



Assessment of Applied Water and Irrigation Performance Indicators in Winter Barley (a Case Study: Ardabil Province, Iran)

Farzin Parchami-Araghi¹ | Seyed Abolghasem Haghayeghi-Moghaddam²

1. Corresponding Author, Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran. Email: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir

2. Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. E-mail: a.haghayeghi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 5, 2023

Revised: May. 10, 2023

Accepted: May. 15, 2023

Published online: June. 22, 2023

Keywords:

Crop Rotation,
Drought Stress,
FAO Penman- Monteith,
Sprinkler Irrigation,
Surface Irrigation.

ABSTRACT

Reliable estimates of the seasonal applied water and irrigation performance assessment indicators under current irrigation and farm management are prerequisites for improving water resources management. In this study, seasonal applied water and irrigation performance assessment indicators of winter barley were studied by monitoring 25 farms under actual conditions, in Ardabil Province (Ardabil, Namin, Nir and Kosar counties), Iran, during the growing season 2020-2021. The seasonal estimates of the net irrigation requirement during the growing season 2020-2021 and its 10-year average ranged from 476 to 652 mm and from 403 to 535 mm (with a mean of 530 and 449 mm), respectively, over the study farms. The total sum of seasonal applied water and effective precipitation ($I + P_e$) and the barley grain yield ranged from 266 to 716 mm and from 0.14 to 4.07 ton ha⁻¹ (with a weighted average, WA, of 475 mm and 2.33 ton ha⁻¹), respectively. As a result of limited irrigation water availability, 3-91% (with a WA of 52%) of the intended yield of irrigated barley in the study area (4.5 ton ha⁻¹) was achieved. Physical and economic water productivity indicators were significantly ($P < 0.05$) affected by farmer's skill level, crop rotation, type of irrigation water source, and irrigation method. The results indicated that farms with surface water supply showed the highest vulnerability to drought periods. Improving the on-farm water management flexibility and mitigating the negative impacts of hot and windy days during the grain filling stage can improve water productivity indicators in the study area.

Cite this article: Parchami-Araghi, F., & Haghayeghi-Moghaddam, S. A. (2023). Assessment of Applied Water and Irrigation Performance Indicators in Winter Barley (a Case Study: Ardabil Province, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (4), 559-578. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.340831.669476>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.340831.669476>



ارزیابی آب کاربردی و نمایه‌های عملکرد آبیاری در جو زمستانه (مطالعه موردی: استان اردبیل)

فرزین پرچمی عراقی^۱ | سید ابوالقاسم حقایقی مقدم^۲

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. رایانامه: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: a.haghaveghi@areeo.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

در دست داشتن برآوردهایی معتبر از آب کاربردی فصلی و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در شرایط واقعی مدیریت آبیاری و بهره‌برداری اعمال شده در مزارع، پیش‌نیاز بهبود مدیریت منابع آب کشاورزی است. در پژوهش حاضر، آب کاربردی فصلی و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری جو زمستانه در ۲۵ مزرعه تحت مدیریت زارعین واقع در استان اردبیل (شهرستان‌های اردبیل، نمین، نیر و کوثر)، در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد مطالعه قرار گرفت. نیاز آبی خالص جو در مزارع مطالعاتی در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ میانگین ۱۰ ساله آن به ترتیب، در دامنه ۴۷۶ تا ۶۵۲ و ۴۰۳ تا ۵۳۵ میلی‌متر برآورد شد (به ترتیب، با میانگین ۵۳۰ و ۴۴۹ میلی‌متر). مجموع آب کاربردی و بارش موثر فصلی (I + P_e) و عملکرد دانه جو به ترتیب، بین ۲۶۶ تا ۷۱۶ میلی‌متر و ۰/۱۴ تا ۴/۰۷ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد (به ترتیب، با میانگین وزنی ۴۷۵ میلی‌متر و ۲/۳۳ تن بر هکتار). در نتیجه محدودیت دسترسی به آب آبیاری، ۳ تا ۹۱ درصد (با میانگین وزنی ۵۲ درصد) از عملکرد مورد انتظار جو آبی در منطقه (۴/۵ تن بر هکتار) محقق گردید. اثر سطح مهارت بهره‌برداران، تناوب زراعی، نوع منبع تامین آب آبیاری و روش آبیاری بر نمایه‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، معنی‌دار (P < 0.05) بود. نتایج نشان داد در منطقه مطالعاتی، مزارع با منبع آب سطحی از بیشترین آسیب‌پذیری نسبت به شرایط خشکسالی، برخوردار هستند. بهبود انعطاف‌پذیری مدیریت آب در مزارع و کاهش اثرات مخرب روزهای گرم و پرباد در مرحله پرشدن دانه‌ها، می‌تواند بهبود نمایه‌های بهره‌وری آب را در پی داشته باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۴/۱

واژه‌های کلیدی:

آبیاری بارانی،
آبیاری سطحی،
تناوب زراعی،
تنش خشکی،
فائو پنمن - مانیتث.

استناد: پرچمی عراقی، فرزین و حقایقی مقدم، سید ابوالقاسم (۱۴۰۲). ارزیابی آب کاربردی و نمایه‌های عملکرد آبیاری در جو زمستانه (مطالعه موردی: استان اردبیل). مجله

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.340831.669476>، ۵۴-۵۵۹، (۴)، ۵۴، تحقیقات آب و خاک ایران،

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.340831.669476>

مقدمه

گونه‌های مختلف غلات ۵۱ درصد از اراضی مزروعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند (Martínez-Romero et al., 2021). گیاه جو (*Hordeum vulgare L.*) با سطح زیرکشت تقریبی ۴۹/۴۷ میلیون هکتار و تولید سالانه ۱۴۵/۴۹ میلیون تن دانه جو در سطح جهان (FAOSTAT, 2023)، از رایج‌ترین و سازگارترین گونه‌های غلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Katerji et al., 2009; Ghasemi-Mobtaker et al., 2020). از این رو، گیاه جو در مقایسه با گندم، غالباً در مناطقی با شرایط محیطی پرتنش کشت می‌شود (Cossani et al., 2009). در کشور ایران، جو بعد از گندم، عمده‌ترین محصول زراعی است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس داده‌های فائو در سال ۲۰۲۱ میلادی، ایران به لحاظ سطح زیرکشت (۲/۱۱ میلیون هکتار) و تولید دانه جو (۲/۸۱ میلیون تن) به ترتیب، در رتبه هشتم و ۱۳ام کشورهای عمده تولیدکننده جو قرار داشته است (FAOSTAT, 2023). داده‌های ۳۰ ساله سازمان فائو حاکی از سهم سه و دو درصدی کشور ایران، به ترتیب از سطح زیرکشت و تولید دانه جو در سطح جهان است (FAOSTAT, 2023). علی‌رغم غالب بودن سهم وسعت اراضی کشت دیم جو (با سهم ۵۸ درصدی)، ۶۱ درصد از جو تولیدی کشور به اراضی آبی تعلق دارد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). محدودیت منابع آب کشاورزی به همراه سایر عوامل محدودکننده تولید جو در کشور موجب گردیده است که میانگین عملکرد جو در واحد سطح کمتر از میانگین جهانی آن باشد. تا جایی که بر اساس داده‌های ۳۰ سال اخیر فائو، عملکرد جو در واحد سطح همواره به میزان ۱۸ تا ۵۶ درصد (با میانگین ۳۶ درصد) کمتر از میانگین جهانی (۲/۶۲ تن بر هکتار) بوده است (FAOSTAT, 2023). از میان کشورهای عمده تولیدکننده جو (روسیه، استرالیا، فرانسه، آلمان، اوکراین، اسپانیا، انگلستان، کانادا و ترکیه)، کشورهای اسپانیا و ترکیه به لحاظ اقلیمی و محدودیت منابع آب کشاورزی از تشابه بیشتری با شرایط کشور ایران برخوردار هستند. داده‌های فائو در مورد کشورهای اسپانیا و ترکیه حاکی از افزایش میانگین ۱۰ سال اخیر عملکرد جو در واحد سطح نسبت به میانگین ۳۰ سال اخیر آن (به ترتیب، افزایش ۱۳ و نه درصدی) و کاهش ضریب تغییرات متناظر آن (به ترتیب، کاهش ۱۸ و ۰/۱۲ درصدی) است. در مورد کشور ایران، این بررسی حاکی از کاهش میانگین ۱۰ سال اخیر عملکرد جو در واحد سطح نسبت به میانگین ۳۰ سال اخیر آن (به میزان دو درصد) و افزایش ضریب تغییرات متناظر آن (به میزان هفت درصد) است. یکی از دلایل این امر را می‌توان به محدودیت فزاینده منابع آب کشاورزی در پی شدت یافتن خشکسالی‌ها، سهم قابل توجه جو دیم و وابستگی عملکرد محصول به شرایط اقلیمی و بعضاً، دشواری توجیه اقتصادی تولید جو آبی نسبت داد. استان اردبیل، با سطح زیرکشت ۱۰۳/۲۳ هزار هکتار (با سهم ۲۴ درصدی اراضی آبی) و تولید ۱۶۵/۸۶ هزار تن (با سهم ۵۵ درصدی اراضی آبی)، هفتمین استان عمده تولیدکننده جو در کشور محسوب شده و به ترتیب، ۵/۵ و ۴/۳ درصد از سطح زیر کشت و تولید جو در کشور را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). مناطق عمده کشت جو آبی در دشت اردبیل و نواحی جنوبی استان تمرکز یافته است. محدودیت دسترسی به منابع آب کشاورزی از مهم‌ترین چالش‌های تولید جو آبی (به‌عنوان یکی از گیاهان عمده الگوی کشت) در این مناطق محسوب شده و به تبع آن، مدیریت آبیاری اعمال شده در مزارع از نقش مهمی در بیابان آبی منطقه برخوردار است. بسته به موقعیت جغرافیایی مزارع و فصل از سال، آب آبیاری از مخازن احداث شده، رودخانه‌های فصلی یا منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. بنابراین، با توجه به تغییرات زمانی و مکانی محدودیت دسترسی به منابع آب کشاورزی، پایش و ارزیابی مدیریت آبیاری و کمی‌سازی آب کاربردی و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در شرایط واقعی مزارع جو، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه منابع محدود آب و بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در استان اردبیل است. با این حال، بخش عمده مطالعات مرتبط با این زمینه در مقیاس کرت‌های آزمایشی صورت گرفته (جدول ۱) و بالطبع، اثر محدودیت‌های تولید در شرایط واقعی بر مدیریت آب مزرعه مورد توجه قرار نمی‌گیرد. از این رو، نتایج این مطالعات قادر به انعکاس مدیریت آبیاری اعمال شده در مزارع در انطباق با محدودیت‌های تولید و سطح قابل حصول بهره‌وری آب کاربردی در شرایط واقعی بهره‌برداری از مزارع نخواهد بود. این در حالی است که ارزیابی عملکرد آبیاری در شرایط واقعی مزارع بهره‌برداران در ارائه تصویری هرچه واقع‌بینانه‌تر از نحوه مصرف منابع آب کشاورزی حائز اهمیت است. بنابراین، هدف از این پژوهش، برآورد آب کاربردی فصلی و ارزیابی مدیریت آبیاری اعمال شده در مزارع جو زمستانه از طریق اندازه‌گیری مستقیم و میدانی آب کاربردی و عملکرد محصول بود. این تحقیق در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری مزارع واقع در جنوب استان اردبیل انجام شد که به‌عنوان قطب اصلی کشت جو آبی در استان محسوب می‌شود.

پیشینه پژوهش

تاکنون، مطالعات متعددی در مقیاس کرت‌های آزمایشی و به‌منظور بررسی عکس‌العمل ارقام مختلف جو نسبت به رژیم‌های آبیاری صورت گرفته و بسته به درجه تفصیل این بررسی‌ها، مقادیر برخی اجزای بیلان آب و نمایه‌های بهره‌وری آب نیز کمی‌سازی شده است. نتایج مربوط به برخی از این پژوهش‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱. نتایج گزارش شده مربوط به نمایه‌های بهره‌وری آب جو زمستانه^(*).

منبع	Ghasemi-Aghbolaghi & (Sepaskhah, 2018)	(پیرسته انوشه و همکاران، Hussain & Al-Jaloud, 1998)	(Katerji et al., 2009)	(Katerji et al., 2009)
منطقه	ایران، شیراز	عربستان سعودی، ریاض	ایتالیا، باری	ایتالیا، باری
T	۱	۲	۲	۲
EC _i	۰/۷۲	۱۲ تا ۲	۳/۳۲ تا ۳/۳۰	۳/۶ تا ۱/۱
EC _e	۰/۶۴	۵	-	۹/۱ تا ۰/۹
P	۳۳۵	۱۱۰ تا ۶۷	۱۵۲	-
I	۷۵۳ تا ۵۶۱	۷۵۵ تا ۶۱۱	۶۲۹	+-
I + P	۱۰۸۸ تا ۸۹۶	۸۶۵ تا ۶۷۸	۷۸۱	-
ET _a	۶۸۲ تا ۶۱۴	-	-	۳۶۱ تا ۳۱۸
Y	۸/۱۳ تا ۳/۷۶	۶/۸۳ تا ۳/۵۲	۷/۲۵ تا ۲/۱۲	۴/۲۵ تا ۴/۰۳
Y _s	۱۰/۰۷ تا ۴/۸۳	۹/۷۱ تا ۶/۳۷	۱۶/۸۵ تا ۲/۱۱	۶/۸۵ تا ۵/۲۱
WP _{ET}	۱/۲۰ تا ۰/۶۱	-	-	۱/۲۵ تا ۱/۱۸
WP _I	۱/۳۱ تا ۰/۵۵	۰/۹۶ تا ۰/۵۴	۱/۱۵ تا ۰/۳۴	-
WP _{I+P}	۰/۸۲ تا ۰/۳۸	۰/۸۳ تا ۰/۴۹	-	-
منبع	(Morell et al., 2011)	(Ararssa et al., 2019)	(Pardo et al., 2020)	Martínez-Romero et al., (2021)
منطقه	اسپانیا، دره ابرو	اتیوپی، گونداری	اسپانیا، کاستیا-لا مانچا	جنوب شرقی اسپانیا
T	۲	۱	۳	۳
EC _i	-	-	-	-
EC _e	-	-	-	-
P	-	۵۹۰	۱۰۵	۱۳۰ تا ۱۷۴
I	۴۸۸ تا ۲۳۹	۷۲ تا ۵۴	۳۲۹ تا ۱۷۵	۳۶۸ تا ۱۷۵
I + P	-	۶۶۲ تا ۶۴۴	۴۳۴ تا ۲۸۰	۵۴۲ تا ۳۰۵
ET _a	-	-	-	-
Y	۴/۴۲ تا ۰/۳۱	۱/۷۰ تا ۱/۴۵	۹/۰۵ تا ۶/۳۴	۲/۲۸ تا ۱/۳۵
Y _s	-	-	-	۹/۲۰ تا ۶/۲۸
WP _{ET}	-	-	-	-
WP _I	۰/۹۷ تا ۰/۱۲	۲/۹۵ تا ۲/۰۱	۳/۶۳ تا ۲/۷۸	۳/۶۸ تا ۲/۴۷
WP _{I+P}	-	۰/۲۶ تا ۰/۲۲	۲/۳۹ تا ۲/۱	۲/۲۴ تا ۱/۶۷

(*) در این جدول، T بیانگر مدت زمان انجام مطالعه (سال)، EC_e و EC_i به ترتیب، بیانگر شوری آب آبیاری و شوری خاک ناحیه توسعه ریشه

(دسی‌زیمنس بر متر)، I + P، ET_a به ترتیب، بیانگر مقادیر فصلی بارش، آب کاربردی و تبخیر- تعرق واقعی جو (میلی‌متر)، Y و Y_s به ترتیب، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش جو (تن بر هکتار) و نمایه‌های WP_{ET}، WP_I و WP_{I+P} به ترتیب، نمایه‌های بیانگر بهره‌وری آب صرف شده در فرآیند تبخیر- تعرق، بهره‌وری آب کاربردی و بهره‌وری مجموع آب کاربردی و بارندگی (کیلوگرم دانه جو بر مترمکعب، جدول ۲) ارائه گردیده است.

+ آبیاری در مکش ماتریک ۰/۴ مگاپاسکال، ++ آبیاری در مکش ماتریک ۰/۷ مگاپاسکال

به‌طور کلی، پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه برآورد آب کاربردی جو در شرایط واقعی بهره‌برداری مزارع محدود است. این در حالی است که گردآوری چنین داده‌هایی نخستین گام در جهت بهبود مدیریت منابع آب محسوب می‌شود (Salvador et al., 2011). دلیل اصلی این امر ناشی از هزینه‌بری و طاقت‌فرسا بودن این‌گونه مطالعات است؛ چرا که لازمه چنین بررسی‌هایی، پایش مدیریت آبیاری در

مزارع بهره‌برداران و نیز بررسی عکس‌العمل گیاه به مدیریت آبیاری اعمال شده است. از سوی دیگر، به دلیل لزوم تعدد مزارع مورد پایش، عملاً، تعیین تمامی اجزای بیلان آب در مزارع مورد بررسی میسر نیست. از این‌رو، ارزیابی مدیریت آبیاری اعمال شده در مزارع با استفاده از نمایه‌هایی صورت گرفته است که کمی‌سازی آن‌ها نیازمند در دست داشتن داده‌های مربوط به تمامی مؤلفه‌های بیلان آب مزرعه نباشد (جدول ۲). همچنین، این محدودیت‌ها برخی پژوهشگران را بر آن داشته که چنین بررسی‌هایی را از طریق گردآوری داده‌های مطالعات پیشین صورت دهند. به‌عنوان مثال، طی مطالعه‌ای در حوضه ابرو در کشور اسپانیا، (Salvador et al., 2011)، با استفاده از یک بانک اطلاعاتی حاوی داده‌های مدیریت آبیاری ثبت شده در سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۵ میلادی برای ۱۵۵۰ مزرعه، با بررسی ۱۲ مزرعه جو زمستانه، مقدار فصلی نیاز آبی خالص جو زمستانه را بین ۲۴۱ تا ۴۲۱ میلی‌متر (با میانگین ۳۳۴ میلی‌متر) گزارش کردند. همچنین، میانگین آب کاربردی فصلی در روش آبیاری سطحی و بارانی کلاسیک ثابت به ترتیب، 49 ± 194 و 169 ± 260 میلی‌متر به دست آمد. میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب کاربردی (WP_1 ، جدول ۲) برای روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب، $2/3$ و $2/5$ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین نمایه RIS (جدول ۲) به ترتیب، $0/14 \pm 0/55$ و $0/65 \pm 0/87$ گزارش شد. با این حال، ماهیت و شدت محدودیت‌های تحمیلی به کشاورزان در زمان و مکان متغیر است و برآیند اثرات این محدودیت‌ها، تصمیمات اتخاذی کشاورزان در خصوص نحوه مدیریت آب در مزرعه را متأثر می‌سازد. بنابراین، منطقاً، اعتبار نتایج مطالعاتی که در آن‌ها از داده‌های مزرعه‌ای مربوط به سالیان گذشته جهت استنتاج راهکاری برای مدیریت بهینه منابع آب در شرایط فعلی استفاده می‌شود، با محدودیت مواجه خواهد بود.

جدول ۲. توصیف ریاضی برخی نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری^(*).

منبع	توصیف ریاضی	نمایه
(Malano & Burton, 2001)	$RIS = I/I_n$	تامین نسبی آبیاری ^۱ (-)
	$RWS = (I + P_e)/ET_c$	تامین نسبی آب ^۲ (-)
(Lorite et al., 2004)	$RRS = P_e/ET_c$	تامین نسبی بارش ^۳ (-)
(Clemmens & Burt, 1997)	$SIPI = 100 I_n/I$	نمایه عملکرد آبیاری فصلی ^۴ (-)
(Israelsen, 1932)	$AE = \text{Min}(100, 100 I_n/I)$	راندمان کاربرد اسرائیلسن ^۵ (درصد)
(Bos et al., 1994)	$CYR = Y / \bar{Y}$	نسبت عملکرد محصول ^۶ (-)
	$WP_{ET} = k Y / ET_a$	بهره‌وری تبخیر- تعرق (کیلوگرم بر مترمکعب)
	$WP_1 = k Y / I$	بهره‌وری آب کاربردی (کیلوگرم بر مترمکعب)
(Molden et al., 2003)	$WP_{I+P_e} = k Y / (I + P_e)$	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
	$WP_s = k q_n / I$	بهره‌وری اقتصادی آب (واحد پولی بر مترمکعب)

^(*) در این جدول، P_e ، d ، d_n ، ET_c و ET_n به ترتیب، بارش موثر، آب کاربردی، نیاز آبی خالص ($I_n = ET_c - P_e$)، تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه و تبخیر-تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)، Y و \bar{Y} به ترتیب، عملکرد محصول واقعی و مورد انتظار (تن بر هکتار)، q_n سود اقتصادی خالص حاصل از تولید محصول و $k = 0/1$ ضریب تبدیل واحد است.

محدودیت دسترسی به داده‌های مورد نیاز، پژوهشگران را ناگزیر به اتخاذ برخی فرضیات ساده‌سازی نیز نموده است. به‌عنوان مثال، طی مطالعه‌ای در دشت قزوین، میزان بهره‌وری آب آبیاری در کشت جو برای روش‌های آبیاری بارانی بین $0/75$ تا $2/50$ کیلوگرم بر مترمکعب و برای روش آبیاری سطحی بین $0/43$ تا $1/42$ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۵). در این مطالعه، عمق آب کاربردی در مزارع مطالعاتی با استفاده از اطلاعات دفترچه‌های طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی برآورد گردید. همچنین، این بررسی فاقد داده‌های مزارع با روش آبیاری سطحی بود و به‌منظور برآورد آب کاربردی فصلی و نمایه WP_1 در روش آبیاری سطحی، مقادیر عمق آب کاربردی در مزارع مطالعاتی با استفاده از نتایج مطالعات پیشین در ضریب $1/76$ ضرب شد. بر این اساس، آب کاربردی فصلی جو زمستانه در سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب، بین 342 تا 828 و 194 تا 471 میلی‌متر گزارش شد. در مطالعه‌ای در دره رودخانه

۱. Relative Irrigation Supply (RIS)

۲. Relative Water Supply (RWS)

۳. Relative Rainfall Supply (RRS)

۴. Seasonal Irrigation Performance Index (SIPI)

۵. Israelsen's Application Efficiency (AE)

۶. Crop Yield Ratio (CYR)

می‌سی‌سی‌پی آمریکا، آب کاربردی در مزارعی که آب مورد نیاز آن‌ها از طریق پمپاژ از چاه تامین می‌شد، با استفاده از انرژی الکتریکی مصرف شده پمپ برآورد شد (Massey et al., 2017). در دسته‌ای دیگر از مطالعات مشابه صورت گرفته در این رابطه، با تمرکز بر انتقال حداکثری از داده‌هایی که جمع‌آوری آن‌ها نسبتاً آسان‌تر است (داده‌های هواشناسی، برنامه‌ریزی آبیاری اعمال شده، تقویم فنولوژیکی گیاه و عملکرد محصول و بعضاً، برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک و آب آبیاری و مؤلفه‌های بیلان اقتصادی تولید محصول) و کاربرد برخی نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری (جدول ۲)، سعی در جهت ارائه تصویری هرچه واقع‌بینانه‌تر از نحوه مصرف آب کشاورزی و ارائه برخی راهکارهای علاج‌بخشی داشته‌اند. در این رابطه، طی مطالعه‌ای در دشت بهار در استان همدان، زمانی و همکاران (۱۳۹۳) میانگین آب کاربردی فصلی را در روش‌های آبیاری سطحی و بارانی به ترتیب، ۵۸۴ و ۳۹۶ میلی‌متر و میانگین نمایه بهره‌وری آب آبیاری (WP_i) را به ترتیب، ۰/۷۱ و ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. در مطالعه‌ای در ناحیه آبیاری کانداسنوس، در شمال شرقی کشور اسپانیا، Stambouli et al. (2012) میانگین آب کاربردی فصلی در مزارع زمستانه با روش آبیاری بارانی (سنتریوت و کلاسیک ثابت) را ۲۲۳ میلی‌متر (با ضریب تغییرات ۳۷ درصدی) و میانگین نمایه SIPI را ۱۳۱ درصد (با ضریب تغییرات ۵۷ درصدی) گزارش کردند. بر این اساس، وقوع کم‌آبیاری در مزارع مطالعاتی استنتاج گردید. در مطالعه‌ای سه ساله در ناحیه آبیاری ریو آداجا، Naroua et al. (2014) میانگین آب کاربردی فصلی جو زمستانه در سه سال زراعی در مزارع با سیستم‌های آبیاری بارانی را بین ۷۷ تا ۱۶۱ میلی‌متر، میانگین نمایه RIS را بین ۰/۳۹ تا ۱/۸۱ و میانگین نمایه‌های WP_i و WP_{i+Pe} را به ترتیب، بین ۲/۹۹ تا ۵/۳۲ و ۱/۴۵ تا ۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. همین‌طور، Andrés et al. (2020) طی مطالعه‌ای در ناحیه آبیاری کاستل فلوریت در جنوب شرقی اسپانیا، میزان آب کاربردی جو در روش آبیاری بارانی طی دو سال زراعی را به ترتیب، ۱۲۰ و ۲۱۰ میلی‌متر و نمایه RIS در هر دو سال مطالعاتی را برابر با ۱/۵ گزارش کردند.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزارع منتخب جو زمستانه واقع در نیمه جنوبی استان اردبیل در شهرستان‌های اردبیل، نمین، نیر و کوثر انجام شد. مزارع مطالعاتی (در مجموع، ۲۵ مزرعه) از طریق مشاوره با مراکز خدمات و مدیریت جهاد کشاورزی به گونه‌ای انتخاب شد که حتی‌الامکان، دامنه تغییرات ویژگی‌های مزارع جو در سطح منطقه مطالعاتی به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و آب آبیاری، وضعیت زهکشی داخلی خاک، تاریخ کشت، روش آبیاری، رقم جو و سطح تحصیلات و مهارت بهره‌برداران (پیشرو/ معمولی) را پوشش دهند (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، عمده مزارع مطالعاتی در دشت اردبیل و شهرستان کوثر به‌عنوان کانون‌های اصلی کشت آبی جو زمستانه در استان تجمع یافته‌اند. سطح تحصیلات بهره‌برداران مزارع منتخب بین ابتدایی تا لیسانس متغیر بوده و بخش عمده آنها (۹۶ درصد) دارای سطح تحصیلات دیپلم و پایین‌تر از آن بودند. همچنین، ۱۴ درصد از کل مزارع مطالعاتی تحت مدیریت کشاورزان پیشرو بود و مابقی توسط کشاورزان معمولی مدیریت می‌شد. آب مورد نیاز ۵۶ و ۲۸ درصد مزارع مطالعاتی به ترتیب، از منابع آب سطحی و زیرزمینی و مابقی مزارع به‌صورت ترکیبی از هر دو منبع فوق، تامین می‌شد. مساحت ناخالص مزارع منتخب با میانگین ۱/۶ هکتار بین ۰/۵۲ تا ۱۰/۳ هکتار متغیر بود. در مزارع مطالعاتی، کشت جو در تناوب با آیش، گندم، سیب‌زمینی، جو و کلزا صورت گرفت (به ترتیب، با فراوانی نسبی ۴۸، ۲۰، ۲۰، ۸، ۴ درصد). ارقام جو کشت شده شامل ماکویی، آذران، بهمن و هرتا (با سهم به ترتیب، ۶۹، ۱۵، ۸ و ۸ درصد از مزارع مطالعاتی) بود که در تمامی مزارع مطالعاتی به‌روش خشکه‌کاری و با استفاده از ردیف‌کار، کودپاش یا به‌صورت دست‌پاش کشت شد. کود اوره تنها کود مورد استفاده در مزارع مطالعاتی بود (به‌جز یک مزرعه که در آن کود فسفر نیز به‌کار برده شده بود). در مطالعات مزرعه‌ای، ویژگی‌هایی از جمله مراحل مختلف رشد گیاه، بافت و شوری خاک، شوری آب آبیاری تحویلی، عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری و عملکرد محصول در واحد سطح تعیین شد. اغلب مزارع مطالعاتی (۸۸ درصد) به‌روش سطحی (کرتی) و مابقی به‌روش بارانی (کلاسیک متحرک) آبیاری می‌شدند. در هر یک از واقعه‌های آبیاری، دبی جریان تحویلی در نقطه ورود جریان آب به مزارع با استفاده از فلوم WSC و مطابق با رهنمودهای اسلامی (۱۳۹۵) اندازه‌گیری شد. بسته به شدت نوسانات جریان تحویلی در طول مدت زمان آبیاری، اشل فلوم در بازه‌های زمانی ۵ تا ۳۰ دقیقه‌ای قرائت شد و دبی جریان تحویلی در هر واقعه آبیاری از طریق تعیین میانگین وزنی قرائت‌های صورت گرفته برآورد شد. در مورد مزارع با روش آبیاری بارانی، دبی جریان تحویلی به مزرعه از طریق اندازه‌گیری دبی متوسط آبپاش‌ها (روش حجمی) برآورد شد. در این مزارع، تلفات نشت از سیستم آبیاری قابل صرف‌نظر بود. متعاقباً، مقادیر عمق کاربردی با در دست داشتن سطح زیر کشت واقعی مزرعه، دبی ورودی و مدت زمان تحویل آب به مزرعه برآورد گردید. در اندازه‌گیری دبی

ورودی به مزارع، بسته به شرایط مزرعه، فلوم‌های تیپ ۴ و ۵ مورد استفاده قرار گرفت که روابط دبی-اشل فلوم WSC، تیپ ۴ و ۵ به ترتیب، در روابط ۱ و ۲ ارائه شده است (اسلامی، ۱۳۹۵):

$$Q = \text{Min}(\text{Max}(1.0, 0.00294H^{2.102}), 60.0) \quad \text{رابطه ۱}$$

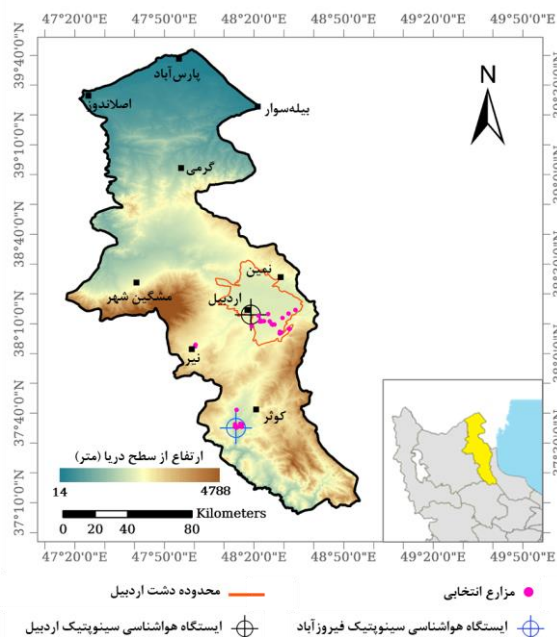
$$Q = \text{Min}(\text{Max}(5.0, 0.0232H^{2.196}), 70.0) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این روابط: Q شدت جریان آب عبوری از فلوم (لیتر بر ثانیه) و H اشل قرائت شده فلوم (سانتی‌متر) است.

ارزیابی عملکرد آبیاری در مزارع مطالعاتی با استفاده از نمایه‌های ارائه شده در جدول ۲ (به‌جز نمایه، SIPI) صورت گرفت. همچنین، از تابع خطی Doorenbos and Kassam (1979) به‌منظور در دست داشتن برآوردی سرانگشتی از ET_a فصلی در مزارع مطالعاتی استفاده شد:

$$1 - Y/Y_{max} = k_y(1 - ET_a/ET_{max}) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن: Y_{max} و ET_{max} به ترتیب، مقادیر پتانسیل عملکرد و تبخیر-تعرق فصلی جو و k_y ضریب پاسخ عملکرد که برای گیاه جو $k_y = 1$ است (Smith, 1992). مقدار ET_{max} برابر با ET_c فصلی در نظر گرفته شد و مقادیر Y_{max} برای ارقام جو مطالعاتی از شرفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) استخراج گردید.

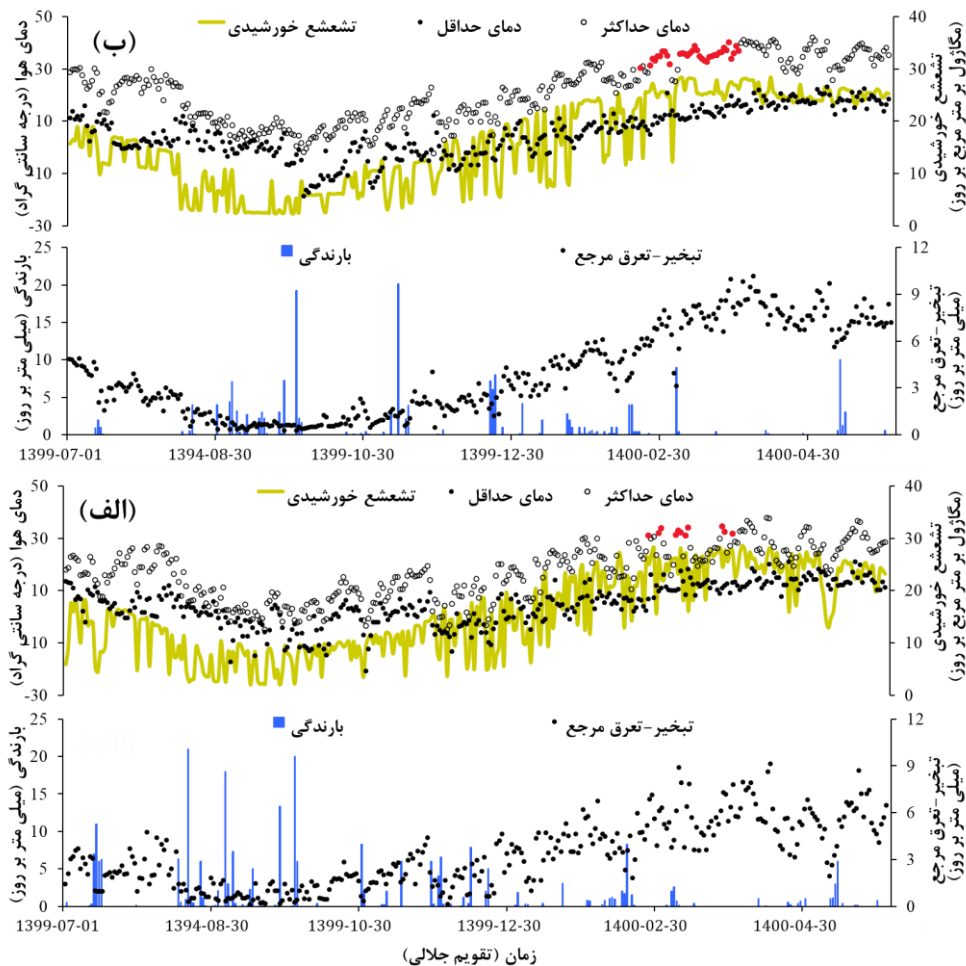


شکل ۱. پراکنش جغرافیایی مزارع مطالعاتی.

نیاز آبی خالص جو در هر یک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تبخیر-تعرق گیاه و بارش موثر با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک همجوار مزارع مطالعاتی محاسبه گردید (شکل ۱). صحت داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده با استفاده از معیارهای پیشنهادی توسط Allen et al. (1998) مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور برآورد داده‌های هواشناسی گم شده از یک الگوریتم مبتنی بر جستجو-بهینه‌سازی (پرچمی عراقی و همکاران، ۱۳۹۵) استفاده شد. به‌دلیل غیرمرجع بودن ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی، مقادیر داده‌های دمای نقطه شبنم با استفاده از یک روش مبتنی بر نمایه خشکی (Todorovic et al., 2013) تصحیح شد. مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی در سطح زمین از طریق مدل عددی Yang and Koike (2005) برآورد شد. تبخیر-تعرق روزانه جو (ET_c ، میلی‌متر بر روز) در هر یک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تقویم فنولوژیکی گیاه در هر مزرعه و با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اردبیل (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب، ۳۷° ۱۹' و ۴۸° ۱۳' و ارتفاع ۱۳۱۴٫۳ متر از سطح دریا) و فیروزآباد (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب، ۳۷° ۳۵' و ۴۸° ۱۴' و ارتفاع ۱۱۷۵٫۷ متر از سطح دریا) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c ET_0 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن: K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر تعرق روزانه چمن مرجع (میلی متر بر روز) می باشد. برآوردهای روزانه ET_o از طریق مدل فائو پنمن - مانتیث (Allen et al., 1998) محاسبه شد. مقادیر ET_c برای جو زمستانه با استفاده از ET_o محاسباتی و ضرایب گیاهی منفرد برای گیاه جو (به ترتیب، ۰/۳۰، ۱/۱۵ و ۰/۲۵ برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه) برآورد گردید (Allen et al., 1998). مقادیر P_e با استفاده از داده های بارش، P ، از طریق روش USDA-SCS (Bos et al., 2008) برآورد شد. متعاقباً، مقادیر فصلی P ، P_e ، ET_c و ET_o محاسبه شده بر اساس مراحل مشاهداتی رشد گیاه در هر یک از مزارع مورد مطالعه برای (۱) فصل زراعی مطالعاتی، (۲) میانگین ۱۰ سال اخیر و (۳) سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی (با استفاده از داده های هواشناسی درازمدت) برآورد گردید. بدین ترتیب، هر یک از مزارع مطالعاتی دارای مقادیری منحصر به فرد از برآوردهای فوق بود. برآوردهای مربوط به سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی بر اساس تحلیل فراوانی تجربی برای برآوردهای درازمدت P_e ، ET_c و I_n محاسبه شد (USDA-NRCS, 1993). الگوی تغییرات روزانه متغیرهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی منتخب در طول دوره مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. در فصل زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، میانگین دمای متوسط روزانه در ایستگاه های اردبیل و فیروزآباد به ترتیب، برابر ۱۰/۷ و ۱۳/۶ درجه سانتی گراد و میانگین تبخیر-تعرق مرجع روزانه به ترتیب، برابر با ۳/۲ و ۳/۹ میلی متر بر روز بود.



شکل ۲. الگوی تغییرات روزانه متغیرهای هواشناسی در طول دوره مطالعاتی در ایستگاه های سینوپتیک اردبیل (الف) و فیروزآباد (ب). نقاط قرمز رنگ بیانگر روزهای با پتانسیل ایجاد اختلال در مرحله پرشدن دانه ها (روزهای با دمای حداکثر بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد و سرعت وزش باد بیش از ۲ متر بر ثانیه) است.

یافته های پژوهش

آماره های توصیفی برخی ویژگی های فیزیکی و مدیریتی مزارع مطالعاتی در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک سطحی (با دامنه تغییرات ۰/۸۶ تا ۱/۷۰ دسی زیمنس بر متر) با معیارهای توصیه شده در این رابطه (USSLS, 1954)، خاک

سطحی همه مزارع مطالعاتی در کلاس "بدون مشکل شوری" قرار گرفت. با توجه به آستانه شوری عصاره اشباع خاک برای کاهش عملکرد محصول جو (۸ دسی‌زیمنس بر متر) (Maas, 1990)، می‌توان گفت که شوری خاک عامل محدود کننده عملکرد محصول جو در منطقه مطالعاتی محسوب نمی‌شود. بر اساس نمودار ویلکاکس (Wilcox, 1955)، آب تحویلی به اغلب مزارع مطالعاتی (۷۶ درصد) در کلاس C2 (شوری متوسط) و مابقی در کلاس C3 (شوری بالا) قرار داشت. بر اساس جدول ۳، تاریخ کشت بذر جو و تاریخ برداشت محصول در مزارع مطالعاتی، به ترتیب، با میانگین ۱۳۹۹/۰۸/۰۶ و ۱۴۰۰/۰۵/۰۳ از تغییرپذیری اندکی برخوردار بوده است. با این حال، تاریخ آغاز آبیاری، فاصله بین زمان کشت بذر تا اولین آبیاری و میانگین دور آبیاری از بیشترین تغییرپذیری در بین ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی برخوردار بوده‌اند. هرچند که اغلب مزارع (۸۰ درصد) به فاصله حداکثر یک هفته پس از کشت بذرهای آبیاری شدند، اما محدودیت دسترسی به آب آبیاری در برخی مزارع (سه مزرعه) موجب به تعویق افتادن خاکاب شد. با وقوع بارش‌های پاییزه (شکل ۲)، آب مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذرهای تأمین گردید و انجام آبیاری خاکاب در این مزارع، لغو شد.

جدول ۳. آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی

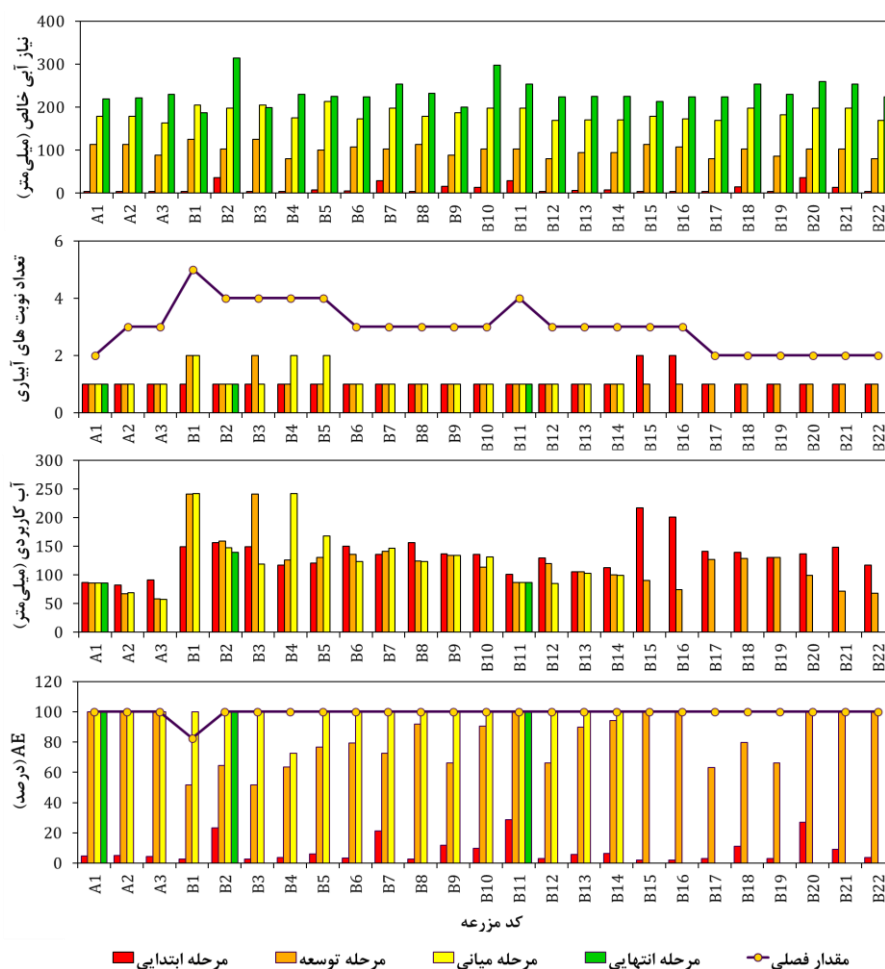
ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
میانگین شدت جریان تحویلی به مزرعه (لیتر بر ثانیه)	۱۱/۰۷	۶۰/۴۸	۳۶/۲۶	۴۳
شوری خاک سطحی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۸۶	۱/۷۰	۱/۲۳	۱۷
شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۹	۱/۳۱	۰/۷۳	۴۲
تاریخ کشت بذر	۱۳۹۹/۰۷/۱۸	۱۳۹۹/۰۸/۲۶	۱۳۹۹/۰۸/۰۶	۵
تاریخ برداشت	۱۴۰۰/۰۴/۲۰	۱۴۰۰/۰۵/۱۴	۱۴۰۰/۰۵/۰۳	۷
طول دوره رشد (روز)	۲۴۵	۲۸۶	۲۶۹	۴
تاریخ اولین آبیاری	۱۳۹۹/۰۷/۲۰	۱۴۰۰/۰۱/۲۸	۱۳۹۹/۰۸/۲۸	۱۰۲
تاریخ آخرین آبیاری	۱۴۰۰/۰۱/۱۸	۱۴۰۰/۰۳/۲۷	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۲۸
فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول (روز)	۰	۱۸۲	۲۳	۲۴۳
فاصله اولین و آخرین آبیاری (روز)	۱۸	۲۳۳	۱۷۷	۳۰
تعداد نوبت‌های آبیاری اعمال شده	۲	۵	۳	۲۶
میانگین دور آبیاری (روز)	۱۸	۱۸۵	۹۸	۴۸
فاصله آخرین آبیاری تا برداشت (روز)	۳۹	۹۶	۷۲	۲۱
تعداد دفعات کوددهی	۱	۲	۱	۳۵

آماره‌های توصیفی مقادیر فصلی بارندگی، بارش موثر، تبخیر- تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص جو زمستانه محاسبه شده بر اساس تقویم فنولوژیکی مشاهداتی در مزارع مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس مقادیر آماره ضریب تغییرات ارائه شده در این جدول، تمامی برآوردهای فوق در بین مزارع مطالعاتی از تغییرپذیری اندکی برخوردار بوده‌اند. این تغییرپذیری ناشی از متفاوت بودن تقویم فنولوژیکی گیاه در بین مزارع مطالعاتی است. این امر از شکل ۳ و شکل ۴ که به ترتیب، برآوردهای I_n برای مراحل چهارگانه رشد گیاه بر اساس متحنی ضریب گیاهی (مراحل ابتدایی، میانی، توسعه‌ای و انتهایی) و سراسر فصل رشد به تفکیک مزارع مطالعاتی را نشان می‌دهند نیز قابل استنباط است. مطابق با جدول ۴، مقادیر حداقلی و حداکثری برآوردهای ET_c و I_n از اختلافی ۱۶ تا ۱۹ درصدی با یکدیگر برخوردار بوده‌اند. همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود، الگوی توزیع زمانی برآوردهای I_n در مراحل مختلف رشد جو در مزارع مطالعاتی متفاوت است. این امر بیانگر اثر عوامل مختلف بر تقویم فنولوژیکی گیاه در هر یک از مزارع مطالعاتی (نظیر ویژگی‌های اقلیمی، تاریخ کشت، رقم، مدیریت آبیاری، مدیریت آفات و بیماری‌ها و مدیریت مواد مغذی خاک مزرعه) و به تبع آن بر تغییرات نیاز آبی خالص در مراحل مختلف رشد گیاه است. میانگین برآوردهای ماهانه I_n در مزارع مطالعاتی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در مقایسه با ایستگاه هواشناسی اردبیل، ایستگاه هواشناسی فیروزآباد نماینده منطقه‌ای با اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر است که این امر موجب حصول مقادیر بزرگ‌تر I_n و کوتاه‌تر شدن دوره رشد گیاه گردیده است.

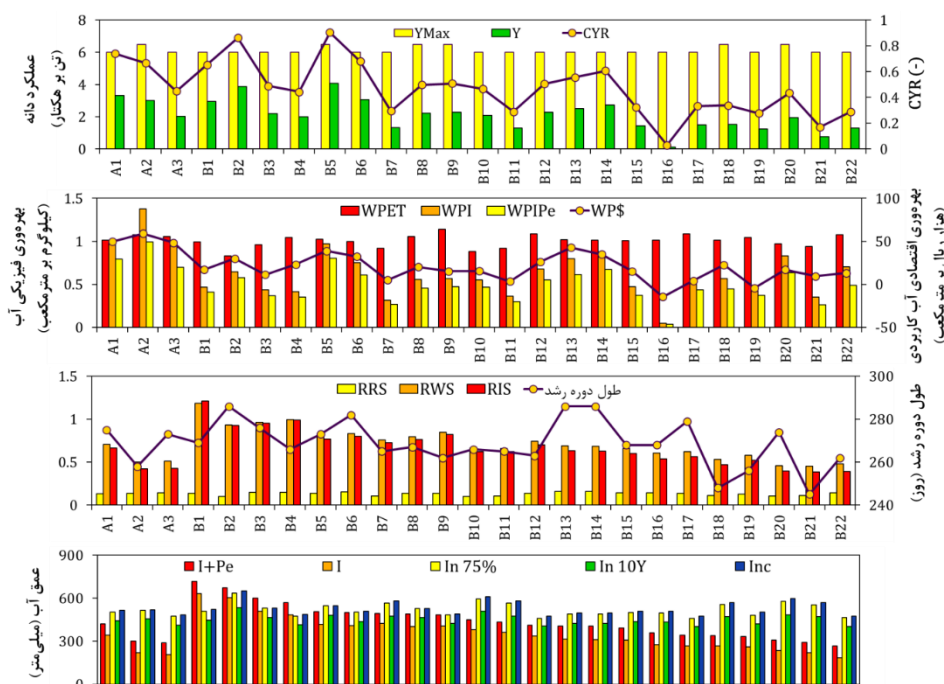
جدول ۴. آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف (میلی متر) بارندگی و نیاز آبی جو محاسبه شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع مورد مطالعه به همراه برآوردهای سند ملی آب کشور^(*)

آماره	سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت)					میانگین ۱۰ سال اخیر					فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹					سند ملی آب کشور
	I_n	ET_c	ET_o	P_c	P	I_n	ET_c	ET_o	P_c	P	I_n	ET_c	ET_o	P_c	P	
حداقل	۴۵۹	۵۲۳	۷۷۰	۴۴	۷۳	۴۰۳	۵۱۱	۷۳۶	۱۰۸	۱۸۴	۴۷۶	۵۵۲	۷۸۲	۶۹	۱۵۷	
حداکثر	۶۳۶	۶۸۳	۱۰۰۷	۷۲	۱۱۳	۵۳۵	۶۵۹	۹۵۰	۱۲۴	۲۴۹	۶۵۲	۷۲۳	۱۰۱۶	۹۳	۲۱۵	
میانگین	۵۱۸	۵۸۰	۸۴۹	۶۱	۹۷	۴۴۹	۵۶۴	۸۰۶	۱۱۵	۲۰۹	۵۳۰	۶۱۰	۸۵۷	۸۰	۱۸۷	
CV	۹	۷	۶	۱۶	۱۴	۸	۶	۶	۵	۹	۹	۷	۶	۱۰	۱۱	

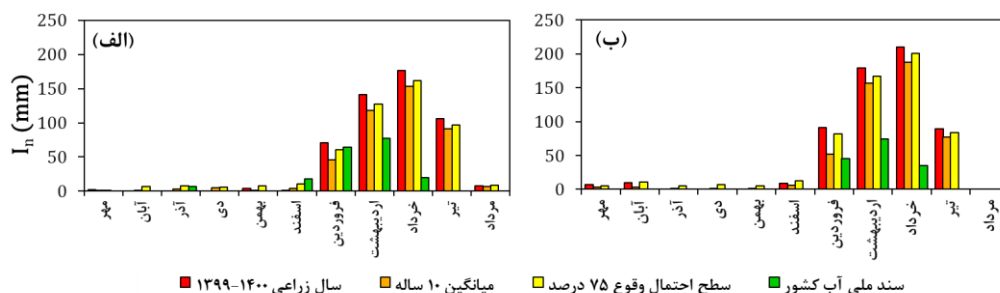
^(*) در این جدول، CV بیانگر ضریب تغییرات (درصد) است.



شکل ۳. مقایسه مقادیر نیاز آبی خالص، آب کاربردی، نمایه AE و تعداد نوبت‌های آبیاری در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی. مزارع با روش آبیاری بارانی و سطحی به‌ترتیب، با کدهای A و B مشخص شده است. مزارع A2، A3، B2 و B10 تحت مدیریت بهره‌برداران پیشرو بودند.



شکل ۴. مقادیر فصلی I_n ، $I+P_e$ ، I ، برآوردهای I_n به‌زای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد، میانگین ۱۰ سال اخیر و فصل زراعی مطالعاتی (به ترتیب، $I_n75\%$ ، I_n10Y ، I_n ، Inc)، طول دوره رشد، عملکرد واقعی و پتانسیل دانه جو (به ترتیب، Y و Y_{max}) و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در مزارع مطالعاتی. مزارع با روش آبیاری بارانی و سطحی به ترتیب، با کدهای A و B مشخص شده است. مزارع A1، A2، A3، B1 و B2 تحت مدیریت بهره‌برداران پیشرو بودند.



شکل ۵. میانگین ماهانه برآوردهای I_n برای جو زمستانه در مزارع مطالعاتی تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی اردبیل (الف) و فیروزآباد (ب).

نتایج مقایسه میانگین مقادیر فصلی I ، $I+P_e$ و Y اندازه‌گیری شده به همراه نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها در جدول ۵ ارائه گردیده است. بر اساس این جدول، مقادیر I و $I+P_e$ در مزارع مطالعاتی به ترتیب، با میانگین وزنی ۳۹۷ و ۴۷۵ میلی‌متر، بین ۱۸۵ تا ۶۳۲ و ۲۶۶ تا ۷۱۶ میلی‌متر متغیر بوده است. نمایه RRS بیانگر سهم بارش موثر در برآورده ساختن نیاز آبی گیاه است (جدول ۲). بسته به ویژگی‌های اقلیمی، تاریخ کاشت و تاریخ برداشت اعمال شده در مزارع مطالعاتی، نمایه RRS با میانگین وزنی ۰/۱۲ بین ۰/۱۰ تا ۰/۱۶ متغیر بود. بر اساس این نمایه، سهم بارش موثر در تامین نیاز آبی جو در مزارع تحت پوشش ایستگاه هواشناسی اردبیل به‌طور معنی‌داری بیشتر از مزارع تحت پوشش ایستگاه هواشناسی فیروزآباد بود (جدول ۵). از طریق نمایه RRS می‌توان درجه انطباق آب ورودی به مزرعه ($I+P_e$) با نیاز آبی گیاه را مورد بررسی قرار داد. میانگین RRS در مزارع تحت پوشش ایستگاه هواشناسی اردبیل، ۱۴ درصد بیشتر از مزارع تحت پوشش ایستگاه هواشناسی فیروزآباد بود (جدول ۵). میانگین RRS در مورد روش آبیاری سطحی، ۲۶ درصد بیشتر از مقدار متناظر آن در روش آبیاری بارانی بود. با این حال، هیچ یک از این اختلاف‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. مقدار نمایه RIS در ۹۶ درصد از مزارع مطالعاتی کوچکتر از یک بود که این امر به معنای عدم برآورده شدن کامل نیاز آبی خالص گیاه از طریق بارش موثر و آبیاری است. نمایه AE در مزارع مطالعاتی با میانگین وزنی ۱۰۰ درصد، بین ۸۲ تا ۱۰۰ درصد متغیر بوده (جدول ۵) و مقدار این نمایه در ۹۶ درصد از مزارع مطالعاتی برابر با ۱۰۰ درصد بود (شکل ۳).



جدول ۵. مقایسه میانگین نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها^(*)

معیار گروه‌بندی داده‌ها	شرح	I + P _e (mm)	I (mm)	RRS (-)	RWS (-)	RIS (-)	AE (درصد)	Y (ton ha ⁻¹)	CY (-)	WP _{ET} (kg m ⁻³)	WP _I (kg m ⁻³)	WP _{I+P_e} (kg m ⁻³)	WP _S × 10 ³ (Rial m ⁻³)
ایستگاه هواشناسی نماینده	اردبیل	۴۳۳ ^a	۳۴۹ ^a	۰/۱۴ ^a	۰/۷۳ ^a	۰/۶۹ ^a	۹۹ ^a	۲/۲۴ ^a	۰/۵۰ ^a	۱/۰۴ ^a	۰/۶۷ ^a	۰/۵۳ ^a	۲۴/۰۸ ^a
سطح تحصیلات بهره‌برداران	زیر دیپلم و دیپلم	۴۲۷ ^a	۳۵۶ ^a	۰/۱۱ ^b	۰/۶۴ ^a	۰/۵۹ ^a	۱۰۰ ^a	۱/۸۴ ^a	۰/۴۱ ^a	۰/۹۲ ^b	۰/۵۲ ^a	۰/۴۲ ^a	۱۴/۷۶ ^a
سطح مهارت بهره‌برداران	معمولی	۴۳۳ ^a	۳۵۱ ^a	۰/۱۴ ^a	۰/۷۳ ^a	۰/۶۹ ^a	۹۸ ^a	۲/۴۰ ^a	۰/۵۳ ^a	۱/۰۱ ^a	۰/۶۹ ^a	۰/۵۴ ^a	۲۸/۲۲ ^a
	پیشرو	۴۰۶ ^a	۳۲۷ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۶۶ ^a	۰/۶۱ ^a	۱۰۰ ^a	۱/۹۱ ^a	۰/۴۲ ^a	۱/۰۰ ^a	۰/۵۸ ^a	۰/۴۶ ^a	۱۶/۱۶ ^a
رقم جو	ارقام جدید	۴۰۵ ^a	۳۲۵ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۶۶ ^a	۰/۶۱ ^a	۱۰۰ ^a	۲/۵۱ ^a	۰/۵۶ ^a	۱/۰۵ ^a	۰/۸۱ ^a	۰/۶۴ ^a	۲۸/۸۹ ^a
	ارقام قدیمی	۴۴۰ ^a	۳۵۹ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۷۲ ^a	۰/۶۸ ^a	۹۹ ^a	۲/۰۰ ^a	۰/۴۵ ^a	۰/۹۹ ^a	۰/۵۷ ^a	۰/۴۶ ^a	۱۹/۱۳ ^a
تناوب زراعی	سیب‌زمینی-جو	۴۴۴ ^a	۳۵۸ ^a	۰/۱۴ ^{ab}	۰/۷۳ ^a	۰/۶۸ ^a	۱۰۰ ^a	۳/۱۴ ^a	۰/۷۰ ^a	۱/۰۳ ^{ab}	۰/۹۲ ^a	۰/۷۳ ^a	۴۰/۰۳ ^a
	آیش-جو	۴۶۲ ^a	۳۸۷ ^a	۰/۱۲ ^b	۰/۷۳ ^a	۰/۷۰ ^a	۹۹ ^a	۲/۰۱ ^b	۰/۴۵ ^b	۰/۹۸ ^a	۰/۵۳ ^b	۰/۴۳ ^b	۱۴/۷۸ ^b
	سایر ⁺ -جو	۳۷۷ ^a	۲۹۳ ^a	۰/۱۵ ^a	۰/۶۵ ^a	۰/۵۹ ^a	۱۰۰ ^a	۱/۶۷ ^b	۰/۳۷ ^b	۱/۰۳ ^b	۰/۶۰ ^b	۰/۴۵ ^b	۱۹/۹۰ ^b
منبع تامین آب آبیاری	سطحی	۳۸۰ ^a	۳۰۳ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۶۲ ^a	۰/۵۷ ^a	۱۰۰ ^a	۱/۶۳ ^b	۰/۳۶ ^b	۱/۰۰ ^{ab}	۰/۵۳ ^b	۰/۴۳ ^b	۱۲/۹۲ ^b
	زیرزمینی	۴۵۴ ^{ab}	۳۶۹ ^{ab}	۰/۱۴ ^a	۰/۷۶ ^{ab}	۰/۷۳ ^{ab}	۱۰۰ ^{ab}	۲/۷۸ ^a	۰/۶۲ ^a	۱/۰۵ ^a	۰/۸۱ ^a	۰/۶۴ ^a	۲۵/۵۹ ^a
	ترکیبی	۵۷۰ ^b	۴۸۸ ^b	۰/۱۳ ^a	۰/۹۰ ^b	۰/۸۸ ^b	۹۶ ^b	۲/۷۶ ^a	۰/۶۱ ^a	۰/۹۶ ^b	۰/۶۳ ^{ab}	۰/۵۱ ^{ab}	۲۶/۶۹ ^{ab}
روش آبیاری	سطحی	۴۴۴ ^a	۳۶۴ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۷۳ ^a	۰/۶۸ ^a	۹۹ ^a	۲/۰۴ ^a	۰/۴۵ ^a	۱/۰۰ ^a	۰/۵۶ ^b	۰/۴۵ ^b	۱۷/۲۵ ^b
	بارانی	۳۳۷ ^a	۲۵۶ ^a	۰/۱۴ ^a	۰/۵۷ ^a	۰/۵۰ ^a	۱۰۰ ^a	۲/۷۹ ^a	۰/۶۳ ^a	۱/۰۵ ^a	۱/۱۱ ^a	۰/۸۳ ^a	۵۲/۳۹ ^a
حدائق		۲۶۶	۱۸۵	۰/۱۰	۰/۴۶	۰/۳۹	۸۲	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۸۳	۰/۰۵	۰/۰۴	-۱۴/۳۵
حداکتر		۷۱۶	۶۳۲	۰/۱۶	۰/۱۸	۱/۲۱	۱۰۰	۴/۰۷	۰/۹۱	۱/۱۴	۱/۳۸	۰/۹۹	۵۹/۱۲
میانگین حسابی کل مجموعه داده		۴۳۱	۳۵۱	۰/۱۳	۰/۷۱	۰/۶۶	۹۹	۲/۱۳	۰/۴۷	۱/۰۱	۰/۶۳	۰/۵۰	۲۱/۴۷
		۴۷۵	۳۹۷	۰/۱۲	۰/۷۳	۰/۷۰	۱۰۰	۲/۳۳	۰/۵۲	۰/۹۶	۰/۵۹	۰/۴۸	۲۰/۴۴
		۱۴	۳۴	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۲	۴	۴۴	۴۴	۷	۴۴	۴۱	۸۲

^(*) در این جدول، میانگین‌های با حروف مشابه در هر گروه داده، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری (بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.05$) می‌باشند.

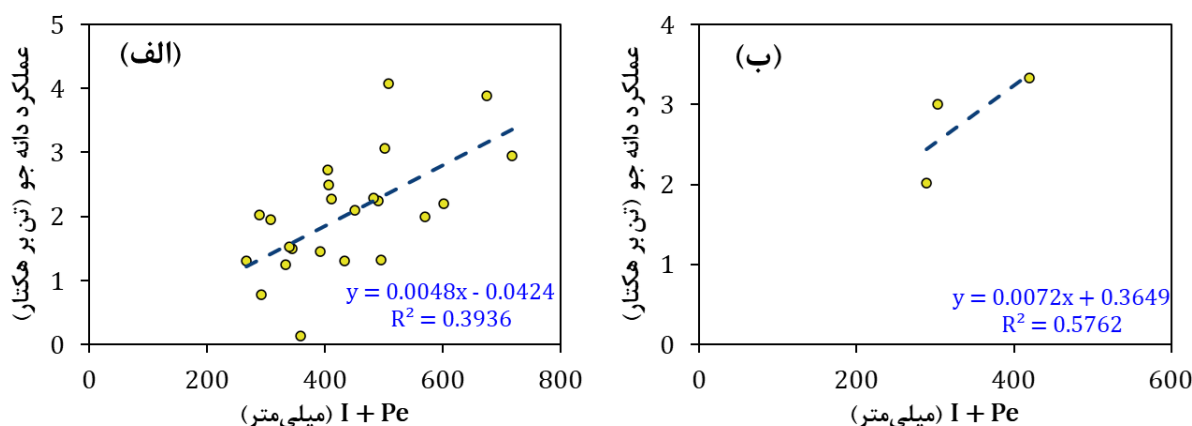
CV بیانگر ضریب تغییرات (درصد) است.

⁺ شامل گندم، جو و کلزا

⁺⁺ در این جدول از سطح زیرکشت واقعی مزارع به‌عنوان عامل وزن‌دهی در محاسبات میانگین وزنی استفاده شده است.

میانگین مقادیر فصلی I و I + P_e در مزارع با منبع آب ترکیبی (سطحی و زیرزمینی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مزارع با منبع آب سطحی بود و در مورد نمایه‌های RWS، RIS و AE نیز وجود اختلاف معنی‌دار بین دو گروه داده فوق‌مصدق داشت (جدول ۵). عملکرد دانه جو در مزارع مطالعاتی با میانگین وزنی ۲/۳۳ تن بر هکتار بین ۰/۱۴ تا ۴/۰۷ تن بر هکتار متغیر بود و نمایه CYR با میانگین وزنی ۰/۵۲ در دامنه ۰/۰۳ تا ۰/۹۱ قرار داشت (جدول ۵). این امر به معنای تغییرپذیری بالای عملکرد محصول محقق شده و اختلاف قابل توجه آن با مقدار قابل انتظار عملکرد محصول در اکثر مزارع مطالعاتی (۴/۵ تن بر هکتار) است. مزارع تحت مدیریت بهره‌برداران با سطح تحصیلات بالاتر، سطوح پایین‌تر میانگین آب کاربردی فصلی، عملکرد محصول و نمایه‌های بهره‌وری آب (به‌جز WP_{ET}) را به خود اختصاص دادند. با این حال، هیچ یک از اختلاف‌های بین دو گروه فوق‌به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. بر اساس جدول ۵، در مقایسه با بهره‌برداران معمولی، بهره‌برداران پیشرو (مزارع A2، A3، B2 و B10 در شکل ۳ و شکل ۴) با مقدار نسبتاً مشابهی از آب کاربردی فصلی، توانسته‌اند به سطوح بالاتری از عملکرد محصول و نمایه‌های بهره‌وری آب (به‌جز WP_{ET}) دست یابند. اختلاف میانگین‌های این دو گروه در مورد نمایه‌های WP_{I+P_e}، WP_I و WP_S به لحاظ آماری معنی‌دار بود. همچنین، مزارع تحت کشت ارقام جدید جو به ازای مقدار پایین‌تر I + P_e، سطوح بالاتری از عملکرد محصول، CYR و نمایه‌های بهره‌وری آب را تجربه کرده‌اند. با این حال، هیچ یک از اختلاف‌های موجود به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. بر اساس جدول ۵، مزارع با تناوب زراعی سیب‌زمینی-جو با میانگین آب کاربردی فصلی ۳۵۸ میلی‌متر (که از مقدار متناظر آن در تناوب‌های آیش-جو و سایر-جو به‌ترتیب، ۸ درصد کم‌تر و ۲۲ درصد بیشتر بود) به‌طور معنی‌داری به بالاترین سطح از میانگین عملکرد دانه جو، CYR و نمایه‌های بهره‌وری آب در مقایسه با تناوب‌های زراعی دیگر دست یافته‌اند. از این لحاظ، اختلاف معنی‌داری بین مزارع با تناوب‌های آیش-جو و سایر-جو وجود نداشت. عملکرد محصول و CYR در مزارع با منبع تامین آب زیرزمینی و

ترکیبی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار نظیر آن در مزارع با منبع آب سطحی بود (جدول ۵). همچنین، مزارع با منبع آب زیرزمینی به بالاترین سطح از نمایه‌های بهره‌وری آب دست یافتند. به گونه‌ای که در مورد نمایه‌های WP_I ، WP_{I+P_e} و WP_S اختلاف معنی‌داری بین مزارع با منبع آب زیرزمینی و منبع آب سطحی وجود داشت. میانگین سه نمایه فوق در مزارع با روش آبیاری بارانی به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقدار آن‌ها در مزارع با روش آبیاری سطحی بود. یک همبستگی خطی بین $I + P_e$ فصلی و عملکرد محصول وجود داشت (شکل ۶). محدودیت دسترسی به آب آبیاری در فصل زراعی مطالعاتی موجب کاهش عایدات کشاورزان و حتی زیان اقتصادی آن‌ها گردید که این امر از دامنه تغییرات نمایه WP_S (۱۴/۳۵- تا ۵۹/۱۲ هزار ریال بر مترمکعب، جدول ۵) و شکل ۴ (مزارع B16 و B19 با زیان اقتصادی مواجه شدند) نیز قابل استنباط است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بر اساس نمایه CYR، مزارع B16 و B19 به ترتیب، به ۳ و ۲۸ درصد از عملکرد قابل انتظار دانه جو دست یافته‌اند.



شکل ۶. رابطه بین مقدار فصلی $I + P_e$ با عملکرد دانه جو در آبیاری سطحی (الف) و بارانی (ب).

بحث

بر اساس جدول ۴، تمامی برآوردهای به‌دست آمده برای ET_c و I_n به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) بالاتر از برآوردهای نظیر ارائه شده در سند ملی آب کشور است. عدم انطباق تقویم فنولوژیکی لحاظ شده در این سند برای گیاه جو زمستانه با شرایط واقعی منطقه مطالعاتی یکی از دلایل اصلی این امر است. اثر این عدم انطباق در میانگین برآوردهای ماهانه I_n در مزارع مطالعاتی در شکل ۵ مشهود است. در سند ملی آب کشور، برآوردهای ET_c و I_n برای مناطق مطالعاتی با فرض آغاز و پایان فصل رشد گیاه به ترتیب، در اول آبان ماه و انتهای دهه دوم خرداد ماه توسعه یافته است. این در حالی است که زمان آغاز و پایان دوره رشد گیاه در مزارع مطالعاتی به‌طور قابل توجهی با فرضیات اتخاذی در سند ملی آب کشور متفاوت است (جدول ۳). این امر بیانگر اهمیت توجه به الگوی واقع‌بینانه تقویم فنولوژیکی رشد گیاه در هر منطقه به‌منظور دستیابی به برآوردهای هرچه معتبرتر از ET_c و I_n می‌باشد که در پژوهش‌های پیشین نیز مورد اشاره قرار گرفته است (Segovia-Cardozo et al., 2019). در این رابطه، Ababaei and Ramezani-Etedali (2017) نیز با انجام یک ارزیابی ردپای آب برای غلات عمده کشور، برآوردهای فصلی و استانی-مقیاس ET_c ، P_e و I_n برای جو زمستانه در استان اردبیل را به ترتیب، ۴۰۲، ۲۰۲ و ۲۰۰ میلی‌متر گزارش کردند. با این حال، پژوهش فوق فاقد جزئیات مربوط به مناطق مطالعاتی استان اردبیل و تقویم فنولوژیکی لحاظ شده در انجام محاسبات ET_c است. از سوی دیگر، با توجه به مصادف شدن بخش عمده بارش‌های پاییزه و زمستانه با مرحله ابتدایی رشد گیاه، مقدار اندک نیاز آبی گیاه در این دوره (شکل ۳ و شکل ۵) و لزوم برقراری شرط $P_e \leq ET_c$ در گام‌های زمانی محاسبات P_e ، به‌نظر می‌رسد که مقدار P_e گزارش شده در پژوهش فوق، بیش‌برآورد شده باشد. بر اساس جدول ۴، مقادیر I_n در فصل زراعی مطالعاتی همواره بزرگ‌تر از مقادیر نظیر برآوردی به ازای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد بوده و بنابراین، می‌توان گفت که سال زراعی مطالعاتی یک سال خشک بوده است. این شرایط، میزان فصلی $I + P_e$ در مزارع مطالعاتی را متأثر ساخته است. به گونه‌ای که اگرچه مقدار حداکثری مشاهداتی برای $I + P_e$ در دامنه تغییرات مقادیر گزارش شده آن در پژوهش‌های قبلی (۲۸۰ تا ۱۰۸۸ میلی‌متر، جدول ۱) قرار داشت، اما محدودیت شدید دسترسی به آب آبیاری در برخی مزارع موجب شد که مقدار حداقلی $I + P_e$ در خارج از دامنه فوق قرار گیرد.

در مورد روش آبیاری بارانی، مقادیر $0/9 < RWS < 1/2$ به کیفیت آب ورودی به مزرعه برای تامین نیاز آبی گیاه تعبیر می‌شود (Moreno-Pérez and Roldán-Cañas, 2013). میانگین RWS در مزارع مطالعاتی در هر دو روش آبیاری بارانی و سطحی به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) کمتر از ۰/۹ بود. این امر حاکی از آن است که در هیچ یک از مزارع مطالعاتی، کل آب ورودی به مزرعه در فصل زراعی مورد مطالعه برای برآورده ساختن کامل نیاز آبی گیاه کافی نبوده است.

با توجه به کراندار بودن نمایه راندمان کاربرد در بازه $0 \leq AE \leq 100$ و نیز لحاظ نشدن سهم جریان‌های برگشتی از آب کاربردی در محاسبه آن (جدول ۲)، می‌توان گفت که مقادیر نمایه AE نیز حاکی از وقوع کم‌آبیاری در اکثر مزارع مطالعاتی است. با مقایسه تعداد نوبت‌های آبیاری و عمق آب کاربردی در مراحل مختلف رشد گیاه (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که این کم‌آبیاری نه از طریق کاهش آب کاربردی در هر یک از نوبت‌های آبیاری، بلکه از طریق کاهش تعداد نوبت‌های آبیاری به مقداری کمتر از نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد، حاصل شده است. به گونه‌ای که محدودیت دسترسی به آب موجب شد که به ترتیب، تنها در ۷۲ و ۱۲ درصد از مزارع مطالعاتی امکان انجام آبیاری در مراحل میانی و انتهایی رشد گیاه وجود داشته باشد (شکل ۳). بنابراین، $AE = 100\%$ در مزارع مطالعاتی به معنای اعمال یک مدیریت آبیاری با جریان برگشتی صفر نیست. با این وجود، کاستی نمایه راندمان کلاسیک اسرائیلین (جدول ۲) به لحاظ صرف نظر کردن از سهم جریان‌های برگشتی در تعریف آن (Molden et al., 2010) مانع از انعکاس این حقیقت در مقدار محاسباتی AE گردیده است. در شرایطی که مقدار کل آب کاربردی کوچک‌تر یا مساوی با مقدار نیاز آبی خالص باشد، مقدار این نمایه برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود. این امر از شکل ۳ که در آن مقادیر نمایه AE به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی ارائه شده است نیز قابل استنباط می‌باشد. بر اساس این شکل، میانگین نمایه AE در مزارع مطالعاتی برای مراحل ابتدایی، توسعه‌ای، میانی و انتهایی رشد گیاه با تبعیت از یک روند افزایشی، به ترتیب، برابر با ۹، ۸۲، ۹۷ و ۱۰۰ درصد بوده است. سطح پایین نمایه AE در مراحل اولیه رشد گیاه و روند افزایشی آن با رشد و توسعه گیاه در پژوهش‌های قبلی نیز مورد اشاره قرار گرفته است (Mokari-Ghahroodi et al., 2015). با استفاده از نمایه RIS می‌توان درجه انطباق آب کاربردی با نیاز آبی خالص گیاه را به‌طور واقع‌بینانه‌تری مورد بررسی قرار داد (جدول ۲). از آنجا که در شرایط واقعی مزارع، راندمان آبیاری همواره کمتر از ۱۰۰ درصد است، $RIS = 1$ نمی‌تواند موید برآورده ساختن کامل I_n در مزرعه باشد. بنابراین، در صورت لحاظ کردن راندمان آبیاری در مقادیر آستانه‌ای RIS با قطعیت بیشتری می‌توان در خصوص وقوع کم‌آبیاری در مزرعه اظهار نظر کرد. عباسی و همکاران (۱۳۹۵) میانگین راندمان آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای در ایران را به ترتیب، ۵۳/۶، ۶۲/۱ و ۷۴/۲ درصد گزارش کردند. بنابراین، می‌توان گفت که به‌طور متوسط و در شرایط کشور ما، حصول مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۸۷، ۱/۶۱ و ۱/۳۵ برای نمایه RIS به ترتیب، در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای می‌تواند بیانگر وقوع بیش‌آبیاری باشد و بالعکس. بدین ترتیب، می‌توان ضعف ذاتی نمایه RIS در لحاظ نشدن سهم جریان‌های برگشتی در تعریف آن برای قضاوت در خصوص کافی بودن آب کاربردی برای برآورده ساختن نیاز آبی خالص را به‌طور موثری تعدیل کرد. بنابراین، بر اساس این نمایه (با دامنه تغییرات ۰/۳۹ تا ۱/۲۱) نیز می‌توان گفت که وقوع کم‌آبیاری در تمامی مزارع مطالعاتی، قطعی است.

به‌طور کلی، عملکرد دانه جو در واحد سطح تا حدود زیادی از طریق تعداد دانه در واحد سطح و تا درجه کم‌تری از طریق وزن دانه تعیین می‌شود (Steduto et al., 2012). تعداد دانه در سنبله نسبت به تنش خشکی طی مراحل آغاز ساقه‌دهی تا پایان گلدهی گیاه حساس است (Cossani et al., 2009). طی مرحله پر شدن دانه‌ها نیز وقوع تنش‌های خشکی شدید (در حدی که در فرآیند پر شدن دانه‌ها اختلال ایجاد شود) کاهش وزن دانه‌ها را در پی خواهد داشت. تنش خشکی انتهای فصل که در کشور ما رایج است، موجب کاهش نرخ فتوسنتز و پیری زودرس پوشش گیاهی می‌شود که متعاقباً، کاهش عملکرد دانه جو در نتیجه اثر ترکیبی کاهش تعداد دانه‌ها (به دلیل سقط زودرس جنین‌های در حال رشد) و کاهش وزن دانه (به دلیل کوتاه شدن طول مرحله پر شدن دانه‌ها) و کاهش نمایه برداشت را در پی دارد (Steduto et al., 2012). بنابراین، با توجه به محدودیت دسترسی به آب آبیاری در مراحل میانی و انتهایی رشد گیاه در اکثر مزارع مطالعاتی (شکل ۳)، تشدید اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد محصول قابل انتظار است. یکی دیگر از عوامل محدود کننده عملکرد دانه جو در استان اردبیل، مصادف شدن مرحله پر شدن دانه‌ها با ایام گرم سال (دمای بالای ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد) و وزش بادهای گرم و خشک است. این شرایط موجب کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و لذا، کاهش وزن دانه و شاخص برداشت می‌شود. وقوع این پدیده حتی در دوره‌های کوتاه سه روزه نیز اثرات مخرب قابل توجه خود را در پی خواهد داشت (Steduto et al., 2012). دیگر اثر منفی احتمالی دمای بالای هوا در انتهای فصل، تسریع پیری پوشش گیاهی است (Cossani et al., 2009). مصادف شدن روزهای گرم با حداکثر دمای روزانه بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت وزش باد متوسط و شدید (بیش از ۲ متر بر ثانیه) حین مرحله پر شدن دانه‌ها در مزارع تحت پوشش

ایستگاه‌های هواشناسی اردبیل و فیروزآباد (به ترتیب، با فراوانی وقوع ۱۲ و ۳۶ روز و تداوم ۱ تا ۳ و ۱ تا ۲۵ روز، شکل ۲) را می‌توان دیگر عامل تاثیرگذار بر کاهش عملکرد محصول در مزارع مطالعاتی دانست. برآیند اثر دو عامل تنش خشکی و اختلال در مرحله پر شدن دانه‌ها (به دلیل مصادف شدن این مرحله با روزهای گرم و پرباد) بر عملکرد محصول مشهود است. بر اساس نمایه CYR، ۳ تا ۹۱ درصد (با میانگین وزنی ۵۲ درصد) از عملکرد مورد انتظار جو آبی و در شرایط واقعی مزرعه بهره‌برداران (۴/۵ تن بر هکتار) قابل حصول بوده است (جدول ۵). بهره‌برداران با سطح تحصيلات پایین‌تر، به سطوح بالاتری از عملکرد محصول و نمایه‌های بهره‌وری آب دست یافتند (جدول ۵). دلیل اصلی این امر، تصمیم آگاهانه بهره‌برداران با سطح تحصيلات بالاتر برای عدم سرمایه‌گذاری بیشتر در مزرعه به دلیل عدم توجیه اقتصادی آن در شرایط خشک‌سالی بود. به دلایلی از جمله وابستگی بیشتر معیشت بهره‌برداران با سطح تحصيلات پایین‌تر به کشاورزی، این دسته از بهره‌برداران تلاش خود را در پیشینه‌سازی عایدات مزرعه صورت دادند. با این وجود، مجموعه اقدامات صورت گرفته توسط این گروه از بهره‌برداران نتوانسته است به اختلافی معنی‌دار در عملکرد محصول و نمایه‌های عملکرد آبیاری بیانجامد (جدول ۵).

مقادیر نمایه‌های WP_I ، WP_{I+Pe} و WP_S در مزارع بهره‌برداران پیشرو به‌طور معنی‌داری بیشتر از بهره‌برداران معمولی بود. دلیل اصلی حصول این نتیجه را می‌توان به ترکیب برخی ویژگی‌های بارز مزارع بهره‌برداران پیشرو از جمله دسترسی مزرعه به هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی (و در نتیجه، تسهیل تدوین برنامه‌ریزی آبیاری در انطباق با نیاز گیاه)، کاربرد روش آبیاری بارانی (و در نتیجه، امکان کاهش آب کاربردی در نوبت‌های آبیاری در مقایسه با روش‌های آبیاری سطحی)، مدیریت مناسب‌تر و اقتصادی‌تر عملیات کاشت، داشت، برداشت و نیز ذخیره‌سازی و بازاریابی مناسب بقایای کاه و کلش محصول نسبت داد. چرکه در پی کمبود علوفه و روند فزاینده ارزش اقتصادی آن در فصل زراعی مطالعاتی، امکان جبران بخشی از زیان اقتصادی ناشی از افت عملکرد محصول در مزارع مطالعاتی از طریق فروش بقایای کاه و کلش جو فراهم شد. به گونه‌ای که درآمد حاصل از فروش کاه و کلش بین ۸ تا ۷۷ درصد (با میانگین وزنی ۲۳ درصد) از کل درآمد ناخالص حاصل از کشت جو در مزارع مطالعاتی را به خود اختصاص داد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، ویژگی‌های بارز مورد اشاره در مورد مزارع بهره‌برداران پیشرو موجب گردیده است که در این مزارع امکان انجام آبیاری در حداقل سه مرحله نخست رشد گیاه فراهم باشد. به گونه‌ای که علی‌رغم پایین‌تر بودن میانگین نمایه RIS در مزارع بهره‌برداران پیشرو، این مزارع میانگین بالاتری از نمایه CYR را در مقایسه با بهره‌برداران معمولی به خود اختصاص دادند (جدول ۵). بنابراین، می‌توان گفت ویژگی‌های بارز مزارع تحت مدیریت کشاورزان پیشرو، امکان تدوین یک برنامه‌ریزی آبیاری منطبق‌تر با نیاز آبی جو طی مراحل مختلف رشد گیاه را فراهم آورده است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میانگین نمایه WP_{ET} در مزارع بهره‌برداران پیشرو، پایین‌تر از مقدار متناظر آن در مزارع تحت مدیریت بهره‌برداران معمولی بوده است. دلیل این امر را می‌توان به متفاوت بودن تقویم فنولوژیکی گیاه در مزارع (و لذا، حصول مقادیر متفاوت ET_c فصلی مورد استفاده در برآورد ET_a از رابطه ۳) و نیز عدم استفاده اکثر بهره‌برداران پیشرو از بذر ارقام جدید و با عملکرد پتانسیل بالاتر نسبت داد. بررسی‌ها نشان داد که علت اصلی عدم استفاده اکثر کشاورزان از بذر ارقام جدید جو ناشی از محدودیت دسترسی به بذر جو و جهش قیمت بذر در فصل زراعی مطالعاتی بود. تا جایی که این محدودیت‌ها موجب گردید که اکثر کشاورزان به استفاده از بذر ارقام رایج قابل دسترس خود اکتفا کنند. با این حال، همان‌طور که در جدول ۵ نیز مشهود است، هرچند که میانگین عملکرد محصول و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در مورد ارقام جدید جو نسبت به ارقام قدیمی بهبود یافته است، اما هیچ یک از اختلاف‌های فوق به لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

یکی از دلایل دستیابی به سطوح بالاتر عملکرد محصول و نمایه‌های WP_I ، WP_{I+Pe} و WP_S در تناوب سیب‌زمینی - جو را می‌توان به فراهم بودن شرایط مساعدتر برای اعمال یک مدیریت آبیاری بهینه در مزارع با تناوب سیب‌زمینی - جو نسبت داد. چرا که فراهم آوردن نیاز آبی سیب‌زمینی در شرایط مزارع مطالعاتی، اقداماتی از جمله فراهم کردن یک منبع آب با اطمینان‌پذیری بالاتر در برآورده ساختن نیاز آبیاری مزرعه، متنوع ساختن منابع آبی قابل دسترس مزرعه یا به‌کارگیری روش‌های آبیاری تحت فشار را می‌طلبد. این ویژگی‌ها موجب تخفیف اثر تنش خشکی وارده به گیاه در کشت جو گردید. همچنین، توجیه اقتصادی کاربرد کود و سم بیشتر در کشت سیب‌زمینی در مقایسه با سایر گیاهان لحاظ شده در تناوب زراعی مزارع مطالعاتی و نیز فاصله زمانی کوتاه بین برداشت سیب‌زمینی تا کاشت بذر جو می‌تواند موجب شود که در زمان کشت جو، خاک مزرعه به لحاظ ذخیره مواد مغذی (و بعضاً، ذخیره رطوبتی) از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار باشد. بنابراین، در تناوب سیب‌زمینی - جو این عوامل می‌تواند شرایط مطلوب‌تر رشد گیاه جو را در پی داشته باشد. همان‌طور که در جدول ۵ نیز قابل مشاهده است، مزارع با منبع تامین آب زمینی و منبع ترکیبی از وضعیت مطلوب‌تری به لحاظ دسترسی به آب آبیاری برخوردار بوده‌اند و عملکرد محصول و CYR در این مزارع به‌طور معنی‌داری، بالاتر از مقدار آن در مزارع با منبع آب سطحی بوده است. با

این حال، انعطاف‌پذیری بیشتر مدیریت آب در مزارع با منبع آب زیرزمینی و کشت ارقام جدید جو در اکثر این مزارع (که اثر آن بر WP_{ET} مشهود است) موجب گردید که این مزارع به ازای آب کاربردی کم‌تر به‌طور معنی‌داری به بالاترین سطح از میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب دست یابند (جدول ۵). حصول سطوح به‌طور معنی‌دار بالاتر نمایه‌های WP_{I+Pe} ، WP_I و WP_S در روش آبیاری بارانی نسبت به روش آبیاری سطحی (جدول ۵) بیانگر قابلیت روش‌های آبیاری تحت فشار در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی می‌باشد که در پژوهش‌های مشابه پیشین نیز مورد اشاره قرار گرفته است (Salvador et al., 2009; Stambouli et al., 2012; Moreno-Pérez and Roldán-Cañas, 2013).

برآوردهای نمایه WP_{ET} در مزارع مطالعاتی (جدول ۵) در دامنه مقادیر گزارش شده در پژوهش‌های پیشین (جدول ۱) قرار دارد. همچنین، مقادیر حداکثری عملکرد دانه جو و نمایه WP_{I+Pe} (به ترتیب، ۴/۰۷ تن بر هکتار و ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب) در مزارع مطالعاتی از اختلاف قابل توجهی با مقدار حداکثری گزارش شده در پژوهش‌های پیشین (به ترتیب، ۹/۰۵ تن بر هکتار و ۲/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب، جدول ۱) برخوردار است. هرچند که عملکرد پتانسیل ارقام قدیمی و جدید جو کشت شده در مزارع مطالعاتی به ترتیب، در حدود ۶/۵ و ۶ تن بر هکتار می‌باشد (شکل ۴)، اما افزایش انعطاف‌پذیری مدیریت آب در مزارع و تخفیف اثرات مخرب روزهای گرم و پرباد حین مرحله پرشدن دانه‌ها می‌تواند بهبود نمایه‌های بهره‌وری آب را در پی داشته باشد. بر اساس قاعده بازده نزولی (Perry, 2011)، افزایش فزاینده مصرف یکی از نهاده‌های یک فرآیند تولید در شرایط ثابت ماندن سایر نهاده‌ها موجب کاهش تدریجی آهنگ افزایش تولید و نهایتاً، کاهش تولید خواهد شد. بر اساس شکل ۶، می‌توان گفت که در هیچ یک از مزارع مطالعاتی، آب کاربردی فصلی به مقداری نرسیده است که کاهش محصول در اثر آبیاری بی‌رویه را در پی داشته باشد. بنابراین، بر اساس شکل ۶ نیز می‌توان نتیجه گرفت که محدودیت دسترسی به آب یکی از موانع اصلی در افزایش عملکرد محصول جو در مزارع مطالعاتی بوده و تخفیف این محدودیت، افزایش عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت. همچنین، شیب رابطه افزایشی فوق در مورد روش آبیاری بارانی بیشتر از مقدار آن در مورد روش آبیاری سطحی است (شکل ۶) که این امر موید قابلیت بالاتر روش‌های آبیاری بارانی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی می‌باشد. از میان نمایه‌های بهره‌وری آب مورد بررسی، نمایه WP_S از بالاترین تغییرپذیری در بین مزارع مطالعاتی برخوردار بود (جدول ۵) که این امر بیانگر اهمیت سطح توانمندی بهره‌برداران در مدیریت هزینه‌های تولید و بازاریابی محصول تولیدی در بهبود WP_S است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، آب کاربردی فصلی و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری جو زمستانه در استان اردبیل از طریق پایش مدیریت بهره‌برداری در ۲۵ مزرعه منتخب در فصل زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. محدودیت دسترسی به آب کشاورزی و مصادف شدن مرحله پرشدن دانه‌ها با روزهای گرم و پرباد، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید جو در منطقه مطالعاتی، موجب شد که عملکرد محصول در بخش قابل توجهی از مزارع مطالعاتی (۶۰ درصد) به کم‌تر از ۵۰ درصد عملکرد قابل انتظار جو آبی در منطقه مطالعاتی (۴/۵ تن بر هکتار) کاهش یابد. نتایج نشان داد، مزارع با منبع تامین آب سطحی از بیشترین آسیب‌پذیری در شرایط خشکسالی برخوردار بودند. علی‌رغم آب کاربردی بیشتر در مزارع با منبع آب ترکیبی، انعطاف‌پذیری بیشتر منبع آب زیرزمینی موجب شد که مزارع با منبع آب زیرزمینی از بالاترین سطح از نمایه‌های بهره‌وری آب برخوردار شوند. این امر بیانگر اهمیت منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در پشتیبانی زراعت آبی در شرایط خشکسالی است. نتایج این مطالعه، موید قابلیت روش آبیاری بارانی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی و حفاظت از سطحی اقتصادی از عملکرد محصول در شرایط کم آبی بود. با این حال، از آنجا که به‌کارگیری این روش آبیاری موجب دستیابی به صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب نمی‌شود، رواج غیرمنطقی این روش آبیاری موجب شدت یافتن تنش وارده به منابع آبی منطقه مطالعاتی خواهد شد. از سوی دیگر، آشنایی کشاورزان با قابلیت‌های ارقام جدید معرفی شده و تسهیل دسترسی کشاورزان به آن‌ها می‌تواند در حفظ پایداری تولید جو در منطقه مطالعاتی مفید باشد. با این حال، نتایج این مطالعه نشان داد که با وجود محدودیت‌های حاکم بر مزارع مطالعاتی (به‌ویژه به لحاظ مکانیزاسیون کشاورزی، مدیریت کود و سموم و اثرات مخرب روزهای گرم و پرباد در مرحله پرشدن دانه‌ها) و محدودیت آب کشاورزی، به‌کارگیری ارقام جدید جو نیز به ایجاد اختلافی معنی‌دار (نسبت به ارقام قدیمی) در عملکرد محصول در شرایط کم آبی نیانجامیده است. به گونه‌ای که نمایان ساختن قابلیت‌های این ارقام نیازمند برآورده ساختن سطحی قابل قبول از نیازمندی‌های مورد اشاره برای تولید جو در مزارع است. درآمد حاصل از فروش کاه و کلش توانست زیان اقتصادی ناشی از افت عملکرد محصول را کاهش دهد. با

این حال، برداشت کامل بقایای گیاه، اثراتی مخرب بر ویژگی‌های خاک مزارع، به‌ویژه ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک و محتوای مواد مغذی خاک داشته و از سوی دیگر، موجب شدت یافتن تلفات ذخیره رطوبتی خاک از طریق تبخیر از سطح خاک خواهد شد. عوامل فوق، موجب افزایش آسیب‌پذیری مزارع نسبت به خشک‌سالی‌های آتی خواهد شد. نتایج حاکی از برتری مزارع با تناوب سیب‌زمینی - جو به لحاظ سطح عملکرد محصول و نمایه‌های بهره‌وری آب بود. هرچند که سیب‌زمینی یکی از گیاهان عمده در الگوی کشت منطقه مطالعاتی است، اما به لحاظ نیاز آبی، گیاهی نسبتاً پرمصرف محسوب شده و توسعه بیشتر کشت آن در شرایط خشک‌سالی موجب وارد شدن تنش بیشتر بر منابع آبی منطقه خواهد شد. در شرایط منطقه مطالعاتی، بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی از طریق معرفی ارقام بارز و به‌کارگیری رویکردهای مبتنی بر بهبود تغذیه گیاه نظیر محلول‌پاشی گونه‌های اقتصادی زیست‌محرك‌ها به‌عنوان یکی از گزینه‌های عملی در جهت حفاظت از پایداری تولید جو در منطقه مطالعاتی قابل پیشنهاد است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- احمدی، کریم؛ عبادزاده، حمیدرضا؛ حاتمی، فرشاد؛ محمدنیا افروزی، شهریار؛ اسفندیاری‌پور، الهام و عباس‌طاقانی، رضا. (۱۴۰۰). *آمارنامه کشاورزی سال ۹۹-۱۳۹۸*، جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۸۹ ص.
- اسلامی، امیر (۱۳۹۵). *انبار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی*، نشریه فنی شماره ۴۴. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ ص.
- پرچمی عراقی، فرزین؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ وظیفه‌دوست، مجید و صادقی لاری، عدنان (۱۳۹۵). توسعه یک چارچوب ریزمقیاس‌سازی به‌منظور برآورد تبخیر - تفرق مرجع زیرروزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه. *آب و خاک*، ۳۰(۲)، ۳۳۴-۳۵۴.
- پیرسته‌انوشه، هادی؛ امام، یحیی؛ کاظمینی، سیدعبدالرضا و دهقانی، فرهاد (۱۳۹۶). تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد جو، رطوبت و شوری خاک در طول فصل رشد، و بهره‌وری آب. *پژوهش‌های خاک*، ۳۱(۲)، ۱۶۶-۱۵۵.
- شرفی‌زاده، مهران؛ جزایری، محمدرضا؛ نیکخواه، حمیدرضا و روستایی، مظفر (۱۳۹۹). *مشخصات زراعی و موفولوژیکی ارقام جو*. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، کرج، ایران. ۲۵۲ ص.
- عباسی، فریبرز؛ سهراب، فرحناز و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۲۰-۱۱۳.
- غلامی، زهرا؛ ابراهیمیان، حامد و نوری، حمیده (۱۳۹۵). بررسی بهره‌وری آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی (مطالعه موردی: دشت قزوین). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۳)، ۱۴۶-۱۳۵.

REFERENCES

- Ababaei, B. and Ramezani-Etedali, H. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural water management*, 179, 401-411.
- Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N. (2017). Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 113-120. (in Persian).
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdshah, H. and Kazemian, A. (2020). *Iran agricultural statistical yearbook (2019-2020), Volume I: Agricultural crops*. Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, Iran., 89 pp. (in Persian)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, Italy, 301 pp.
- Andrés, R., Martín-Ramos, P. and Cuchí, J.A. (2020). Water Balance and Nitrate and Salt Exports from a Saline-Sodic Irrigation District in Castelflorite (Huesca, NE Spain). *Agronomy*, 10(2), 165.
- Ararssa, A.A., Gebremariam, A.G., Mulat, W.L. and Mekonnen, M.M. (2019). Effects of Irrigation Management on Yield and Water Productivity of Barley *Hordeum vulgare* in the Upper Blue Nile Basin: Case Study in Northern Gondar. *Water Conservation Science and Engineering*, 4(2-3), 113-121.
- Bos, M.G., Kselik, R.A.L., Allen, R.G. and Molden, D. (2008). *Water requirements for irrigation and the environment*. Springer, New York, USA.



- Bos, M.G., Murray-Rust, D.H., Merrey, D.J., Johnson, H.G. and Snellen, W.B. (1994). Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. *Irrigation and drainage systems*, 7, 231-261.
- Clemmens, A.J. and Burt, C.M. (1997). Accuracy of irrigation efficiency estimates. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 123(6), 443-453.
- Cossani, C.M., Slafer, G.A. and Savin, R. (2009). Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research*, 112(2-3), 205-213.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979). *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.
- Eslami, A. (2016). *Irrigation water measurement tools in surface irrigation methods*. Agricultural Research, Training and Extension Organization, Fars Province Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Technical Journal, No. 44, Shiraz, Iran, 24 pp. (In Persian)
- Food and Agriculture Organization Statistical Data (FAOSTAT). (2023). *FAO Statistical Data*. (Available at: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>)
- Ghasemi-Aghbolaghi, S. and Sepaskhah, A.R. (2018). Barley (*Hordeum vulgare* L.) Response to Partial Root Drying Irrigation, Planting Method and Nitrogen Application Rates. *International Journal of Plant Production*, 12(1), 13-24.
- Ghasemi-Mobtaker, H., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K.-w. and Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. *Renewable Energy*, 160, 1316-1334.
- Gholami, Z., Ebrahimian, H. and Noory, H. (2015). Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (case study: Qazvin Plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(3), 135-146. (in Persian)
- Hussain, G. and Al-Jaloud, A.A. (1998). Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. *Agricultural Water Management*, 36(1), 55-70.
- Israelsen, O.W. (1932). *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley and Sons, New York.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., Van Hoorn, J.W., Lahmer, F.Z., Hamdy, A. and Oweis, T. (2009). Durum wheat and barley productivity in saline-drought environments. *European Journal of Agronomy*, 31(1), 1-9.
- Lorite, I.J., Mateos, L. and Fereres, E. (2004). Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment: II. Variability among crops and farmers. *Irrigation Science*, 23, 85-92.
- Maas, E.V. (1990). Crop salt tolerance. In: Tanji, K.K. (Ed.), *Agricultural salinity assessment and management*. ASCE Manuals and Reports on Engineering practice, No 71, New York, USA.
- Malano, H.M. and Burton, M. (2001). Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. (International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage). FAO, Rome, Italy, 44 pp.
- Martínez-Romero, A., López-Urrea, R., Montoya, F., Pardo, J.J. and Domínguez, A. (2021). Optimization of irrigation scheduling for barley crop, combining AquaCrop and MOPECO models to simulate various water-deficit regimes. *Agricultural Water Management*, 258, 107219.
- Massey, J.H., Stiles, C.M., Epting, J.W., Powers, R.S., Kelly, D.B., Bowling, T.H., Janes, C.L. and Pennington, D.A. (2017). Long-term measurements of agronomic crop irrigation made in the Mississippi delta portion of the lower Mississippi River Valley. *Irrigation Science*, 35(4), 297-313.
- Mokari-Ghahroodi, E., Noory, H. and Liaghat, A. (2015). Performance evaluation study and hydrologic and productive analysis of irrigation systems at the Qazvin irrigation network (Iran). *Agricultural Water Management*, 148, 189-195.
- Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R. and Makin, I. (2003). A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne, W., Barkers, R. and Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvements*. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. and Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural water management*, 97(4), 528-535.
- Morell, F.J., Lampurlanés, J., Álvaro-Fuentes, J. and Cantero-Martínez, C. (2011). Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*, 117, 76-84.
- Moreno-Pérez, M.F. and Roldán-Cañas, J. (2013). Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Córdoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agricultural water management*,

120, 98-106.

- Naroua, I., Rodríguez Sinobas, L. and Sánchez Calvo, R. (2014). Water use efficiency and water productivity in the Spanish irrigation district "Río Adaja". *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(12), 484-491.
- Parchami-Araghi, F., Mirlatifi, S.M., Ghorbani Dashtaki, S., Vazifehdoust, M. and Sadeghi-Lari, A. (2016). Development of a Disaggregation Framework toward the Estimation of Subdaily Reference Evapotranspiration: 1- Performance Comparison of Some Daily-to-subdaily Weather Data Disaggregation Models. *Journal of Water and Soil*, 30(2), 334-354. (in Persian)
- Pardo, J.J., Martínez-Romero, A., Lélis, B.C., Tarjuelo, J.M. and Domínguez, A. (2020). Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in barley under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 228, 105925.
- Perry, C. (2011). Accounting for water use: Terminology and implications for saving water and increasing production. *Agricultural Water Management*, 98(12), 1840-1846.
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Kazemeini, S.A. and Dehghany, F. (2017). Effect of Irrigation Water Salinity on Soil Moisture and Salinity during Growing Season, Barley Yield, and Its Water Productivity. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(2), 155-166. (in Persian)
- Salvador, R., Bautista-Capetillo, C., Burguete, J., Zapata, N., Serreta, A. and Playán, E. (2009). A photographic method for drop characterization in agricultural sprinklers. *Irrigation science*, 27(4), 307-317.
- Salvador, R., Martínez-Cob, A., Cavero, J. and Playán, E. (2011). Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 98(4), 577-587.
- Segovia-Cardozo, D.A., Rodríguez-Sinobas, L. and Zubelzu, S. (2019). Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images. *Agricultural water management*, 212, 241-251.
- Sharafizadeh, M., Jazayeri, M.R., Nikkhah, H.R. and Roostaei, M. (2020). *Agronomic and morphological characteristics of barley cultivars*. Seed and Plant Certification and Registration Institute, Karaj, Iran., 252 pp. (in Persian)
- Stambouli, T., Zapata, N. and Faci, J.M. (2012). Irrigation patterns and scheduling of a telecontrolled irrigation district in northeastern Spain. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 138(6), 503-516.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. and Raes, D. (2012). *Crop yield response to water*. FAO Irrigation and drainage paper 66.
- Todorovic, M., Karic, B. and Pereira, L.S. (2013). Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. *Journal of Hydrology*, 481, 166-176.
- USDA-NRCS. (1993). Chapter 2: Irrigation water requirements, *Part 623: Irrigation*. National Engineering Handbook, United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, DC. (Available at: <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/waterMgt/irrigation/NEH15/ch2.pdf>).
- United States Salinity Laboratory Staff (USSLS). (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture Handbook No 60, Washington DC, USA, pp. 160.
- Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of the irrigation waters. US Department of Agriculture Circular No 969, Washington, DC, pp. 19.
- Yang, K. and Koike, T. (2005). A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. *Water Resources Research*, 41, W10403.
- Zamani, O., Mortazavi, S.A. and Balali, H. (2014). Economical Water Productivity of Agricultural Products in Bahar Plain, Hamadan. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(1), 51-62.



Assessment of Applied Water and Irrigation Performance Indicators in Winter Barley (a Case Study: Ardabil Province, Iran)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Intensive and extensive expansion of irrigated agriculture along with increasing urban and industrial water demands have strengthened the concerns of competing users over limited water resources in arid and semi-arid areas, which are fragile and already stressed. In this regard, reliable estimates of the seasonal applied water, I , and irrigation performance assessment indicators under current irrigation and farm management are essential to provide a rationale for decision-makers to formulate adequate water management policies. The objective of this work was to assess the seasonal on-farm irrigation performance of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) under actual operation conditions by monitoring 25 farmer farms (including 22 and three farmer farms with surface and solid-set sprinkler irrigation systems, respectively) in Ardabil Province (Ardabil, Namin, Nir and Kosar counties), Iran, during the growing season 2020-2021.

Methods

The collected on-farm data included soil texture/salinity, irrigation schedule/depth, irrigation water salinity, crop development stages, crop yield, and field economic data. Weather data were obtained from the nearby synoptic sites, including Ardabil (lat. $31^{\circ}20'$ N, long. $48^{\circ}40'$ E) and Firuzabad (lat. $31^{\circ}20'$ N, long. $48^{\circ}40'$ E). Crop water requirement, ET_c , was determined by the FAO Penman-Monteith model. Effective precipitation, P_e , was determined, using the USDA-SCS method. The Doorenbos and Kassam function was used to estimate actual evapotranspiration (ET_a). To assess the Irrigation performance in the study fields, the following nine performance indicators were chosen: relative rainfall supply ($RRS = P_e / ET_c$), relative water supply ($RWS = [I + P_e] / ET_c$), relative irrigation supply ($RIS = I / [ET_c - P_e]$), Israelsen's application efficiency (AE), crop yield ratio (CYR, the ratio of actual to intended crop yield), water use efficiency (WP_{ET}), irrigation water productivity (WP_I), total water (irrigation + effective precipitation, $I + P_e$) productivity (WP_{I+P_e}), and economic water productivity ($WP_{\$}$).

Results and Discussion

The seasonal estimates of the net irrigation requirement for barely, I_n , during the growing season 2020-2021 and its 10-year average ranged from 476 to 652 mm and from 403 to 535 mm with a mean of 530 and 449 mm, respectively, over the study farms. The total applied water ($I + P_e$) and the grain yield ranged from 266 to 716 mm and from 0.14 to 4.07 ton ha^{-1} , with a weighted average, WA, of 475 mm and 2.33 ton ha^{-1} , respectively. The range of RRS, RAW, and RIS indicators were 0.10-0.16, 0.46-1.18, and 0.39-1.21, with a WA of 0.12, 0.73, and 0.70, respectively. CYR ranged from 0.03 to 0.91 (with a WA of 0.52). These results indicate that all study farms experienced varying degrees of deficit irrigation. The mean Israelsen's application efficiency (AE) over initial, development, mid-, and late-season growth stages were obtained 9, 82, 97, and 100%, respectively. The range of WP_{ET} , WP_I , and WP_{I+P_e} were 0.83-1.14, 0.05-1.38, and 0.04-0.99 $kg\ m^{-3}$, with a WA of 0.96, 0.59, and 0.48 $kg\ m^{-3}$, respectively. $WP_{\$}$ range from -14.35×10^3 to 59.12×10^3 Rial m^{-3} with a WA of 21.47×10^3 Rial m^{-3} . WP_I , WP_{I+P_e} , and $WP_{\$}$ indicators were significantly ($P < 0.05$) affected by the farmer's skill level, crop rotation, type of irrigation water source, and irrigation method. Farms with surface water supply showed the highest vulnerability to drought periods, compared to farms with well and multi-source combined (both surface and well) water supplies. Improving the on-farm water management flexibility and mitigating the negative impacts of hot and windy days during the grain filling stage can improve water productivity indicators in the study area.

Keywords: Crop Rotation, Drought Stress, FAO Penman- Monteith, Sprinkler Irrigation, Surface Irrigation.