Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Improving wheat irrigation productivity in Iran (Part two: from the viewpoint of mechanization and farm management)

Javid Nayebi[1], Masoud Pourgholam-Amiji[2*], Iman Hajirad[2], Seyed Rashed Alavi[3], Farnaz Nozari[4], Mansoureh Akbarpour[5]

[1] Senior Expert, Department of Irrigation and Drainage, Yekom Consulting Engineers Company, Tehran, Iran
[2] Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[3] Manager of Agricultural, Social and Economic Affairs, Yekom Consulting Engineers Company, Tehran, Iran
[4] MS.c. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[5] Former M.Sc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

Introduction

The lack of proper water productivity and the increase of water per capita over time have led to the drying up of rivers and lakes as well as the drop in the level of underground water. Currently, many countries are facing a great challenge in producing food from limited water resources. Lack of water along with improper exploitation of resources does not meet the growing demand of the current population for food. The lack of water resources for the production of various agricultural products, including wheat, is one of Iran's main challenges and concerns and the primary solution is to improve and promote water productivity. In this regard, consuming less water should produce the most production. One of the biggest problems for wheat production is the lack of water resources and the fragmentation of different water management methods, fields, and irrigation systems. On the other hand, for water and farm management to have the greatest effect in increasing the yield, efficiency, and productivity of water consumption, it must have various inputs such as hybrid and modified seeds, chemical fertilizers and pesticides, the use of advanced tools and machinery, and appropriate planting operations, and harvesting should be done optimally, correctly, and at the right time-place.

Materials and Methods

The current study has targeted the main areas of wheat production in Iran. Due to its high nutritional value and strategic importance, wheat is cultivated in almost all areas of the country. According to the Pareto principle, the areas where 80% of wheat cultivation and production (irrigated and rainfed) are carried out are the main wheat production areas. Since in Iran, the statistics of the agricultural situation are mainly presented based on political divisions, therefore, the major regions will be the set of provinces in which the above hypothesis is true. Accordingly, 13 provinces of Golestan, Kermanshah, West Azarbaijan, East Azarbaijan, Hamedan, Ardabil, Lorestan, Central, Khuzestan, Fars, Razavi Khorasan, Kurdistan, and Zanjan have been identified as the main wheat production areas in Iran and in this study also, the main focus was on these areas. Since the vast country of Iran has a diverse climate, to ensure that all the country's climate groups are represented in the selected regions, an adaptation of these regions to the country's climate groups was also done.

Results and Discussion

The results showed that with the data of the 2020-2021 crop year, the reduction of agricultural water consumption by developing the method of irrigation the Raised Bed Planting Systems (RBPS) in the main areas of wheat production will lead to a reduction of 154.2 million m^3 of water. The implementation cost of this solution based on the average implementation of each hectare is 50 million Rials in 2021, equal to 5059 billion Rials. Among the limitations in the stages of planting, planting, and harvesting wheat with the irrigation method of the raised bed planting systems, we can point out the need for cultivators equipped with furrows, but in the operation of planting, this method is facilitated. Regardless of the

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

results of the research, limiting the movement of the wheels of agricultural machines to the furrows (traffic control), facilitating the operation, and the smoother movement of water in the furrows are some of the strengths of the raised bed planting systems. The advantages of this method can be mentioned as follows: increasing the yield of wheat per hectare, Improvement in soil ventilation and more growth of roots, Increasing the germination percentage of seeds and reducing seed consumption, reducing seed suffocation, reducing soil erosion, Reducing the amount of herbicides used, increasing the efficiency of using poisons and fertilizers, Reducing the risk of flooding and fungal diseases, and planting wheat on raised beds due to the elimination of irrigation borders as a combine-friendly method.

Conclusion

As a result, using the new method of cultivation the raised bed planting systems can lead to the improvement of water productivity of wheat in the country as a management tool. The raised bed planting system is the most modern method implemented in developed countries. In this method, the seed is planted on long and wide beds, which increases the economic efficiency of the raised bed planting systems. It is expected that the yield of wheat fields will increase by 15% compared to the traditional method. In the cultivation system on raised beds, both the raised bed and the irrigation furrows are prepared at the same time. Also, fertilizer and seeds are distributed on the beds at the same time.

Keywords: Irrigation system, Productivity enhancement, Raised bed planting systems, Wheat yield

Article Type: Technical Article

Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the Yekom Consulting Engineers Company for the financial and logistical support that they significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement:

All data generated during the manuscript analysis are included in the article. Further datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Javid Nayebi: Resources, Field data collection, Writing, Original draft preparation; **Masoud Pourgholam-Amiji**: Software, Results Interpretation, Formal analysis and investigation, Manuscript editing, Final review. **Iman Hajirad**: Methodology, Results Interpretation, Writing-Review and Editing, Software, Manuscript editing; **Seyed Rashed Alavi**: Conceptualization, Final editing Farnaz Nozari: Supervision, Final report review; **Mansoureh Akbarpour**: Writing, Editing.

*Corresponding Author, E-mail: mpourgholam6@ut.ac.ir

Citation: Nayebi, J., Pourgholam-Amiji, M., Hajirad, I., Alavi, S.R., Nozari, F., & Akbarpour, M. (2024). Improving wheat irrigation productivity in Iran (Part two: from the viewpoint of mechanization and farm management). *Water and Soil Management and Modeling*, *4*(1), 194-213.
DOI: 10.22098/mmws.2023.11938.1190

Received: 17 December 2022, Received in revised form: 14 February 2023, Accepted: 17 February 2023, Published online: 17 February 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 1, pp. 194-213

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

ارتقاء بهره‌وری آبیاری گندم در ایران (بخش دوم: از دیدگاه مکانیزاسیون و مدیریت مزرعه)

جاوید نایبی[۱]، مسعود پورغلام آمیجی[۲*]، ایمان حاجی‌راد[۲]، سید راشد علوی[۳]، فرناز نوذری[۴]، منصوره اکبرپور[۵]

[۱] کارشناس ارشد، بخش امور آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسین مشاور یکم، تهران، ایران

[۲] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۳] مدیر امور کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی، شرکت مهندسین مشاور یکم، تهران، ایران

[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۵] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

کمبود منابع آب برای تولید محصولات مختلف کشاورزی از جمله گندم، یکی از چالش‌ها و دغدغه‌های اصلی کشور بوده و راه‌حل اصلی آن بهبود و ارتقاء بهره‌وری آب است. در این راستا، باید با مصرف کم‌تر آب، بیش‌ترین تولید را حاصل کرد. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات برای تولید گندم، کمبود منابع آب و گسستگی روش‌های مختلف مدیریت آب، مزرعه و سامانه‌های آبیاری است. از طرفی برای اینکه مدیریت آب و مزرعه بیش‌ترین اثر را در افزایش بازده، کارایی و بهره‌وری مصرف آب داشته باشد، باید نهاده‌های مختلف از قبیل بذرهای هیبریدی و اصلاح‌شده، کود و سموم شیمیایی، استفاده از ابزارها و ماشین‌الات پیشرفته و عملیات مناسب کاشت، داشت و برداشت به طور مطلوب، صحیح و در زمان–مکان مناسب انجام شود. مناطقی که ۸۰ درصد کشت و تولید گندم (آبی و دیم) در آن وجود دارد، مناطق اصلی تولید گندم هستند. بنابراین طبق اصل پارِتو، ۱۳ استان گلستان، کرمانشاه، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، همدان، اردبیل، لرستان، مرکزی، خوزستان، فارس، خراسان رضوی، کردستان و زنجان، به‌عنوان مناطق اصلی تولید گندم در ایران انتخاب شدند. نتایج نشان داد که با داده‌های سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با توسعهٔ روش آبیاری کشت روی پشته‌های بلند در مناطق اصلی تولید گندم منجر به کاهش ۱۵۴/۲ میلیون مترمکعب آب کشاورزی می‌شود. هزینهٔ اجرایی این راه‌کار بر اساس متوسط اجرای هر هکتار کشت روی پشته‌های بلند ۵۰ میلیون ریال در سال ۱۴۰۰، برابر ۵۰۵۹ میلیارد ریال است. در نتیجه به‌کارگیری روش‌های نوین کشت روی پشته‌های بلند می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی منجر به ارتقاء بهره‌وری آب گندم در کشور شود.

واژه‌های کلیدی: افزایش بهره‌وری، سامانهٔ آبیاری، سیستم کشت روی پشته‌های بلند، عملکرد گندم

نوع مقاله: فنی و ترویجی

[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mpourgholam6@ut.ac.ir

استناد: نایبی، جاوید، پورغلام آمیجی، مسعود، حاجی‌راد، ایمان، علوی، سید راشد، نوذری، فرناز و اکبرپور، منصوره (۱۴۰۳). ارتقاء بهره‌وری آبیاری گندم در ایران (بخش دوم: از دیدگاه مکانیزاسیون و مدیریت مزرعه). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۱۹۴–۲۱۳.

DOI: 10.22098/mmws.2023.11938.1190

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۱۹۴ تا ۲۱۳

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

خاک‌ورزی‌های شدید با ادواتی هم‌چون گاوآهن برگردان‌دار و دیسک و باران‌های با شدت زیاد که ناشی از تغییرات اقلیمی باشد، به‌عنوان عوامل اصلی ناپایدارکنندهٔ کشاورزی و فرسایش خاکی عمل می‌کند (Ritchie et al., 2007). تخریب حدود ۴۰۰ میلیون هکتار از اراضی زراعی از زمان جنگ جهانی دوم گزارش شده است. این سطح به‌دلیل تخریب شدید و فرسایش ناشی از سامانه‌های کشاورزی مبتنی بر شخم در کشورهای صنعتی و نیمه‌صنعتی است (Jie et al., 2002). مدارک و شواهد در سراسر جهان تجربی و علمی به‌وضوح نشان می‌دهد که علل ریشه‌ای تخریب خاک در کاربری اراضی کشاورزی و کاهش بهره‌وری، همان‌طور که در شرایط فقدان سلامت خاک و رهاسازی زمین دیده می‌شود، مرتبط با دست‌کاری مکانیکی خاک از طریق عملیات خاک‌ورزی است (Ghani Akbar et al., 2007). دست‌کاری مکانیکی خاک با گاوآهن برگردان‌دار، انواع دیسک، هرس‌ها، روتیواتورها و سایر ابزارهای مکانیکی برای آماده شدن زمین جهت استقرار بذر و کنترل علف‌های هرز صورت می‌گیرند. این دست‌کاری‌های مکانیکی به از دست رفتن مواد آلی خاک، ساختار خاک و سلامت خاک منجر می‌شود و بسیاری از فرآیندهای اکوسیستمی مهم خاک و محیط‌زیست را از میان می‌برد (Watts, 2018).

آمار گزارش شده از این‌گونه خرابی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های گذشته این معضل یکی از مشکلات رایج در کشاورزی ایران بوده است. بنابراین، شناسایی و استفاده از روش‌های بهینهٔ کشت که ضمن داشتن تولید بهینه از خسارت‌های بارش‌های سیل‌آسا در گزند و حداقل فرسایش خاک را داشته باشد، می‌تواند به‌عنوان راه‌حل اساسی در برخورد با این معضل عمل کند (Asadi and Faghani, 2020; Heydari, 2022). از طرفی با افزایش روزافزون جمعیت جهان به‌ویژه در کشورهای رو به توسعه و متعاقب آن تشدید استفاده از منابع آب بیش‌تر برای تأمین غذای جمعیت رو به رشد، نیاز به استفاده از سامانه‌های صرفه‌جو در مصرف آب کشاورزی و استفاده از فناوری‌های جدید بیش از پیش احساس می‌شود (Pourgholam-Amiji et al., 2021; Ling, 2022; Leng et al., 2023). یکی از راه‌کارهای جدید برای کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد محصول و کاهش هزینه‌های تولید، استفاده از روش نوین سیستم کاشت روی پشته‌های بلند (RBPS[1])، است. هدف اصلی از اجرای این روش، افزایش بهره‌وری نهاده‌ها و صرفه‌جویی در میزان مصرف آب آبیاری است (Govaerts et al., 2007).

گندم یکی از قدیمی‌ترین و پرارزش‌ترین گیاهان روی زمین که بیش از هر محصول دیگر در دنیا کشت می‌شود و بیش‌ترین تأمین‌کنندهٔ کالری و پروتئین در جیرهٔ غذایی مردم به‌حساب می‌آید. بررسی ارقام بهره‌وری آب گندم در کشورهای همسایهٔ ایران و یا کشورهای با اقلیم مشابه حاکی از آن است که در این کشورها نیز بهره‌وری آب از سطح مطلوبی برخوردار نیست. برای مثال، بهره‌وری آب در حوضهٔ رودخانهٔ زرد چین برای گندم ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Cai et al., 2010). بررسی بهره‌وری آب در هندوستان نشان داد که بین حوضه‌های آبریز مختلف آن کشور بهره‌وری آب برای گندم ۱/۴۹-۰/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر است (Tuong et al., 2005). در منطقهٔ پنجاب که از مناطق مهم و وسیع کشاورزی پاکستان است، بهره‌وری آب گندم در شرایطی که مدیریت عملیات زراعی بدون خاک‌ورزی است، حداکثر ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب و در شرایط کشت روی پشته ۱/۳۶-۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است. به‌طور متوسط در پاکستان بهره‌وری آب گندم ۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده که ۲۴ درصد کم‌تر از متوسط جهانی (تقریباً یک کیلوگرم بر مترمکعب آب) است (Ali et al., 2016). این در حالی است که بهره‌وری آب گندم در مناطق نیمه‌خشک ترکیه با توجه به مدیریت کاشت ۰/۲۳ تا ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر است (Yazar et al., 2006). مقادیر پیشنهادی فائو برای بهره‌وری آب گندم در این منطقه ۰/۴ تا ۰/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب است (Zwart et al., 2004).

کشور مصر شباهت زیادی با مناطق خشک کشور ایران دارد. بررسی مقایسه‌ای بین کشور مصر و ایران در خصوص بهره‌وری آب برخی محصولات نشان‌دهندهٔ آن است که مقدار آن در کشور مصر به‌طور قابل‌توجهی بیش از مقدار آن برای محصولات مشابه در ایران است. بهره‌وری آب گندم در سال ۲۰۰۲ در کشور مصر به‌طور متوسط برابر با ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است (در سال ۲۰۰۷ برابر با ۱/۳۶) که مقدار آن در همان سال در ایران برابر با ۰/۵ (در سال ۲۰۰۷ برابر با ۰/۷۷) گزارش شده است (FAO, 2018; Pauly and Zeller, 2019). در سال‌های اخیر اقداماتی در راستای بهبود و ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی صورت گرفته که یکی از آن ها استفاده از روش‌های نوین سیستم کشت روی پشته‌های بلند در زراعت گندم است. مزایای سیستم کشت روی پشته‌های عریض عبارت است از کاهش عملیات خاک‌ورزی، کنترل مکانیکی علف‌های هرز در زمان کاشت، کاهش سموم مصرفی، زود سبز شدن محصول و یکنواختی آن، جذب بهتر کود

[1] Raised Bed Planting Systems

اوره، فراهم شدن خاک نرم و مناسب در قسمت پشته‌ها، کاهش هزینهٔ تولید، افزایش راندمان آبیاری و افزایش فاصلهٔ آبیاری بین خاک آب و پیش‌آب. در این روش آبیاری چند ردیف گندم روی پشتهٔ نسبتاً عریض کشت می‌شود. حرکت آب در داخل جوی بوده و پشته خیس نمی‌شود. تنها در آبیاری اول و در خاک آب روی پشته برای جوانه‌زنی خیس می‌شود و در آبیاری‌های بعدی نیازی نیست که روی پشته خیس بشود. لذا، میزان تبخیر به میزان زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین به‌علت خیس نشدن خاک روی پشته در بین چند ردیف کاشت، نیاز آبی خالص گیاه کاهش یافته و درصد نیاز آبی خالص استاندارد در این روش آبیاری حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند اولین‌بار توسط کشاورزان درهٔ یاکی واقع در شمال غربی کشور مکزیک در دهه ۱۹۷۰ میلادی برای کشت گندم روی بسترهای باریک با روش آبیاری شیاری استفاده شد (Sayre and Moreno Ramos, 1997; Fischer et al., 2005).

بررسی و پژوهش‌های بیش‌تر توسط مرکز تحقیقات بین‌المللی گندم و ذرت موسوم به سیمیت[1] نشان داد که تا سال ۱۹۹۱ در حدود ۶۵ درصد گندم آن منطقه روی بسترهایی با عرض ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر (شیار تا شیار) کاشته می‌شد اما در سال ۲۰۰۱ این مقدار به ۸۴ درصد رسید. استقبال از کشت روی بسترهای بلند بسیار مورد توجه کشاورزان آن منطقه بوده و روز به روز در سطح جهان و ایران در حال گسترش است (Rajaram et al., 2002). بررسی‌های Ali et al. (2016) نشان می‌دهد که سیستم کاشت روی پشته‌های عریض نسبت به روش کاشت مرسوم روی سطح صاف و آبیاری غرقابی، باعث افزایش عملکرد گندم به میزان ۲۵ درصد و کاهش آب مصرفی به میزان ۲۳ درصد شده است. بنابر گزارش Karrou et al. (2012) استفاده از سیستم کشت روی پشته‌های عریض تأثیری بر عملکرد گندم و ذرت نداشته، اما باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شده است. در ادامه، Ram et al. (2012) در شمال غربی هند گزارش کردند که بهره‌وری مصرف آب در روش کشت روی پشته‌های عریض، نسبت به کشت در سطح صاف در دو محصول ذرت و گندم به‌ترتیب ۷۸ و ۲۳ درصد افزایش داشته است. هم‌چنین پژوهش انجام شده توسط Wang et al. (2011) در چین نشان می‌دهد که روش کشت روی پشته‌های عریض، نسبت به روش کشت سطح صاف عملکرد گندم را بین ۷ تا ۱۳ درصد افزایش داده است. در پژوهشی، Gholinezhad and Eivazi (2022) مقایسهٔ روش‌های کشت پشته‌ای و سنتی گندم در مقادیر متفاوت آبیاری در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار دادند. عامل اول شامل مقادیر متفاوت آبیاری در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری خالص) و عامل دوم روش کشت در چهار سطح (کاشت کرتی، کاشت سه خط روی پشته (عرض پشته ۳۰ سانتی‌متر)، کاشت چهار خط روی پشته (عرض پشته ۴۵ سانتی‌متر) و کاشت پنج خط روی پشته (عرض پشته ۶۰ سانتی‌متر)) بود. نتایج این پژوهش نشان داد بین سطوح مختلف آبیاری از صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه (به‌جز وزن ۱۰۰۰ دانه) تفاوت معناداری مشاهده نشد. مقایسهٔ میانگین نشان داد بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد دانه (۳/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و عملکرد بیولوژیک (۸/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب) با تأمین ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری حاصل شد. با توجه به کمبود آب و خشکسالی، تأمین ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری (کاهش ۵۰ درصد حجم آب) و کشت سه خط روی پشته توصیه شد.

افزایش بهره‌وری آب محصولات کشاورزی با دو ایدهٔ کلی "کاهش مصرف آب با حفظ عملکرد" و "مصرف فعلی آب با افزایش عملکرد" امکان‌پذیر است. بررسی تجربیات داخلی و بین‌المللی در ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی نشان داد که افزایش بهره‌وری آب فقط از طریق فناوری‌های نوین آبیاری است، بلکه نیازمند تغییرات فراتری هستند که شامل بهبود تدابیر و راه‌کارهای تلفیقی شامل فنی، زراعی و مدیریتی است. بنابراین، در یک تقسیم‌بندی کلی، روش‌های افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی به دو بخش مدیریت آبیاری و مدیریت مزرعه‌ای تقسیم می‌شوند. مدیریت آبیاری همان سامانه و روش‌های آبیاری و مدیریت مزرعه‌ای همان روش‌های زراعی به‌کار گرفته شده هستند. در این پژوهش، موضوع بسیار مهم ارتقاء بهره‌وری آب گندم در ایران از دیدگاه مکانیزاسیون و مدیریت مزرعه مورد بررسی قرار گرفته که تاکنون چنین مطالعهٔ جامعی در کشور انجام نشده است.

۲- مواد و روش

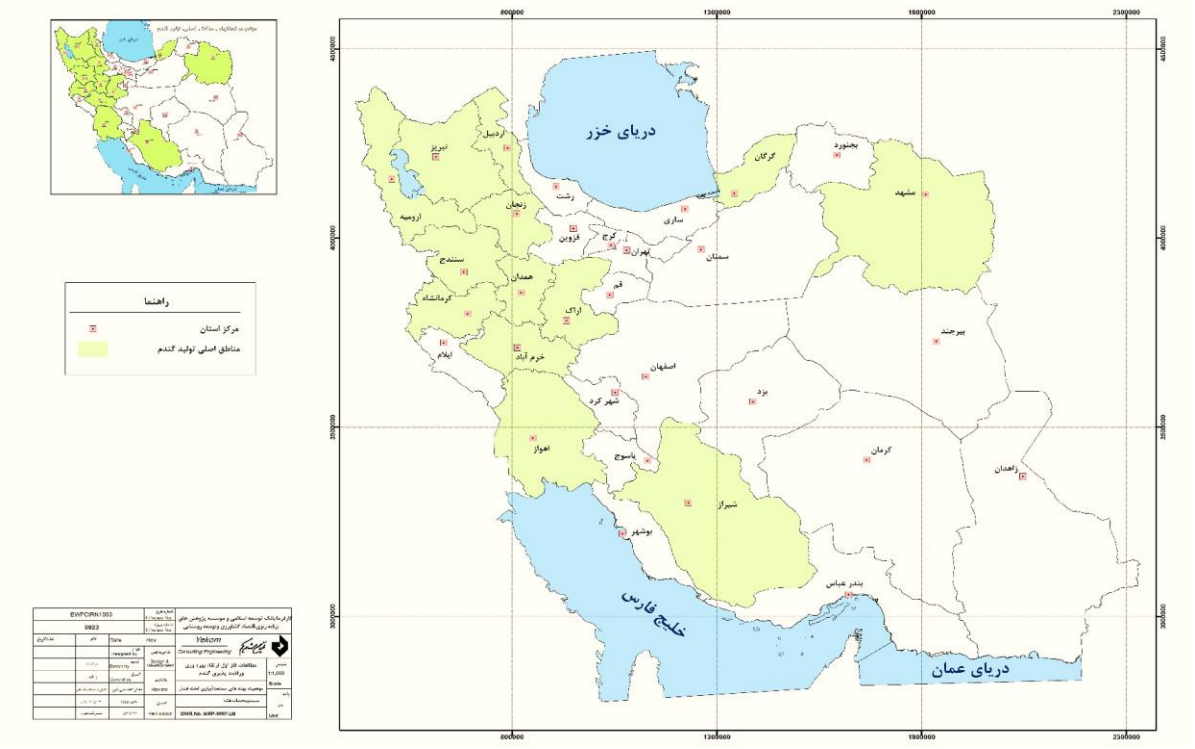
ابتدا نسبت به تعیین مناطق اصلی کشت بر اساس اصل پارِتو[2] اقدام شد. مناطقی را که ۸۰ درصد کشت و تولید گندم (آبی و دیم) در عرصهٔ سرزمینی جمهوری اسلامی ایران در آن‌ها انجام می‌شود را می‌توان به‌عنوان مناطق اصلی تولید گندم در نظر گرفت. دورهٔ آماری تحلیل شده نیز مربوط به شش سال زراعی (۹۲-۱۳۹۱

[1] CIMMYT

[2] Pareto Principle

لغایت ۹۷-۱۳۹۶) بودند. دلیل انتخاب این دوره، اثرات احتمالی خطاهای آماری و یا نوسانات سطح زیرکشت و تولید ناشی از عوامل محیطی غیرقابل‌کنترل (گرما، سرما، خشک‌سالی، ترسالی و غیره) در یک سال خاص به حداقل کاهش یابد.

با توجه به روش‌شناسی ذکر شده (Pourgholam-Amiji et al., 2024)، در نهایت ۱۳ استان (Heydari, 2022) به‌عنوان مناطق اصلی تولید گندم در ایران معرفی شده و در این مطالعه نیز تمرکز اصلی روی این مناطق خواهد بود. در شکل ۱، موقعیت مناطق اصلی تولید گندم در کشور نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت مناطق اصلی تولید گندم در کشور

Figure 1- The location of the main wheat production areas in Iran

۲-۱- وضعیت مساحت تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری در کشور

در جدول ۱ مساحت تحت پوشش هر یک از سامانه‌های نوین آبیاری در اراضی پایاب چاه‌ها و منابع آب کوچک و اراضی تحت پوشش شبکه‌ها، پایاب سدها و بندهای انحرافی به تفکیک استان‌های کشور ارائه شده است. برای اطلاعات بیش‌تر می‌توان به Pourgholam-Amiji et al. (2024) رجوع کرد.

در ۱۳ استان منتخب که قطب اصلی تولید گندم کشور هستند، ۶۲/۸ درصد به آبیاری بارانی اختصاص داشته و سهم آبیاری موضعی و کم‌فشار به‌ترتیب ۳۰/۹ و ۶/۳ درصد است. با توجه به این‌که اکثر اراضی تحت پوشش آبیاری موضعی، از نوع قطره‌ای بوده و مربوط به باغات است، بنابراین مجموع اراضی زراعی زیر پوشش سامانه‌های نوین آبیاری (بارانی و کم‌فشار) برابر ۱۱۹۱۵۷۳ هکتار است.

در جدول ۲ مساحت تحت پوشش روش‌های نوین و سنتی آبیاری به تفکیک استان‌های کشور ارائه شده است. مطابق این جدول، حدود ۲۰ درصد از اراضی زراعی تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری بوده و ۸۰ درصد نیز با روش‌های سنتی آبیاری می‌شوند. اطلاعات بیش‌تر از مرجع Pourgholam-Amiji et al. (2024) قابل دستیابی است.

جدول ۱- سطوح تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری در اراضی پایاب چاه‌ها و منابع آب کوچک و شبکه‌های آبیاری (هکتار)

Table 1- Area covered by modern irrigation systems in the lands following wells and small water sources and irrigation networks (ha)

ردیف	استان	بارانی	موضعی	کم‌فشار	مجموع	درصد از کل	پایاب شبکه‌ها و بندهای
1	فارس	93849	143568	2981	240398	11.4	95927
2	خراسان رضوی	63320	83228	30648	177196	8.4	5783
3	همدان	125020	5585	12339	142944	6.8	2013
4	کرمانشاه	69633	7561	4672	81866	3.9	76391
5	آذربایجان غربی	49668	13823	4317	67808	3.2	132746
6	گلستان	56802	7741	2599	67142	3.2	56307
7	آذربایجان شرقی	32033	29358	4127	65518	3.1	41300
8	مرکزی	49747	13655	1852	65254	3.1	6266
9	کردستان	48822	4618	3078	56518	2.7	18787
10	لرستان	50873	5210	0	56083	2.7	8250
11	خوزستان	30106	19419	1884	51409	2.4	495538
12	زنجان	33890	16576	196	50662	2.4	4843
13	اردبیل	18264	4263	3733	26260	1.2	119649
14	اصفهان	69986	37619	18468	126073	6	93156
15	هرمزگان	1947	109201	148	111296	5.3	13667
16	کرمان	25378	134579	12502	172459	8.2	5205
17	چهارمحال و بختیاری	44444	16273	239	60956	2.9	10359
18	تهران	20912	27626	8514	57052	2.7	67836
19	قزوین	18336	27334	4939	50609	2.4	70000
20	مازندران	9751	31890	1643	43284	2.1	14482
21	بوشهر	2603	25756	0	38359	1.8	10823
22	سیستان و بلوچستان	11311	19974	6092	37377	1.8	53273
23	سمنان	8236	22761	5409	36406	1.7	24756
24	کهگیلویه و بویراحمد	16436	18428	2	34866	1.7	6628
25	ایلام	26459	7232	0	33691	1.6	94944
26	یزد	1549	18812	11026	31387	1.5	3300
27	خراسان شمالی	14843	10307	6155	31305	1.5	4818
28	خراسان جنوبی	1660	8019	17979	27658	1.3	1389
29	قم	3391	10281	12378	26050	1.2	20759
30	گیلان	3321	10084	4824	18229	0.9	42150
31	البرز	5766	10060	473	16299	0.8	4870
	مجموع ۱۳ استان	1149058	72426	354605	722027	-	1063800
	درصد ۱۳ استان	62.8	30.9	6.3	100		66.2
	مجموع کل کشور	1008356	900841	183217	2102414	100	1606215
	درصد کل کشور	48.5	42.8	8.7	100		33.8

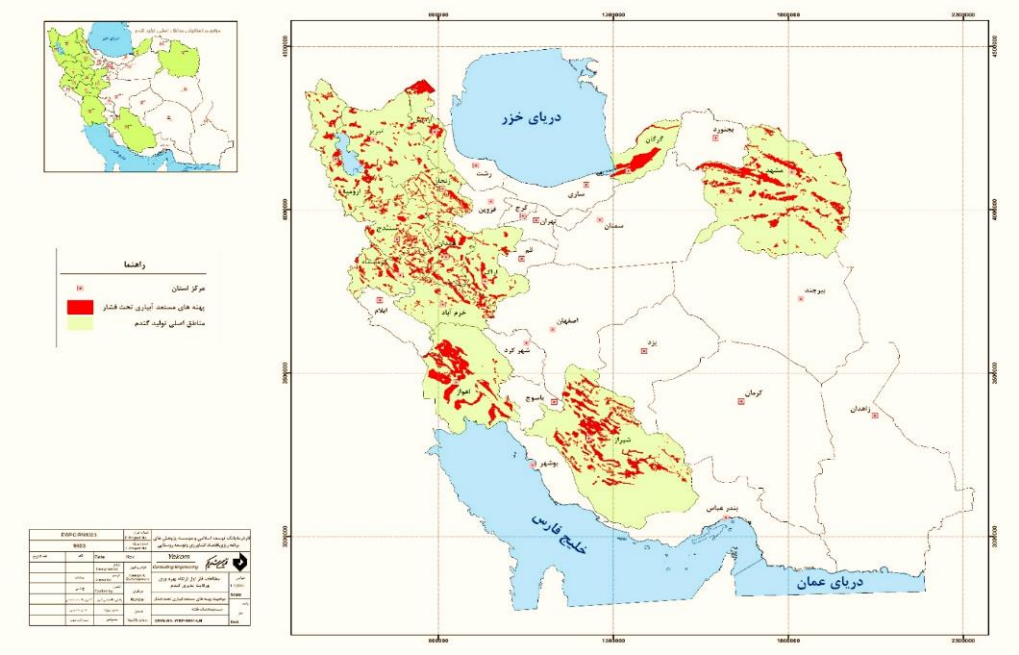
جدول ۲- مساحت تحت پوشش روش‌های سنتی و نوین آبیاری به تفکیک استان‌های کشور (هکتار)

Table 2- Area covered by traditional and modern irrigation methods by provinces of Iran (ha)

ردیف	استان	اراضی زراعی	آبیاری مدرن	آبیاری سنتی	درصد مدرن	درصد سنتی
1	فارس	528220	96830	431390	8.1	8.7
2	خراسان رضوی	408007	93968	314039	7.9	6.3
3	همدان	195275	137359	57916	11.5	1.2
4	کرمانشاه	194644	74305	120339	6.2	2.4
5	آذربایجان غربی	291038	53985	237053	4.5	4.8
6	گلستان	412034	59401	352633	5	7.1
7	آذربایجان شرقی	208295	36160	172135	3	3.5
8	مرکزی	156403	51599	104804	4.3	2.1
9	کردستان	95842	51900	43942	4.4	0.9
10	لرستان	137448	50873	86575	4.3	1.7
11	خوزستان	966673	31990	934683	2.7	18.9
12	زنجان	109141	34086	75055	2.9	1.5
13	اردبیل	218381	21997	196384	1.8	4
14	اصفهان	244930	88454	156476	7.4	3.2
15	هرمزگان	67045	2095	64950	0.2	1.3
16	کرمان	287821	37880	249941	3.2	5
17	چهارمحال و بختیاری	78308	44683	33625	3.7	0.7
18	تهران	131557	29426	102131	2.5	2.1
19	قزوین	145317	23275	122042	2	2.5
20	مازندران	362383	11394	350989	1	7.1
21	بوشهر	48970	2603	46367	0.2	0.9
22	سیستان و بلوچستان	129764	17403	112361	1.5	2.3
23	سمنان	64791	13645	51146	1.1	1
24	کهگیلویه و بویراحمد	46010	16438	29572	1.4	0.6
25	ایلام	89656	26459	63197	2.2	1.3
26	یزد	31060	12575	18485	1.1	0.4
27	خراسان شمالی	107979	20998	86981	1.8	1.8
28	خراسان جنوبی	69512	19639	49873	1.6	1
29	قم	39150	15769	23381	1.3	0.5
30	گیلان	240251	8145	232106	0.7	4.7
31	البرز	38893	6239	32654	0.5	0.7
	مجموع ۱۳ استان	3921401	794453	3126948	-	-
	درصد ۱۳ استان	100	20.2	79.8		
	مجموع کل کشور	6144798	1191573	4953225	100	100
	درصد کل کشور	100	19.4	80.6		

۲-۲- وضعیت اراضی دارای پتانسیل آبیاری تحت‌فشار در کشور

مطالعات مربوط به امکان‌سنجی توسعهٔ روش‌های آبیاری تحت‌فشار توسط تعدادی از شرکت‌های مهندسین مشاور و به کارفرمایی وزارت جهاد کشاورزی برای هر یک از استان‌ها انجام شده است. در این بخش از نتایج این مطالعات استفاده شده است. در شکل ۲ موقعیت پهنه‌های مستعد آبیاری تحت‌فشار در استان‌های اصلی تولید گندم در کشور مشخص شده است (Pourgholam-Amiji et al., 2024).



شکل ۲- موقعیت پهنه‌های مستعد آبیاری تحت‌فشار در استان‌های اصلی تولید گندم در کشور (نویسندگان)

Figure 2- The location of areas prone to pressurized irrigation in the main wheat production provinces in Iran (Authors)

به‌طورکلی روش‌های آبیاری گندم را می‌توان به سه دسته شامل: ۱) آبیاری سطحی، ۲) آبیاری کم‌فشار (لوله‌های دریچه‌دار) و ۳) آبیاری تحت‌فشار تقسیم‌بندی نمود. آبیاری سطحی شامل کرتی، نواری و شیاری (فارو) و کشت روی پشته‌های بلند و آبیاری تحت‌فشار شامل آبیاری موضعی (تیپ) و آبیاری بارانی است. از طرفی هر یک از سامانه‌های نوین آبیاری به‌طور بالقوه دارای مزایایی هستند که اگر نکات لازم در طراحی، اجرا و بهره‌برداری آن رعایت شود، می‌تواند بسیار مفید و مثمر ثمر واقع شده و موجب بهبود وضعیت محصول و افزایش کارآیی مصرف آب شود. یکی از روش‌های ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در گندم می‌تواند استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی باشد.

۲-۳- ارتقاء سیستم سنتی آبیاری (کشت روی پشته‌های بلند)

در این بخش یک سامانهٔ سنتی آبیاری اما با روش جدید مدیریتی برای افزایش عملکرد و بهره‌وری آب و کاهش مصرف آب در محصولات مختلف زراعی به‌ویژه گندم معرفی شده است. روش نوین سیستم کشت روی پشته‌های بلند (RBPS)، مورد توجه معاونت زراعت و مرکز توسعهٔ مکانیزاسیون بوده و راه‌کاری برای کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد محصول و کاهش هزینه‌های تولید است. هدف اصلی از اجرای این روش، افزایش بهره‌وری نهاده‌ها و صرفه‌جویی در میزان مصرف آب آبیاری است. پژوهش‌ها نشان داده است که میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند در مقایسه با روش‌های کشت با آبیاری مرسوم (غرقابی) از ۱۸ تا ۵۲ درصد متفاوت بوده است (Fahong et al., 2004). اگرچه هنوز تعداد ماشین‌های مورد نیاز برای کاشت گندم روی پشته‌های بلند در کشور مشخص نشده است، اما برنامه‌ریزی‌ها در جهتی است که در آینده، تعدادی از خطی‌کارها و حتی ماشین‌های کشت مستقیم، به تجهیزات کشت روی پشته‌های بلند مجهز شوند. به‌طورکلی، کشت گندم و سایر محصولات زراعی روی پشته، عمدتاً به یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود (Eyvani and Dehghan, 2018; Asadi and Faghani, 2020):

۱) جوی پشته‌کاری محصولات ردیفی.

۲) جوی پشته‌کاری گندم با ماشین جوی پشته کار غلات.

۳) ایجاد جوی پشته پس از بذرپاشی گندم.

۴) کشت گندم روی پشته‌های بلند (روش نوین).

سیستم کشت روی پشته‌های بلند که در مراکز تحقیقاتی خارجی و داخلی مورد تأیید قرار گرفته است، برتری قابل‌توجهی نسبت به سایر روش‌های آبیاری سنتی و سطحی دارد که در این بخش سعی شده جزییات آن کامل بررسی شود. سرفصل مطالبی که برای روش پیشنهادی کشت گندم روی پشته‌های بلند ارائه شده است، شامل موارد زیر است:

۱) تعیین نقاط قوت و ضعف سیستم آبیاری کشت روی پشته‌های بلند

۲) تعیین عملکرد، مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب با کاربرد سیستم کشت روی پشته‌های بلند (جنبه‌های فنی)
۳) برآورد هزینه‌های مورد نیاز برای اجرای سیستم کشت روی پشته‌های بلند (جنبه‌های مالی و اقتصادی)
۴) تعیین وسعت سیستم کشت روی پشته‌های بلند در مناطق اصلی تولید گندم
۵) تهیهٔ دستورالعمل اجرایی سیستم کشت روی پشته‌های بلند در زراعت گندم.

۲-٤- نقاط قوت سیستم آبیاری کشت روی پشته‌های بلند

در این روش، کشت گندم روی پشته‌هایی انجام می‌شود که ارتفاع آن‌ها حداقل ۲۰ سانتی‌متر و عرض آن‌ها حدود ۹۰-۵۰ سانتی‌متر باشد. درصورتی‌که زمین خاک‌ورزی و تسطیح شده باشد، این پشته‌ها توسط ماشین کارندهٔ ویژهٔ کشت روی پشته‌های بلند ایجاد شده و بذرها در سه یا چهار خط روی پشته‌ها کاشته می‌شود. لازم به ذکر است که انتخاب عرض پشته‌ها تابع شرایط خاک، محصول یا محصولات مورد کشت (تناوب زراعی)، نوع پشته‌های بلند (موقت یا دائمی)، میزان رواناب سطحی ناشی از باران و اقلیم منطقه است. در این روش کاشت، مانند کشت جوی پشته‌ای محصولات ردیفی، آب آبیاری تنها در جویچه‌های بین پشته‌ها حرکت کرده و تا انتهای مزرعه پیش می‌رود و با نشت و نفوذ به درون پشته‌ها (بدون جریان یافتن آب روی پشته‌ها) آن‌ها را کاملاً خیس می‌کند. از دیگر مزایای سیستم کشت روی پشته‌های بلند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Eyvani and Dehghan, 2018; Asadi and Faghani, 2020):

۱) افزایش عملکرد گندم در هکتار.
۲) بهبود در تهویهٔ خاک و رشد بیش‌تر ریشه‌ها.
۳) افزایش درصد سبز شدن بذرها و کاهش مصرف بذر.
۴) کاهش سله‌بندی و خفگی بذر و کاهش فرسایش خاک.
۵) کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها، افزایش راندمان مصرف سموم و کود سرک.
۶) کاهش خطر ماندابی در مزرعه، کاهش خطر ورس و کاهش بیماری‌های قارچی.
۷) کاشت گندم روی پشته‌های بلند به‌علت حذف مرزهای آبیاری به‌عنوان یک روش دوست‌دار کمباین.

۲-۵- نقاط ضعف سیستم آبیاری کشت روی پشته‌های بلند

هر روش آبیاری و هر نوع مدیریت و فناوری جدید و نوین، یک سری نقاط قوت و طبیعتاً یک سری نقاط ضعف دارد که پژوهش‌گران در تلاش هستند تا از نقاط ضعف آن‌ها بکاهند. سیستم کاشت گندم روی پشته‌های بلند نیز از این قاعده مستثنا نیست و نقطه ضعف‌هایی دارد. البته بیش‌تر آن مربوط به نوپا بودن و عدم توسعهٔ وسیع آن در کشور و به‌ویژه مناطق اصلی تولید گندم است که قطعاً در آینده‌ای نزدیک، از نقاط ضعف آن کاسته خواهد شد (شکل ۳). از معایب سیستم کشت روی پشته‌های بلند می‌توان موارد زیر را برشمرد (Eyvani and Dehghan, 2018; Asadi and Faghani, 2020):

۱) نیاز به تسطیح اراضی.
۲) نیاز به کنترل دقیق علف‌های هرز.
۳) نیاز به سله‌شکنی مسیر آب در خاک‌های چسبنده.
۴) نیاز به هزینهٔ خرید یا اجارهٔ ماشین‌آلات برای آماده‌سازی زمین.
۵) عدم وجود ماشین‌آلات لازم برای احداث این سیستم در کل کشور.
۶) نیاز به کارگر برای کنترل و مدیریت آبیاری و محصول در اراضی تحت کشت.
۷) نیاز به پژوهش‌های بیش‌تر برای حصول نتایج دقیق‌تر با توجه به جدید بودن سیستم.

شکل ۳- استفاده از سیستم کشت روی پشته‌های بلند (به همراه نوار تیپ) در زراعت گندم

Figure 3- The use of the raised beds planting systems (along with tape) in wheat cultivation

۲-٦- تعیین عملکرد، مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب با کاربرد سیستم کشت روی پشته‌های بلند

مهم‌ترین چالش پیش روی تولیدات کشاورزی در سراسر جهان و کشاورزانی که باید مواد غذایی را تولید کنند، افزایش چشم‌گیر بهره‌وری آب در هر دو سامانهٔ اراضی آبی و دیم و افزایش بهره‌وری خاک‌ها به‌ویژه برای حفظ یا افزایش مادهٔ آلی، حاصل‌خیزی و

کاهش فرسایش خاک، کاهش چشم‌گیر میزان آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز است. اجرای اصول کشاورزی حفاظتی[1] ابزارهایی را برای بهبود بهره‌وری در مصرف آب، بهره‌وری خاک و کنترل آفات فراهم می‌کند. سه اصل کشاورزی حفاظتی شامل کاهش چشم‌گیر خاک‌ورزی با هدف نهایی رسیدن به عملیات بدون خاک‌ورزی (خاک‌ورزی صفر)، حفظ پوشش‌گیاهی کافی یا بقایای محصول قبلی در سطح خاک و تنوع گیاهی یا تناوب محصولات است. یکی از فناوری‌های نوین کشاورزی حفاظتی، سامانه‌های کشت روی بسترهای بلند دائم[2] یا موقت است که یک فناوری مبتنی بر کشاورزی حفاظتی است و به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا اصول کشاورزی حفاظتی را به‌طور مؤثری در مزارع خود اجرا کنند. سامانهٔ نوین کشت روی بسترهای بلند دایم در جهت توجه به شیوه‌های نوین تولیدات کشاورزی و افزایش بهره‌وری اراضی زراعی است که نقش مهمی در حفظ خاک و صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی به‌عنوان منابع پایه دارد. این سیستم می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید، حفظ خاک و صرفه‌جویی در مصرف آب کمک کند (Asadi and Faghani, 2020).

استفاده از سامانهٔ نوین کشت روی بسترهای بلند با استفاده از عملیات بدون خاک‌ورزی و کشت مستقیم روی این بسترها توأم با حفظ بقایا، یکی از راه‌کارهای بسیار اثربخش برای کاهش معضلات تولیدات به روش سنتی و برای تأمین امنیت غذایی و کاهش هزینه‌های تولید کشاورزان است. با توجه به این‌که حدود شش میلیون هکتار از اراضی کشاورزی در کشور به‌صورت آبی است و در غالب آنان آبیاری سطحی اعمال می‌شوند، می‌توان با رویکرد دگرگون کردن سامانهٔ کشت‌های سنتی و کرتی و نواری ناقص امروز این اراضی آبی، از این سامانه‌های نوین به سهولت استفاده کرد. برتری‌های این روش نسبت به کشت‌های مرسوم و مسطح که متکی بر دست‌کاری شدید خاک با استفاده از ادوات سنگین کشاورزی و ترددهای بسیار تراکتور و ماشین‌های کشاورزی است، در منابع مختلف گزارش شده است (Alagbo et al., 2022). بنابراین، یکی از راه‌کارهای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، استفاده از سامانه‌های کشاورزی حفاظتی و کشت روی بسترهای بلند[3] یا اصطلاحاً ریز بد است. استفاده از سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند برای محصولاتی از قبیل گندم و جو، کلزا، سویا، ذرت، پنبه، سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی به‌خاطر مصرف آب کم‌تر توصیه شده است. در این روش با توجه به نوع محصول دو الی چهار ردیف بذر روی پشته‌های بلند و عریض کاشته می‌شود. در این روش هدایت آب در زمین از طریق جویچه‌ها انجام می‌شود؛ به‌طوری‌که رطوبت به‌صورت جانبی به محل استقرار بذرها نفوذ کرده و حالت غرقابی ایجاد نمی‌شود. در سامانهٔ ریز بد، بسترها هم‌زمان با کشت ایجاد شده و بسترها به‌صورت دائمی نگهداری می‌شوند و فقط شیارها در صورت نیاز مجدداً بازسازی و فرم داده می‌شوند. زهکشی سریع آب آبیاری از شیارها و جلوگیری از اثرات آب ماندگی و غرقابی‌شدن محیط رشد گیاه مثل ورس و خوابیدگی، کاهش فرسایش در مناطق پرباران، کاهش سله‌بندی و خفگی بذر از دیگر مزایای استفاده از این روش است.

در شکل ۴ نمونه‌ای از کشت گندم روی پشتهٔ نسبتاً عریض نشان داده شده است. در این روش آبیاری آب روی پشته سوار نشده و زمین غرقاب نمی‌شود. هم‌چنین، به‌علت حرکت آب در داخل شیار، آب با سهولت و سرعت بیش‌تری به انتهای زمین می‌رسد و با رعایت سایر جوانب مورد نیاز، راندمان کاربرد آب در مزرعه تا ۸۰ درصد قابل افزایش است. در غلات، این روش آبیاری می‌تواند نسبت به آبیاری غرقابی ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نماید. در این روش آبیاری در آبیاری اول (خاک آب) قسمت بالایی پشته‌ها به‌صورت صعود مویینگی و جریان روبه بالا خیس می‌شود تا بذرها بتوانند رشد ابتدایی خود را انجام دهند. با ریشه‌دوانی گیاه و رسیدن ریشه‌ها به عمق بیش‌تر از ۱۵ سانتی‌متر، نیازی نیست که قسمت بالایی پشته‌ها به‌صورت نشت خیس بشود و با آبیاری مناسب در آبیاری دوم و به بعد، قسمت بالایی پشته‌ها خیس نشده و تبخیر به‌شدت کاهش خواهد یافت (Tewabe et al., 2020; Rady et al., 2020). برای حصول نتیجهٔ بهتر، توصیه می‌شود بذرها با عمیق کار کاشته شود تا نیازی به بالا بردن ارتفاع آب در جویچه آبیاری نباشد. هم‌چنین، توصیه می‌شود گندم روی بقایای محصول سال قبل کاشته شود.

شکل ٤- کشت چند ردیف گندم روی پشته

Figure 4- Cultivation of several rows of wheat on the bed

[1] Conservation Agriculture
[2] Permanent Raised Bed Cropping System
[3] Raised Bed

برای اجرای روش‌های نوین کشت بایستی زمین از تسطیح مناسبی برخوردار باشد؛ زیرا برای آبیاری یکنواخت مزرعه، بایستی زمین هموار بوده و دارای شیب یکنواخت و معینی باشد. اگر شیب کلی زمین مناسب بوده اما زمین کمی ناهموار باشد، انجام یک یا دو بار مالهٔ (لولر) معمولی برای تسطیح زمین کفایت می‌کند. در صورت مناسب نبودن شیب کلی زمین و وجود ناهمواری زیاد در مزرعه، برای برخورداری کامل از مزایای کشت گندم روی پشته‌های بلند، لازم است زمین با مالهٔ لیزری تسطیح اساسی شود و این کار هر پنج سال یک‌بار تکرار می‌شود (شکل ۵).

شکل ۵- تسطیح زمین توسط مسطح‌کننده لیزری

Figure 5- Ground leveling by laser leveler

کشت گندم روی پشته‌های بلند از نگاه برداشت کمباینی دارای مزیت است. کشاورزان برای به‌دست آوردن حداکثر کاه از زمین، کمباین‌داران را مجبور می‌کنند که محصول را کف‌بر نمایند. کف‌بری محصول در روش مرسوم کشت گندم به‌صورت نواری و کرتی، با محدودیت‌هایی روبه‌رو است. یکی از این محدودیت‌ها، وجود مرزهای بلند با ارتفاع حدود ۲۰ سانتی‌متر در بین نوارها و کرت‌های آبیاری است که برداشت محصول را به ارتفاع حدود ۲۵ سانتی‌متر محدود می‌کند. در این حالت، اگر برای منافع اقتصادی حاصل از فروش کاه، ارتفاع برش محصول توسط کمباین کاهش داده شود، از یک طرف سیستم ایمنی کمباین‌های پیشرفته به‌طور مدام هشدار ارتفاع کم برش را اعلام می‌کند و از طرف دیگر مرتباً تیغه‌های کمباین در اثر برخورد به مرزهای آبیاری می‌شکنند و مقداری خاک نیز همراه با محصول وارد مخزن کمباین می‌شود. در حالی‌که در کشت گندم روی پشته‌های بلند به‌علت کشت همهٔ بوته‌ها روی پشته‌ها و حذف مرزهای آبیاری، برداشت محصول با ارتفاع بسیار کم و بدون برخورد تیغه‌های کمباین با خاک ممکن بوده و به‌طور خودکار یک روش دوست‌دار کمباین است (شکل ۶). کشت روی پشته‌های بلند به‌صورت موقت و دائمی انجام می‌شود:

شکل ٦- آسیب به ماشین‌آلات برداشت محصول در روش کشت مرسوم گندم

Figure 6- Damage to harvesting machines in conventional wheat cultivation method

ویژگی‌های پشته‌های بلند موقت: در روش کشت روی پشته‌های بلند موقتی، پشته‌ها هرساله پس از برداشت محصول، تخریب شده و مجدداً برای کاشت محصول بعدی احداث می‌شوند. برای کشت گندم روی پشته‌های بلند موقت، لازم است که ابتدا عملیات خاک‌ورزی و تسطیح روی زمین انجام شود. پس از آماده‌سازی زمین، عملیات ایجاد پشته‌های بلند می‌تواند توسط یک ماشین پشته‌ساز ایجاد شده (شکل ۷) و پس از آن کشت بذر توسط ماشین کارنده انجام شود. هم‌چنین، ایجاد پشته‌های بلند و کشت بذر می‌تواند توسط یک ماشین کارندهٔ ویژهٔ کشت روی پشته‌های بلند و یا دو ماشین مجزا انجام شود. این ماشین کارنده، پشته‌هایی با ارتفاع حدود ۲۰-۱۵ و پهنای ۷۵ سانتی‌متر ایجاد کرده و هم‌زمان با آن کوددهی نواری و کشت بذر به‌صورت سه یا چهار خط روی پشته را انجام می‌دهد.

شکل ۷- ایجاد و شکل‌دهی پشته‌های بلند توسط ماشین پشته‌ساز ویژه و گندم کشت‌شده روی پشته‌های بلند موقت با ماشین کارندهٔ ویژه

Figure 7- Creation and shaping of raised beds by a special bed-making machine and wheat cultivated on temporary raised beds with a special planting machine

کشت بذر روی پشته‌های بلند موقتی می‌تواند به‌صورت خشکه‌کاری (کشت بذر در خاک خشک و سپس آبیاری اول مزرعه) و یا نم‌کاری انجام شود. برای روش نم‌کاری، مزرعه پس از ایجاد پشته‌های بلند و قبل از کشت بذر آبیاری می‌شود. پس از سبز شدن علف‌های هرز، کنترل علف‌های هرز با استفاده از دستگاه کولتیواتور انجام شده و در نهایت عملیات کاشت بذر در خاک مرطوب با ماشین کارنده روی پشته‌ها انجام می‌شود. همان‌گونه که در بالا اشاره شد، کشت گندم روی پشته‌های بلند موقت نسبت به دیگر روش‌های کشت گندم در زمین خاک‌ورزی شده دارای مزایای زیادی است و به‌ویژه باعث کاهش مصرف آب می‌شود. از معایب پشته‌های بلند موقت قابل ذکر است که با ایجاد پشته‌های بلند موقت، برای تأمین خاک مورد نیاز برای ایجاد پشته‌ها، به انجام خاک‌ورزی و تهیهٔ یک بستر نرم شده نیاز است. لذا مقدار زیادی از بقایای گیاهی برجای‌مانده از محصول قبل با انجام عملیات خاک‌ورزی از سطح خاک حذف شده و این امر باعث عدم دست‌یابی به مزایای کامل خاک‌ورزی حفاظتی در حفظ رطوبت خاک و کاهش مصرف آب می‌شود (Eyvani and Dehghan, 2018).

ویژگی‌های پشته‌های بلند دائمی: پشته‌های بلند دایم پشته‌هایی هستند که در سال اول ایجاد شده و برای سال‌های بعدی دست‌نخورده باقی‌مانده و بذر محصولات موجود در تناوب زراعی در فصل‌ها و سال‌های بعد به روش بدون خاک‌ورزی یا خاک‌ورزی نواری روی آن پشته‌ها کشت می‌شوند. در این سامانه ناچارا باید در سال اول عملیات خاک‌ورزی انجام شود تا خاک نرم لازم برای ایجاد پشته‌ها فراهم شود. بنابراین، همهٔ محصولاتی که در یک دورهٔ تناوب کشت می‌شوند، روی یک بستر ثابت کاشته خواهند شد (شکل ۸).

شکل ۸- ایجاد و شکل‌دهی پشته‌های بلند توسط ماشین پشته‌ساز ویژه با ماشین کارندهٔ ویژه در مرحله گل‌خرابی

Figure 8- Creation and shaping of raised beds by a special bed-making machine in the tillage stage

ارتفاع پشته‌های بلند دائم، حداقل ۱۲ سانتی‌متر و پهنای آن‌ها ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. در سال اول، این پشته‌ها می‌تواند ابتدا توسط ماشین‌های جوی پشته‌ساز (فاروئر) ویژه ایجاد

گشته (شکل‌های ۹ و ۱۰) و سپس کشت بذر در زمان مناسب توسط کارندهٔ مخصوص به‌صورت یک تا چهار خط روی هر پشته انجام شود و یا این‌که عملیات ایجاد پشته‌های بلند و کشت بذر روی پشته‌ها می‌تواند با یک ماشین کارنده جوی پشته‌ساز ویژه که برای کشت روی پشته‌های بلند ساخته شده است، به‌طور هم‌زمان و با یک‌بار تردد انجام شود.

شکل ۹- شکل دادن مجدد به شیارها یا فاروهای آبیاری در سامانه بسترهای بلند دایمی بدون تخریب بسترها

Figure 9- Reshaping the grooves or irrigation furrows in the system of long permanent beds without destroying the beds

شکل ۱۰- استفاده از جویچه‌ساز غلتکی برای ایجاد بستر و شیار در مزرعه برای کشت روی پشته‌های بلند دایمی در سال اول

Figure 10- Using a roller furrower to create beds and furrows in the field for planting on permanent raised beds in the first year

از مزایای پشته‌های بلند دایمی می‌توان به قابلیت استفاده از روش‌های حداقل خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، حفظ رطوبت خاک و کاهش مصرف آب با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، کاهش مصرف انرژی و سوخت به‌دلیل حذف عملیات خاک‌ورزی و استفاده از پشته‌های برجای مانده از محصول قبل (به‌جز در کشت سال اول)، کاهش هزینهٔ عملیات خاک‌ورزی، کاهش تراکم خاک به‌دلیل کاهش تردد ماشین‌های کشاورزی در مزرعه، امکان کشت بذر به‌صورت نم‌کاری و کنترل بهتر علف‌های هرز با آبیاری مزرعه قبل از کشت و کنترل فیزیکی علف‌های هرز در زمان بازسازی جویچه‌ها و پشته‌ها برای کشت محصول، امکان کاشت سریع محصول موردنظر بعد از برداشت محصول قبلی به‌ویژه در مناطقی که برای تهیهٔ زمین فرصت کافی وجود ندارد، امکان کاشت سریع محصول در مزارع با رطوبت خاک زیاد، کاهش فرسایش آبی و بادی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک اشاره کرد. استفاده از پشته‌های بلند دایمی نسبت به پشته‌های بلند موقت (فصلی) دارای مزیت بیش‌تری است اما مدیریت قوی‌تری را به لحاظ دقت در اندازه‌های پشته‌ها می‌طلبد. از طرفی کاشت گندم روی پشته‌های بلند به‌علت حذف مرزهای آبیاری به‌طور خودکار یک روش دوستدار کمباین است. هم‌چنین، پشته‌های بلند دایمی دارای معایبی نظیر نیاز به بازسازی و شکل‌دهی پشته‌ها قبل از کشت محصول در هر فصل است. پهنای پشته‌های بلند برای همهٔ محصولات موجود در تناوب، ثابت و یکسان است (Singh et al., 2010; Naresh et al., 2012; Eyvani and Dehghan, 2018).

۲-۷- برآورد هزینه‌های مورد نیاز برای اجرای سیستم کشت روی پشته‌های بلند

با توجه به محدودیت آب آبیاری و ضرورت استفاده از روش‌ها و ناوری‌های جدید برای افزایش عملکرد گندم آبی، تغییر در روش کشت از روش مرسوم و سنتی به روش سیستم کشت روی پشته‌های بلند (RBPS) گامی مثبت و مفید برای نیل به این منظور است. در عمل این تغییر منجر به تغییر در آرایش کاشت و نظم جامعهٔ گیاهی و موجب استفادهٔ بهینهٔ آن از عوامل محیطی و افزایش کار آیی مصرف نهاده‌ها می‌شود. کشت روی پشته‌های بلند دارای مزیت‌های متعدی است که برخی از آن‌ها عبارتند از:

۱) امکان هیرم‌کاری (ماخار) که فرصت کنترل اولیهٔ علف‌های هرز را قبل از کاشت فراهم و به محصول اجازه سبز شدن و استقرار بهتر به‌ویژه در خاک‌های مستعد سله بستن پس از آبیاری را می‌دهد؛

۲) میزان بذر کم‌تری نسبت به روش‌های دیگر کشت مصرف می‌شود به‌ویژه برای محصول دانه‌ریز مثل گندم.

۳) مدیریت بهینهٔ آب آبیاری و بهبود راندمان آبیاری و بهره‌وری مصرف آب (۳۰-۲۵ درصد) در مقایسه با روش غرقابی.

۴) زهکشی یکنواخت‌تر که خطر ایستابی در قسمت‌های پست‌تر مزرعه را که کاهش می‌دهد.

۵) امکان کنترل ترافیک در مزرعه با تعیین مسیر رفت‌وآمدهای تعریف شده برای ماشین‌ها و ادوات در فاروهای بین پشته‌ها.

۶) تسهیل عملیات مدیریت مزرعه از جمله، مدیریت و کنترل مکانیکی و شیمیایی علف‌های هرز، امکان بهتر کنترل آفات و

بیماری‌ها و مدیریت بهینه مصرف کودها و امکان جایگذاری نواری کودها به‌ویژه کود نیتروژن به‌صورت سرک.

۷) بهبود شرایط رشد محصول با امکان تنظیم تراکم گیاهی، توزیع یکنواخت‌تر رطوبت، نفوذ بهتر نور در کنوپی گیاهی، تهویهٔ مناسب‌تر و غیره.

۸) کاهش خطر خوابیدگی و ورس در محصول گندم و جو.

طبق بررسی‌های پژوهش‌گران، هزینهٔ ایجاد کشت روی پشته‌های بلند پنج میلیون تومان در هکتار برآورد شده است که در مقایسه با روش سنتی، تفاوت زیادی ندارد اما می‌توان از مزایای آن بهره‌مند شد (Solhjou and Javadi, 2016). بنابراین، توجیه اقتصادی این طرح با توجه به کاهش مصرف آب، حفظ و یا افزایش عملکرد و افزایش قابل‌توجه در مقدار بهره‌وری مصرف آب گندم، مورد تایید است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین وسعت روش آبیاری کشت روی پشته‌های بلند در مناطق اصلی تولید گندم

بر اساس نتایج طرح ارتقاء ضریب خوداتکایی گندم، سطح اجرای کشت روی پشته‌های بلند در مزارع گندم آبی برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول ۳ آمده است. مطابق نتایج این جدول، بیش از ۷۲/۳ درصد سطوح قابل کشت در سال زراعی مذکور، متعلق به ۱۳ استان قطب تولید گندم است.

جدول ۳- پیشنهاد سطح اجرایی کشت روی پشته‌های بلند در مزارع گندم در سال زراعی ۱٤۰۰-۱۳۹۹

Table 3- Proposed implementation area of raised beds planting systems in wheat fields in the crop year 2020-2021

ردیف	استان	سطح کشت اجرایی (هکتار)
1	فارس	18900
2	خراسان رضوی	8832
3	همدان	5091
4	کرمانشاه	6491
5	آذربایجان غربی	6278
6	گلستان	9545
7	آذربایجان شرقی	4709
8	مرکزی	3182
9	کردستان	2266
10	لرستان	3309
11	خوزستان	27491
12	زنجان	1273
13	اردبیل	3818
14	اصفهان	4226
15	هرمزگان	827
16	کرمان	4919
17	چهارمحال و بختیاری	1432
18	تهران	2965
19	قزوین	3373
20	مازندران	1845
21	بوشهر	1082
22	سیستان و بلوچستان	4717
23	سمنان	1497
24	کهگیلویه و بویراحمد	1466
25	ایلام	4190
26	یزد	643
27	خراسان شمالی	3317
28	خراسان جنوبی	1261
29	قم	351
30	گیلان	0
31	البرز	705
	مجموع ۱۳ استان	101185
	درصد ۱۳ استان	72.3
	مجموع کل کشور	140000

در جدول ۴ نتایج مربوط به کاهش مصرف آب کشاورزی با اجرای این راه‌کار در استان‌های اصلی تولیدکنندهٔ گندم ارائه شده است. مطابق جدول ۴، کاهش مصرف آب کشاورزی با توسعهٔ روش آبیاری کشت روی پشته‌های بلند در مناطق اصلی تولید گندم منجر به کاهش ۱۵۴/۲ میلیون مترمکعب آب کشاورزی می‌شود. هزینهٔ اجرایی این راه‌کار براساس متوسط اجرای هر هکتار آبیاری موضعی ۵۰ میلیون ریال در سال ۱۴۰۰، برابر ۵۰۵۹ میلیارد ریال است. مقادیر راندکان بر اساس مطالعهٔ Abbasi et al. (2017) در نظر گرفته شد.

جدول ٤- کاهش مصرف آب کشاورزی با راه‌کار توسعهٔ روش آبیاری کشت روی پشته‌های بلند

Table 4- Reducing agricultural water consumption with the strategy of developing irrigation method of raised bed planting systems

ردیف	استان	مصرف خالص (میلی‌متر)	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	مصرف آب کشاورزی با روش آبیاری سنتی موجود (م.م.م.)	مصرف آب کشاورزی با روش آبیاری کشت روی پشته‌های بلند (م.م.م.)	کاهش مصرف آب کشاورزی (م.م.م.)
1	اردبیل	175	3818	16.7	12.1	4.6
2	آذربایجان شرقی	240	4709	28.3	20.6	7.7
3	آذربایجان غربی	163	6278	25.5	18.6	7
4	خراسان رضوی	225	8832	49.7	36.1	13.6
5	خوزستان	203	27491	139.3	101.3	38
6	زنجان	296	1273	9.4	6.8	2.6
7	فارس	317	18900	149.6	108.8	40.8
8	کردستان	255	2266	14.4	10.5	3.9
9	کرمانشاه	195	6491	31.7	23.1	8.7
10	گلستان	115	9545	27.4	19.9	7.5
11	لرستان	233	3309	19.3	14	5.3
12	مرکزی	241	3182	19.2	14	5.2
13	همدان	276	5091	35.1	25.5	9.6

* م.م.م. : میلیون مترمکعب

۳-۲- دستورالعمل اجرایی کشت روی پشته‌های بلند در زراعت گندم

با توجه به مزیت‌های برشمرده شده، کشت گندم آبی روی پشته‌های بلند در کمیتهٔ فنی گندم مورد بحث کارشناسی قرار گرفت و مقرر شد در استان‌های خوزستان، گلستان، فارس و اردبیل (مغان) (که اتفاقاً جز مناطق اصلی تولید گندم هستند) در قالب پایلوت‌های "انتقال یافته‌های پژوهشی کاربردی به مزارع کشاورزان برای افزایش عملکرد و ارتقاء کیفیت گندم آبی" در خاک‌های بدون محدودیت شوری در این استان‌ها اجرا شود. برای اجرای این دستورالعمل، گام‌های زیر باید برداشته شود:

۱) انتخاب کشاورز، آموزش و توجیه ایشان.

۲) انتخاب زمین (حداقل به مساحت پنج هکتار) که نصف آن کشت روی پشته‌های بلند و نصف آن کشت به روش متداول کشاورز (قطعه زمین شاهد) خواهد بود.

۳) تسطیح دقیق و فنی زمین ترجیحاً در صورت امکان تسطیح لیزری. بدون تسطیح دقیق و فنی مزیت‌ها و برتری‌های کاشت روی پشته‌ای بلند حاصل نمی‌شود.

۴) آبیاری قبل از کاشت (ماخار) برای کنترل علف هرز و فراهم آوردن شرایط مناسب خاک برای ایجاد پشته‌های بلند در مناطق دارای منابع آب کافی.

۵) انتخاب ماشین و ادوات مناسب کاشت (موفقیت این روش در استفاده از ماشین کاشت مناسب است).

۶) تهیهٔ بذر گواهی‌شده و ضدعفونی‌شده مطمئن از رقم مناسب و سازگار با منطقه.

۷) مصرف کودهای پایه قبل از کاشت بر اساس آزمون خاک و توصیه‌های پژوهشی منطقه.

۸) ایجاد پشته‌های بلند متناسب با ابعاد زمین مورد نظر در قسمتی که قرار است کشت روی پشته‌های بلند انجام شود (عرض پشته‌های با توجه به شرایط خاک، محصولات در تناوب، مقدار آب آبیاری موجود بین ۷۵-۶۰ سانتی‌متر باشد. ارتفاع پشته‌ها بین ۲۵-۱۵ سانتی‌متر باشد. ایجاد پشته با ادوات مناسب طوری انجام شود که خاک پشته‌ها حالت ثابت داشته باشد و هنگام کاشت بذر با بذرکار، پشته به‌هم نریزد).

۹) کاشت ۳-۲ ردیف بذر با بذرکار مناسب روی پشته به‌طوری‌که دو ردیف کناری به اندازهٔ کافی (پنج تا۱۰سانتی‌متر) از لبهٔ پشته فاصله داشته باشند. نکتهٔ قابل ذکر این‌که میزان بذر مصرفی در این روش کاشت ۵۰-۳۰ درصد کم‌تر از روش کاشت با سانتریفوژ (کرت و فارو) است.

۱۰) آبیاری اول به آرامی و حوصله و به نحو مطلوب انجام شود؛ به‌طوری‌که رطوبت به‌اندازهٔ کافی و به‌طور کامل پشته را فراگیرد (اصطلاحاً پشته سیاه شود). آبیاری اول در کشت روی پشته‌های بلند بسیار اهمیت دارد و در سبز و استقرار اولیهٔ محصول نقش بسزایی ایفا می‌کند.

۱۱) آبیاری در طول فصل رشد محصول بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه، نوع خاک و نیاز محصول به دفعات و مقدار کافی انجام شود.

۱۲) مدیریت و کنترل به‌موقع علف‌های هرز (مکانیکی و شیمیایی) با استفاده از ماشین و ادوات مناسب انجام شود.

۱۳) استفادهٔ به‌موقع کودهای سرک نیتروژن و ریزمغذی‌ها با استفاده از ادوات مناسب انجام شود.

۱۴) مدیریت و کنترل آفات و بیماری‌ها (در صورت بروز و رسیدن به آستانهٔ خسارت اقتصادی) با استفاده از ماشین و ادوات مناسب انجام شود. نکتهٔ قابل ذکر این‌که کلیهٔ عملیات مدیریت مزرعه در قطعه زمین شاهد بر اساس روش‌ها و مدیریت معمول توسط زارع انجام شود تا نتایج و تفاوت‌ها قابل ارزیابی و مقایسه باشد.

۱۵) تعداد بوته در مترمربع، مراحل فنولوژیکی مهم (تاریخ کاشت، تاریخ سبز شدن، تاریخ ظهور سنبله و تاریخ رسیدن فیزیولوژیکی)، متوسط و حداکثر تعداد پنجه در مترمربع (در اوایل مرحلهٔ طویل شدن ساقه هنگامی‌که گره دوم روی ساقهٔ اصلی قابل لمس باشد) و در مرحلهٔ رسیدگی اجزای عملکرد دانه (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) و عملکرد دانه (از سطح کل مزرعه) برای هر دو قطعه (کاشت روی پشته‌های بلند و شاهد) و مقادیر آب مصرفی و مقایسهٔ بهره‌وری آب انجام و برداشت شود.

نکات کلیدی: سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند یا برآمده مدرن‌ترین روشی است که در کشورهای پیشرفته اجرا می‌شود. در این روش بذر روی پشته‌های بلند و عریض کاشته می‌شود که سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند، بازدهی اقتصادی را افزایش می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود عملکرد مزارع گندم به روش پشته‌کاری ۱۵ درصد نسبت به‌شیوهٔ سنتی افزایش یابد. در سامانهٔ کشت روی بسترهای بلند، هم‌زمان، هم بستر بلند کشت و هم شیارهای آبیاری یا فاروها آماده می‌شود و کود و بذر هم‌زمان روی بسترها توزیع می‌شود. روی هر بستر چهار ردیف گندم کشت می‌شود. عرض بسترها پنج سانتی‌متر بوده و فاصلهٔ محور تا محور هر شیار یا فارو ۷۵ سانتی‌متر است. بعد از برداشت گندم، سویا، ذرت یا پنبه روی همین بسترها به‌صورت بدون‌خاک‌ورزی کشت می‌شود. دربارهٔ بهره‌وری و استفاده از سامانهٔ نوین کشت ریز بد و فواید کشت گندم روی بسترهای بلند می‌توان این‌چنین بیان کرد (Asadi and Faghani, 2020):

۱) مدیریت بهینهٔ مصرف آب زیرا آب به‌صورت غرقاب روی سطح خاک نیست و تنها و فقط در بین جوی‌ها یا فاروها در جریان است در نتیجه در مقایسه با سامانهٔ غرقابی و کرتی کاهش مصرف آب وجود دارد.

۲) ایجاد تهویه و هوادهی مناسب بین بسترها و در نتیجه بین ردیف‌های گندم جریان هوا به‌خوبی صورت می‌گیرد که موجب کاهش بیماری‌ها و آفات می‌شوند.

۳) امکان مبارزهٔ مکانیکی با علف‌های هرز در بین ردیف‌ها.

۴) کاهش خسارت ورس یا خوابیدگی بوته‌ها به‌دلیل؛ اولاً جریان آزادانه باد از میان بوته‌ها و عدم وجود مقاومتی در برابر آن و ثانیاً وجود فضای بیش‌تر میان ریشه‌های گیاهان و امکان توسعهٔ بیش‌تر صفحهٔ رشد ریشه، مقاومت گیاهان در برابر باد بسیار بیش‌تر می‌شود.

۵) افزایش مواد آلی خاک به‌دلیل دائمی بودن پشته‌ها و عدم نیاز به تهیهٔ زمین.

۶) امکان تعریف و تعیین محل ورود و خروج ماشین‌های کشاورزی در مزرعه، تخصیص مسیر دائمی برای عبور و مرور آن‌ها (کنترل ترافیک زراعی)، جلوگیری از کوبیدگی تصادفی و تراکم مزرعه، نفوذ بهتر آب در خاک، افزایش ذخیرهٔ رطوبتی خاک، جلوگیری از ایجاد رواناب و فرسایش خاک، توسعهٔ بهتر ریشه‌ها، افزایش عمق خاک زراعی و افزایش استقامت گیاه به خوابیدگی.

۷) افزایش حاصل‌خیزی خاک و افزایش چشم‌گیر عملکرد محصول.

٤- رهیافت ترویجی

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مطالب بیان شده در فوق، جمع‌بندی نکات فنی، مالی، اقتصادی و اجرایی دربارهٔ استفاده از سیستم کشت روی پشته‌های بلند در زراعت گندم به شرح زیر است:

۱) اگر هدف کشت روی پشته‌های دائمی بلند باشد (این پشته‌ها در سال اول ایجاد می‌شوند و سال‌های بعد کاشت روی این پشته انجام می‌شود)، در مقایسه با کشت مستقیم مسطح، چون باید تهیهٔ زمین به‌صورت مرسوم باشد و پشته‌ها ایجاد شوند، هزینهٔ تهیهٔ

زمین و زمان آماده‌سازی زمین فقط در اولین سال شروع این نوع کشت بیش‌تر است (حدود پنج میلیون تومان در هکتار). این نوع کشت در مقایسهٔ با خاک‌ورزی مرسوم هزینه و زمان کم‌تر دارد. اگر هدف، کشت روی پشته‌های موقتی باشد (این پشته‌ها هر سال با شخم تخریب شده و در زمان کاشت ایجاد می‌شوند)، هیچ تفاوتی از نظر هزینه و زمان اجرای آن با خاک‌ورزی مرسوم ندارد فقط باید برای کاشت بذر از کارنده‌های دارای فاروئر استفاده شود.

۲) اثر سیستم کشت روی پشته‌های بلند بر عملکرد گندم در برخی پژوهش‌ها بررسی شده است اما در اکثر این پژوهش‌ها جنبهٔ حفاظتی این روش با حضور بقایای گیاهی و حفظ پشته‌ها برای کشت بعدی مد نظر نبوده است. مقایسهٔ اثر کشت روی پشته‌های بلند و خاک‌ورزی مرسوم بر عملکرد گندم در استان فارس نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین این دو روش وجود ندارد. نتایج مقایسهٔ اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد گندم در زنجان نشان می‌دهد که کاشت سه ردیف گندم روی پشته در مقایسه با کاشت یک ردیف روی پشته و کاشت در داخل جوی عملکرد بیش‌تری دارد. نتایج مقایسهٔ کشت گندم روی پشته (سه ردیف و چهار ردیف) با خطی کاری و بذرپاشی در استان خوزستان نشان می‌دهد که عملکرد گندم در این روش‌ها اختلاف معناداری با هم ندارند. مقایسهٔ کشت پشته‌ای و مسطح گندم در اصفهان نیز نشان می‌دهد که بین این الگوها تفاوت معناداری از نظر عملکرد گندم وجود ندارد (Asadi and Faghani, 2020).

۳) به‌دلیل حرکت عمقی راحت‌تر آب در سیستم کشت روی پشته‌های بلند (زهکشی مناسب)، می‌توان با مقدار کم جریان زمین مورد نظر را در حد نیاز گیاه آبیاری کرد و از تلفات آب که در کشت رایج و مسطح وجود دارد، جلوگیری کرد. با توجه وضعیت اقلیمی و شرایط مختلف نمی‌توان مقدار عددی خاصی را بیان کرد اما گزارش شده که این سیستم می‌تواند کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب نسبت به شیوهٔ سنتی را داشته باشد.

۴) تفاوت بهره‌وری آب گندم در سیستم کشت روی پشته‌های بلند نسبت به روش مرسوم با توجه به خیل عظیمی از پروژه‌های در دست اجرا، موجود نیست اما سهولت و سرعت آبیاری، کاهش ۲۵ درصدی مصرف بذر، یکنواختی در سبز شدن مزرعه و حفظ تراکم مناسب، کاهش خطر خوابیدگی و کاهش بیماری را از جمله مزایای این شیوه جدید کشت گندم است.

۵) از محدودیت‌ها در مراحل کاشت، داشت و برداشت گندم با روش آبیاری سیستم کشت روی پشته‌های بلند می‌توان نیاز به کارنده‌های مجهز به فاروئر را اشاره کرد ولی در عملیات داشت در این روش تسهیل می‌شود.

۶) صرف نظر از نتایج پژوهش‌ها، محدود کردن حرکت چرخ‌های ماشین‌های کشاورزی به جویچه‌ها (کنترل ترافیک)، تسهیل عملیات داشت و حرکت روان‌تر آب در جویچه‌ها از نقاط قوت سیستم کشت روی پشته‌های بلند است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه‌ای با عنوان "مطالعات ارتقاء بهره‌وری و رقابت‌پذیری گندم (وضع موجود و برنامه بهبود آبیاری)" و کد "۹۹۲۳" بوده که توسط شرکت مهندسین مشاور یکم و با حمایت "مؤسسهٔ پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعهٔ روستایی (APERDRI) و بانک توسعهٔ اسلامی (IsDB)" به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از تمامی مجموعه‌های مذکور، تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

تمام داده‌های استفاده‌شده برای تجزیه‌وتحلیل در این مقاله، همگی در متن موجود هستند. مجموعه داده‌های بیش‌تر بر اساس درخواست معقول به نویسنده مسئول در دسترس است.

مشارکت نویسندگان

جاوید نایبی: منابع، گردآوری اطلاعات میدانی، نگارش، تهیه پیش‌نویس اصلی؛ **مسعود پورغلام آمیجی:** نرم‌افزار، تفسیر نتایج، تحلیل و بررسی، ویرایش دست‌نوشته، بررسی نهایی؛ **ایمان حاجی‌راد:** روش‌شناسی، تفسیر نتایج، نگارش–بررسی و ویرایش، نرم‌افزار، ویرایش نسخه‌های خطی؛ **سید راشد علوی:** مفهوم‌سازی، ویرایش نهایی؛ **فرناز نوذری:** نظارت، بررسی گزارش نهایی؛ **منصوره اکبرپور:** نگارش، ویراستاری محتوا.

منابع

پورغلام آمیجی، مسعود.، حاجی‌راد، ایمان.، نایبی، جاوید.، علوی، سید راشد.، نوذری، فرناز.، و اکبرپور، منصوره. (۱۴۰۳). ارتقاء بهره‌وری آبیاری گندم در ایران (بخش اول: از دیدگاه سامانه آبیاری و

مدیریت آب). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۴(۱)، ۱۸۹-۱۶۷. doi: 10.22098/mmws.2023.11938.1190

حیدری، نادر (۱۴۰۱). مرور و بررسی سیاست‌ها و برنامه‌های ارتقاء تولید و بهره‌وری آب گندم در ایران. *مدیریت آب در کشاورزی*. ۹(۱)، ۸۸-۷۳. dor:20.1001.1.24764531.1401.9.1.6.7

صلح‌جو، علی اکبر، و جوادی، ارژنگ (۱۳۹۵). تاثیر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت در سیستم کاشت بر روی پشته‌های عریض بر عملکرد گندم آبی. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*. ۲۹(۱)، ۷۴-۶۸. doi:10.22092/aj.2016.109331

عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*. ۱۷(۶۷)، ۱۲۸-۱۱۳. doi:10.22092/aridse.2017.109617

قلی‌نژاد، اسماعیل، و عیوضی، علیرضا (۱۴۰۰). مقایسه روش‌های کاشت پشته‌ای و سنتی گندم (*Triticum aestivum L.*) در مقادیر متفاوت آبیاری. *مدیریت آب در کشاورزی*. ۸(۲)، ۱۵۰-۱۳۵. dor:20.1001.1.24764531.1400.8.2.11.7

References

Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *17*(67), 113-120. https://doi.org/10.22092/aridse.2017.109617. [In Persian]

Alagbo, O., Spaeth, M., Saile, M., Schumacher, M., & Gerhards, R. (2022). Weed management in ridge tillage systems- A review. *Agronomy*, *12*(4), 910. doi:10.3390/agronomy12040910

Ali, M., Ali, L., Waqar, M.Q., & Ali, M.A. (2016). 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 Sciences (Pakistan)*, *4*(1), 8-14. doi:10.3329/jard.v7i1.4418

Asadi, M.I., & Faghani, M. (2020). Permanent Raised Bed Croppnig Systems. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extention Organization (AREEO). First Edition, 115 pp.

Cai, X., Yang, Y.C.E., Ringler, C., & You, L. (2010). *Water productivity assessment for the Yellow River Basin*. Mimeo. Report prepared for the Challenge Program on Water and Food Yellow River Basin Focal Project. Available from: http://www.ccapwater.com/river/YellowBasinWaterProductivityAssessment.pdf

Eyvani, A., & Dehghan, A. (2018). Mechanized cultivation of wheat on Raised Bed (Technical Journal). Agricultural Technical and Engineering Research Institute and Agricultural Mechanization Development Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ministry of Agriculture-Jihad, 39 pp.

Fahong, W., Xuqing, W., & 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*(1), 35-42. doi:10.1016/j.fcr.2003.09.003

FAO. (2018). World food and agriculture. Statistical Pocketbook, FAO: Rome, Italy. https://www.fao.org/documents/card/en?details=CA1796EN

Fischer, R. A., Sayre, K., & Monasterio, I. O. (2005). The effect of raised bed planting on irrigated wheat yield as influenced by variety and row spacing, Australian Centre for International Agriculture Research Proceeding 121, of a workshop on "Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. *Grifith, NSW, Australia*.

Ghani Akbar, G., Hussain, Z., & Yasin, M. (2007). Problems and potentials of permanent raised bed cropping systems in Pakistan. *Pakistan Journal of Water Resources*, *11*(1), 11-21. https://research.aciar.gov.au/aik-saath/sites/_co-lab.aciar.gov.au.aik-saath/files/2020-09/Problems%20and%20Potential%20Pakistan.pdf

Gholinezhad, E., & Eivazi, A. (2022). Comparison of ridge planting and traditional methods in wheat (*Triticum aestivum L.*) in different amounts of irrigation. *Journal of Water Management in Agriculture*, *8*(2), 135-150. dor:20.1001.1.24764531.1400.8.2.11.7. [In Persian]

Govaerts, B., Sayre, K.D., Lichter, K., Dendooven, L., & Deckers, J. (2007). Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant and Soil*. *291*(1), 39-54. doi:10.1007/s11104-006-9172-6

Heydari, N. (2022). Review and analysis of policies and plans of enhancing wheat production and water productivity in Iran. *Journal of Water Management in Agriculture*, *9*(1), 73-88. dor:20.1001.1.24764531.1401.9.1.6.7. [In Persian]

Jie, C., Jing-Zhang, C., Man-Zhi, T., & Zi-tong, G. (2002). Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, *12*, 243-252. doi.:10.1007/BF02837480

Karrou, M., Oweis, T., El-Enein, R.A., & Sherif, M. (2012). Yield and water productivity of maize and wheat under deficit and raised bed irrigation practices in Egypt. *African Journal of*

Agricultural Research, *7*(11), 1755-1760. doi: 10.5897/AJAR11.2109

Leng, X., Feng, X., Fu, B., Shi, Q., Ye, H., & Zhang, Y. (2023). Asian water towers' are not a sustainable solution to the downstream water crisis. *Science of the Total Environment*. *856*, 159237. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.159237

Ling, T. (2022, January). A global study about water crisis. In 2021 International Conference on Social Development and Media Communication (SDMC 2021), Atlantis Press, Pp. 809-814. doi:10.2991/assehr.k.220105.148

Naresh, R.K., Singh, B., Singh, S.P., Singh, P.K., Kumar, A., & Kumar, A. (2012). Furrow irrigated raised bed (FIRB) planting technique for diversification of rice-wheat system for western IGP region. *International Journal* of *Life Sciences Biotechnology* and *Pharma Research*, *1*(3), 134-141.

Pauly, D., & Zeller, D. (2019). Agreeing with FAO: Comments on SOFIA 2018. Marine Policy, 100: 332-333. doi:10.1016/j.marpol.2018.12.009

Pourgholam-Amiji, M., Hajirad, I., Nayebi, J., Alavi, S. R., Nozari, F., & Akbarpour, M. (2024). Improving Wheat Irrigation Productivity in Iran (Part One: From the View Point of Irrigation System and Water Management). *Water and Soil Management and Modelling. 4*(1), 167-189. doi: 10.22098/mmws.2023.11937.1189. [In Persian]

Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Khoshravesh, M., & Azamathulla, H.M. (2021). Improving rice water productivity using alternative irrigation (case study: North of Iran). *Water Supply*, *21*(3), 1216-1227. doi:10.2166/ws.2020.371

Rady, M.O., Semida, W.M., Howladar, S.M., & Abd El-Mageed, T.A. (2021). Raised beds modulate physiological responses, yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum L*) under deficit irrigation. *Agricultural Water Managemen*t, 245, 106629. doi:10.1016/j.agwat. 2020.106629

Rajaram, S., Borlaug, N.E., & Van Ginkel, M. (2002). CIMMYT international wheat breeding. *Bread wheat improvement and production. FAO, Rome*, 103-117.

Ram, H., Singh, Y., Saini, K.S., Kler, D.S., Timsina, J., & Humphreys, E.J. (2012). Agronomic and economic evaluation of permanent raised beds, no tillage and straw mulching for an irrigated maize-wheat system in northwest India. *Experimental Agriculture*, *48*(1), 21-38. doi.:10.1017/S0014479711000809

Ritchie, W.R., Chamen, W.C.T., Reicosky, D.C., Ribeiro, M.F.S., Justice, S.E., & Hobbs, P.R. (2007). *No-tillage seeding in conservation agriculture*. C.J. Baker, & K.E. Saxton (Eds.). Food and Agriculture Organization of the United Nations and Cabi Pub.

Sayre, K.D., & Moreno Ramos, O.H. (1997). Applications of raised-bed planting systems to wheat. CIMMYT.

Singh, B., Naresh, R.K., Singh, K.V., Kumar Ashok, B.S., & Gupta Raj, K. (2010). Influence of permanent raised bed planting and residue management on sustainability of vegetable based farming system in Western Indo Gangetic Plains. *Annals of Horticulture*, *3*(2), 129-140. doi:10.1007/s11104-006-9172-6

Solhjou, A., & Javadi, A. (2016). The effect of tillage and planting methods in raised bed planting system on irrigated wheat yield. *Applied Field Crops Research*, *29*(1), 68-74. doi:10.22092/aj.2016.109331. [In Persian]

Tewabe, D., Abebe, A., Enyew, A., & Tsige, A. (2020). Determination of bed width on raised bed irrigation technique of wheat at Koga and Rib irrigation projects, North West, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, *6*(1), 1712767. doi:10.1080/23311932.2020.1712767

Tuong, T.P., Bouman, B.A.M., & Mortimer, M. (2005). More rice, less water–integrated approaches for increasing water productivity in irrigated rice based systems in Asia. *Plant Production Sciences*, *8*(3), 229-239. https://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/8/3/8_3_ 231/_article/-char/ja/

Wang, F., Kong, L.A., Sayre, K., Li, S., Si, J., Feng, B., & Zhang, B. (2011). Morphological and yield responses of winter wheat (*Triticum aestivum L*.) to raised bed planting in Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(13), 2991-2997. doi: 10.5897/AJAR11.125

Watts, W.D. (2018). *Factors affecting biofumigation success against potato cyst nematodes* (Doctoral dissertation, Harper Adams University). https://hau.repository.guildhe.ac.uk/id/eprint/17347

Yazar, A., Sezen, S.M., Gencel, B., & Bozkurt-Colak, Y. (2006). Country report: water use efficiency of major crops in Turkey.

Zwart, S.J., & Bastiaanssen, W.G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, *69*(2), 115-133. doi:10.1016/j.agwat.2004.04.007