



## The Effect of Deficit Irrigation on Irrigation Water Price and Water Productivity

F. Omid<sup>1\*</sup> and M. Homae<sup>2</sup>

### Abstract

Increasing scarcity of water resources and its influence on quality and quantity of crop yield motivates farmers to apply deficit irrigation as an approach to overcome the lack of water. On the other hand, the importance of water as an intermediate good in agriculture has increased competition to access water as an economic good. Consequently, determining the irrigation water price under deficit irrigation is necessary to improve water productivity. In order to assess the impact of water price on water productivity, in this study green pepper was cultivated under four different water levels including 50, 70, 100 and 120% of crop water requirement. The crop yield was then harvested and its dry matter measured at the end of growth period. Results indicated that after applying deficit irrigation and optimizing irrigation water depth, water price was reached to its maximum which was  $183.4 \times 10^4$  Rials per cubic meter. In addition, irrigation efficiency, physical productivity, physical-economical productivity and economical productivity under deficit irrigation were  $5.67(\text{kg}/\text{m}^3)$ ,  $5.1(\text{kg}/\text{m}^3)$ ,  $191.4 \times 10^4$  (Rls/ $\text{m}^3/\text{ha}$ ) and 1.04, respectively, which were all higher than those of other water treatments results. Furthermore, the deficit irrigation before water depth optimization did not considerably affect irrigation efficiency, while after water depth optimization, deficit irrigation resulted better irrigation efficiency than full irrigation scheme.

**JEL classification:** Q11, Q18, Q25

**Keywords:** Water Stress, Crop Production Function, Irrigation Efficiency, Economic Productivity.

Received: December 9, 2019

Accepted: July 9, 2020

## تأثیر کم آبیاری بر قیمت آب آبیاری و بهره‌وری آب

فریماه امید<sup>۱\*</sup> و مهدی همایی<sup>۲</sup>

### چکیده

کاهش روزافزون منابع آب و اثر آن بر کمیت و کیفیت محصولات، سبب شده کشاورزان از کم آبیاری به عنوان راهکاری برای مقابله با کمبود آب بهره ببرند. از سوی دیگر، اهمیت آب به عنوان کالایی واسطه‌ای و کمبود آن، سبب افزایش رقابت برای دسترسی به این عنصر حیاتی شده و آن را به عنوان کالایی اقتصادی مطرح می‌کند. در این راستا، تعیین قیمت آب آبیاری در شرایطی که کم آبیاری به عنوان راهکاری برای افزایش بهره‌وری آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضروری است. در پژوهش حاضر گیاه فلفل سبز قلمی، تحت چهار تیمار آبیاری ۵۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی کشت شد. پس از پایان دوره کشت و برداشت گیاه، تابع تولید محصول بر اساس مقدار ماده خشک تولید شده به دست آمد. نتایج نشان داد که با اعمال کم آبیاری و پس از بهینه‌سازی عمق آب آبیاری، قیمت آب به  $۱۸۳/۴۴$  (هزار ریال به ازای هر متر مکعب) رسید که حداکثر قیمت به دست آمده برای آب در این پژوهش می‌باشد. همچنین، راندمان کاربرد آب آبیاری، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری فیزیکی-اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی در شرایط کم آبیاری به ترتیب  $۵/۶۷$  (کیلوگرم بر متر مکعب)،  $۵/۱$  (کیلوگرم بر متر مکعب)،  $۱۹۱/۴۲$  (هزار ریال به ازای هر متر مکعب در هر هکتار) و  $۱/۰۴$  به دست آمد که از سایر تیمارها بیشتر بود. همچنین کم آبیاری، قبل از بهینه‌سازی عمق آب آبیاری، بر راندمان آبیاری اثر قابل توجهی نداشت در حالی که پس از بهینه‌سازی عمق آب، سبب افزایش راندمان آبیاری نسبت به حالت آبیاری کامل شد.

**طبقه‌بندی JEL:** Q11, Q18, Q25

**کلمات کلیدی:** تنش کم آبی، تابع تولید محصول، راندمان آبیاری، بهره‌وری اقتصادی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۴/۱۹

1- Ph.D. Scholar of Irrigation Science and Engineering, Tehran, Iran. Email: [farimahomidi@gmail.com](mailto:farimahomidi@gmail.com)

2- Professor of Irrigation and Drainage Department, Agriculture and Natural Resources Campus, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: [mhomae@modares.ac.ir](mailto:mhomae@modares.ac.ir)

\*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته‌ی دوره‌ی دکتری تخصصی علوم و مهندسی آبیاری، تهران، ایران.

۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

عملکرد در واحد سطح، (۲) نگرش کارشناسان آبیاری که هدفشان حصول حداکثر کارایی و بهره‌وری از آب مصرفی بوده و (۳) نگرش اقتصاددانان که به حداکثر سود و درآمد خالص نهایی توجه دارند. از دیدگاه متخصصان آبیاری کارایی مصرف آب همان میزان تولید به ازای مصرف یک واحد آب می‌باشد ولی اقتصاددانان معتقدند که علاوه بر میزان مصرف آب آبیاری، عواملی چون روش آبیاری و قیمت نهاده‌ی آب بر بهره‌وری آب مؤثر می‌باشند. به منظور بهره‌برداری اقتصادی از آب لازم است الگوی مصرف آب به نحوی تدوین و برنامه‌ریزی شود که از هر واحد آب، بیشترین درآمد تولید گردد (Asadi et al., 2012). بنابراین، به هنگام به کارگیری روش‌های کاهش مصرف آب مانند کم‌آبیاری، لازم است که اثر روش و برنامه‌ی آبیاری بر قیمت آب آبیاری و بهره‌وری آب هم از دیدگاه فنی و هم از دیدگاه اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

تاریخچه‌ی پژوهش درباره‌ی تعیین تابع تولید محصول به ازای آب مصرفی، به بیش از ۱۰۰ سال قبل بازمی‌گردد. پژوهش‌های انجام شده توسط (Mathews and Cole and Mathews (1923), Jensen (1938), Arkley (1963), De Wit (1958), Brown (1938), (1968), Hanks (1974), Minhas (1974), Stewart (1977), Doorenbos and Peruit (1977), Hexem and Heady (1978), Doorenbos and Kassam (1979) و Hanks and Rasmussen (1982) همگی منجر به یافتن توابع تولید تجربی بر اساس مقدار آب آبیاری، تبخیر و تعرق و یا تعرق شدند. (Hexem and Heady (1978) مجموعه‌ای مفاهیم کاربردی اقتصادی و کشاورزی را بر اساس تابع تولید ارائه نمودند. در همین راستا، Hargreaves and Samani (1984)، کم‌آبیاری را از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار دادند. یکی از موانعی که اغلب بر سر راه تحلیل‌های اقتصادی قرار دارد این است که روابط مورد استفاده در این تحلیل‌ها با روابط حاکم بر پدیده‌های زراعی تطابق ندارد. شواهد نشان می‌دهد که ارزش آب به هنگام استفاده در بازه‌های زمانی مختلف در طول دوره‌ی کشت متغیر است (Geerts and Raes, 2009; Manning et al., 2018); این در حالی است که برخی پژوهشگران معتقدند که یک رابطه‌ی خطی بین مقدار محصول تولید شده و ارزش آب آبیاری در طول دوره‌ی رشد وجود دارد (Stewart, 1977; English, 1990; Doorenbos and Kassam, 1979).

از آنجایی که مقدار محصول تولید شده نه تنها به مقدار نهاده‌های ورودی، بلکه به زمان استفاده از آن‌ها در طول دوره‌ی کشت نیز بستگی دارد، فرآیند تولید محصولات کشاورزی می‌تواند بسیار پیچیده باشد. به عبارت دیگر، تولید محصول، تحت تأثیر متغیرهای محیطی

ایران یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین است که با مشکل کم‌آبی، خشکسالی‌های متناوب و سیل‌های مخرب و ویرانگر مواجه است. رشد فزاینده‌ی جمعیت و تخریب‌های ناشی از آن و نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی، دامی و محدودیت آب و نیز خاک حاصلخیز به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسأله‌ی کم‌آبی را به گونه‌ای بسیار جدی فرا روی کشور قرار داده است (Pouuran et al., 2017). بنابراین، سرزمین پهناور ایران، منابع آبی و خاکی فراوانی را در خود جای داده که بخشی از آن برای کشاورزی چندان مناسب نبوده و هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریتی تخصصی و آگاهانه است (Homaei, 2002). کشاورزان برای مقابله با بحران کم‌آبی، راهکارهای مختلفی مانند: کاهش مساحت تحت آبیاری، تغییر گیاهان الگوی کشت، استفاده از فناوری‌های نوین، کاهش مقدار آب آبیاری و تغییر زمان کشت را مورد استفاده قرار می‌دهند (Hargreaves and Samani, 1984; English, 1990; English and Raja, 1996; Geerts and Raes, 2009; Wada et al., 2014; Manning et al., 2018). از آنجایی که منابع آب قابل استفاده، محدود هستند و آب به عنوان کالایی واسطه‌ای سبب ایجاد ارزش افزوده در کشاورزی می‌شود، باید آن را به عنوان کالایی اقتصادی در نظر گرفت و برنامه‌ریزی برای مصرف آب را نیز از دیدگاه اقتصادی اعمال نمود (Hoekstra and Hung, 2005). بنابراین، تعیین قیمت آب آبیاری، به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند، ضروری است.

از سوی دیگر، رشد روزافزون جمعیت و نیاز به آب و تولید غذای بیشتر، کارشناسان را بر آن داشته است تا راهکارهایی برای تولید محصول به ازای مصرف آب کمتر اعمال کنند چرا که، برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی و خشکسالی‌های پی در پی سبب شده که کاهش مصرف آب به یکی از چالش‌های بسیار بزرگ پیش روی کشاورزان بدل شود. در این راستا، کم‌آبیاری یکی از روش‌هایی است که به منظور تولید محصول به ازای آب کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hargreaves and Samani, 1984; English, 1990; English and Raja, 1996; Geerts and Raes, 2009; Wada et al., 2014; Manning et al., 2018).

رابطه‌ی بین مقدار نهاده‌های مصرفی و مقدار محصول تولید شده با این نهاده‌ها، تابع تولید محصول نامیده می‌شود که پایه و اساس تمامی روش‌های قیمت‌گذاری آب می‌باشد (Young, 2005; Young and Loomis, 2014). در زمینه‌ی آب مصرفی و توابع تولید مربوطه سه نگرش وجود دارد: (۱) نگرش آگرونومیست‌ها یعنی حصول حداکثر

در این پژوهش از سه روش برای محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری استفاده شد. روش اول که در آن قیمت آب آبیاری بر اساس درصدی از قیمت محصول بوده و با استفاده از رابطه‌ی یک محاسبه می‌شود:

$$P_w = 0.03 \times P_y \quad (1)$$

که در این رابطه،  $P_w$  قیمت آب آبیاری ( $Rls/m^3$ ) و  $P_y$  قیمت محصول ( $Rls/kg$ ) می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این روش پایه‌ی علمی ندارد و فقط تخمینی از قیمت آب می‌باشد.

در روش دوم، بر اساس پژوهش‌های (English, English (1990), Young and Loomis (1996), and Raja (2005), and Young (2005), (2014)، قیمت آب آبیاری تابعی خطی از مقدار محصول تولیدی به ازای آب مصرفی و قیمت محصول می‌باشد که با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P_w = P_y \times \frac{Y}{W} \quad (2)$$

که در آن،  $P_w$  قیمت آب آبیاری ( $Rls/m^3$ )،  $P_y$  قیمت محصول ( $Rls/kg$ )،  $Y$  مقدار محصول تولید شده ( $kg/ha$ ) و  $W$  مقدار آب مصرفی ( $m^3/ha$ ) می‌باشد. در مناطقی که با کمبود آب مواجه نیستند، استفاده از رابطه‌ی ۲ بلامانع است چرا که در این مناطق، یا عوامل محیطی تنش‌زا وجود ندارند و یا کنترل شده هستند. بنابراین، تغییرات مقدار آب آبیاری در طول دوره‌ی کشت وجود ندارد و صد درصد نیاز آبی گیاه در همه‌ی مراحل رشد، تأمین می‌شود. شرایط در مناطق خشک و نیمه خشک و یا مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند، متفاوت است. برای لحاظ کردن اثر تنش آبی در محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری، روش سوم پیشنهاد می‌شود:

$$P_w = P_y \times \left( \frac{\partial y}{\partial w} \right) \quad (3)$$

در این رابطه،  $P_w$  قیمت آب آبیاری ( $Rls/m^3$ )،  $P_y$  قیمت محصول ( $Rls/kg$ ) و  $\frac{\partial y}{\partial w}$  نشان‌دهنده‌ی تابع تولید محصول به ازای آب مصرفی می‌باشد. پس از محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری با سه روش ارائه شده در روابط یک، دو و سه، تابع هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت استخراج شد و به همراه تابع تولید محصول به ازای آب آبیاری، در بهینه‌سازی عمق آب آبیاری به هنگام اعمال کم‌آبیاری، مورد استفاده قرار گرفت.

$$Y(w) = a_1 + b_1x + c_1x^2 \quad (4)$$

$$C(w) = a_2 + b_2x + c_2x^2 \quad (5)$$

رابطه‌ی ۴، تابع تولید محصول به ازای آب مصرفی و رابطه‌ی ۵، تابع هزینه‌ها به ازای آب مصرفی می‌باشد که در آن‌ها  $x$  مقدار آب آبیاری و  $a$  و  $b$  و  $c$  پارامترهای توابع هستند که برای هر گیاه و در هر شرایط اقلیمی خاص، منحصر به فرد می‌باشند. برای بهینه‌سازی عمق آب آبیاری به هنگام کم‌آبیاری، از روابط زیر استفاده شد:

پیش‌بینی نشده (مانند دما، بارش، باد، خاک، بیماری‌ها و آفات) و زمان وقوع آن‌ها در طول دوره‌ی کشت قرار دارد (Young, 2005; Young and Loomis, 2014). بنابراین، ارزیابی واکنش گیاه به کمبود آب و یافتن بهترین تابع تولید محصول - آب آبیاری می‌تواند ابزاری دقیق به منظور تعیین برنامه‌ی آبیاری، انتخاب گیاهان مناسب برای الگوی کشت، تعیین مقدار بهینه‌ی کود، راندمان کاربرد و بهره‌وری آب آبیاری و محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری در اختیار کارشناسان قرار دهد.

مدیریت مصرف در بهره‌برداری از منابع آب، یک مسیر مستقیم جهت افزایش ارزش تولید شده توسط آب است که با مفهوم بهره‌وری آب شناخته می‌شود. با توجه به مشکلات کمبود آب در سال‌های اخیر و عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب، مدیریت مصرف، ایجاد انگیزه، آگاهی و قرار دادن قوانین محکمی که در کنار هم بتوانند مصرف آب را کاهش داده و بهره‌وری آب را افزایش دهند، امری ضروری است. از جمله ابزارهای کارآمد در مدیریت تقاضا و کاهش مصرف، قیمت‌گذاری آب است (Ohab-Yazdi et al., 2014). این در حالی است که در کشور ما، با وجود مصرف بیش از ۹۰٪ منابع آب در کشاورزی، همواره نرخه‌ی بین ۱ تا ۳ درصد قیمت محصولات بابت مصرف آب از کشاورزان دریافت شده و برداشت از چاه‌ها بدون هیچ پرداختی صورت می‌گیرد (Pouuran et al., 2017). از سوی دیگر، محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری، اولین قدم برای بهینه‌سازی عمق آب آبیاری بر اساس نسبت سود به هزینه است که در برگزیده‌ی مفهوم بهره‌وری اقتصادی نیز می‌باشد (Capra et al., 2008).

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از پژوهش حاضر، تعیین قیمت آب آبیاری بر اساس تابع تولید محصول به هنگام اعمال تنش کم‌آبی و بررسی اثر آن بر بهره‌وری آب از دیدگاه فنی و اقتصادی می‌باشد.

## ۲- روش تحقیق

به منظور استخراج تابع تولید محصول، فلفل سبز قلمی<sup>۱</sup> تحت چهار تیمار آبیاری ۵۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد کشت شد. پس از پایان دوره‌ی کشت و برداشت محصول، مقدار ماده‌ی خشک گیاه تعیین شده و سپس بهترین تابع تولید محصول به ازای مقدار آب مصرفی با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot 13.2 به دست آمد. از تابع تولید به دست آمده برای محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری و تعیین مقدار آب مصرفی بهینه به هنگام اعمال تنش کم‌آبی یا همان کم‌آبیاری استفاده شد.

با توجه به نکاتی که در بخش مقدمه ذکر شد، قیمت آب آبیاری در کشور ما، بین یک تا سه درصد قیمت محصول در نظر گرفته می‌شود.

$$Z_3 = \left[ (b_1 P_y - b_2)^2 - 4(c_1 P_y - c_2)(a_1 P_y - a_2) \right]^{0.5} \quad (14)$$

پس از بهینه‌سازی عمق آبیاری، راندمان آبیاری و راندمان کاربرد آب با استفاده از روابط ۱۵ و ۱۶ به دست آمد (Keller and Keller, 1995; Seckler et al., 2003; Barker et al., 2000):

$$IE = \frac{ET - ER}{AIW - DP - ReW} \quad (15)$$

که در آن ET مقدار تبخیر و تعرق (mm)، ER مقدار بارش مؤثر (mm)، AIW مقدار آب آبیاری (mm)، DP مقدار نفوذ عمقی (mm) و ReW مقدار برگشت به چرخه‌ی آب (mm) می‌باشد.

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (16)$$

که در آن Y مقدار محصول تولید شده (Kg/ha) و ET تبخیر و تعرق گیاه (m<sup>3</sup>/ha) می‌باشد. مفهوم بهره‌وری بسیار وسیع است. به طور کلی، بهره‌وری از نسبت خروجی‌ها به ورودی‌ها به دست می‌آید. برای استفاده‌ی بهتر از مفهوم بهره‌وری، می‌توان مفهوم آن را به سه بخش فیزیکی<sup>۱</sup>، فیزیکی-اقتصادی<sup>۲</sup> و اقتصادی<sup>۳</sup> تقسیم نمود (Seckler et al., 2003; Barker et al., 2000). در این پژوهش بهره‌وری فیزیکی با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$PP = \frac{Y}{AIW} \quad (17)$$

که در آن، Y مقدار محصول تولید شده (Kg/ha) و AWI مقدار آب آبیاری (m<sup>3</sup>/ha) می‌باشد. برای محاسبه‌ی بهره‌وری فیزیکی-اقتصادی از رابطه‌ی زیر استفاده شد:

$$PEP = \frac{P_y}{AIW} \quad (18)$$

که در آن، P<sub>y</sub> ارزش محصول تولید شده (Rls/m<sup>3</sup>) و AIW مقدار آب آبیاری (m<sup>3</sup>/ha) می‌باشد. بهره‌وری اقتصادی در این پژوهش با استفاده از رابطه‌ی ۱۹ محاسبه شد:

$$EP = \frac{P_y}{P_w} \quad (19)$$

که در آن، P<sub>y</sub> ارزش محصول تولید شده (Rls/kg) و P<sub>w</sub> ارزش آب آبیاری (Rls/m<sup>3</sup>) می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از برازش تابع به داده‌های به دست آمده از پژوهش در شکل یک ارائه شده است:

تابع تولید برازش داده شده به داده‌های مشاهداتی در شکل یک، در رابطه‌ی زیر ارائه شده است:

$$Y = -0.0132x^2 + 31.333 - 13029 \quad (20)$$

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \quad (6)$$

که در آن، W<sub>m</sub> نشان دهنده‌ی عمق آبیاری کامل (mm) می‌باشد. عمق آبیاری کامل بدین معناست که آب مورد نیاز گیاه به طور کامل تأمین شود و گیاه دچار تنش نگردد. b<sub>1</sub> و c<sub>1</sub> پارامترهای رابطه‌ی ۴ هستند. اگر سطح زیر کشت محدود باشد، رابطه‌ی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$W_1 = \frac{b_2 - b_1 P_y}{2(c_1 P_y - c_2)} \quad (7)$$

که در آن W<sub>1</sub> مقدار آب آبیاری (mm) در شرایطی است که سطح زیر کشت محدود شود. b<sub>2</sub> و c<sub>2</sub> پارامترهای رابطه‌ی ۵ هستند. اگر منبع آب آبیاری محدود باشد، از رابطه‌ی ۸ برای محاسبه‌ی عمق آب آبیاری استفاده می‌شود:

$$W_w = \left[ \frac{a_1 P_y - a_2}{c_1 P_y - c_2} \right]^{0.5} \quad (8)$$

که در آن، W<sub>w</sub> مقدار آب آبیاری (mm) به هنگام اعمال کم‌آبیاری می‌باشد. به هنگام محدودیت زمین، عمق معادل آبیاری کامل با استفاده از رابطه‌ی ۹ محاسبه می‌شود:

$$W_{el} = \frac{(b_2 - b_1 P_y) \pm Z_1}{2(c_1 P_y - c_2)} \quad (9)$$

که در آن Z<sub>1</sub> از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z_1 = \left[ (b_1 P_y - b_2)^2 - 4(c_1 P_y - c_2) \left( \frac{b_1^2 P_y}{4c_1} + \frac{c_2 b_1^2}{4c_1^2} - \frac{b_1 b_2}{2c_1} \right) \right]^{0.5} \quad (10)$$

به هنگام محدودیت آب (کم‌آبیاری)، عمق معادل آبیاری کامل از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$W_{ew} = \frac{-\left[ \frac{b_1 P_y}{2} + \frac{2a_1 c_1 P_y}{b_1} - \frac{2a_2 c_1}{b_1} - \frac{c_2 b_1}{2c_1} \right] \pm Z_2}{2(c_1 P_y - c_2)} \quad (11)$$

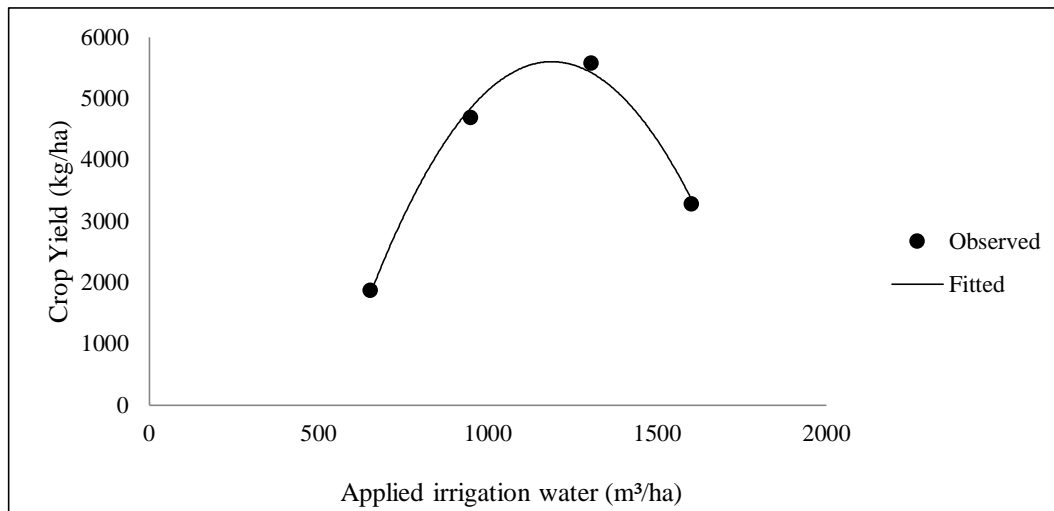
که در آن، Z<sub>2</sub> به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_2 = \left\{ \left[ \frac{b_1 P_y}{2} + \frac{2a_1 c_1 P_y}{b_1} - \frac{2a_2 c_2}{b_1} - \frac{c_2 b_1}{2c_1} \right]^2 - 4(c_1 P_y - c_2)(a_1 P_y) \right\}^{0.5} \quad (12)$$

عمق آب آبیاری در حالت سربره‌سری (هنگامی که سود با هزینه برابر می‌شود) با استفاده از رابطه‌ی ۱۳ به دست می‌آید:

$$W_k = \frac{(b_2 - b_1 P_y) \pm Z_3}{2(c_1 P_y - c_2)} \quad (13)$$

که در آن Z<sub>3</sub> از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:



**Fig. 1- Crop-water production function for green pepper under different irrigation water applications**  
 شکل ۱- تابع تولید محصول-آب آبیاری برای فلفل سبز قلمی تحت تیمارهای مختلف آبیاری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

روش برنامه‌ریزی خطی و روش بودجه‌بندی استفاده و قیمت آب آبیاری را ۱۳۵۰ ریال به ازای هر متر مکعب محاسبه کردند که با افزایش بهره‌وری، قیمت آب نیز افزایش یافته و به ۱۷۸۰ ریال به ازای هر متر مکعب رسید. (Omidi and Homaei, 2015) میانگین قیمت آب آبیاری گندم برای کل کشور را در یک بازه‌ی زمانی ده ساله محاسبه کردند که از ۱۰۳۶ ریال در سال ۱۳۷۸ به ۳۵۷۲ ریال به ازای هر متر مکعب در سال ۱۳۸۸ افزایش یافت. در پژوهش دیگری، Pouran et al. (2017) با هدف حداکثر کردن بهره‌وری، ارزش اقتصادی آب آبیاری را برای استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر، اصفهان، ایلام و سمنان به ترتیب ۱۴۶۱۵، ۴۰۶۰۸، ۷۲۴۰، ۴۶۷۳ و ۳۹۲۷۴ ریال به ازای هر متر مکعب محاسبه کردند. مقایسه نتایج به‌دست آمده در جدول یک با نتایج پژوهش‌های ذکر شده نشان داد که در روشی که قیمت آب آبیاری با استفاده از تابع تولید محاسبه شده است (روش سوم)، قیمت آب کمتر از روشی است که در آن از نسبت مقدار محصول به مقدار آب آبیاری استفاده شده است (روش دوم). نتایج به دست آمده در جدول ۱، در شکل ۲ نشان داده شده است.

که در آن،  $x$  مقدار آب آبیاری ( $m^3/ha$ ) و  $Y$  مقدار محصول ( $kg/ha$ ) می‌باشد. با استفاده از تابع تولید به دست آمده می‌توان قیمت آب آبیاری را از طریق رابطه‌ی ۳ به دست آورد. نتایج محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری با استفاده از روابط یک، دو و سه در جدول یک ارائه شده است. قیمت محصول در محاسبات این پژوهش، ۳۷۵۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم در نظر گرفته شده است (بر اساس قیمت در بازار در سال ۱۳۹۶).

همان‌طور که در جدول یک مشاهده می‌شود، قیمت آب آبیاری که با استفاده از رابطه‌ی یک و به صورت سه درصد از قیمت محصول محاسبه شده‌است، برای هر مقدار محصول و هر عمق آب، ثابت می‌باشد (۱۱۲۵ ریال به ازای هر متر مکعب). این روش، مبنای علمی نداشته و نمی‌تواند اثر عواملی مانند عرضه و تقاضا، مقدار محصول، مقدار آب آبیاری و اثر تنش‌های محیطی را نشان دهد. همچنین، ارزش محاسبه شده برای آب با استفاده از این روش بسیار کم است.

Asadi et al. (2012) با استفاده از معادله‌های سری یک‌نواخت، قیمت آب آبیاری را برای گندم ۱۲۳/۹ ریال به ازای هر متر مکعب محاسبه نمودند. در پژوهشی دیگر، Ohab-Yazdi et al. (2014) از ترکیب

**Table 1- Irrigation water price for green pepper based on the introduced methods**  
 جدول ۱- قیمت آب آبیاری برای فلفل سبز قلمی با استفاده از سه روش معرفی شده (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Crop yield (kg/ha)	Applied irrigation water (m <sup>3</sup> /ha)	Irrigation water price (First method)	Irrigation water price (2 <sup>nd</sup> method)	Irrigation water price (3 <sup>rd</sup> method)
		(Rls/m <sup>3</sup> )	(Rls/m <sup>3</sup> )	(Rls/m <sup>3</sup> )
5578.1	1306.25	1125	160167.5	44620.4
4687	950	1125	185032.9	36164.3
1875	653.13	1125	107676.1	14009.4
3281.3	1603.13	1125	76761.5	36563.7

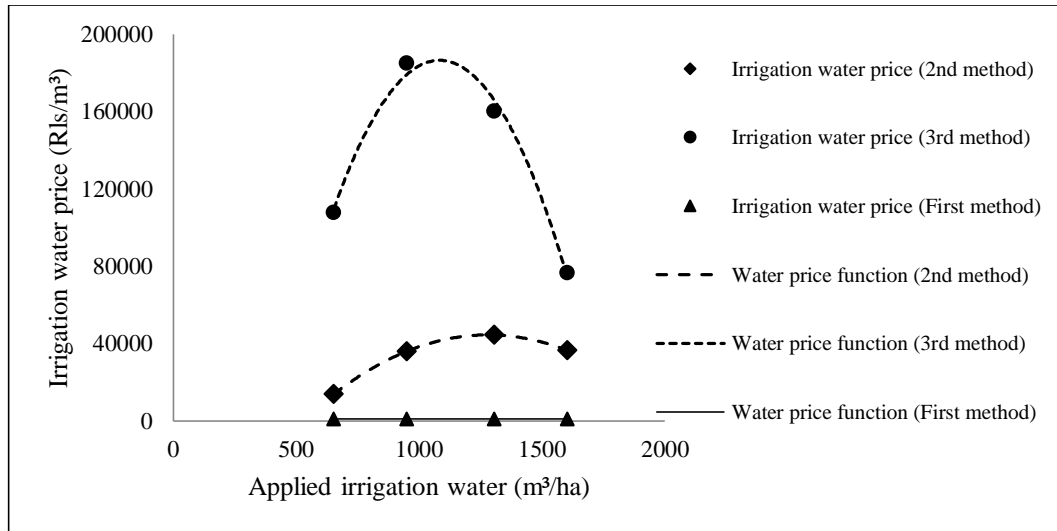


Fig. 2- The comparison of different water pricing methods for green pepper

شکل ۲- مقایسه‌ی قیمت آب آبیاری به دست آمده از روش‌های مختلف برای فلفل سبز قلمی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

که در آن  $w$  مقدار آب آبیاری ( $m^3/ha$ ) و  $C(w)$  مجموع هزینه‌ها ( $Rls/m^3$ ) می‌باشد.

Table 2- Production costs

جدول ۲- هزینه‌های تولید (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Cost categories	Production costs
Fixed costs for planting period	(Rls/ha)
Field operation	500000
Irrigation equipment	200000
Filed machinery and tools	575000
Total	1275000
Variable costs for planting period	(Rls/ha)
Seed	230000
Harvest	700000
Irrigation	900000
Nitrogen	200000
Total	2030000
Total costs	3305000

با داشتن تابع تولید و تابع هزینه، امکان تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی عمق آبیاری مطابق روابط چهار و پنج فراهم شد. نتایج بهینه‌سازی عمق آب آبیاری برای محصول فلفل سبز در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها معرفی شد، در جدول ۳،  $W_k$  نشان‌دهنده‌ی عمق آب آبیاری در حالت سربه‌سری،  $W_1$  عمق آب

با توجه به شکل ۲، قیمت آب آبیاری در روش سوم که در آن از تابع تولید برای محاسبه بهره گرفته شده است، بیشتر از دو روش دیگر می‌باشد. همچنین روند تغییر قیمت در روش سوم، مشابه با روند تابع تولید است با این تفاوت که حداکثر قیمت آب آبیاری در این روش، در حداکثر عمق آبیاری اتفاق نمی‌افتد. این نتیجه بدین معنا است که افزایش مقدار آب آبیاری از ۷۰ درصد نیاز آبی به ۱۰۰ درصد و سپس ۱۲۰ درصد نیاز آبی (بیش‌آبیاری<sup>۵</sup>)، سبب کاهش قیمت آب می‌شود. به عبارت دیگر، کاربرد کم‌آبیاری به عنوان راهکاری برای کاهش مصرف آب، سبب افزایش قیمت آب می‌شود. در حالی که در روش دوم، اثر کم‌آبیاری در تغییر قیمت آب دیده نمی‌شود و قیمت بیشینه آب آبیاری در ۱۰۰ درصد نیاز آبی اتفاق می‌افتد. تابع برازش داده شده به نتایج حاصل از روش سوم قیمت‌گذاری آب آبیاری در شکل دو، تابع چند جمله‌ای درجه‌ی دوم به قرار زیر است:

$$P(w) = -0.4145w^2 + 897.89w - 299736 \quad (21)$$

که در آن  $w$  مقدار آب آبیاری ( $m^3/ha$ ) و  $P(w)$  قیمت آب آبیاری ( $Rls/m^3$ ) می‌باشد. از آنجایی که تعیین تابع هزینه‌ها برای بهینه‌سازی عمق آب آبیاری، ضروری می‌باشد، با اضافه کردن مقدار هزینه‌های ثابت به رابطه‌ی ۲۱، تابع هزینه‌ها به دست آمد (English, 1996). هزینه‌های ثابت در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول دو، تابع هزینه‌ها در رابطه‌ی ۲۲ ارائه شده است.

$$C(w) = -0.4145w^2 + 897.89w + 3005264 \quad (22)$$

کم آبیاری ۰/۱۶ هکتار محاسبه شد. اگرچه این افزایش سطح در حالت کم آبیاری حداقل بود ولی سبب شد که سود خالص با در نظر گرفتن افزایش سطح زیر کشت به حداکثر مقدار یعنی ۲۱۷/۴ میلیون ریال برسد. در شرایطی که محدودیت زمین وجود دارد، اعمال کم آبیاری ۶۲۲/۱۲ متر مکعب در هکتار آب ذخیره کرد، اما سود خالص حاصل از این کار کمتر از حالت آبیاری کامل بود. بنابراین، این که چه عمقی برای آبیاری اعمال شود به این بستگی دارد که هدف ذخیره‌ی بیشتر آب باشد یا تولید سود خالص بیشتر باشد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول چهار می‌توان گفت که اگر هدف، افزایش سود خالص به ازای مصرف آب باشد، روش کم آبیاری (با سود خالص ۱۸۵/۵ هزار ریال به ازای هر متر مکعب در هر هکتار) روش بهینه می‌باشد؛ در حالی که اگر هدف صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش سطح زیر کشت با استفاده از آن مقدار آب باشد، بهتر است از عمق معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت آب استفاده شود.

آبیاری در حالت کمبود زمین،  $W_w$  عمق آب آبیاری در حالت کمبود آب،  $W_{el}$  عمق آب معادل آبیاری کامل در حالت کمبود زمین،  $W_{ew}$  عمق معادل آبیاری کامل در حالت کمبود آب و  $W_m$  عمق آبیاری کامل می‌باشد. همچنین در جدول چهار، نتایج بهینه‌سازی عمق آب آبیاری برای محصول فلفل سبز ارائه شده است. این نتایج نشان داد که اعمال کم آبیاری به هنگام کمبود آب (۹۹۷ متر مکعب در هکتار) سبب شد که سود ناخالص برابر با ۱۹۰/۸۴ میلیون ریال به دست آید. این در حالی بود که در شرایط سربه‌سری، مقدار سود ناخالص و هزینه‌ها برابر و سود خالص، منفی شد. بیشترین مقدار آب ذخیره شده حاصل از اعمال کم آبیاری به ترتیب در شرایط سربه‌سری (۶۴۴/۰۳ متر مکعب در هکتار)، به هنگام اعمال عمق معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت آب (۶۲۲/۱۲ متر مکعب در هکتار) و به هنگام اعمال کم آبیاری (۱۸۹/۸۹ متر مکعب در هکتار) به دست آمد. سطح قابل کشت با این مقادیر آب ذخیره شده برای حالت سربه‌سری ۰/۵۴ هکتار، حالت عمق معادل به هنگام کم آبیاری ۰/۵۲ هکتار و

**Table 3- Analyzing benefits and costs for different irrigation depths when applying deficit irrigation for green pepper**

جدول ۳- تجزیه و تحلیل درآمدها و هزینه‌ها به ازای عمق‌های مختلف آب آبیاری برای فلفل سبز قلمی به هنگام اعمال تنش کم آبی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Irrigation situation	Applied irrigation water	Crop yield (kg/ha)	Gross income (MRIs/ha)	Costs (MRIs/ha)	Amount of saved water in comparison with full irrigation (m <sup>3</sup> )	Net income (MRIs/ha)	Possible cultivation area with saved water (ha)	Total net benefit considering added area (MRIs)
	(m <sup>3</sup> /ha)							
$W_k$	542.8	89.88	3.37	5.77	644.03	-2.395	0.54	107.652
$W_{ew}$	546.7	456	17.1	5.78	622.12	11.325	0.52	117.629
$W_w$	997	5088.93	190.84	5.883	189.89	184.952	0.16	217.398
$W_{el}$	1186.9	5546.88	208.69	5.882	0	202.8	0	202.8
$W_l$	1186.9	5546.88	208.69	5.882	0	202.8	0	202.8
$W_m$	1186.9	5546.88	208.69	5.882	0	202.8	0	202.8

**Table 4- Irrigation water depth optimization for green pepper when applying deficit irrigation**

جدول ۴- بهینه‌سازی عمق آب آبیاری برای فلفل سبز قلمی به هنگام اعمال کم آبیاری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Irrigation situation	Applied irrigation water	Water consumption decrease	Net benefit		Income growth after optimization (%)	
	(m <sup>3</sup> /ha)	%	(MRIs/ha)	(ThousandRIs/ha)	Land limitation	Water limitation
$W_k$	542.8	54.3	-2.395	-4.4		
$W_{ew}$	564.7	52.4	11.325	20.053		
$W_w$	997	16	184.925	185.514		8.8
$W_{el}$	1186.9	0	202.8	170.87		
$W_l$	1186.9	0	202.8	170.87	0	
$W_m$	1186.9	0	202.8	170.87		

آبیاری، استخراج شد. شکل سه، مقادیر تبخیر و تعرق در هر تیمار آبیاری و تابع تولید محصول به ازای تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد.

تابع تولید محصول - تبخیر و تعرق که در شکل ۳ نشان داده شده، یک تابع چند جمله‌ای درجه‌ی دوم است که با استفاده از رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$Y = -0.017ET^2 + 37.27ET - 14669 \quad (23)$$

که در آن Y نشان‌دهنده‌ی مقدار محصول (kg/ha) و ET نشان‌دهنده‌ی مقدار تبخیر و تعرق (m<sup>3</sup>/ha) می‌باشد. با داشتن تابع تولید محصول - تبخیر و تعرق و مقدار محصول تولید شده به ازای عمق‌های مختلف آبیاری W<sub>m</sub>، W<sub>ew</sub>، W<sub>w</sub>، W<sub>el</sub>، W<sub>l</sub>، W<sub>k</sub> مقدار تبخیر و تعرق در هر عمق آبیاری با حل معکوس محاسبه شد.

مقادیر تبخیر و تعرق، راندمان آبیاری و راندمان کاربرد آب آبیاری پس از بهینه‌سازی عمق آب آبیاری، در جدول ۶ ارائه شده است.

با استفاده از مشاهدات پژوهش، تابع تولید محصول به ازای مقدار تبخیر و تعرق نیز به دست آمد. در جدول پنج، مقدار تبخیر و تعرق محصول، راندمان آبیاری و راندمان کاربرد آب برای هر تیمار آبیاری ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۵ نیز مشاهده می‌شود، راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد به هنگام تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. با در سایر تیمارهای آبیاری، راندمان آبیاری همواره بالای ۹۰ درصد باقی ماند. از طرفی، راندمان کاربرد آب آبیاری در شرایطی کم آبیاری با تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه به حداکثر مقدار خود یعنی ۵/۲ رسید. این نتایج حاکی از آن است که کم آبیاری اثر به‌سزایی بر راندمان کاربرد آب دارد در حالی که بر راندمان آبیاری تأثیر محسوس ندارد. بنابراین، برای بررسی ابعاد و اثرات کم آبیاری، راندمان کاربرد آب آبیاری، معیار قابل اعتمادتری نسبت به راندمان آبیاری می‌باشد.

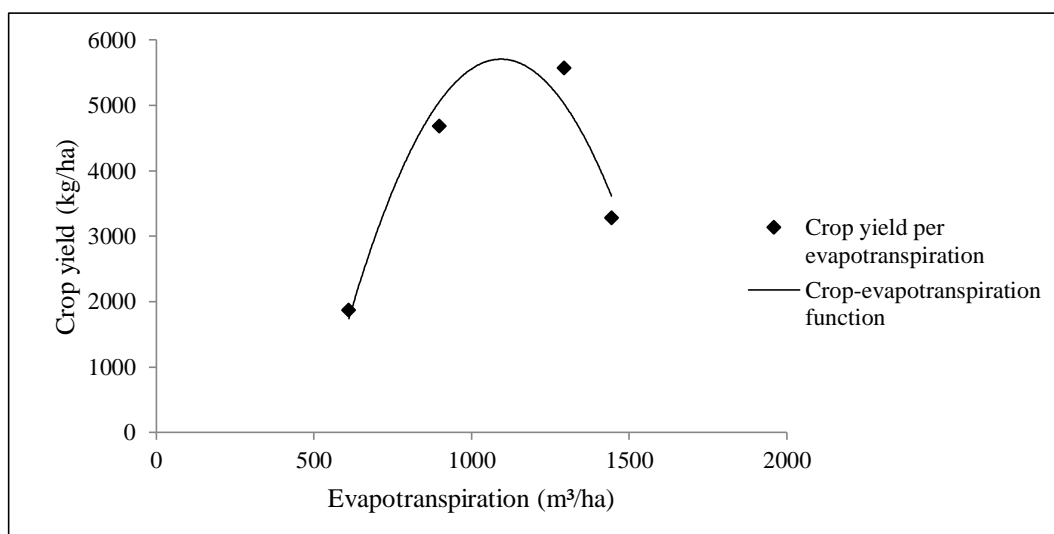
با داشتن اطلاعات تبخیر و تعرق در هر تیمار و مقدار محصول شده، تابع تولید محصول - تبخیر و تعرق همانند تابع تولید محصول - آب

**Table 5- Irrigation efficiency and water use efficiency for green pepper under different irrigation treatments**

جدول ۵- راندمان آبیاری و راندمان کاربرد آب آبیاری برای تیمارهای مختلف آبیاری محصول فلفل سبز قلمی

(مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Applied irrigation water (m <sup>3</sup> /ha)	Crop yield (kg/ha)	Evapotranspiration (m <sup>3</sup> /ha)	Irrigation Efficiency	Water use efficiency (Kg/m <sup>3</sup> )
1306	5578.1	1239.5	1	4.3
950	4687.5	897.3	0.9	5.2
653	1875	610.7	0.9	3.1
1603	3281.3	1443.8	0.9	2.3



**Fig. 3- Crop-evapotranspiration function for green pepper under different irrigation treatments**

شکل ۳- تابع تولید محصول فلفل سبز قلمی به ازای تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری



مقادیر بهره‌وری اقتصادی- فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی نیز به ترتیب ۱۹۱/۴۲ (هزار ریال به ازای هر متر مکعب در هر هکتار) و ۱/۰۴ به دست آمد که بر اثر اعمال کم‌آبیاری این نتیجه حاصل شد.

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای کاربردی

به منظور تعیین قیمت آب آبیاری در شرایط اعمال کم‌آبیاری و بررسی اثرات کم‌آبیاری بر بهره‌وری و راندمان کاربرد آب، پژوهش حاضر به انجام رسید. در این پژوهش، گیاه فلفل سبز قلمی تحت چهار تیمار آبیاری ۱۰۰، ۷۰، ۵۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه کشت شد و سایر نیازهای کودی و محیطی گیاه به نحوی فراهم شد که عوامل محیطی اثری بر رشد محصول نداشته باشند. پس از برداشت و تعیین مقدار ماده‌ی خشک تولید شده، تابع تولید محصول هم به ازای مقدار آب آبیاری و هم به ازای تبخیر و تعرق به دست آمد. از تابع تولید محصول- آب آبیاری برای تعیین قیمت آب آبیاری با استفاده از روش مبتنی بر تابع تولید (رابطه‌ی ۳) استفاده شد.

نتایج این جدول نشان می‌دهد که بیشترین راندمان آبیاری (۹۶ درصد) در حالت سربه‌سری به دست آمد در حالی که بیشترین راندمان کاربرد آب آبیاری (۵/۶۷ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب) در شرایط اعمال کم‌آبیاری محاسبه شد. همچنین مقدار راندمان کاربرد آب آبیاری به هنگام کم‌آبیاری پس از بهینه‌سازی از ۵/۲ (کیلوگرم به ازای هر متر مکعب) به ۵/۶۷ (کیلوگرم به ازای هر متر مکعب) افزایش یافت.

نتایج به دست آمده از محاسبات قیمت آب آبیاری و بهره‌وری در این پژوهش، در جدول ۷ ارائه شده است. این نتایج نشان داد که به هنگام اعمال کم‌آبیاری، قیمت آب آبیاری به حداکثر مقدار خود یعنی ۱۸۳/۴۴ (هزار ریال به ازای هر متر مکعب) رسید. این قیمت با قیمت به دست آمده از روش دوم در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی در جدول یک، همخوانی دارد. این نتیجه نشان داد که کاهش مقدار آب آبیاری سبب افزایش قیمت آن می‌شود. به عبارت دیگر، کمبود آب سبب افزایش ارزش اقتصادی آن خواهد شد. همچنین، بیشترین بهره‌وری فیزیکی (۵/۱ کیلوگرم در هر متر مکعب) به هنگام کاربرد کم‌آبیاری به دست آمد.

**Table 6- Irrigation efficiency and water use efficiency after irrigation water depth optimization for green pepper**

جدول ۶- راندمان آبیاری و راندمان کاربرد آب آبیاری پس از بهینه‌سازی عمق آب آبیاری برای محصول فلفل سبز قلمی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Irrigation situation	Applied irrigation water	Crop yield (kg/ha)	Evapotranspiration (m <sup>3</sup> /ha)	Irrigation efficiency -	Water use efficiency (kg/m <sup>3</sup> )
	(m <sup>3</sup> /ha)				
W <sub>k</sub>	542.8	89.88	518.7	0.96	0.17
W <sub>ew</sub>	564.7	456	537.7	0.95	0.85
W <sub>w</sub>	997	5088.93	897.7	0.9	5.67
W <sub>el</sub>	1186.9	5564.88	989.5	0.83	5.62
W <sub>l</sub>	1186.9	5564.88	989.5	0.83	5.62
W <sub>m</sub>	1186.9	5564.88	989.5	0.83	5.62

**Table 7- Irrigation water price and productivity after irrigation water depth optimization for green pepper**

جدول ۷- قیمت و بهره‌وری آب پس از بهینه‌سازی عمق آب آبیاری برای محصول فلفل سبز قلمی

Irrigation situation	Applied irrigation water	Crop yield (kg/ha)	Gross income (MRIs/ha)	Costs (MRIs/ha)	Irrigation water price (ThousandRIs/m <sup>3</sup> )	Benefits-cost ratio -	Physical productivity (kg/m <sup>3</sup> )	Physical-economical productivity (ThousandRIs/m <sup>3</sup> )	Economical productivity -
	(m <sup>3</sup> /ha)								
W <sub>k</sub>	542.8	89.88	3.37	5.77	65.53	0.6	0.17	6.2	0.09
W <sub>ew</sub>	564.7	456	17.1	5.78	75.14	3	0.81	30.3	0.4
W <sub>w</sub>	997	5088.93	190.84	5.883	183.44	32.4	5.1	191.42	1.04
W <sub>el</sub>	1186.9	5564.88	208.69	5.882	182.05	35.5	4.7	175.83	0.97
W <sub>l</sub>	1186.9	5564.88	208.69	5.882	182.05	35.5	4.7	175.83	0.97
W <sub>m</sub>	1186.9	5564.88	208.69	5.882	182.05	35.5	4.7	175.83	0.97

مأخذ: یافته‌های پژوهش

- 3- Physical-Economical Productivity (PEP)
- 4- Economical Productivity (EP)
- 5- Over Irrigation

#### ۶- مراجع

- Arkley RJ (1963) Relationship between plant growth and transpiration. *Hilgardia* 34:559-584
- Barker R, Scott CA, de Fraiture C and Amarasinghe U (2000) Global water shortages and the challengefacing Mexico. *Water Resources Development* 16(4):525-54
- Asadi H, Tavakoli A, Ashrafi Sh (2012) Economic assessment of limited irrigation of rainfed wheat under different agricultural management and determining the economic value of water at farm level in Kermanshah Province. *Journal of Water Research in Agriculture* 26(4):461-470 (In Persian)
- Capra A, Consoli S, and Scicolone B (2008) Deficit irrigation: Theory and practice. Book chapter in: *Agricultural irrigation research progress*. Nova Science Publishers Inc
- Cole JS and Mathews OR (1923) Use of water by spring wheat on the great plains under limited rainfall. *USDA, Bur. Plant and Ind. Dull*, 1004
- DeWit, CT (1958) Transpiration and crop yields. Vol 64.6.versl. *Landbouwk, Onderz, Institute of Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage, Wageningen, the Netherlands*. pp, 24
- Doorenbos J and Peruit WO (1977) Guidelines for predicting crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage paper No. 24*
- Doorenbos J and Kassam AH (1979) Yield response to water. *FAO, Irrigation and Drainage, paper No. 33*
- English M (1990) Deficit irrigation: I. Analytical Framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 116(3):399-412
- English M and Raja SN (1996) Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 32:1-14
- English M (2002) Irrigation advisory services for optimum use of limited water. *FAO-ICID workshop, Montreal, Canada*
- Geerts S and Raes D (2009) Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96:1275-1284
- Hanks RJ (1974) Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agronomy Journal* 66:660-665

نتایج استفاده از این روش در پژوهش‌های پیشین (Young and Loomis, 2014; Omid and Homae, 2015; Omid and Homae, 2018) نشان داد که این روش برای مناطقی که با محدودیت آب و تنش آبی مواجه هستند، مناسب‌تر بوده و از دقت بیشتری برخوردار است. سپس تحلیلی برای بهینه‌سازی مقدار آب آبیاری در شرایط کم‌آبی و کمبود زمین انجام شد. از تابع تولید محصول- تبخیر و تعرق به منظور تعیین مقدار تبخیر و تعرق برای عمق‌های آبیاری بهینه‌سازی شده استفاده شد. سپس قیمت آب آبیاری، راندمان آب آبیاری، راندمان کاربرد آب، نسبت درآمدها به هزینه‌ها، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی- فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی برای هر یک از مقادیر آب آبیاری بهینه‌سازی شده و مشاهده شده، محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقادیر راندمان کاربرد آب آبیاری، راندمان‌های فیزیکی، اقتصادی- فیزیکی و اقتصادی در شرایط کم‌آبیاری به حداکثر مقدار خود می‌رسند. از طرفی، مقدار سود خالص حاصل از کم‌آبیاری، پس از افزایش سطح زیر کشت با استفاده از آب ذخیره شده، بیشتر از سایر مقادیر آب آبیاری بود. به عنوان جمع‌بندی می‌توان گفت که روش قیمت‌گذاری آب آبیاری، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند کشور ما ایران بسیار اهمیت دارد و تعیین تابع تولید محصول به ازای مقدار آب آبیاری می‌تواند دقت بیشتری برای محاسبه‌ی قیمت آب آبیاری فراهم آورد. همچنین، استفاده از محصولات گران‌قیمت و یا حساس به کم‌آبی می‌تواند با کم کردن فاصله‌ی بین  $W_m$  و  $W_w$  تأثیر به‌سزایی بر کاربرد کم‌آبیاری و طراحی الگوی کشت داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که کارشناسان، به هنگام برنامه‌ریزی آبیاری، نتایج بهینه‌سازی عمق آب آبیاری را برای طراحی الگوی کشت در نظر داشته باشند تا خطر افت مقدار محصول بر اثر کم‌آبیاری به حداقل برسد. علاوه بر این، شرایط بازار، قیمت محصول و کمبود نهاده‌ها از عوامل مهم دیگری هستند که باید با استفاده از معیارهایی چون قیمت آب آبیاری، راندمان کاربرد آب، بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی- فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرند.

#### ۵- تشکر و قدردانی

این مقاله از مقالات منتخب دومین کنفرانس ملی دوسالانه اقتصاد آب (۱۳۹۷) است که پس از تکمیل، ویرایش و داوری مجدد با حمایت مالی دبیرخانه دائمی کنفرانس، مستقر در مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران، منتشر شده است.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Capsicum Annum
- 2- Physical Productivity (PP)

- wheat yields with dated inputs of irrigation water. *Water Resources Research Journal* 10(3):383-393
- Ohab Yazdi SA, Ahmadi A, and Nikoee A (2014) Applying economical tools in water productivity: Case study of Zayandeh Rood basin. *Iran-Water Resources Research* 10(1):63-71 (In Persian)
- Omidi F and Homae M (2015) Deriving crop production functions to estimate virtual water and irrigation water price of wheat. *Cereal Research* 5(2):131-143 (In Persian)
- Omidi F and Homae M (2018) Pricing irrigation water under separate and simultaneous drought, salinity and nitrogen stresses. *First International Congress on Agriculture and Related Industries, Tehran, Iran*
- Pouran R, Raaghfar H, Qaasemi A, and Bazaazaan F (2017) Determining the economic value of virtual water with the approach of maximizing irrigation water productivity. *Applied Economical Studies of Iran* 6(21):189-212 (In Persian)
- Seckler D, Molden D, and Sakthivadivel R (2003) The concept of efficiency in water resources Management and Policy. Book chapter, CAB International 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement (eds J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden)
- Stewart JI (1977) Research based strategy for conservation irrigation of field crops-pre-plant planning. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis
- Wada Y and Gleeson T (2014) Wedge approach to water stress. *Nature Geoscience* 7:615-617
- Young RA (2005) Determining the economic value of water: Concepts and methods. *Recourses for the Future Press, Taylor and Francis, New York*
- Young RA and Loomis JB (2014) Determining the economic value of water: Concepts and methods. *Second Edition, Recourses for the future Press, Taylor and Francis, New York*
- Hanks RJ and Rasmussen VP (1982) Predicting crop production as related to plant water stress. *Advances in Agronomy Journal* 35:193-215
- Hargreaves GH and Samani ZA (1984) Economic considerations of deficit irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 110:343-358
- Hexem RW and Heady EO (1978) *Water production functions for irrigated agriculture*. Ames, IA: Iowa State University press
- Hoekstra AY and Hung PQ (2005) Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change Journal* 15:45-56
- Homae M (2002) Plants response to salinity. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage publication NO. 058. 107 pp (In Persian)
- Jensen ME (1968) Water consumption by agricultural plants (Chapter 1) In: Kozlowski, T. T., (ed) *Plant water consumption and response*. *Water Deficit and Plants Growth Vol. II:1-22*. Academic Press, New York
- Keller A and Keller J (1995) Effective efficiency: a water use concept for allocating fresh water resources and irrigation division discussion paper 22. Winrock International, Arlington, Virginia
- Manning DT, Lurbé S, Comas LH, Trout TJ, Flynn N, and Fonte SJ (2018) Economic viability of deficit irrigation in western US. *Agricultural Water Management* 196:114-123
- Mathews OR and Brown LA (1938) Winter wheat and sorghum productions in the southern Great Planes under limited rainfall. *USDA Circ. 477, U. S. Gov. Print. Office, Washington, D.C*
- Mitscherlich EA (1913) *Soil science for agriculture and forestry*. 2nd ed. Paul Parey, Berlin, 317 pp
- Minhas BS, Parikh KS, and Srinivasan TN (1974) *Toward the structure of a production function for*