ارزیابی مقدار آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا در دشت مغان

فرزین پرچمی عراقی[۱]، فریبرز عباسی و کرامت اخوان

استادیار، 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.

f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir

استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

fariborzabbasi@ymail.com

استادیار، 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.

akhavang12@gmail.com

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در پژوهش حاضر، با انجام اندازه‌گیری‌های صحرایی در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، آب کاربردی فصلی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب سویا در ۳۷ مزرعه با مدیریت زارعین (با سامانه آبیاری شیاری/نواری) در دشت مغان، استان اردبیل ارزیابی شد. در فصل زراعی این پژوهش، میانگین نیاز آبی خالص سویا در مزارع مزبور ۵۴۲ میلی‌متر (بین ۴۳۱ تا ۶۹۱ میلی‌متر) و میانگین ۱۰ ساله آن ۵۴۳ میلی‌متر (۴۴۲ تا ۶۷۱ میلی‌متر) بود. میانگین کل آب کاربردی (مجموع بارش موثر فصلی و آب آبیاری) در مزارع مزبور ۶۵۵۴ مترمکعب در هکتار (۵۰۰۵ تا ۱۰۰۰۹ مترمکعب در هکتار) و میانگین عملکرد دانه سویا ۲/۹۰ تن در هکتار (۲/۰۵ تا ۴/۱۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. میانگین کل آب کاربردی در کشت بهاره سویا (۷۹۰۶ مترمکعب در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) بیشتر از مقدار نظیر آن برای کشت تابستانه (۶۳۹۰ مترمکعب در هکتار) بود. نمایه‌های بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}) و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ($WP_{\$}$) در مزارع مطالعاتی به‌ترتیب، با میانگین ۰/۲۴ کیلوگرم در مترمکعب و ۳۳/۱۹ هزار ریال در مترمکعب، بین ۰/۱۸ تا ۰/۳۰ کیلوگرم در مترمکعب و ۱۵/۲۱ تا ۶۲/۴۰ هزار ریال در مترمکعب متغیر بود. عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰٪ مزارع) فراتر از حداقل عملکرد قابل انتظار دانه سویا در کشت آبی (۲/۵ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد با اعمال پنج و سه نوبت آبیاری به‌ترتیب، برای سویای بهاره و تابستانه، سطح مطلوبی از عملکرد و نمایه‌های بهره‌وری آب دست یافتنی است. میانگین نمایه راندمان کاربرد آب طی مراحل رشد سویا در مزارع مزبور در دامنه ۵۰٪ تا ۸۲٪ قرار داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بهره‌وری اقتصادی آب، نیاز آبی خالص ، پنمن–مانتیث فائو

---

[۱] - آدرس نویسنده مسئول: 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.

مقدمه

گیاه سویا (*Glycine max* [L.] Merrill) با سطح زیر کشتی در حدود ۱۲۸/۹۳ میلیون هکتار و تولید سالانه ۳۴۹/۴۰ میلیون تن دانه سویا در سطح جهان، از مهم‌ترین منابع تولید روغن و پروتئین محسوب می‌شود (فائو، ۲۰۲۰). در کشور ما، سطح زیر کشت سویا در حدود ۲۹/۳ هزار هکتار (شامل ۲۴/۵ و ۴/۸ هزار هکتار به‌ترتیب، برای کشت آبی و دیم) و میزان تولید دانه سویا در حدود ۶۸/۲ هزار تن (با عملکرد ۲/۵۱ و ۱/۳۸ تن بر هکتار به‌ترتیب، در کشت آبی و دیم) گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). حدود ۹۴ درصد از کل سطح زیر کشت آبی سویای کشور در استان‌های گلستان و اردبیل (به‌ترتیب، با سهم ۵۳ و ۴۱ درصدی از کل سطح زیر کشت سویا و سهم ۵۲ و ۳۹ درصدی از کل تولید سویا در کشور) تمرکز یافته است. بر اساس آمار سازمان فائو در سال ۲۰۱۹، میانگین عملکرد سویا در کشور بالاتر از میانگین جهانی آن (۱/۷۵ تن بر هکتار) بوده است (فائواستت، ۲۰۲۱). بسته به ویژگی‌های اقلیمی و طول دوره رشد، نیاز آبی فصلی سویا برای دستیابی به حداکثر سطح عملکرد محصول بین ۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است (فائو، ۲۰۲۰). سویا در بسیاری از نقاط جهان به‌صورت دیم کشت می‌شود. به‌منظور کاهش نوسانات محصول تولیدی و تضمین سطوح اقتصادی تولید محصول، کشت آبی سویا و یا انجام آبیاری تکمیلی به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش بوده و آبیاری جویچه‌ای رایج‌ترین شیوه آبیاری گیاه سویا محسوب می‌شود (فائو، ۲۰۲۰). عملکرد محصول سویا، بسته به آب قابل دسترس در طول فصل رشد گیاه، فاصله ردیف‌های کشت، مدیریت کاربرد کود و مدیریت آفات و بیماری‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی متغیر باشد (سینگ، ۲۰۱۰). در شرایط دیم، عملکرد سویا بین ۱/۵ تا ۲/۰ تن دانه بر هکتار به‌عنوان عملکرد رضایت‌بخش محسوب می‌شود و در کشت آبی سویا، عملکرد محصول بین ۲/۵ تا ۳/۵ تن دانه بر هکتار قابل انتظار است (فائو، ۲۰۲۰). بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش موثر در تولید دانه سویا در حدود ۰/۴ تا ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب است (فائو، ۲۰۲۰).

تاکنون، آب کاربردی فصلی و بهره‌وری آب سویا در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این رابطه، طی یک مطالعه یک‌ساله در منطقه رشت، امینی‌فر و همکاران (۱۳۹۰)، میانگین آب کاربردی برای هفت رقم سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل آبیاری در مکش ماتریک ۳۵-۳۰، ۵۵-۵۰ و ۷۵-۷۰ سانتی‌بار را به‌ترتیب، در حدود ۲۴۶، ۱۸۹ و ۱۶۱ میلی‌متر گزارش کردند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین نمایه‌های بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) به‌ترتیب، ۰/۵۶، ۰/۶۲ و ۰/۷۱ کیلوگرم دانه سویا بر مترمکعب و میانگین بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}) به‌ترتیب، ۰/۲۷، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ کیلوگرم دانه سویا بر مترمکعب گزارش شد. نتایج نشان داد که کاهش آب آبیاری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد دانه و افزایش نمایه WP_I شد. همچنین، طی پژوهشی دوساله در منطقه کرج، بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) میزان آب کاربردی فصلی در رژیم‌های مختلف آبیاری، شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و آبیاری جزئی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک را به‌ترتیب، ۸۵۷، ۶۴۲، ۴۲۶ و ۲۱۱ میلی‌متر گزارش کردند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۹۸، ۳/۷۸، ۳/۳۴ و ۳/۲۱ و میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۰/۴۷، ۰/۵۹، ۰/۷۹ و ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) طی مطالعه‌ای دوساله در دشت مغان، استان اردبیل، اثر رژیم‌های مختلف برنامه‌ریزی آبیاری (شامل آبیاری کامل و ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل) بر عملکرد سه رقم سویا (شامل ویلیامز، M9 و زان) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در تمامی سطوح مورد بررسی موجب کاهش عملکرد و اجزای آن، درصد روغن دانه و بهره‌وری آب آبیاری در تمامی ارقام مطالعاتی شد. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین آب

کاربردی به‌ترتیب، ۴۰۷، ۳۲۵، ۲۸۵ و ۲۰۳ میلی‌متر و میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۴۳، ۱/۹۲، ۱/۰۴ و ۰/۶۵ تن بر هکتار و میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۰/۸۴، ۰/۵۹، ۰/۳۷ و ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. طی پژوهشی یک‌ساله در منطقه ارومیه، وحدی و همکاران (۱۳۹۸) اثر سطوح مختلف رژیم آبیاری، شامل آبیاری بر اساس ۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A را بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا (شامل کلارک، ویلیامز و آنیون) مورد بررسی قرار دادند. در مقایسه با شرایط آبیاری کامل (با مجموع هشت نوبت آبیاری اعمال شده در طول فصل و عملکرد ۳/۶۴ تن دانه سویا بر هکتار)، تنش آبی ناشی از اعمال تیمارهای آبیاری دوم و سوم به‌ترتیب، موجب کاهش ۴۴ و ۶۳ درصدی عملکرد دانه سویا شد.

طی مطالعه‌ای یک‌ساله در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جورجیا، امریکا، گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری (شامل تیمارهای آبیاری کامل، آغاز آبیاری از مرحله گلدهی و کشت دیم با آبیاری تکمیلی) بر رشد و عملکرد محصول چهار ژنوتیپ مختلف سویا را مورد بررسی قرار دادند. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی میانگین مجموع آب کاربردی و بارندگی به‌ترتیب، ۴۳۴، ۴۱۹ و ۳۴۲ میلی‌متر، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۲۳، ۳/۰۷ و ۲/۲۹ تن بر هکتار، میانگین نمایه WP_I به‌ترتیب، ۳/۰۲، ۳/۳۷ و ۱۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین نمایه WP_{I+Pe} به‌ترتیب، ۰/۷۵، ۰/۷۳ و ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری به‌لحاظ زیست توده تولیدی، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و حداکثر شاخص سطح برگ بود. نتایج این پژوهش، بیانگر اهمیت انتخاب رقم مناسب گیاه در بهبود بهره‌وری آب آبیاری بود.

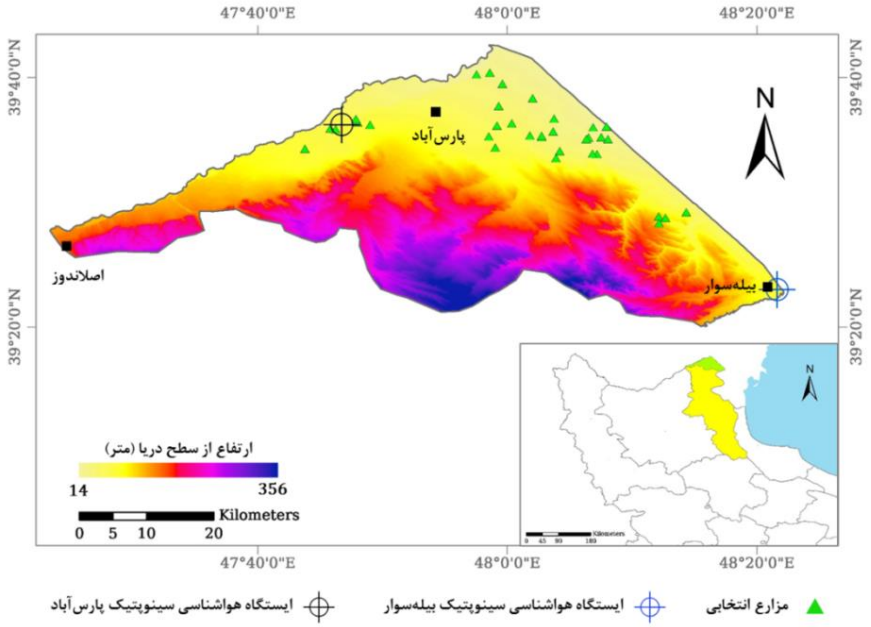
در یک مطالعه سه‌ساله در پنجاب، هندوستان، آرورا و همکاران (۲۰۱۱) اثرات مستقل و ترکیبی رژیم‌های آبیاری (آبیاری کامل و جزئی)، خاک‌ورزی (خاک‌ورزی رایج و خاک‌ورزی عمیق) و مالچ‌پاشی بقایای گیاهی (بدون مالچ و استفاده از مالچ) بر عملکرد محصول سویا و بهره‌وری آب آبیاری را در کلاس‌های بافت خاک لوم شنی و شن لومی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد عملکرد دانه سویا در خاک لوم شنی بیشتر از شن لومی بود که دلیل این امر به ظرفیت نگهداشت رطوبتی بالاتر در خاک لوم شنی نسبت داده شد. به‌گونه‌ای که این امر سبب شد که اثر تیمار آبیاری و خاک‌ورزی بر محصول تولیدی در خاک شن لومی (تفاوت ۴۰ درصدی دو تیمار آبیاری و تفاوت ۱۴ درصدی دو تیمار خاک‌ورزی) در مقایسه با خاک لوم شنی (تفاوت ۵ درصدی دو تیمار آبیاری و تفاوت ۵ درصدی دو تیمار خاک‌ورزی) مشهودتر باشد. در تیمارهای آبیاری مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۱/۹۶ و ۱/۶۶ تن بر هکتار و میانگین نمایه بهره‌وری مجموع آب کابردی و بارندگی به‌ترتیب، ۰/۲۷ و ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در یک مطالعه سه ساله در منطقه وژودینا، صربستان، گاژیچ و همکاران (۲۰۱۸)، اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بارانی (شامل آبیاری کامل، ۶۵ و ۴۰ درصد آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل و کشت دیم) بر عملکرد محصول سویا را مورد بررسی قرار دادند. در تیمارهای مطالعاتی، میانگین عملکرد دانه سویا به‌ترتیب، ۳/۳۲، ۳/۶۹، ۲/۹۷ و ۲/۵۹ تن بر هکتار و نمایه WP_{I+Pe} به‌ترتیب، ۰/۸۴، ۰/۸۳، ۰/۹۲ و ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. به‌طور کلی، پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه برآورد آب کاربردی سویا در شرایط واقعی بهره‌برداری مزارع بسیار محدود است. در این رابطه، طی مطالعه‌ای در دره رودخانه میسیسیپی امریکا، مسی و همکاران (۲۰۱۷) میانگین آب کاربردی فصلی در ۵۱۲ مزرعه کشت سویا طی یک دوره ۱۲ ساله (سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳) را ۱۹۰±۲۸۰ میلی‌متر (بین ۳۰/۵ تا ۱۴۷۱/۶ میلی‌متر) گزارش کردند. میانگین آب کاربردی فصلی در شیوه آبیاری جویچه‌ای، غرقابی (نواری و کنتوری) و بارانی سنترپیوت به‌ترتیب، برابر با ۲۰۴/۰±۳۳۱/۶، ۱۵۵/۲±۲۲۲/۹ و ۹۱/۳±۱۶۳/۶ میلی‌متر و با دامنه تغییراتی به‌ترتیب، بین

۳۰/۹ تا ۱۴۷۱/۶، ۳۰/۵ تا ۱۴۶۵/۱ و ۶۰/۹ تا ۵۱۷/۹ میلی‌متر گزارش گردید.

با توجه به محدودیت روزافزون دسترسی به منابع آب کشاورزی و لزوم حفظ و افزایش سطح تولید، بهبود بهره‌وری آب کشاورزی به ضروتی غیرقابل اجتناب تبدیل شده است (برت، ۲۰۱۳). پیش‌نیاز نیل به این هدف، در دست داشتن برآوردهایی معتبر از آب کاربردی و بهره‌وری آب در تولید محصولات زارعی و باغی مختلف در قطب‌های اصلی تولید آن‌ها در شرایط واقعی مدیریت آبیاری و بهره‌برداری اعمال شده در مزارع است. از آنجا که کشت سویا در اغلب مناطق کشور به‌صورت تابستانه انجام می‌شود، اعمال آبیاری به‌منظور دستیابی به سطحی اقتصادی از تولید محصول ضروری است. با این وجود، محدودیت دسترسی کشاورزان به آب آبیاری در کشت‌های تابستانه در ترکیب با سایر محدودیت‌های فراروی کشت سویا در شرایط واقعی مزارع (به‌ویژه کشت دیرهنگام سویا و خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) مانع از دستیابی به سطوح بالاتر عملکرد سویا در واحد سطح می‌گردد. با توجه به تغییرات زمانی و مکانی این محدودیت‌ها، پایش و ارزیابی مدیریت آبیاری، کمی‌سازی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در کشت گیاهان عمده زراعی و باغی هر منطقه در شرایط واقعی مزارع، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه منابع آب و بهبود بهره‌وری آب کشاورزی است. این در حالی است که اکثر برآوردهای گزارش شده در این رابطه، بر اساس مطالعات صورت گرفته در کرت‌های آزمایشی و بدون توجه به اثر محدودیت‌های فراروی تولید در شرایط واقعی بوده است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، برآورد آب کاربردی فصلی و ارزیابی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در کشت سویا از طریق اندازه‌گیری مستقیم و میدانی حجم آب آبیاری کاربردی در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری مزارع در دشت مغان (استان اردبیل) بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش طی فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزارع سویای منتخب دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی سویا در استان اردبیل متمرکز گردید (شکل ۱). مزارع مطالعاتی (در مجموع، ۳۷ مزرعه) از طریق مشاوره با مراکز خدمات و مدیریت جهاد کشاورزی به‌گونه‌ای انتخاب شد که حتی‌الامکان، دامنه تغییرات ویژگی‌های مزارع سویا در سطح منطقه مطالعاتی به‌لحاظ ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و آب آبیاری، وضعیت زهکشی داخلی خاک، تاریخ کشت، آرایش کشت، شیوه آبیاری، رقم سویا و سطح مهارت بهره‌برداران (پیشرو/ معمولی) را پوشش دهند (جدول ۱). آب مورد نیاز تمامی مزارع مطالعاتی از رود ارس و از طریق شبکه آبیاری و زهکشی مغان تامین می‌شد. در دشت مغان، کشت بهاره و تابستانه سویا به‌ترتیب، در بازه‌های از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد و بعد از ۱۰ خرداد صورت می‌گیرد (تقی‌نژاد، ۱۳۹۴). بخش عمده مزارع مطالعاتی کشت سویا به صورت تابستانه و در تناوب با گندم صورت گرفت. آرایش کشت سویا در اغلب مزارع با شیوه خشکه‌کاری به‌صورت تک‌ردیفه (فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر) و مابقی به‌صورت دوردیفه فواصل ردیف ۷۵ × ۲۵ × ۷۵ سانتی‌متر بود. آرایش کشت سویا در مزارع با شیوه هیرم‌کاری به‌صورت تک‌ردیفه (فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر) یا کشت با ردیف‌کار (فواصل ردیف ۲۵ سانتی‌متر) بود. ازت و کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ از رایج‌ترین کودهای مورد استفاده در مزارع مطالعاتی بود.



شکل ۱- پراکنش جغرافیایی مزارع مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مجاور آن‌ها در سطح دشت مغان

جدول ۱- فراوانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی در مزارع مطالعاتی

ویژگی	شرح	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)
سطح تحصیلات بهره‌برداران	دیپلم و پایین‌تر	۲۴	۶۵
	بالای دیپلم	۱۳	۳۵
سطح مهارت بهره‌برداران	معمولی	۳۰	۸۱
	پیشرو	۷	۱۹
تناوب زراعی	گندم–سویا	۲۶	۷۰
	کلزا–سویا	۴	۱۱
	سیر–سویا	۳	۸
	آیش–سویا	۴	۱۱
آرایش کشت	تک‌ردیفه	۲۹	۱۴
	دوردیفه	۳	۸
	کشت با ردیف‌کار	۵	۷۸
رقم سویا کشت شده	آرین	۱۶	۴۳
	کتول	۹	۲۴
	L17	۶	۱۶
	ویلیامز	۳	۸
	سایر ارقام	۳	۸
فصل کشت سویا	بهاره	۴	۱۱
	تابستانه	۳۳	۸۹
شیوه کشت بذر سویا	خشکه‌کاری	۲۹	۷۸
	هیرم‌کاری	۸	۲۲
کاربرد محصول سویا	بذر	۹	۲۴
	دانه خوراکی	۲۸	۷۶

طی مطالعات مزرعه‌ای، ویژگی‌هایی از جمله مراحل مختلف رشد گیاه، بافت و شوری خاک، شوری آب آبیاری تحویلی، عمق آب کاربردی در هریک از رویدادهای آبیاری و عملکرد محصول در واحد سطح تعیین شد. تمامی مزارع مطالعاتی به‌شیوه جویچه‌ای یا نواری آبیاری می‌شدند. طی هریک از رویدادهای آبیاری، شدت جریان تحویلی به مزارع با استفاده از فلوم و مطابق با رهنمودهای اسلامی (۱۳۹۵) اندازه‌گیری شد. متعاقبا، مقادیر عمق آبیاری با در دست داشتن سطح زیر کشت مزرعه، شدت جریان تحویلی و مدت زمان تحویل جریان آب به مزرعه برآورد گردید. بسته به شرایط مزرعه، تیپ فلوم‌های ۴ و ۵ مورد استفاده قرار گرفت که رابطه دبی–اشل تیپ‌های فوق به‌ترتیب، مطابق با روابط (۱) و (۲) است (اسلامی، ۱۳۹۵):

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

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

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

نمایه‌های بهره‌وری آب آبیاری (WP_I، کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش موثر (WP_{I+Pe}، کیلوگرم بر مترمکعب)، بهره‌وری اقتصادی آب ($WP_\$$، هزارریال بر مترمکعب) و راندمان کاربرد آب (AE، درصد) به‌شرح زیر محاسبه شد (مولدن و همکاران، ۲۰۰۳):

$$WP_I = k\,Y/I \quad (۳)$$

$$WP_{I+P_e} = k\,Y/(I+P_e) \quad (۴)$$

$$WP_\$ = k\,q_n/I \quad (۵)$$

$$AE = 100\,I_n/I \quad (۶)$$

که در آن: Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، I آب آبیاری کاربردی (میلی‌متر)، P_e بارش موثـر (میلی‌متر)، q_n سود اقتصادی خالص حاصل از کشت سویا، I_n نیاز آبی خالص سویا (میلی‌متر) و k = ۰/۱ ضریب تبدیل واحد است.

در این پژوهش، داده‌های مربوط به مجموع هزینه‌ها (هزینه‌های عملیات کاشت، داشت، برداشت، هزینه زمین و سایر هزینه‌های تولید) و درآمد حاصل از تولید سویا در هریک از مزارع مطالعاتی جمع‌آوری شد. متعاقبا، سود اقتصادی خالص از کشت سویا در هر مزرعه از تفاضل مجموع هزینه‌ها از درآمد حاصل از تولید سویا تعیین گردید. همچنین، به‌منظور بررسی تغییرات نمایه AE طی مراحل مختلف رشد گیاه، مقدار این نمایه به‌ازای مقادیر فصلی I و I_n و نیز به‌ازای مقادیر آن‌ها طی چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی (مقارن با مراحل ابتدایی، توسعه‌ای، میانی و انتهایی رشد گیاه) به‌طور جداگانه محاسبه گردید. نیاز آبی خالص سویا در هریک 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 اندازه‌گیری شده متغیرهای هواشناسی در هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی با استفاده از معیارهای پیشنهادی توسط الن و همکاران (الن و همکاران، ۱۹۹۸) 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 (تودورویچ و همکاران، ۲۰۱۳) تصحیح گردید. مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی در سطح زمین از طریق مدل عددی یانگ و کویکه (۲۰۰۵) برآورد شد. تبخیر–تعرق روزانه سویا (ET_c، میلی‌متر بر روز) در هریک از مزارع مطالعاتی به‌عنوان تابعی از تقویم فنولوژیکی مشاهداتی سویا در هر مزرعه و با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، ۴۶′ ۴۷° و ۳۶′ ۳۹° و ارتفاع ۷۲/۶ متر از سطح دریا) و بیله‌سوار (با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب، ۱۹′ ۴۸° و ۲۲′ ۳۹° و ارتفاع ۱۰۱/۴ متر از سطح دریا) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_c = K_c\,ET_o \quad (۷)$$

که در آن: K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_o تبخیر تعرق روزانه چمن مرجع (میلی‌متر بر روز) می‌باشد.

تبخیر–تعرق روزانه چمن مرجع از طریق مدل فائو پنمن–مانتیث (الن و همکاران، ۱۹۹۸) محاسبه شد. میزان تبخیر–تعرق سویا با استفاده از تبخیر–تعرق چمن مرجع محاسباتی و ضرایب گیاهی منفرد برای گیاه سویا (به‌ترتیب، ۰/۵۰، ۱/۱۵ و ۰/۵۰ برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد گیاه) برآورد گردید (الن و همکاران، ۱۹۹۸). بارندگی موثر در هر رویداد بارندگی از طریق روش USDA-SCS (بوس و همکاران، ۲۰۰۸) برآورد شد. متعاقبا، مقادیر فصلی بارندگی، بارش موثر، تبخیر–تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص سویا محاسبه شده بر اساس مراحل مشاهداتی رشد گیاه در هریک 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 داده‌های هواشناسی درازمدت) برآورد

گردید. بدین‌ترتیب، هریک از مزارع مطالعاتی دارای مقادیری منحصربه‌فرد 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 (یواس‌دی‌ای-انآرسی‌اس، ۱۹۹۳). طی فصل رشد سویا در سال زراعی مطالعاتی، میانگین دمای متوسط هوای روزانه در مناطق پارس‌آباد و بیله‌سوار به‌ترتیب، برابر با ۲۰/۲ و ۲۱/۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر-تعرق مرجع روزانه به‌ترتیب، برابر با ۴/۱ و ۵/۱ میلی‌متر بر روز بود. همچنین، میزان کل بارندگی محقق شده طی دوره مطالعاتی در مناطق پارس‌آباد و بیله‌سوار به‌ترتیب، برابر با ۱۱۲ و ۱۱۱ میلی‌متر بود.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی به‌همراه مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا در مزارع مطالعاتی در جدول ۲ ارائه گردیده است. مقایسه مقادیر شوری عصاره اشباع خاک سطحی در مزارع مطالعاتی (جدول ۲) با معیارهای توصیه شده در این رابطه (یواس‌اس‌ال‌اس، ۱۹۵۴)، حاکی از آن است که خاک سطحی مزارع مطالعاتی در کلاس‌های "بدون مشکل شوری" تا "اندکی شور" قرار می‌گیرند. با توجه به آستانه شوری عصاره اشباع خاک برای کاهش عملکرد محصول سویا (پنج دسی‌زیمنس بر متر) (فائو، ۲۰۲۰)، می‌توان گفت که شوری خاک عامل محدود کننده عملکرد محصول سویا در منطقه مطالعاتی محسوب نمی‌شود. دامنه تغییرات قابل توجه شوری آب آبیاری در مزارع مطالعاتی (جدول ۲) ناشی از بازچرخانی زه‌آب خروجی از مزارع بالادستی در شبکه آبیاری مغان و استفاده مجدد از آن در آبیاری مزارع پایین‌دستی است. بر اساس نموگرام ویلکاکس (۱۹۵۵)، آب تحویلی به تمامی مزارع مطالعاتی در کلاس C3 (شوری بالا) قرار دارد. مطابق با جدول ۲ و بر اساس آماره ضریب تغییرات، در مقایسه با سایر ویژگی‌های مدیریتی مزارع مطالعاتی، فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول و تعداد دفعات کوددهی از بالاترین تغییرپذیری برخوردار بوده‌اند. بررسی‌ها حاکی از آن بود که این تغییرپذیری بالا در وهله نخست نه به‌دلیل عدم آگاهی کشاورزان از بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت سویا، بلکه به‌دلیل محدودیت‌های تحمیلی به کشاورز به‌ویژه به‌لحاظ سرمایه در گردش و دسترسی به آب و ادوات مکانیزاسیون و نیز دیگر ویژگی‌های مزرعه (به‌ویژه مساحت مزرعه و نوع گیاه در کشت قبلی) است. بر اساس جدول ۲، در میان مولفه‌های اقتصادی مورد بررسی، هزینه کاشت زمین در مزارع مطالعاتی از بالاترین تغییرپذیری برخوردار بوده است. دلیل این امر ناشی از تفاوت نحوه آماده‌سازی زمین و شیوه کشت و نیز تفاوت در هزینه‌های مربوط به به‌کارگیری ادوات مکانیزاسیون در مناطق مختلف است.

آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف مقادیر فصلی بارندگی، بارش موثر، تبخیر-تعرق چمن مرجع، نیاز آبی و نیاز آبی خالص سویا محاسبه شده بر اساس مراحل مشاهداتی رشد گیاه در هریک از مزارع مورد مطالعه به‌تفکیک کشت‌های بهاره و تابستانه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس مقادیر آماره ضریب تغییرات در جدول ۳، تمامی برآوردهای فوق (به‌جز برآوردهای P و P_e در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد) در بین مزارع مطالعاتی از تغییرپذیری اندکی برخوردار بوده‌اند (تغییرپذیری هفت تا ۱۶ درصد). این تغییرپذیری ناشی از متفاوت بودن تقویم فنولوژیکی سویا در بین مزارع مطالعاتی است. این امر از شکل ۲ و شکل ۳ که به‌ترتیب، مقادیر نیاز آبی خالص برای مراحل مختلف رشد گیاه و سراسر فصل رشد به‌تفکیک مزارع مطالعاتی در آن‌ها نشان داده شده است نیز قابل استنباط می‌باشد. بر اساس شکل ۲، الگوی توزیع نیاز آبی خالص طی مراحل مختلف رشد سویا در مزارع مطالعاتی متفاوت است. این امر بیانگر اثر عوامل مختلف (نظیر تاریخ کشت، رقم، مدیریت آبیاری و شیوه‌های مدیریت زراعی اعمال شده در مزرعه) بر تغییرات نیاز آبی خالص طی مراحل مختلف رشد گیاه در مزارع مطالعاتی است. میانگین برآوردهای نیاز آبی خالص اشتقاقی بر اساس تحلیل

فراوانی تجربی داده‌های درازمدت هواشناسی به‌ازای سطح احتمال وقوع خشکی اقلیمی ۷۵ درصد در کشت‌های بهاره و تابستانه بیشتر (۱۱ تا ۱۴ درصد) از مقادیر نظیر محاسباتی بر اساس میانگین ۱۰ سال اخیر و نیز برآوردهای مربوط به فصل زراعی مطالعاتی است (جدول ۳).

در مقایسه با میانگین ۱۰ سال اخیر، میزان بارش موثر در کشت‌های بهاره و پاییزه طی فصل زراعی مطالعاتی به‌ترتیب، به‌میزان ۲۴ و نه درصد کاهش یافته است. با این حال، میانگین برآوردهای نیاز آبی خالص برای دو بازه زمانی فوق از اختلاف اندکی (یک تا سه درصد) با یکدیگر برخوردار بوده‌اند. بر اساس جدول ۳، مقادیر میانگین نیاز آبی خالص برآورد شده برای کشت بهاره به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بیشتر از کشت تابستانه (به‌میزان ۲۰ تا ۲۴ درصد) بوده است. این امر از شکل ۴ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل می‌توان گفت که کشت زودهنگام‌تر سویای بهاره نسبت به کشت تابستانه، موجب شده است که بخش طولانی‌تری از دوره اوج مصرف آب گیاه با دوره اوج تبخیر–تعرق مرجع در منطقه (طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) مقارن شود.

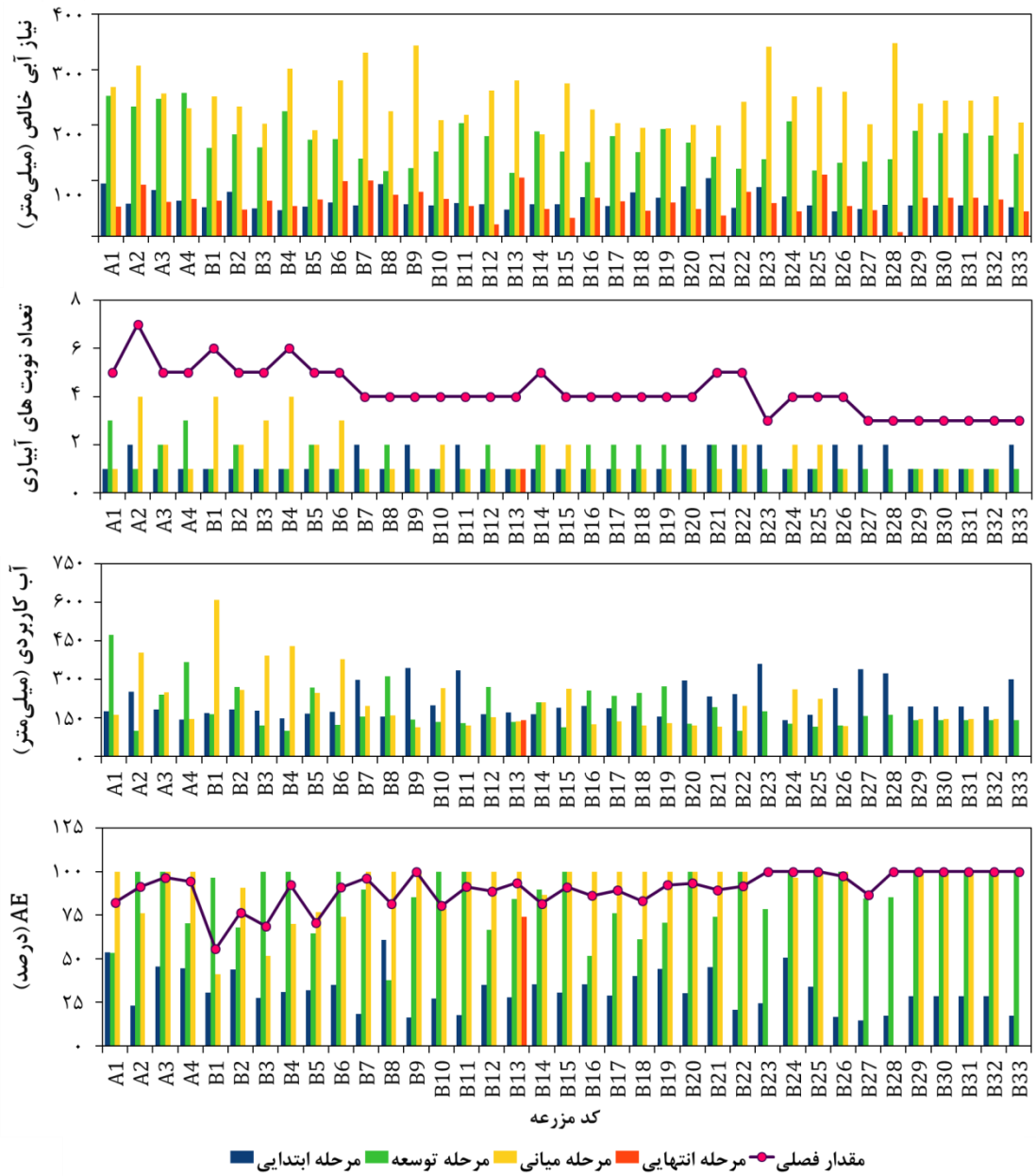
جدول ۲- آماره‌های توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی و مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا در مزارع مطالعاتی

شرح	ویژگی		حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی	مساحت مزرعه (ha)		۰/۵۰	۸/۰۰	۳/۰۰	۶۶
	سطح زیر کشت واقعی مزرعه (ha)		۰/۵۰	۸/۰۰	۲/۹۷	۶۶
	میانگین شدت جریان تحویلی به مزرعه ($L\ s^{-1}$)		۱۲/۵۷	۷۶/۵۶	۵۳/۷۵	۳۰
	شوری خاک سطحی ($dS\ m^{-1}$)		۱/۰۰	۴/۳۸	۱/۹۹	۳۷
	شوری آب آبیاری ($dS\ m^{-1}$)		۰/۸۳	۲/۰۲	۱/۲۰	۲۵
	تاریخ کشت بذر		۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹۸/۰۴/۱۶	۱۳۹۹/۰۳/۲۶	۲۱
	تاریخ برداشت		۱۳۹۹/۰۸/۰۷	۱۳۹۹/۰۹/۲۶	۱۳۹۹/۰۸/۲۷	۱۷
	طول دوره رشد (روز)		۱۳۹	۱۸۴	۱۵۵	۹
	تاریخ اولین آبیاری		۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹۸/۰۴/۱۱	۱۳۹۹/۰۳/۲۵	۲۱
	تاریخ آخرین آبیاری		۱۳۹۹/۰۵/۱۳	۱۳۹۹/۰۷/۱۰	۱۳۹۹/۰۶/۱۷	۱۹
	فاصله تاریخ کاشت تا آبیاری اول (روز)		−۷	۲	−۱	−۳۱۰
	فاصله اولین و آخرین آبیاری (روز)		۵۴	۱۲۲	۸۵	۲۰
	تعداد رویدادهای آبیاری اعمال شده		۳	۷	۴	۲۳
	میانگین دور آبیاری (روز)		۱۹	۴۱	۲۷	۱۹
	فاصله آخرین آبیاری تا برداشت (روز)		۳۵	۹۶	۷۲	۱۸
	تعداد دفعات کوددهی		۱	۸	۳	۶۱
مولفه‌های بیلان اقتصادی تولید سویا	هزینه‌های تولید سویا (هزار ریال بر هکتار)	تامین زمین	۳۱۵۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۸۰۲۷	۳۰
		عملیات کاشت	۷۴۲۵	۵۶۹۰۰	۱۹۹۴۵	۴۵
		عملیات داشت	۱۸۲۰۰	۵۰۴۹۸	۳۲۵۱۶	۳۲
		عملیات برداشت	۷۲۲۸	۲۰۰۰۰	۱۱۰۹۱	۳۰
		سایر هزینه‌ها	۴۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	۴۴۰۸۱	۸
		مجموع	۱۰۷۳۵۴	۲۲۲۱۶۶	۱۶۵۶۶۰	۲۰
	درآمد حاصل از فروش محصول (هزار ریال بر هکتار)		۲۵۵۶۱۶	۶۱۳۴۴۵	۳۵۴۸۲۸	۲۴
	سود اقتصادی خالص (هزار ریال بر هکتار)		۹۵۵۱۱	۴۳۹۱۹۹	۱۹۶۶۹۸	۴۱

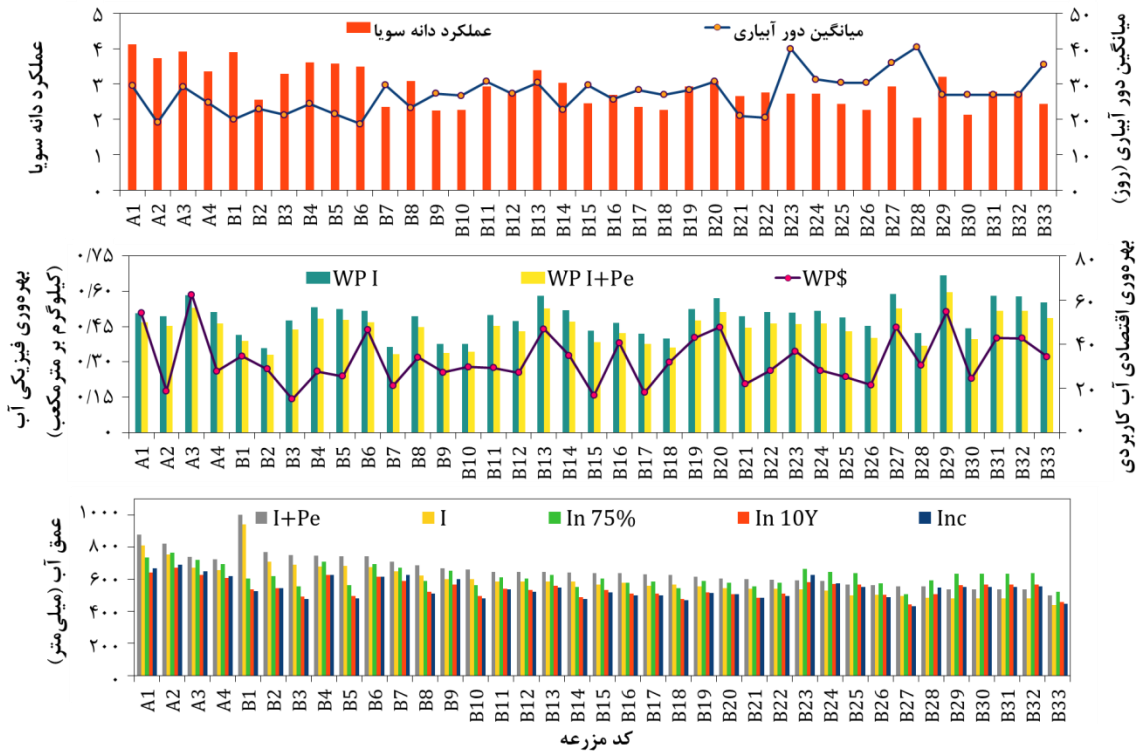
جدول ۳- آماره‌های توصیفی برآوردهای مختلف (میلی‌متر) بارندگی و نیاز آبی سویا محاسبه شده بر اساس مراحل رشد گیاه مشاهداتی در هریک از مزارع مورد مطالعه

فصل کشت	آماره	سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد (با استفاده از داده‌های هواشناسی درازمدت)					میانگین ۱۰ سال اخیر					فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹				
		P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n	P	P_e	ET_o	ET_c	I_n
بهاره	حداقل	۲۶	۱۴	۶۶۶	۷۰۹	۶۹۳	۱۳۷	۸۲	۷۸۳	۶۹۱	۶۰۸	۹۰	۶۷	۷۹۵	۶۸۶	۶۱۹
	حداکثر	۳۱	۱۷	۸۵۴	۷۷۸	۷۶۴	۱۵۰	۹۱	۸۴۷	۷۵۸	۶۷۱	۹۰	۶۷	۸۶۷	۷۵۷	۶۹۱
	میانگین	۲۹	۱۶	۷۴۸	۷۴۴	۷۲۸	۱۴۵	۸۸	۸۲۱	۷۲۵	۶۳۷	۹۰	۶۷	۸۳۸	۷۲۴	۶۵۷
	ضریب تغییرات (درصد)	۷	۱۰	۱۱	۴	۴	۴	۵	۳	۴	۴	۰	۰	۴	۴	۵
تابستانه	حداقل	۱۵	۸	۶۱۴	۵۲۱	۵۰۶	۹۴	۵۸	۵۷۵	۵۰۲	۴۴۲	۷۲	۵۷	۵۶۲	۴۹۰	۴۳۱
	حداکثر	۵۸	۴۱	۹۲۷	۷۱۸	۷۰۹	۱۵۴	۹۲	۷۶۰	۷۰۰	۶۲۵	۱۰۱	۷۲	۷۶۹	۶۹۳	۶۲۷
	میانگین	۲۹	۱۷	۷۱۳	۶۲۱	۶۰۴	۱۱۴	۶۸	۶۷۲	۶۰۰	۵۳۲	۸۲	۶۲	۶۶۸	۵۹۰	۵۲۹
	ضریب تغییرات (درصد)	۴۱	۵۲	۹	۸	۸	۱۴	۱۳	۶	۸	۸	۸	۶	۸	۹	۱۰
کل مجموعه داده	حداقل	۱۵	۸	۶۱۴	۵۲۱	۵۰۶	۹۴	۵۸	۵۷۵	۵۰۲	۴۴۲	۷۲	۵۷	۵۶۲	۴۹۰	۴۳۱
	حداکثر	۵۸	۴۱	۹۲۷	۷۷۸	۷۶۴	۱۵۴	۹۲	۸۴۷	۷۵۸	۶۷۱	۱۰۱	۷۲	۸۶۷	۷۵۷	۶۹۱
	میانگین	۲۹**	۱۷ns	۷۱۶**	۶۳۴**	۶۱۷**	۱۱۸**	۷۰**	۶۸۸**	۶۱۳**	۵۴۳**	۸۳**	۶۲**	۶۸۶**	۶۰۵**	۵۴۲**
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۸	۴۹	۹	۱۰	۱۰	۱۶	۱۵	۹	۱۰	۱۰	۸	۷	۱۱	۱۱	۱۲

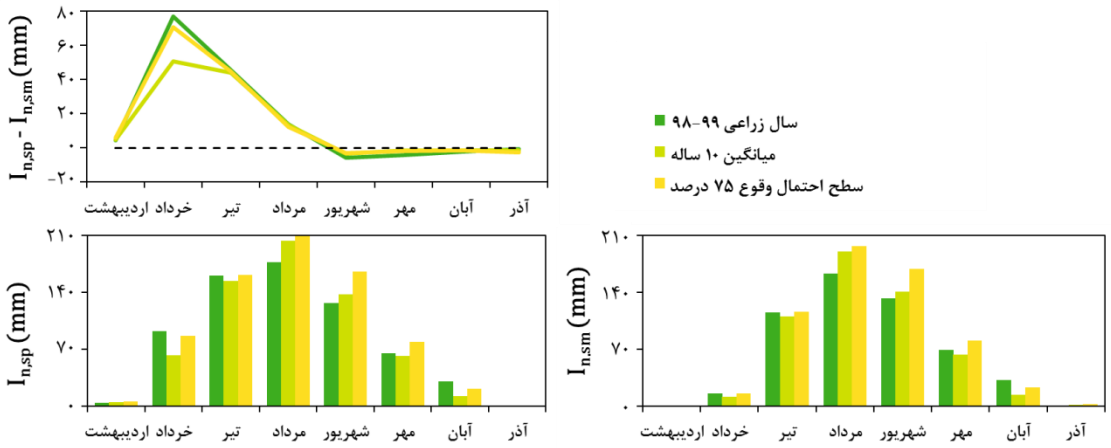
(*) در این جدول، P بارندگی، P_e بارندگی موثر، ET_o تبخیر- تعرق چمن مرجع، ET_c نیاز آبی سویا و I_n نیاز آبی خالص سویا و بالانویس‌های ** و ns به‌ترتیب، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح $P < 0.01$ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های کمیت مورد بررسی بین کشت‌های بهاره و تابستانه است



شکل ۲- مقایسه مقادیر نیاز آبی خالص، آب کاربردی و نمایه AE به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه بر اساس چهار مقطع منحنی ضریب گیاهی به‌همراه تعداد نوبت‌های آبیاری در هریک از مزارع مطالعاتی. کدهای مزارع با حروف A و B به‌ترتیب، بیانگر مزارع با کشت بهاره و تابستانه سویا است



شکل ۳- مقایسه میانگین دور آبیاری، عملکرد دانه سویا، نمایه‌های بهره‌وی آب مقادیر فصلی I، $I+P_e$ و برآوردهای I_n به‌ازای سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد، میانگین ۱۰ سال اخیر و فصل زراعی مطالعاتی (به‌ترتیب، $I_{n75\%}$، I_{n10Y} و I_{nc}) در مزارع مطالعاتی



شکل ۴- مقایسه میانگین مقادیر ماهانه برآوردهای مختلف نیاز آبی خالص سویا در مزارع مطالعاتی برای کشت بهاره ($I_{n,sp}$) و تابستانه ($I_{n,sm}$)

بر اساس شکل ۴ می‌توان گفت که میانگین نیاز آبی خالص سویا در مزارع مطالعاتی طی سال زراعی انجام پژوهش حاضر، با برآوردهای متناظر آن در سطح احتمال وقوع ۷۵ درصد بسیار نزدیک بوده و حتی طی ماه‌های تابستان نسبت به آن اندکی فزونی یافته است؛ بنابراین، سال زراعی مطالعاتی از سال‌های خشک در منطقه مطالعاتی محسوب می‌شود. میانگین نیاز آبی سویا در مزارع مطالعاتی در دامنه تغییرات گزارش شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای این کمیت (۴۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر) قرار دارد. نتایج مقایسه میانگین طول دوره رشد، حجم آب کاربردی فصلی، عملکرد محصول و نمایه‌های راندمان کاربرد آب و بهره‌وری آب به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها در جدول ۴ ارائه گردیده است. از آنجا که سویا گیاهی روزکوتاه است، طول ساعات روز بر آهنگ توسعه

گیاه موثر بوده و افزایش آن می‌تواند موجب تاخیر در گلدهی شود (کیو و چانگ، ۲۰۱۰) . بر این اساس و با توجه به روند صعودی طول ساعات روز طی فصول بهار و تابستان می‌توان گفت در کشت بهاره سویا (نسبت به کشت تابستانه)، فرصت مناسب‌تری برای رشد و توسعه مطلوب گیاه و تکمیل مراحل مختلف رشد فراهم می‌شود. مقایسه مقادیر میانگین عملکرد دانه سویا در کشت‌های بهاره و تابستانه نیز موید این امر است (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین طول دوره رشد، حجم آب کاربردی فصلی، عملکرد محصول و نمایه‌های راندمان کاربرد آب و بهره‌وری آب به‌عنوان تابعی از معیارهای مختلف گروه‌بندی داده‌ها(*)

معیار گروه‌بندی داده‌ها	شرح	تاریخ آغاز فصل رشد گیاه	طول دوره رشد (d)	I ($m^3\ ha^{-1}$)	I + P_e ($m^3\ ha^{-1}$)	Y (ton ha^{-1})	AE (درصد)	WP_I (kg m^{-3})	WP_{I+Pe} (kg m^{-3})	$WP_\$ \times 10^3$ (Rial m^{-3})
سطح تحصیلات	دیپلم و پایین‌تر	۱۳۹۹/۰۳/۲۷ a	۱۵۷ a	۶۲۳ b	۶۸۶ b	۲/۹۵ a	۸۷ b	۰/۴۷ a	۰/۴۳ a	۳۲/۴۸ a
بهره‌برداران	بالای دیپلم	۱۳۹۹/۰۳/۲۶ a	۱۵۳ a	۵۳۸ a	۵۹۹ a	۲/۸۱ a	۹۶ a	۰/۵۳ a	۰/۴۷ a	۳۴/۵۱ a
سطح مهارت	معمولی	۱۳۹۹/۰۳/۲۹ b	۱۵۶ a	۵۹۹ a	۶۶۱ a	۲/۸۳ a	۸۹ a	۰/۴۸ b	۰/۴۳ b	۳۰/۰۱ b
بهره‌برداران	پیشرو	۱۳۹۹/۰۳/۱۶ a	۱۵۵ a	۵۷۰ a	۶۳۱ a	۳/۱۹ a	۹۶ a	۰/۵۶ a	۰/۵۱ a	۴۶/۸۳ a
تناوب زراعی	آیش–سویا	۱۳۹۹/۰۳/۲۱ b	۱۴۰ a	۴۸۰۱ a	۵۳۸۰ a	۲/۷۲ b	۱۰۰ a	۰/۵۷ a	۰/۵۱ a	۴۱/۱۰ ab
	گندم–سویا	۱۳۹۹/۰۴/۰۱ c	۱۵۵ b	۵۸۸۸ b	۶۵۱۱ b	۲/۸۱ b	۸۹ b	۰/۴۸ b	۰/۴۳ b	۳۱/۳۲ b
	کلزا–سویا	۱۳۹۹/۰۳/۱۹ c	۱۶۰ b	۶۲۰۵ bc	۶۸۲۰ bc	۲/۸۹ b	۹۱ ab	۰/۴۷ ab	۰/۴۳ ab	۲۸/۵۰ ab
	سیر–سویا	۱۳۹۹/۰۲/۳۰ a	۱۷۹ c	۷۴۶۰ c	۸۱۳۱ c	۳/۹۲ a	۹۰ ab	۰/۵۳ ab	۰/۴۸ ab	۴۵/۱۲ a
آرایش کشت	تک‌ردیفه	۱۳۹۹/۰۳/۲۴ a	۱۵۷ a	۵۹۰ a	۶۵۲ a	۲/۹۵ a	۹۰ b	۰/۵۰ a	۰/۴۵ a	۳۳/۸۴ a
	دوردیفه	۱۳۹۹/۰۳/۳۱ ab	۱۴۹ a	۶۸۸ a	۷۴۸ a	۳/۳۵ a	۸۰ b	۰/۵۰ b	۰/۴۶ ab	۳۶/۵۳ a
	کشت با ردیفکار	۱۳۹۹/۰۴/۰۸ b	۱۵۱ a	۵۵۵ a	۶۱۸ a	۲/۳۳ b	۹۹ a	۰/۴۲ b	۰/۳۸ b	۲۷/۴۳ a
رقم سویا	ویلیامز	۱۳۹۹/۰۳/۳۰ ab	۱۴۲ ab	۵۶۹۸ ab	۶۲۸۷ ab	۳/۰۸ ab	۸۷ abc	۰/۵۵ a	۰/۵۰ a	۲۳/۸۱ a
	آرین	۱۳۹۹/۰۳/۲۲ a	۱۶۳ bc	۶۲۴۰ b	۶۸۷۵ b	۳/۰۳ a	۸۹ b	۰/۴۸ ab	۰/۴۴ ab	۳۵/۲۴ a
	L17	۱۳۹۹/۰۴/۰۴ b	۱۴۹ ab	۶۲۸۱ b	۶۸۸۷ b	۳/۱۶ a	۷۹ b	۰/۵۲ ab	۰/۴۷ ab	۳۵/۱۵ a
	کتول	۱۳۹۹/۰۳/۳۱ b	۱۵۷ b	۵۶۰۸ ab	۶۲۴۱ ab	۲/۵۵ b	۹۷ c	۰/۴۶ b	۰/۴۱ b	۲۷/۲۸ a
	سایر ارقام	۱۳۹۹/۰۳/۲۱ ab	۱۴۰ a	۴۸۰۱ a	۵۳۸۰ a	۲/۵۷ ab	۱۰۰ ac	۰/۵۳ ab	۰/۴۸ ab	۲۶/۱۰ a
فصل کشت سویا	بهاره	۱۳۹۹/۰۳/۰۲ a	۱۷۸ b	۷۲۴ b	۷۹۱ b	۳/۷۸ a	۹۱ a	۰/۵۲ a	۰/۴۸ a	۴۰/۷۹ a
	تابستانه	۱۳۹۹/۰۳/۳۰ b	۱۵۳ a	۵۷۷ a	۶۳۹ a	۲/۷۹ b	۹۰ a	۰/۴۹ a	۰/۴۴ a	۳۲/۲۷ a
شیوه کشت بذر	خشکه‌کاری	۱۳۹۹/۰۳/۲۴ a	۱۵۸ a	۶۰۹ a	۶۷۱ a	۳/۰۱ a	۸۸ a	۰/۵۰ a	۰/۴۵ a	۳۳/۷۸ a
	هیرم‌کاری	۱۳۹۹/۰۴/۰۷ b	۱۴۸ a	۵۳۸ a	۵۹۹ a	۲/۴۹ b	۹۷ b	۰/۴۷ a	۰/۴۲ a	۳۱/۰۵ a
کاربرد محصول سویا	بذر	۱۳۹۹/۰۳/۲۶ a	۱۴۸ a	۵۲۷ a	۵۸۶ a	۲/۸۱ a	۹۵ a	۰/۵۴ a	۰/۴۸ a	۳۹/۹۶ a
	دانه خوراکی	۱۳۹۹/۰۳/۲۷ a	۱۵۸ a	۶۱۵ b	۶۷۸ b	۲/۹۳ a	۸۹ a	۰/۴۸ b	۰/۴۳ b	۳۱/۰۲ b
کل مجموعه داده	حداقل	۱۳۹۹/۰۲/۲۸	۱۳۹	۴۴۱۲	۵۰۰۵	۲/۰۵	۵۶	۰/۳۶	۰/۳۳	۱۵/۲۱
	حداکثر	۱۳۹۹/۰۴/۱۶	۱۸۴	۹۴۱۵	۱۰۰۰۹	۴/۱۲	۱۰۰	۰/۶۷	۰/۶۰	۶۲/۴۰
	میانگین	۱۳۹۹/۰۳/۲۶	۱۵۶	۵۹۳۲	۶۵۵۴	۲/۹۰	۹۰	۰/۴۹	۰/۴۴	۳۳/۱۹
	CV	۳۹	۹	۱۷	۱۶	۱۹	۱۱	۱۴	۱۴	۳۵

(*) 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. تاریخ آغاز فصل رشد گیاه در شیوه‌های خشکه‌کاری و هیرم‌کاری به‌ترتیب، معادل با تاریخ اولین رویداد آبیاری و کشت بذر در نظر گرفته شد.CV بیانگر ضریب تغییرات (درصد) است

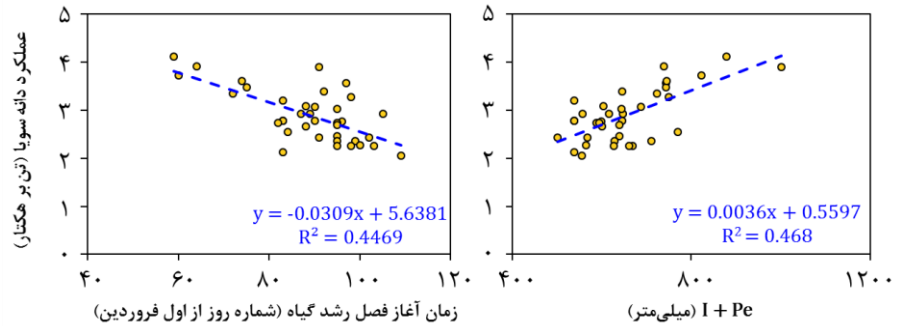
همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میانگین عملکرد دانه سویا بهاره به‌طور معنی‌داری بیشتر (۳۵ درصد بیشتر) از مقدار متناظر آن در کشت تابستانه بوده است. بر اساس این جدول می‌توان گفت که کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر از دیپلم توجه بیشتری نسبت به کشت به‌موقع سویا داشته‌اند. تا جایی که میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارع کشاورزان پیشرو به‌طور معنی‌داری زودهنگام‌تر از مقدار متناظر آن برای کشاورزان معمولی بوده است (جدول ۴). همچنین، میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارعی که در آن‌ها کشت سویا با هدف تولید بذر صورت گرفته است، زودهنگام‌تر از سایر مزارع مطالعاتی بوده است. دلیل این امر توجه ویژه به حفظ شرایط مناسب رشد گیاه در این مزارع به‌منظور برآورد شدن استانداردهای کیفی برای بذر

تولیدی است. با این حال، اختلاف میانگین تاریخ آغاز فصل رشد بین این دو گروه از مزارع به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است. بر اساس جدول ۴، میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا در مزارع با شیوه هیرم‌کاری به‌طور معنی‌داری دیرهنگام‌تر از مزارع با شیوه خشکه‌کاری بوده است. دلیل اصلی این امر رایج بودن هیرم‌کاری سویا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه آبیاری و زهکشی مغان و محدودیت دسترسی به آب طی ماه‌های تابستان در این بخش از شبکه و لذا، موکول ماندن عملیات کاشت به فراهم شدن آب جهت انجام آبیاری اولیه مزرعه است. همچنین، از آنجا که آرایش کاشت در شیوه هیرم‌کاری سویا به‌صورت کشت با ردیفکار بود، این امر موجب گردید که میانگین تاریخ آغاز فصل رشد در این آرایش کاشت دیرهنگام‌تر از آرایش کشت‌های تک‌ردیفه و دوردیفه باشد (جدول ۴). همین‌طور، در میان ارقام سویای مورد بررسی ارقام L17 و کتول، دیرهنگام‌ترین میانگین تاریخ آغاز فصل رشد سویا را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

دلیل این امر در مورد رقم کتول رایج بودن کشت این رقم در بخش‌های پایین‌دستی شبکه (به‌دلیل مقاومت مطلوب آن در برابر تنش خشکی) و در مورد رقم L17 ناشی از به‌تاخیر افتادن زمان کشت در اثر تحمیل شدن سایر محدودیت‌ها به کشاورز (نظیر فراهم نشدن به‌موقع بذر و ادوات مکانیزاسیون) بوده است. بر اساس جدول ۴، مزارع با تناوب زراعی سیر–سویا و گندم–سویا به‌ترتیب، زودهنگام‌ترین و دیرهنگام‌ترین میانگین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه را به‌خود اختصاص داده‌اند. به‌گونه‌ای که اختلاف میانگین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه در این دو تناوب زراعی با دیگر تناوب‌های زراعی مورد بررسی معنی‌دار بوده است. کشت زودهنگام سویا در مزارع با تناوب زراعی سیر–سویا را می‌توان به زمان مناسب آزاد شدن زمین در این مزارع و امکان کشت بهاره سویا نسبت داد. این امر در مورد تناب زراعی آیش–سویا نیز برقرار بوده و کشت قبلی مزرعه عامل محدود کننده برای انتخاب زمان کشت سویا محسوب نمی‌شود. پس از تناوب سیر–سویا، مزارع مطالعاتی با تناوب کلزا–سویا از زودهنگام‌ترین تاریخ کشت برخوردار بوده‌اند (جدول ۴). اساسا، در دشت مغان به‌منظور کاهش تلفات ریزش دانه کلزا (در اثر وزش بادهای شدید مقارن با انتهای فصل رشد گیاه) و نیز از دست نرفتن زمان بهینه کشت دوم، برداشت کلزا عمدتا در زودهنگام‌ترین زمان ممکن انجام می‌شود. همان‌طور که گفته شد، مزارع با تناوب زراعی گندم–سویا از دیرهنگام‌ترین تاریخ آغاز فصل رشد گیاه نسبت به سایر تناوب‌های زارعی مورد بررسی برخوردار بودند. از دلایل اصلی این امر می‌توان به رایج بودن تناوب گندم–سویا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه و محدودیت کشاورزان در دسترسی به‌موقع به ادوات مکانیزاسیون جهت برداشت محصول گندم اشاره کرد. همان‌طور که در جدول ۴ نیز قابل ملاحظه است، در مزارع تحت مدیریت کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر، گیاه سویا از میانگین طول دوره رشد کوتاه‌تری برخوردار بوده است (با این حال، هیچ‌یک از این تفاوت‌ها معنی‌دار نبوده‌اند).

با این حال، کشت زودهنگام‌تر سویا در کشت بهاره موجب کاهش طول دوره رشد گیاه نگردیده است (جدول ۴). به‌گونه‌ای که علی‌رغم تغییرپذیری قابل توجه تاریخ آغاز رشد گیاه در مزارع مطالعاتی (ضریب تغییرات ۴۱ درصدی)، طول دوره رشد گیاه از تغییرپذیری بسیار پایین‌تری (ضریب تغییرات نه درصدی) برخوردار بوده است (جدول ۴). این امر بدان معناست که صرف‌نظر از فصل کشت، زمان برداشت سویا از دامنه تغییرات محدودی برخوردار است. در مورد کشت تابستانه، دلیل این امر ناشی از به تعویق افتادن مراحل رشد و توسعه گیاه سویا به‌دنبال تاخیر در انجام به‌موقع عملیات کاشت و از دست رفتن بخش مهمی از دوره بهینه کشت دوم است. از سوی دیگر، تاخیر کشت سویای تابستانه موجب می‌شود که رشد گیاه از حساسیت بیشتری نسبت به تنش‌های محیطی (خصوصا تنش خشکی که در بخش‌های پایین‌دستی شبکه بسیار شایع است) برخوردار بوده و بروز این تنش‌ها موجب بیشتر به‌تعویق افتادن تکمیل مراحل مختلف رشد گیاه خواهد شد.

این درحالیست که در کشت بهاره، گیاه از فرصت بیشتری برای تکمیل مراحل رشد خود و جبران اثرات منفی تنش‌های محیطی برخوردار است؛ بنابراین، برآیند عوامل فوق موجب به‌تعویق افتادن زمان برداشت سویای تابستانه خواهد شد. این درحالیست دلیل اصلی به‌تاخیر افتادن زمان برداشت سویای بهاره، تمایل کشاورز جهت دستیابی به سطح پتانسیل عملکرد دانه سویا است. اساسا، دستیابی به سطوح بالای عمکرد دانه سویا لزوما، به‌ازای بهینه‌ترین سطح آب مصرفی گیاه حاصل نمی‌شود (آدبویه و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس شکل ۵، رابطه خطی افزایشی بین مقادیر فصلی $I + P_e$ و عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی نیز مشهود است. این درحالیست که گاژیچ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که رابطه درجه دوم بین عملکرد دانه سویا و مقدار آب کاربردی فصلی وجود دارد؛ بنابراین، بر اساس شکل ۵ می‌توان گفت که مقادیر فصلی $I + P_e$ در مزارع مطالعاتی در حدی مفرط نبوده است که آستانه کاهش محصول در اثر کاربرد بی‌رویه آب به‌طور کاملا مشهود مشخص شود. از این‌رو، در مزارع سویای بهاره با وجود امکان تکمیل شدن سریع‌تر مراحل مختلف رشد گیاه از طریق برخی اقدامات مدیریتی (نظیر برنامه‌ریزی آبیاری)، کشاورزان به‌طور آگاهانه طول دوره رشد گیاه را افزایش می‌دهند. به‌گونه‌ای که با بهره‌مند ساختن مزرعه از یک نوبت آبیاری اضافی و/یا بارش‌های شهریورماه و فصل پاییز، شرایط مطلوب رطوبتی خاک جهت طولانی‌تر شدن مراحل میانی و نهایی رشد گیاه و بهبود هرچه بیشتر عملکرد دانه سویا را فراهم می‌آورند. این امر از میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ طی فصل رشد گیاه (جدول ۴) که در کشت‌های بهاره و تابستانه از اختلافی معنی‌دار با یکدیگر برخوردار بوده‌اند نیز قابل استنباط است.



شکل ۵- بررسی رابطه بین تاریخ آغاز فصل رشد و مقدار فصلی $I + P_e$ با عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی

بر اساس جدول ۴، مزارع تحت مدیریت کشاورزان پیشرو و کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر از دیپلم، از میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ پایین‌تری نسبت به دیگر مزارع مطالعاتی برخوردار بوده‌اند. با این‌حال، این اختلاف‌ها تنها در مورد سطح تحصیلات کشاورزان معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مزارع با آرایش کاشت دوردیفه و کشت با ردیفکار به‌ترتیب، بیشترین و کمترین میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل پیشی گرفتن میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در آرایش کشت دوردیفه نسبت به آرایش کشت‌های دیگر، جدید بودن کاربرد این آرایش کاشت در منطقه و عدم تجربه کافی کشاورزان در خصوص نحوه برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه در این شرایط است.

از طرف دیگر، واقع شدن مزارع با شیوه کشت خشکه‌کاری در بخش‌های بالادستی و میانی شبکه آبیاری و زهکشی مغان موجب شده است که میزان میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در این مزارع بیشتر از شیوه کشت هیرم‌کاری (که اساسا در بخش‌های پایین‌دستی شبکه رایج است) باشد. از سوی دیگر، میزان میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ در مزارع سویای بذری به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از (هر دو به‌میزان ۱۴ درصد) مقدار نظیر آن‌ها در مزارع

سویای دانه‌ای است (جدول ۴). دلیل این امر را می‌توان به شرایط مطلوب مدیریت این مزارع به جهت لزوم برآورده شدن استانداردهای تولید بذر نسبت داد.

بر اساس جدول ۴ می‌توان گفت که به‌طور کلی، کشت زودهنگام‌تر سویا در مزارع مطالعاتی، موجب افزایش میانگین طول دوره رشد گیاه و میانگین مقادیر فصلی I و $I + P_e$ گردیده است. با این حال، این روند در مورد مزارع با تناوب آیش–سویا مصداق نداشته است. دلیل این امر ناشی از مدیریت آبیاری متفاوت اعمال شده در این مزارع نسبت به دیگر مزارع مطالعاتی است. به‌گونه‌ای که برنامه‌ریزی آبیاری این مزارع در انطباق با مراحل حساس رشد گیاه صورت گرفت و عدم دسترسی گیاه به آب مازاد موجب تسریع در تکمیل مراحل رشد گیاه و اجتناب از طولانی شدن دوره رشد گردید. این نکته از شکل ۲ نیز قابل استنباط می‌باشد. بر اساس این شکل، مزارع با تناوب آیش–سویا که در برگیرنده مزارع B29 تا B32 می‌باشد، تنها سه نوبت آبیاری با میانگین دور آبیاری ۲۷ روز (شکل ۳) و مقارن با مراحل رشد اولیه، توسعه و میانی گیاه دریافت کرده‌اند. این در حالیست که مدیریت آبیاری اعمال شده در سایر مزارع دارای اسلوبی متفاوت با مزارع فوق بوده و در مراحل ابتدایی، توسعه‌ای و/یا میانی بیش از یک نوبت آبیاری را تجربه کرده‌اند. برخی مزارع به‌دلایلی نظیر ۱) حصول اطمینان کشاورز از سبز شدن کامل بذرها، ۲) عدم اطمینان کشاورز از تامین آب مورد نیاز در آینده و ۳) کند شدن رشد گیاه در نتیجه اثر تنش‌های محیطی (به‌ویژه خسارت ناشی از کرم برگ‌خوار)، بیش از یک نوبت آبیاری را در مرحله ابتدایی رشد گیاه دریافت کرده‌اند. این امر بیانگر اهمیت آماده‌سازی مناسب زمین در زمان کاشت، قابلیت انعطاف‌پذیری شبکه آبیاری در تامین نیاز آبیاری مزارع و عملیات داشت به‌منظور فراهم شدن امکان اعمال یک مدیریت آبیاری بهینه در مزرعه است. بر اساس شکل ۲ هیچ‌یک از مزارع مطالعاتی (به‌جز مزرعه B13) طی مرحله پایانی رشد گیاه آبیاری نشده‌اند.

به‌طور جالب توجهی، درصد افزایش مقادیر فصلی $I + P_e$ در کشت بهاره نسبت به کشت تابستانه (۲۴ درصد، جدول ۴) مشابه مقدار نظیر آن برای نیاز آبی خالص در فصل زراعی مطالعاتی (جدول ۳) بوده است. با این حال، در مقایسه با کشت تابستانه، مزارع با کشت بهاره سویا همواره از تعداد رویدادهای آبیاری بیشتر (شکل ۲) و مقادیر فصلی I و $I + P_e$ بالاتر (شکل ۳) برخوردار نبوده‌اند. برآوردهای به‌دست آمده برای میانگین حجم آب کاربردی فصلی در مزارع مطالعاتی در دامنه مقادیر گزارش شده توسط مسی و همکاران (۲۰۱۷) برای کشت سویا قرار دارد. با این حال، میانگین حجم آب کاربردی فصلی در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($p< 0.01$) بیشتر از برآورد فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) برای حجم آب کاربردی فصلی کشت سویا در دشت مغان (۳۸۸۸ مترمکعب بر هکتار) است.

همین‌طور، میانگین عملکرد سویا و نمایه‌های AE و بهره‌وری آب در مزارع تحت مدیریت زارعین پیشرو بالاتر از مزارع تحت مدیریت زارعین معمولی بود. این روند در مورد مقایسه مزارع تحت مدیریت زارعین با سطح تحصیلات بالای دیپلم با سیار مزراع مطالعاتی مصداق نداشت. دلیل این امر، عمدتا ناشی از عدم توجیه اقتصادی صرف وقت و سرمایه بیشتر بر روی کشت سویا برای این دسته از کشاورزان بود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، از دیدگاه سطح تحصیلات کشاورزان، اختلاف عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب بین دو گروه مورد بررسی به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است.

میانگین عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب در مزارع با تناوب سیر–سویا، به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تناوب‌های زراعی مطالعاتی بوده است. علاوه بر زمان مناسب کشت سویا در این تناوب زارعی، عامل مهم دیگر در حصول این نتیجه ناشی از توجیه اقتصادی کاربرد کود و سموم بیشتر در کشت سیر است. تا جایی که این عامل سبب می‌شود که پس از برداشت محصول سیر، محتوای مواد مغذی خاک در شرایط مطلوبی قرار داشته

باشد که به‌تبع آن، رشد مطلوب گیاه سویا و کاهش هزینه‌های کاربرد کود و سموم را به‌دنبال خواهد داشت. بررسی‌ها نشان داد که در مقایسه با سایر تناوب‌های زارعی مطالعاتی، عملکرد دانه سویا در مزارع با تناوب زراعی سیر–سویا از پایین‌ترین تغییرپذیری برخوردار است (ضریب تغییرات پنج درصدی در مقایسه با ضریب تغییرات ۱۶، ۱۸ و ۱۲ درصد به‌ترتیب، برای تناوب‌های آیش–سویا، گندم–سویا و کلزا–سویا). این امر می‌تواند بیانگر شرایط مطلوب رشد گیاه سویا در مزارع با تناوب–سیر سویا باشد. میزان قابل انتظار عملکرد دانه سویا در شرایط کشت آبی ارقام بهبود یافته سویا در دامنه ۲/۵ تا ۳/۵ تن دانه بر هکتار توصیه شده است (فائو، ۲۰۲۰). عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰ درصد) بالاتر از ۲/۵ تن بر هکتار بود. بر این اساس و با توجه به مقادیر میانگین و حداکثر عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی (به‌ترتیب، ۲/۹۰ و ۴/۱۲ تن بر هکتار) (جدول ۴)، می‌توان گفت که منطقه مطالعاتی از شرایط مطلوبی برای تولید محصول سویا برخوردار است. همین‌طور، میانگین عملکرد دانه سویا در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بیشتر از برآوردهای گزارش شده توسط فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) برای میانگین عملکرد دانه سویا در دشت مغان (۲/۶ تن بر هکتار) است.

با مقایسه رابطه بین میانگین تاریخ کاشت و عملکرد دانه سویا در تناوب‌های زراعی مختلف (جدول ۴) می‌توان گفت که به‌طور کلی، کشت زودهنگام‌تر سویا در مزارع مطالعاتی، موجب افزایش عملکرد دانه سویا گردیده است. این امر از شکل ۵ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل می‌توان گفت که در محدوده مقادیر ثبت شده تاریخ آغاز فصل رشد گیاه برای مزارع مطالعاتی، مناسبت‌ترین تاریخ کشت سویا در منطقه مطالعاتی ۲۸ اردیبهشت بوده و به‌طور متوسط، هر یک روز تاخیر نسبت این تاریخ موجب سه درصد کاهش در عملکرد دانه سویا خواهد شد. بر اساس جدول ۴، مقدار نمایه AE در مزارع مطالعاتی با میانگین ۹۰ درصد، بین ۵۶ تا ۱۰۰ درصد متغیر بوده است. مقدار بالای این نمایه لزوما به معنای اعمال یک مدیریت آبیاری مطلوب در مزرعه نیست. دلیل این امر آن است که در این نمایه نحوه توزیع آب کاربردی در طول فصل رشد گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. همان‌طور که از بیان ریاضی این نمایه (رابطه (۶)) نیز قابل استنباط است، در صورتی که مقدار کل آب کاربردی فصلی کوچک‌تر یا مساوی با مقدار نیاز آبی خالص باشد، مقدار این نمایه برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود. این امر از شکل ۲ 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. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار نمایه AE در مراحل ابتدایی، توسعه‌ای و میانی رشد گیاه با تبعیت از یک روند افزایشی، به‌ترتیب، بین ۱۴ تا ۶۱ درصد، ۳۸ تا ۱۰۰ درصد و ۴۱ تا ۱۰۰ درصد متغیر است. میانگین مقادیر این نمایه طی هر چهار مرحله رشد گیاه در هریک از مزارع مطالعاتی در دامنه ۵۰ تا ۸۲ درصد قرار می‌گیرد. سطح پایین نمایه AE در مراحل اولیه رشد گیاه و روند افزایشی آن با رشد و توسعه گیاه توسط مکاری قهرودی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. محدودیت دسترسی به آب در بخش‌های پایین‌دستی شبکه آبیاری و زهکشی مغان موجب گردید که میانگین عملکرد دانه سویا و نمایه‌های بهره‌وری آب در رقم کتول (که کشت آن در پایین‌دست شبکه رایج است) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از سایر ارقام مورد بررسی (که کشت آن‌ها در بخش‌های بالادستی و میانی شبکه رایج است) باشد. این امر در مورد آرایش کشت با ردیفکار و شیوه کشت بذر هیرم‌کاری نیز صادق است.

از سوی دیگر، میانگین مقادیر نمایه‌های WP_I، WP_{I+Pe} و $WP_\$$ برای کشت‌های بهاره بیشتر از کشت تابستانه (به‌ترتیب، شش، هشت و ۳۴ درصد بیشتر) بوده است. میانگین نمایه WP_I در مزارع مطالعاتی به‌طور معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) کمتر از برآوردهای گزارش شده توسط فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) برای مقدار این نمایه در دشت مغان (۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) است. مقدار نمایه

WP_{I+Pe} در اغلب مزارع مطالعاتی (۷۶ درصد)، در دامنه تغییرات گزارش شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای مقدار این نمایه (۰/۴ تا ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) قرار داشت و مقدار آن در مابقی مزارع مطالعاتی (۲۴ درصد) کمتر از آستانه حداقلی ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. یکی از دلایل حصول سطوح پایین نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} را می‌توان به کاهش عملکرد محصول در اثر عوامل محدود کننده تولید سویا در مزارع مطالعاتی و لذا، کاهش صورت کسر در نمایه‌های فوق (روابط (۳) و (۴)) نسبت داد. از سوی دیگر، با توجه به ضریب تغییرات اندک آب کاربردی فصلی، عملکرد دانه سویا و نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} (جدول ۴) و تعداد محدود نوبت‌های آبیاری سطحی اعمال شده در اغلب مزارع مطالعاتی (شکل ۲) می‌توان گفت جریان برگشتی آبیاری نیز از سهم قابل توجهی در کاهش نمایه‌های بهره‌وری آب در مزارع مطالعاتی برخوردار بوده است. چراکه افزایش این مولفه موجب کاهش نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} در مقیاس مزرعه خواهد شد. این امر از شکل ۳ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل، علی‌رغم آن که عملکرد دانه سویا در برخی مزارع مطالعاتی (مزارع A1، A2، B1، B4 و B5) از آستانه حداکثری عملکرد قابل قبول توصیه شده توسط فائو (۲۰۲۰) برای کشت آبی سویا فراتر رفته است، اما این مزارع از سطوح پایینی از نمایه‌های WP_I و WP_{I+P} برخوردار بوده‌اند. این امر به‌وضوح بیانگر سهم قابل توجه مولفه جریان برگشتی آبیاری در بیلان آب این مزارع است که دلیل آن را می‌توان به ضعف در برنامه‌ریزی آبیاری و نیز آبیاری بی‌رویه در هریک از نوبت‌های آبیاری و/یا ضعف در مدیریت جریان سطحی در مزارع نسبت داد.

مقایسه مقادیر آب کاربردی فصلی و نمایه WP_I در مزارع مطالعاتی با دامنه مقادیر نظیر گزارش شده توسط رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) از مطالعات کرت‌های آزمایشی در دشت مغان (به‌ترتیب، ۲۰۰ تا ۴۱۸ میلی‌متر و ۰/۲۸ تا ۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) حاکی از امکان بهبود بهره‌وری آب آبیاری از طریق بهبود مدیریت آبیاری (به‌ویژه از طریق بهبود برنامه‌ریزی آبیاری در انطباق با نیاز گیاه و کاهش جریان برگشتی از مزارع)، کشت به‌موقع و انتخاب رقم مناسب سویا و مدیریت کاربرد کود و آفات و بیماری‌ها در مزارع مطالعاتی است. این امر از شکل ۳ نیز قابل استنباط است. بر اساس این شکل، در مزرعه B29 (رقم ویلیامز) با حداقل تعداد نوبت آبیاری ثبت شده در مزارع مطالعاتی (سه نوبت در تاریخ‌های ۹۹/۰۳/۲۱، ۹۹/۰۴/۱۷ و ۹۹/۰۵/۱۳ و به‌ترتیب، با عمق آب کاربردی ۱۹۳۶، ۱۴۱۳ و ۱۴۵۲ مترمکعب بر هکتار) با مجموع آب کاربردی و بارش موثر ۵۳۸۰ مترمکعب بر هکتار، عملکرد ۳/۲۰ تن دانه سویا بر هکتار حاصل شده است. همچنین، در بین مزارع مطالعاتی، بالاترین سطح از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} (به‌ترتیب، برابر با ۰/۶۰ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) به مزرعه B29 تعلق داشته است. مزارع B29 تا B32 تحت مدیریت بهره‌بردار پیشرو قرار داشت و بهترین شیوه‌های مدیریتی رایج در کشت سویا (خصوصا، به‌لحاظ مبارزه با آفات و علف‌های هرز) در سطحی مطلوب در این مزارع اعمال گردید. با این حال، در سه مزرعه B30 تا B32 که از نظر ویژگی‌های فیزیکی، مدیریت آبیاری و سایر ویژگی‌های مدیریت زراعی (به‌جز رقم سویا) کاملا مشابه با مزرعه B29 بودند، سطوح پایین‌تری از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} حاصل گردید. این امر بیانگر اهمیت برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب رقم مناسب و اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی کشت سویا در بهبود بهره‌وری آب سویا در مزارع مطالعاتی است که این نتیجه با نتیجه پژوهش گارسیا و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. همان‌طور که در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است، علی‌رغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار میانگین آب کاربردی فصلی بین ارقام سویا در مزارع مطالعاتی، میانگین نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} برای رقم ویلیامز به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقدار این نمایه‌ها برای رقم کتول بوده است. بر اساس شکل ۳ و شکل ۴، از میان مزارع با کشت بهاره، مزرعه A3 با تعداد پنج نوبت آبیاری (یک نوبت آبیاری اولیه و دو نوبت آبیاری در هریک از مراحل توسعه و میانی) به بالاترین سطح از نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} دست یافته است. برخلاف نمایه‌های WP_I

و WP_{I+Pe}، بالاترین سطح نمایه $WP_{\$}$ به مزرعه B29 تعلق نداشته است (شکل ۳).

بررسی‌ها نشان داد که نمایه $WP_{\$}$، علاوه بر میزان عملکرد محصول و آب کاربردی در مزرعه تا درجه بیشتری به عوامل مهمی چون ارزش اقتصادی زمین، توانایی کشاورز در بازاریابی محصول تولیدی، تغییرات زمانی کشش بازار، نوع کشت سویا (با هدف تولید دانه خوراکی یا تولید بذر) و گیاه کشت شده طی فصل قبل وابسته است. این امر به‌وضوح در مقایسه میانگین نمایه $WP_{\$}$ برای سویای بذری و دانه‌ای نمود یافته است. تا جایی که ارزش اقتصادی بالاتر سویای بذری نسبت به سویای دانه‌ای موجب گردیده است که علی‌رغم پایین‌تر بودن عملکرد مزارع سویای بذری، تولید سویا در این مزارع به‌طور معنی‌داری به سطح بالاتری (به‌میزان ۲۹ درصد) از بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی ختم شود. از سوی دیگر، به‌دلیل سودآوری و متقابلا، ریسک قابل توجه کشت سیر (به‌دلیل محدودیت‌های انبارداری و کشش بازار)، سیرکاران دشت مغان از وضعیت مطلوب‌تری به‌لحاظ سرمایه در گردش و توانایی در بازاریابی محصول خود برخوردار هستند. از این‌رو، تعدد عوامل موثر بر نمایه $WP_{\$}$ موجب گردیده است که این نمایه از تغییرپذیری به‌مراتب بالاتری در مقایسه با نمایه‌های WP_I و WP_{I+Pe} برخوردار باشد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داد که یکی از دلایل کاهش عایدات اقتصادی کشت تابستانه سویا در منطقه مطالعاتی، از به‌تاخیر افتادن تکمیل مراحل مختلف رشد گیاه و آسیب‌پذیری بیشتر گیاه نسبت به تنش‌های محیطی ناشی می‌شود. از این‌رو، اعمال یک برنامه‌ریزی آبیاری مناسب به‌همراه توجه به بهترین شیوه‌های مدیریتی در کشت سویا (به‌ویژه به‌لحاظ کنترل آفات و علف‌های هرز)، می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش هزینه‌های تولید، امکان برداشت به‌موقع محصول و سودآوری بیشتر و نیز فرصت بهتری برای آماده‌سازی زمین جهت کشت بعدی را فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آب کاربردی و بهره‌وری آب سویا طی فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شرایط واقعی مدیریت بهره‌برداری در ۳۷ مزرعه سویای منتخب در دشت مغان به‌عنوان قطب اصلی کشت آبی سویا در استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد دانه سویا در بخش عمده مزارع مطالعاتی (۷۰ درصد مزارع) فراتر از حداقل عملکرد قابل انتظار سویا در کشت آبی (۲/۵ تن بر هکتار) بود. این نتیجه بیانگر شرایط مطلوب دشت مغان برای تولید محصول سویا است. نتایج این مطالعه حاکی از اهمیت زمان آغاز فصل رشد گیاه، رقم سویا و برنامه‌ریزی آبیاری در بهبود بهره‌وری آب سویا در مزارع مطالعاتی بود. اختلاف قابل توجه نیاز آبی خالص سویای بهاره و تابستانه طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد عامل اصلی فزونی گرفتن نیاز آبی خالص کشت بهاره نسبت به کشت تابستانه بود. نتایج نشان داد که در شرایط منطقه مطالعاتی، با اعمال پنج نوبت آبیاری در کشت بهاره (یک نوبت آبیاری اولیه و دو نوبت آبیاری طی هریک از مراحل توسعه و میانی) و سه نوبت آبیاری در کشت تابستانه (یک نوبت آبیاری در هریک از مراحل اولیه، توسعه و میانی) سطح مطلوبی از عملکرد و نمایه‌های بهره‌وری آب قابل حصول است. اعمال تعداد نوبت آبیاری‌های پیشنهادی می‌تواند در سطح احتمال وقوع حدود ۷۵ درصد پاسخگوی نیاز آبی سویا در منطقه مطالعاتی باشد. به‌تعویق افتادن زمان کشت و برنامه آبیاری نامناسب از عوامل موثر بر طولانی شدن دوره رشد گیاه، کاهش عملکرد دانه و کاهش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در مزارع مطالعاتی است. از دیدگاه افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب، کشت بهاره سویا در منطقه مطالعاتی بر کشت تابستانه برتری دارد. نتایج تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده برای این پژوهش نشان داد مناسبت‌ترین تاریخ کشت سویا در منطقه مطالعاتی ۲۸ اردیبهشت بوده و به‌طور متوسط، هر یک روز تاخیر نسبت این تاریخ کاهش سه درصدی عملکرد دانه سویا را در پی خواهد داشت. با این حال، زمان کشت سویا در منطقه مطالعاتی به زمان برداشت

گیاه کشت شده قبلی بستگی دارد که در اکثر موارد امکان کشت بهاره سویا را با محدودیت مواجه می‌سازد. این عامل در ترکیب با وجود گیاهان دیگری بادام‌زمینی، گوجه‌فرنگی و پنبه به‌عنوان گزینه‌های مناسب کشت بهاره موجب شده است که کشت تابستانه سویا در تناوب با گندم بسیار رایج‌تر از کشت بهاره باشد. با این حال، عملکرد قابل قبول محصول سویا به‌عنوان یک گیاه لگوم و نیز حجم عملیات زراعی، هزینه‌های پایین‌تر تولید این محصول (به‌ویژه در مقایسه با گیاهانی چون بادام‌زمینی و گوجه‌فرنگی) و ریسک کمتر تولید آن به‌لحاظ کشش بازار موجب شده است که کشت بهاره و تابستانه این گیاه با اقبال کشاورزان منطقه مواجه شود. توجه به محدودیت‌های مورد اشاره (خصوصا به‌لحاظ زمان کشت سویا) در تدوین الگوی کشت بهینه در می‌تواند به استراتژی‌های واقع‌بینانه‌تری در راستای مدیریت پایدار منابع آب منجر شود.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بر اساس داده‌های حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۹۹۰۰۹۶-۹۵۰۱۳-۰۰۳-۰۱۴-۱۴-۱۴ موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در استان اردبیل است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از بهره‌برداران مزارع مطالعاتی و کارشناسان محترم مدیریت خدمات جهاد کشاورزی در شهرستان‌های پارس‌آباد و بیله‌سوار که در اجرای این پروژه همکاری و مساعدت نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنند.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی، ۸۹ ص.

۲. اسلامی، ا. ۱۳۹۵. ابزار اندازه‌گیری آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی، نشریه فنی شماره ۴۴. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ ص.

۳. امینی‌فر، ج.، بیگلویی، م.ح.، محسن‌آبادی، غ. و سمیع‌زاده، ح. (۱۳۹۱). تاثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در هفت رقم سویا در منطقه رشت. نشریه دانش آب و خاک. ۲۱(۴): ۹۱-۸۱.

۴. بابازاده، ح و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. واسنجی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب سویا. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵(۴): ۸۳-۹۶.

۵. پرچمی عراقی، ف.، میرلطیفی، س.م.، قربانی دشتکی، ش.، وظیفه‌دوست، م. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۵. توسعه یک چارچوب ریزمقیاس‌سازی به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق مرجع زیرروزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه، نشریه آب و خاک، ۳۰(۲): ۳۵۴-۳۳۴.

۶. تقی‌نژاد، ج. ۱۳۹۴. آرایش کاشت دو ردیف سویا روی پشته. نشریه فنی، شماره ۵۲. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل، اردبیل. ۱۵ص.

۷. رستمی اجیرلو، ا.، اصغری‌پور، م.، قنبری، ا.، جودی، م. و خرمی‌وفا، م. (۱۳۹۶). بررسی تأثیرکم آبیاری بر عملکرد، خصوصیات کیفی و شاخص بهره‌وری مصرف آب سه رقم سویا در دشت مغان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷(۱): ۱۲۵-۱۱۳.

۸. فرح‌زا، م.ن.، نظری، ب.، اکبری، م.ر.، نائینی، م.س. و لیاقت، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۲): ۱۷۹-۱۶۶.

۹. وحدی، ن.، قلی‌نژاد، ا.، منصوری‌فر، س.، غیرتی آرانی، ل. و رحیمی، م. (۱۳۹۸). تأثیر تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا. فنآوری تولیدات گیاهی. ۱۹(۱): ۱۱۳-۱۰۳.

10. Adeboye OB, Schultz B, Adekalu KO, and Prasad K, 2015. Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybeans (Glyxine max L. Merr.). Agriculture & Food Security, 4(10): 1-13.
11. Allen RG, Pereira LS, 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.
12. Arora VK, Singh CB, Sidhu AS, and Thind SS, 2011. Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. Agricultural Water Management, 98(4): 563-568.
13. Bos MG, Kselik RAL, Allen RG, and Molden D, 2008. Water requirements for irrigation and the environment. Springer Science & Business Media.
14. Burt CM, 2013. The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success? Irrigation and drainage, 62(3): 247-254.
15. Food and Agricultural Organisation of the United Nations (FAO), 2020. Crop Water Information: Soybean. (Available at: http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/)
16. Food and Agriculture Organization Statistical Data (FAOSTAT), 2021. FAO Statistical Data. (Available at: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E)
17. Gajić B, Kresović B, Tapanarova A, Životić L, and Todorović M, 2018. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. Agricultural Water Management, 210: 224-231.
18. Garcia AGy, Persson T, Guerra L, and Hoogenboom G, 2010. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. Agricultural water management, 97(7): 981-987.
19. Massey JH, Stiles CM, Epting JW, Powers RS, Kelly DB, Bowling TH, Janes CL, and Pennington DA, 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.
20. 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.
21. 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.
22. Qiu LJ, and Chang RZ, 2010. The Origin and History of Soybean. In: Singh G. (Ed.), The soybean: botany, production and uses. CABI, Oxfordshire, UK, pp. 1-23.
23. Singh G, 2010. Water Management in Soybean. In: Singh G. (Ed.), The soybean: botany, production and uses. CABI, Oxfordshire, UK, pp. 191-208.

24. Todorovic M, Karic B, and Pereira LS, 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. Journal of Hydrology, 481: 166-176.

25. USDA-NRCS, 1993. Chapter 2: Irrigation water requirements, Part 623: Irrigation. National Engineering Handbook, United States Depart-ment of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, DC. (Available at: ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/waterMgt/irrigation/NEH15/ch2.pdf.)

26. United States Salinity Laboratory Staff (USSLS), 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agriculture Handbook No 60, Washington DC, USA, pp. 160.

27. Wilcox LV, 1955. Classification and use of the irrigation waters. US Department of Agriculture Circular No 969, Washington, DC, pp. 19.

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

Assessment of Soybean Applied Water and Water Productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran

F. Parchami-Araghi[1], **F. Abbasi, and K. Akhavan**

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.
f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir
Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
fariborzabbasi@ymail.com
Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.
akhavang12@gmail.com

Received: January 2022 and Accepted: June 2022

Abstract

In this study, the seasonal applied water and physical and economic water productivity of soybean were evaluated through monitoring 37 farmers' fields (with furrow/border irrigation systems) in Moghan Plain, Ardabil Province, Iran, during the 2020-21 growing season. The net soybean water requirement during that growing season and its 10-year mean value ranged from 431-691 mm and 442-671 mm with a mean of 542 and 543 mm, respectively. The mean seasonal total applied water (irrigation + effective precipitation) and the grain yield were 6554 m^3 ha^{-1} and 2.90 ton ha^{-1}, ranging from 5005-10009 m^3 ha^{-1} and 2.05-4.12 ton ha^{-1}, respectively. The mean seasonal total applied water for spring soybean (7906 m^3 ha^{-1}) was significantly ($P < 0.01$) higher than its corresponding value for summer soybean (6390 m^3 ha^{-1}). Total water productivity (WP_{I+Pe}) and economic water productivity ($WP_{\$}$) ranged from 0.18 to 0.30 kg m^{-3} and 15.21×10^3 to 62.40×10^3 Rials m^{-3} with a mean of 0.24 kg m^{-3} and 33.19×10^3 Rials m^{-3}, respectively. In most of the studied farms (70% of total cases), the grain yield was higher than the minimum expected threshold for irrigated soybean (2.5 ton ha^{-1}). The results indicated that reasonable levels of grain yield and water productivity indices can be achieved by applying five and three irrigations for spring and summer soybean, respectively. The mean water application efficiency over soybean growth stages in the studied fields ranged between 50-82%.

Keywords: FAO Penman-Monteith, Furrow Irrigation, Economic Water Productivity, Net Water Requirement

[1]- Corresponding author: Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.