

# Investigating the Effect of Different Factors of Water, Soil, Irrigation Management, and Climate Rainfall in Wheat Irrigation Scheduling Using Niazab Software

H. Jafari \* , N. A. EbrahimiPak, and A. Tafeteh

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, Iran.  
Jafari52\_h@yahoo.com

Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, Iran.  
nebrahimipak@yahoo.com

Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, Iran.  
Arash\_tafteh@yahoo.com

Received: August 2024 and Accepted: April 2025

## Abstract

In this research, the effect of climate (rainfall), soil (texture) and irrigation management (irrigation system and efficiency) on the amount and frequency of wheat irrigation in Alborz Province was investigated. For this purpose, wheat irrigation planning at two times and amount of rainfall, in three soil textures (loam, sandy loam and clay loam), for gravity, sprinkler, and drip irrigation systems and different irrigation efficiencies were estimated. Results showed that 7537, 4951 and 4959 m<sup>3</sup>/ha of water should be available for wheat in 8, 14, and 17 times in gravity, sprinkler, and drip irrigation systems, respectively. Also, the results showed that the differences in soil texture did not change the volume of irrigation water, but the number of irrigations in light soils was more than in heavy soils. Based on this, the amounts of water needed in the three soils of sandy loam, loam, and clay loam were 7987, 7537 and 7988 m<sup>3</sup>/ha, and the number of irrigations were 10, 8, and 7, respectively. Unlike the soil texture, the efficiency of irrigation water application changed both the volume and the number of irrigations, so that in those three soils with an efficiency of 30%, 46% and 45%, the amount of water required was 12247, 7537 and 8188 m<sup>3</sup>/ha, respectively. Effective rainfall, like irrigation efficiency, affected irrigation planning depending on the time and amount of rainfall, so that in loam soil with the same rainfall but in two different dates, different amounts of irrigation water were obtained. Therefore, in wheat irrigation planning, attention should be paid to the soil texture, irrigation efficiency, irrigation management, and effective rainfall.

**Keywords:** Water consumption, Irrigation interval, Water application efficiency

\* - Corresponding Author's email: Jafari52\_h@yahoo.com  
<https://doi.org/10.22092/jwra.2025.366606.1049>

# بررسی اثر عوامل مختلف آب، خاک، مدیریت آبیاری و بارش در برنامه‌ریزی آبیاری گندم با استفاده از نرم‌افزار نیازآب

حسین جعفری\* , نیازعلی ابراهیمی‌پاک و آرش تافته

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

Jafari52\_h@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

nebrahimipak@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

arash\_tafteh@yahoo.com

دریافت: مرداد ۱۴۰۳ و پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

## چکیده

در این پژوهش، در سامانه نیازآب که برای برآورد آب مصرفی گیاهان تهیه شده است، تأثیر اقلیم (بارش)، خاک (بافت) و مدیریت آبیاری (سامانه آبیاری و راندمان کاربرد) بر مقدار آب و دور آبیاری گندم در استان البرز بررسی شد. برای این منظور، برنامه‌ریزی آبیاری گندم در دو زمان بارش، در سه خاک لوم، لوم‌شنی و لوم‌رسی، سه سامانه آبیاری ثقلی، بارانی و قطره‌ای و راندمان‌های مختلف آبیاری برآورد شد. نتایج برنامه‌ریزی آبیاری گندم نشان داد که در آبیاری ثقلی، بارانی و قطره‌ای باید در هر هکتار به‌ترتیب ۷۵۳۷، ۴۹۵۱ و ۴۹۵۹ مترمکعب آب در ۸، ۱۴ و ۱۷ نوبت آبیاری به گندم داده شود. همچنین، نتایج نشان داد که تفاوت در بافت خاک مزرعه، حجم آب آبیاری مورد نیاز بر اساس تبخیر و تعرق را تغییر نمی‌دهد؛ اما تعداد آبیاری در خاک‌های سبک بیشتر از خاک‌های سنگین بود. بر این اساس، حجم آب مورد نیاز در سه خاک لوم‌شنی، لوم و لوم‌رسی به‌ترتیب ۷۹۸۷، ۷۵۳۷ و ۷۹۸۸ مترمکعب در هکتار؛ اما تعداد آبیاری در این سه خاک به‌ترتیب ۱۰، ۸ و ۷ نوبت بود. بر خلاف خاک مزرعه، راندمان کاربرد آب آبیاری حجم آب آبیاری را تغییر داد، به‌طوری‌که در سه خاک لوم‌شنی، لوم و لوم‌رسی با راندمان به‌ترتیب ۳۰٪، ۴۶٪ و ۴۵٪، حجم آب آبیاری به‌ترتیب ۱۲۲۴۷، ۷۵۳۷ و ۸۱۸۸ مترمکعب در هکتار بود. بارش مؤثر مانند راندمان آبیاری بسته به زمان و مقدار بارش بر برنامه‌ریزی آبیاری اثرگذار بود، به‌طوری‌که در خاک لوم با بارش یکسان اما در دو تاریخ متفاوت، حجم آب آبیاری متفاوتی حاصل شد. بنابراین، در برنامه‌ریزی آبیاری گندم باید به نقش خاک مزرعه، راندمان آبیاری، مدیریت آبیاری و بارش مؤثر هم بر دور آبیاری و هم بر مقدار آب آبیاری توجه نمود.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، دور آبیاری، راندمان کاربرد آب آبیاری

\* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Jafari52\_h@yahoo.com



## مقدمه

سامانه نیاز آب یک سامانه رایانه‌ای است که به صورت گام به گام، در قالب یک الگوریتم و ورود عوامل پنج گانه، مقدار آب مصرفی گیاهان زراعی و باغی را در سطح کشور محاسبه و در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی بخشی از برنامه‌های این سامانه است. این سامانه دارای بانک اطلاعات کامل و جامعی در ارتباط با عوامل پنج گانه است که بسته به سؤال بهره‌بردار، با فراخوان داده از بانک داده سامانه و انجام محاسبات لازم بر اساس برنامه‌های از پیش تعیین شده، پاسخ سؤال را در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. علاوه بر این سامانه به گونه‌ای تهیه شده که کاربر بتواند بخشی از اطلاعات دقیقی که خود برای مزرعه خود اندازه‌گیری نموده، مثل ویژگی خاک مزرعه یا راندمان کاربرد آب آبیاری وارد سامانه نماید. برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی یکی از گام‌های محاسباتی این سامانه است و داده‌های مورد نیاز برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی در مناطق مختلف کشور، شامل تبخیر و تعرق واقعی هر گیاه، ویژگی خاک، آب و اقلیم از بانک داده سامانه نیاز آب قابلیت فراخوان کردن را دارد. برخی از این داده‌ها به صورت خام وارد سامانه شده‌اند مثل دما، رطوبت و غیره و برخی در درون سامانه محاسبه گردیده‌اند مثل تبخیر و تعرق در شرایط استاندارد و واقعی که پس از محاسبه به عنوان یک داده برای مقاصد بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نهایت پس از محاسبات سامانه گزارش مد نظر را در قالب جدول به کاربر ارائه می‌دهد (جعفری و همکاران، ۱۴۰۳).

مدیریت آب آبیاری عبارت است از زمان‌بندی و تنظیم مصرف آب آبیاری به گونه‌ای که نیاز آبی گیاه را بدون هدر رفتن آب، خاک و مواد مغذی گیاه برآورده کند. اگر ظرفیت آب موجود در خاک، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، عمق ریشه‌دهی محصول برای مرحله خاص رشد، چگالی ظاهری، سطح مجاز تخلیه رطوبتی خاک (MAD) و مقدار تبخیر و تعرق مشخص باشد، آنگاه می‌توان زمان و میزان آب مصرفی در هر آبیاری را برای یک

گیاه تعیین کرد. هنگامی که بارندگی بخش قابل توجهی از نیاز آبی فصلی گیاه را تأمین کند، می‌توان از آبیاری برای تکمیل نیاز آبی گیاه استفاده کرد. آب مصرفی باید همیشه مکمل رویدادهای بارندگی در نظر گرفته شود (اسنایدر و همکاران، ۲۰۲۴).

برنامه‌ریزی مناسب آبیاری به معنای استفاده از مقدار مناسب آب در زمان مناسب است؛ به عبارت دیگر، اطمینان از در دسترس بودن آب زمانی که محصول به آن نیاز دارد. برنامه‌ریزی آبیاری با به حداقل رساندن تلفات رواناب و نفوذ عمقی، راندمان آبیاری را به حداکثر می‌رساند. این اغلب منجر به مصرف انرژی و آب کمتر و عملکرد بهینه محصول می‌شود، اما در شرایطی که آب به درستی مدیریت نمی‌شود، می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی و آب شود. برنامه‌ریزی آبیاری در خاک‌های مختلف متفاوت است. خاک‌های شنی دارای فضای منافذ کم و سرعت نفوذ زیاد هستند. پیامدهای تأثیر این دو ویژگی بر سامانه‌ها و روش‌های آبیاری، از اهمیت بالایی برخوردار است. فضای کم منافذ عامل کم بودن ظرفیت نگهداشت آب است. در نتیجه، دفعات آبیاری و نیاز به نیروی کار بدون توجه به روش آبیاری مورد استفاده، زیاد است. در سامانه آبیاری تحت فشار، نیاز به نیروی کار را می‌توان کاهش داد، اما هزینه اولیه تجهیزات به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. سرعت نفوذ بالا، آبیاری سطحی را با مشکل مواجه می‌کند، زیرا تلفات هنگام اعمال آبیاری مزارع زیاد است. در مقابل، نرخ نفوذ بالا، تأثیر کمی بر آبیاری بارانی دارد؛ بنابراین می‌توان این روش را برای خاک‌های شنی به عنوان بهترین روش آبیاری در نظر گرفت. طراحی و مدیریت صحیح آبیاری، به بازده قابل قبولی منجر خواهد شد. آبیاری قطره‌ای روشی امیدوارکننده است؛ اما هزینه آن هنوز بسیار بالاست. توصیه می‌شود قبل از شروع توسعه در مقیاس بزرگ با آبیاری قطره‌ای، آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام داده شود (الاحمدی و الشروفی، ۲۰۱۳).

به طور کلی، زمان آبیاری به میزان مصرف آب گیاه و ویژگی خاک مزرعه بستگی دارد و با محاسبه مقدار  $ET_c$

برای مرحله خاص رشد گیاه و پایش تخلیه آب خاک تعیین می‌شود. آب ثقیلی در خاک درشت‌بافت، به سرعت تخلیه می‌شود؛ اما تخلیه آب در خاک با بافت ریز می‌تواند تا دو روز طول بکشد زیرا آب آزاد کندتر تخلیه می‌شود. میزان کاهش محتوای خاک-آب نشان‌دهنده استفاده و تبخیر آب گیاه است که می‌تواند برای تعیین زمان آبیاری و میزان مصرف استفاده شود. این مفهوم اساسی در برنامه‌ریزی آبیاری است (گیپهو و همکاران، ۲۰۲۴).

در خاک درشت‌بافت، آب آبیاری یا بارندگی به سرعت نفوذ می‌کند در خاک با بافت ریز، آب به آرامی نفوذ می‌کند، اما در خاک‌های سنگین، آب بیشتری در ناحیه ریشه گیاهان نسبت به خاک سبک نگهداری می‌شود. همچنین برای یک خاک معین، مقدار نفوذ، زمانی که خاک خشک است بیشتر از زمانی است که مرطوب است. این بدان معنی است که برای بارانی که مدت کوتاهی پس از بارش یا آبیاری قبلی رخ می‌دهد، میزان نفوذ کمتر و رواناب سطحی بیشتر است. روش‌های آبیاری تأثیر مختلفی بر میزان بارندگی مؤثر دارند. در آبیاری کرتی، رواناب سطحی وجود ندارد. تمام آب باران در کرت محبوس و وارد خاک می‌شود. در آبیاری نواری و شیاری، رواناب نسبتاً زیاد است؛ بنابراین میزان بارندگی مؤثر تحت آبیاری نواری یا شیاری کمتر از آبیاری کرتی است. در آبیاری شیارهای در مسیر خطوط هم‌تراز، شیب بسیار کمی در جهت شیار وجود دارد و بنابراین رواناب محدود می‌شود؛ زیرا آب به وسیله پشته‌ها هدایت می‌شود. این منجر به یک بارندگی مؤثر نسبتاً بالا در مقایسه با آبیاری نواری یا شیاردار می‌شود (شرر و همکاران، ۲۰۲۲).

کریمی و همکاران (۱۳۹۰) برنامه‌ریزی آبیاری بهینه گندم رقم چمران در استان خوزستان را بر اساس تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده گیاه در خاک توصیه کردند. نتایج تحقیقات امداد و تافته (۱۳۹۸) در تعیین مناسب‌ترین عمق آب آبیاری گیاه گندم با استفاده از مدل Aquacrop نشان دادند با در نظرگیری دور آبیاری متعارف گندم در خوزستان (چهار تا پنج نوبت آبیاری) و عمق

کاربرد آب آبیاری ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر، امکان افزایش عملکرد دانه گندم به میزان ۳۰ درصد و کاهش حجم مصرف آب به مقدار حدود ۴۶ درصد نسبت به شرایط معمول زارع وجود دارد. کارایی مصرف آب گندم در شرایط معمول منطقه حدود ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده که با اعمال مدیریت آبیاری بر اساس عمق آب کاربردی مصرفی در بازه ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر به مقدار ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب قابل افزایش هست.

گوشه و غالبی (۱۳۹۱) در بررسی اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه گندم در خوزستان نتیجه گرفتند که دور آبیاری بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی خاک ۳۰ تا ۷۰ درصد با شوری آب آبیاری پنج دسی‌زیمنس بر متر تأثیری بر عملکرد ندارد؛ اما با افزایش شوری بیشتر آب آبیاری، کاهش معنی‌دار عملکرد مشاهده شد. در این پژوهش، برای زراعت گندم، آبیاری با آب شور حداکثر پنج دسی-زیمنس بر متر با دور آبیاری تخلیه ۳۰ درصد آب قابل دسترس گیاه توصیه شد.

نتایج تحقیقات قوچانیان و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری گندم در مشهد با استفاده از مدل Aquacrop بیانگر آن بود که از بین دوره‌های آبیاری ثابت ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ روز، دور ۱۰ روز با عمق آبیاری ۶۰ میلی‌متر (۶۰۰ مترمکعب در هکتار) بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب به دست آمد.

صنوبر و همکاران (۱۳۹۰) بهترین دور آبیاری برای گیاه گندم در سامانه آبیاری ثقیلی در استان یزد را بین ۸ تا ۱۰ روز اعلام نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که افزایش دور آبیاری به ۱۴ روز باعث کاهش معنی‌دار در عملکرد گندم می‌شود. در این پژوهش، مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری برای دور ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ روز را به ترتیب ۵۶۱، ۵۸۴، ۶۱۲ و ۶۴۰ مترمکعب در هکتار برآورد شد.

دهقان و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی شاخص-های بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم در دشت نیشابور، نتیجه گرفتند که در صورت اصلاح برنامه‌ریزی

آبیاری، عملکرد محصول به میزان ۱۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که در صورت برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، ضمن کاهش آب مصرفی، شاخص کارایی مصرف آب آبیاری ۲۱ درصد افزایش می‌یابد.

منتجبی (۱۳۸۸) در مدیریت مصرف آب آبیاری گندم در گلپایگان نتیجه گرفت که آبیاری پس از ۷۵ میلی-متر تبخیر با مصرف حدود ۶۴۳۰ مترمکعب آب در هکتار در نه نوبت آبیاری، با تولید ۷۸۲۵ کیلوگرم دانه و ۱۳۶۲۵ کیلوگرم کاه در هکتار مناسب‌ترین دور آبیاری است.

عزیزآبادی فراهانی و میرزایی (۱۴۰۰) در بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری سامانه آبیاری ثقلی در شرایط تأمین آب به میزان ۱۰۰ درصد حجم آب در دسترس، بهترین برنامه آبیاری در سناریوی اول (دور و مقدار ثابت آب آبیاری) را دور ۱۰ روز با عمق ۹۶ میلی‌متر اعلام کردند و در سناریوی دوم (دور آبیاری ثابت اما عمق آب آبیاری متغیر) بهترین برنامه آبیاری را دور هشت روز و عمق ۵۰ میلی‌متر برای محصولات پاییزه و عمق ۸۰ میلی‌متر برای محصولات بهاره تعیین کردند. بهترین برنامه آبیاری در سناریوی سوم دور آبیاری هفت روز با عمق ۴۴ میلی‌متر برای محصولات پاییزه و دور هشت روزه با عمق ۸۰ میلی‌متر برای محصولات بهاره حاصل شد. در مقایسه سه سناریوی برنامه آبیاری، نتایج نشان داد که برنامه بهینه مربوط به سناریوی دوم است که بیشینه سود خالص را در مقایسه با دیگر برنامه‌ها داراست و یک درصد سود بیشتر نسبت به برنامه سناریوی سوم و ۱۹ درصد سود بیشتر نسبت به سناریوی اول دارا است.

عزیزی‌زهان و همکاران (۱۳۹۸) در برنامه‌ریزی آبیاری گل رز برای کلاس‌های مختلف بافت خاک در سه منطقه محلات، اراک و ورامین دریافتند که در شرایط مشابه، تعداد آبیاری در خاک‌های با بافت سبک زیاد و بیش از سه برابر خاک‌های سنگین است. در اقلیم‌های گرم‌تر، برای شرایط مشابه خاک، تعداد آبیاری بیشتر از اقلیم‌های معتدل سرد بود. مقدار حداکثر و متوسط هیدرومدول آبیاری برای شرایط آبیاری کامل در ورامین، اراک و محلات به‌ترتیب

۱/۲، ۱/۴، ۱/۱ و ۰/۶۷، ۰/۸۵ و ۰/۶۴ لیتر در ثانیه در هکتار بود. آن‌ها دور و عمق آب آبیاری گل رز را در قالب اپلیکیشن تهیه و در اختیار عموم کشاورزان قرار دادند. همچنین، ۳۸ آبیاری در ورامین و ۲۶ آبیاری در اراک در بافت لوم ارائه دادند. در این تحقیق، بیشترین فاصله آبیاری در خاک رسی (۳۰ بار) و کمترین دور آبیاری در خاک لوم (۹۴ بار) برای طول دوره رشد ۲۴۵ روز در محلات به‌دست آمد.

نیاز آبی گندم برای کل دوره رشد در منطقه هنام الشتر استان لرستان ۳۱۸/۱ میلی‌متر، میانگین عمق آب آبیاری گندم ۶۰/۸ میلی‌متر و میانگین دور آبیاری در خردادماه ۱۱ روز محاسبه شد.

یی و همکاران (۲۰۲۲) با پایش مزرعه‌ای و شبیه‌سازی مدل عددی HYDRUS یک بعدی (HYDRUS-1D)، بیان آب اندازه‌گیری و برنامه‌های آبیاری بهینه را ارائه کردند. در طول دوره رشد ذرت تحت برنامه آبیاری فعلی، بیشترین نفوذ در مزارع واحه‌ای قدیمی (OF) با بافت لوم و سطح عمق آب زیرزمینی (GWL) عمیق به مقدار ۳۶۴ میلی‌متر و به دنبال آن مزارع جدید توسعه‌یافته از بیابان (NFD) با بافت شنی، برابر ۲۳۱ میلی‌متر و مزارع جدید توسعه‌یافته از تالاب (NFW) به دلیل ورود رطوبت از طریق هدایت موئینگی از آب‌های زیرزمینی، ۵۲- میلی‌متر مشاهده کردند. در مقایسه با برنامه آبیاری فعلی، میزان آبیاری به ترتیب ۶۵، ۴۵ و ۱۳ درصد تحت مقدار آبیاری بهینه در NFW، OF و NFD کاهش یافت. علاوه بر این، هم در زمان آبیاری و هم مقدار بهینه‌شده در NFW، OF و NFD به ترتیب ۸۴، ۶۱ و ۲۳ درصد کاهش یافت. بر این اساس در اثر آبیاری بهینه، کمبود آب کاهش یافت، نفوذ عمیق در طول دوره رشد ذرت کاهش یافت و پس از برداشت ذرت، آب کمتری در خاک ذخیره شد. در بین سه مزرعه، کمترین زمان آبیاری (چهار روز) و مقدار (۹۰ میلی‌متر) در NFW حاصل شد که ناشی از مقدار آبی بود که به‌واسطه تغذیه از آب‌های زیرزمینی به دلیل هدایت موئینگی بود. با توجه به تفاوت بافت خاک، دفعات آبیاری

کمتر با مقدار قابل توجه آبیاری یکباره (۳۰-۷۰ میلی متر) برای OF با خاک لوم توصیه شد، در حالی که دفعات آبیاری بیشتر با آبیاری کمتر (۲۵-۵۰ میلی متر) برای NFD با بافت خاک شنی مناسب بود. نتیجه گیری شد که اثرات بافت خاک و GWL باید برای بهینه سازی برنامه های آبیاری به خوبی در نظر گرفته شود (پی و همکاران، ۲۰۲۲).

سیدل و همکاران (۲۰۱۵) در فرانسه برای دستیابی به حداکثر سود و بهره وری، طراحی بهینه برنامه ریزی آبیاری گیاه ذرت از نظر زمان و مقدار آب آبیاری را پیشنهاد کردند و بر اساس آن سود را تا ۲۷٪ افزایش دادند (سیدل و همکاران، ۲۰۱۵). در سامانه های آبیاری با نرخ متغیر (دور و مقدار متغیر آب) منجر به استفاده اقتصادی تر و پایدارتر از آب و آبیاری می شود. این سیستم آبیاری کارایی مصرف آب را ۱۵ تا ۱۶ درصد در مقایسه با سیستم سنتی بهبود می بخشد، زیرا نرخ مصرف آب ثابت را در کل مزرعه حذف می کند. چون بافت خاک در مزارع متفاوت است این سیستم می تواند بیشترین مزایا دارند. استفاده از فناوری سنجش از دور و دوربین های حرارتی در این سیستم می تواند راهگشا باشد (جورج و همکاران، ۲۰۰۸).

صلاح و یورس (۲۰۱۰) طی دو سال (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) به منظور ایجاد ترکیب های بهینه بین دفعات و مقدار آب آبیاری برای ذرت در سامانه آبیاری قطره ای با استفاده از توابع تولید آب مطالعه ای انجام کردند. آزمایش مزرعه ای چهار دور آبیاری (F1، F2، F3 و F4، آبیاری به ترتیب هر یک، دو، سه یا چهار روز یکبار) و سه مقدار حجم آب آبیاری (۱، ۰/۸ و ۰/۶ تبخیر و تعرق) انجام شد. نتایج نشان داد که متغیرهای عملکرد و راندمان مصرف آب (WUEs) با افزایش دفعات و میزان آبیاری افزایش می یابد، ولی تفاوت های معنی داری بین F1 و F2 در متغیرهای عملکرد و بین I1 و I2 در WUEs ایجاد نشد. علاوه بر این، اثرات متقابل بین دور و مقدار آب آبیاری تأثیر زیادی بر متغیرهای عملکرد و WUE داشت، به طوری که بیشترین مقادیر برای F1I2 و F2I1 و کمترین برای F3I3 و F4I3 به دست آمد. تیمار F1I3 دارای عملکرد دانه و مقادیر اجزای

عملکرد مشابه با مقادیر به دست آمده برای تیمارهای F3I2 و F4I1 و مقادیر WUE مشابه با مقادیر به دست آمده برای تیمارهای F2I1 و F2I2 بود. ضریب عکس العمل گیاه (ky) در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به ترتیب ۱/۸۱ و ۱/۸۶ بود (صلاح و یورس، ۲۰۱۰).

جعفری و غالبی (۱۳۹۷) با تهیه اپلیکیشن کاربردی، برنامه ریزی آبیاری گیاه گندم را در سراسر کشور محاسبه کردند. این برنامه بر اساس داده های کتاب نیاز آبی گیاهان عمده زراعی و باغی کشور و به صورت غیربرخط (Offline) تهیه شد که پیشنهاد کردند برنامه ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی به صورت برخط انجام شود. این اپلیکیشن تاریخ آبیاری، عمق آب آبیاری و مدت زمان آبیاری را ارائه می داد و در صورت داشتن حقایق، توصیه های لازم را به بهره بردار انجام می داد.

تامپسون و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند که علاوه بر مقدار بارش دریافت شده در یک منطقه در طول دوره زمانی مشخص، توزیع، شدت و مدت بارش هم بر میزان ذخیره آن در محدوده توسعه ریشه گیاهان اهمیت دارد.

با عنایت به پژوهش های صورت گرفته، برنامه ریزی آبیاری گیاهان باعث کاهش آب مصرفی و افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش بهره وری آب می شود. بر این اساس، به دلیل کمبود آب، تعیین برنامه ریزی آبیاری گیاهان در سراسر کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. از یک سو دریافت دور و عمق آب آبیاری گیاهان در سراسر کشور، فقط در قالب یک برنامه رایانه ای امکان پذیر است و از سوی دیگر برنامه ریزی آبیاری به عوامل مختلفی نظیر آب، خاک، اقلیم و مدیریت آبیاری بستگی دارد که سبب می شود برنامه رایانه ای این گیاهان مشابه باشد و فقط باید داده های ورودی نظیر تبخیر و تعرق، عمق ریشه، فصل رشد، خاک مزرعه و غیره که مختص هر گیاه است وارد برنامه شود. سطح زیر کشت گندم به عنوان یک گیاه استراتژیک در ایران حدود ۲/۴ میلیون هکتار است که حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب آب مصرف می کند (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱)؛ بنابراین، در گام اول، تهیه و تشریح

مراحل گام‌به‌گام برنامه (الگوریتم برنامه) رایانه‌ای برنامه-ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی ارائه و سپس در گام دوم تأثیر چهار عامل از عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی آبیاری گندم در استان البرز شامل خاک مزرعه، سامانه آبیاری، بارش مؤثر و راندمان کاربرد آب آبیاری بررسی می‌شود. برای این منظور، سه بافت خاک مزرعه، سه سامانه آبیاری، سه راندمان کاربرد آب آبیاری و سه سطح بارش مؤثر تحلیل می‌شود.

### روش پژوهش

سامانه نیاز آب توسط موسسه تحقیقات خاک و آب به‌منظور برآورد آب مصرفی گیاهان تهیه و ارائه گردیده است. این سامانه به‌عنوان تنها مرجع برآورد آب مصرفی گیاهان زراعی و باغی کشور از سوی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان برنامه‌وبودجه به کلیه نهادهای ذی‌ربط ابلاغ گردیده است. بدیهی است یک‌ه از گام‌های برآورد آب مصرفی گیاهان تعیین دور و عمق آب آبیاری یا همان برنامه‌ریزی آبیاری است که از این سامانه برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم در استان البرز استفاده شد. در این بررسی، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شرایط حاکم بر مزرعه از قبیل کیفیت آب آبیاری، خاک مزرعه، اقلیم منطقه و مدیریت آبیاری، تعیین شد؛ بنابراین در برنامه‌ریزی آبیاری نیاز به مشخص شدن نوع گیاه، زمان کاشت تا برداشت، نوع سامانه آبیاری، تبخیر و تعرق واقعی، ویژگی خاک، عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد، مقدار بارش و حبابه کشاورز بود. این داده‌ها بر اساس میانگین داده‌های درازمدت (مثلاً ۱۰ ساله) از بانک داده سامانه نیاز آب فراخوان شد؛ بنابراین ابتدا دستورالعمل تعیین دور و عمق آب آبیاری گندم در استان البرز به‌صورت گام‌به‌گام در نرم‌افزار "نیاز آب" برای سه سامانه آبیاری (ثقلی، بارانی و قطره‌ای) ارائه، سپس بر اساس داده‌های موجود در سامانه نیاز آب، با محاسبه دور و عمق آب آبیاری در طول فصل رشد گندم، تأثیر خاک مزرعه، راندمان کاربرد آب آبیاری، بارش و حبابه کشاورز بر برنامه‌ریزی آبیاری تحلیل و بررسی شد. میزان آب آبیاری

در اولین آبیاری گیاه گندم که برای سبز کردن و استقرار گیاه انجام می‌شود (خاکاب)، به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن نظیر آبیاری با دبی کم و در زمان زیاد، در محاسبات وارد نشد. مراحل گام‌به‌گام برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم در استان البرز به شرح زیر است: اولین گام، وارد کردن نوع گیاه است. بعد از آن، گام بعدی در برنامه‌ریزی آبیاری تعیین مکان کشت است. با وارد کردن مکان مزرعه در سامانه نیاز آب، در واقع عامل اقلیم منطقه در محاسبات لحاظ می‌شود.

اگر برنامه‌ریزی آبیاری برای کل طول فصل رشد گیاه گندم یعنی از اولین آبیاری بعد از سبز شدن و استقرار تا برداشت گندم مدنظر باشد، نیاز به پرسش تاریخ آبیاری قبلی نیست؛ اما اگر در بین فصل رشد و برای یک زمان مشخص (مثلاً اردیبهشت‌ماه) برنامه‌ریزی آبیاری مد نظر باشد، نیاز است که تاریخ آبیاری قبل مشخص باشد تا در صورت وقوع بارندگی بعد از آبیاری قبل، در محاسبه مقدار آب آبیاری لحاظ شود؛ بنابراین دومین سؤال از بهره‌بردار مربوط به تاریخ آبیاری قبلی است.

مرحله بعدی، اعلام نوع سامانه آبیاری از سوی بهره‌بردار است. هر یک از سامانه‌های آبیاری دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود هستند. در سامانه آبیاری ثقلی بلافاصله بعد از آبیاری، رطوبت خاک مزرعه از حد اشباع عبور کرده و آب با نیروی ثقل در سطح مزرعه جاری و گاه از محدوده توسعه ریشه زهکشی می‌شود؛ اما در سامانه آبیاری قطره‌ای ممکن است رطوبت خاک به حد اشباع نرسد و در سامانه آبیاری بارانی آب روی گیاه پاشیده و تلفات تبخیر بیشتر از سامانه آبیاری قطره‌ای است؛ بنابراین دور آبیاری در سامانه‌های مختلف آبیاری متفاوت است. در سامانه آبیاری ثقلی در دور آبیاری بیش از ۱۰ روز، بسته به خاک مزرعه بین ۴۸ تا ۷۲ ساعت بعد از زمان آبیاری، رطوبت به حد ظرفیت زراعی (FC) رسیده و در روزهای بعد رطوبت خاک کاهش و تا حدی می‌رسد که گیاه قادر به جذب آب به‌اندازه نیاز نبوده و به مرحله تنش نزدیک می‌شود. در روز بعد از آبیاری میزان تبخیر و تعرق واقعی

ده روزه است. ثانیاً انتخاب هفت روز برای استفاده از این میانگین در سامانه‌های مختلف آبیاری از ثقلی با دور آبیاری بالا و قطره‌ای با دور آبیاری کم در خاک‌های مختلف است (جعفری و غالبی، ۱۳۹۷).

$$\overline{ET}_a = \frac{\sum_{i=1}^7 ET_i}{ET_1 + ET_2 + ET_3 + ET_4 + ET_5 + ET_6 + ET_7} \quad (1)$$

که در آن:  $\overline{ET}_a$  میانگین تبخیر و تعرق واقعی بر حسب میلی‌متر بر روز و  $ET_i$  تبخیر و تعرق واقعی هر روز و اندیس  $i$  از یک تا هفت بیانگر روز بعد از آبیاری است. بافت خاک مزرعه توسط بهره‌بردار در سامانه نیاز آب انتخاب و بر اساس بافت خاک، درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی ذخیره‌شده در بانک داده‌های سامانه نیاز آب فراخوان شد. علاوه بر این، سامانه دارای این قابلیت است که کاربر می‌تواند بافت خاک مزرعه را وارد سامانه کند و سامانه بر اساس آن مقدار ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی را فراخوان کند (جدول ۲).

در بالاترین حد و هر چه زمان به آبیاری بعدی نزدیک‌تر می‌شود، از میزان تبخیر و تعرق کاسته می‌شود. در صورتی - که در سامانه آبیاری قطره‌ای به دلیل دور آبیاری کم، رطوبت خاک مزرعه در محدوده FC قرار دارد؛ بنابراین در سامانه - های مختلف آبیاری میزان در دسترس بودن رطوبت خاک برای تبخیر و تعرق تفاوت وجود دارد (تودوروویچ، ۲۰۱۶).

گام بعدی در تعیین دور آبیاری برآورد میانگین تبخیر و تعرق واقعی در هر منطقه برای گیاه گندم است. در این پژوهش، از تبخیر و تعرق واقعی گندم که قبلاً در سامانه نیاز آب برآورد شده استفاده شد. استفاده شد. نمونه‌ای از خروجی تبخیر و تعرق واقعی گندم در استان البرز در جدول (۱) نشان داده شده است. پس از فراخوان تبخیر و تعرق واقعی از سامانه نیاز آب، از تاریخ آبیاری قبل به مدت هفت روز میانگین آن به صورت وزنی محاسبه شد. محاسبه میانگین وزنی تبخیر و تعرق واقعی در این مدت، اولاً به دلیل تنظیم مقدار  $ET_a$  در سامانه نیاز آب به صورت میانگین

جدول ۱- مقادیر تبخیر و تعرق واقعی گندم در استان البرز

| تاریخ          | مشخصات گیاهی  | تبخیر-تعرق      |                              | نیاز آبیاری واقعی (IRa) بارش مؤثر (Pe) |        |                 |        |
|----------------|---------------|-----------------|------------------------------|----------------------------------------|--------|-----------------|--------|
|                |               | میلی‌متر در دهه |                              | میلی‌متر در دهه                        |        | میلی‌متر در دهه |        |
| ماه            | مرحله رشد دهه | Kc              | ضریب (ET <sub>a</sub> ) مرجع | گندم (ET <sub>a</sub> )                |        |                 |        |
| October-آبان   | 1             | ini             | 0.5                          | 23.27                                  | 10.66  | 15.58           | 0      |
| November-آبان  | 2             | ini             | 0.5                          | 20.3                                   | 9.26   | 7.3             | 1.96   |
| November-آبان  | 3             | ini             | 0.49                         | 14.77                                  | 6.71   | 6.22            | 0.49   |
| November-آذر   | 1             | ini             | 0.48                         | 13.12                                  | 5.87   | 5.21            | 0.66   |
| December-آذر   | 2             | ini             | 0.47                         | 12.11                                  | 5.26   | 5.52            | 0      |
| December-آذر   | 3             | ini             | 0.46                         | 11.3                                   | 4.86   | 4.04            | 0      |
| December-دی    | 1             | ini             | 0.46                         | 12.23                                  | 5.23   | 3.4             | 0      |
| January-دی     | 2             | ini             | 0.45                         | 11.99                                  | 4.98   | 2.15            | 0      |
| January-دی     | 3             | ini             | 0.45                         | 14.3                                   | 6.03   | 2.1             | 0      |
| January-بهمن   | 1             | ini             | 0.45                         | 14.95                                  | 6.32   | 3.75            | 0      |
| February-بهمن  | 2             | ini             | 0.45                         | 15.29                                  | 6.42   | 5               | 0      |
| February-بهمن  | 3             | ini             | 0.48                         | 18.46                                  | 8.17   | 2.52            | 0      |
| February-اسفند | 1             | ini             | 0.49                         | 20.93                                  | 9.43   | 9.36            | 0      |
| March-اسفند    | 2             | dev             | 0.55                         | 26.82                                  | 13.73  | 0.95            | 0      |
| March-اسفند    | 3             | dev             | 0.66                         | 24.58                                  | 14.97  | 5.01            | 0      |
| March-فروردین  | 1             | dev             | 0.79                         | 32.01                                  | 23.44  | 5.46            | 17.98  |
| April-فروردین  | 2             | dev             | 0.9                          | 36.72                                  | 30.85  | 5.53            | 25.32  |
| April-فروردین  | 3             | dev             | 1.03                         | 42.47                                  | 40.58  | 10.05           | 30.53  |
| April-اردیبهشت | 1             | mid             | 1.11                         | 45.33                                  | 46.17  | 3.55            | 42.62  |
| May-اردیبهشت   | 2             | mid             | 1.1                          | 48.42                                  | 48.8   | 3.28            | 45.52  |
| May-اردیبهشت   | 3             | mid             | 1.09                         | 60.03                                  | 59.7   | 1.6             | 58.1   |
| May-خرداد      | 1             | mid             | 1.08                         | 59.08                                  | 58.41  | 2.61            | 55.8   |
| June-خرداد     | 2             | end             | 0.93                         | 67.29                                  | 56.87  | 0.2             | 56.67  |
| June-خرداد     | 3             | end             | 0.65                         | 77.41                                  | 45.69  | 0               | 45.69  |
| June-تیر       | 1             | end             | 0.38                         | 62                                     | 21.52  | 0               | 21.52  |
| جمع کل         |               |                 |                              | 785.18                                 | 549.93 | 110.39          | 785.18 |

جدول ۲- ظرفیت حجمی رطوبت برای خاک موجود در بانک اطلاعات و وارد شده به سامانه نیاز آب توسط کشاورز

| بافت خاک              | لوم شنی | لوم (ارائه‌شده توسط سامانه نیاز آب) | لوم رسی |
|-----------------------|---------|-------------------------------------|---------|
| ظرفیت حجمی رطوبت mm/m | 120     | 153.3                               | 190     |

زراعی و نقطه پژمردگی در بند ۲، مقدار عمق آب آبیاری خالص ( $d_n$ ) در سامانه نیاز آب با استفاده از رابطه (۲) برآورد شد.

$$d_n = (FC - PWP) \times MAD \times Z_r \quad (2)$$

$Z_r$ : عمق توسعه ریشه (mm)،  $MAD$ : ضریب تخلیه مجاز رطوبتی،  $PWP$ : رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (mm/m)

گام بعدی تعیین تاریخ کاشت است. مهم‌ترین علت دانستن تاریخ کشت، محاسبه عمق توسعه ریشه گندم در سامانه است. عمق ریشه گندم متناسب با طول فصل رشد از بانک داده سامانه نیاز آب فراخوان شد.

بر اساس عمق ریشه گندم فراخوان شده از بند ۶ و ویژگی‌ها و درصد حجمی رطوبت خاک در نقاط ظرفیت

یک از سامانه‌های آبیاری رجوع کرده و از تاریخ آبیاری قبل تا تاریخ آبیاری جدید، مقدار تجمعی تبخیر و تعرق واقعی را محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار تبخیر و تعرق حاصل از این بند برابر مقدار تبخیر و تعرق واقعی در مجموع روزهای بین دو آبیاری است.

آیا از بعد از آبیاری قبل، بارندگی اتفاق افتاده است؟ اگر پاسخ خیر است سامانه از مرحله ۱۴ ادامه یابد. اگر پاسخ بله است، مقدار بارندگی و تاریخ اتمام بارندگی وارد شود.

در مقابل این سؤال دو گزینه وجود دارد: الف) بهره‌بردار مقدار بارندگی را می‌داند و آن را وارد می‌کند و ب) بارندگی اتفاق افتاده اما بهره‌بردار مقدار آن را نمی‌داند. اگر پاسخ قسمت الف را داد پس از وارد شدن مقدار بارش توسط بهره‌بردار، سامانه نیاز آب بارش مؤثر را با استفاده از روش قابل اطمینان محاسبه می‌کند. سپس تاریخ اتمام آخرین بارندگی را وارد کند. اگر مقدار باران مؤثر بیش از ۸۰ درصد مقدار تبخیر و تعرق نهایی در بند ۱۰ شد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸). مقدار آب آبیاری ناخالص محاسبه نمی‌شود و سامانه نیاز آب، تاریخ اتمام آخرین بارندگی را جایگزین تاریخ آبیاری قبل کرده و دوباره (بند ۲) دور آبیاری جدید را محاسبه می‌کند. اگر مقدار باران مؤثر، کمتر از ۸۰ درصد مقدار عمق آب آبیاری خالص در بند ۱۰ بود، محاسبه مقدار آب آبیاری ناخالص مطابق دستورالعمل ارائه شده از بند ۱۲ به بعد ادامه یابد.

اگر کاربر مقدار بارندگی را نداند، سامانه نیاز آب بسته به استان، شهر و دهستان محل کشت گندم و همچنین زمان آبیاری، به جدول مقدار بارندگی بانک اطلاعات سامانه مراجعه و میانگین وزنی مقادیر احتمالی بارش مؤثر را محاسبه می‌کند. پس از مشخص شدن مقدار بارش مؤثر در بین دو آبیاری، سامانه نیاز آب با کم کردن بند ۱۱ از بند ۱۰، مقدار آب آبیاری خالص را استخراج می‌کند.

و FC: رطوبت در حد ظرفیت زراعی (mm/m) و MAD برای محصول گندم ۰/۵ در نظر گرفته شد.

با استفاده از رابطه (۳) دور آبیاری بیشینه بر اساس هر یک از سامانه‌های آبیاری با استفاده از نرم‌افزار نیاز آب برآورد شد.

$$f = \frac{dn}{ET_a} \quad (3)$$

برای جلوگیری از وقوع تنش آبی، سامانه نیاز آب، دور آبیاری بدست آمده را به عدد کوچک‌تر گرد می‌کند.

### اصلاح دور آبیاری

سامانه نیاز آب بر اساس دور آبیاری به دست آمده در هر یک از سامانه‌های آبیاری، به جدول رجوع کرده و بجای میانگین تبخیر و تعرق هفت روزه، برای سامانه آبیاری قطره‌ای، بارانی و ثقلی دور آبیاری به دست آمده در بند ۸، میانگین  $ET_a$  را برآورد و دوباره به بند ۸ برگشته و دور و عمق آب آبیاری جدید را محاسبه می‌کند. این برگشت تا زمانی که اختلاف بین دو دور آبیاری ( $f$ ) کمتر از یک شد، ادامه پیدا می‌کند و دور آبیاری آخر، به عنوان دور آب آبیاری نهایی ثبت می‌شود.

اگر در آبیاری ثقلی دور آبیاری بیش از ۲۰ روز شد یعنی مخرج کسر رابطه (۳) به قدری کوچک بود که دور آبیاری نامتعارف (بیش از ۲۰ روز در سامانه آبیاری ثقلی) به دست آمد، سامانه نیاز آب دور آبیاری را همان ۲۰ روز در نظر می‌گیرد و مقدار آب آبیاری را اصلاح می‌کند. به طور مشابه در آبیاری بارانی اگر بیش از ۱۲ روز شد، ۱۲ روز و در آبیاری قطره‌ای اگر دور آبیاری بیش از هفت روز شد، هفت روز را لحاظ می‌کند (جعفری و غالبی، ۱۳۹۷). پس از محاسبه دور آبیاری نهایی، با اضافه کردن آن به تاریخ آبیاری قبلی، تاریخ آبیاری جدید به عنوان اولین خروجی توسط نرم‌افزار نیاز آب ارائه می‌شود.

با مشخص شدن دور آبیاری در هر کدام از سامانه‌های آبیاری، چه بر اساس بند ۸-۱ و چه بر اساس بند ۸-۲، سامانه نیاز آب به جدول تبخیر و تعرق برای هر

## راندمان کاربرد آب آبیاری

راندمان کاربرد آب آبیاری نسبت آبی که توسط گیاه در محدوده توسعه ریشه جذب شده به مقدار آبی است که وارد مزرعه می‌شود. برای استفاده از راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه نیاز آب دو راه وجود دارد یا زارع راندمان کاربرد مزرعه خود را محاسبه کرده و از آن آگاه است که مقدار آن را وارد سامانه نیاز آب می‌کند، اما اگر از مقدار آن آگاهی نداشت، مقدار راندمان را به سامانه نیاز آب واگذار کرده که به‌طور پیش‌فرض از راندمان درج شده در بانک اطلاعات استفاده می‌کند. در این پژوهش برای تحلیل و بررسی تأثیر خاک مزرعه و راندمان کاربرد آب آبیاری در برنامه‌ریزی آبیاری، از سه نوع خاک با بافت لوم‌شنی، لومی و لوم‌رسی با راندمان‌های کاربرد آب آبیاری مخصوص به خود استفاده شد (جدول ۳).

جدول ۳- حالت‌های مختلف راندمان کاربرد آب آبیاری برای خاک موجود در بانک اطلاعات و وارد شده از طریق کشاورز به سامانه نیاز آب

| سامانه آبیاری     | قطره‌ای | بارانی | ثقلی |
|-------------------|---------|--------|------|
| راندمان نیاز آب   | 76%     | 70%    | 46%  |
| راندمان ارائه شده | 76%     | 70%    | 30%  |
| توسط کشاورز       |         |        | 45%  |

نیاز آبتشویی مقدار آبی است که کشاورز علاوه بر آب مورد نیاز گندم به مزرعه می‌دهد تا نمک خاک مزرعه را شستشو نماید. به عبارت دیگر، نیاز آبتشویی بخشی از آب مصرفی گندم است که محاسبه آن در سامانه آبیاری قطره‌ای (رابطه ۴) با سامانه آبیاری بارانی و ثقلی (رابطه ۳) متفاوت است و برای محاسبه نیاز آبتشویی، بهره‌بردار باید مقدار شوری آب آبیاری، شوری عصاره اشباع خاک و شوری با عملکرد صفر را وارد نرم‌افزار کند. در این بررسی شوری آب آبیاری کمتر از دو دسی‌زیمنس بر متر بود که نیاز به آبتشویی نداشت.

$$LR = \frac{EC_w}{[5EC_e - EC_w]} \quad (4)$$

$$LR = \frac{EC_w}{[2EC_{max}]} \quad (5)$$

که در آن‌ها: LR: کسر آبتشویی،  $EC_w$ : هدایت الکتریکی آب آبیاری،  $EC_e$ : هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک-آستانه تحمل گیاه و  $EC_{max}$ : شوری خاک با عملکرد صفر. واحد همه پارامترها دسی‌زیمنس بر متر است. سامانه نیاز آب با استفاده از رابطه ۶ عمق ناخالص آب آبیاری برحسب میلی‌متر بر دور آبیاری را بر اساس راندمان کاربرد آب آبیاری ( $E_a$ ) و نیاز آبتشویی (LR) برآورد می‌کند:

$$I_g = \frac{I_n}{(1-LR) \times E_a} \quad (6)$$

غالباً مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری به‌صورت حجم آب با واحد مترمکعب ارائه می‌شود که برای این منظور نیاز به مساحت مزرعه (A) است؛ بنابراین مساحت مزرعه یکی دیگر از پارامترهایی است که باید وارد سامانه نیاز آب شود. از رابطه (۷) حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب در کل مزرعه محاسبه و به‌عنوان دومین خروجی نمایش داده می‌شود.

$$V_g = 10 \times I_g \times A \quad (7)$$

که در آن:  $I_g$  نیاز ناخالص برحسب میلی‌متر و  $V_g$  حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب در کل مزرعه است معمولاً مدت‌زمان آبیاری برای بهره‌بردار قابل درک‌تر است؛ بنابراین از رابطه (۸)، ساعت آبیاری ( $hr_i$ ) محاسبه و به‌صورت مدت‌زمان آبیاری برحسب ساعت به‌عنوان سومین خروجی از سوی سامانه نیاز آب اعلام می‌شود.

$$hr_i = V_g \div (3.6 \times Q) \quad (8)$$

Q: دبی آب آبیاری برحسب مترمکعب بر ثانیه که توسط کاربر وارد سامانه نیاز آب می‌شود و  $hr_i$  مدت‌زمان آبیاری برحسب ساعت است.

## حقابه

حقابه مقدار آبی است که یک کشاورز در یک مدار مشخص برحسب روز (مثلاً ۱۰ روز) به مدت مشخصی (مثلاً ۲۰ ساعت) از یک منبع آب (قنات، چاه یا رودخانه) با دبی ثابت یا متغیر در اختیار دارد. معمولاً برنامه‌ریزی آبیاری بهینه که شرح آن گذشت بر مدار حقابه

منطبق نیست. گاه ممکن است مدار آبیاری تعیین شده بیشتر یا کمتر از مدار حقایق کشاورز باشد. در این شرایط زارع نمی‌تواند از برنامه‌ریزی آبیاری تعیین شده برای آبیاری مزارع خود استفاده کند، مگر اینکه بتواند حقایق خود را در یک استخر آب، ذخیره و مطابق برنامه تعیین شده در اختیار گیاه قرار دهد که معمولاً این اتفاق مخصوصاً در شرایط کمبود آب امکان‌پذیر نیست. از سویی، حقایق کشاورز هم نیاز به ارزیابی دارد و باید کشاورز بداند که آیا مزرعه گندم خود را نسبت به شرایط موجود زودتر آبیاری می‌کند یا دیرتر و همچنین آیا مقدار حقایق کیفیت آبیاری مزرعه گندم را می‌کند یا خیر؟ بر این اساس در برنامه‌ریزی آبیاری، سامانه نیاز آب حقایق کشاورزان، هم از نظر دور آبیاری و هم مقدار آب آبیاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور اولین سؤالی که در این زمینه از زارع پرسیده می‌شود عبارت است از:

آیا حقایق دارد؟ اگر جواب خیر باشد برنامه به اتمام رسیده است و نیاز به ارزیابی ندارد و کشاورز باید برنامه‌ریزی آبیاری تعیین شده اعمال کند؛ اما اگر پاسخ مثبت باشد: مدار حقایق بر اساس نوع سامانه آبیاری را وارد کنید  $f_{ws}$  مثلاً ۱۰ روز

سامانه نیاز آب به‌جای ارائه دور آبیاری در شرایط بدون حقایق، مدار حقایق زارع را به‌عنوان دور آبیاری اعلام سپس این مدار را با دور آبیاری که در شرایط بهینه محاسبه شده مقایسه و به‌عنوان هشدار اعلام می‌کند که بهره‌بردار دیرتر یا زودتر از شرایط بهینه آبیاری می‌کند. در ادامه مقدار آب آبیاری از رابطه (۹) بر اساس مدار حقایق کشاورز تعیین می‌شود.

$$I_{gws} = I_g \times \frac{f_{ws}}{f} \quad (9)$$

محاسبه مقدار نیاز ناخالص آب آبیاری بر اساس اطلاعات موجود در سامانه یعنی راندمان ۴۶ درصد برای سامانه آبیاری ثقیل برآورد شد.  $I_{gws}$  مقدار آبی است که باید زارع در مدار حقایق خود در اختیار گیاه قرار دهد؛ بنابراین در صورت وجود حقایق، این عدد باید به‌عنوان دومین خروجی توسط سامانه نیاز آب اعلام شود. با مشخص شدن

دبی آب ورودی به مزرعه (دبی حقایق)، مدت‌زمان آبیاری مشخص و به‌عنوان سومین خروجی به‌وسیله سامانه نیاز آب اعلام شود. برای ارزیابی مقدار آبی که کشاورز بر اساس مدار حقایق در اختیار گندم قرار می‌دهد، باید دبی و مدت‌زمان آبیاری توسط کشاورز وارد سامانه نیاز آب شود؛ بنابراین در گام بعد:

دبی و مدت‌زمان حقایق که مزرعه با آن آبیاری می‌شود وارد سامانه نیاز آب شود ( $Q_{ws}$ )

بر اساس دبی و مدت‌زمان حقایق، مقدار آبی که زارع در اختیار مزرعه خود قرار می‌دهد برابر است با:

$$V_{ws} = 0.36 \times Q_{ws} \times T_{ws} \quad (10)$$

اگر مقدار آبی که زارع در هر مدار حقایق، در اختیار مزرعه گندم قرار می‌دهد کمتر از آبی باشد که بر اساس شرایط بهینه محاسبه شده و یا مدار حقایق یک روز بیشتر از مدار آبیاری در شرایط بهینه باشد (مزرعه یک روز دیرتر آبیاری شود)، سامانه نیاز آب هشدار لازم برای وقوع تنش آبی و کاهش عملکرد گندم برای کشاورز صادر می‌کند.

#### برآورد آب مصرفی در کل فصل رشد

با مشخص شدن برنامه‌ریزی آبیاری از زمان کاشت تا برداشت، با جمع نمودن مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری، مقدار آبی که سالانه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، محاسبه شد. همچنین برای ارزیابی اثر خاک، راندمان کاربرد آب آبیاری و بارش مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم در استان البرز از زمان کاشت (اول آبان) تا زمان برداشت (۱۰ تیر)، علاوه بر تعیین برنامه‌ریزی آبیاری در خاک با بافت لوم (موجود در بانک داده سامانه نیاز آب)، برنامه‌ریزی آبیاری دو خاک لوم شنی و لوم رسی که توسط کشاورز وارد سامانه نیاز آب شد تعیین و تحلیل لازم انجام شد. به‌دلیل تراکم زیاد گندم، فرض شده که در هر سه سامانه آبیاری تمام سطح مزرعه به‌طور کامل خیس شده و در بخشی از طول فصل رشد گندم که تبخیر و تعرق واقعی کمتر از یک میلی‌متر در روز داشت به‌عنوان خواب زمستانه تلقی شد و همچنین زمانی که مقادیر بارش مؤثر مخصوصاً

رشد، برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و ثقلی به‌طور جداگانه برای خاک‌های مختلف انجام و تحلیل لازم در مورد اثر هر یک از عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی آبیاری انجام شد.

به‌طور خلاصه، داده‌های مورد نیاز و محاسبات لازم در طول کل برنامه رایانه‌ای برنامه‌ریزی آبیاری در جدول (۴) ارائه شده است.

در ابتدای فصل رشد، کفایت آبیاری کرد، برنامه‌ریزی آبیاری انجام نشد. به این دلایل برنامه‌ریزی آبیاری از ۱۰ اسفند شروع و تا ۲۰ روز قبل از برداشت ادامه یافت. آبیاری اول برای سبز نمودن و استقرار جوانه گندم به دلیل طولانی بودن زمان آبیاری و راندمان کم آبیاری در محاسبات وارد نشد.

از سوی دیگر، برای ارزیابی نوع مدیریت آبیاری در مقدار مصرف آب گندم در استان البرز در طول فصل

جدول ۴- خلاصه ورودی و محاسبات و کدهای برنامه

| ردیف | ورودی                    | محاسبات                                                |
|------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1    | نوع گیاه                 | میانگین $\overline{ET_a}$ از آبیاری قبل به مدت هفت روز |
| 2    | مکان                     | عمق ریشه (هم قابل اندازه‌گیری و هم قابل محاسبه)        |
| 3    | تاریخ کاشت               | عمق خالص آب آبیاری                                     |
| 4    | نوع سامانه آبیاری        | دور آبیاری اولیه                                       |
| 5    | تاریخ آبیاری قبل         | دور آبیاری اصلاح‌شده                                   |
| 6    | بافت خاک                 | $ET_a$ برای دور آبیاری اولیه                           |
| 7    | مقدار و تاریخ بارندگی    | $ET_a$ برای دور آبیاری اصلاح‌شده                       |
| 8    | راندمان کاربرد آب آبیاری | تاریخ آبیاری                                           |
| 9    | شوری آب آبیاری           | بارش مؤثر                                              |
| 10   | شوری عصاره اشباع خاک     | نیاز خالص آب آبیاری                                    |
| 11   | شوری خاک با عملکرد صفر   | نیاز آبخویی                                            |
| 12   | دبی جریان                | نیاز ناخالص آب آبیاری                                  |
| 13   | مساحت مزرعه              | نیاز ناخالص اصلاح‌شده                                  |
| 14   | مدار حلقه                | حجم آب آبیاری ناخالص                                   |
| 15   | دبی حلقه                 | مدت زمان آبیاری                                        |
| 16   | زمان حلقه                | نیاز ناخالص در حلقه                                    |
| 17   | عمق ریشه                 | حجم ناخالص حلقه                                        |

## نتایج و بحث

است. حجم آب آبیاری و تعداد آبیاری در سامانه ثقلی، بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب  $7537m^3$  و ۸ مرتبه،  $4737$  مترمکعب و ۱۳ مرتبه،  $4959$  مترمکعب و ۱۷ مرتبه حاصل شد. مطابق انتظار، حجم آب آبیاری در سامانه آبیاری ثقلی حدود ۳۰ درصد بیشتر از دو سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای بود.

نکته قابل توجه در برنامه‌ریزی آبیاری گندم در استان البرز برآورد حجم آب آبیاری یکسان در سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای علی‌رغم پایین بودن راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه آبیاری بارانی نسبت به قطره‌ای بود. مساوی بودن حجم آب آبیاری در این دو سامانه آبیاری به دو دلیل عمده است: اولاً در سامانه آبیاری قطره‌ای بر خلاف

برنامه‌ریزی آبیاری شامل دور آبیاری، مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری و مقدار آب مصرفی در کل طول فصل رشد گندم در استان البرز، بر مبنای خاک مزرعه و راندمان کاربرد آب آبیاری مندرج در بانک اطلاعاتی سامانه نیاز آب (جدول ۲ و ۳)، در سامانه آبیاری ثقلی، بارانی و قطره‌ای با آب آبیاری باکیفیت مطلوب (بدون نمک) به شرح جداول ۵، ۶ و ۷ برآورد شد. نتایج برنامه‌ریزی آبیاری در طول فصل رشد نشان داد که در ابتدای فصل رشد به دلیل کم بودن تبخیر و تعرق و عمق توسعه ریشه، نیاز ناخالص آب آبیاری در هر آبیاری کم و با افزایش دما در مراحل انتهایی رشد و افزایش عمق ریشه مقدار آن افزایش یافته

دو سامانه آبیاری دیگر، در مراحل ابتدایی رشد گندم، به دلیل دور آبیاری کم، مقدار تبخیر و تعرق واقعی (جداول ۱ و ۲)، در هر بار آبیاری، کمتر از گنجایش رطوبتی مزرعه بود و برای عدم تنش آبی گیاه گندم، ظرفیت گنجایش رطوبتی خاک به جای تبخیر و تعرق واقعی مبنای محاسبه برنامه ریزی آبیاری قرار گرفت. ثانیاً مقدار رطوبت در دسترس خاک مزرعه برای تبخیر و تعرق در این سامانه بیشتر از سامانه آبیاری بارانی است در سامانه آبیاری قطره‌ای به دلیل دور پایین آبیاری، خاک مزرعه همواره مرطوب است. لذا رطوبت برای تبخیر و تعرق همواره در دسترس است؛ اما در سامانه آبیاری بارانی به دلیل طولانی‌تر بودن فاصله بین دو آبیاری، مقدار رطوبت خاک در روزهای قبل از هر آبیاری کمتر بوده (خاک مزرعه خشک‌تر است) و لذا مقدار تبخیر و تعرق در این سامانه در این روزها کمتر است (تودوروویچ، ۲۰۱۶). هر چند افزایش مقدار آب مصرفی ناشی از این تفاوت‌ها در هر آبیاری اندک بود اما در طول فصل رشد باعث تفاوت قابل توجه در مقدار آب مصرفی در سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به بارانی شد و تفاوت راندمان کاربرد آب آبیاری در این دو سامانه آبیاری جبران می‌شود. یکی از دلایل بالا بودن عملکرد در سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی، در دسترس‌تر بودن رطوبت

برای گیاه است. این موضوع یکی از دلایل عدم کاهش مصرف آب در کشاورزی علی‌رغم توسعه سامانه آبیاری قطره‌ای در کشور (حدود ۲/۵ میلیون هکتار) است که توجهی به آن نمی‌شود. شاید به‌کارگیری سامانه آبیاری قطره‌ای بر اساس شرایط آب، خاک، گیاه و اقلیم هر منطقه راه‌گشای این مشکل باشد. متعجبی (۱۳۸۸) در آزمایشی در گلپایگان برای گیاه گندم نه بار آبیاری با حجم آب آبیاری ۶۴۳۰ مترمکعب در هکتار توصیه نمود. همچنین در آزمایشی که توسط قوچانیان و همکاران (۱۳۹۸) در خراسان رضوی انجام شد دور آبیاری گندم را ۱۰ روز و حجم آب آبیاری در هر آبیاری را ۶۰۰ مترمکعب در هکتار، صنوبر و همکاران (۱۳۹۰) دور آبیاری گندم در یزد را بین ۸ تا ۱۰ روز و مقدار آب آبیاری را بین ۵۶۱ تا ۵۸۴ مترمکعب در هکتار برای هر آبیاری پیشنهاد کردند؛ اما در مورد تغییر دما و عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد و تأثیر آن بر مدار و مقدار آب آبیاری گندم توضیحی ارائه ندادند.

به‌طور خلاصه، از بین عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب یا تغییر سامانه آبیاری برای آبیاری مزارع گندم جزء عواملی هستند که هم بر دور آبیاری و هم بر حجم آب آبیاری تأثیرگذار است (جداول ۵، ۶ و ۷).

جدول ۵- برنامه‌ریزی آبیاری گندم در خاک با بافت لوم و راندمان ۴۶ درصد در سامانه آبیاری ثقیلی

| تاریخ آبیاری        | حجم** | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                         | حجم  | دور | عمق ریشه     |
|---------------------|-------|-----|----------|--------------------------------------|------|-----|--------------|
| بارش کفایت آبیاری   |       |     |          | ۲۶ اردیبهشت - 16May                  | 1077 | 9   | 37.5         |
| ۱ فروردین - 21Mar.  | 613   | 20* | 26       | ۵ خرداد - 26May                      | 1134 | 9   | 40           |
| ۱۶ فروردین - 5Apr.  | 752   | 15  | 29       | ۱۵ خرداد - 6Jun.                     | 1239 | 10  | 42           |
| ۲۷ فروردین - 16Apr. | 800   | 11  | 31       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی‌شود  |      |     |              |
| ۷ اردیبهشت - 27Apr. | 912   | 10  | 33       | کل آب مصرفی                          |      |     | تعداد آبیاری |
| ۱۷ اردیبهشت - 7May  | 1010  | 10  | 35.5     | 7537 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |      |     | 8            |

\*اصلاح شده \*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

جدول ۶- برنامه‌ریزی آبیاری گندم در خاک با بافت لوم و راندمان ۷۰ درصد در سامانه آبیاری بارانی

| تاریخ آبیاری       | حجم | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                        | حجم                                  | دور | عمق ریشه     |
|--------------------|-----|-----|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----|--------------|
| بارش کفایت آبیاری  |     |     |          | ۲۲ اردیبهشت-12May                   | 426                                  | 6   | 36           |
| ۲۲ اسفند-27Feb     | 265 | 12* | 24       | ۲۷ اردیبهشت-17May                   | 415                                  | 5   | 38           |
| ۴ فروردین-24Mar    | 224 | 11  | 26       | ۳ خرداد-24May                       | 488                                  | 6   | 39           |
| ۱۳ فروردین-2Apr.   | 269 | 9   | 28       | ۹ خرداد-30May                       | 478                                  | 6   | 40           |
| ۲۱ فروردین-10Apr.  | 297 | 8   | 30       | ۱۵ خرداد-5Jun.                      | 485                                  | 6   | 42           |
| ۲۸ فروردین-17Apr.  | 305 | 7   | 32       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی‌شود |                                      |     |              |
| ۴ اردیبهشت-24Apr.  | 330 | 6   | 33       |                                     |                                      |     |              |
| ۱۰ اردیبهشت-30Apr. | 365 | 6   | 34       | کل آب مصرفی                         | 4737 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |     | تعداد آبیاری |
| ۱۶ اردیبهشت-6May   | 390 | 6   | 35       |                                     |                                      |     |              |

\*اصلاح شده \*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

جدول ۷- برنامه‌ریزی آبیاری گندم در خاک با بافت لوم و راندمان ۷۶ درصد در سامانه آبیاری قطره‌ای

| تاریخ آبیاری      | حجم | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                        | حجم                                  | دور | عمق ریشه     |
|-------------------|-----|-----|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----|--------------|
| بارش کفایت آبیاری |     |     |          | ۱۷ اردیبهشت-7May                    | 325                                  | 5   | 35           |
| ۱۷ اسفند-7Mar.    | 214 | 7*  | 23       | ۲۲ اردیبهشت-12May                   | 335                                  | 5   | 36           |
| ۲۴ اسفند-14Mar.   | 205 | 7*  | 25       | ۲۶ اردیبهشت-16May                   | 360                                  | 4   | 37           |
| ۲ فروردین-22Mar.  | 201 | 7*  | 26       | ۱ خرداد-22May                       | 370                                  | 4   | 38           |
| ۹ فروردین-29Mar.  | 211 | 7   | 28       | ۶ خرداد-27May                       | 370                                  | 5   | 39           |
| ۱۶ فروردین-5Apr.  | 225 | 6   | 28       | ۱۱ خرداد-1Jun.                      | 386                                  | 5   | 41           |
| ۲۲ فروردین-11Apr. | 234 | 5   | 30       | ۱۶ خرداد-6Jun.                      | 411                                  | 5   | 42           |
| ۲۷ فروردین-16Apr. | 236 | 5   | 31       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی‌شود |                                      |     |              |
| ۲ اردیبهشت-22Apr. | 264 | 5   | 32       |                                     |                                      |     |              |
| ۷ اردیبهشت-27Apr. | 300 | 5   | 33       | کل آب مصرفی                         | 4959 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |     | تعداد آبیاری |
| ۱۲ اردیبهشت-2May  | 312 | 5   | 34       |                                     |                                      |     |              |

\*اصلاح شده \*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

برای بررسی تأثیر خاک مزرعه در برنامه‌ریزی آبیاری، دور و عمق آب آبیاری گندم برای سه خاک لوم-شنی، لوم و لومرسی با ویژگی مندرج در جداول ۲ و ۳ انجام شد. نتایج برنامه‌ریزی آبیاری گندم در این سه خاک با بارش و راندمان آبیاری یکسان در جدول ۵، ۸ و ۹ نشان داد که در استان البرز حجم آب آبیاری برای آبیاری یک

هکتار گندم در سامانه آبیاری ثقلی طول فصل رشد در سه خاک لوم، لومرسی و لوم‌شنی به ترتیب ۷۵۳۷، ۷۹۸۸ و ۷۹۸۷ مترمکعب است و نشان داد که بافت خاک تأثیری بر مقدار حجم آب آبیاری ندارد؛ اما تعداد دفعات آبیاری در طول فصل رشد به خاک مزرعه بستگی دارد و هر چه خاک سبک‌تر گنجایش زراعی آن کمتر و تعداد دفعات آبیاری در

یک فصل رشد بیشتر است و بالعکس. تعداد آبیاری در یک فصل رشد برای گندم در استان البرز برای این سه خاک لوم شنی، لوم و لومرسی با گنجایش زراعی متفاوت (جدول ۸- برنامه ریزی آبیاری گندم در استان البرز در سامانه آبیاری ثقلی در خاک لومرسی با راندمان آبیاری ۴۶٪)

| تاریخ آبیاری       | حجم** | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                        | حجم  | دور | عمق ریشه |
|--------------------|-------|-----|----------|-------------------------------------|------|-----|----------|
| بارش کفایت آبیاری  |       |     |          | ۸ خرداد- 29May                      | 1475 | 12  | 41       |
| ۱ فروردین- 21Mar.  | 750   | 20  | 26       | ۲۰ خرداد- 10Jun.                    | 1575 | 13  | 43       |
| ۱۹ فروردین- 8Apr.  | 808   | 18  | 30       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی شود |      |     |          |
| ۲ اردیبهشت- 22Apr. | 915   | 13  | 32       | کل آب مصرفی                         |      |     |          |
| ۱۴ اردیبهشت- 4May  | 1140  | 13  | 35       | تعداد آبیاری                        |      |     |          |
| ۲۶ اردیبهشت- 16May | 1325  | 12  | 37       | 7                                   |      |     |          |
|                    |       |     |          | 7988m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |      |     |          |

\*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

| تاریخ آبیاری       | حجم | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                         | حجم  | دور | عمق ریشه |
|--------------------|-----|-----|----------|--------------------------------------|------|-----|----------|
| بارش کفایت آبیاری  |     |     |          | ۳۰ اردیبهشت- 20May                   | 950  | 7   | 38       |
| ۲۸ اسفند- 18Mar.   | 518 | 20* | 23       | ۷ خرداد- 28May                       | 985  | 7   | 40       |
| ۱۲ فروردین- 1Apr.  | 591 | 15  | 28       | ۱۵ خرداد- 5Jun.                      | 1038 | 8   | 42       |
| ۲۲ فروردین- 11Apr. | 663 | 10  | 30       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی شود  |      |     |          |
| ۳۰ فروردین- 19Apr. | 701 | 8   | 32       | کل آب مصرفی                          |      |     |          |
| ۸ اردیبهشت- 28Apr. | 797 | 8   | 33       | تعداد آبیاری                         |      |     |          |
| ۱۶ اردیبهشت- 6May  | 844 | 8   | 35       | 10                                   |      |     |          |
| ۲۳ اردیبهشت- 13May | 900 | 7   | 36       | 7987 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |      |     |          |

\*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

نتایج ارزیابی راندمان کاربرد آب آبیاری بر دور و عمق آب آبیاری گندم، در سه خاک با بافت لوم، لوم شنی و لومرسی با راندمان کاربرد به ترتیب ۴۶، ۳۰ و ۴۵ درصد (جدول ۳) در جداول ۵، ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری تأثیری بر تعداد دفعات آبیاری در طول فصل رشد ندارد، اما حجم آب آبیاری را تحت تأثیر قرار می دهد. به طوری که با ۱۶ درصد کاهش راندمان کاربرد آب آبیاری در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم، ۴۲۶۰ مترمکعب در هکتار (۴۶٪) حجم آب آبیاری افزایش یافت (جداول ۵ و ۱۱)؛ اما کاشت گندم در خاک لوم شنی و لومرسی با راندمان آبیاری مشابه، تغییری در حجم آب آبیاری ایجاد نکرد (جداول ۸ و ۹)؛ بنابراین بر خلاف بافت خاک مزرعه، راندمان کاربرد آب آبیاری باعث تغییر در مقدار حجم آب آبیاری گندم شد. از این رو برای مدیریت مصرف آب، راندمان کاربرد آب آبیاری از اهمیت بیشتری نسبت به بافت خاک مزرعه برخوردار است. تغییر در سامانه آبیاری از ثقلی به تحت فشار با هدف افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری برای دستیابی به این هدف است.

نتایج ارزیابی راندمان کاربرد آب آبیاری بر دور و عمق آب آبیاری گندم، در سه خاک با بافت لوم، لوم شنی و لومرسی با راندمان کاربرد به ترتیب ۴۶، ۳۰ و ۴۵ درصد (جدول ۳) در جداول ۵، ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری تأثیری بر تعداد دفعات آبیاری در طول فصل رشد ندارد، اما حجم آب آبیاری را تحت تأثیر قرار می دهد. به طوری که با ۱۶ درصد کاهش راندمان کاربرد آب آبیاری در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم، ۴۲۶۰ مترمکعب در هکتار (۴۶٪) حجم آب آبیاری افزایش یافت (جداول ۵ و ۱۱)؛ اما کاشت گندم در خاک لوم شنی و لومرسی با راندمان آبیاری مشابه، تغییری در حجم آب آبیاری ایجاد نکرد (جداول ۸ و ۹)؛ بنابراین بر خلاف بافت خاک مزرعه، راندمان کاربرد آب آبیاری باعث تغییر در مقدار حجم آب آبیاری گندم شد. از این رو برای مدیریت مصرف آب، راندمان کاربرد آب آبیاری از اهمیت بیشتری نسبت به بافت خاک مزرعه برخوردار است. تغییر در سامانه آبیاری از ثقلی به تحت فشار با هدف افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری برای دستیابی به این هدف است.

**جدول ۱۰- برنامه‌ریزی آبیاری گندم در استان البرز در سامانه آبیاری ثقلی در خاک لومرسی با راندمان ۴۵٪**

| تاریخ آبیاری       | حجم  | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                        | حجم  | دور | عمق ریشه     |
|--------------------|------|-----|----------|-------------------------------------|------|-----|--------------|
| بارش کفایت آبیاری  |      |     |          | ۸ خرداد- 29May                      | 1508 | 12  | 40           |
| ۱ فروردین- 21Mar.  | 767  | 20  | 25       | ۲۰ خرداد- 10Jun.                    | 1610 | 13  | 43           |
| ۱۹ فروردین- 8Apr.  | 826  | 18  | 29       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی‌شود |      |     |              |
| ۲ اردیبهشت- 22Apr. | 935  | 13  | 32       | کل آب مصرفی                         |      |     | تعداد آبیاری |
| ۱۴ اردیبهشت- 4May  | 1165 | 13  | 35       | 8188m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |      |     | 7            |
| ۲۶ اردیبهشت- 16May | 1354 | 12  | 37       |                                     |      |     |              |

\*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

**جدول ۱۱- برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم در استان البرز در خاک لوم‌شنی با راندمان ۳۰٪ در سامانه آبیاری ثقلی**

| تاریخ آبیاری       | حجم  | دور | عمق ریشه | تاریخ آبیاری                          | حجم  | دور | عمق ریشه     |
|--------------------|------|-----|----------|---------------------------------------|------|-----|--------------|
| بارش کفایت آبیاری  |      |     |          | ۲۳ اردیبهشت- 13May                    | 1380 | 7   | 37           |
| ۲۸ اسفند- 18Mar.   | 794  | 20* | 25       | ۷ خرداد- 28May                        | 1510 | 7   | 39           |
| ۱۲ فروردین- 1Apr.  | 906  | 14  | 27       | ۱۵ خرداد- 10Jun.                      | 1592 | 8   | 42           |
| ۲۲ فروردین- 11Apr. | 1017 | 10  | 30       | ۲۰ روز قبل از برداشت آبیاری نمی‌شود   |      |     |              |
| ۳۰ فروردین- 19Apr. | 1075 | 8   | 32       | کل آب مصرفی                           |      |     | تعداد آبیاری |
| ۸ اردیبهشت- 28Apr. | 1222 | 8   | 34       | 12247 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |      |     | 9            |
| ۱۶ اردیبهشت- 6May  | 1294 | 8   | 35       |                                       |      |     |              |

\*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

به‌اندازه بارش مؤثر نمی‌شود (تامپسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ شرر و همکاران، ۲۰۲۲).

تأثیر زمان بارش بر مقدار آب مصرفی با پنج روز دیرتر از حالت قبل در جدول ۱۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با پنج روز جابجایی در زمان بارش (بارش بجای ۱۲۵م، در ۱۳۰م اتفاق بیفتد) مقدار آب مصرفی با همان مقدار بارش ۴۹/۹ میلی‌متر کاهش یافت؛ بنابراین اولاً علاوه بر مقدار بارش، زمان بارش هم بر مؤثر بودن و کاهش مقدار آب مصرفی اثرگذار است و ثانیاً مشخص نبودن زمان وقوع بارش و مقدار دقیق آن در استفاده از میانگین داده‌های درازمدت، باعث می‌شود که برنامه‌ریزی آبیاری با خطا مواجه شود و پیشنهاد می‌شود در آینده از داده‌های به روز در سامانه نیاز آب استفاده و در تحقیقات آینده موضوع بارش مؤثر در ارتباط با برنامه‌ریزی آبیاری

بارش مؤثر یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری است. زمان بارش در طول فصل رشد، مقدار و مدت بارش سه عامل مهم در مؤثر بودن مقدار بارش هستند. برای مشخص کردن تأثیر زمان بارش بر حجم آب آبیاری گندم، مقادیر بارش ۵۰، ۴۰ و ۳۰ میلی-متری به ترتیب در روزهای ۲۵ اسفند، ۲۵ فروردین و ۲۵ اردیبهشت (جدول ۱۲) در برنامه‌ریزی آبیاری در سامانه آبیاری بارانی بررسی شد. نتایج نشان داد که این مقدار بارش، مقدار آب مصرفی در سامانه آبیاری بارانی را ۱۱۸ مترمکعب معادل ۱۱/۸ میلی‌متر کاهش می‌دهد، این در حالی است که مقدار بارش مؤثر این سه بارش، مطابق محاسبات سامانه نیاز آب برابر ۴۲ میلی‌متر (۴۲=۲۰+۱۴+۸) است و نشان داد که اگر فاصله زمانی بین بارندگی و آبیاری کم باشد، باعث کاهش آب مصرفی

مورد بررسی قرار گیرد. در جدول ۱۲، از ویژگی خاک و راندمان کاربرد آب آبیاری ارائه شده به وسیله سامانه نیاز آب استفاده شده است.

جدول ۱۲- نقش بارش در برنامه ریزی آبیاری گیاه گندم در استان البرز در سامانه آبیاری بارانی

| برنامه ریزی آبیاری بدون بارش     |              |                                  |              | برنامه ریزی آبیاری با بارش ۵۰، ۴۰ و ۳۰ میلی متر در ۲۵ اسفند، ۲۵ فروردین و ۲۵ اردیبهشت   |              |                                  |              | برنامه ریزی آبیاری با بارش ۵۰، ۴۰ و ۳۰ میلی متر در ۳۰ اسفند، ۳۰ فروردین و ۳۰ اردیبهشت |              |                                  |              |
|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| تاریخ آبیاری                     | حجم          | دور                              | عمق ریشه     | تاریخ آبیاری                                                                            | حجم          | دور                              | عمق ریشه     | تاریخ آبیاری                                                                          | حجم          | دور                              | عمق ریشه     |
| ۲۲ اس. ۱۲Mar                     | 318          | 12                               | 19           | ۲۲ اس. ۱۲Mar                                                                            | 318          | 12                               | 19           | ۲۲ اس. ۱۲Mar                                                                          | 318          | 12                               | 19           |
| ۴ فرو. 24Mar                     | 331          | 7                                | 22           | مقدار بارش در ۲۵ اسفند بیش از ۸۰٪ نیاز آب آبیاری بود بنابراین به عنوان یک آبیاری تلقی و | 321          | 11                               | 22           | قبل از فرار رسیدن زمان آبیاری، وقوع بارش ۴۰mm جبران آبیاری کرد                        | 346          | 10                               | 24           |
| ۱۱ فرو. 31Mar                    | 370          | 8                                | 24           | ۶ فرو. 26Mar                                                                            | 353          | 9                                | 24           | ۱۰ فرو. 30Mar                                                                         | 366          | 8                                | 25           |
| ۱۹ فرو. 8Apr                     | 366          | 7                                | 25           | ۱۵ فرو. 4Apr                                                                            | 358          | 7                                | 25           | ۱۸ فرو. 7Apr                                                                          | 366          | 7                                | 27           |
| ۲۶ فرو. 15Apr                    | 410          | 7                                | 27           | ۲۲ فرو. 11Apr                                                                           | 207          | 7                                | 27           | ۲۵ فرو. 14Apr                                                                         | 415          | 6                                | 30           |
| ۳ اردی. 23Apr                    | 410          | 6                                | 29           | ۲۹ فرو. 18Apr                                                                           | 413          | 6                                | 29           | بارندگی برای آبیاری کفایت کرد                                                         | 423          | 6                                | 31           |
| ۹ اردی. 29Apr                    | 410          | 6                                | 30           | ۵ اردی. 25Apr                                                                           | 487          | 7                                | 31           | ۶ اردی. 26Apr                                                                         | 493          | 6                                | 32           |
| ۱۵ اردی. 5May                    | 436          | 6                                | 31           | ۱۱ اردی. 1May                                                                           | 510          | 6                                | 32           | ۱۲ اردی. 2May                                                                         | 449          | 5                                | 34           |
| ۲۱ اردی. 11May                   | 458          | 6                                | 32           | ۱۸ اردی. 8May                                                                           | 510          | 6                                | 36           | ۱۷ اردی. 7May                                                                         | 220          | 6                                | 36           |
| ۲۷ اردی. 17May                   | 545          | 6                                | 34           | ۲۴ اردی. 14May                                                                          | 510          | 6                                | 37           | ۲۳ اردی. 13May                                                                        | 533          | 6                                | 37           |
| ۳ خرداد. 27May                   | 545          | 6                                | 36           | ۳۰ اردی. 20May                                                                          | 609          | 7                                | 38           | ۲۸ اردی. 18May                                                                        | 503          | 5                                | 38           |
| ۹ خرداد. 30May                   | 545          | 6                                | 37           | ۶ خرداد. 27May                                                                          |              |                                  |              | ۴ خرداد. 25May                                                                        |              |                                  |              |
| ۱۶ خرداد. 6Jun                   | 545          | 7                                | 38           | ۱۲ خرداد. 2Jun                                                                          |              |                                  |              | ۱۰ خرداد. 31May                                                                       |              |                                  |              |
|                                  |              |                                  |              | ۱۹ خرداد. 9Jun                                                                          |              |                                  |              | ۱۵ خرداد. 5Jun                                                                        |              |                                  |              |
| مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> ) | تعداد آبیاری | مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> ) | تعداد آبیاری | مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> )                                                        | تعداد آبیاری | مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> ) | تعداد آبیاری | مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> )                                                      | تعداد آبیاری | مقدار آب مصرفی (m <sup>3</sup> ) | تعداد آبیاری |
| 5358                             | 13           | 5240                             | 13           | 4859                                                                                    | 12           |                                  |              |                                                                                       |              |                                  |              |

\*\*\* واحد حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، دور آبیاری (روز) و عمق ریشه (سانتیمتر)

## نتیجه گیری

متفاوتی در پی داشت و نشان داد که تغییر سامانه آبیاری که از نمادهای مدیریت آب در مزرعه است باعث تغییر در مدار آبیاری و میزان مصرف آب می شود. از نکات قابل توجه

برنامه ریزی آبیاری گیاه گندم در سامانه های ثقلی، بارانی و قطره ای از نظر مدار و حجم آب آبیاری نتایج

زراعی آن کمتر، فاصله دو آبیاری متوالی کمتر و در نتیجه تعداد دفعات آبیاری بیشتر خواهد شد. افزایش ۱۶ درصدی راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه آبیاری ثقلی، ۴۶ درصد حجم آب آبیاری کاهش داد و نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری از خاک مزرعه در کاهش مصرف آب مؤثرتر است. علاوه بر این زمان بارش در طول فصل رشد، مدت بارش و مقدار بارش از عواملی هستند که بر مقدار بارش مؤثر تأثیر بسزایی دارند. لذا پیشنهاد می‌شود زمان باران در فصل رشد، مقدار باران و مدت‌زمان آن بر بارش مؤثر بررسی و بر اساس آن رابطه‌ای متناسب با شرایط کشاورزی استخراج شود.

دیگر مشابه بودن حجم آب آبیاری در دو سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای بود که دلیل آن کوتاه بودن فاصله دو آبیاری متوالی در آبیاری قطره‌ای نسبت به بارانی و مرطوب بودن دائمی خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای است به عبارتی رطوبت خاک در مزارعی که تحت پوشش سامانه آبیاری قطره‌ای هستند باعث افزایش تبخیر و تعرق واقعی شده و این افزایش تبخیر و تعرق اختلاف راندمان در دو سامانه آبیاری را جبران نموده و باعث نزدیکی حجم آب آبیاری در این دو سامانه آبیاری می‌شود. بررسی خاک مزرعه بر برنامه‌ریزی آبیاری نشان داد که بافت خاک تأثیری بر حجم آب آبیاری ندارد اما تعداد دفعات آبیاری در طول فصل رشد را تغییر می‌دهد و هر چه خاک سبک‌تر گنجایش

#### فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، نیازعلی، تافته، آرش، حسینی، سیده‌نرگس و کیخا، فاطمه، ۱۴۰۱. سیستم نیاز آب. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. <http://swri.ir>
۲. امداد، محمدرضا و تافته، آرش، ۱۳۹۸. تعیین مناسب‌ترین عمق آب آبیاری گیاه گندم با استفاده از مدل Aquacrop در راستای ارتقا کارایی مصرف آب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۳(۲). ص. ۴۲۵-۴۱۷.
۳. تافته، آرش، دواتگر، ناصر، و عزیزی‌زهان، علی‌اکبر، ۱۳۹۸. مروری بر روش‌های تعیین و تخمین مقدار بارش مؤثر در تعیین نیاز آبیاری. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی. شماره ثبت ۵۷۴. ۴۳ صفحه.
۴. جعفری، حسین، ابراهیمی‌پاک، نیازعلی، دواتگر، ناصر، تافته، آرش، حسینی، سیده‌نرگس و رضوی، رقیه، ۱۴۰۳. برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی در سامانه نیاز آب. گزارش نهایی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. شماره مصوب ۹۷۱۰۳۸-۹۷۲-۱۰-۱۰-۰.
۵. جعفری، حسین و غالبی، سعید، ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری برای گندمیان مهم در مناطق مختلف کشور. شماره ثبت، ۵۵-اپ. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. تالار ترویج.
۶. دهقان، هادی، علیزاده، امین، انصاری، حسین، و حقایقی مقدم، سیدابوالقاسم، ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم (مطالعه موردی: دشت نیشابور). مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲(۵). ص. ۲۶۳-۲۷۵.
۷. صنوبر، علی، طباطبایی، سیدعلی، و دهقانی، فرهاد، ۱۳۹۰. اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ژنوتیپ‌های گندم نان در منطقه یزد. ۳(۲). ص. ۹۵-۱۰۴.
۸. عزیرآبادی‌فراهانی، مریم، و میرزایی، فرهاد، ۱۴۰۰. بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط مختلف تأمین آب با استفاده از الگوریتم مورچگان. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵(۱). ص. ۵۵-۶۴.

۹. عزیزی زهان، علی اکبر، بنی جمالی، سید محمد، شهابی فر، مهدی، پورمنصور، سمانه، رضوی، رقیه، و رفعت پور ساسان، ۱۳۹۸. برنامه ریزی آبیاری گل رز برای کلاس های مختلف بافت خاک در فضای باز. شانزدهمین کنگره علوم خاک. ۵ تا ۷ شهریور ۹۸. ۶ صفحه.
۱۰. قوچانیان، مرجان، انصاری، حسین، و فشائی، محمد، ۱۳۹۸. ارتقای بهره وری مصرف آب در محصول گندم زمستانه تحت سناریوهای آبیاری مختلف با استفاده از مدل Aquacrop ( مطالعه موردی مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی. ۱۳(۳). ص. ۶۶۶-۶۵۷.
۱۱. کریمی، علی، مسکرباشی، موسی، نبی پور، مجید، و برومندنسب، سعید، ۱۳۹۰. بررسی برخی خصوصیات کمی و کیفی دو رقم گندم تحت شرایط مختلف روش کاشت و دور آبیاری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱(۴). ص. ۹۵-۱۰۵.
۱۲. گوشه، محی الدین، و غالبی، سعید، ۱۳۹۱. مدیریت آبیاری گندم با استفاده از آب شور در اراضی جنوبی استان خوزستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۱). ص. ۴۳-۲۹.
۱۳. منتجی، نصرت الله، ۱۳۸۸. مدیریت مصرف آب آبیاری برای افزایش عملکرد و کارایی آب مصرفی گندم در گلپایگان. چهارمین همایش منطقه ای ایده های نو در کشاورزی. ۲۹ و ۳۰ مهرماه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، دانشکده کشاورزی.
14. Alhammadi, M. S. and Al-Shrouf, A. M. 2013. Crop Production, irrigation of sandy soils, basics and scheduling. Chapter 3. *Creative Commons Attribution*. Pages 20.
15. Gebeyhu, B., Dagalo, S. and Muluneh, M. 2024. Soil moisture-based irrigation interval and irrigation performance evaluation: In the case of lower Kulfo catchment, Ethiopia. *Heliyon* 10(2024) e36089.
16. Jorge, A. D., Peter, M. G., Mark, A. N., Tom, G., Don, R., Rattan, L., Newell, R. K., Charles, W. R., Dan, T., and Paul, S. 2008. New technology to increase irrigation efficiency. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(1):11A.  
**doi:10.2489/jswc.63.1.11A.**
17. Salah, E. H. and Urs, S. 2010. Optimal coupling combinations between irrigation frequency and rate for drip-irrigated maize grown on sandy soil. *Agricultural Water Management*, 97(3): 439-448.
18. Scherer, T. F., Franzen, D. and Cihacek, L. 2022. Soil, Water and plant characteristics important to irrigation. North Dakota State University (NDSU) Extension. 16 Pages. [www.ag.ndsu.edu/agcomm/creative-commons](http://www.ag.ndsu.edu/agcomm/creative-commons).
19. Seidel, S. J., Schütze, N., Fahle, M., Mailhol, J.C. and Ruelle, P. 2015. Optimal irrigation scheduling, irrigation control and drip line layout to increase water productivity and profit in subsurface drip-irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage*, 64(4): 501-518.
20. Snyder, R. L., Shackel, K. A., Sanden, B., Fulton, A. E. and Suvočarev, K. 2024. Microirrigation for crop production. *Irrigation Scheduling*. (Second Edition). Chapter 3. Pages 41-132.
21. Thompson, R.B., Gallardo, M., Valdez, L.C. and Fernández, M.D. 2007. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 88(1-3): 147-158.
22. Todorovic, M. 2016. Soil Water Balance and Irrigation Scheduling. LARI, Tal Amara, Lebanon, 12-16 December.
23. Yi, J., Li, H., Zhao, Y., Shao, M., Zhang, H. and Liu, M. 2022. Assessing soil water balance to optimize irrigation schedules of flood-irrigated maize fields with different cultivation histories in the arid region. *Agricultural Water Management*. 265: 107543.