، دما، بارندگی و همچنین بافت و خصوصیات خاک از جمله عوامل ایجاد تفاوت در میزان بهره‌وری مصرف منابع بود. بررسی رگرسیون بین عملکرد گندم با پارامترهای اقلیمی و زراعی نشان داد که تنها دما با عملکرد دانه در شرایط دیم ارتباط منفی داشت و سایر پارامترها از قبیل بارندگی، نیتروژن، فسفر و آبیاری در زراعت دیم و آبی با عملکرد دانه ارتباط مستقیم داشتند. بر اساس این نتایج، نیتروژن و آبیاری در زراعت آبی و نیتروژن و بارندگی در زراعت دیم بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر افزایش عملکرد دانه گندم نشان دادند.

سپاس‌گزاری

بودجه این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Abbasi Alikamar, R., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A. 2020. Evaluation of temperature changes and its impacts on seed filling period and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different regions of Iran (1992-2012). *Journal of Agroecology*, 12(1), 319-343. [In Persian]

Asgharipour, M.R., & Salehi, F. 2015. Energy use on wheat production: A comparative analysis of irrigated and dry-land wheat production systems in Kermanshah. *Journal of Agroecology*, 5(1), 1-11. [In Persian]

Badvan, H., & Alavi Fazel, M. 2021. Assessment of the role of low irrigation and change in plant density on water use efficiency and yield and yield components of maize (S.C 704). *Plant Productions*, 44(2), 271-282. [In Persian]

Balyan, H.S., Gahlaut, V., Kumar, A., Jaiswal, V., Dhariwal, R., Tyagi, S., Agarwal, P., Kumari, S., & Gupta, P.K. 2016. Nitrogen and phosphorus use efficiencies in wheat: physiology, phenotyping, genetics, and breeding. *Plant Breeding Reviews*, 40, 167-234.

Bay, N., Montazeri, M., Gadnomkar, A., & Ataei, H. 2012. The Study of Potential of Dry Farming Wheat Cultivation in Golestan Province by Using Geographic Information System (GIS). *Geographical Planning of Space*, *2*(4), 19-42. [In Persian]

Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119-123.

Burman, U., Garg, B.K., & Kathju, S. 2019. Effect of phosphorus application on cluster bean under different intensities of water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 668-680.

Deng, Y., Teng, W., Tong, Y.P., Chen, X.P., & Zou, C.Q. 2018. Phosphorus efficiency mechanisms of two wheat cultivars as affected by a range of phosphorus levels in the field. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1614.

Dhillon, J., Torres, G., Driver, E., Figueiredo, B., & Raun, W.R. 2017. World phosphorus use efficiency in cereal crops. *Agronomy Journal*, 109(4), 1670-1677.

Emami, S., Alikhani, H.A., Pourbabaee, A.A., Etesami, H., Motasharezadeh, B., & Sarmadian, F. 2020. Consortium of endophyte and rhizosphere phosphate solubilizing bacteria improves phosphorous use efficiency in wheat cultivars in phosphorus deficient soils. *Rhizosphere*, 14, 100196.

Esmaeilzadeh, S., Asgharipour, M.R., Bazrgar, A.B., Soufizadeh, S., & Karandish, F. 2019. Assessing the carbon footprint of irrigated and dryland wheat with a life cycle approach in Bojnourd. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(4), 13134.

FAO. 2020. World agriculture: towards 2015/30. Summary report. FAO. Rome. Available online at: (http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PagelD=567#ancor).

Ghanbari, A., Fakheri, B., Amiri, E., & Tavassoli, A. 2014. Evaluation nitrogen and radiation use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under irrigation levels. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(29(1)), 41-56. [In Persian]

Izadi-Darbandi, E., & Azad, M. 2013. The possibility of wheat yield improvement by modifying the amount of nitrogen and phosphorus application methods and rate. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 140, 189-195. [In Persian]

Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., Danish, S., Zafar-ul-Hye, M., Brtnicky, M., & Datta, R. 2020. Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soil. *Agronomy*, 10(9), 1224.

Kaboosi, K. 2020. Stochastical analysis of phenological timing traits of rainfed wheat in Golestan province using climate parameters. *Plant* Production, 43(1), 143-158. [In Persian]

Kaboosi, K., & Majidi, O. 2017. Zoning of planting and harvesting dates and length of growth stages of rainfed wheat based on precipitation and temperature data in Golestan province. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 6(1), 103-120. [In Persian]

Khaliliaqdam, N., Hasani, R., & Mir Mahmoudi, T. 2018. Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. *Journal of Crops Improvement*, 20(1), 191-204. [In Persian]

Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Bakhshaei, S., & Davari, A. 2017. A meta-analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology*, 9(2), 296-313. [In Persian]

Lekshmi, D.U., Venkataramana, M.N., & Gaddi, G.M. 2021. Profitability and resource use efficiency of rice-based cropping systems-evidences from Kerala. *Economic Affairs*, 66(4), 643-649.

Liao, M., Palta, J.A., & Fillery, I.R. 2006. Root characteristics of vigorous wheat improve early nitrogen uptake. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(10), 1097-1107.

Lupini, A., Preiti, G., Badagliacca, G., Abenavoli, M.R., Sunseri, F., Monti, M., & Bacchi, M. 2021. Nitrogen use efficiency in durum wheat under different nitrogen and water regimes in the Mediterranean Basin. *Frontiers in Plant Science*, 11, 607226.

Mastalizadeh, B., Khajoei-Nejad, G., & Moradi, R. 2020. Effect of various irrigation methods on tuber yield and water productivity of potato varieties. *Plant Productions*, 43(3), 431-442. [In Persian]

Ministry of Agriculture-Jihad. 2022. Agricultural Statistics, (Vol. II). The Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jihad, Press. [In Persian]

Mondani, F., Bozorgi Hossein Abad, A., Saeedi, M., Bagheri, A., & Heidari, H. 2019. Evaluation of nitrogen uptake and use efficiency in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under Kermanshah weather conditions. *Journal of Agroecology*, 11(1), 87-102. [In Persian]

Mousavi, F., Siahpoosh, M.R., & Sorkheh, K. 2021. Influence of sowing date and terminal heat stress on phonological features and yield components of bread wheat genotypes. *Plant Production*, 43(1), 143-158. [In Persian]

Nassiri, N., & Koocheki, A. 2017. Trend Analysis of Nitrogen Use and Productivity in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Production Systems of Iran, *Agroecology Journal*, 9(2), 360-378. [In Persian]

Novosadová, K., Kadlec, J., Řehořková, Š., Matoušková, M., Josef Urban, J., & Radek Pokorný, R. 2023. Comparison of rainfall partitioning and estimation of the utilisation of available water in a monoculture beech forest and a mixed beech-oak-Linden forest. *Water*, 15, 285.

Osman, R., Tahir, M.N., Ata-Ul-Karim, S.T., Ishaque, W., & Xu, M. 2021. Exploring the impacts of genotype-management-environment interactions on wheat productivity, water use efficiency, and nitrogen use efficiency under rainfed conditions. *Plants*, 10(11), 2310.

Peykani, R., ensan, E., Salami, H., & Saleh, I. 2020. Investigation the effects of climate variables on yield and yield risk of dry-land wheat using moment-based models. *Agricultural Economics*, 14(2), 53-82.

Pooya Nasab, K., Bannayan Aval, M., Gorbani, R., Sanjani, S., Yaghoubi, F. 2018. Temporal and spatial variation of wheat and bean yields, case study: Khorasan-e Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), 263-282. [In Persian]

Rahimi, Z., Hosseinpanahi, F., & Siosemardeh, A. 2019. Evaluation of yield, radiation and water use efficiency of drought resistant and susceptible wheat cultivars under different irrigation levels. *Journal of Wheat Research*, 2(1), 19-35. [In Persian]

Ramazanipour, M. 2019. Predict the impact of climatic change on the agro-climatic indexes and rice yield case study: North of Iran. *Journal of Zonal Planning*, 8(32), 69-80. [In Persian]

Rasmussen, L.V., Coolsaet, B., Martin, A., Mertz, O., Pascual, U., Corbera, E., Dawson, N., Fisher, J.A., Franks, P., & Ryan, C.M. 2018. Social-ecological outcomes of agricultural intensification. *Nature Sustainability*, 1(6), 275–282.

Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M., & Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(2), 260-273. [In Persian]

Sadeghi, H., Mohamadi, H., Shamsipour, A., Zarei, K., & Karimi, M. 2022. Spatial relations between climatic variables and wheat yield in Iran. *Geography and Development*, 20(68), 184-214.

Sharma, L.K., & Bali, S.K. 2017. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, 10(1), 35-51.

Sharma, N., & Singhvi, R. 2017. Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10(6), 675-680.

Shirmohammadi, E., Alikhani, H., Pourbabaee, A.A., & Etesami, H. 2020. The effect of plant growth promoting rhizobacteria isolated from dryland farming on available phosphorus and some physiological and growth traits of wheat under water-deficit stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 787-800. [In Persian]

Spiertz, J.H.J. 2009. Nitrogen, sustainable agriculture and food security: a review. *Sustainable Agriculture*, 635-651.

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

Trifonov, P., Lazarovitch, N., & Arye, G. 2018. Water and nitrogen productivity of potato growth in desert areas under low-discharge drip irrigation. *Water*, 10(8), 97-115.

Tripler, E., Ben-Gal, A., & Shani, U. 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). *Plant and Soil*, 297, 147–155.

Vaezi, A.R., Homaee, N., & Malakoti, M.J. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 16(2), 152-159. [In Persian]

Vandamme, E., Pypers, P., Vanlauwe, B., Baijukya, F., Smolders, E., & Merckx, R. 2014. Residual phosphorus effects and nitrogen-phosphorus interactions in soybean–maize rotations on a P-deficient Ferralsol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 98, 187–201.

Vaseghi, E., & Esmaeili, A. 2008. Investigation of the Economic Impacts of Climate Change on Iran Agriculture: A Ricardian Approach (Case study: Wheat). *Journal of Hydrology and Soil Science*, 12(3), 685-699.

Wang, X., & Liu, F. 2021. Effects of elevated CO_2 and heat on wheat grain quality. *Plants*, 10(5), 1027.

Zhang, X., Davidson, E., Mauzerall, D., Searchinger, T.D., Dumas, P., & Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51–59.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Peng, S., Peñuelas, J., Ruane, A.C., Wallach, D., Wang, T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z., & Asseng, S. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(35), 9326-9331.