Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Seasonal Irrigation Performance Assessment in Peaches and Nectarines Orchards (a Case Study: Ardabil Province, Iran)

Farzin Parchami-Araghi[1]✉ | Mehdi Akbari[2]

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 Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: m.akbari@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 20, 2023

Revised: July. 7, 2023

Accepted: July. 8, 2023

Published online: July. 23, 2023

Keywords:
Drip Irrigation,
FAO Penman-Monteith,
Frost Damage,
Leaf Curl Damage,
Surface Irrigation.

ABSTRACT

Irrigation performance assessments under actual operation conditions are required as a first step toward improving agricultural water management. In this study, the seasonal irrigation performance of peaches and nectarines was evaluated under actual operation conditions by monitoring 24 orchards, in Ardabil Province (Parsabad and Meshginshahr counties), Iran, during the growing season 2018-2019. The total sum of seasonal applied water and effective precipitation ($I + P_e$) and the fruit yield ranged from 280-1675 mm and 1.00-32.43 ton ha^{-1} (with a weighted average of 582 mm and 14.61 ton ha^{-1}), respectively. The mean Relative Irrigation Supply index (RIS) for the drip irrigation method (1.25) was significantly ($P < 0.05$) lower than the surface irrigation method (1.66). The water productivity indicators were significantly ($P < 0.05$) affected by the orchardist's skill level, interplantion of trees, tree spacing, irrigation method, and disease/frost (DF) damage. Post-harvest period accounted for a mean proportion of 75, 25, and 15% of the seasonal applied water in orchards with early-season, late-season, and mixed early- and late-season cultivars, respectively. DF damage accounted for an 87 and 85% reduction in fruit yield and water productivity (WP_{I+Pe}), respectively, compared to the orchards without severe DF damage. Under the current technological and economic constraints, most of the study orchards experienced a rational (but yet with low productivity) irrigation water management. Improving irrigation efficiency and fruit yield, controlling DF damage, and implementing regulated deficit irrigation during pre- and post-harvest stages are the most effective approaches to improve water productivity indicators in the study area.

Cite this article: Parchami-Araghi, F. & Akbari, M. (2023). Assessment of Applied Water and Irrigation Performance Indicators in Peaches and Nectarines (a Case Study: Ardabil Province, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 54 (5), 771-788. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356915.669503

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356915.669503

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۵ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

ارزیابی فصلی عملکرد آبیاری در باغ‌های هلو و شلیل (مطالعه موردی: استان اردبیل)

فرزین پرچمی عراقی[۱]✉ | مهدی اکبری[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. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.akbari@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۵/۱

واژه‌های کلیدی:
آبیاری سطحی،
آبیاری قطره‌ای،
خسارت پیچیدگی برگ،
خسارت سرمازدگی،
فائو پنمن-مانتیث.

چکیده

ارزیابی عملکرد آبیاری در شرایط واقعی بهره‌برداری به‌عنوان نخستین گام در جهت بهبود مدیریت منابع آب کشاورزی محسوب می‌شود. در این پژوهش، عملکرد فصلی آبیاری هلو و شلیل در شرایط واقعی بهره‌برداری از طریق پایش ۲۴ باغ واقع در استان اردبیل (شهرستان‌های پارس‌آباد و مشگین‌شهر)، در فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. مجموع آب کاربردی و بارش موثر فصلی ($I + P_e$) و عملکرد میوه به‌ترتیب، بین ۲۸۰ تا ۱۶۷۵ میلی‌متر و ۱/۰۰ تا ۳۲/۴۳ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد (به‌ترتیب، با میانگین وزنی ۵۸۲ میلی‌متر و ۱۴/۶۱ تن بر هکتار). میانگین نمایه تأمین نسبی آبیاری (RIS) برای روش آبیاری قطره‌ای (۱/۲۵) به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) پایین‌تر از روش آبیاری سطحی (۱/۶۶) بود. اثر سطح مهارت بهره‌بردار، کشت مخلوط درختان، فواصل کشت درختان، روش آبیاری و خسارت‌های بیماری/سرمازدگی بر نمایه‌های بهره‌وری آب معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. در باغ‌های تحت کشت ارقام زودرس، دیررس و ترکیبی از ارقام زودرس و دیررس به‌ترتیب، ۷۵، ۲۵ و ۱۵ درصد از آب کاربردی فصلی به‌دوره پس از برداشت میوه اختصاص یافت. خسارت بیماری/سرمازدگی موجب کاهش به‌ترتیب، ۸۷ و ۸۵ درصدی عملکرد میوه و نمایه بهره‌وری آب (WPI+Pe) در مقایسه با باغ‌های فاقد خسارت شدید شد. تحت محدودیت‌های فنی و اقتصادی فعلی، اکثر باغ‌های مورد مطالعه مدیریت منطقی (اما با بهره‌وری پایین) آب آبیاری را تجربه کردند. ارتقای راندمان آبیاری و عملکرد میوه، کنترل خسارت‌های بیماری/سرمازدگی و اجرای کم‌آبیاری کنترل شده در دوره‌های قبل و پس از برداشت میوه موثرترین راهکارهای بهبود نمایه‌های بهره‌وری آب در منطقه مطالعاتی است.

استناد: پرچمی عراقی، فرزین و اکبری، مهدی (۱۴۰۲). ارزیابی فصلی عملکرد آبیاری در باغ‌های هلو و شلیل (مطالعه موردی: استان اردبیل)، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۵)، ۷۸۸-۷۷۱. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356915.669503

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356915.669503

مقدمه

تولید محصول باغی هلو و شلیل (*Prunus Persica* L.)، علاوه بر تأمین مصرف داخلی، بخشی از صادرات غیرنفتی کشور ایران (به‌عنوان هشتمین کشور عمده تولید کننده این محصول در جهان (FAOSTAT, 2023)) را به خود اختصاص داده است. استان اردبیل با تولید سالیانه ۲۱/۵۵ هزار تن میوه هلو و شلیل یکی از کانون‌های اصلی تولید این محصول در کشور است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). به‌دلیل بازارپسندی بیشتر میوه‌های با اندازه درشت‌تر و اهمیت آبیاری در این رابطه، حتی در مناطق نیمه‌گرمسیری نیز این محصول در شرایط کشت آبی تولید می‌شود (Girona et al., 2012). تعرق پتانسیل هلو و شلیل در فصل رشد تا فاصله اندکی از زمان برگ‌ریزی پاییزه کاهش چندانی نسبت به مقدار حداکثری خود ندارد (Ayars et al., 2003). نیاز آبی قابل توجه هلو و شلیل در ترکیب با اعمال برنامه‌ریزی آبیاری محتاطانه در باغ‌ها تا قبل از برداشت محصول (جهت تضمین بازارپسندی و کمیت محصول) و پس از آن (جهت تضمین تشکیل جوانه‌های زایشی و ذخیره کربوهیدرات کافی گیاه که عملکرد محصول در سال آتی را تعیین می‌کند)، در وارد شدن فشاری مضاعف به منابع آب استان سهیم بوده است. بنابراین، به‌کارگیری رویکردهای صرفه‌جویی آب در باغ‌های هلو و شلیل از اهمیتی مضاعف در استفاده بهینه از منابع محدود آب و حفاظت از اقتصاد تولید محصولات باغی برخوردار است (Tong et al., 2022). با این حال، تنوع ماهیت عوامل محدود کننده تولید این محصول و تغییرات زمانی و مکانی شدت این محدودیت‌ها، سطح قابل حصول بهره‌وری آب کشاورزی را نسبت به زمان و مکان متأثر می‌سازد. بنابراین، ارزیابی فصلی مدیریت آبیاری در شرایط واقعی بهره‌برداری از باغ‌ها می‌تواند داده‌های مورد نیاز جهت تدوین یک برنامه‌ریزی واقع‌بینانه برای تخصیص بهینه منابع محدود آب کشاورزی را فراهم آورد (Salvador et al., 2011). بر اساس تعریف، آب کاربردی عبارت از مقدار آب تحویلی به بهره‌بردار (بدون احتساب بارندگی و تلفات توزیع آب در شبکه آبیاری) است (NID, 2016). هدف از این پژوهش، ارزیابی فصلی عملکرد آبیاری اعمال شده در باغ‌های هلو و شلیل از طریق اندازه‌گیری مستقیم و میدانی آب کاربردی و عملکرد محصول در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری باغ‌های واقع در شهرستان‌های پارس‌آباد و مشگین‌شهر به‌عنوان کانون‌های اصلی تولید هلو و شلیل در استان اردبیل بود.

پیشینهٔ پژوهش

بخش عمده مطالعات مرتبط با مدیریت آبیاری هلو و شلیل در مقیاس کرت‌های آزمایشی و از دیدگاه یک‌جانبه‌گرایانه بررسی اندرکنش استراتژی‌های مختلف مدیریت آبیاری با کمیت/کیفیت محصول تولیدی صورت گرفته است (Conesa et al., 2021; Guizani et al., 2019; Tong et al., 2022; Wang et al., 2020). از این‌رو، در این مطالعات از اثر محدودیت‌های تولید در شرایط واقعی بهره‌برداری بر مدیریت آب در باغ صرف‌نظر شده است. به‌طور کلی، پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ارزیابی فصلی مدیریت آبیاری هلو و شلیل در شرایط واقعی بهره‌برداری باغ‌ها به‌دلیل هزینه‌بری و طاقت‌فرسا بودن این مطالعات محدود است. چراکه چنین بررسی‌هایی لزوم پایش مدیریت آبیاری در باغ‌های بهره‌برداران و نیز بررسی عکس‌العمل گیاه به مدیریت آبیاری اعمال شده را می‌طلبد. از این رو، مطالعات مشابه صورت گرفته در این زمینه عمدتا بر ارزیابی فصلی مدیریت آبیاری با استفاده از برخی نمایه‌های ارزیابی ارائه شده در جدول ۱ متمرکز بوده‌اند. بر اساس مطالعه‌ای در دشت قزوین (درگاهی، ۱۳۹۷) میانگین نمایه بهره‌وری مجموع آب کاربردی و بارندگی در باغ‌های هلو و شلیل با سامانه آبیاری قطره‌ای در حدود ۲/۱۷ تا ۲/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. 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/باغ، مدیریت آبیاری اعمال شده در آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. بانک اطلاعات گردآوری شده مشتمل بر ۲۲ باغ هلو با برنامه‌ریزی آبیاری رایج و ۲۲ باغ با برنامه‌ریزی آبیاری مبتنی بر کم‌آبیاری تنظیم شده[۱] (RDI) بود. میانگین مساحت باغ‌های مطالعاتی ۶ هکتار و روش آبیاری باغ‌ها، شامل آبیاری قطره‌ای و بارانی (کلاسیک ثابت) بود. میانگین نیاز آبی خالص فصلی در باغ‌های با برنامه‌ریزی آبیاری رایج و RDI به‌ترتیب، ۶۰۵ (بین ۵۱۰ تا ۷۰۵ میلی‌متر) و ۴۸۸ میلی‌متر (بین ۴۱۴ تا ۵۷۳ میلی‌متر) به‌دست آمد. میانگین آب کاربردی فصلی در دو روش آبیاری قطره‌ای و بارانی به‌ترتیب، ۷۲±۴۴۹ و ۱۰۴± ۵۸۷ میلی‌متر گزارش شد. میانگین نمایه RIS (جدول ۱) در روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در باغ‌های با برنامه‌ریزی آبیاری رایج به‌ترتیب، ۰/۱۹±۰/۷۴ و ۰/۲۰±۰/۹۹ و در باغ‌های با برنامه‌ریزی آبیاری مبتنی بر RDI به‌ترتیب، ۰/۲۷±۰/۹۷ و ۰/۲۵±۱/۲۱ به‌دست آمد. میانگین نمایه WP_I برابر با ۴/۱۰ کیلوگرم بر

۱. Regulated Deficit Irrigation

مترمکعب گزارش شد. در مطالعه‌ای در ناحیه آبیاری کانداسنوس، در شمال شرقی کشور اسپانیا، Stambouli et al. (2012) با پایش مدیریت آبیاری در ۱۶ باغ هلو، میانگین آب کاربردی فصلی در باغ‌های هلو را ۸۰۱ میلی‌متر (با ضریب تغییرات ۲۹ درصدی) گزارش کردند. میانگین نمایه SIPI (جدول ۱) در باغ‌های مطالعاتی ۳۶۳ درصد بود و بر این اساس اعمال کم‌آبیاری قابل توجه در باغ‌های مطالعاتی نتیجه‌گیری شد.

جدول ۱. توصیف ریاضی برخی نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری (*)

نمایه	توصیف ریاضی	منبع
تأمین نسبی آبیاری[۱] (-)	$RIS = I/I_n$	(Malano & Burton, 2001)
تأمین نسبی بارش[۲] (-)	$RRS = P_e/ET_c$	(Lorite et al., 2004)
نمایه عملکرد آبیاری فصلی[۳] (-)	$SIPI = 100\ I_n/I$	(Clemmens & Burt, 1997)
نسبت عملکرد محصول[۴] (-)	$CYR = Y\ /\ \hat{Y}$	(Bos, 1994)
بهره‌وری آب کاربردی (کیلوگرم بر مترمکعب)	$WP_I = k\,Y/I$	
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	$WP_{I+P_e} = k\,Y/(I+P_e)$	(Molden et al., 2003)
بهره‌وری اقتصادی آب (واحد پولی بر مترمکعب)	$WP_\$ = k\,q_n/I$	

(*) در این جدول، P_e، I، I_n و ET_c به‌ترتیب، بارش موثر، آب کاربردی، نیاز آبی خالص ($I_n = ET_c - P_e$) و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر)، Y و $\hat{Y}$ به‌ترتیب، عملکرد محصول واقعی و مورد انتظار (تن بر هکتار)، q_n سود اقتصادی خالص حاصل از تولید محصول و $k = ۰/۱$ ضریب تبدیل واحد است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، در فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در باغ‌های منتخب هلو و شلیل واقع در شهرستان‌های پارس‌آباد و مشگین‌شهر (استان اردبیل) انجام شد. باغ‌های مطالعاتی (در مجموع، ۲۴ باغ) به‌گونه‌ای انتخاب شد که حتی‌الامکان، در برگیرنده دامنه تغییرات ویژگی‌های باغ‌های هلو و شلیل در سطح مناطق مطالعاتی به‌لحاظ ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و آب آبیاری، مساحت باغ، روش آبیاری، فواصل کشت، رقم و سن درختان کشت شده و سطح تحصیلات و مهارت بهره‌برداران (پیشرو/ معمولی) باشند (جدول ۲). پراکنش جغرافیایی باغ‌های منتخب در شکل نشان داده شده است. کودهای حیوانی، اوره، فسفر، گوگرد، پتاسیم، آهن و گونه‌های مختلف زیست‌محرک‌ها، عمده کودهای مورد استفاده در باغ‌های مطالعاتی بودند. بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) و شوری خاک از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع خاک (Rhoades, 1996) اندازه‌گیری شد. همچنین، مراحل مختلف رشد گیاه، عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری و عملکرد میوه در هریک از باغ‌های مطالعاتی از طریق مشاهدات مزرعه‌ای تعیین گردید.

عمق آب کاربردی در هریک از نوبت‌های آبیاری از طریق اندازه‌گیری دبی جریان تحویلی به باغ، مدت زمان تحویل جریان و سطح زیر کشت واقعی باغ برآورد شد. دبی جریان تحویلی در روش آبیاری سطحی با استفاده از تیپ‌های ۴ و ۵ فلوم WSC (اسلامی، ۱۳۹۵) (به‌ترتیب، از طریق روابط ۱ و ۲) و در روش آبیاری قطره‌ای از طریق اندازه‌گیری دبی متوسط قطره‌چکان‌ها (به‌روش حجمی) مطابق با رهنمودهای Merriam & Keller (1978) برآورد شد. به‌گونه‌ای که با انتخاب چهار لوله لاترال (لاترال‌های واقع در فواصل صفر، $L_m/3$، $2L_m/3$ و L_m از ابتدای لوله نیمه‌اصلی که L_m طول لوله نیمه‌اصلی است)، اندازه‌گیری‌های دبی قطره‌چکان در هر لاترال انتخابی برای چهار جفت قطره‌چکان (در فواصل صفر، $L_l/3$، $2L_l/3$ و L_l از ابتدای لاترال که L_l طول لوله لاترال است) صورت گرفت.

رابطهٔ ۱) $$Q = \mathrm{Min}(\mathrm{Max}(1.0, 0.00294H^{2.102}), 60.0)$$

رابطهٔ ۲) $$Q = \mathrm{Min}(\mathrm{Max}(5.0, 0.0232H^{2.196}), 70.0)$$

که درآن‌ها: Q شدت جریان آب عبوری از فلوم (لیتر بر ثانیه) و H ارتفاع جریان آب داخل فلوم (سانتی‌متر) است.

۱. Relative Irrigation Supply (RIS)

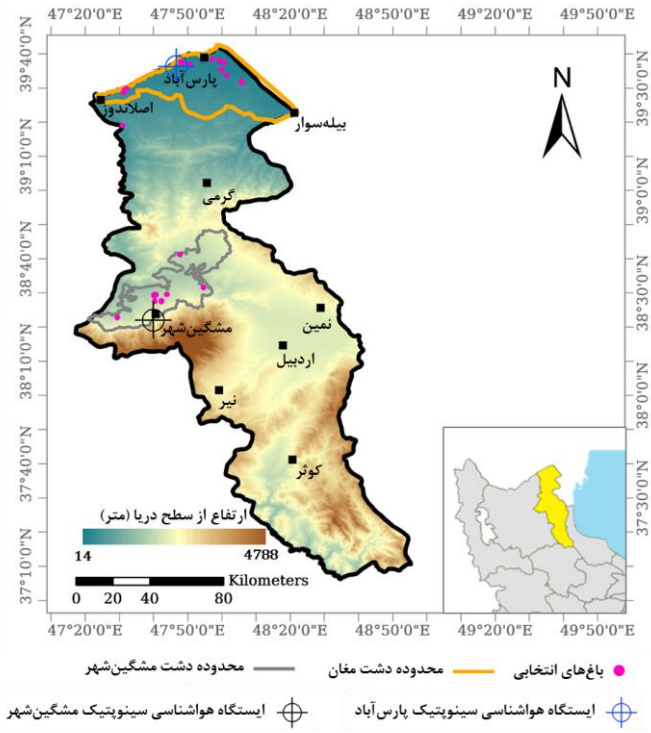
۲. Relative Rainfall Supply (RRS)

۳. Seasonal Irrigation Performance Index (SIPI)

۴. Crop Yield Ratio (CYR)

جدول ۲. فراوانی نسبی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی

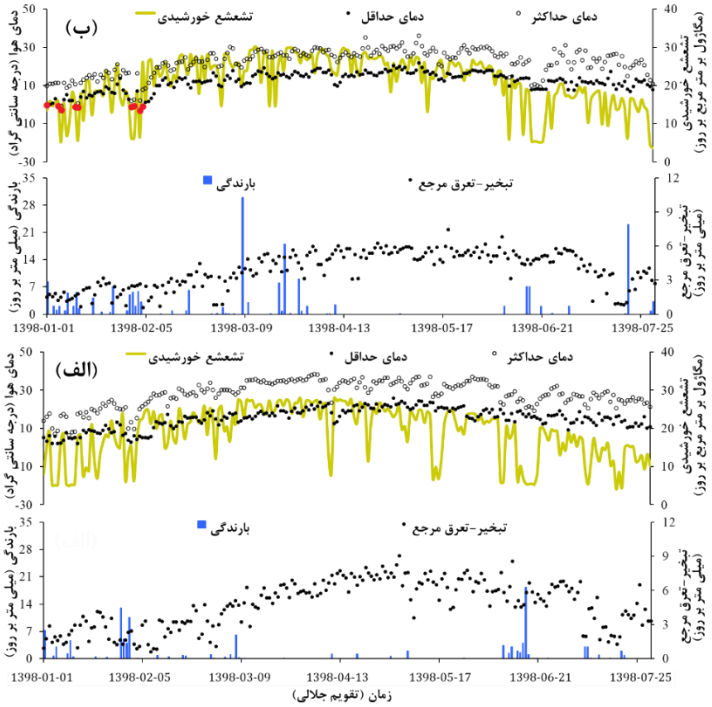
ویژگی	شرح	فراوانی نسبی (درصد)	ویژگی	شرح	فراوانی نسبی (درصد)
سطح تحصیلات	زیر دیپلم	۲۱		پایین‌تر از ۵ سال	۸
بهره‌برداران	دیپلم و بالاتر	۷۹	سن درختان	۵ تا ۱۰ سال	۶۳
سطح مهارت	معمولی	۷۱		بالاتر از ۱۰ سال	۱۷
بهره‌برداران	پیشرو	۲۹	فواصل کشت	۳×۴	۸
تنوع کشت	کشت خالص	۷۹	درختان	۴×۴	۲۱
درختان باغ	کشت مختلط	۲۱	(متر × متر)	۴×۵	۷۱
رقم هلو و شلیل کشت شده	زودرس	۸	منبع تأمین	سطحی	۷۹
	دیررس	۵۸	آب آبیاری	زیرزمینی	۲۱
	ترکیبی	۳۳		سطحی	۵۰
مساحت باغ	کوچکتر از ۲ هکتار	۲۱	روش آبیاری	قطره‌ای	۴۲
	۲ تا ۵ هکتار	۴۶		ترکیبی (قطره‌ای-سطحی)	۸
	۵ تا ۱۰ هکتار	۲۵	شرایط	بدون خسارت شدید	۸۸
	بزرگتر از ۱۰ هکتار	۸	درختان	خسارت بیماری/سرمازدگی	۱۳



شکل ۱. پراکنش جغرافیایی باغ‌های مطالعاتی

ارزیابی فصلی مدیریت آبیاری اعمال شده در باغ‌های مطالعاتی با استفاده از نمایه‌های RRS، RIS، CYR، WP_I، WP_{I+Pe} و $WP_\$$ صورت گرفت (جدول ۱). به‌منظور تعیین نمایه CYR (جدول ۱)، سطح قابل انتظار عملکرد میوه در هریک از باغ‌های مطالعاتی معادل با چارک سوم عملکرد میوه طی پنج سال اخیر در نظر گرفته شد. برآوردهای روزانه تبخیر-تعرق چمن مرجع (ET_o، میلی‌متر بر روز) با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، ′۴۶ 47^0 و ′۳۶ 39^0 و ارتفاع ۷۲/۶ متر از سطح دریا) و مشگین‌شهر (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، ′۴۰ 47^0 و ′۲۲ 38^0 و ارتفاع ۱۵۶۰ متر از سطح دریا) (شکل) و از طریق مدل فائو پنمن-مانتیث (Allen et al., 1998) محاسبه شد. در فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷، میانگین دمای متوسط روزانه در ایستگاه‌های پارس‌آباد و مشگین‌شهر به‌ترتیب، برابر ۲۱/۷ و ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین ET_o روزانه به‌ترتیب، برابر با ۴/۷

و ۳/۹ میلی‌متر بر روز بود (شکل ۱). بر اساس نمایه خشکی (UNESCO, 1979) محاسبه شده برای ایستگاه‌های پارس‌آباد (۰/۱۹) و مشگین‌شهر (۰/۲۸)، اقلیم این دو منطقه به‌ترتیب، خشک و نیمه‌خشک ارزیابی می‌شود.



شکل ۱. مقادیر روزانه متغیرهای هواشناسی در دوره مطالعاتی در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد (الف) و مشگین‌شهر (ب). نقاط قرمزرنگ بیانگر روزهای با دما حداقل روزانه پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد و با پتانسیل ایجاد خسارت سرمازدگی است.

مقادیر تبخیر–تعرق گیاه (ET_c) برای هلو و شلیل با استفاده از ET_o محاسباتی و ضرایب گیاهی منفرد برای درختان هلو و شلیل (به‌ترتیب، ۰/۵۵، ۰/۹۰ و ۰/۶۵ برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه) برآورد گردید (Allen et al., 1998). ارزیابی صحت داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده (شامل دمای خشک و تر، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارندگی و فشار سطح دریا) و برآورد داده‌های گم شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی توسط پرچمی عراقی و همکاران (۱۳۹۵) صورت گرفت. به‌دلیل غیرمرجع بودن ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی، داده‌های دمای نقطه شبنم از طریق روش پیشنهادی توسط Todorovic et al. (2013) تصحیح شد. تشعشع خورشیدی روزانه در سطح زمین از طریق مدل عددی Yang & Koike (2005) برآورد شد. بارش موثر، P_e (میلی‌متر بر ماه)، از طریق روش USDA-SCS به‌شرح زیر برآورد شد (Bos et al., 2008):

$$P_e = f(1.253\ P^{0.824} - 2.935)\ 10^{0.001\ ET_c} \quad \text{رابطهٔ ۳)}$$

$$f = \begin{cases} 0.133 + 0.201 \ln(D_a), & D_a < 75 \\ 0.946 + 7.3 \times 10^{-4}\ D_a, & D_a \geq 75 \end{cases} \quad \text{رابطهٔ ۴)}$$

که در آن‌ها: P بارندگی ماهانه (میلی‌متر بر ماه)، D_a مقدار آب سهل‌الوصل قابل ذخیره در ناحیه ریشه (میلی‌متر) است که در خاک‌های سنگین بافت و گیاهان با ریشه عمیق برابر با ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود (Brouwer et al., 1989). در مورد باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای، نیاز آبی خالص از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Keller & Bliesner, 1990):

$$I_n = 0.1(ET_c - P_e)\sqrt{P_s} \quad \text{رابطهٔ ۵)}$$

$$P_s = 100\ A_s/(S_b\ S_i) \quad \text{رابطهٔ ۶)}$$

که در آن: P_s درصد سطح سایه‌انداز (درصد)، A_s سطح سایه‌انداز (متر مربع) و S_b و S_i به‌ترتیب، فواصل بین و روی ردیف کاشت (متر) است. مقدار A_s در اواسط تابستان با سه تکرار و به‌روش قطعه‌بندی افقی پوشش گیاهی (Wang et al., 2022) برآورد شد. متعاقبا، مقادیر فصلی P_e، ET_c و I_n در باغ‌های 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 داده‌های هواشناسی درازمدت از بدو تاسیس ایستگاه هواشناسی) برآورد گردید. برآوردهای مربوط به سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد برای خشکی اقلیمی از طریق انجام یک تحلیل فراوانی تجربی برای سری زمانی درازمدت برآوردهای P_e،

ET_c و I_n مطابق با دستورالعمل ارائه شده در USDA-NRCS (1993) محاسبه شد.

یافته‌های پژوهش

برآوردهای فصلی P_e، ET_c و I_n در مناطق مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این جدول، برآوردهای I_n برای روش آبیاری قطره‌ای به‌میزان ۴۴ تا ۴۸ درصد پایین‌تر از مقادیر نظیر آن‌ها برای روش آبیاری سطحی بوده است. در نتیجه تفاوت ویژگی‌های اقلیمی دو منطقه مطالعاتی با یکدیگر، برآوردهای مختلف I_n برای منطقه مشگین‌شهر به‌میزان ۱۶ تا ۲۲ درصد پایین‌تر از مقدار آنها برای منطقه پارس‌آباد بود (جدول ۳). برآوردهای سند ملی آب کشور برای I_n در مناطق مطالعاتی از انطباق خوبی با میانگین ۱۰ سال اخیر آن برخوردار است.

جدول ۳. میانگین برآوردهای مختلف (میلی‌متر) نیاز آبی هلو و شلیل در مناطق مطالعاتی.

منطقه	سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد+			میانگین درازمدت			میانگین ۱۰ سال اخیر			فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷			سند ملی آب کشور		
	P_e	ET_c	$^{++}I_n$	P_e	ET_c	$^{++}I_n$	P_e	ET_c	$^{++}I_n$	P_e	ET_c	$^{++}I_n$	P_e	ET_c	$^{++}I_n$
پارس‌آباد	۴۴	۸۰۸	۷۶۴(۴۲۶)	۱۱۸	۷۵۶	۶۳۸(۳۵۵)	۱۰۳	۸۰۰	۶۹۷(۳۸۹)	۶۵	۷۸۶	۷۲۱(۴۰۲)	۷۶	۷۷۶	۷۰۰(۳۹۰)
مشگین‌شهر	۴۹	۶۸۵	۶۳۷(۳۲۹)	۱۴۰	۶۲۶	۴۸۶(۲۵۱)	۱۳۲	۶۷۶	۵۴۴(۲۸۱)	۱۰۳	۶۷۰	۵۶۷(۲۹۳)	۸۲	۶۲۸	۵۴۶(۲۸۲)

+ محاسبه شده بر اساس داده‌های هواشناسی بلندمدت (از بدو تاسیس ایستگاه هواشناسی)

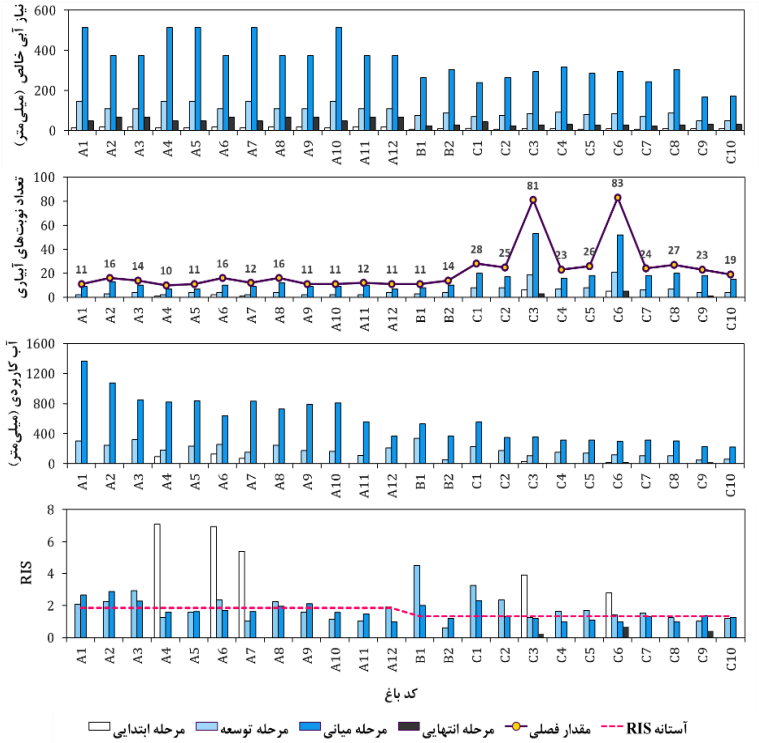
++ مقادیر ذکر شده در داخل پرانتز، بیانگر میانگین برآوردهای I_n برای باغ‌های مطالعاتی با روش آبیاری قطره‌ای است.

مقادیر I_n، I و تعداد نوبت‌های آبیاری در مراحل چهارگانه رشد گیاه (Allen et al., 1998) در باغ‌های مطالعاتی در شکل ۲ و مقادیر فصلی I و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۲، I_n در مرحله میانی رشد گیاه به حداکثر مقدار خود رسیده و بخش عمده نوبت‌های آبیاری اعمال شده در تمامی باغ‌های مطالعاتی در این مرحله متمرکز شده است. اکثر باغ‌های مطالعاتی در مراحل اول و چهارم رشد گیاه آبیاری نشده‌اند. در اکثر باغ‌های با روش آبیاری سطحی، نمایه RIS در مرحله رشد توسعه‌ای گیاه به حداقل مقدار خود رسیده است (شکل ۲). در مورد باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای، بسته به مدیریت آبیاری اعمال شده، تغییرات نمایه RIS در مراحل مختلف رشد گیاه دارای الگوهایی متفاوت بوده است.

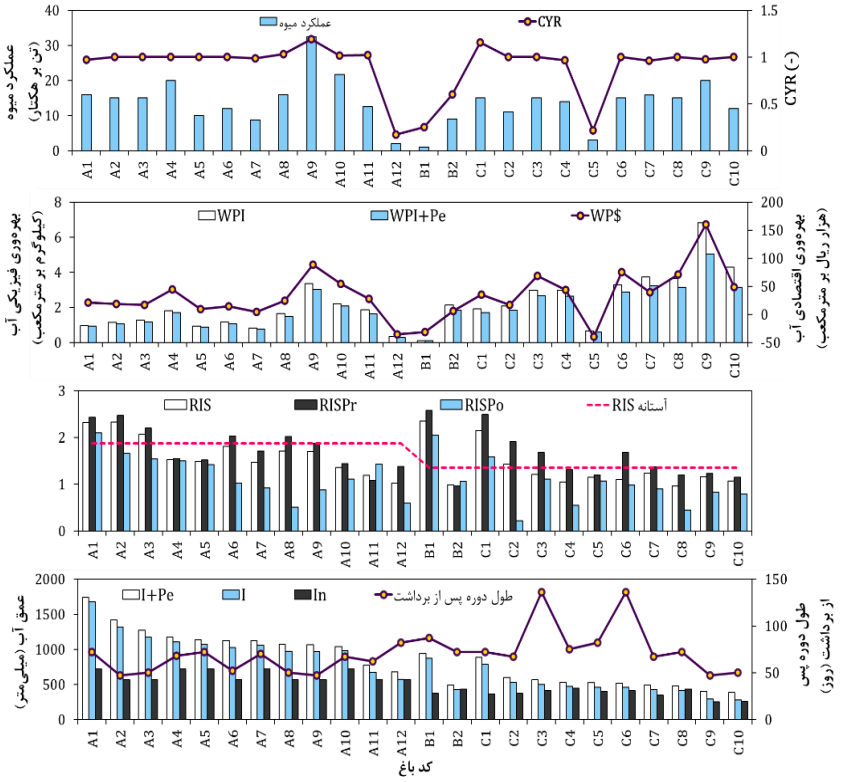
نتایج مقایسه میانگین مقادیر فصلی I، $I + P_e$ و Y به‌همراه نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها در جدول ۴ ارائه گردیده است. میانگین نمایه CYR در باغ‌های مطالعاتی (۰/۹۵) بیانگر آن است که میانگین عملکرد میوه در فصل زراعی مطالعاتی، پایین‌تر از سطح قابل انتظار آن (جدول ۲) بوده است. با این حال، بررسی‌ها نشان داد که عملکرد میوه محقق شده در سال زراعی مورد بررسی فاقد اختلافی معنی‌دار با سطح مورد انتظار آن در باغ‌های مطالعاتی بود.

نمایه RRS بیانگر سهم بارش موثر در برآورده ساختن نیاز آبی گیاه است (جدول ۱). بر اساس نمایه RRS، سهم بارش موثر در تأمین نیاز آبی درختان هلو و شلیل در منطقه مشگین‌شهر (۰/۱۵) به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقدار نظیر آن در منطقه پارس‌آباد (۰/۰۸) بود (جدول ۴). با این حال، علی‌رغم تفاوت ویژگی‌های اقلیمی مناطق پارس‌آباد و مشگین‌شهر، مقادیر I، $I + P_e$، عملکرد میوه و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در این دو منطقه از اختلاف معنی‌داری با یکدیگر برخوردار نبودند.

از طریق نمایه RIS می‌توان درجه انطباق نیاز آبی خالص با آب کاربردی را مورد ارزیابی قرار داد (جدول ۱). مقدار نمایه RIS با میانگین وزنی ۱/۲۵، بین ۰/۹۶ تا ۲/۳۵ متغیر بود (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، از میان معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها، تنها اثر سطح مهارت بهره‌برداران، تنوع کشت درختان باغ و روش آبیاری بر مقدار آب کاربردی فصلی و نمایه RIS معنی‌دار بوده است. سه عامل فوق به‌همراه فواصل کشت درختان و خسارت بیماری/سرمازدگی از اثری معنی‌دار بر نمایه‌های بهره‌وری آب برخوردار بودند. همچنین، تنها اثر خسارت بیماری/سرمازدگی بر عملکرد میوه معنی‌دار بود. بر اساس جدول ۴، میانگین عملکرد میوه با افزایش سن درختان از روندی افزایشی برخوردار بوده است.



شکل ۲. مقایسه مقادیر نیاز آبی خالص، آب کاربردی، نمایه RIS و تعداد نوبت‌های آبیاری در هریک از باغ‌های مطالعاتی به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی. باغ‌های با روش آبیاری سطحی، ترکیبی (سطحی و قطره‌ای) و قطره‌ای به‌ترتیب، با کدهای A، B و C مشخص شده است. باغ‌های A2، A6، A8 تا A10، A12 و B2 تحت مدیریت بهره‌برداران پیشرو و باغ‌های A12، B1 و C5 متحمل خسارت بیماری/سرمازدگی بودند.



شکل ۳. مقادیر فصلی I، $I+P_e$، I_n، عملکرد میوه و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری در باغ‌های مطالعاتی. RIS_{Pr} و RIS_{Po} به‌ترتیب، بیانگر مقادیر نمایه RIS در طول دوره قبل و پس از برداشت میوه است. باغ‌های با روش آبیاری سطحی، ترکیبی (سطحی و قطره‌ای) و قطره‌ای به‌ترتیب، با کدهای A، B و C مشخص شده است. باغ‌های A2، A6، A8 تا A10، A12 و B2 تحت مدیریت بهره‌برداران پیشرو و باغ‌های A12، B1 و C5 متحمل خسارت بیماری/سرمازدگی بودند.

جدول ٤. مقایسه میانگین نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها (*)

معیار گروه‌بندی	شرح	I (mm)	I + P_e (mm)	RRS (-)	RIS (-)	RIS_{Pr} (-) +	RIS_{Po} (-) +	Y (ton ha^{-1})	CYR (–)	WP_I (kg m^{-3})	WP_{I+Pe} (kg m^{-3})	$WP_\$ \times 10^3$ (Rial m^{-3})
منطقه	پارس‌آباد	۷۴۵ a	۸۱۰ a	۰/۰۸ b	۱/۴۰ a	۱/۶۱ a	۱/۱۰ a	۱۲/۵۲ a	۰/۸۵ a	۲/۰۲ a	۱/۸۰ a	۲۷/۴۹ a
	مشگین‌شهر	۸۰۵ a	۹۰۸ a	۰/۱۵ a	۱/۶۲ a	۱/۷۹ a	۱/۰۸ a	۱۵/۱۹ a	۰/۹۵ a	۲/۳۸ a	۱/۹۶ a	۳۹/۸۹ a
سطح تحصیلات بهره‌برداران	زیر دیپلم	۷۰۹ a	۷۹۰ a	۰/۱۱ a	۱/۴۱ a	۲/۰۱ a	۱/۲۱ a	۱۱/۴۰ a	۰/۸۴ a	۱/۲۰ a	۱/۰۹ a	۶/۱۹ a
	دیپلم و بالاتر	۱۰۰۱ a	۱۰۸۱ a	۰/۱۱ a	۱/۸۰ a	۱/۶۰ a	۱/۰۶ a	۱۴/۲۲ a	۰/۹۱ a	۲/۴۳ a	۲/۰۷ a	۳۹/۶۲ a
سطح مهارت بهره‌برداران	معمولی	۸۸۳ b	۹۶۶ b	۰/۱۲ a	۱/۶۳ b	۱/۸۲ b	۱/۱۵ a	۱۳/۰۱ a	۰/۸۸ a	۱/۶۰ b	۱/۴۴ b	۱۸/۱۵ b
	پیشرو	۵۷۲ a	۴۹۶ a	۰/۱۰ a	۱/۱۵ a	۱/۳۵ a	۰/۹۶ a	۱۵/۱۴ a	۰/۹۴ a	۳/۵۷ a	۲/۹۱ a	۶۷/۹۰ a
تنوع کشت درختان باغ	کشت خالص	۶۶۷ a	۷۴۶ a	۰/۱۱ a	۱/۲۹ a	۱/۴۹ a	۰/۹۱ a	۱۳/۹۶ a	۰/۹۰ a	۲/۴۶ a	۲/۱۰ a	۳۸/۰۹ a
	کشت مختلط	۱۱۶۳ b	۱۲۵۱ b	۰/۱۳ a	۲/۲۴ b	۲/۴۳ b	۱/۷۹ b	۱۲/۴۰ a	۰/۸۷ a	۱/۰۸ b	۰/۹۹ b	۱۲/۰۳ b
رقم هلو و شلیل کشت شده	زودرس	۴۷۹ a	۵۴۴ a	۰/۰۸ a	۱/۱۶ a	۱/۶۷ a	۱/۰۵ a	۱۵/۰۰ a	۱/۰۰ a	۳/۱۴ a	۲/۷۶ a	۷۲/۱۵ a
	دیررس	۸۵۲ a	۹۳۴ a	۰/۱۱ a	۱/۵۵ a	۱/۶۷ a	۱/۲۴ a	۱۲/۶۸ a	۰/۸۱ a	۱/۸۵ a	۱/۵۸ a	۲۳/۴۰ a
	ترکیبی	۶۹۹ a	۷۸۳ a	۰/۱۲ a	۱/۴۷ a	۱/۷۱ a	۰/۸۴ a	۱۴/۹۶ a	۱/۰۲ a	۲/۵۱ a	۲/۱۵ a	۳۸/۹۹ a
فواصل کشت درختان (متر × متر)	۳×۴	۲۸۷ a	۳۹۰ a	۰/۱۵ a	۱/۱۱ a	۱/۱۹ a	۰/۸۰ a	۱۶/۰۰ a	۰/۹۹ a	۵/۵۵ a	۴/۰۹ a	۱۰۴/۳۴ a
	۴×۴	۷۱۴ a	۸۰۲ a	۰/۱۳ a	۱/۳۸ a	۱/۵۵ a	۱/۱۱ a	۱۰/۷۰ a	۰/۸۶ a	۱/۶۱ b	۱/۴۲ b	۱۶/۰۱ b
	۴×۵	۸۴۳ a	۹۲۰ a	۰/۱۰ a	۱/۵۷ a	۱/۷۸ a	۱/۱۲ a	۱۴/۲۲ a	۰/۹۰ a	۱/۹۴ b	۱/۷۴ b	۲۹/۱۲ b
سن درختان	پایین‌تر از ۵ سال	۶۳۳ a	۷۱۳ a	۰/۱۱ a	۱/۲۷ a	۱/۳۶ a	۱/۰۰ a	۱۰/۷۶ a	۰/۸۴ a	۲/۷۰ a	۲/۰۸ a	۳۶/۵۲ a
	۵ تا ۱۰ سال	۸۴۱ a	۹۲۱ a	۰/۱۱ a	۱/۵۵ a	۱/۷۲ a	۱/۱۴ a	۱۴/۱۶ a	۰/۸۸ a	۱/۹۲ a	۱/۷۲ a	۲۶/۴۸ a
	بالاتر از ۱۰ سال	۶۷۷ a	۷۶۱ a	۰/۱۲ a	۱/۵۴ a	۱/۹۶ a	۱/۰۵ a	۱۵/۲۵ a	۱/۰۵ a	۲/۴۶ a	۲/۱۸ a	۵۰/۹۹ a
مساحت باغ	کوچکتر از ۲ هکتار	۸۲۱ a	۹۰۹ a	۰/۱۳ a	۱/۴۰ a	۱/۵۰ a	۱/۱۱ a	۱۱/۰۶ a	۱/۰۰ a	۱/۸۲ a	۱/۵۰ a	۲۰/۸۸ a
	۲ تا ۵ هکتار	۷۸۳ a	۸۶۵ a	۰/۱۱ a	۱/۶۶ a	۱/۸۷ a	۱/۱۱ a	۱۴/۴۷ a	۰/۸۸ a	۲/۳۲ a	۱/۹۸ a	۳۴/۱۴ a
	۵ تا ۱۰ هکتار	۸۰۱ a	۸۷۹ a	۰/۱۱ a	۱/۳۶ a	۱/۵۰ a	۱/۰۶ a	۱۳/۷۸ a	۰/۸۰ a	۱/۸۸ a	۱/۶۹ a	۲۶/۵۸ a
	بزرگتر از ۱۰ هکتار	۴۷۹ a	۵۴۴ a	۰/۰۸ a	۱/۱۶ a	۱/۶۷ a	۱/۰۵ a	۱۵/۰۰ a	۱/۰۰ a	۳/۱۴ a	۲/۷۶ a	۷۲/۱۵ a
منبع تأمین آب آبیاری	سطحی	۷۸۱ a	۸۵۶ a	۰/۱۰ a	۱/۴۴ a	۱/۶۴ a	۱/۱۰ a	۱۳/۱۱ a	۰/۸۶ a	۱/۹۱ a	۱/۷۱ a	۲۶/۱۶ a
	زیرزمینی	۷۲۸ a	۸۳۱ a	۰/۱۵ b	۱/۶۸ a	۱/۸۷ a	۱/۰۷ a	۱۵/۶۰ a	۱/۰۳ a	۳/۱۶ a	۲/۴۸ a	۵۷/۳۴ a
روش آبیاری–منطقه	سطحی–پارس‌آباد	۱۱۷۸ b	۱۲۴۳ b	۰/۰۸ b	۱/۶۳ ab	۱/۷۳ a	۱/۴۱ a	۱۵/۲۹ a	۰/۹۹ a	۱/۳۵ b	۱/۲۷ b	۲۶/۸۲ ab
	سطحی–مشگین‌شهر	۹۵۶ bc	۱۰۵۹ bc	۰/۱۵ a	۱/۶۹ b	۱/۸۷ a	۱/۰۹ a	۱۴/۹۹ a	۰/۹۲ a	۱/۵۴ b	۱/۳۹ b	۲۲/۱۸ b
	قطره‌ای–پارس‌آباد	۴۶۴ a	۵۲۹ a	۰/۰۸ b	۱/۱۶ a	۱/۴۸ a	۰/۷۵ a	۱۲/۶۸ a	۰/۸۸ a	۲/۷۷ ab	۲/۴۲ ab	۳۹/۴۴ ab
	قطره‌ای–مشگین‌شهر	۴۵۲ a	۵۵۵ a	۰/۱۵ a	۱/۴۶ ab	۱/۶۲ a	۱/۰۶ a	۱۵/۶۷ a	۱/۰۴ a	۴/۳۴ a	۳/۲۹ a	۸۱/۲۲ a
	ترکیبی–پارس‌آباد	۶۴۸ ac	۷۱۳ ac	۰/۰۸ b	۱/۶۷ ab	۱/۷۷ a	۱/۵۶ a	۵/۰۰ a	۰/۴۲ b	۱/۱۲ b	۰/۹۷ b	−۱۲/۶۵ b
	سطحی–کل داده‌ها	۱۰۴۸ b	۱۱۳۶ b	۰/۱۲ a	۱/۶۶ b	۱/۸۱ a	۱/۲۲ a	۱۵/۱۲ a	۰/۹۵ a	۱/۴۶ b	۱/۳۴ b	۲۴/۱۱ ab
	قطره‌ای–کل داده‌ها	۴۶۱ a	۵۳۷ a	۰/۱۰ a	۱/۲۵ a	۱/۵۲ a	۰/۸۵ a	۱۳/۵۸ a	۰/۹۳ a	۳/۲۴ a	۲/۶۸ a	۵۱/۹۷ a
	ترکیبی–کل داده‌ها	۶۴۸ a	۷۱۳ a	۰/۰۸ a	۱/۶۷ ab	۱/۷۷ a	۱/۵۶ a	۵/۰۰ a	۰/۴۲ b	۱/۱۲ b	۰/۹۷ b	−۱۲/۶۵ b
شرایط درختان	بدون خسارت شدید	۷۸۹ a	۸۷۱ a	۰/۱۱ a	۱/۴۹ a	۱/۶۸ a	۱/۰۷ a	۱۵/۲۹ a	۰/۹۹ a	۲/۴۳ a	۲/۰۹ a	۴۲/۴۳ a
	خسارت بیماری/سرمازدگی	۶۳۵ a	۷۱۲ a	۰/۱۱ a	۱/۵۰ a	۱/۷۲ a	۱/۲۴ a	۲/۰۰ b	۰/۲۱ b	۰/۳۷ b	۰/۳۳ b	−۳۵/۷۷ b
کل مجموعه داده	حداقل	۲۸۰	۳۸۳	۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۲۲	۱/۰۰	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۱	−۴۲/۶۰
	حداکثر	۱۶۷۵	۱۷۴۰	۰/۱۵	۲/۳۵	۲/۵۸	۲/۰۹	۳۲/۴۳	۱/۲۵	۶/۸۱	۵/۰۴	۲۴۶/۲۷
	میانگین حسابی	۷۷۰	۸۵۱	۰/۱۱	۱/۴۹	۱/۶۸	۱/۰۹	۱۳/۸۸	۰/۹۲	۲/۲۳	۱/۹۲	۲۹/۹۲
	میانگین وزنی	۵۸۲	۶۵۰	۰/۰۹	۱/۲۵	۱/۶۳	۱/۰۵	۱۴/۶۱	۰/۹۵	۲/۷۷	۲/۴۴	۵۶/۴۱
	CV	۴۷	۴۳	۳۲	۳۱	۲۹	۴۵	۴۷	۳۱	۶۹	۶۲	۱۹۰

(*)میانگین‌های با حروف مشابه در هر گروه داده، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری (بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.05$) می‌باشند. CV ضریب تغییرات (درصد) است.

+ RIS_{Pr} و RIS_{Po} به‌ترتیب، بیانگر مقدار نمایه RIS در دوره‌های قبل و پس از برداشت میوه است. زمان خاتمه برداشت میوه تمامی ارقام هلو و شلیل در هر باغ به‌عنوان زمان آغاز دوره پس از برداشت در نظر گرفته شد.

در هر دو منطقه پارس‌آباد و مشگین‌شهر، میانگین I و $I+P_e$ در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از مقدار آن در روش‌های آبیاری سطحی و ترکیبی بود (جدول ۴). به‌گونه‌ای که میانگین I در باغ‌های مناطق پارس‌آباد و مشگین‌شهر با روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب، به ۳۹ و ۴۷ درصد مقدار نظیر آنها در روش آبیاری سطحی کاهش یافت. از این لحاظ، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های

آبیاری مشابه در دو منطقه مطالعاتی وجود نداشت. در منطقه پارس‌آباد، میانگین I و $I+P_e$ در روش آبیاری ترکیبی به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از روش آبیاری سطحی بود. مقادیر فوق در این روش آبیاری فاقد اختلاف معنی‌دار با روش آبیاری قطره‌ای بود. میانگین نمایه RIS در باغ‌های واقع در منطقه پارس‌آباد با روش آبیاری قطره‌ای به پایین‌ترین مقدار خود (۱/۱۶) رسید. مقدار این نمایه در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از روش آبیاری سطحی بود (جدول ۴). میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقدار آنها در دو روش آبیاری دیگر بود.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بروز خسارت بیماری/سرمازدگی موجب کاهش ۸۷ درصدی عملکرد محصول، کاهش ۸۵ درصدی نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} در مقایسه با باغ‌های فاقد خسارت شدید و تحمیل زیان اقتصادی به بهره‌برداران این گروه از باغ‌ها شده است. دلیل این امر، ناشی از عدم تفاوت معنی‌دار آب کاربردی فصلی در باغ‌های خسارت دیده با باغ‌های فاقد خسارت شدید بوده است. بر اساس جدول ۴، مقادیر نمایه RIS محاسبه شده برای دوره‌های قبل و پس از برداشت میوه، (به‌ترتیب، نمایه‌های RIS_{Pr} و RIS_{Po}) با میانگین وزنی ۱/۶۸ و ۱/۰۹، بین ۰/۹۶ تا ۲/۵۸ و ۰/۲۲ تا ۲/۰۹ متغیر بود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، از میان معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها، اثر سطح مهارت بهره‌برداران و تنوع کشت درختان باغ بر نمایه‌های RIS_{Pr} و RIS_{Po} معنی‌دار بوده است.

به‌گونه‌ای که در باغ‌های تحت مدیریت بهره‌برداران پیشرو (در مقایسه با بهره‌برداران معمولی) و باغ‌های با تنوع کشت خالص (در مقایسه با کشت مختلط)، آب کاربردی از درجه انطباق بالاتری با نیاز خالص آبیاری طی دوره قبل و پس از برداشت میوه برخوردار بوده است. طول دوره پس از برداشت و مقادیر نمایه‌های RIS_{Pr} و RIS_{Po} به‌تفکیک باغ‌های مطالعاتی در شکل ۳ نشان داده شده است. این شکل حاکی از مقدار قابل توجه طول دوره پس از برداشت در باغ‌های تحت کشت ارقام زودرس (باغ‌های C3 و C6) و تغییرپذیری قابل توجه آن در بین باغ‌های مطالعاتی است.

بحث

برآوردهای ET_c فصلی برای درختان هلو و شلیل در منطقه مطالعاتی در دامنه مقادیر گزارش شده در پژوهش‌های پیشین (۶۶۰ تا ۱۰۳۴ میلی‌متر) قرار دارد (Ayars et al., 2003; Salvador et al., 2011; Vera et al., 2019). همان‌طور که جدول ۳ مشاهده می‌شود، میانگین ۱۰ سال اخیر برآوردهای I_n در مقایسه با میانگین درازمدت آن در مناطق مطالعاتی، افزایشی ۹ تا ۱۲ درصدی را تجربه کرده است. روند افزایشی I_n طی سال‌های اخیر، موجب بهبود تدریجی درجه انطباق آن با برآوردهای سند ملی آب کشور شده است. بنابراین، می‌توان گفت بر اساس داده‌های هواشناسی تاریخچه‌ای قابل دسترس در زمان توسعه سند ملی آب کشور، این سند مقادیر I_n برای هلو و شلیل در مناطق مطالعاتی را بیش‌برآورد کرده و با گذر زمان و روند افزایشی I_n در نتیجه اثرات تغییر اقلیم، این بیش‌برآوردگری تخفیف یافته است. برآوردهای I_n در سال زراعی مطالعاتی به‌میزان ۶ تا ۱۱ درصد پایین‌تر از برآوردهای نظیر آن به‌ازای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد بوده است. بنابراین، می‌توان گفت که منطقه مطالعاتی سال‌های زراعی خشک‌تر از فصل زراعی مطالعاتی را نیز تجربه کرده است. نتایج پژوهش Vera et al. (2019) نشان داد که استفاده ضرایب گیاهی پیشنهادی سازمان فائو (Allen et al., 1998) منجر به برآوردهایی از نیاز آبی هلو و شلیل خواهد شد که می‌تواند به‌طور قابل توجهی بالاتر از برآوردهای حاصل از ضرایب گیاهی ارائه شده در اغلب منابع علمی دیگر باشد. از این‌رو، بیش‌برآوردگری ET_c در شرایط استفاده از ضرایب گیاهی پیشنهادی سازمان فائو (Allen et al., 1998) (که مبنای محاسبات سند ملی آب کشور و پژوهش حاضر نیز بوده است) محتمل است.

بر اساس تعداد نوبت‌های آبیاری اعمال شده در باغ‌های مطالعاتی (شکل ۲)، می‌توان گفت که تغییرپذیری مدیریت آبیاری اعمال شده در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای (با ضریب تغییرات ۶۸ درصدی) به‌طور قابل توجهی بالاتر از باغ‌های با روش آبیاری سطحی و ترکیبی (به‌ترتیب، با ضریب تغییرات ۱۸ و ۱۷ درصدی) بوده است. یکی از دلایل اصلی این امر ناشی از محدودیت انعطاف‌پذیری شبکه آبیاری در پشتیبانی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به‌لحاظ امکان اعمال یک مدیریت آبیاری با دور آبیاری کوتاه‌مدت و عمق آب کاربردی اندک در بخش‌های مختلف شبکه است. دلیل دیگر این امر را می‌توان به تدوین برنامه‌ریزی آبیاری باغ‌های مطالعاتی بر اساس معیارهای متفاوت و عمدتا ادراکی (و نه کمّی) نسبت داد.

در تحلیل مقادیر نمایه RIS، با لحاظ کردن راندمان آبیاری (نسبت عمق آب افزوده شده به ذخیره ناحیه ریشه در اثر آبیاری به عمق آب کاربردی) می‌توان درجه انطباق آب کاربردی با نیاز آبی خالص را به‌طور واقع‌بینانه‌تری مورد بررسی قرار داد (جدول ۱). عباسی و همکاران (۱۳۹۵) میانگین راندمان آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای در ایران را به‌ترتیب، ۵۳/۶، ۶۲/۱ و ۷۴/۲ درصد

گزارش کردند. بر این اساس، می‌توان گفت که حصول مقادیر بزرگتر از ۱/۸۷، ۱/۶۱ و ۱/۳۵ برای نمایه RIS به‌ترتیب، در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای می‌تواند بیانگر وقوع آبیاری بیش از حد نیاز گیاه باشد و بالعکس. بر اساس شکل ۲ و با مقایسه نمایه RIS با مقادیر آستانه‌ای فوق، می‌توان گفت که طی مراحل اول تا چهارم رشد گیاه به‌ترتیب، وقوع کم‌آبیاری در ۷۹، ۴۶، ۶۷ و ۱۰۰ درصد از باغ‌های مطالعاتی تجربه شده است. میانگین نمایه RIS طی مراحل چهارگانه رشد گیاه (بر اساس چهار مقطع منحنی ضرایب گیاهی منفرد) در باغ‌های مطالعاتی با تبعیت از یک روند کاهشی (به‌جز در مورد مرحله ابتدایی)، به‌ترتیب، برابر با ۱/۰۹، ۱/۸۰، ۱/۶۱ و ۰/۰۵ بود. این روند کاهشی ناشی از روند افزایشی نیاز آبی خالص طی سه مرحله نخست رشد گیاه و عدم انجام آبیاری در مرحله انتهایی رشد گیاه در اکثر باغ‌های مطالعاتی است (شکل ۲). این روند کلی در مورد گیاهان زراعی سویا (پرچمی عراقی و همکاران، ۱۴۰۱) و ذرت علوفه‌ای (Mokari-Ghahroodi et al., 2015) نیز گزارش شده است. کمتر بودن میانگین RIS در مرحله ابتدایی نسبت به مرحله توسعه‌ای، ناشی از عدم اعمال آبیاری در اکثر باغ‌ها طی این مرحله است (شکل ۲). بر اساس مقادیر فصلی نمایه RIS در باغ‌های مطالعاتی (شکل ۳) می‌توان گفت در سه باغ با روش آبیاری سطحی (باغ‌های A1 تا A3) و یک باغ با روش آبیاری ترکیبی (باغ B1) و دو باغ با روش آبیاری قطره‌ای (باغ‌های C1 و C2)، آبیاری بیش از حد نیاز گیاه صورت گرفته و سایر باغ‌های مطالعاتی درجات مختلفی از کم‌آبیاری را تجربه کرده‌اند. بر اساس مقادیر نمایه‌های RIS_{Pr} و RIS_{Po} (شکل ۳)، به‌ترتیب، در ۵۰ و ۸۸ درصد از باغ‌های مطالعاتی، وقوع کم‌آبیاری طی دوره‌های قبل و پس از برداشت میوه، تجربه شده است. بررسی‌های میدانی نشان داد که کم‌آبیاری‌های اعمال شده در هیچ‌یک از باغ‌های مطالعاتی در حدی شدید نبوده است که منجر به ظهور علایم عینی تنش آبی در درختان (پژمردگی برگ‌ها) شود.

میانگین نمایه RIS در باغ‌های مطالعاتی با روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) بالاتر از مقدار متناظر گزارش شده توسط Salvador et al. (2011) در شرایط واقعی بهره‌برداری از باغ‌های هلو واقع در حوضه ابرو در کشور اسپانیا با روش آبیاری قطره‌ای (۰/۷۴) است. از سوی دیگر، علی‌رغم اعمال کم‌آبیاری در اکثر باغ‌های مطالعاتی، مقدار حداقلی این نمایه (۰/۹۶، جدول ۴) به‌میزان ۳۰ درصد بالاتر از مقدار میانگین نمایه RIS گزارش شده توسط Salvador et al. (2011) است. در پژوهش فوق (مشابه پژوهش حاضر)، مقدار نمایه RIS بر اساس نیاز آبی خالص، مبتنی بر ضرایب گیاهی منفرد پیشنهادی توسط سازمان فائو محاسبه شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش آب کاربردی و بهبود بهره‌وری آب در باغ‌های مطالعاتی نیازمند بهبود راندمان آبیاری و اعمال استراتژی‌های RDI است. مطالعات صورت گرفته در این رابطه نیز حاکی از آن است که امکان کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی آب کاربردی فصلی (Girona et al., 2005; Girona et al., 2003; Girona et al., 2002) و کاهش ۳۰ تا ۴۰ درصدی آب کاربردی در دوره پس از برداشت میوه (Wang, 2011) نسبت به شرایط آبیاری کامل، بدون اثرات منفی بر عملکرد و کیفیت میوه وجود دارد. نشان داده شده است که استراتژی‌های RDI اعمال شده در دوره دوم رشد میوه، به‌ویژه در مواردی که بازیابی سریع گیاه در ابتدای مرحله سوم رشد میوه امکان‌پذیر باشد (که این شرایط در مورد ارقام دیررس به‌دلیل طولانی‌تر بودن دوره دوم رشد میوه مهیا است)، در کنترل رشد رویشی بی‌رویه و بهبود کیفیت میوه، بدون کاهش عملکرد میوه، موثر است (Girona et al., 2004). به‌ویژه در مورد ارقام زودرس، اعمال کم‌آبیاری در دوره پس از برداشت، به‌شرط اجتناب از تنش آبی شدید، یک استراتژی کارآمد جهت بهبود بهره‌وری آب محسوب می‌شود (De la Rosa et al., 2016). طی یک مطالعه ۱۰ ساله در ایالت کالیفرنیا در کشور آمریکا (Wang et al., 2020)، با بررسی اثر کم‌آبیاری در دوره پس از برداشت میوه در سه روش آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای و بارانی بر سلامت درختان و عملکرد و کیفیت میوه، نشان داده شد در هشت تا نه سال از سال‌های مطالعاتی، اعمال کم‌آبیاری تا ۶۰ درصد تیمار آبیاری کامل موجب کاهش عملکرد میوه نشد. نتایج پژوهش فوق حاکی از عدم تاثیر معنی‌دار کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کیفی میوه و عملی بودن اعمال کم‌آبیاری پس از برداشت میوه در درازمدت بود. با این حال، بر اساس نمایه‌های RIS_{Pr} و RIS_{Po} (جدول ۴)، کشت مختلط گونه‌های مختلف درختان میوه در باغ‌های مطالعاتی یک عامل مهم در گرایش به بیش‌آبیاری و مختل کردن برنامه‌ریزی آبیاری مطابق با نیاز گیاه و به‌ویژه ایجاد محدودیت در اعمال کم‌آبیاری در دوره پس از برداشت میوه است. در باغ‌های مطالعاتی تحت کشت ارقام زودرس، دیررس و ترکیبی از ارقام زودرس و دیررس به‌ترتیب، ۷۵، ۲۵ و ۱۵ درصد از آب کاربردی فصلی به‌دوره پس از برداشت میوه اختصاص یافت. بنابراین، به‌دلیل طولانی‌تر بودن دوره پس از برداشت در ارقام زودرس، کاربرد کم‌آبیاری در دوره پس از برداشت این ارقام می‌تواند از کارآیی بیشتری در صرفه‌جویی آب برخوردار باشد.

بر اساس جدول ۴، علی‌رغم کاهش ۴۴ درصدی میانگین آب کاربردی فصلی در باغ‌های بهره‌برداران پیشرو نسبت به بهره‌برداران معمولی، میانگین نمایه RIS به‌میزان ۲۹ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه در این پژوهش، مقادیر I_n در روش آبیاری قطره‌ای با استفاده از رابطهٔ ۵ تعدیل گردیده است، این امر بیانگر رواج روش آبیاری قطره‌ای در بین بهره‌برداران پیشرو است. از میان فواصل کشت

اعمال شده در باغ‌های مطالعاتی، فاصله کشت ۴×۳ متر (بالاترین تراکم کشت در باغ‌های مطالعاتی) منجر به حصول بالاترین سطح از نمایه‌های بهره‌وری آب شد (جدول ۴). تراکم کشت در باغ‌های مطالعاتی بین ۵۰۰ تا ۸۳۳ درخت بر هکتار متغیر بود. تراکم کشت در سیستم‌های کشت هلو و شلیل در دامنه ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ درخت بر هکتار قرار دارد (Girona et al., 2012). معمولا، تراکم‌های کشت بالا برای اهداف تولید کنسرو و دیگر محصولات فرآوری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. چراکه افزایش تراکم کشت درختان، توزیع مناسب نور خورشید در بخش‌های مختلف درخت را مختل کرده و کمیت و کیفیت محصول را متأثر می‌سازد. دستیابی به رنگ مطلوب میوه (و لذا، بازارپسندی آن) و تقویت شاخه‌های میوه‌زا، نیازمند توزیع مناسب نور خورشید در سرتاسر شاخ و برگ درخت است. به‌عنوان یک راهکار، در سیستم‌های کشت متراکم، درختان به‌صورت کوتاه‌قد حفظ می‌شوند تا سایه‌اندازی و هزینه‌های برداشت کاهش یابد. با این وجود، ارقام پاکوتاه درختان هلو و شلیل موفقیت تجاری کمی را نشان داده‌اند (Girona et al., 2012). بنابراین، بهبود بهره‌وری آب در هلو و شلیل از طریق افزایش تراکم کشت، موکول به سازگاری ارقام درختان با فواصل کشت انتخابی و اعمال شیوه هرس و ساختاربندی مناسب درختان باغ است.

در مقایسه با سایر گروه‌های داده مبتنی بر مساحت باغ، باغ‌های با مساحت بیش از ۱۰ هکتار دارای پایین‌ترین مقدار نمایه RIS و بالاترین سطح از نمایه‌های بهره‌وری آب بودند. در این رابطه، نتایج مشابهی توسط Moreno-Pérez & Roldán-Cañas (2013) گزارش شده است. دلیل این امر را می‌توان به اهمیت مدیریت بهینه آب آبیاری در باغ‌های وسیع در مدیریت حجم عملیات بهره‌برداری و اقتصاد تولید نسبت داد. همان‌طور در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تفاوت در روش آبیاری منجر به اختلافی معنی‌دار در عملکرد محصول نشده است. در این رابطه، نتایج مشابهی نیز توسط Boland et al. (2006) گزارش شده است. نتایج مطالعه این پژوهشگران در ۲۰۰ قطعه باغ درختان میوه دانه‌دار/هسته‌دار در مناطق گولبرن و موری در کشور استرالیا نشان داد اختلاف معنی‌داری بین آب کاربردی فصلی در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای وجود داشت. همچنین، اثر روش آبیاری بر عملکرد محصول معنی‌دار نبود و دلیل این امر به کاربرد آب آبیاری در روش‌های مختلف آبیاری تا آستانه غیرحساس شدن عملکرد محصول به مقدار آب کاربردی نسبت داده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با متمرکز شدن نوبت‌های آبیاری در مرحله میانی رشد گیاه در باغ‌های مطالعاتی، عملکرد میوه عملا، فاقد حساسیتی مشهود نسبت به مقدار فصلی I شده است. به‌گونه‌ای که میانگین CYR در باغ‌های فاقد خسارت شدید برابر با ۰/۹۹ بوده است (جدول ۴). بنابراین، عملکرد میوه در باغ‌های مطالعاتی به سطح مورد انتظار میل کرده و تنش خشکی عامل محدود شدن عملکرد میوه نبوده است. بر اساس شکل ۳، کاربرد روش آبیاری قطره‌ای لزوما به افزایش عملکرد میوه نسبت به روش آبیاری سطحی نیانجامیده و حداکثر عملکرد میوه مشاهداتی در بین باغ‌های مورد مطالعه به باغ‌های با روش آبیاری سطحی تعلق داشت. دلیل این امر را می‌توان به توسعه‌یافتگی بیشتر ریشه درختان در خاک در روش آبیاری سطحی و لذا، کاهش حساسیت گیاه نسبت به تنش‌های ناشی از ضعف در مدیریت آبیاری و مواد مغذی خاک نسبت داد. همچنین، افزایش آب کاربردی فصلی لزوما، به بهبود عملکرد میوه منجر نشده است (شکل ۳). به‌گونه‌ای که در مورد روش آبیاری سطحی، باغ‌های A9 و A10 به‌ازای ۵۸ درصد از آب کاربردی فصلی در باغ A1 (۱۶۷۵ میلی‌متر) با تعداد نوبت‌های آبیاری مشابه به حداکثر سطح عملکرد میوه دست یافته‌اند (شکل ۳). همچنین، در مورد روش آبیاری قطره‌ای، باغ‌های C9 و C7 به‌ترتیب، به‌ازای ۳۸ و ۵۴ درصد از آب کاربردی فصلی در باغ C1 (۷۸۲ میلی‌متر) به حداکثر مقدار عملکرد میوه در این گروه از باغ‌ها دست یافتند (شکل ۳). این امر بیانگر اعمال آبیاری بی‌رویه در باغ‌های A1 و C1 است. حداکثر مقدار آب کاربردی در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای (۷۸۲ میلی‌متر در باغ C1، شکل ۳) در دامنه تغییرات آب کاربردی در باغ‌های با روش آبیاری سطحی قرار می‌گیرد. از این‌رو، کاربرد روش آبیاری قطره‌ای لزوما، به کاهش آب کاربردی نسبت به روش آبیاری سطحی نیانجامیده است. علی‌رغم عدم معنی‌داری اثر روش آبیاری بر عملکرد میوه، میانگین نمایه‌های بهره‌وری در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری بالاتر از دو روش آبیاری دیگر بود. این نتیجه بیانگر قابلیت روش آبیاری قطره‌ای در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی می‌باشد که در پژوهش‌های مشابه پیشین نیز مورد اشاره قرار گرفته است (Moreno-Pérez & Roldán-Cañas, 2013; Stambouli et al., 2012).

مقادیر نمایه WP_I در اکثر باغ‌های مطالعاتی (با دامنه تغییرات ۰/۱۱ تا ۶/۸۱) در دامنه تغییرات گزارش شده توسط جلینی و گنجی‌مقدم (۱۳۹۵) در استان خراسان رضوی (۶/۶۳ تا ۶/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و برخی پژوهش‌های صورت گرفته در خارج از کشور (۱/۹ تا ۴/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) (De la Rosa et al., 2016; Ghrab et al., 2017; Gunduz et al., 2011) قرار دارد. با این حال، میانگین نمایه WP_I در باغ‌های فاقد خسارت شدید (۲/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب، جدول ۴) از اختلاف قابل توجهی با مقدار حداکثری گزارش شده برای این نمایه در پژوهش‌های فوق و مقدار حداکثری مشاهده شده در باغ‌های مطالعاتی برخوردار است. در برخی دیگر از پژوهش‌ها نظیر

Rubio-Asensio et al. (2018)، سطوح به‌مراتب بالاتری از نمایه WP_{I+Pe} گزارش شده است (۶/۵۰ تا ۷/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب). در پژوهش فوق، مقادیر فصلی $I + P_e$ برای تیمار شاهد (۴۰۷ تا ۴۹۱ میلی‌متر) در دامنه مقادیر مشاهده شده در باغ‌های مطالعاتی با روش آبیاری قطره‌ای (۳۸۳ تا ۸۸۵ میلی‌متر، شکل ۳) قرار دارد. در پژوهش فوق، دامنه تغییرات عملکرد محصول بین ۳۸/۸ تا ۵۸/۰ کیلوگرم بر درخت گزارش شده است، در حالی که میانگین عملکرد میوه در باغ‌های مطالعاتی فاقد خسارت شدید برابر با ۲۸/۳۹ کیلوگرم بر درخت بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که دلیل اصلی پایین بودن نمایه WP_I در اکثر باغ‌های مورد مطالعه ناشی از سطح پایین عملکرد میوه است. به‌دلایل مختلفی از جمله خسارت سرمازدگی، خسارت آفات و بیماری‌ها، نارسایی در اثربخشی سموم و کودهای کاربردی و/یا سال‌آوری درختان باغ، ممکن است عملکرد میوه دستخوش نوسانات قابل توجه شده و به سطح قابل انتظار نرسد. به‌طور کلی، کنترل اثرات منفی این عوامل در عمل دشوار است. با این حال، اثرات این عوامل بر باغ‌های مطالعاتی فاقد خسارت شدید، چندان مشهود نبوده است. چراکه بر اساس میانگین نمایه CYR در باغ‌های فاقد خسارت شدید (۰/۹۹، جدول ۴) می‌توان گفت که عملکرد میوه در این باغ‌ها به سطح قابل انتظار آن نزدیک بوده است. بنابراین، عوامل محدود کننده عملکرد میوه در اکثر باغ‌های مطالعاتی از وضعیتی پایدار و فراگیر برخوردار بوده و سطح مهارت بهره‌برداران نیز تاثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه نداشته است (جدول ۴). یکی از عوامل محدود کننده عملکرد میوه هلو و شلیل در منطقه مطالعاتی می‌تواند با ارقام و کیفیت نهال‌های کشت شده (به‌لحاظ رشد پایه درخت و تمایل به شاخه‌زایی) باشد. همچنین، سنگین‌بافتی، آهکی بودن و ضعف در زهکشی داخلی خاک از عوامل مهم محدود کننده عملکرد میوه در درختان هلو و شلیل بوده (Loreti & Massai, 2005) و نمود این عوامل در دشت مغان رایج است. در این رابطه، نارسایی تغذیه‌ای گیاه یکی دیگر از عوامل محتمل در محدود شدن عملکرد میوه در مناطق مطالعاتی محسوب می‌شود. چراکه در هیچ‌یک از باغ‌های مطالعاتی، کاربرد کودها بر اساس انجام آزمون خاک صورت نمی‌گرفت. همچنین، بروز درجات مختلفی از بیماری پیچیدگی برگ درختان هلو و شلیل در هر دو منطقه بسیار شایع بوده و یکی از عوامل مهم در محدود شدن عملکرد میوه محسوب می‌شود. به‌علاوه، به‌ویژه در منطقه مشگین‌شهر، خسارت سرمازدگی یکی دیگر از عوامل محدود کننده عملکرد میوه به‌شمار می‌رود. گل‌ها و میوه‌های تازه تشکیل شده هلو و شلیل نسبت دوره‌های یخبندان با دمای پایین‌تر از ۲- تا ۳- درجه سانتی‌گراد بسیار حساس بوده و وقوع چنین دوره‌هایی می‌تواند آنها را به‌طور کامل از بین ببرد (Bassi & Monet, 2008). بر اساس شکل ۱-ب، دمای حداقل روزانه در منطقه مشگین‌شهر در روزهای ۶ فروردین و ۳ اردیبهشت ماه از مقادیر آستانه‌ای فوق کمتر شده است. بالطبع، این دوره به درجاتی متفاوت، فرآیند تشکیل میوه و در نتیجه عملکرد میوه در باغ‌های منطقه مشگین‌شهر را متأثر کرده است. از میان نمایه‌های ارزیابی مدیریت آبیاری مورد بررسی در این پژوهش (جدول ۴)، نمایه‌های بهره‌وری آب دارای بالاترین تغییرپذیری بودند که این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌های پیشین (Salvador et al., 2011) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، آب کاربردی و نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری هلو و شلیل در شهرستان‌های پارس‌آباد و مشگین‌شهر واقع در استان اردبیل از طریق پایش مدیریت بهره‌برداری در ۲۴ باغ منتخب در فصل زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی حاکی از اعمال آبیاری بی‌رویه در برخی باغ‌های مطالعاتی به‌ویژه در شرایط کشت مختلط گونه‌های مختلف درختان میوه بود. با این حال، اکثر باغ‌های مطالعاتی، درجات مختلفی از کم‌آبیاری را تجربه کردند و اعمال آبیاری بی‌رویه در منطقه مطالعاتی فراگیر نبود. محدودیت انعطاف‌پذیری شبکه آبیاری در پشتیبانی مناسب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، ضعف سامانه‌های آبیاری باغ‌ها به‌لحاظ سطح قابل حصول راندمان آبیاری، عدم به‌کارگیری شیوه‌های نوین برنامه‌ریزی آبیاری، کشت مختلط گونه‌های مختلف درختان میوه در باغ و سطح پایین عملکرد میوه از موانع اصلی ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در باغ‌های منطقه مطالعاتی است.

برآیند این عوامل موجب شد که به‌کارگیری روش آبیاری قطره‌ای لزوما، به کاهش آب کاربردی فصلی در مقایسه با روش آبیاری سطحی نیانجامد. هرچند به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای می‌تواند ابزاری مهم در پیاده‌سازی شیوه‌های نوین برنامه‌ریزی آبیاری در باغ‌ها باشد، اما بهره‌گیری عملی از قابلیت‌های این سامانه‌ها موکول به فراهم شدن سطحی قابل قبول از انعطاف‌پذیری توزیع آب در شبکه آبیاری است که خود یکی از عوامل محدود کننده اصلی در نیل به این هدف در مناطق مطالعاتی محسوب می‌شود. تقویت دانش فنی بهره‌برداران از طریق فعالیت‌های ترویجی و نیز پشتیبانی آن‌ها از طریق گونه‌های ساده و کارآمدی از فن‌آوری آبیاری هوشمند در ارتقای بهره‌وری آب و دستیابی به صرفه‌جویی واقعی آب کشاورزی حایز اهمیت است. نتایج نشان داد استفاده از روش آبیاری قطره‌ای لزوما، موجب افزایش عملکرد میوه نسبت به روش آبیاری سطحی نگردیده و مقادیر حداکثری عملکرد میوه در هر دو منطقه پارس‌آباد و

مشگین‌شهر به باغات با روش آبیاری سطحی تعلق داشت. با این حال، میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب در باغ‌های با روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری نسبت به روش‌های آبیاری سطحی و ترکیبی بالاتر بود. بنابراین، در شرایط فعلی مدیریت باغ‌های مطالعاتی، صرف به‌کارگیری آبیاری قطره‌ای نمی‌تواند مزیتی به‌لحاظ بهبود عملکرد میوه (نسبت به روش آبیاری سطحی) ایجاد کند. عواملی چون سنگین‌بافتی، ضعف در زهکشی داخلی و آهکی بودن خاک (در منطقه پارس‌آباد)، خسارت سرمازدگی (به‌ویژه در منطقه مشگین‌شهر) و خسارت آفات و بیماری‌ها (در هر دو منطقه) موجب محدود شدن پایدار عملکرد میوه هلو و شلیل در منطقه مطالعاتی گردیده است. بر اساس ماهیت این محدودیت‌ها، می‌توان گفت که منطقه مشگین‌شهر از شرایط مناسب‌تری برای تولید هلو و شلیل برخوردار است. در دسترس قرار گرفتن یک سامانه هشدار سرمازدگی کارآمد، آشنایی بهره‌برداران با روش‌های مدیریت سرمازدگی و استفاده از ارقام و گونه‌های درختان میوه مقاوم‌تر از اهمیت قابل توجهی در کاهش خسارات ناشی از سرمازدگی و بهبود نمایه‌های بهره‌وری آب در این منطقه برخوردار است. اعمال شیوه کم‌آبیاری تنظیم شده در دوره شکوفه‌دهی تا مرحله سوم رشد میوه و دوره پس از برداشت میوه می‌تواند موجب کاهش قابل توجه آب کاربردی و بهبود نمایه‌های بهره‌وری آب شود. با توجه به مقارن بودن دوره پس از برداشت میوه با شدت گرفتن محدودیت دسترسی به آب آبیاری و به حداکثر رسیدن نیاز آبی گیاهان استراتژیک الگوی کشت در مناطق مطالعاتی، به‌نظر می‌رسد که اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده در دوره پس از برداشت میوه عملی‌ترین و موثرترین راهکار برای صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب در باغ‌های منطقه مطالعاتی باشد. با این حال، اثربخشی اعمال این شیوه در باغ‌های با تنوع کشت مختلط کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد ارقام زودرس از بالاترین سطح عملکرد میوه و نمایه‌های بهره‌وری آب برخوردار بودند. با توجه به طولانی بودن دوره پس از برداشت میوه در ارقام زودرس (حدود ۱۳۶ روز)، اثربخشی اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده در دوره پس از برداشت میوه در این ارقام به حداکثر خواهد رسید. کشت این ارقام به‌ویژه در منطقه پارس‌آباد که اقلیم گرم‌تر آن، شرایط مساعدی را برای عرضه زودهنگام محصول در بازار فراهم کرده است، مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد. با این حال، وجود تقاضا برای محصول هلو و شلیل در سرتاسر تابستان، کشت ارقام میان‌رس و دیررس را نیز به‌لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر می‌نماید. نظر به تفاوت قابل توجه مقادیر ضرایب گیاهی پیشنهادی سازمان فائو برای درختان هلو و شلیل با مقادیر پیشنهادی این ضرایب در منابع علمی دیگر، توجه به جزئیات روش تعیین نیاز آبی گیاه و بارندگی موثر در تفسیر و مقایسه مقادیر نمایه‌های ارزیابی عملکرد آبیاری که مبتنی بر ET_c و I_n هستند، حایز اهمیت است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

احمدی، کریم؛ عبادزاده، حمیدرضا؛ حاتمی، فرشاد؛ محمدنیا افروزی، شهریار؛ اسفندیاری‌پور، الهام؛ عباس‌طاقانی، رضا؛ یاری، شهین و کلانتری، ملیحه‌السادات (۱۴۰۰). *آمارنامه کشاورزی سال ۹۹-۱۳۹۸*، جلد سوم: محصولات باغی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۵۷ ص.

اسلامی، امیر (۱۳۹۵). *ابزار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی*، نشریه فنی شماره ۴۴. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ ص.

پرچمی عراقی، فرزین؛ عباسی، فریبرز و اخوان، کرامت (۱۴۰۱). ارزیابی راندمان کاربرد و نمایه‌های بهره‌وری آب در سویا تابستانه (مطالعه موردی: پایین‌دست شبکه آبیاری و زهکشی مغان، استان اردبیل). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۶)، ۱۲۵۷-۱۲۴۳.

پرچمی عراقی، فرزین؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ وظیفه‌دوست، مجید و صادقی لاری، عدنان (۱۳۹۵). توسعه یک چارچوب ریزمقیاس‌سازی به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق مرجع زیرروزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه. *آب و خاک*، ۳۰(۲)، ۳۳۴-۳۵۴.

جلینی، محمد و گنجی مقدم، ابراهیم (۱۳۹۵). تأثیر روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و سطوح مختلف آب بر خصوصیات رویشی، عملکرد و کارآیی مصرف آب در ارقام هلو. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۰(۲): ۲۷۱-۲۶۲.

درگاهی، زهرا؛ نظری، بیژن؛ رمضانی اعتدالی، هادی و مازندرانی‌زاده، حامد (۱۳۹۷). ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری با مفاهیم بهره‌وری اقتصادی آب و راندمان آبیاری در استان قزوین. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۳(۳): ۶۹۵-۶۸۳.

عباسی، فریبرز؛ سهراب، فرحناز و عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی*، ۱۷(۶۷)، ۱۱۳-۱۲۰.

REFERENCES

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., Mohammadnia-Afrozi, S., Esfandiaripour, E., Abbas Taghani, R., Yari, S. and Kalantari, M.S. (2020). *Iran agricultural statistical yearbook (2019-2020), Volume III: Horticulture crops*. Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, Iran, 157 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.

Ayars, J.E., Johnson, R.S., Phene, C.J., Trout, T.J., Clark, D.A. and Mead, R.M. (2003). Water use by drip-irrigated late-season peaches. *Irrigation Science*, 22(3-4), 187-194.

Bassi, D. and Monet, R. (2008). Botany and Taxonomy. In: Layne, D.R. and Bassi, D. (Eds.), *The Peach Botany, Production and Uses*. CAB International, Cambridge, USA, pp. 1-36.

Boland, A.M., Bewsell, D. and Kaine, G. (2006). Adoption of sustainable irrigation management practices by stone and pome fruit growers in the Goulburn/Murray Valleys, Australia. *Irrigation Science*, 24(2), 137-145.

Bos, M.G. (1994). Basics of Groundwater Flow. In: Ritzema, H.P. (Ed.), *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, Wageningen, The Netherlands, pp. 225-261.

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.

Brouwer, C., Prins, K. and Heibloem, M. (1989). *Irrigation water management: irrigation scheduling*. Training manual No. 4, FAO, Rome, Italy.

Clemmens, A.J. and Burt, C.M. (1997). Accuracy of irrigation efficiency estimates. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 123(6), 443-453.

Conesa, M.R., Conejero, W., Vera, J., Agulló, V., García-Viguera, C. and Ruiz-Sánchez, M.C. (2021). Irrigation management practices in nectarine fruit quality at harvest and after cold storage. *Agricultural Water Management*, 243, 106519.

Dargahi, Z., Nazari, B., Ramezani Etedali, H. and Mazandranizadeh, H. (2018). Evaluation of modern irrigation systems based on economic water productivity and irrigation efficiency indices in Qazvin province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(3), 683-695. (in Persian)

De la Rosa, J.M., Conesa, M.R., Domingo, R., Aguayo, E., Falagán, N. and Pérez-Pastor, A. (2016). Combined effects of deficit irrigation and crop level on early nectarine trees. *Agricultural Water Management*, 170, 120-132.

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)

Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particles size analysis. . In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods, second ed., Monograph 9*. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 383–411.

Ghrab, M., Masmoudi, M.M. and Ben Mechlia, N. (2017). *Water productivity in fruit trees orchards under water scarcity*. In: Marsal, J. and Girona, J. (Eds.), VIII International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 25 January 2017, Lleida, Spain. Acta Horticulturae, pp. 317-322.

Girona, J., Fereres, E., Marsal, J., Goldhamer, D.A., Naor, A. and Soriano, M.A. (2012). Peach. In: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. and Raes, D. (Eds.), *Crop yield response to water*. FAO Irrigation and drainage paper 66, Rome, Italy, pp. 392-406.

Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J. and Marsal, J. (2005). Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agricultural Water Management*, 72(2), 97-108.

Girona, J., Marsal, J., Arbones, A. and Dejong, T.M. (2004). A comparison of the combined effect of water stress and crop load on fruit growth during different phenological stages in young peach trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(2), 308-315.

Girona, J., Mata, M., Arbonès, A., Alegre, S., Rufat, J. and Marsal, J. (2003). Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 432-440.

Girona, J., Mata, M., Fereres, E., Goldhamer, D.A. and Cohen, M. (2002). Evapotranspiration and soil water

dynamics of peach trees under water deficits. *Agricultural Water Management*, 54(2), 107-122.
Guizani, M., Dabbou, S., Maatallah, S., Montevecchi, G., Hajlaoui, H., Rezig, M., Helal, A.N. and Kilani-Jaziri, S. (2019). Physiological responses and fruit quality of four peach cultivars under sustained and cyclic deficit irrigation in center-west of Tunisia. *Agricultural Water Management*, 217, 81-97.
Gunduz, M., Korkmaz, N., Asik, S., Unal, H.B. and Avci, M. (2011). Effects of various irrigation regimes on soil water balance, yield, and fruit quality of drip-irrigated peach trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(7), 426-434.
Jolaini, M. and Gangimoghadam, E. (2016). Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation Methods and Different Water Levels on Vegetable Characteristics, Yield and Water Use Efficiency in Peach Cultivars. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(2), 262-271. (in Persian)
Keller, J. and Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. van Nostrand Reinhold, New York, USA, 652 pp.
Loreti, F. and Massai, R. (2005). *´Castore´ And ´Polluce´: two new hybrid rootstocks for peach and nectarine*. In: Infante, R. (Ed.), VI International Peach Symposium, 30 July 2006, Santiago, Chile. Acta Horticulturae, pp. 275-278.
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.
Malano, H.M. and Burton, M. (2001). Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. FAO, Rome, Italy, 44 pp.
Merriam, J.L. and Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*, 3rd edition. Utah State University, Logan, Utah, USA, 271 pp.
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.
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.
Nevada Irrigation District (NID). (2016). *Agricultural Water Management Plan, Prepared for Nevada Irrigation District*. Nevada Irrigation District, Grass Valley, CA, USA, 443 pp.
Parchami-Araghi, F., Abbasi, F. and Akhavan, K. (2022). Assessment of Soybean Applied Water and Water Productivity (a case study: Tail End Region of Moghan Irrigation and Drainage Network, Ardabil Province, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN*, 2423, 7833. (in Persian)
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). (in Persian)
Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc. , Madison, Wisconsin, USA, pp. 417-435.
Rubio-Asensio, J.S., Franch, V., López, F., Bonet, L., Buesa, I. and Intrigliolo, D.S. (2018). Towards a near-soilless culture for woody perennial crops in open field conditions. *Scientia horticulturae*, 240, 460-467.
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.
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.
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.
Tong, X., Wu, P., Liu, X., Zhang, L., Zhou, W. and Wang, Z. (2022). A global meta-analysis of fruit tree yield and water use efficiency under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 260, 107321.
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (1979). *Map of the world distribution of arid regions: explanatory note*. MAB Technical Notes 7, UNESCO, Paris, 1-42 pp.

USDA-NRCS. (1993). *Chapter 2: Irrigation water requirements*. Part 623: Irrigation. National Engineering Handbook, United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, DC., 284 pp.

Vera, J., Conejero, W., Conesa, M.R. and Ruiz-Sánchez, M.C. (2019). Irrigation factor approach based on soil water content: A nectarine orchard case study. *Water*, 11(3), 589.

Wang, D. (2011). Deficit irrigation of peach trees to reduce water consumption. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 145, 497-505.

Wang, D., Zhang, H. and Gartung, J. (2020). Long-term productivity of early season peach trees under different irrigation methods and postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 230, 105940.

Wang, S., Wang, W., Lei, X., Wang, S., Li, X. and Norton, T. (2022). Canopy Segmentation Method for Determining the Spray Deposition Rate in Orchards. *Agronomy*, 12(5), 1195.

Yang, K. and Koike, T. (2005). A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies. *Water Resources Research*, 41, W10403.

Seasonal Irrigation Performance Assessment in Peaches and Nectarines Orchards (a Case Study: Ardabil Province, Iran)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Economical fruit trees have become an important cash source of many rural household incomes. However, in arid and semi-arid regions, serious water resource challenges due to changing climate and the rapid expansion of the population are the biggest challenge to the viability and sustainability of the horticulture sector. Improving irrigation water management in orchards in the Ardabil Province of Iran is an increasingly important issue, especially given the low water allocations and concerns about drought events in recent years. In this regard, irrigation performance assessments under actual operation conditions are required as a first step toward improving agricultural water management. Hence, the objective of this work was to assess the seasonal irrigation performance of peaches and nectarines (*Prunus Persica* L.) under actual operation conditions by monitoring 24 orchards in Ardabil Province, Iran, during the growing season 2018-2019. This study was carried out in Parsabad and Meshginshahr counties, as the main peach- and nectarine-producing regions of the province.

Methods

The study orchards were selected in such a way as to cover, as much as possible, the range of peach and nectarine orchards' properties in terms of physical-chemical properties of soil and irrigation water, orchard surface area, irrigation method, tree spacing, tree cultivar/age, orchardist's education and skill (advanced/ordinary) level. During the field studies, soil texture and salinity, irrigation water salinity, irrigation schedule, tree growth stages, and fruit yield were determined. The applied irrigation water depth (I) for each of the irrigation events was estimated by measuring the flow rate delivered to the orchard, the irrigation duration, and the actual cultivated orchard area. Crop water requirement, ET_c, was determined by the FAO Penman-Monteith model, using weather data obtained from the nearby synoptic sites, including Parsabad (lat. $39^0$36’ N, long. $47^0$46’E) and Meshginshahr (lat. $38^0$22’ N, long. $47^0$40’E). Effective precipitation, P_e, was estimated, using the USDA-SCS method. The seasonal irrigation performance was evaluated, using the following six performance indicators: relative rainfall supply ($RRS = P_e / ET_c$), relative irrigation supply ($RIS = I / [ET_c - P_e]$), crop yield ratio (CYR, the ratio of actual to intend fruit yield), applied water productivity (WP_I), water productivity (WP_{I+Pe}), and economic water productivity ($WP_\$$). The intended fruit yield for each of the study orchards was considered as the third quarter of the fruit yield during the last five years.

Results and Discussion

The seasonal estimates of the net irrigation requirement ($I_n = ET_c - P_e$) during the growing season 2018-2019 and its 10-year average ranged from 567-721 mm and 544-697 mm, respectively, over the study orchards. The seasonal $I + P_e$ and the fruit yield ranged from 280-1675 mm and 1.00-32.43 ton ha^{-1} (with a weighted average, WA, of 582 mm and 14.61 ton ha^{-1}), respectively. RRS and RIS ranged from 0.08-0.15 and 0.96-2.35, with WA of 0.09 and 1.25, respectively. CYR ranged between 0.17-1.25 (with a WA of 0.95). The mean RIS over initial, development, mid-, and late-season growth stages were 1.09, 1.80, 1.61, and 0.05, respectively. These results indicate that the study orchards experienced varying degrees of over-/under-irrigation. The mean RIS for the drip irrigation method (1.25) was significantly ($P < 0.05$) lower than the surface irrigation method (1.66). WP_I and WP_{I+Pe} ranged from 0.11-6.81 and 0.11-5.04 kg m^{-3}, with a WA of 2.77 and 2.44 kg m^{-3}, respectively. $WP_\$$ range from -42.60×10^3 to 246.27×10^3 Rial m^{-3} with a WA of 56.41×10^3 Rial m^{-3}. WP_I, WP_{I+Pe}, and $WP_\$$ indicators were significantly ($P < 0.05$) affected by the orchardist's skill level, interplantion of trees, tree spacing, irrigation method, and disease/frost (DF) damage. Post-harvest period accounted for a mean proportion of 75, 25, and 15% of the seasonal applied water in orchards with early-season, late-season, and mixed early- and late-season cultivars, respectively. Compared to surface irrigation, drip irrigation did not necessarily lead to an increase in fruit yield, but the use of drip irrigation resulted in a significant improvement in water productivity indicators. DF damage accounted for an 87 and 85% reduction in fruit yield and WP_{I+Pe}, respectively, compared to the orchards without severe DF damage.

Conclusion

Under the current technological and economic constraints, most of the study orchards experienced a rational (but yet with low productivity) irrigation water management. Improving irrigation efficiency and fruit yield, controlling disease/frost damage, and Implementing regulated deficit irrigation during pre- and post-harvest stages are the most effective approaches to improve water productivity indicators in the study area.

Keywords: Drip Irrigation, FAO Penman-Monteith, Frost Damage, Leaf Curl Damage, Surface Irrigation.