

مقاله علمی-پژوهشی

## ارزیابی اقتصادی مدیریت کم آبیاری - مطالعه موردی: باغ پرتقال

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

### چکیده

در این تحقیق ارزیابی اقتصادی کم آبیاری پرتقال و تأثیر آن بر روی درآمد باغدار با استفاده از بهینه‌سازی انجام شده بر اساس تحلیل‌های ریاضی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمایشی میدانی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۵ تکرار در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای اصلی دو نوع مدیریت آبیاری شامل دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز بود. تیمار فرعی ۴ سطح آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۵٪ و ۵۰٪ رطوبت سهل‌الوصول خاک (RAW) بود. جهت ارزیابی اقتصادی، توابع تولید، هزینه، درآمد و عمق‌های بهینه آب مصرفی به روش English محاسبه شد. نتایج نشان داد که برای دور آبیاری متغیر و ۴ روز به ترتیب با مصرف ۱۴۸/۳ و ۱۸۶/۵ میلی‌متر عملکرد و درآمد خالص از واحد سطح بیشینه شده است. در شرایط محدودیت زمین نیز بهترین عمق آب ۱۴۶/۲ و ۱۸۴/۰ میلی‌متر بوده است. عمق آب آبیاری در حالت محدودیت آب نیز به ترتیب ۱۰۹/۳ و ۱۳۶/۹ میلی‌متر بود که باعث بیش از ۱۶ درصد افزایش درآمد خالص به ازای واحد حجم آب برای هر دو حالت مدیریت آبیاری شد. با این مقدار آب صرفه‌جویی شده در صورت عدم محدودیت زمین می‌توان ۳۶ و ۳۶ درصد سطح زیر کشت را افزایش داد. نتایج نشان داد که بهینه‌ترین مدیریت آب آبیاری (در شرایط بدون محدودیت)، دور آبیاری ۴ روز و عمق آبیاری به میزان ۸۰٪ رطوبت سهل‌الوصول است که میزان عملکرد در این حالت ۵۵/۰ تن در هکتار می‌باشد. میزان درآمد خالص نیز بیش از ۴۸۳ میلیون ریال در هکتار و شاخص B/C برابر ۱/۷۸ می‌باشد. بیشترین درآمد خالص در صورتی که محدودیت زمین نباشد (برای عمق آبیاری معادل آبیاری کامل)، آبیاری به اندازه WW (شرایط محدودیت آب) می‌باشد که درآمد خالص آن برای دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به ترتیب بیش از ۴۷۶ و ۶۱۱ میلیون ریال می‌باشد. این حالت بیشترین درآمد خالص از واحد حجم آب مصرفی را نیز ایجاد می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد چه در شرایط بدون محدودیت و چه در شرایط محدودیت آب، رعایت یک برنامه آبیاری مشخص و نیز اعمال کم آبیاری تأثیر مثبتی بر روی درآمد باغدار ایجاد می‌نماید که در حالت کم آبیاری در شرایط بدون محدودیت میزان حجم آب آبیاری مورد نیاز ۱۴۹۲ و در شرایط با محدودیت آب ۱۳۶۹ متر مکعب در هکتار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، رطوبت سهل‌الوصول، روش English، عمق بهینه، کم آبیاری

### مقدمه

(۱۳۹۸). با توجه به اینکه مرکبات جز درختان همیشه‌سبز است در تمام طول سال نیاز به آب دارد. منبع اصلی تأمین نیاز آبی آن نیز بارش است. اما آمار ۲۰ ساله بارش منتهی به سال ۱۳۹۷ در شهرستان ساری نشان می‌دهد که تنها ۳۰ درصد از میزان بارش سالانه در ۶ ماه اول سال (با شروع رشد ریشه‌های جدید و شاخه‌های جوان) 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. این در حالی است که میزان تبخیر در این بازه‌های زمانی به ترتیب ۸۱۴ و ۶۲۳ میلی‌متر می‌باشد. در نتیجه آبیاری باید در زمان کمبود بارش و به مقدار نیاز آبی درختان مخصوصاً در مراحل گلدهی و تشکیل میوه که مرکبات به کم‌آبی حساس‌اند، انجام گیرد (Ginestar and Castel, 1996; Doorenbos and Kassam, 1979). از طرفی دیگر منبع

مرکبات یکی از محصولات اصلی کشت‌شده در استان مازندران می‌باشد. به طوری که با سطح زیر کشت بیش از ۱۱۶ هزار هکتار و تولید بیش از ۲/۳۶ میلیون تن، تقریباً نصف تولید مرکبات کشور و گردش مالی ۳ هزار میلیارد تومانی در استان را داراست (احمدی،

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، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.1.7.7

آب برای بسیاری از باغات مرکبات استان مازندران آب‌های زیرزمینی می‌باشد که باغداران با حفر چاه‌های سطحی یا نیمه عمیق و به‌صورت قانونی یا غیرقانونی از آن استحصال می‌کنند. لذا با توجه به شرایط بارش در ۶ ماه نخست سال و نیز افت سطح آب در چاه‌ها و در نتیجه کاهش حجم آب قابل استفاده از چاه‌ها، برنامه‌ریزی آبیاری و اعمال سیاست‌های کم آبیاری غیرقابل اجتناب است که با انجام صحیح آن می‌توان از کاهش محصول نیز جلوگیری نمود. این عمل در شرایط محدودیت آب یا گران بودن هزینه تأمین آب می‌تواند سبب افزایش درآمد خالص شود (English and Roja, 1996). در ایران جهت افزایش راندمان آبیاری، دولت طرح‌های حمایتی جهت تجهیز باغات به سامانه‌های نوین آبیاری ارائه کرده است. اما راندمان آبیاری به میزان قابل انتظار بهبود نیافته است. بررسی‌ها نشان داده است که یکی از دلایل اصلی آن عدم وجود برنامه مناسب آبیاری می‌باشد که تأثیر مستقیم بر عملکرد باغ و در نتیجه درآمد باغدار می‌گذارد. از طرفی دیگر سیاست‌های کم آبیاری به دلیل ارتباط آن با اقتصاد باغدار، توسط آنها استقبال نمی‌شود. لذا در مدیریت کم آبیاری باغات، تعیین حد بهینه کم آبیاری (Ballester et al., 2011; Ginestar and Castel, 1996) and نیز تعیین سود اقتصادی (English and Raja, 1996) امری ضروری است.

بر طبق موارد مطروحه و با توجه به اهمیت مدیریت آبیاری در باغات (از جمله مدیریت کم آبیاری و سطح بهینه کم آبیاری) از یک طرف و نیز اقتصاد باغدار از طرف دیگر، در این تحقیق ارزیابی اقتصادی مدیریت‌های مختلف آبیاری و نیز سطوح مختلف کم آبیاری در شرایط مختلف محدودیت آب و زمین مدنظر قرار گرفته است تا با توجه به توابع تولید، هزینه و درآمد، بهترین برنامه آبیاری در شرایط مختلف فراهمی آب ارائه گردد. یکی از روش‌ها جهت تحلیل اقتصادی توابع تولید-آب و هزینه-آب، روش (English, 1990) است. در این روش تابع تولید ابتدا حالت خطی دارد و به تدریج به صورت یک منحنی درجه دوم تبدیل می‌شود که دلیل آن تلفات آب به صورت نفوذ عمقی و رواناب است که هرچه عمق آب آبیاری بیشتر شود، میزان تلفات نیز بیشتر می‌شود. این موضوع توسط محققان دیگری نیز اثبات شده است (Doorenbos and Kassam, 1979; Hargreaves and Samani, 1984; Shalhevet et al., 1985; Sepaskhah and Kashefipour, 1994; Capra et al., 2011; Hughes, 2011). در این روش با محاسبه عمق‌های بهینه آبیاری، مقدار هزینه و سود با تحلیل‌های ریاضی برآورد می‌شود. با استفاده از این روش، تحلیل اقتصادی مدل‌های فصلی و درون فصلی کم آبیاری محصول سورگوم (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵) و ذرت (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۰) مقایسه شدند و نتایج نشان داد که روش درون فصلی (تصمیم‌گیری بر اساس تخصیص آب در مراحل مختلف رشد گیاه) مقدار بالاتری از کاهش بهینه آب (۲۳٪) و در نتیجه مصرف

اقتصادی‌تر آب را ایجاد می‌نماید. همچنین از این روش برای مدیریت‌های مختلف کم آبیاری گندم در شمال غربی آمریکا، پنبه در کالیفرنیا و ذرت در زیمبابوه نیز استفاده شد و نشان داد که کاهش ۱۵ تا ۵۹ درصد آب از نظر اقتصادی قابل قبول است (English and Raja, 1996). ارزیابی اقتصادی اجرای کم آبیاری مرکبات با استفاده از نتایج ۲۰ باغ در ایتالیا نشان داد که میزان مناسب کم آبیاری برای شرایط محدودیت زمین و آب، به ترتیب ۱۲/۷ و ۲۵/۶ درصد عمق آب آبیاری برای عملکرد بیشینه است (Capra et al., 2011). همچنین با اعمال عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین، درآمد خالص ۱۰٪ و شاخص سود به هزینه ۶۵٪ نسبت به شرایط فعلی آبیاری افزایش خواهد داشت. 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). اعماق بهینه مصرف آب در کشت چغندر قند با بهینه‌سازی توابع تولید و هزینه به دست آمد (Shabani et al., 2018). نتایج نشان داد که با مصرف عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب، درآمد خالص در واحد حجم آب آبیاری، ۱۲ درصد افزایش یافت. همچنین با مصرف بهینه آب در شرایط محدودیت زمین، درآمد خالص در واحد سطح ۱/۲ درصد افزایش یافت که تغییر معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل نداشت. در ایران نیز در تحقیقی عمق‌های آستانه‌ای آب آبیاری برای تولید مرکبات در رامسر به دست آمد (عبادی و همکاران، ۱۳۹۴). عمق آبیاری در حالت عملکرد بیشینه ۱۹۹/۸ میلی‌متر به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با عمق آبیاری در حالت محدودیت زمین نداشت. نتایج نشان داد با کاربرد عمق آب در حالت محدودیت آب، مصرف آب ۳۶٪ کاهش یافت و بهره‌وری آب و درآمد خالص به ازای واحد حجم آب، ۴۲٪ و ۲۳٪ افزایش یافت. ارزیابی اقتصادی کم آبیاری چغندر قند پاییزه در خوزستان با استفاده از بهینه‌سازی توابع تولید و هزینه انجام شد (خرمیان و حسین پور، ۱۳۹۵). نتایج نشان داد که هرچند بیشترین عملکرد از آبیاری کامل حاصل شد، اما نسبت به تیمارهای ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین درآمد خالص از واحد حجم آب مصرفی نیز از تیمار آبیاری در شرایط محدودیت آبی (Ww) به دست آمد که موجب کاهش ۴۳ درصدی مصرف آب شده بود. بهینه‌سازی مصرف آب در کشت ذرت با استفاده از آزمون رگرسیون چندگانه توابع تولید و هزینه بدست آمد (علیزاده و عباسی، ۱۳۹۵). نتایج نشان داد که سطح بهینه مصرف آب در شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب به ترتیب ۹۴۰ و ۷۷۴ میلی‌متر بوده است. بهینه‌سازی مصرف آب در کشت چغندر قند در اصفهان با بهینه‌سازی توابع تولید و هزینه بدست آمد (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۸).

زمانی که میزان رطوبت به حد پایین رطوبت سهل الوصول رسید، آبیاری بعدی انجام شد. برای تیمار  $A_2$ ، 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.

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

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

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،  $Pw$  = درصد خیس شدگی و  $A$  = مساحت در نظر گرفته شده برای هر درخت می‌باشد. برای تعیین مشخصات خاک، از خاک منطقه نمونه برداری شد (شکل ۱) و بافت خاک در آزمایشگاه به روش هیدرومتری تعیین شد که خاک سطحی دارای بافت لومی رسی (CL) با چگالی ظاهری  $1/34 \text{ gr/cm}^3$  و خاک عمیق تر دارای بافت لومی (L) با چگالی ظاهری  $1/38 \text{ gr/cm}^3$  بوده است. جهت تعیین میزان کیفیت آب نیز از آب مورد استفاده نمونه برداری شده که نتایج نشان داد میزان EC و pH به ترتیب  $2/17$  دسی‌زیمنس بر متر و  $7/74$  بود. شایان ذکر است که در صورت وقوع بارندگی، دور آبیاری بعدی با احتساب روز بارندگی به عنوان روز آبیاری مدنظر قرار گرفت. عملیات داشت شامل کوددهی، سم‌پاشی و مبارزه با آفت و بیماری‌ها برای تمام تیمارها به‌طور یکسان انجام شد.



شکل ۱- نمونه برداری از خاک در باغ مورد مطالعه

نتایج نشان داد که عمق بهینه مصرف آب در شرایط آبیاری کامل، محدودیت آب و محدودیت زمین به ترتیب ۱۸۷۰، ۱۵۲۰ و ۱۷۷۰ میلی‌متر بوده است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در یکی از باغات شهرستان ساری با مختصات جغرافیایی  $53^\circ$  درجه و  $4/69$  دقیقه شرقی و  $36^\circ$  درجه و  $45/11$  دقیقه شمالی و بر روی  $60$  درخت  $25$  ساله پرتقال تامسون ناول با پایه نارنج در سال  $1397$  انجام شد. فاصله درختان  $6 \times 6$  متر و متوسط بارش و تبخیر سالانه در منطقه مورد مطالعه بر اساس آمار هواشناسی  $20$  ساله منتهی به سال  $1397$  به ترتیب  $750$  و  $1100$  میلی‌متر بوده است. روش آبیاری مورد استفاده در این باغ، روش آبیاری قطره‌ای بوده است. این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در  $5$  تکرار اجرا شد. تیمارهای آبی دو نوع مدیریت آبیاری شامل  $A_1$  = دور آبیاری متغیر (آبیاری در زمان رسیدن رطوبت خاک به حد پایین رطوبت RAW) و  $A_2$  = دور آبیاری ثابت  $4$  روز بود. تیمارهای فرعی شامل  $4$  سطح آبیاری  $B_1$  = آبیاری به اندازه  $100\%$  رطوبت سهل الوصول خاک،  $B_2$  = آبیاری به اندازه  $80\%$  رطوبت سهل الوصول خاک،  $B_3$  = آبیاری به اندازه  $65\%$  رطوبت سهل الوصول خاک و  $B_4$  = آبیاری به اندازه  $50\%$  رطوبت سهل الوصول خاک بود. برای تیمار  $A_1$ ، میزان رطوبت خاک به صورت روزانه پایش شد و



(Sepaskhah and Kashefipour, 1994; Shalhevet et al., 1985; Capra et al., 2011; Hughes, 2011) در آمد خالص در کل سطح و کل سطح قابل آبیاری نیز توسط روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌گردند.

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

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

جهت ارزیابی اقتصادی مدیریت‌های مختلف آبیاری مورد استفاده در این پژوهش، از روش (English, 1990) استفاده شد که در آن مقدار بهینه آب مصرفی فصل رشد به روش تحلیل اقتصادی توابع تولید-آب مصرفی و هزینه-آب مصرفی بدست می‌آید. در این روش تابع تولید  $y(w)$ ، هزینه  $c(w)$  و درآمد  $i_1(w)$  به ترتیب به صورت روابط ۳، ۴ و ۵ می‌باشند که توسط محققان دیگر نیز اثبات شده است

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 می شود. در نتیجه عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب به صورت رابطه ۱۶ بدست می آید.

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

$$\frac{\partial i_f(w)}{\partial w} = A \times \frac{\partial i_l}{\partial w} + i_l \times \frac{-W_t}{w^2} = 0 \quad (15)$$

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

**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 می شود.

$$\frac{i_l(W_{ew})}{W_{ew}} = \frac{i_l(W_m)}{W_m} \quad (17)$$

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

$$-\left(\frac{P_c b_1^2 + 4 P_c a_1 c_1 - 4 a_2 c_1}{2 b_1}\right) + \sqrt{\left(\frac{P_c b_1^2 + 4 P_c a_1 c_1 - 4 a_2 c_1}{2 b_1}\right)^2 - 4 P_c c_1 (P_c a_1 - a_2)} \quad (18)$$

**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 به صورت رابطه ۲۰ بدست می آید.

$$i_l(W_{el}) = i_l(W_m) \quad (19)$$

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

**عمق آب در حالت سر به سر ( $W_k$ ):**

این عمق، عمقی است که درآمد ناخالص برابر با هزینه ها می باشد (رابطه ۲۱) و به صورت رابطه ۲۲ محاسبه می گردد.

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

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

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

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

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

که در آن  $y(w)$  عملکرد در واحد سطح ( $kg/ha$ )،  $w$  عمق آب مصرفی (میلی متر)،  $c(w)$  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 می باشند. هزینه های متغیر شامل هزینه آب، کود، روغن، سم (حشره کش، کنه کش و قارچ کش)، علف کش، عملیات کودپاشی، عملیات سم پاشی، عملیات علف کش (شامل مبارزه مکانیکی و اجرای مبارزه شیمیایی با علف های هرز)، هرس، استهلاک تجهیزات آبیاری، حمل نهاده ها، برق و برداشت میوه بوده است. هزینه های ثابت نیز شامل هزینه های آماده سازی زمین، حفر چاله، کاشت نهال، خرید نهال و زمین (اجاره زمین) بوده است. پس از محاسبه توابع تولید، هزینه و درآمد، بهینه سازی 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 می باشد.

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

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 ۲ و معادله ۹). در نتیجه عمق آب لازم برای حداکثر محصول به صورت رابطه ۱۰ بدست می آید.

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

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

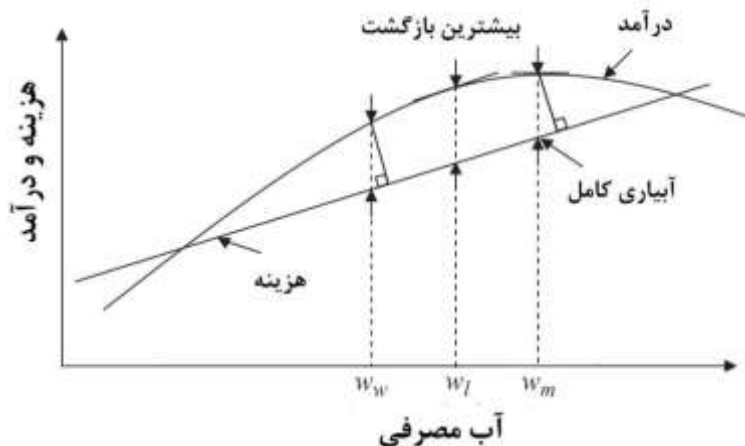
عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین ( $W_1$ ):

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

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

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

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



شکل ۲- نمای ریاضی از اعماق بهینه در شرایط محدودیت آب و زمین

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.

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

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

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

نسبت درآمد به هزینه (BCR)

$$BCR = \frac{Income}{Cost} \quad (30)$$

که در آن Income میزان درآمد و Cost میزان هزینه می‌باشد. 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  $W_k$ ،  $W_{ew}$ ،  $W_{el}$ ،  $W_l$ ،  $W_w$  و  $W_m$ ، 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 اضافه شده (IEY) با استفاده از روابط ۳۱، ۳۲ و ۳۳ بدست 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.

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

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

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

برای ارزیابی عمق‌های بهینه آبیاری بدست آمده از شاخص‌هایی

استفاده شده است که به صورت زیر می‌باشد.

درصد صرفه‌جویی در مصرف آب (WS):

$$WS = \frac{(W_m - W_{OWD}) \times 100}{W_m} \quad (33)$$

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

درصد کاهش عملکرد نسبت به عملکرد بیشینه (YR):

$$YR = \frac{(Y_{W_m} - Y_{OWD}) \times 100}{Y_{W_m}} \quad (34)$$

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

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

درآمد خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی (IIUW) (ریال بر مترمکعب)

$$IIUW = \frac{i_L(w)_{OWD}}{W_{OWD}} \quad (26)$$

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

درصد افزایش درآمد خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی (IIUW) (بر حسب درصد)

$$IIUW = \frac{(IIUW_{OWD} - IIUW_{W_m}) \times 100}{IIUW_{W_m}} \quad (27)$$

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

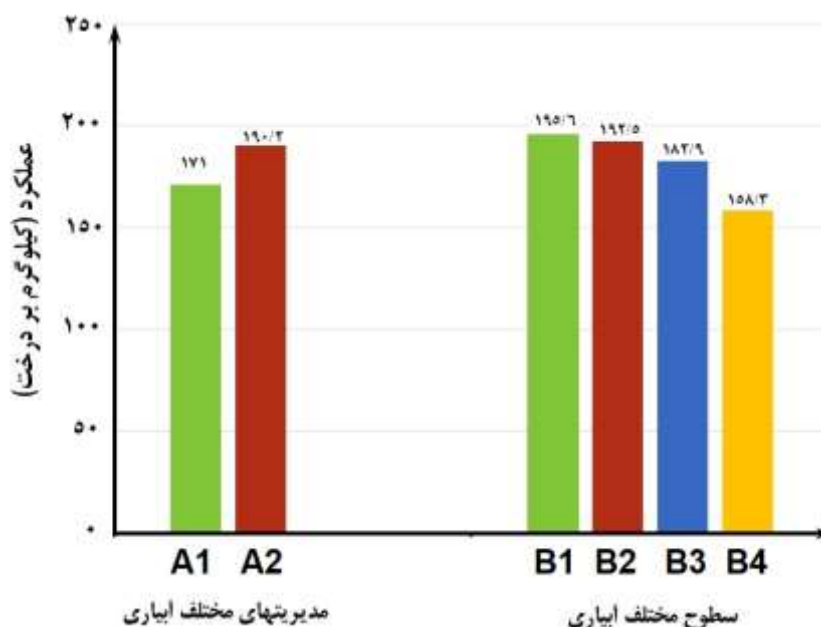
## نتایج

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 و ۲۰۷ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱). در تحقیق میری و همکاران (۱۳۹۳) برای دور آبیاری ۳ روز این مقدار ۲۴۳ میلی‌متر بدست آمده بود. در تحقیق شهاییان 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 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 بدست آمده است. همچنین میزان عملکرد در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد که به صورت شکل ۳ می‌باشد.

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

دور آبیاری ۴ روز				دور آبیاری متغیر			
0.5RAW	0.65RAW	0.8RAW	RAW	0.5RAW	0.65RAW	0.8RAW	RAW
۱۰۳/۵	۱۳۴/۵	۱۶۵/۶	۲۰۷	۸۱/۱	۱۰۵/۴	۱۲۹/۷	۱۶۲/۱

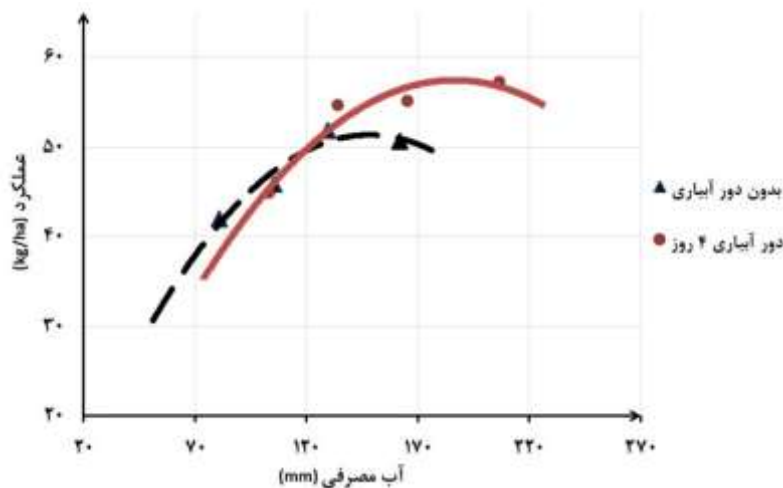


شکل ۳- میزان عملکرد درخت بر تقال در سطوح و مدیریت‌های مختلف آبیاری

افزایش ۱۲ درصدی محصول می‌شود. این امر موجب افزایش درآمد خالص به میزان ۲۷٪ می‌شود که بیش از ۱۱۳ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. در تحقیق عبادی و همکاران (۱۳۹۴) مقدار آب مصرفی برای دور آبیاری متغیر ۱۹۹/۸ میلی‌متر بدست آمده است. دلیل اختلاف آن این است که در تحقیق مذکور میزان آب مصرفی بر اساس درصدی از نیاز آبی درخت محاسبه شده بود که نیاز آبی به روش غیرمستقیم و بر اساس روش فائو و با استفاده از ضرایب گیاهی فائو بدست آمده بود. در صورتی که میزان نیاز آبی در این تحقیق به روش مستقیم و با اندازه‌گیری بیلان رطوبتی خاک محاسبه گردید.

جهت ارزیابی اقتصادی تیمارهای مختلف، ابتدا تابع تولید برای هر یک از مدیریت‌های آبیاری بدست آمد (شکل ۴). سپس توابع هزینه و درآمد محاسبه شد که به صورت جدول ۲ می‌باشد. پس از تعیین توابع تولید-آب، هزینه-آب و درآمد-آب، اعماق بهینه برای شرایط مختلف مدیریت آبیاری محاسبه شد و سپس تحلیل‌های اقتصادی بر روی آنها انجام گرفت که نتایج آن در جداول ۳ الی ۶ ارائه گردیده است.

نتایج نشان داد که در شرایط دور آبیاری متغیر، عمق آب آبیاری جهت رسیدن به حداکثر محصول دهی ۱۴۸/۳ میلی‌متر است که در صورت رعایت دور آبیاری ۴ روز، ۱۸۶/۵ میلی‌متر می‌باشد که موجب



شکل ۴- نمودار تابع تولید-آب مصرفی برای مدیریت‌های مختلف آبیاری

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

تیمار	تابع تولید	تابع هزینه	تابع درآمد
دور آبیاری متغیر	$Y(w) = -0.00219w^2 + 0.64989w + 3.1397$ $R^2=0.93, RMSE=1.01$	$C(w) = 189.416w + 586428$ $R^2=0.86, RMSE=2294.5$	$ii(w) = -43.8w^2 + 13187.2w + 649222$
دور آبیاری ۴ روز	$Y(w) = -0.00174w^2 + 0.64929w - 3.1303$ $R^2=0.93, RMSE=1.29$	$C(w) = 179.525w + 589763$ $R^2=0.84, RMSE=2963.6$	$ii(w) = -34.8w^2 + 13165.3w + 527157$

درصد کمتر از به کارگیری عمق آب در حالت عملکرد بیشینه ( $W_m$ ) می‌باشد. دلیل آن اختلاف زیاد قیمت واحد میوه نسبت به قیمت واحد آب می‌باشد و باعث می‌شود در میزان درآمد خالص در واحد سطح، عملکرد نقش بیشتری را نسبت به آب داشته باشد و با کاهش عملکرد، درآمد خالص در واحد سطح کاهش چشمگیری داشته باشد. به همین دلیل به کارگیری عمق  $W_{ew}$  علی‌رغم آنکه باعث کاهش مصرف آب به میزان ۴۵/۷ و ۴۶/۱ درصد می‌شوند، چون ۱۹/۶ و ۲۲/۴ درصد عملکرد را کاهش می‌دهند، باعث کاهش درآمد خالص از واحد سطح به میزان ۴۵/۷ و ۴۶/۱ درصد می‌شوند. این حالت در به کارگیری عمق  $W_w$  نیز صادق می‌باشد.

در زمینه بهره‌وری آب هرچه میزان مصرف آب کمتر شود، بهره‌وری آب بیشتر می‌شود. بطوریکه پس از  $W_k$ ، بهترین بهره‌وری آب از  $W_{ew}$  و بعد  $W_w$  بدست آمد که در شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز برای  $W_{ew}$  به میزان ۵۱/۲ و ۴۴/۳ و برای  $W_w$  به میزان ۴۳/۹ و ۳۸/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر در مقابل تحقیق عبادی و همکاران (۱۳۹۴) که برای دور آبیاری متغیر به میزان ۲۴/۷ برای  $W_{ew}$  و ۱۹/۲ برای  $W_w$  می‌باشد، بیشتر است. دلیل آن سن بیشتر درختان و عملکرد بیشتر آنها از یک طرف و عمق آب مصرفی کمتر از طرف دیگر در این تحقیق نسبت به تحقیق مذکور است.

در صورت محدودیت آب، بهترین عمق آب آبیاری برای تیمارهای  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب ۱۰۹/۳ و ۱۳۶/۹ میلی‌متر می‌باشد. این حالت موجب کاهش مصرف آب به میزان ۲۶/۳ و ۲۶/۹ درصد و کاهش عملکرد به میزان ۶/۵ و ۷/۵ درصد می‌شود. اما این شرایط موجب کاهش درآمد خالص در واحد سطح به ترتیب به میزان ۱۴/۴ و ۱۴/۶ درصد می‌شود. در این حالت اگر محدودیت زمین وجود نداشت، با این میزان آب ذخیره شده می‌توان ۳۶ و ۳۶ درصد زمین بیشتری را آبیاری کرد که موجب ۲۶/۹ و ۲۶/۱ درصد افزایش تولید و ۱۶/۲ و ۱۶/۳ درصد افزایش درآمد خالص می‌شود.

در صورت محدودیت زمین، بهترین عمق آب آبیاری برای تیمارهای  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب ۱۴۶/۲ و ۱۸۴/۰ میلی‌متر می‌باشد. این حالت تقریباً در میزان مصرف آب، عملکرد و بهره‌وری آب تأثیر محسوسی ندارد. زیرا از نظر فزاینده‌ای آب مشکلی وجود ندارد و در نتیجه آبیاری به اندازه آبیاری کامل صورت می‌پذیرد. بیشترین درآمد خالص در واحد سطح از عمق آب در حالت محدودیت زمین ( $W_1$ ) بدست آمد که با اختلاف ناچیزی (۰/۰۲ درصد) بیشتر از حالت استفاده از  $W_m$  می‌باشد که این نتیجه با نتایج عبادی و همکاران (۱۳۹۴) و Ballester و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. کمترین درآمد خالص در واحد سطح (به غیر از حالت سر به سری) از عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب ( $W_{ew}$ ) بدست آمد که برای دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به ترتیب ۴۵/۷ و ۴۶/۱

جدول ۳- عمق‌های بهینه در مدیریت‌های مختلف آبیاری

تیمار	W <sub>m</sub> (میلی متر)	Y <sub>m</sub> (تن بر هکتار)	W <sub>l</sub> (میلی متر)	W <sub>w</sub> (میلی متر)	W <sub>el</sub> (میلی متر)	W <sub>ew</sub> (میلی متر)	W <sub>k</sub> (میلی متر)
دور آبیاری متغیر	۱۴۸/۳	۵۱/۳	۱۴۶/۲	۱۰۹/۳	۱۴۴/۰	۸۰/۶	۴۹/۱
دور آبیاری ۴ روز	۱۸۶/۵	۵۷/۴	۱۸۴/۰	۱۳۶/۹	۱۸۱/۴	۱۰۰/۵	۶۱/۱

جدول ۴- تحلیل اقتصادی عمق‌های بهینه در مدیریت‌های مختلف آبیاری

تیمار	شاخص موردنظر	W <sub>m</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>l</sub>	W <sub>el</sub>	W <sub>ew</sub>	W <sub>k</sub>
دور آبیاری متغیر	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
دور آبیاری متغیر	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
دور آبیاری متغیر	i <sub>L</sub> (w)	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴	۳۵۲,۹۳۷,۸۷۱	۴۱۲,۴۰۹,۳۴۴	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴	۲۲۳,۹۲۰,۴۳۴	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر هکتار)	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱	۴۴۸,۴۵۵,۸۸۱	۵۲۵,۵۲۶,۰۲۰	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱	۲۸۲,۹۴۲,۲۷۸	۰
دور آبیاری متغیر	IRUL	--	۱۴/۴	۰	۰	۴۵/۷	۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۴/۶	۰	۰	۴۶/۱	۱۰۰
دور آبیاری متغیر	IUW	۲۷۷,۹۱۱	۳۲۲,۸۵۰	۲۸۲,۱۶۱	۲۸۶,۲۵۴	۲۷۷,۹۱۱	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر مترمکعب)	۲۸۱,۶۰۷	۳۲۷,۵۷۶	۲۸۵,۶۸۰	۲۸۹,۶۱۵	۲۸۱,۶۰۷	۰
دور آبیاری متغیر	IIUW	--	۱۶/۲	۱/۵	۳/۰	۰	-۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۶/۳	۱/۶	۲/۸	۰	-۱۰۰
دور آبیاری متغیر	هزینه واحد تولید	۱۱,۹۷۱	۱۲,۶۴۸	۱۱,۹۶۵	۱۱,۹۶۴	۱۴,۵۷۶	۲۰,۰۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر کیلوگرم)	۱۰,۸۵۳	۱۱,۵۶۱	۱۰,۸۴۷	۱۰,۸۴۵	۱۳,۶۴۷	۲۰,۰۰۰
دور آبیاری متغیر	IUY	۸,۰۲۹	۷,۳۵۲	۸,۰۳۵	۸,۰۳۶	۵,۴۲۴	۰
دور آبیاری ۴ روز	(ریال بر کیلوگرم)	۹,۱۴۷	۸,۴۳۹	۹,۱۵۳	۹,۱۵۵	۶,۳۵۳	۰
دور آبیاری متغیر	IRUY	--	۸/۴	۰	۰	۳۲/۴	۱۰۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۷/۷	۰	۰	۳۰/۵	۱۰۰
دور آبیاری متغیر	BCR	۱/۶۷	۱/۵۸	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۳۷	۱/۰
دور آبیاری ۴ روز		۱/۸۴	۱/۷۳	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۴۷	۱/۰

جدول ۵- میزان افزایش سطح آبیاری و تولید با استفاده از عمق‌های بهینه آبیاری نسبت به آبیاری کامل

تیمار	شاخص موردنظر	W <sub>m</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>l</sub>	W <sub>el</sub>	W <sub>ew</sub>
دور آبیاری متغیر	(IA)	--	۱/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۸۴
دور آبیاری ۴ روز	(هکتار)	--	۱/۳۶	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۸۶
دور آبیاری متغیر	(EY)	۵۱/۳	۶۵/۱	۵۲/۱	۵۲/۸	۷۶/۰
دور آبیاری ۴ روز	(تن در هکتار)	۵۷/۴	۷۲/۴	۵۸/۲	۵۹/۰	۸۲/۷
دور آبیاری متغیر	(IEY)	--	۲۶/۹	۱/۵	۲/۹	۴۸/۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۲۶/۱	۱/۴	۲/۸	۴۴/۰
دور آبیاری متغیر	IIUL	--	۱۶/۲	۱/۵	۳/۰	۰
دور آبیاری ۴ روز	(%)	--	۱۶/۳	۱/۴	۲/۸	۰
دور آبیاری متغیر	EBCR	۱/۶۷	۱/۷۹	۱/۶۸	۱/۶۹	۱/۶۹
دور آبیاری ۴ روز		۱/۸۴	۲/۰۰	۱/۸۶	۱/۸۷	۱/۸۶

جدول ۶ استفاده کرد. بر این اساس بیشترین درآمد خالص در صورتی که محدودیت زمین نباشد (برای آبیاری معادل با عمق

با توجه به موارد بررسی شده، جهت انتخاب عمق بهینه آبیاری بر اساس بیشترین درآمد خالص در شرایط مختلف محدودیت، می‌توان از



آبیاری ( $W_m$ )، آبیاری به اندازه  $W_w$  (شرایط محدودیت آب) می‌باشد که درآمد خالص آن برای شرایط دور آبیاری متغیر و ۴ روز به ترتیب بیش از ۴۷۶ و ۶۱۱ میلیون ریال 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.

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 با عمق آبیاری (ریال)
محدودیت زمین و آب نباشد	$W_m$	نامشخص	۱۴۸/۳	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴	۲۷۷,۹۱۱	۸,۰۲۹	۱	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴
		۴	۱۸۶/۵	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱	۲۸۱,۶۰۷	۹,۰۴۷	۱	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱
محدودیت زمین باشد و محدودیت آب نباشد	$W_{el}$	نامشخص	۱۴۴/۰	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴	۲۸۶,۲۵۴	۸,۰۳۶	۱	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴
		۴	۱۸۱/۴	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱	۲۸۹,۶۱۵	۹,۰۵۵	۱	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱
محدودیت زمین و محدودیت آب نباشد	$W_l$	نامشخص	۱۴۶/۲	۴۱۲,۴۰۹,۳۴۴	۲۸۲,۱۶۱	۸,۰۳۵	۱	۴۱۲,۴۰۹,۳۴۴
		۴	۱۸۴/۰	۵۲۵,۵۲۶,۰۲۰	۲۸۵,۶۸۰	۹,۰۵۳	۱	۵۲۵,۵۲۶,۰۲۰
محدودیت زمین نباشد و محدودیت آب باشد	$W_w$	نامشخص	۱۰۹/۳	۳۵۲,۹۳۷,۸۷۱	۳۲۲,۸۵۰	۷,۳۵۲	۱/۳۶	۴۷۸,۸۵۹,۱۹۸
		۴	۱۳۶/۹	۴۴۸,۴۵۵,۸۸۱	۳۲۷,۵۷۶	۸,۴۳۹	۱/۳۶	۶۱۱,۰۴۳,۶۶۴
محدودیت زمین و محدودیت آب نباشد	$W_{ew}$	نامشخص	۸۰/۶	۲۲۳,۹۲۰,۴۳۴	۲۷۷,۹۱۱	۵,۴۲۴	۱/۸۴	۴۱۲,۲۰۴,۶۳۴
		۴	۱۰۰/۵	۲۸۲,۹۴۲,۲۷۸	۲۸۱,۶۰۷	۶,۳۵۳	۱/۸۶	۵۲۵,۲۹۴,۵۴۱
محدودیت زمین و آب نباشد	$W_w$	نامشخص	۱۰۹/۳	۳۵۲,۹۳۷,۸۷۱	۳۲۲,۸۵۰	۷,۳۵۲	۱	۳۵۲,۹۳۷,۸۷۱
		۴	۱۳۶/۹	۴۴۸,۴۵۵,۸۸۱	۳۲۷,۵۷۶	۸,۴۳۹	۱	۴۴۸,۴۵۵,۸۸۱
محدودیت زمین و آب نباشد	$W_{ew}$	نامشخص	۸۰/۶	۲۲۳,۹۲۰,۴۳۴	۲۷۷,۹۱۱	۵,۴۲۴	۱	۲۲۳,۹۲۰,۴۳۴
		۴	۱۰۰/۵	۲۸۲,۹۴۲,۲۷۸	۲۸۱,۶۰۷	۶,۳۵۳	۱	۲۸۲,۹۴۲,۲۷۸

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق عمق‌های بهینه آبیاری در شرایط مختلف فراهمی آب و زمین جهت حصول حداکثر درآمد خالص از باغ مرکبات به روش English محاسبه گردید. نتایج نشان داد که رعایت یک برنامه آبیاری مدون، تأثیر معنی‌داری بر روی عملکرد ایجاد می‌نماید که با نتایج مقبلی دامنه و همکاران (۱۳۹۷) و عبادی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. میزان عمق آب آبیاری در حالت آبیاری کامل و برای شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به ترتیب ۱۴۸/۳ و ۱۸۶/۵ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین مقدار عملکرد و درآمد خالص از واحد زمین از عمق‌های آبیاری  $W_m$ ،  $W_l$  و  $W_{el}$  بدست آمد و برای این سه عمق، اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند که با نتایج عبادی و همکاران (۱۳۹۴)، سهرابی مشک‌آبادی (۱۳۷۸)، جانباز (۱۳۷۵) همخوانی داشته است. در شرایط محدودیت زمین، میزان عمق آب موردنیاز برای شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به ترتیب ۱۴۶/۲ و ۱۸۴/۰ میلی‌متر می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با عمق آب آبیاری کامل ندارد. در این حالت درآمد خالص از واحد سطح و مقدار شاخص BRC بیشینه می‌گردد. در شرایط محدودیت آب، میزان عمق آب موردنیاز برای شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به

ترتیب ۱۰۹/۳ و ۱۳۶/۹ میلی‌متر می‌باشد. در این حالت میزان آب مصرفی ۲۶/۳ و ۲۶/۹ درصد کاهش می‌یابد. عملکرد به میزان ۶/۵ و ۷/۵ درصد کاهش می‌یابد. اما درآمد خالص از واحد حجم آب مصرفی به میزان ۱۶/۲ و ۱۶/۳ درصد افزایش می‌یابد. در شرایط محدودیت آب با به‌کارگیری عمق آب مصرفی معادل که برای شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز به ترتیب ۸۰/۶ و ۱۰۰/۵ میلی‌متر می‌باشد، می‌توان ۴۶ و ۴۶ درصد در میزان مصرف آب صرفه‌جویی کرد و همچنان میزان درآمد خالص از واحد آب مصرفی برابر با درآمد خالص از واحد آب مصرفی به ازای عمق آبیاری بیشینه را بدست آورد. در شرایط دور آبیاری متغیر و دور آبیاری ۴ روز با مصرف ۴۹/۱ و ۶۱/۱ میلی‌متر آب آبیاری، میزان درآمد خالص صفر می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد چه در شرایط بدون محدودیت و چه در شرایط محدودیت آب، رعایت یک برنامه آبیاری مشخص و نیز اعمال کم آبیاری تأثیر مثبتی بر روی درآمد باغدار ایجاد می‌نماید. در شرایط بدون محدودیت، بهترین مدیریت آبیاری دور آبیاری ۴ روز و عمق آبیاری RAW ۸۰٪ است که در این حالت کل عمق آب آبیاری در فصل رشد ۱۴۹/۲ میلی‌متر است. میزان عملکرد برای این عمق ۵۵/۰ تن در هکتار و میزان درآمد خالص برای این حالت بیش از ۴۸۳ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. برای اعمال این مقدار از کم آبیاری

عمق‌های آستانه‌ای آب آبیاری برای تولید مرکبات در مناطق مرطوب ایران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۶): ۹۲۶-۹۱۸.

علیزاده، ح. ع. و عباسی، ف. ۱۳۹۵. بهینه سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی/ب. ۳۰ (۴): ۴۵۵-۴۴۵.

قهرمان، ب.، زندپارسا، ش. و سپاسخواه، ع. ۱۳۸۰. کم آبیاری ذرت: مقایسه دو روش. مجله تحقیقات کشاورزی ایران. ۲۰ (۱): ۱۶-۱.

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): ۷۱۸-۷۰۷.

میری، ف. س.، شاهنظری، ع.، ضیاء تبار احمدی، م. خ. و زبردست رستمی، ح. ع. ۱۳۹۳. اثر کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸ (۱): ۸۶-۸۰.

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*. 98: 1027-1032

Capra, A., Consoli, S and Scicolone, B. 2011. Economic Analysis of Citrus Orchards under Deficit Irrigation 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.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper No. 33*, FAO, Rome.

English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 399-411.

English, M. and Raja, S.N. 1996. Perspective on deficit irrigation. *Journal of Agricultural Water Management*. 32: 1-14.

Ginestar C., and Castel J.R. 1996. Responses of young Clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *Journal of Horticultural Sciences*. 71.4: 551-559.

Hughes, N. 2011. Estimating irrigation farm production function with ABARES survey data. ABARES conference. 9.11 February 2011, Melbourne, Victoria.

Shabani, A., Sepaskhah, A.R., and Khorramian, M.

می‌توان قبل از آبیاری میزان رطوبت را اندازه‌گیری کرد و به میزان ۸۰٪ رطوبت سهل‌الوصول آبیاری را انجام داد و یا اینکه به این نسبت دور آبیاری را بیشتر و یا زمان آبیاری را کمتر کرد. در شرایط با محدودیت آب نیز بهترین مدیریت آبیاری دور آبیاری ۴ روز است که کل عمق آب آبیاری مورد نیاز در فصل رشد ۱۳۶/۹ میلی‌متر است. از آنجایی که تجزیه و تحلیل فنی کم آبیاری در این تحقیق بر اساس حصول بیشترین سود اقتصادی است، نتایج آن می‌تواند برای باغداران قابل استفاده باشد. شایان ذکر است که بازدهی اقتصادی و سادگی اجرای برنامه آبیاری دو عامل مهم علاوه بر تجزیه و تحلیل فنی می‌باشد که کارشناسان در تعیین یک برنامه آبیاری قابل قبول آنها را باید در نظر بگیرند.

## منابع

احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، حسینیپور، ر. و عبدشاه، ه. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۷، 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.

توکلی، ع. ر. و فرداد، ح. ۱۳۷۸. ارزیابی اقتصادی کم آبیاری روی محصول چغندر قند جهت بهینه‌سازی مصرف آب. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳ (۳): ۵۸۴-۵۷۵.

خرمیان، م. و حسین پور، م. ۱۳۹۵. بهینه سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندر قند بر اساس توابع تولید و هزینه در شمال استان خوزستان. مجله علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی - پژوهشی). 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. بهینه سازی آب مصرفی چغندر قند در شرایط شوری آب آبیاری و وابستگی قیمت به کیفیت محصول. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۶): ۱۷۷۳-۱۷۶۲.

عبادی، ه.، رائینی سرجاز، م. و غلامی سفیدکوهی، م. ع. ۱۳۹۴. تعیین

Sepaskhah, A.R. and Kashefipour, S.M., 1994. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 25 (1): 13-21.

Shalhevet, J., Mantell, A., Bielora, H and Shimshi, D. 1985. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. *International Irrigation Information Centre*.

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.

## Economical Analysis of Deficit Irrigation Management: A Case Study in an Orange Orchard

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

Received: Oct.13, 2020

Accepted: Jan.02, 2021

### Abstract

In the current experimental study, economic analysis of deficit irrigation was conducted for an orange orchard and results were evaluated based on the highest net income. This experiment was performed as a split plot in the form of a randomized complete block design with five replications in 2018. The main treatments were two types of irrigation management including variable irrigation interval and 4 days irrigation interval. Sub factor was 4 irrigation levels including 100%, 80%, 65% and 50% of soil readily available water (RAW). For economic evaluation, production, cost and income functions and optimum water use depths were calculated using English method. Results showed that irrigation water depth for maximum yield for two types of irrigation management was 148.3 and 186.5 mm, respectively. When land is limiting, the best irrigation water depths were 146.2 mm and 184.0 mm. When water is limiting, the irrigation water depths are 109.3 and 136.9 mm, respectively, which caused more than 16 percent increase in net income per unit volume of water both two types of irrigation managements. With this amount of saved water, if land is not limited, the cultivated area can be increased up to 36% and 36%. Results showed that the optimum irrigation water management (in unlimited conditions) is 4 days irrigation interval and 80%RAW irrigation depth. For this situation, the yield was 55 ton/ha. The net income for this case is more than 483 million Rials per hectare and B/C equals to 1.78. The highest net income (for no land limitation and irrigation depth equivalent to full irrigation), is irrigation as large as  $W_w$  (water limitation conditions) that net income for the without and 4 days irrigation interval are more than 476 and 611 million Rials, respectively. This case generates the most net income per unit volume of used water. Results showed that in both unlimited condition and in water limitation condition, having an irrigation schedule and also applying deficit irrigation has a positive effect on the gardener's income that for deficit irrigation in unlimited condition 1492 and in water limitation condition 1369 m<sup>3</sup>/ha water is needed.

**Keywords:** Deficit irrigation, English method, Optimum water use depth, Production function, Readily available water

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, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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