

مقاله علمی-پژوهشی

## بهینه‌سازی مصرف آب در مدیریت کم آبیاری در شرایط وقوع بارش در استان مازندران

محمد اسماعیل کمالی<sup>۱</sup>، حسین انصاری<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲

### چکیده

در این تحقیق ارزیابی اقتصادی کم آبیاری پرتقال تامسون با در نظر گرفتن دو سناریو به‌عنوان عمق آب کاربردی شامل ۱- فقط آب آبیاری و ۲- آب آبیاری و بارش در شهرستان ساری انجام شد. توابع تولید و هزینه در دو حالت محدودیت آب و زمین و به روش English محاسبه شدند. این توابع در دو نوع مدیریت آبیاری شامل بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز به دست آمدند. تابع هدف با استفاده از تحلیل‌های ریاضی و بر اساس حصول بیشترین درآمد خالص انجام شد. نتایج نشان داد که در صورت وقوع بارش، توابع تولید و هزینه باید با لحاظ مجموع مقدار بارش و آب آبیاری به‌عنوان آب کاربردی تعیین گردند. همچنین در صورت عدم وجود محدودیت آب، بیشترین درآمد خالص از واحد سطح، از عمق آب کاربردی در حالت عملکرد بیشینه ( $W_m$ ) به دست آمد که ۲۷۷/۴ و ۳۱۵/۶ میلی‌متر برای بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز می‌باشد. میزان عملکرد نیز در این حالت ۵۱/۳ و ۵۷/۴ تن در هکتار بود. در صورت محدودیت آب ( $W_w$ )، عمق بهینه به ترتیب ۲۵۷/۶ و ۲۸۷/۹ میلی‌متر می‌باشد که موجب ذخیره بیش از ۲۶٪ آب آبیاری می‌شود. در این حالت اگر محدودیت زمین هم باشد، باعث کاهش ۳/۳ و ۴/۱ درصدی درآمد خالص از واحد سطح می‌شود. اگرچه درآمد از واحد آب مصرفی ۴/۲ و ۵/۱ درصد افزایش می‌یابد؛ اما اگر محدودیت زمین نباشد، با آبیاری معادل آبیاری کامل، ۷/۵ و ۹/۲ درصد درآمد خالص از واحد سطح افزایش می‌یابد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد آب مصرفی را نیز حاصل می‌نماید. بر اساس نتایج این تحقیق، رعایت یک برنامه آبیاری باعث افزایش ۱۲٪ عملکرد می‌گردد که اگر با کم آبیاری همراه باشد، علاوه بر آن ۵٪ افزایش درآمد نیز حاصل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پرتقال، تابع تولید، عمق بهینه آب مصرفی، کم آبیاری، مازندران

### مقدمه

میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی و زیرزمینی کاهش یابد. یکی از روش‌های مدیریت آبیاری در زمان‌های کمبود آب در دسترس، اعمال کم آبیاری است که ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند بهره‌وری آب را نیز افزایش دهد (Geerts and Raes 2009). از طرفی دیگر با توجه به اینکه میزان بارش به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب در زمان‌های مختلف متفاوت است و ایران در سال‌های مختلف با خشک‌سالی‌های خفیف تا شدید مواجه است، لذا در زمان فراهم بودن آب نیز اعمال کم آبیاری جهت حصول منابع پایدار آب ضروری است؛ اما از آنجایی کشاورزان کم آبیاری را موجب کاهش محصول می‌دانند، پذیرش این موضوع برای آن‌ها به‌سختی انجام می‌شود. در نتیجه ضروری است ارزیابی اقتصادی مدیریت کم آبیاری مخصوصاً برای محصولات با سطح زیر کشت زیاد و نیاز آبی بالا بررسی گردد. به‌طوری‌که برخی محققین کم آبیاری را از نظر اقتصادی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که با این شیوه می‌توان علاوه بر افزایش راندمان مصرف آب و کاهش هزینه‌ها، درآمد خالص را نیز افزایش داد (Yonts, 2011).

یکی از محصولات باغی مهم در استان مازندران، پرتقال می‌باشد که دارای بیش از ۸۴ هزار هکتار سطح زیر کشت می‌باشد. تقریباً ۶۰-

محدودیت منابع آب، افزایش تقاضای آب و پایین بودن بهره‌وری آب از مشکلات اساسی بخش کشاورزی در ایران می‌باشند. آب زیرزمینی نیز به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع آب شیرین در دسترس تحت فشارهای طبیعی و انسانی در ایران است که از یک‌طرف تغییر اقلیم و گرم‌تر شدن هوا باعث کاهش تغذیه آب زیرزمینی می‌شود و از طرفی دیگر برداشت‌های بی‌رویه به دلیل منافع اقتصادی، در دسترس بودن آن را با مخاطره مواجه نموده است (Ashraf et al., 2021). بر طبق برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی (تصویب‌نامه هیأت وزیران، ۱۴۰۰)، کاهش سالانه و تجمعی آب زیرزمینی در استان مازندران ۶ و ۱۶۲/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که بر این اساس میزان برداشت آب کشاورزی در این استان تا سال ۱۴۰۵ باید به میزان ۱۱۷/۸ و ۳۰۲

۱- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

\* نویسنده مسئول: Email: ansary@um.ac.ir

مقدار سود با تحلیل‌های ریاضی و در دو حالت محدودیت آب و محدودیت زمین برآورد می‌شوند (Sepaskhah and Akbari, 2005; Capra et al., 2011; Hughes, 2011). در تحقیقات مختلفی از روش English برای مدیریت کم آبیاری استفاده شده است که از جمله آن از این روش برای مدیریت‌های مختلف کم آبیاری گندم در شمال غربی آمریکا، پنبه در کالیفرنیا و ذرت در زیمباوه نیز استفاده شد و نشان داد که کاهش ۱۵ تا ۵۹ درصد آب از نظر اقتصادی قابل‌قبول است (English and Raja, 1996). در این تحقیق میزان کم آبیاری در شرایط محدودیت زمین تقریباً ۱۵٪ الی ۱۶٪ و در شرایط محدودیت آب ۲۸٪ الی ۵۹٪ بود. نتایج این تحقیق نشان داده بود که حاشیه خطا در تعیین استفاده از آب بهینه نسبتاً گسترده بوده است. همچنین ارزیابی اقتصادی کم آبیاری بر روی ۲۰ باغ مرکبات در ایتالیا انجام شد (Capra et al., 2011). نتایج نشان داد که بهترین عمق آبیاری در شرایط محدودیت زمین، به میزان ۱۲/۷ درصد و در شرایط محدودیت آب، به میزان ۲۵/۶ درصد آبیاری کامل است. در تحقیقی در اسپانیا، کم آبیاری پرتقال به میزان ۳۰ درصد باعث افزایش ۴۶/۶ درصدی درآمد خالص به ازای واحد آب مصرفی شد (Pérez-Pérez et al., 2010). تحقیقی دیگر در اسپانیا نیز نشان داد که آبیاری درختان نارنگی به میزان ۸۰٪ نیاز آبی، سبب کاهش درآمد ناخالص و بهره‌وری آب نشده است (Ballester et al., 2011). در تحقیقی اعماق بهینه مصرف آب جهت آبیاری چغندر قند زمانی که قیمت محصول متغیر و تابعی از مجموع آب آبیاری و بارش است، با استفاده از آنالیزهای اقتصادی و ریاضی به دست آمد (Shabani et al., 2018). نتایج نشان داد که عمق بهینه آب در شرایط محدودیت زمین، باعث ۱ درصد افزایش درآمد خالص بر واحد سطح نسبت به آبیاری کامل داشته است. در حالی که عمق بهینه آب در شرایط محدودیت آب، باعث افزایش ۱۲٪ درآمد خالص نسبت به آبیاری کامل شد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت آب، افزایش بارش فصلی از ۰ به ۶ و ۱۲ سانتی‌متر، به ترتیب منجر به کاهش عمق بهینه آب از ۴۷٪ به ۵۵٪ و ۶۵٪ و افزایش سطح آبیاری شده از ۹۰٪ به ۱۳۵٪ و ۲۲۵٪ نسبت به آبیاری کامل شده است.

آنالیز اقتصادی سطح بهینه آبیاری تکمیلی درختان دیم انجیر با استفاده از توابع تولید-آب و هزینه-آب و در شرایط با سیستم آبیگر (Micro-catchment water harvesting systems) و بدون سیستم آبیگر به دست آمد (Khozaie and Sepaskhah, 2018). نتایج نشان داد بدون به‌کارگیری آبیگر، با کاهش ۵۵٪ آب مصرفی، عملکرد انجیر ۲۸٪ کاهش می‌یابد و درآمد خالص نیز در مقایسه با شرایط عملکرد پیشینه، دو برابر می‌شود. با به‌کارگیری آبیگر، کاهش ۵۰٪ آب مصرفی باعث کاهش ۱۴٪ عملکرد انجیر و افزایش درآمد خالص به مقدار دو برابر نسبت به شرایط عملکرد پیشینه می‌شود.

٪ از میوه پرتقال در ایران در استان مازندران به میزان بیش از دو میلیون تن تولید می‌شود (احمدی، ۱۳۹۹). نیاز آبی پرتقال در استان مازندران بر طبق سند ملی آب، ۴۲۷۰ الی ۵۴۵۰ مترمکعب در هکتار است. از طرفی دیگر آمار ۲۰ ساله بارش منتهی به سال ۱۳۹۷ در شهری مانند ساری در استان مازندران نشان می‌دهد که تنها ۳۰ درصد از میزان بارش سالانه در ۶ ماه اول سال و ۱۸ درصد از میزان بارش در ۴ ماه بین خرداد تا شهریور که زمان اصلی تشکیل و رشد میوه و نیاز آبی درخت است، رخ می‌دهد. با توجه به افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب چاه‌ها در زمان کمبود بارش، اعمال کم آبیاری جهت تأمین منابع آب پایدار برای پرتقال ضروری است.

هدف از بهینه‌سازی آب آبیاری، بیشینه کردن محصول یا درآمد خالص در دو حالت محدودیت زمین و آب می‌باشد. برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری، باید از تابع عملکرد-آب استفاده نمود که عموماً از مستندات تحقیقاتی موجود استفاده می‌شود و در غیر این صورت باید آن‌ها به دست آورد. برای محصول موردنظر در منطقه مورد مطالعه این توابع وجود نداشت و لذا باید این توابع به دست می‌آمد. سپس با بهینه‌سازی این توابع، می‌توان اعماق بهینه آب آبیاری را به دست آورد (سیاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی کم آبیاری عموماً بر روی محصولات زراعی انجام شده است و به دلیل سختی اجرا برای محصولات باغی، تحقیقات کمتری بر روی آن‌ها در این زمینه انجام شد (میری و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مشاهدات میدانی نشان داده است که عموماً آبیاری باغات بدون در نظر گرفتن یک برنامه مشخص انجام می‌گردد. دلیل آن نیز این است که تأثیر برنامه آبیاری بر روی درآمد کشاورز و باغدار به صورت ریالی محسوس نیست. این موضوع در مناطق شمالی ایران بیشتر مشاهده می‌شود. لذا ضروری است که در مدیریت کم آبیاری، لزوم یک برنامه مشخص آبیاری و تعیین حد بهینه کم آبیاری و میزان درآمد خالص موردبررسی قرار گیرد. از طرفی دیگر در تحقیقات اولیه، ارزیابی اقتصادی کم آبیاری فقط با لحاظ میزان آب آبیاری در توابع درآمد-آب و هزینه-آب انجام گردید (Capra et al., English, 1990). در صورتی که جهت ارزیابی صحیح از تأثیر کم آبیاری، باید علاوه بر عمق آب مصرفی، میزان بارش نیز در توابع درآمد-آب و هزینه-آب لحاظ گردد (Sepaskhah and Akbari, 2005; Mousavi et al., 2010; shabani et al., 2018). لذا در این تحقیق ارزیابی اقتصادی مدیریت کم آبیاری پرتقال با در نظر گرفتن دو سناریو برای آب کاربردی شامل ۱- فقط آب آبیاری و ۲- آب آبیاری و بارش مدنظر قرار گرفت. یکی از روش‌ها جهت تحلیل اقتصادی مدیریت کم آبیاری، روش English (1990) است. در این روش تابع تولید یک تابع درجه دوم و تابع هزینه یک تابع خطی است و عمق‌های بهینه آبیاری، مقدار هزینه و

رویشی شده است؛ اما کاهش معنی‌داری بر روی عملکرد ایجاد نکرده است. در تحقیقی تجزیه و تحلیل کم آبیاری گندم و ذرت شیرین در شرایط کاربرد آب شور به دست آمد (عزیزیان و سپاسخواه، ۱۳۹۲). نتایج نشان داد که برای به دست آوردن بیشترین محصول گندم و بیشترین سود در شرایط محدودیت زمین و در شرایط محدودیت آب، مقادیر بهینه آب به ترتیب ۹۶۱، ۹۵۲ و ۹۲۵ میلی‌متر در شرایط غیر شور و قیمت‌های آب و محصول در آن زمان محاسبه شد. برای ذرت شیرین این مقادیر به ترتیب ۳۷۹، ۳۷۵ و ۲۳۸ میلی‌متر به دست آمد. میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط محدودیت آب برای گندم و ذرت شیرین به ترتیب ۴/۵ و ۳۷ درصد و افزایش سطح زیر کاشت نیز به ترتیب ۵ و ۵۹ درصد محاسبه گردید. در تحقیقی دیگر، ارزیابی اقتصادی کم آبیاری فصلی و درون فصلی سورگوم با استفاده از توابع عملکرد-آب و درآمد-آب انجام شد (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). در روش فصلی توزیع زمانی آب کاربردی منظور نگردید و تحلیل میزان سود و هزینه‌بر اساس توابع تولید و هزینه فصلی انجام شد. در حالی که در روش درون فصلی، تصمیم‌گیری بر اساس تخصیص آب در مراحل مختلف رشد گیاه انجام شد. در این تحقیقات فقط آب آبیاری به‌عنوان آب کاربردی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در روش فصلی بهترین مقدار کاهش بهینه آب، ۱۸٪ و در روش درون فصلی، ۲۳٪ بوده است. در تحقیقی بهینه‌سازی آب آبیاری چغندرقد پاییزه در ذرفول در شرایط محدودیت زمین و آب انجام شد (خرمیان و حسین پور، ۱۳۹۵). نتایج نشان داد که استفاده از عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت آب منجر به کاهش ۴۳٪ مصرف آب، کاهش ۲۱٪ عملکرد محصول، افزایش عیار چغندرقد و کاهش هزینه‌های آبیاری شد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا تعیین توابع تولید-آب و هزینه-آب بر اساس روش English مدنظر قرار گرفت. برای این منظور آزمایشی در سال ۱۳۹۷ در یکی از باغات شهرستان ساری با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴/۶۹ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵/۱۱ دقیقه شمالی و بر روی ۶۰ درخت ۲۵ ساله پرتقال تامسون ناول با روش آبیاری قطره‌ای انجام شد. انتخاب درختانی با ویژگی‌ها و شرایط یکسان، استفاده از آبی که مشکلی از نظر کیفیت ایجاد نکند، کارکرد قطره‌چکان‌ها بر اساس دبی اسمی آن‌ها و مدیریت مناسب کود دهی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، از جمله محدودیت‌هایی است که در اجرای این طرح‌ها باید مدنظر قرار گیرد. لذا آب آبیاری از نظر کیفی آزمایش شد که مشکلی دارا نبود و از قطره‌چکان‌های جدید نیز برای این تحقیق استفاده شد. آمار بلندمدت هواشناسی از منطقه مورد مطالعه نشان داد که متوسط بارش و تبخیر سالانه به ترتیب ۷۵۰ و ۱۱۰۰ میلی‌متر

به‌طور کلی مقدار بهینه آب آبیاری تکمیلی در شرایط با به‌کارگیری آبیگر کمتر از شرایط بدون به‌کارگیری آبیگر می‌شود. اعماق بهینه کم آبیاری مرکبات در رامسر نیز در شرایط محدودیت آب و زمین با استفاده از روش English محاسبه شد (عبادی و همکاران، ۱۳۹۴). عمق آب کاربردی در این روش فقط عمق آب آبیاری بود که در حالت عملکرد بیشینه ۱۹۹/۸ میلی‌متر به دست آمد. نتایج آن نیز نشان داد با کاربرد عمق آب در حالت محدودیت آب، مصرف آب ۲۶٪ کاهش یافت و بهره‌وری آب و درآمد خالص به ازای واحد حجم آب، ۴۱/۸٪ و ۲۳٪ افزایش یافت. بهینه‌سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه‌ای در شرایط محدودیت آب و زمین در کرج انجام شد (علیزاده و عباسی، ۱۳۹۵). نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت زمین، سطوح بهینه آب و کود اوره مصرفی برای دستیابی به حداکثر سود خالص برابر با ۹۴۰ میلی‌متر و ۳۷۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در شرایط محدودیت آب نیز این مقادیر بهینه برابر با ۷۷۴ میلی‌متر (۲۳٪ کاهش مصرف آب) و ۳۵۷ کیلوگرم کود اوره در هکتار (۱۰٪ کاهش مصرف کود) می‌باشد. بهینه‌سازی مصرف آب و کود نیتروژن در کشت ذرت در شیراز نیز به همین روش انجام شد (Zand-Parsa and Sepaskhah, 2001). بهینه‌سازی آب مصرفی چغندرقد در شرایط محدودیت زمین و آب به دست آمد (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۸). در این پژوهش، تابع تولید محصول چغندرقد بر اساس مقدار و شوری آب آبیاری به دست آمد. سپس معادلات لازم جهت تعیین عمق بهینه آب آبیاری، زمانی که قیمت چغندرقد متغیر و تابع کیفیت آن می‌باشد، تعیین گردید. به ازای شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر، نتایج نشان داد که برای به دست آوردن بیشینه محصول چغندرقد و سود در شرایط محدودیت زمین و آب مقادیر بهینه آب به ترتیب برابر ۱/۸۷، ۱/۷۷ و ۱/۵۲ متر می‌باشد. میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط محدودیت آب ۱۸/۷ درصد و افزایش سطح زیر کشت نیز ۲۰ درصد محاسبه گردید.

بهینه‌سازی حجم آب مصرفی لوبیا در لرستان آزمایش با سطوح مختلف آبیاری و در شرایط محدودیت آب و زمین انجام شد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج نشان داد که در شرایط عدم محدودیت آب، بیشترین عملکرد (۲/۵ تن در هکتار) به ازای مصرف ۶۲۶۹ مترمکعب در هکتار به دست آمده است. در شرایط محدودیت زمین، میزان بهینه آب مصرفی ۵۰۶۹ (۱۹٪ کاهش مصرف آب) بود. در شرایط کمبود آب، میزان بهینه آب مصرفی ۳۸۰۳ مترمکعب در هکتار (۳۹٪ کاهش مصرف آب) بوده است که با ایجاد ۰/۶۵ هکتار زمین بیشتر برای آبیاری، بیشترین درآمد خالص در واحد سطح را ایجاد کرده بود. در تحقیقی در جنوب کرمان، تأثیر کم آبیاری بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مورد بررسی قرار گرفت (مقبلی دامنه و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج نشان داد که کم آبیاری به میزان ۸۰٪ تبخیر-تصرف گیاه سبب کاهش مصرف آب به میزان ۱۷٪ و کاهش معنی‌دار رشد

که شامل ۱- فقط آب آبیاری، ۲- آب آبیاری به اضافه بارش مؤثر بود. پس از محاسبه توابع تولید، هزینه و درآمد، بهینه‌سازی آن‌ها بر اساس حصول درآمد خالص بیشینه انجام شد. برای این منظور مشتق تابع درآمد خالص در کل سطح باید صفر شود که به صورت رابطه ۸ می‌باشد.

$$\frac{\partial i_f(w)}{\partial w} = A \times \frac{\partial i_l}{\partial w} + i_l \times \frac{\partial A}{\partial w} = 0 \quad (8)$$

سپس شش عمق بهینه آب آبیاری (OIW) به صورت زیر تعیین شد.

عمق آب لازم برای حداکثر محصول ( $W_m$ ):

برای این منظور مشتق تابع تولید باید برابر صفر گردد (شکل ۱ و معادله ۹). در نتیجه عمق آب لازم برای حداکثر محصول به صورت رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$\frac{\partial(y(w))}{\partial w} = 0 \quad (9)$$

$$W_m = \frac{-b_1}{2c_1} \quad (10)$$

#### عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین ( $W_1$ ):

در شرایطی که زمین عامل محدودکننده باشد، رابطه ۱۱ برقرار می‌باشد. در نتیجه تابع بهینه درآمد خالص به صورت رابطه ۱۲ و عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت زمین به صورت رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

$$\frac{\partial A}{\partial w} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial i_f(w)}{\partial w} = A \times \frac{\partial i_l}{\partial w} = 0 \rightarrow PC \times \frac{\partial(y(w))}{\partial w} = \frac{\partial(C(w))}{\partial w} \quad (12)$$

$$W_1 = \frac{b_2 - b_1 P_c}{2c_1 P_c} \quad (13)$$

#### عمق بهینه آب در شرایط محدودیت آب ( $W_w$ ):

در شرایطی که آب عامل محدودکننده باشد، مشتق مساحت کل به صورت رابطه ۱۴ و تابع بهینه درآمد خالص به صورت رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود. در نتیجه عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب به صورت رابطه ۱۶ به دست می‌آید.

$$\frac{\partial A}{\partial w} = \frac{-W_t}{w^2} \quad (14)$$

$$\frac{\partial i_f(w)}{\partial w} = A \times \frac{\partial i_l}{\partial w} + i_l \times \frac{\partial A}{\partial w} = 0 \quad (15)$$

$$W_w = \sqrt{\frac{a_1 \times P_c - a_2}{P_c \times c_1}} \quad (16)$$

#### عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب ( $W_{ew}$ ):

این عمق، عمقی است که در آن درآمد خالص به ازای واحد آب مصرفی، برابر با درآمد خالص به ازای واحد آب مصرفی در عمق آبیاری کامل باشد (رابطه ۱۷). در این صورت عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب ( $W_{ew}$ ) به صورت رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود.

بوده است. برای به دست آوردن توابع موردنظر، سطوح مختلفی از میزان آبیاری بر روی درختان اعمال شد که شامل ۱- آبیاری به اندازه ۱۰۰٪ رطوبت سهل الوصول خاک، ۲- آبیاری به اندازه ۸۰٪ رطوبت سهل الوصول خاک، ۳- آبیاری به اندازه ۶۵٪ رطوبت سهل الوصول خاک و ۴- آبیاری به اندازه ۵۰٪ رطوبت سهل الوصول خاک بود. این تیمارها در ۵ تکرار و برای دو نوع مدیریت آبیاری شامل الف- بدون دور آبیاری (آبیاری در زمان رسیدن رطوبت خاک به حد پایین رطوبت RAW) و ب- دور آبیاری ثابت ۴ روز اعمال شد. برای تیمار بدون دور آبیاری، میزان رطوبت خاک به صورت روزانه پایش شد و زمانی که میزان رطوبت به حد پایین رطوبت سهل الوصول رسید، آبیاری بعدی انجام شد. برای تیمار با دور آبیاری ثابت، در روز موردنظر، رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و با استفاده از فرمول ۱ و ۲ میزان عمق آبیاری (D) و حجم آبیاری (V) محاسبه شد.

$$D = (FC - \theta) \times pb \times MAD \times Z \times P_w \quad (1)$$

$$V = D \times A \quad (2)$$

در این رابطه  $FC$  = رطوبت در حد ظرفیت زراعی،  $\theta$  رطوبت اندازه‌گیری شده خاک،  $pb$  = چگالی ظاهری خاک،  $MAD$  = تخلیه مجاز رطوبتی،  $Z$  = عمق ریشه،  $P_w$  = درصد خیس شدگی و  $A$  = مساحت در نظر گرفته شده برای هر درخت می‌باشد. سپس توابع تولید  $y(w)$ ، هزینه  $c(w)$  و درآمد  $i_l(w)$  به ترتیب به صورت روابط ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد. درآمد خالص در کل سطح و کل سطح قابل آبیاری نیز توسط روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌گردند.

$$y(w) = c_1 w^2 + b_1 w + a_1 \quad (3)$$

$$c(w) = b_2 w + a_2 \quad (4)$$

$$i_l(w) = P_c \cdot y(w) - c(w) \quad (5)$$

$$i_f(w) = A \times [P_c \cdot y(w) - c(w)] \quad (6)$$

$$A = \frac{W_t}{w} \quad (7)$$

که در آن  $y(w)$  عملکرد در واحد سطح ( $kg/ha$ )،  $w$  عمق آب کاربردی (میلی‌متر)،  $c(w)$  هزینه تولید در واحد سطح (ریال بر هکتار)،  $i_l(w)$  درآمد خالص (سود) در واحد سطح (ریال بر هکتار)،  $P_c$  قیمت واحد وزن محصول (ریال بر کیلوگرم)،  $i_f(w)$  درآمد خالص در کل سطح (ریال)،  $A$  کل سطح،  $W_t$  کل آب موجود (قابل دسترس) و  $a_1$ ،  $b_1$ ،  $c_1$ ،  $a_2$  و  $b_2$  ضرایب ثابت می‌باشند. هزینه‌های متغیر شامل هزینه آب، کود، روغن، سم (حشره‌کش، کنه‌کش و قارچ‌کش)، علف‌کش، عملیات کودپاشی، عملیات سم‌پاشی، عملیات علف‌کش (شامل مبارزه مکانیکی و اجرای مبارزه شیمیایی با علف‌های هرز)، هرس، استهلاک تجهیزات آبیاری، حمل نهاده‌ها، برق و برداشت میوه بوده است. هزینه‌های ثابت نیز شامل هزینه‌های آماده‌سازی زمین، حفر چاله، کاشت نهال، خرید نهال و زمین (اجاره زمین) بوده است. برای لحاظ مقدار عمق آب کاربردی در این تحقیق دو سناریو مدنظر قرار گرفت

$$i_l(w_{el}) = i_l(w_m) \quad (19)$$

$$W_{el} = \frac{-(P_c b_1 - b_2) + Z_1}{2P_c c_1} \quad (20)$$

عمق آب در حالت سر به سری ( $W_k$ ):

این عمق، عمقی است که درآمد ناخالص برابر با هزینه‌ها می‌باشد (رابطه ۲۱) و به صورت رابطه ۲۲ محاسبه می‌گردد.

$$i_l(w_k) = 0 \quad (21)$$

$$W_k = \frac{-(P_c b_1 - b_2) + \sqrt{(P_c b_1 - b_2)^2 - 4P_c c_1 (P_c a_1 - a_2)}}{2P_c c_1} \quad (22)$$

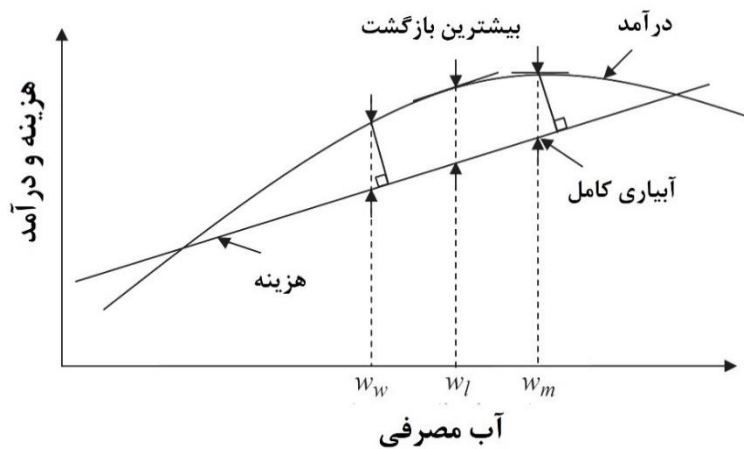
$$\frac{i_l(w_{ew})}{w_{ew}} = \frac{i_l(w_m)}{w_m} \quad (17)$$

$$W_{ew} = \quad (18)$$

$$\frac{-\left(\frac{P_c b_1^2 + 4P_c a_1 c_1 - 4a_2 c_1}{2b_1}\right) + \sqrt{\left(\frac{P_c b_1^2 + 4P_c a_1 c_1 - 4a_2 c_1}{2b_1}\right)^2 - 4P_c c_1 (P_c a_1 - a_2)}}{2P_c c_1}$$

عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین ( $W_{el}$ ):

این عمق، عمقی است که با آن درآمد خالص در واحد سطح برابر با درآمد خالص در واحد سطح با عمق آبیاری کامل باشد (رابطه ۱۹). در این صورت عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین ( $W_{el}$ ) به صورت رابطه ۲۰ به دست می‌آید.



شکل ۱- نمایش ریاضی از اعماق بهینه در شرایط محدودیت آب و زمین (Sepaskhah and Akbari, 2005)

۴- درآمد خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی ( $IUW$ ) (ریال بر مترمکعب)

$$IUW = \frac{i_l(w)_{OWD}}{W_{OWD}} \quad (26)$$

که در آن  $i_l(w)_{OWD}$  درآمد خالص در واحد سطح (ریال بر هکتار) و  $OWD$  مقدار آب مصرفی در واحد سطح برای عمق‌های بهینه (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

۵- درصد افزایش درآمد خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی ( $IIUW$ ) (بر حسب درصد):

$$IIUW = \frac{(IUW_{OWD} - IUW_{w_m}) \times 100}{IUW_{w_m}} \quad (27)$$

که  $IUW_{w_m}$  و  $IUW_{OWD}$  درآمد خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی با کاربرد اعماق بهینه و  $w_m$  می‌باشد (ریال بر هکتار).

۶- درآمد خالص به ازای واحد محصول ( $IUY$ ) (ریال بر کیلوگرم)

$$IUY = \frac{(i_l(w)_{OWD}) \times 100}{Y_{OWD}} \quad (28)$$

که در آن  $i_l(w)_{OWD}$  درآمد خالص به ازای واحد زمین و  $Y_{OWD}$  میزان محصول برای عمق‌های بهینه است.

ارزیابی اقتصادی عمق‌های بهینه آبیاری

برای ارزیابی عمق‌های بهینه آبیاری به دست آمده از شاخص‌هایی استفاده شده است که به صورت زیر می‌باشد.

۱- درصد صرفه‌جویی در مصرف آب ( $WS$ ):

$$WS = \frac{(W_m - W_{OWD}) \times 100}{W_m} \quad (23)$$

که  $W_m$  عمق آب آبیاری که بیشترین عملکرد را نتیجه می‌دهد و  $W_{OWD}$  عمق‌های بهینه آبیاری به دست آمده می‌باشد.

۲- درصد کاهش عملکرد نسبت به عملکرد بیشینه ( $YR$ ):

$$YD = \frac{(Y_{w_m} - Y_{OWD}) \times 100}{Y_{w_m}} \quad (24)$$

که  $Y_{w_m}$  و  $Y_{OWD}$  تابع تولید به ترتیب به ازای  $w_m$  و سایر عمق‌های بهینه آبیاری می‌باشند.

۳- درصد کاهش درآمد خالص از واحد سطح ( $IRUL$ ):

$$IRUL = \frac{(i_l(w)_{w_m} - i_l(w)_{OWD}) \times 100}{i_l(w)_{w_m}} \quad (25)$$

که  $i_l(w)_{w_m}$  و  $i_l(w)_{OWD}$  به ترتیب درآمد خالص در واحد سطح (ریال بر هکتار) برای عمق آبیاری ماکزیمم ( $w_m$ ) و سایر عمق‌های بهینه آبیاری می‌باشد.

$$IEY_{OWD} = \frac{(EY_{OWD} - EY_{Wm}) \times 100}{EY_{Wm}} \quad (33)$$

$$WP = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب مصرفی}} \quad (34)$$

### نتایج و بحث

پس از اتمام آبیاری، مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف محاسبه شد که برای تیمار آبیاری کامل در دور آبیاری متغیر و ۴ روز به ترتیب ۱۶۲/۱ و ۲۰۷ میلی‌متر بود (جدول ۱). میزان عملکرد نیز مطابق شکل ۲ می‌باشد. در تحقیق میری و همکاران (۱۳۹۳) برای دور آبیاری ۳ روز این مقدار ۲۴۳ میلی‌متر به دست آمده بود. در تحقیق شهبان و همکاران نیز آب مصرفی در دور آبیاری متغیر برای تیمار آبیاری کامل در سال اول ۳۶۶ میلی‌متر و در سال دوم ۲۸۵ میلی‌متر بوده است (Shahabian et al., 2012). از دلایل اختلاف می‌تواند میزان بارش، شرایط اقلیمی منطقه، سن درختان و نحوه اندازه‌گیری نیاز آبی درختان بود که در تحقیقات مذکور به روش غیرمستقیم و با محاسبه تبخیر-تعرق مرجع و استفاده از ضریب گیاهی پیشنهادی فائو بوده است. در صورتی که در این تحقیق نیاز آبی درختان به روش مستقیم و با اندازه‌گیری بیلان رطوبتی خاک به دست آمده است.

۷- کاهش درآمد خالص به ازای واحد محصول (IRUY) (%)

$$IRUY = \frac{(IUY_{Wm} - IUY_{OWD}) \times 100}{IUY_{Wm}} \quad (29)$$

که در آن  $IUY_{OWD}$  و  $IUY_{Wm}$  میزان درآمد خالص به ازای واحد محصول برای عمق‌های  $W_m$  و عمق‌های بهینه می‌باشد.

۸- نسبت درآمد به هزینه (BCR)

$$BCR = \frac{\text{درآمد}}{\text{هزینه}} \quad (30)$$

باید توجه نمود که برای اینکه یک پروژه، ارزش اقتصادی داشته باشد، نسبت منافع به هزینه آن (شاخص B/C) باید بیشتر از یک باشد. شایان ذکر است که با کاربرد عمق آب  $W_w, W_l, W_1, W_w$  و  $W_k$ ، مصرف آب در واحد سطح (یک هکتار) نسبت به حالت  $W_m$  کاهش می‌یابد و لذا مساحت قابل آبیاری بیش از واحد سطح قبلی (یک هکتار) خواهد شد که این مساحت قابل آبیاری (IA)، میزان تولید معادل (EY، کیلوگرم) و درصد تولید اضافه‌شده (IEY) با استفاده از روابط ۳۱، ۳۲ و ۳۳ به دست می‌آیند. همچنین نسبت درآمد به هزینه معادل (EBCR) و نسبت افزایش درآمد خالص به ازای واحد زمین (IIUL) وقتی که میزان آب مصرفی معادل با  $W_m$  باشد نیز محاسبه شده است. بهره‌وری آب نیز با استفاده از رابطه ۳۴ به دست آمد.

$$IA_{OWD} = \frac{W_m}{W_{OWD}} \quad (31)$$

$$EY_{OWD} = IA_{OWD} \times Y_{OWD} \quad (32)$$

جدول ۱- مقدار کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف (میلی‌متر)

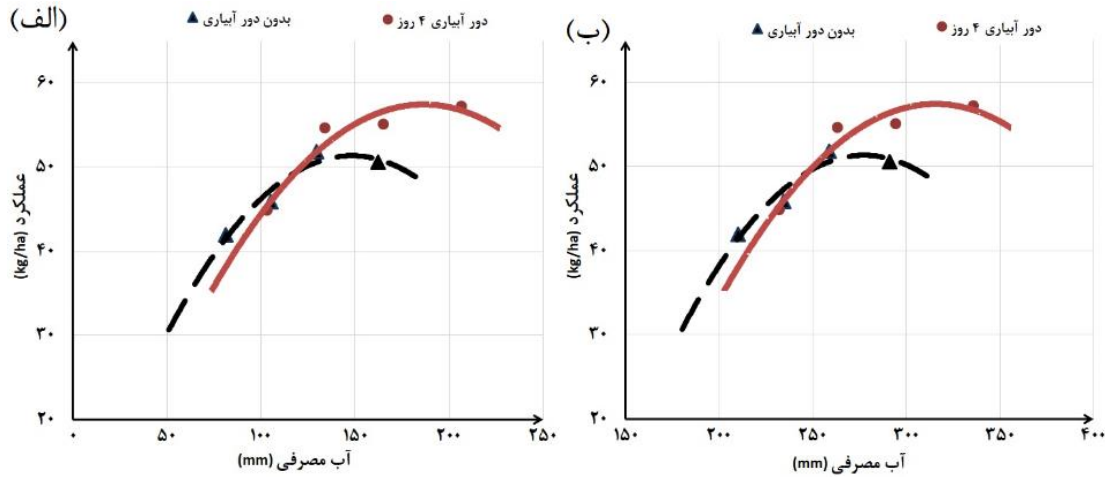
دور آبیاری ۴ روز				بدون دور آبیاری			
0.5RAW	0.65RAW	0.8RAW	RAW	0.5RAW	0.65RAW	0.8RAW	RAW
۱۰۴/۵	۱۳۴/۵	۱۶۵/۶	۲۰۷	۸۱/۱	۱۰۵/۴	۱۲۹/۷	۱۶۲/۱



شکل ۲- میزان عملکرد درخت پرتقال در سطوح و مدیریت‌های مختلف آبیاری

محاسبه شد (جدول ۲). پس از آن، اعماق بهینه برای شرایط مختلف مدیریت آبیاری محاسبه شد (جدول ۳).

سیس نمودار تابع تولید با هر دو نوع مدیریت آبیاری و در دو سناریو مذکور به دست آمد (شکل ۳) و توابع تولید، هزینه و درآمد



شکل ۳- نمودار تابع تولید-آب در حالت الف- فقط آب آبیاری، ب- آب آبیاری به اضافه بارش

جدول ۲- توابع تولید، هزینه و درآمد در مدیریت‌های مختلف آبیاری

تابع درآمد	تابع هزینه	تابع تولید	W	تیمار
$i(w) = -43.8w^2 + 13187.2w + 649222$ $R^2 = 0.93$	$C(w) = 189.416w + 586428$ $R^2 = 0.86$	$Y(w) = -0.00219w^2 + 0.64989w + 3.1397$ $R^2 = 0.93$		بدون دور آبیاری
$i(w) = -34.8w^2 + 13165.3w + 527157$ $R^2 = 0.93$	$C(w) = 179.525w + 589763$ $R^2 = 0.84$	$Y(w) = -0.00174w^2 + 0.64929w - 3.1303$ $R^2 = 0.93$	آب آبیاری	دور آبیاری ۴ روز
$i(w) = -43.8w^2 + 24501.4w - 1783545$ $R^2 = 0.93$	$C(w) = 189.416w + 561975$ $R^2 = 0.86$	$Y(w) = -0.00219w^2 + 1.2156w - 117.276$ $R^2 = 0.93$	آب آبیاری	بدون دور آبیاری
$i(w) = -34.8w^2 + 22153.5w - 1752634$ $R^2 = 0.93$	$C(w) = 179.525w + 566586$ $R^2 = 0.84$	$Y(w) = -0.00174w^2 + 1.0987w - 115.961$ $R^2 = 0.93$	بارش + آب آبیاری	دور آبیاری ۴ روز

جدول ۳- عمق‌های بهینه آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری

$W_k$ (میلی‌متر)	$W_{ew}$ (میلی‌متر)	$W_{el}$ (میلی‌متر)	$W_l$ (میلی‌متر)	$W_w$ (میلی‌متر)	$Y_m$ (تن بر هکتار)	$W_m$ (میلی‌متر)	W	تیمار
۴۹/۱	۸۰/۶	۱۴۴/۰	۱۴۶/۲	۱۰۹/۳	۵۱/۳	۱۴۸/۳	آب آبیاری	بدون دور آبیاری
۶۱/۱	۱۰۰/۵	۱۸۱/۴	۱۸۴/۰	۱۳۶/۹	۵۷/۴	۱۸۶/۵	آب آبیاری	دور آبیاری ۴ روز
۱۷۸/۲	۲۳۹/۲	۲۷۳/۱	۲۷۵/۳	۲۵۷/۶	۵۱/۳	۲۷۷/۴	آب آبیاری + بارش	بدون دور آبیاری
۱۹۰/۲	۲۶۲/۷	۳۱۰/۵	۳۱۳/۱	۲۸۷/۹	۵۷/۴	۳۱۵/۶	آب آبیاری + بارش	دور آبیاری ۴ روز

مقبلی دامنه و همکاران (۱۳۹۷) و عبادی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. همچنین در صورت رعایت برنامه آبیاری، تأثیر کم آبیاری بر روی کاهش عملکرد کمتر خواهد بود. پس از برآورد اعماق بهینه، تحلیل اقتصادی در صورت استفاده از هر یک از این اعماق در دو سناریو مذکور انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در شرایط بدون دور آبیاری، عمق آب آبیاری جهت رسیدن به حداکثر محصول دهی ۱۴۸/۳ میلی‌متر است و در صورت رعایت دور آبیاری ۴ روز، ۱۸۶/۵ میلی‌متر می‌باشد که موجب افزایش ۱۲ درصدی محصول می‌شود. این امر موجب افزایش درآمد خالص بیش از ۱۱۳ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. این نتیجه با نتایج

جدول ۴- تحلیل اقتصادی عمق‌های بهینه آب مصرفی ( $W = \text{آب مصرفی}$ )

تیمار	شاخص مورد نظر	$W_m$	$W_w$	$W_l$	$W_{el}$	$W_{ew}$	$W_k$
بدون دور آبیاری	WS	--	۲۶/۳	۱/۵	۲/۹	۴۵/۷	۶۶/۹
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۲۶/۶	۱/۴	۲/۸	۴۶/۱	۶۷/۳
بدون دور آبیاری	YR	--	۶/۵	۰/۰۲	۰/۱	۱۹/۶	۴۲/۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۷/۵	۰/۰۲	۰/۱	۲۲/۴	۴۷/۷
بدون دور آبیاری	$i_i(w)$	۴۱۲۰۴۶۳۴	۳۵۲۰۹۳۷۸۷۱	۴۱۲۰۴۶۳۴	۴۱۲۰۴۶۳۴	۲۲۲۰۲۰۴۳۴	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر هکتار)	۵۲۵۰۲۹۴۰۲۰	۴۴۸۰۴۵۵۸۸۱	۵۲۵۰۲۹۴۰۲۰	۵۲۵۰۲۹۴۰۲۰	۲۸۲۰۹۴۲۰۲۷۸	۰
بدون دور آبیاری	IRUL	--	۱۴/۴	۰	۰	۴۵/۷	۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۴/۶	۰	۰	۴۶/۱	۱۰۰
بدون دور آبیاری	IUW	۲۷۷۰۹۱۱	۳۲۲۰۸۵۰	۲۸۲۰۱۶۱	۲۸۶۰۲۵۴	۲۷۷۰۹۱۱	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر مترمکعب)	۲۸۱۶۰۷	۳۲۷۰۵۷۶	۲۸۵۰۶۸۰	۲۸۹۰۶۱۵	۲۸۱۶۰۷	۰
بدون دور آبیاری	IIUW	--	۱۶/۲	۱/۵	۳/۰	۰/۰	-۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۶/۳	۱/۴	۲/۸	۰/۰	-۱۰۰
بدون دور آبیاری	هزینه واحد تولید	۱۱۰۹۷۱	۱۲۰۶۴۸	۱۱۰۹۶۵	۱۱۰۹۶۴	۱۴۰۵۷۶	۲۰۰۰۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر کیلوگرم)	۱۰۰۸۵۳	۱۱۰۵۶۱	۱۰۰۸۴۷	۱۰۰۸۴۵	۱۳۰۶۴۷	۲۰۰۰۰۰
بدون دور آبیاری	IUY	۸۰۰۲۹	۷۰۲۵۲	۸۰۰۳۵	۸۰۰۳۶	۵۰۴۲۴	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر کیلوگرم)	۹۰۱۴۷	۸۰۴۳۹	۹۰۱۵۳	۹۰۱۵۵	۶۰۳۵۳	۰
بدون دور آبیاری	IRUY	--	۸/۴	۰	۰	۳۲/۴	۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۷/۷	۰	۰	۳۰/۵	۱۰۰
بدون دور آبیاری	BCR	۱/۶۷	۱/۵۸	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۳۷	۱
دور آبیاری ۴ روز		۱/۸۴	۱/۷۳	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۴۷	۱
بدون دور آبیاری	WP	۳۴/۶	۴۳/۹	۳۵/۱	۳۵/۶	۵۱/۲	۶۰/۶
دور آبیاری ۴ روز	(کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۰/۸	۳۸/۸	۳۱/۲	۳۱/۶	۴۴/۳	۴۹/۲
بدون دور آبیاری	(IA)	--	۱/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۸۴	۳/۰۲
دور آبیاری ۴ روز	(هکتار)	--	۱/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۸۶	۳/۰۵
بدون دور آبیاری	(EY)	۵۱/۳	۶۵/۱	۵۲/۱	۵۲/۸	۷۶/۰	۸۹/۹
دور آبیاری ۴ روز	(تن در هکتار)	۵۷/۴	۷۲/۴	۵۸/۲	۵۹/۰	۸۲/۷	۹۱/۷
بدون دور آبیاری	(IEY)	--	۲۶/۹	۱/۵	۲/۹	۴۸/۰	۷۵/۱
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۲۶/۱	۱/۴	۲/۸	۴۴/۰	۵۹/۷
بدون دور آبیاری	IIUL	--	۱۶/۲	۱/۵	۳/۰	۰	-۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۶/۳	۱/۴	۲/۸	۰	-۱۰۰
بدون دور آبیاری	EBCR	۱/۶۷	۱/۷۹	۱/۶۸	۱/۶۹	۱/۶۹	۱/۰
دور آبیاری ۴ روز		۱/۸۴	۲/۰۰	۱/۸۶	۱/۸۷	۱/۸۶	۱/۰

وقتی که محدودیت آب وجود ندارد، بهترین عمق آب کاربردی برای حصول بیشترین درآمد خالص در واحد سطح، عمق  $W_m$  می‌باشد که  $۲۷۷/۴$  و  $۳۱۵/۶$  میلی‌متر برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز است. میزان BCR نیز در این حالت به ترتیب  $۱/۶۷$  و  $۱/۸۴$  خواهد بود. در این حالت نتایج  $W_m$  با  $W_l$  و  $W_{el}$  تفاوت معنی‌داری ندارد که این نتایج با نتایج عبادی و همکاران (۱۳۹۴) برای پرتقال و سهرابی مشک‌آبادی (۱۳۷۸) برای پنبه مطابقت دارد.

نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی نشان داد که رعایت یک دور آبیاری کوتاه، باعث افزایش ۱۲٪ در عملکرد می‌شود که اگر با کم آبیاری نیز همراه باشد، علاوه بر آن ۵٪ افزایش درآمد نیز حاصل می‌گردد و باعث ذخیره آب به میزان ۲۷۰ هزار لیتر بر هکتار می‌شود. جهت ارزیابی صحیح از میزان تأثیر کم آبیاری، مجموع آب آبیاری و بارش باید به عنوان عمق آب کاربردی لحاظ شود و توابع تولید-آب و هزینه-آب بر اساس آن به دست آیند. بر طبق نتایج این تحقیق،



جدول ۵- تحلیل اقتصادی عمق‌های بهینه آب (W= آب مصرفی+بارش)

W <sub>k</sub>	W <sub>ew</sub>	W <sub>el</sub>	W <sub>l</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>m</sub>	شاخص موردنظر	تیمار
۳۵/۸	۱۳/۸	۱/۶	۰/۸	۷/۱	--	WS	بدون دور آبیاری
۳۹/۸	۱۶/۸	۱/۶	۰/۸	۸/۸	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۴۲/۰	۶/۲	۰/۱	۰/۰۲	۱/۷	--	YR	بدون دور آبیاری
۴۷/۷	۸/۵	۰/۱	۰/۰۲	۲/۳	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۰	۳۵۵،۵۶۵،۵۲۰	۴۱۲،۴۲۹،۱۱۷	۴۱۲،۶۳۳،۸۲۸	۳۹۸،۹۴۸،۵۱۵	۴۱۲،۴۲۹،۱۱۷	ii(w)	بدون دور آبیاری
۰	۴۳۷،۳۰۴،۷۰۰	۵۲۵،۵۲۸،۴۰۱	۵۲۵،۷۵۹،۸۷۹	۵۰۳،۱۷۳،۹۷۵	۵۲۵،۵۲۸،۴۰۱	(ریال بر هکتار)	دور آبیاری ۴ روز
۱۰۰	۱۳/۸	۰	۰	۳/۳	--	IRUL	بدون دور آبیاری
۱۰۰	۱۶/۸	۰	۰	۴/۱	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۰	۱۴۸،۶۵۹	۱۵۱،۰۱۲	۱۴۹،۹۰۱	۱۵۴،۸۷۲	۱۴۸،۶۵۹	IUW	بدون دور آبیاری
۰	۱۶۶،۴۹۳	۱۶۹،۲۵۹	۱۶۷،۹۳۸	۱۷۴،۹۶۱	۱۶۶،۴۹۳	(ریال بر مترمکعب)	دور آبیاری ۴ روز
-۱۰۰	۰	۱/۶	۰/۸	۴/۲	--	IIUW	بدون دور آبیاری
-۱۰۰	۰	۱/۷	۰/۹	۵/۱	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۲۰،۰۰۰	۱۲،۶۱۴	۱۱،۹۶۲	۱۱،۹۶۲	۱۲،۰۹۸	۱۱،۹۶۸	هزینه واحد تولید	بدون دور آبیاری
۲۰،۰۰۰	۱۱،۶۷۹	۱۰،۸۴۳	۱۰،۸۴۵	۱۱،۰۲۰	۱۰،۸۵۱	(ریال بر کیلوگرم)	دور آبیاری ۴ روز
۰	۷،۳۸۶	۸،۰۳۸	۸،۰۳۸	۷،۹۰۲	۸،۰۳۲	IUY	بدون دور آبیاری
۰	۸،۳۲۱	۹،۱۵۷	۹،۱۵۵	۸،۹۸۰	۹،۱۴۹	(ریال بر کیلوگرم)	دور آبیاری ۴ روز
۱۰۰	۸/۰	۰	۰	۱/۶	--	IRUY	بدون دور آبیاری
۱۰۰	۹/۰	۰	۰	۱/۸	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۱/۰	۱/۵۹	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۶۵	۱/۶۷	BCR	بدون دور آبیاری
۱/۰	۱/۷۱	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۱	۱/۸۴		دور آبیاری ۴ روز
۱۶/۷	۲۰/۱	۱۸/۸	۱۸/۶	۱۹/۶	۱۸/۵	WP	بدون دور آبیاری
۱۵/۸	۲۰/۰	۱۸/۵	۱۸/۳	۱۹/۵	۱۸/۲	(کیلوگرم بر مترمکعب)	دور آبیاری ۴ روز
۱/۵۶	۱/۱۶	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۸	--	(IA)	بدون دور آبیاری
۱/۶۶	۱/۲۰	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۱۰	--	(هکتار)	دور آبیاری ۴ روز
۴۶/۴	۵۵/۸	۵۲/۱	۵۱/۷	۵۴/۴	۵۱/۳	(EY)	بدون دور آبیاری
۴۹/۹	۶۳/۲	۵۸/۳	۵۷/۹	۶۱/۵	۵۷/۴	(تن در هکتار)	دور آبیاری ۴ روز
-۹/۷	۸/۸	۱/۵	۰/۸	۵/۹	--	(IEY)	بدون دور آبیاری
-۱۳/۲	۱۰/۰	۱/۶	۰/۸	۷/۱	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
-۱۰۰	۰	۱/۶	۰/۸	۴/۲	--	IIUL	بدون دور آبیاری
-۱۰۰	۰	۱/۷	۰/۹	۵/۱	--	(%)	دور آبیاری ۴ روز
۱/۰	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۷۰	۱/۶۷	EBCR	بدون دور آبیاری
۱/۰	۱/۸۶	۱/۸۶	۱/۸۵	۱/۸۹	۱/۸۴		دور آبیاری ۴ روز

خالص از واحد سطح می‌شود؛ اما درآمد از واحد آب مصرفی ۴/۲ و ۵/۱ درصد افزایش می‌یابد؛ اما اگر محدودیت زمین نباشد، با آبیاری معادل آبیاری کامل، ۷/۵ و ۹/۲ درصد درآمد خالص از واحد سطح افزایش می‌یابد؛ زیرا با آب ذخیره شده می‌توان زمین بیشتری را آبیاری کرد و در نتیجه میزان درآمد خالص بر واحد سطح افزایش می‌یابد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد آب مصرفی را نیز حاصل می‌نماید. این نتایج با نتایج شعبانی و همکاران (Shabani et al., 2018) و کاپرا و همکاران (Capra et al., 2011) مطابقت دارد. شایان ذکر است که وقتی محدودیت آب و زمین وجود داشته

وقتی که محدودیت آب وجود دارد، بهترین عمق کاربردی، عمق W<sub>w</sub> است که ۲۵۷/۶ و ۲۸۷/۹ میلی‌متر به ترتیب برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز می‌باشد. این حالت باعث ذخیره بیش از ۲۶٪ آب آبیاری به میزان ۳۹۰ هزار لیتر در هکتار در دو حالت دور آبیاری می‌شود. این نتیجه با نتیجه تحقیق عبادی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی پرتقال (۳۶٪ کاهش مصرف آب)، انصاری (۱۳۸۷) بر روی پنبه (۱۹٪ کاهش مصرف آب) و توکلی و فرداد (۱۳۷۸) بر روی چغندر قند (۲۱٪ کاهش مصرف آب) مطابقت دارد. در این حالت اگر محدودیت زمین هم باشد، باعث کاهش ۳/۳ و ۴/۱ درصدی درآمد

باشد، می‌توان هم عمق آب کاربردی  $W_w$  (۲۵۷/۶ و ۲۸۷/۹ میلی‌متر برای بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز) و هم  $W_{ew}$  (۲۳۹/۲ و ۲۶۲/۷ میلی‌متر برای بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز) را انتخاب نمود. انتخاب  $W_w$  یا  $W_{ew}$  بستگی به این دارد که محدودیت‌مان چقدر بحرانی است. باغداران عموماً بر اساس بیشترین درآمد از واحد سطح انتخاب می‌کنند که موجب انتخاب  $W_w$  می‌شود. در صورت انتخاب  $W_w$  میزان کاهش درآمد از واحد سطح کمتر از  $W_{ew}$  می‌شود؛ اما اگر مشکلی جدی در فراهمی آب باشد، به‌کارگیری عمق آب  $W_{ew}$  مفیدتر خواهد بود؛ زیرا بهره‌وری آب با استفاده از عمق  $W_{ew}$  بیشتر خواهد بود و میزان درآمد خالص از واحد آب مصرفی برابر با درآمد خالص از واحد آب مصرفی به ازای عمق آبیاری بیشینه ( $W_m$ ) می‌باشد. باید توجه نمود که اگرچه به‌کارگیری  $W_{ew}$  باعث بیش از ۴۵٪ و ۴۶٪ ذخیره آب آبیاری (۶۷۷ و ۸۶۰ هزار لیتر بر هکتار) برای بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز می‌شود، اما میزان درآمد خالص در واحد سطح را کاهش می‌دهد. به‌طوری‌که کمترین درآمد خالص در واحد سطح (به‌غیر از حالت سر به سری) از عمق  $W_{ew}$  به دست آمد. دلیل آن، اختلاف زیاد قیمت واحد میوه نسبت به قیمت واحد آب می‌باشد و باعث می‌شود که مقدار عملکرد نقش مهم‌تری را نسبت به مقدار آب مصرفی بر روی میزان درآمد داشته باشد و با کاهش عملکرد، درآمد خالص در واحد سطح کاهش چشمگیری داشته باشد. این موضوع در تصمیم‌گیری باغداران نیز نقش مهم‌تری را بازی می‌کند که توسط شعبانی و همکاران (Shabani et al., 2018) نیز بیان شده بود. در شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز با مصرف ۱۷۸/۲

۱۹۰/۲ میلی‌متر آب آبیاری نیز، میزان درآمد خالص صفر می‌گردد. در مجموع برای استفاده کاربردی از نتایج و انتخاب عمق بهینه آبیاری در شرایط مختلف محدودیت و جهت حصول بیشترین درآمد خالص، می‌توان از جدول ۶ استفاده کرد. بر این اساس در صورتی‌که محدودیت زمین نباشد (برای آبیاری معادل با عمق آبیاری  $W_m$ )، بیشترین درآمد خالص از عمق آب کاربردی به‌اندازه  $W_w$  (شرایط محدودیت آب) می‌باشد که برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز ۲۵۷/۶ و ۲۸۷/۹ میلی‌متر می‌باشد و درآمد خالص آن به ترتیب بیش از ۴۳۰ و ۵۵۰ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد حجم آب مصرفی را نیز ایجاد می‌نماید. این نتیجه با نتایج عبادی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی پرتقال، انصاری (۱۳۸۷) بر روی ذرت و توکلی و فرداد (۱۳۷۸) بر روی چغندر قند همخوانی دارد. همچنین اگر محدودیت زمین بود ولی محدودیت آب نبود، بیشترین درآمد خالص از عمق آب کاربردی به‌اندازه آبیاری کامل ( $W_m$ ) می‌باشد که برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز ۲۷۷/۴ و ۳۱۵/۶ میلی‌متر می‌باشد و درآمد خالص آن به ترتیب بیش از ۴۱۰ و ۵۲۰ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. در صورتی‌که هم محدودیت زمین و هم محدودیت آب بود، بیشترین درآمد خالص از عمق آب کاربردی به‌اندازه  $W_w$  (شرایط محدودیت آب) می‌باشد که برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز ۲۵۷/۶ و ۲۸۷/۹ میلی‌متر می‌باشد و درآمد خالص آن به ترتیب بیش از ۳۹۰ و ۵۰۰ میلیون ریال در هکتار می‌باشد.

جدول ۶- اولویت‌بندی عمق آب آبیاری و درآمد خالص معادل آن‌ها در شرایط مختلف محدودیت

نوع محدودیت	گزینه‌های انتخابی	دور آبیاری	عمق آب (میلی‌متر)	درآمد خالص از واحد سطح (ریال)	درآمد خالص از واحد حجم آب (ریال)	درآمد خالص واحد تولید (ریال)	مساحت قابل آبیاری با عمق معادل $W_m$ (ha)	درآمد خالص از واحد سطح با عمق آبیاری معادل $W_m$ (ریال)
محدودیت زمین باشد و محدودیت آب نباشد	$W_m$ (یا $W_1$ و $W_{el}$ )	نامشخص	۲۷۷/۴	۴۱۲،۴۲۹،۱۱۷	۱۴۸،۶۵۹	۸۰،۳۲	۱	۴۱۲،۴۲۹،۱۱۷
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	۴	۲۵۷/۶	۵۲۵،۵۲۸،۴۰۱	۱۶۶،۴۹۳	۹۰،۱۴۹	۱	۵۲۵،۵۲۸،۴۰۱
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_{ew}$	نامشخص	۲۳۹/۲	۳۹۸،۹۴۸،۵۱۵	۱۵۴،۸۷۲	۷۹،۰۲	۱/۰۸	۴۳۰،۸۶۴،۳۹۶
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	۴	۲۸۷/۹	۵۰۳،۷۷۳،۹۷۵	۱۷۴،۹۶۱	۸۹،۸۰	۱/۱۰	۵۵۴،۱۵۱،۳۷۲
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_{ew}$	نامشخص	۲۳۹/۲	۳۵۵،۵۶۵،۵۲۰	۱۴۸،۶۵۹	۷۳،۸۶	۱/۱۶	۴۱۲،۴۵۶،۰۰۳
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	۴	۲۶۲/۷	۴۳۷،۳۰۴،۷۰۰	۱۶۶،۴۹۳	۸۰،۳۲۱	۱/۲۰	۵۲۴،۷۶۵،۶۴۰
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	نامشخص	۲۵۷/۶	۳۹۸،۹۴۸،۵۱۵	۱۵۴،۸۷۲	۷۹،۰۲	۱	۳۹۸،۹۴۸،۵۱۵
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	۴	۲۸۷/۹	۵۰۳،۷۷۳،۹۷۵	۱۷۴،۹۶۱	۸۹،۸۰	۱	۵۰۳،۷۷۳،۹۷۵
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_{ew}$	نامشخص	۲۳۹/۲	۳۵۵،۵۶۵،۵۲۰	۱۴۸،۶۵۹	۷۳،۸۶	۱	۳۵۵،۵۶۵،۵۲۰
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_{ew}$	۴	۲۶۲/۷	۴۳۷،۳۰۴،۷۰۰	۱۶۶،۴۹۳	۸۰،۳۲۱	۱	۴۳۷،۳۰۴،۷۰۰

## نتیجه گیری

در این تحقیق عمق‌های بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب و یا زمین جهت حصول حداکثر درآمد خالص از باغ پرتقال به روش English محاسبه گردید. برای این منظور توابع تولید، هزینه و درآمد در شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز به دست آمد. سپس این اعماق از نظر اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رعایت یک برنامه آبیاری باعث افزایش ۱۲٪ عملکرد می‌شود که اگر با کم آبیاری نیز همراه باشد، علاوه بر آن ۵٪ افزایش درآمد نیز حاصل می‌گردد؛ و باعث ذخیره آب به میزان ۲۷۰ هزار لیتر بر هکتار می‌شود. از طرفی دیگر جهت ارزیابی صحیح از میزان تأثیر کم آبیاری، مجموع آب آبیاری و بارش باید به عنوان عمق آب کاربردی لحاظ شود و توابع تولید-آب و هزینه-آب بر اساس آن تعیین شوند. بر این اساس و بر طبق نتایج این تحقیق وقتی که محدودیت آب وجود ندارد، بهترین عمق آب کاربردی برای حصول بیشترین درآمد خالص در واحد سطح، عمق  $W_m$  می‌باشد که  $۲۷۷/۴$  و  $۳۱۵/۶$  میلی‌متر برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز است. هنگامی که محدودیت آب وجود ندارد، نتایج  $W_m$  با  $W_{el}$  و  $W_l$  تفاوت معنی‌داری ندارد. وقتی که محدودیت آب وجود دارد، بهترین عمق کاربردی، عمق  $W_w$  است که  $۲۵۷/۶$  و  $۲۸۷/۹$  میلی‌متر به ترتیب برای شرایط بدون دور آبیاری و دور آبیاری ۴ روز می‌باشد. این حالت باعث ذخیره بیش از ۲۶٪ آب آبیاری به میزان ۳۹۰ هزار لیتر در هکتار در دو حالت دور آبیاری می‌شود. در این حالت اگر محدودیت زمین هم باشد، باعث کاهش  $۳/۳$  و  $۴/۱$  درصدی درآمد خالص از واحد سطح می‌شود؛ اما درآمد از واحد آب مصرفی  $۴/۲$  و  $۵/۱$  درصد افزایش می‌یابد؛ اما اگر محدودیت زمین نباشد، با آبیاری معادل آبیاری کامل،  $۷/۵$  و  $۹/۲$  درصد درآمد خالص از واحد سطح افزایش می‌یابد؛ زیرا با آب ذخیره‌شده می‌توان زمین بیشتری را آبیاری کرد و در نتیجه میزان درآمد خالص بر واحد سطح افزایش می‌یابد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد آب مصرفی را نیز حاصل می‌نماید. شایان ذکر است که اگرچه بهترین بهره‌وری آب از مصرف عمق آب آبیاری  $W_{ew}$  به دست می‌آید، اما قیمت واحد آب در مقایسه با قیمت واحد میوه نقش مهمی را در تصمیم‌گیری باغداران در شرایط محدودیت آب و زمین بازی می‌کند و از آنجایی که قیمت واحد میوه خیلی بیشتر از واحد آب است، نقش مهم‌تری را در انتخاب عمق آبیاری بازی می‌کند.

همچنین بیشترین درآمد خالص در صورتی که محدودیت زمین نباشد (برای آبیاری معادل با عمق آبیاری  $W_m$ )، آبیاری به اندازه  $W_w$  (شرایط محدودیت آب) می‌باشد که درآمد خالص آن برای شرایط بدون دور آبیاری متغیر و ۴ روز به ترتیب بیش از ۴۳۰ و ۵۵۴ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد حجم آب مصرفی را نیز ایجاد می‌نماید. انتخاب درختانی با ویژگی‌ها و

شرایط یکسان، استفاده از آبی که مشکلی از نظر کیفیت ایجاد نکند، کارکرد قطره‌چکان‌ها بر اساس دبی اسمی آن‌ها، مدیریت مناسب کود دهی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها و نیز تغییرات میزان بارش در سال‌های مختلف از جمله محدودیت‌هایی است که در اجرای این طرح‌ها باید مدنظر قرار گیرد. ذکر این نکته ضروری است که محاسبات ریالی انجام‌شده در این تحقیق با در نظر گرفتن قیمت ارز در شرایط سال اجرای پروژه می‌باشد. در مجموع این تحقیق نشان داد که تجزیه و تحلیل فنی-اقتصادی روشی مناسب برای متقاعد کردن کشاورزان و باغداران برای قبول روش کم آبیاری جهت حصول منابع آب پایدار است. همچنین استفاده از اعماق بهینه آب آبیاری و داشتن یک برنامه آبیاری تأثیر مثبتی بر روی بهره‌وری آب و درآمد خالص ایجاد می‌کند.

## منابع

- احمدی، ک.، عباد زاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، حسینپور، ر. و عبد شاه، ه. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸، جلد سوم: محصولات باغبانی. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۵۹ ص.
- انصاری، ح. ۱۳۸۷. تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۲ (۲): ۱۱۶-۱۰۷.
- بی‌نام. (۱۴۰۰). برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی. تصویب‌نامه هیأت وزیران. اردیبهشت ۱۴۰۰.
- توکلی، ع. ر. و فرداد، ح. ۱۳۷۸. ارزیابی اقتصادی کم آبیاری روی محصول چغندر قند جهت بهینه‌سازی مصرف آب. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۰ (۳): ۵۸۴-۵۷۵.
- خرمیان، م. و حسین پور، م. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندر قند بر اساس توابع تولید و هزینه در شمال استان خوزستان. نشریه علوم مهندسی آبیاری، ۳۹ (۳): ۱۰۶-۹۵.
- سپاسخواه، ع.، قهرمان، ب.، زندپارسا، ش. و قاسمی، م. م. ۱۳۸۵. مقایسه دو روش کم آبیاری سورگوم. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲ (۲): ۹-۱.
- سهرابی مشک‌آبادی، ب. ۱۳۷۸. بررسی کم آبیاری به روش بارانی بر روی خواص کمی و کیفی پنبه. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات پنبه کشور.
- شمشیری، غ.، شعبانی، ع.، سپاسیان، ع. ر.، عزیزیان، ا. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۹۸. بهینه‌سازی آب مصرفی چغندر قند در شرایط شوری آب آبیاری و وابستگی قیمت به کیفیت محصول، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶ (۱۳): ۱۷۷۳-۱۷۶۲.
- عبادی، ه.، رائینی سرجاز، م. و غلامی سفیدکوهی، م. ع ۱۳۹۴. تعیین

- in South Italy. P 209-215, In: Fernandez, J. E. and Ferreira, M.I. (eds), Proceeding XXVIIIth IHC - International Symposium on horticultural use of water in a changing climate, Acta Horticulture. 922, ISHS, Lisbon, Portugal.
- English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework. Journal of irrigation and drainage engineering. 116 (3): 399-411.
- English, M. and Raja, S.N. 1996. Perspective on deficit irrigation. Journal of Agricultural Water Management. 32 (1): 1-14.
- Geerts, S. and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96 (9): 1275-1284.
- Hughes, N. 2011. Estimating irrigation farm production functions with ABARES survey data. ABARES conference. 9.11 February 2011, Melbourne, Australia.
- Mousavi, S. F., Amiri, M. J. and Mamanpoush, A. R. 2010. Economic analysis of deficit irrigation under variable seasonal rainfall for strategic crops (wheat and barley) in a semi-arid region of Iran. Thai National Committee on Irrigation and Drainage conference. Bangkok, Thailand
- Shabani, A., Sepaskhah, A.R., and Khorramian, M. 2018. Mathematical-economic analysis to determine optimal applied water in case of crop price depends on its quality. International Journal of Plant Production. 12: 191-202.
- Shahabian M., Samar S. M., Talaie A. and Emdad M. R. 2012. Response of orange trees to deficit irrigation strategies in the north of Iran. Archives of Agronomy and Soil Science journal. 58 (3): 267-276.
- Yonts, C. D. 2011. Development of season long deficit irrigation strategies for sugarbeet. International Sugar Journal. 113: 728-731.
- Zand-Parsa, Sh. and A.R. Sepaskhah. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. Agriculture Water Management journal. 52 (1): 73- 85.
- عمق‌های آستانه‌ای آب آبیاری برای تولید مرکبات در مناطق مرطوب ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶ (۹): ۹۱۸-۹۲۶.
- عزیزیان، ا. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۹۲. کاربرد تحلیل کم آبیاری در شرایط آب‌شور برای بهینه‌سازی آب مصرفی گندم و ذرت شیرین. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- علیزاده، ح. ع. و عباسی، ف. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه‌ای، نشریه پژوهش آب در کشاورزی (ب)، ۳۰ (۴): ۴۴۵-۴۴۵.
- قهرمان، ب.، زند پارسا، ش. و سپاسخواه، ع. ۱۳۸۰. کم آبیاری ذرت: مقایسه دو روش. مجله تحقیقات کشاورزی ایران. ۲۰ (۱): ۱۶-۱۰.
- مقبلی دامنه، ا.، فتاحی، ر.، قربانی، ب.، ربیعی، غ. ر. و اسفندیاری، ص. ۱۳۹۷. تأثیر کم آبیاری بر رشد رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب پرتقال مارس ارلی در جنوب کرمان. نشریه به زراعی کشاورزی، ۲۰ (۳): ۷۰۷-۷۱۸.
- ملکی، ع.، اثنی عشری، ن. و عالی نژادیان، ا. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی حجم آب مصرفی و تعیین ضریب حساسیت لوییا چشم‌بلبلی با سطوح مختلف آبیاری. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. اصفهان.
- میری، ف. س.، شاهنظری، ع.، ضیاء تبار احمدی، م. خ. و زبردست رستمی، ح. ع. ۱۳۹۳. اثر کم آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸ (۱): ۸۶-۸۰.
- Ashraf, S., Nazemi, A. and AghaKouchak, A. 2021. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific reports. 11(1): 1-10.
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S and Castel, J. R. 2011. Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation, Yield components and fruit composition. Agricultural Water Management journal. 98 (6): 1027-1032
- Capra, A., Consoli, S and Scicolone, B. 2011. Economic Analysis of Citrus Orchards under Deficit Irrigation

## Optimization of Water Use in Deficit Irrigation Management under Rainfall in Mazandaran Province

M. I. Kamali<sup>1</sup>, H. ansari<sup>\*2</sup>

Received: Jul.18, 2021

Accepted: Aug.24, 2021

### Abstract

In the current study, economic analysis of deficit irrigation was conducted for a Thomson orange orchard in Sari in two scenarios of considering applied water including 1-only irrigation water, 2- irrigation water plus rainfall. Production and cost functions were modified in water and land limitation conditions using English method. These functions were determined for without and 4 days irrigation interval using mathematical analysis and aimed to obtain the maximum net income. Results showed that when rainfall occurs, irrigation water plus rainfall should be considered as applied waer in production and cost functions. In addition, when there is no water limitation, the highest net income per unit of land is obtained from  $W_m$  that is 277.4, 315.6 mm for without and 4 days irrigation interval. Production for this situation is 51.3 and 57.4 ton/ha, respectively. In water limiting condition, the optimum water depth ( $W_w$ ) is 257.6 and 287.9 mm that causes more than 26% saved water. If there is also land limiting in this situation, the net income per unit of land decreases 3.3 and 4.1 percent. However, the net income per unit of water increases 4.2 and 5.1 percent. If there is no land limiting in this situation, by irrigation equivalent to full irrigation, the net income per unit of land increases 7.5 and 9.2 percent. This status obtains the highest net income per unit of water use. According to the current results, having an irrigation schedule causes 12% increase in production and if it is associated with deficit irrigation, causes 5% more increase in net income.

**Keywords:** Deficit irrigation, Mazandaran, Optimum water use depth, Orange, Production function

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(\*-Corresponding Author Email: ansary@um.ac.ir)