نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)
سال بیست و سه / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۸

تعیین عمق بهینه آب آبیاری چغندرقند در شرایط وابستگی قیمت محصول به مقدار آب آبیاری

علی شعبانی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۳)

چکیده

کمبود آب آبیاری مهم‌ترین محدودیت در تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. کم‌آبیاری یک روش برای مقابله با کمبود آب و افزایش کارایی مصرف آب است. تعیین عمق بهینه آب آبیاری بر اساس تحلیل‌های اقتصادی یکی از مسائل مهم در استراتژی کم‌آبیاری است. در این مطالعه، معادلات لازم برای تعیین عمق بهینه آب آبیاری زمانی که قیمت محصول متغیر و تابع آب آبیاری باشد، تعیین شد. نتایج نشان داد که کاربرد عمق آب آبیاری بهینه در حالت محدودیت زمین (۱۴۴/۹۸ سانتی‌متر) منجر به حداکثر شدن سود در واحد سطح (۲۰۸۹۷۴۱ ریال بر هکتار) می‌شود. کاربرد عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین باعث ۱۷/۴۸ درصد کاهش مقدار آب آبیاری و ۱۵/۰۵ درصد افزایش درآمد کل در مقایسه با آبیاری کامل می‌شود. در شرایط محدودیت آب (بدون محدودیت زمین) با به کار بردن آب ذخیره شده برای افزایش سطح زیر کشت، مقدار درآمد خالص کل حداکثر مقدار شد. کاربرد آب آبیاری بهینه با شرایط محدودیت آب موجب ۳۱/۲ درصد کاهش مقدار آب آبیاری و ۴۵ و ۵۲/۳۶ درصد افزایش به‌ترتیب در سطح زیر کشت و درآمد خالص کل در مقایسه با آبیاری کامل شد. کاشت چغندرقند در منطقه مورد مطالعه سودآور خواهد بود اگر مقدار آب آبیاری بیشتر از ۶۷/۵۳ سانتی‌متر باشد.

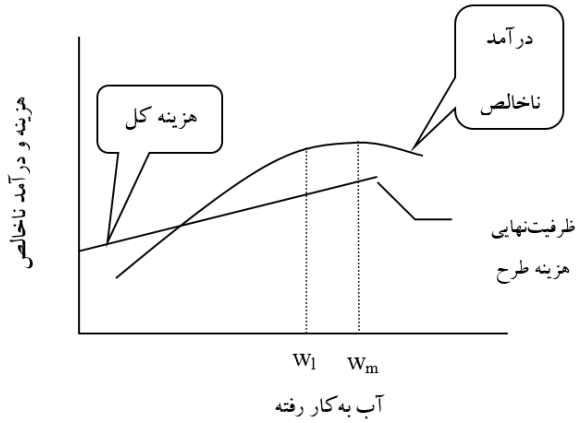
واژه‌های کلیدی: تحلیل اقتصادی، کم‌آبیاری، محدودیت آب، محدودیت زمین

۱. بخش علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: shabani8ali@gmail.com

مقدمه

یکی از راهکارهای ارائه شده برای افزایش کارایی مصرف آب در کشاورزی، تکنیک کم‌آبیاری است (۱ و ۶). اگر چه پژوهش‌های بسیار زیادی در این زمینه وجود دارد ولی به‌عنوان نمونه برای گیاه چغندرقند می‌توان به یافته‌های جوزی و زارع ابیانه (۸) اشاره کرد که نتایج آزمایشات آنها نشان داد که بیشترین مقدار شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری ۸۵ درصد کم‌آبیاری در روش آبیاری بخشی ریشه مشاهده شد. تارکالسون و کینگ (۱۵) مشاهده کردند که انجام آبیاری کامل در اوایل دوره رشد و کم‌آبیاری به میزان ۶۵ درصد آبیاری کامل در اواخر دوره رشد چغندرقند منجر به تولید حداکثر محصول شد. کم‌آبیاری یک روش برنامه‌ریزی شده برای آبیاری گیاه است که این ممکن است بر آبیاری کامل در مواقعی که منابع آب محدود یا هزینه آبیاری زیاد است ارجحیت داشته باشد (۵). شکل (۱) تغییرات درآمد و هزینه نسبت به آب آبیاری در واحد سطح مزرعه را نشان می‌دهد. اگر زمین زراعی محدود باشد، راهکار بهینه آبیاری، کاربرد مقدار آبی است که منجر به حداکثر شدن درآمد خالص از واحد سطح مزرعه می‌شود؛ یعنی حداکثر تفاوت بین منحنی عملکرد و خط هزینه در شکل (۱) که با W_1 نشان داده شده که تا حدودی کمتر از W_m (مقدار آب مصرفی به‌ازای حداکثر محصول) است. از دید اقتصادی، این نقطه محلی است که شیب تابع هزینه برابر شیب منحنی درآمد ناخالص است (۳).

روش کم‌آبیاری وابسته به اطلاعات مناسبی از تبخیر و تعرق گیاه، عکس‌العمل گیاه به کم‌آبی، شناسایی دوره رشد بحرانی گیاه و اثرات اقتصادی کاهش محصول ناشی از اتخاذ این روش است. کم‌آبیاری دلالت دارد بر اتخاذ برنامه‌ریزی آبیاری مناسب که یا با مدل‌های شبیه‌سازی برنامه‌ریزی تأیید شده‌اند یا بر آزمایش‌های مزرعه‌ای متعدد استوار هستند (۱۰ و ۱۱). یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در کم‌آبیاری، تعیین عمق بهینه آبیاری برای رسیدن به حداکثر سود برای حالت محدودیت زمین و محدودیت آب آبیاری است. عمده مطالعات



شکل ۱. تابع هزینه و درآمد

انجام شده در این زمینه بر تحلیل‌های ریاضی- اقتصادی که توسط انگلیش و راجا (۴) و انگلیش و همکاران (۵) ارائه شد، استوار است. بهینه‌سازی عمق آب آبیاری در شرایطی که عملکرد تابعی از عمق آب آبیاری (۱۴)، عمق آب آبیاری و کود نیتروژنه (۲۱)، مقدار بارندگی + عمق آب آبیاری (۱۲) و مقدار بارندگی + عمق آب آبیاری و کود نیتروژنه (۱۳) باشد انجام شده است. در تمام تحلیل‌های فوق، قیمت محصول ثابت بوده و تابع هزینه به‌صورت خطی و یا غیر خطی تابعی از عمق آب آبیاری (۱۲) و یا عمق آب آبیاری و نیتروژن اضافه شده به خاک (۱۳ و ۲۱) بوده است. در ایران و بعضی از کشورهای دیگر مانند آلمان، برای بعضی از محصولات مانند چغندرقند و نیشکر، قیمت محصول تابع مقدار قند محصول برداشت شده است (۶، ۹ ۱۶). تنش آبی و شوری باعث افزایش غلظت مواد قندی محلول، بتائین و پرولین ناشی از بروز پدیده تعدیل اسمزی در چغندرقند می‌شود، بنابراین مقدار قند محصول چغندرقند تابع مقدار آب آبیاری است (۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰). پس قیمت محصول تابع مقدار آب آبیاری بوده و مقدار آن متغیر است. توکلی و فرداد (۱۶) مقدار بهینه آب آبیاری را با استفاده از معادلات ارائه شده توسط انگلیش و راجا (۴) و انگلیش و همکاران (۵) برای حالات محدودیت زمین و محدودیت آب آبیاری و بر اساس متغیر بودن قیمت محصول به‌دست آوردند. در پژوهش حاضر، معادلات ارائه شده به‌وسیله انگلیش و راجا

(۴) و انگلیش و همکاران (۵) به‌ازای متغیر بودن قیمت محصول بازنویسی و سپس بر اساس همان توابع تولید، هزینه و قیمت ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین و آب آبیاری مجدداً محاسبه و با نتایج توکلی و فرداد (۱۶) مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

نظریه پژوهش

بر اساس تحلیل ریاضی–اقتصادی که توسط انگلیش و راجا (۴) و انگلیش و همکاران (۵) ارائه شده، میزان درآمد خالص مزرعه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$I_f(w) = A.i_l(w) \qquad (۱)$$

$$i_l(w) = [p_c y(w) - c(w)] \qquad (۲)$$

که در آن، $I_f(w)$ درآمد خالص مزرعه از کل اراضی آبیاری شده، $i_l(w)$ درآمد خالص در واحد سطح مزرعه، A کل سطح زیر کشت مزرعه (هکتار)، P_c قیمت واحد وزن محصول (ریال بر کیلوگرم)، w مقدار آب مصرفی برای واحد سطح مزرعه (متر مکعب بر هکتار) و y(w) و c(w) به‌ترتیب تابع عملکرد و هزینه در واحد سطح (که تابع مقدار آب آبیاری هستند) است. تابع هزینه برابر مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است. هزینه‌های ثابت که مانند هزینه کاشت، خاک‌ورزی، مبارزه با علف و آفات، برداشت و غیره که در واحد سطح ثابت هستند و هزینه‌های متغیر شامل هزینه آب مصرفی که تابع مقدار آب آبیاری است.

کل سطح زیر کشت (A) بر اساس مقدار کل حجم آب تأمین شده (W_T) برابر است با:

$$A = \frac{W_T}{w} \qquad (۳)$$

برای تعیین عمق بهینه آب مصرفی، می‌بایست سود حداکثر شود. پس، از معادله (۱) مشتق گرفته و برابر صفر قرار داده می‌شود. بنابراین:

$$\frac{\partial I_f(w)}{\partial w} = A.\frac{\partial i_l(w)}{\partial w} + i_l(w)\frac{\partial A}{\partial w} = ۰ \qquad (۴)$$

در شرایطی که زمین عامل محدود کننده باشد، سطح زیر کشت مزرعه ثابت بوده و امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد. بنابراین مشتق A برابر صفر خواهد بود. در این حالت، مقدار عمق بهینه آب آبیاری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial i_l(w)}{\partial w} = ۰ \qquad (۵)$$

با قرار دادن معادله (۲) در معادله (۵) معادلات زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial[p_c y(w) - c(w)]}{\partial w} = ۰ \qquad (۶)$$

$$p_c \frac{\partial y(w)}{\partial w} - \frac{\partial c(w)}{\partial w} = ۰ \qquad (۷)$$

در شرایط محدودیت آب آبیاری، به‌دلیل اینکه سطح زیر کشت تابعی از آب آبیاری است، مشتق سطح زیر کشت برابر است با:

$$\frac{\partial A}{\partial w} = -\frac{W_T}{w^۲} \qquad (۸)$$

در این شرایط، با قرار دادن معادلات (۲) و (۸) در معادله (۴)، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{W_T}{w}\left[p_c \frac{\partial y(w)}{\partial w} - \frac{\partial c(w)}{\partial w}\right] + [p_c y(w) - c(w)]\left[-\frac{W_T}{w^۲}\right] = ۰ \qquad (۹)$$

با ساده کردن معادله (۹):

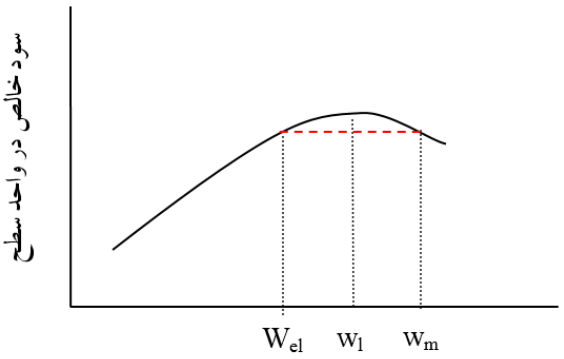
$$w\left[p_c \frac{\partial y(w)}{\partial w} - \frac{\partial c(w)}{\partial w}\right] = [p_c y(w) - c(w)] \qquad (۱۰)$$

بنابراین با حل معادلات (۷) و (۱۰) توسط انگلیش و راجا (۴) و انگلیش و همکاران (۵) مقدار عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین (W_l) و آب (W_w) به‌دست می‌آید.

اما همان‌طور که توکلی و فرداد (۱۶) نشان داده‌اند، برای بعضی از محصولات مانند چغندرقند، قیمت محصول تابعی از آب آبیاری [$P_c(w)$] است. در این صورت، برای حالت محدودیت زمین، معادله (۶) به صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$p_c(w)\frac{\partial y(w)}{\partial w} + \frac{\partial p_c(w)}{\partial w} y(w) - \frac{\partial c(w)}{\partial w} = ۰ \qquad (۱۱)$$

و برای حالت محدودیت آب، با قرار دادن معادلات (۲) و (۸) در معادله (۴)، معادله اصلاح شده زیر به‌دست می‌آید:



شکل ۲. تابع سود خالص در واحد سطح

$$\frac{W_T}{w}\left[p_c(w)\frac{\partial y(w)}{\partial w}+\frac{\partial p_c(w)}{\partial w}y(w)-\frac{\partial c(w)}{\partial w}\right]+\left[p_c(w)y(w)-c(w)\right]\left[-\frac{W_T}{w^2}\right]=0 \qquad (۱۲)$$

با ساده کردن معادله (۱۲)، مقدار بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب و ثابت نبودن قیمت محصول با حل معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$w\left[p_c(w)\frac{\partial y(w)}{\partial w}+\frac{\partial p_c(w)}{\partial w}y(w)-\frac{\partial c(w)}{\partial w}\right]=\left[p_c(w)y(w)-c(w)\right] \qquad (۱۳)$$

در منابع،، یک نوع دیگری از عمق آب آبیاری تعریف شده تحت عنوان عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین (Wel) که در این عمق سود خالص در واحد سطح در این عمق برابر سود خالص در واحد سطح با آب آبیاری کامل است. به عبارت دیگر، چون نمودار تغییرات سود خالص در واحد سطح به‌صورت تابع درجه ۲ است که نقطه ماکزیمم نمودار در عمق آب آبیاری با محدودیت زمین (W_l) حاصل می‌شود (شکل ۲)، بنابراین سود خالص در واحد سطح به‌ازای عمق آب آبیاری کامل (W_m)، مقدار کمتری است که در سمت راست نقطه ماکزیمم نمودار حاصل می‌شود. بنابراین عمق آب آبیاری دیگری در سمت چپ نمودار هم وجود دارد که مقدار آن کمتر از عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین است ولی با همان مقدار سود در واحد سطح. تأکید می‌شود که تمامی این بحث در مورد سود خالص در واحد سطح یعنی شرایط محدودیت زمین مطرح است. مقدار W_{el} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$p_c(w_{el})y(w_{el})-c(w_{el})=p_c(w_m)y(w_m)-c(w_m) \qquad (۱۴)$$

که در آن، W_m عمق آبیاری کامل است که به‌ازای آن مقدار عملکرد حداکثر می‌شود.

$$\frac{\partial y(w)}{\partial w}=0 \qquad (۱۵)$$

و همچنین عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب (W_{ew}) عمق آب آبیاری است که در آن سود خالص به‌ازای واحد آب مصرفی برابر سود خالص در واحد آب آبیاری کامل است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{p_c(w_{ew})y(w_{ew})-c(w_{ew})}{w_{ew}}=\frac{p_c(w_m)y(w_m)-c(w_m)}{w_m} \qquad (۱۶)$$

در اقتصاد، شرایطی وجود دارد که از آن تحت عنوان حالت سر به‌سری نام برده می‌شود. در این حالت، مقدار سود برابر صفر و درآمد و هزینه با هم برابر است. در این شرایط، علت ادامه کار، بحث‌های اجتماعی نظیر اشتغال افراد و یا تأمین نیازهای ضروری جامعه مطرح است. در این حالت:

$$p_c(w_k)y(w_k)=c(w_k) \qquad (۱۷)$$

تعیین عمق‌های بهینه، عمق آب آبیاری کامل و عمق سر به سری به‌صورت پارامتری

در صورتی که تابع تولید و هزینه چغندرقند به‌صورت یک تابع درجه ۲ و تابع قیمت به‌صورت یک تابع خطی به فرم معادلات زیر باشند:

$$y(w)=a_1+b_1w+c_1w^2 \qquad (۱۸)$$

$$c(w)=a_2+b_2w+c_2w^2 \qquad (۱۹)$$

$$p_c(w)=(a_3+b_3w)p_{c16} \qquad (۲۰)$$

که در آنها P_{c16} قیمت واحد چغندرقند با عیار پایه ۱۶ و a_1، b_1، c_1، a_2، b_2، c_2، a_3 و b_3 ضرایب ثابت معادلات هستند.

عمق آبیاری کامل از مساوی صفر قرار دادن مشتق معادله (۱۸) حاصل می‌شود:

$$W_m = \frac{-b_1}{2c_1} \quad (21)$$

با قرار دادن معادلات (۱۸) تا (۲۰) در معادله (۱۷)، عمق آب در حالت سربه‌سری از حل معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned}&\left(p_{c16}a_3a_1 - a_2\right) + \left(p_{c16}a_3b_1 + p_{c16}b_3a_1 - b_2\right) \\ &w + \left(p_{c16}b_3b_1 + p_{c16}a_3c_1 - c_2\right)w^2 + \\ &\left(p_{c16}b_3c_1\right)w^3 = 0\end{aligned} \quad (22)$$

در شرایط محدودیت زمین، با قرار دادن معادلات (۱۸) تا (۲۰) و مشتق آنها در معادله (۱۱) معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned}&\left(p_{c16}b_3a_1 + p_{c16}a_3b_1 - b_2\right) + \\ &\left(2p_{c16}b_3b_1 + 2p_{c16}a_3c_1 - 2c_2\right)w + \\ &\left(3p_{c16}b_3c_1\right)w^2 = 0\end{aligned} \quad (23)$$

با حل معادله درجه ۲ فوق، مقدار عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین (W_l) به‌دست می‌آید. با حل این معادله، دو عمق آب آبیاری به‌دست می‌آید. جواب صحیح عمق آب آبیاری است که مقدار آن کمتر از مقدار عمق آب آبیاری کامل (W_m) و بیشتر از عمق آب آبیاری حالت سربه‌سری (W_k) باشد.

در شرایط محدودیت آب (W_w)، با قرار دادن معادلات (۱۸) تا (۲۰) و مشتق آنها در معادله (۱۳) معادله زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned}&\left(a_2 - p_{c16}a_3a_1\right) + 0/0w + \\ &\left(p_{c16}b_3b_1 + p_{c16}a_3c_1 - c_2\right)w^2 + \\ &\left(2p_{c16}b_3c_1\right)w^3 = 0\end{aligned} \quad (24)$$

معادله درجه ۳ فوق دارای سه ریشه است که مانند حالت محدودیت زمین، جواب صحیح عددی است که مقدار آن کمتر از مقدار عمق آب آبیاری کامل و بیشتر از عمق آب آبیاری حالت سربه‌سری باشد.

عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین (W_{el}) با قرار دادن معادلات (۱۸) تا (۲۰) در معادله (۱۴) و ساده‌سازی و حل معادله زیر تعیین می‌شود:

$$K_1W_{el}^3 + K_2W_{el}^2 + K_3W_{el} + K_4 = 0 \quad (25)$$

که در آن:

$$K_1 = p_{c16}b_3c_1 \quad (26)$$

$$K_2 = p_{c16}b_3b_1 + p_{c16}a_3c_1 - c_2 \quad (27)$$

$$K_3 = p_{c16}b_3a_1 + p_{c16}a_3b_1 - b_2 \quad (28)$$

$$K_4 = \frac{p_{c16}a_3b_1}{4c_1} + \frac{p_{c16}b_3b_1a_1}{2c_1} - \frac{p_{c16}b_3b_1^2}{8c_1^2} + \frac{c_2b_1^2}{4c_1^2} - \frac{b_1b_2}{2c_1} \quad (29)$$

عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب (W_{ew}) با قرار دادن معادلات (۱۸) تا (۲۰) در معادله (۱۶) و ساده‌سازی و حل معادله زیر تعیین می‌شود:

$$S_1W_{ew}^3 + S_2W_{ew}^2 + S_3W_{ew} + S_4 = 0 \quad (30)$$

که در آن :

$$S_1 = p_{c16}b_3c_1 \quad (31)$$

$$S_2 = p_{c16}b_3b_1 + p_{c16}a_3c_1 - c_2 \quad (32)$$

$$S_3 = \frac{p_{c16}a_3b_1}{2} + \frac{2p_{c16}a_3a_1c_1}{b_1} + \frac{p_{c16}b_3b_1^2}{4c_1} - \frac{2a_2c_1}{b_1} - \frac{b_1c_2}{2c_1} \quad (33)$$

$$S_4 = p_{c16}a_3a_1 - a_2 \quad (34)$$

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از توابع تولید، هزینه و قیمت ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) و اکبری (۲) برای گیاه چغندرقند استفاده شد. پژوهش اول در منطقه کرج و پژوهش دوم در منطقه اصفهان انجام شد. برای اطلاعات بیشتر در مورد تیمارهای آزمایشی، ویژگی‌های آب‌وهوایی و خاک منطقه، به توکلی و فرداد (۱۶) و اکبری (۲) مراجعه شود. توابع تولید، هزینه و قیمت ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) به شرح زیر هستند:

$$y(w) = -24566/43 + 952/55w - 2/71w^2 \quad (35)$$

$$c(w) = 23752111 + 22528w - 48/28w^2 \quad (36)$$

$$p_c(w) = (1/23 - 0/00166w)120 \quad (37)$$

و توابع تولید، هزینه و قیمت حاصل از مطالعه اکبری (۲) به شرح زیر هستند:

$$y(w) = -27155/8 + 1122/85w - 3/966421w^2 \quad (38)$$

$$c(w) = 20926332 + 22965/6w - 63/462w^2 \quad (39)$$

$$p_c(w) = (1/8839 - 0/00718w)120 \quad (40)$$

نتایج و بحث

عمق آب آبیاری در شرایط آبیاری کامل (W_m)

با استفاده از معادله (۲۱) و ضرایب معادله (۳۵) ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶)، مقدار عمق آب آبیاری کامل محاسبه شد. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل و عدم بروز تنش آبی در گیاه به‌منظور رسیدن به حداکثر عملکرد می‌بایست مقدار عمق آب آبیاری برابر ۱۷۵/۶۸ سانتی‌متر به‌کار رود (جدول ۱). بر اساس این عمق آب آبیاری اگر چه حداکثر عملکرد ریشه چغندرقند به مقدار ۵۹۱۳۸ کیلو گرم بر هکتار حاصل می‌شود اما بر اساس معادله (۳۷) مقدار قیمت واحد وزن چغندرقند به کمترین مقدار یعنی ۱۱۲/۶ ریال بر کیلوگرم کاهش می‌یابد که به‌دلیل کاهش مقدار درصد قند ریشه ناشی از آبیاری زیاد است.

عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین (W_l)

با جای‌گذاری ضرایب معادلات (۳۵) تا (۳۷) ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) در معادله (۲۳) و حل آن، عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین محاسبه شد که مقدار آن برابر ۱۴۴/۹۸ (W_l) سانتی‌متر شد (جدول ۱). توکلی و فرداد (۱۶) مقدار عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین را بر اساس معادله (۷) برابر ۱۶۵/۱ سانتی‌متر محاسبه کردند. بنابراین بر اساس معادلات استفاده شده در این پژوهش، ۲۰۰/۱۲ میلی‌متر عمق بهینه آب آبیاری برای شرایط محدودیت زمین کمتر محاسبه شد که نسبتاً مقادیر آن زیاد است. کاربرد عمق آبیاری محاسبه شده بر اساس شرایط محدودیت زمین منجر به کاهش ۱۷/۵ درصد آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل و افزایش ۱۵/۰۵ درصد درآمد کل می‌شود. کاهش مقدار آب آبیاری در این حالت نسبت به شرایط آبیاری کامل موجب افزایش درصد قند ریشه و افزایش ۵/۶ درصدی قیمت هر کیلو گرم وزن ریشه چغندرقند شد. نسبت درآمد ناخالص به هزینه که از پارامترهای مهم اقتصادی در ارزیابی طرح‌ها است، برای شرایط محدودیت زمین برابر ۱/۴۵ شد که در بین تمامی راهکارها بالاترین مقدار بوده است (جدول ۱). بنابراین در شرایطی که امکان افزایش سطح زیر کشت و استفاده از آب صرفه‌جویی شده در اراضی دیگر وجود ندارد، استفاده از این راهکار اقتصادی‌ترین انتخاب است.

عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب (W_w)

همان‌طور که قبلاً گفته شد، در شرایطی که از نظر زمین قابل کشت محدودیت وجود نداشته باشد اما مقدار آب موجود یا مقدار آبی که قابل تأمین است محدود باشد می‌توان آب ذخیره شده را برای کشت در زمین های دیگر استفاده کرد. بنابراین در این حالت عمق بهینه آب آبیاری عمقی است که مقدار کارایی در واحد آب مصرفی حداکثر باشد. برای تعیین عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت آب، ضرایب معادلات (۳۵) تا (۳۷) در معادله (۲۴) قرار داده و معادله حاصل حل شد. مقدار عمق بهینه آب در شرایط محدودیت آب برای پژوهش حاضر ۱۲۰/۸۴ سانتی‌متر به‌دست آمد. توکلی و فرداد (۱۶) مقدار عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت آب آبیاری بر اساس معادله (۱۰) را برابر ۱۳۸/۷ سانتی‌متر محاسبه کردند. بنابراین عمق بهینه آب آبیاری محاسبه شده بر اساس معادلات ارائه شده در این پژوهش ۱۷۸/۴ میلی‌متر برای شرایط محدودیت آب کمتر شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از عمق آب آبیاری بهینه در شرایط کمبود آب منجر به ۳۱/۲ درصد صرفه‌جویی در مقدار آب آبیاری در واحد سطح می‌شود (جدول ۱). با استفاده از این مقدار آب، سطح زیر کشت ۵۰ درصد افزایش یافت که منجر به افزایش ۵۲/۳۶ درصدی درآمد کل از کل سطح زیر کشت نسبت به آبیاری کامل می‌شود. به عبارت دیگر، اگر چه مقدار سود خالص در واحد سطح در شرایط محدودیت آب آبیاری کمتر از شرایط محدودیت زمین است (جدول ۱) اما به‌دلیل صرفه‌جویی بیشتر آب در حالت محدودیت آب و افزایش بیشتر سطح زیر کشت، مقدار سود حاصل از تمامی اراضی یعنی مجموع سود حاصل از اراضی اصلی و اراضی جدیدی که با استفاده از آب صرفه جویی شده زیر کشت

جدول ۱. شاخص‌های اقتصادی مرتبط با عمق‌های مختلف آب مصرفی چغندرقند

پارامتر	عمق آب (سانتی‌متر)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	قیمت واحد وزن چغندرقند (ریال)	نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید	میزان کاهش آب مصرفی درصد	سود خالص در واحد سطح (ریال بر هکتار)	افزایش سطح زیر کشت (هکتار)	درآمد کل با احتساب افزایش سطح زیر کشت (ریال)	افزایش درآمد کل درصد
	بر اساس ضرایب معادلات (۳۵) تا (۳۷) ارائه شده توسط ترکلی و فرداد (۲)								
W_k	۶۷/۵۳	۲۷۴۰۱	۱۳۴/۱	۱/۰۰	۶۱/۶	۰/۰			
W_{ew}	۸۵/۲۵	۳۶۹۴۳	۱۳۰/۶	۱/۲۲	۵۱/۵	۸۸۰۶۳۱	۱/۰۶	۱۸۱۴۷۷۰	۰/۰۹-
W_{el}	۱۱۵/۷۶	۴۹۳۸۶	۱۲۴/۵	۱/۴۲	۳۴/۱	۱۸۱۴۴۴۷	۰/۵۲	۲۷۵۳۶۴۶	۵۱/۶۱
W_w	۱۲۰/۸۴	۵۰۹۶۷	۱۲۳/۵	۱/۴۳	۳۱/۲	۱۹۰۳۴۴۸	۰/۴۵	۲۷۶۷۷۷۷	۵۲/۳۶
W_i	۱۴۴/۹۸	۵۶۵۷۲	۱۱۸/۷	۱/۴۵	۱۷/۴۸	۲۰۸۹۷۴۱	----	۲۰۸۹۷۴۱	۱۵/۰۵
W_m	۱۷۵/۶۸	۵۹۱۳۸	۱۱۲/۶	۱/۳۸	۰/۰	۱۸۱۶۳۱۷		۱۸۱۶۳۱۷	
	بر اساس ضرایب معادلات ارائه شده توسط اکبری (۱)								
W_k	۴۶/۱۲	۱۶۱۹۳	۱۸۶/۳	۱/۰۰	۶۷/۴	۰/۰			
W_{ew}	۵۱/۰۰	۱۹۷۹۳	۱۸۲/۱	۱/۱۶	۶۲/۰	۵۰۵۹۹۵	۱/۷۸	۱۴۰۴۳۳۰	۲/۱۸
W_w	۸۱/۳۲	۳۷۹۲۵	۱۵۶/۰	۱/۶۷	۴۲/۵	۲۳۷۵۸۲۴	۰/۷۴	۴۱۳۵۳۲۸	۲۰۰/۸۸
W_i	۹۷/۸۸	۴۴۷۴۸	۱۴۱/۷	۱/۷۰	۳۰/۸	۲۶۰۹۹۰۲	----	۲۶۰۹۹۰۲	۸۹/۹
$W_m=W_{el}$	۱۴۱/۵۴	۵۲۳۱۱	۱۰۴/۱	۱/۳۴	۰/۰	۱۳۷۴۴۱۵		۱۳۷۴۴۱۵	

خواهند رفت افزایش می‌یابد. نسبت درآمد ناخالص به هزینه در این راهکار مدیریتی برابر ۱/۴۳ است که تنها ۰/۰۲ با مقدار آن در حالت محدودیت زمین تفاوت دارد. با کاهش ۳۰ درصدی در مقدار آب مصرفی در این حالت، و با توجه به مواجه شدن گیاه با تنش، مقدار قند تولید شده در ریشه چغندرقند افزایش یافته که منجر به افزایش ۹/۷ درصد مقدار قیمت خرید واحد وزن ریشه چغندرقند شد.

عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت آب آبیاری (W_{ew})

در این حالت هدف تعیین عمق آب آبیاری است که در آن سود خالص به‌ازای واحد آب مصرفی برابر سود خالص در واحد آب مصرفی در حالت آبیاری کامل است. در این حالت با قرار دادن ضرایب معادلات (۳۵) تا (۳۷) در معادلات (۳۰) تا (۳۴) و حل معادله (۳۰) مقدار آب آبیاری ۸۵/۲۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۱). اگرچه عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت آبیاری منجر به صرفه‌جویی ۵۱/۵ درصد در مقدار آب آبیاری می‌شود اما به‌دلیل تنش خشکی زیاد منجر به کاهش ۳۷/۵ درصد در مقدار عملکرد در واحد سطح می‌شود که با وجود افزایش ۱۰۰ درصدی سطح زیر کشت و افزایش ۱۶ درصدی قیمت واحد وزن محصول ریشه چغندرقند، مقدار درآمد کل در این حالت، ۹ درصد کمتر از مقدار درآمد کل در حالت آبیاری کامل می‌شود. عمق آب آبیاری محاسبه شده برای این حالت نسبت به نتایج گزارش شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) بدون تغییر بوده است.

عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت زمین (W_{el})

برای پاسخ به این سوال که به‌ازای چه مقدار عمق آب آبیاری سود حاصل از واحد سطح در حالت محدودیت زمین برابر سود حاصل از واحد سطح در حالت آبیاری کامل می‌شود، بر اساس ضرایب معادلات (۳۵) تا (۳۷) معادله (۲۵) حل شد که مقدار عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت زمین برابر ۱۱۵/۷۶ سانتی‌متر شد. همان‌طور که در جدول (۱) قابل مشاهده است مقدار درآمد در واحد سطح برای این حالت با مقدار درآمد در واحد سطح آبیاری کامل تقریباً برابر است و اختلاف اندکی که وجود دارد ناشی از تقریب حاصل از حل معادله (۲۵) است. با وجود افزایش بیشتر سطح زیر کشت در این حالت نسبت به حالت محدودیت آب اما درآمد کل افزایش کمتری داشته است. عمق آب آبیاری محاسبه شده برای این حالت نسبت به نتایج گزارش شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) بدون تغییر بوده است. مقدار نسبت درآمد ناخالص به هزینه در حالت عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت زمین برابر ۱/۴۲ شد که در مقایسه با شرایط محدودیت زمین و محدودیت آب آبیاری تفاوت چندانی ندارد.

عمق آب آبیاری حالت سربه‌سری (W_k)

همان‌طور که قبلاً بیان شد، در این حالت به‌منظور تعیین حداقل عمق آب آبیاری که در آن مقدار هزینه برابر مقدار درآمد است. به عبارت دیگر سود خالص برابر صفر است (جدول ۱) و به عبارت بهتر عمق آب آبیاری باید حداقل از عمق آب سربه‌سری بیشتر باشد تا کاشت چغندرقند سود آور باشد. نتایج نشان می‌دهد برای معادلات استفاده شده در این پژوهش مقدار عمق آب سربه‌سری برابر ۴۶/۱۲ سانتی‌متر بوده است (جدول ۱). در این حالت مقدار نسبت درآمد ناخالص به هزینه برابر یک است و کل درآمد صرف هزینه کشت می‌شود. هرچند چغندرقند تولید شده در این حالت بیشترین میزان قند و قیمت واحد وزن را داراست اما عملکرد در واحد سطح به‌دلیل شدت تنش کاهش شدیدی دارد.

بررسی اثر دقت ضرایب معادلات محصول، هزینه و قیمت

برای بررسی اثر ضرایب بر مقدار عمق آب آبیاری در حالت‌های مختلف مدیریتی از معادلات دیگر تابع محصول،

هزینه و قیمت (معادلات ۳۸ تا ۴۰) ارائه شده توسط اکبری (۲) استفاده شد. نتایج محاسبه عمق آب آبیاری در راهکارهای مختلف آبیاری بر اساس توابع تولید، هزینه و قیمت حاصل از پژوهش اکبری (۲) در جدول (۱) آمده است. راهکار منتخب برای رسیدن به سود حداکثر در شرایط محدودیت زمین و آب مانند نتایج حاصل از کاربرد توابع ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) است. در این مورد هم عمق آب آبیاری در حالت محدودیت زمین منجر به حداکثر سود در واحد سطح می‌شود و حالت محدودیت آب با احتساب افزایش سطح زیر کشت منجر به حداکثر درآمد کل می‌شود. اما نکته‌ای که بسیار مهم است تأثیر ضرایب توابع تولید، هزینه و قیمت بر نتایج تحلیل‌ها است. به‌گونه‌ای که در صورت کاربرد معادلات ارائه شده توسط اکبری (۲) و استفاده از عمق آب آبیاری محاسبه شده برای شرایط محدودیت زمین و آب به‌ترتیب منجر به افزایش ۲ و ۱/۷ برابری درآمد کل می‌شود. این نتایج با نتایج حاصل از کاربرد معادلات ارائه شده توسط توکلی و فرداد (۱۶) تفاوت زیادی دارد. تفاوت ضرایب توابع عملکرد، هزینه و قیمت محصول بستگی به عوامل مهمی مانند رقم چغندرقند، عوامل اقلیمی، نوع سیستم آبیاری، عوامل زراعی و هر عاملی که بر مقدار محصول بر واحد سطح و هزینه و درصد قند محصول تأثیر دارد. بنابراین تحلیل‌های به‌کار رفته در این پژوهش و موارد مشابه دیگر برای هر شرایطی می‌بایست ضرایب معادلات عملکرد، هزینه و قیمت محصول جداگانه تعیین شود و سپس نسبت به اتخاذ مدیریت آبیاری مناسب بر اساس تحلیل‌های ارائه شده در این پژوهش اقدام کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، معادلات تعیین عمق بهینه در شرایطی که قیمت محصول تابعی از مقدار آب آبیاری باشد به‌دست آمده است. نتایج نشان داد که کاربرد این معادلات در هر دو حالت محدودیت زمین و آب منجر به تخمین عمق آب آبیاری کمتر نسبت به تحلیل‌های قبلی شد. کاربرد عمق آب آبیاری بهینه در حالت محدودیت زمین منجر به حداکثر سود در واحد سطح می‌شود و در حالت محدودیت آب، با احتساب افزایش سطح زیر کشت، منجر به حداکثر شدن درآمد کل می‌شود. با توجه به اینکه ضرایب توابع تولید، هزینه و قیمت بر نتایج تحلیل‌ها بسیار مؤثر است، بنابراین برای هر منطقه و برای هر گیاه و حتی رقم می‌بایست این ضرایب جداگانه تعیین شود. سپس بر اساس تحلیل‌های اقتصادی بهترین عمق آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین و آب تعیین و ملاک تصمیم‌گیری شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi, S. H., M. Agharezaee, A. A. Kamgar-Haghighi and A. R. Sepaskhah. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management* 134: 126–136.
2. Akbari, M. Impact of deficit iriigation on sugar beet yield, *In:* Proceeding of 1999 9th Iranian National Seminar on Irrigation and Drainage, Esfahan, Iran. (in Farsi).
3. English, M. 1990. Deficit irrigation. I: Analytical framework. ASCE. *Journal of Irrigation and Drainage Division* 116(3): 399-402.
4. English, M. and S. N. Raja. 1996. Perspective on deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 32(1): 1-14.
5. English, M. J., J. T. Musick and V. V. N. Murty. 1990. Deficit irrigation. *In:* G. J. Hoffman, T. A. Howell and K. H. Solomon (Eds). Management of farm irrigation systems, ASAE Monograph no. 9. American Society of Agricultural Engineers, 1020 p.
6. Geerts, S. and D. Raes. 2009. Deficit irrigation as an on- farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96: 1275-1284.
7. Hoffmann, C. M. 2010. Root quality of sugar beet. *Sugar Technology* 12(3-4): 276–287.
8. Jovzi, M. and H. Zare Abyaneh. 2016. Water productivity and water use efficiency indexes of sugar beet under different levels of water and nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Conservation* 22(5): 117-133 (in Farsi).
9. Loel, J., C. Kenter, B. Märländer and C. M. Hoffmann. 2014. Assessment of breeding progress in sugar beet by

testing old and new varieties under greenhouse and field conditions. *European Journal of Agronomy* 52: 146–156.
10. Mannocchi, F. and P. Mecarelli. 1994. Optimization analysis of deficit irrigation system. *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE* 120(3): 484-503.
11. Pereira, L. S., T. Oweis and A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management* 57: 175-206.
12. Sepaskhah, A. R. and D. Akbari. 2005. Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall. *Biosystem Engineering* 92: 97–106.
13. Sepaskhah, A. R., A. Azizian and A. R. Tavakoli. 2006. Optimal applied water and nitrogen for winter wheat under variable seasonal rainfall and planning scenarios for consequent crops in a semi-arid region. *Agricutural Water Management* 84(1-2): 113–122.
14. Sepaskhah, A. R., A. R. Tavakoli and S. F. Moosavi. 2006. Principles and Application of Deficit Irrigation. IRICID Publication. (in Farsi).
15. Tarkalson, D. D. and B. A. King. 2017. Effect of deficit irrigation timing on sugarbeet. *Agronomy Journal* 109(5): 2119-2127.
16. Tavakoli, A. R. and H. Fardad. 1999. Economic evaluation of defecit irrigation on sugarbeet for optimization of water use. *Iranian Journal of Agriculture Science* 30(3): 575-584. (in Farsi).
17. Topak, R., B. Acar, R. Uyanöz and E. Ceyhan. 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 176: 180-190.
18. Wu, G. Q., C. M. Wang, Y. Y. Su, J. J. Zhang, R. J. Feng and Lang N. 2014. Assessment of drought tolerance in seedlings of sugar beet (Beta vulgaris L.) cultivars using inorganic and organic solutes accumulation criteria. *Soil Science and Plant Nutrition* 60: 565–576.
19. Wu, G. Q., R. J. Feng and Q. Z. Shui. 2016. Effect of osmotic stress on growth and osmolytes accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. *Plant Soil Environment* 62: 189-194.
20. Wu, G. Q., R. J. Feng, N. Liang, H. J. Yuang and W. B. Sun. 2015: Sodium chloride stimulates growth and alleviates sorbitol-induced osmotic stress in sugar beet seedlings. *Plant Growth Regulation* 75: 307–316.
21. Zand-Parsa, S. H. and A. R. Sepaskhah. 2001. Optimal applied water and nitrogen for corn. *Agricultural Water Management* 52: 73–85.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Determining the Optimum Applied Water for Sugar Beet in the Case of Crop Price as a Function of Applied Irrigation Water

A. Shabani[1*]

(Received: June 10-2017 ; Accepted: September 4-2018)

Abstract

Shortage of irrigation water is a major problem constraining in agricultural production in arid and semi-arid regions. Deficit irrigation is one way to cope with water scarcity and increase water use efficiency. Determining the optimum applied water based on economic analysis is a major key to the deficit irrigation strategy. In this study, the required equations were derived to determine the optimum applied water for sugar beet when crop price is a function of the applied water. The results showed that the optimum applied water under land limiting conditions (144.98 cm) resulted in the maximum net benefit per unit area (2089741 Rials ha^{-1}). Applying the optimum water depth under land limiting resulted in 17.48% decrease in the applied water and 15.05% increase in the total net benefit, in comparison with the maximum yield condition. In water limiting conditions (land is not limiting), the total net benefit was maximized by applying the saved water to put larger areas of land under irrigation. Applying the optimum water depth under water limit condition resulted in 31.2% decrease in applied water and 45 and 52.36% increase in the planting area and the total net benefit, in comparison with the maximum yield condition, respectively. Sugar beet planting can be, therefore, profitable if the applied water depth is greater than 67.53 cm in this study area.

Keywords: Economic analysis, Deficit irrigation, Land limiting, Water limit

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.
*: Corresponding Author, Email: shabani8ali@gmail.com