مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۶ ، شماره ۴. زمستان ۱۴۰۳

مجله پژوهش‌های به زراعی

تعیین عمق‌های آستانه‌ای آب آبیاری در گیاه گوجه فرنگی

داود اکبری نودهی[1*]، نادیا فهیمی بورخیلی[2]، فاطمه نادری[3]، عابد واحدی[4]

۱-استادیار و عضو هیات علمی، گروه آبیاری، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران
۲-دبیر آموزش و پرورش منطقه ۲ مازندران، بهداشت، مازندران، ایران
۳-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ایران
۴- استادیار و عضو هیات علمی، گروه زراعت، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶

چکیده

به‌منظور تعیین مقدار بهینه آب آبیاری برای گیاه گوجه فرنگی به روش آبیاری سطحی در شرق استان مازندران، در شرایط مختلف، حداکثر محصول، محدودیت زمین، آب و کم آبیاری آزمایشی در سال ۱۳۸۹ انجام پذیرفت. تیمارها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش سطح آبیـاری صفر (بدون آبیاری)، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) گیاه بوده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین عملکرد گوجه فرنگی در تیمارهای مختلف وجود دارد. در خصوص روابط بین عملکرد و هزینـه بـا آب مصـرفی بـه ترتیب توابع چند جمله‌ای درجه دوم و خطی به دست آمد. مقدار آب آبیاری برای حداکثر تولید برابر با ۵۷۰ میلی‌متر، در شرایط محدودیت زمین برابر۵۱۳ میلی‌متر و در شرایط محدودیت آب ۴۵۸ میلی‌متر بود. در شرایطی که زمین عامل محدود کننده باشد با اعمال کم آبیاری برای گوجه فرنگی، به میزان ۲۱ درصد سود حاصل از واحد سطح با آبیاری کامل برابر می‌شود. در این حالت مقدار آب مصرفی برای گوجه فرنگی ۴۵۴ میلی‌متر خواهد شد. در شرایطی که آب عامل محدود کننده باشد، با اعمال کم آبیاری برای گوجه فرنگی به میزان ۳۵ درصد، سود حاصل از واحد سطح با سود حاصل از آبیاری کامل برابر می‌گردد. در این حالت مقدار آب آبیاری برای گوجه فرنگی برابر با ۳۶۶ میلی‌متر و سطح قابل آبیاری توسط این آب، ۱/۵۶ برابر سطحی است که توسط حداکثر مقدار آب، آبیاری خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، بهینه سازی، بهره‌وری آب آبیاری

[*]نگارنده مسئول (d.akbarin@qaemiau.ac.ir)

مقدمه

با کمیاب‌تر شدن آب، بر اهمیت حفظ و صرفه جویی در آب موجود افزوده می‌شود. اقدامات چندی برای حفظ و صرفه جویی آب در سطح مزرعه و خارج از آن قابل اجراست. ازجمله اقدامات داخل مزرعه تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول و کاربرد یکنواخت‌تر و کاراتر آب است. با توجه به محدودیت منابع آب برای جلوگیری از بروز تنش‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی حاصل از کمبود آب و مواد غذایی، باید به سمت بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی گام برداشت که برای تحقق این هدف باید راندمان مصرف آب یا راندمان تولید را افزایش داد (انصاری، ۱۳۸۶). لذا تحقیق در مصرف بهینه آب برای تمامی محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می رسد. پیامد استفاده به جا و به هنگام از آب، نه تنها باعث ایجاد بیشترین درآمد است، بلکه از تلفات آب نیز جلوگیری می‌کند.

گوجه فرنگی محبوب‌ترین سبزیجاتی است که در نقاط مختلف دنیا کشت می‌شود اما به کمبود آب خاک حساس است (Yang *et al.* 2017; Hou *et al.* 2020). گیاه گوجه فرنگی به تنش آبی حساس بوده و ارتباط زیادی بین تبخیر- تعرق و عملکرد محصول وجود دارد. (Doorenbos & Kassam 1979). بنابراین استفاده از حفظ شرایط رطوبتی بهینه خاک برای دستیابی به بازده و بهره‌وری بیشتر آب برای تولید گوجه فرنگی بسیار مهم است. تحقیات زیادی در جهت بهینه‌سازی آب آبیاری و تعیین عملکرد و بهره وری آب آبیاری صورت گرفته است. در تحقیق گلکار و همکاران (۱۳۸۷) در کرج، حداکثر مقدار محصول و کارایی مصرف آب گوجه فرنگی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. با کاهش مصرف آب به میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، عملکرد محصول به ترتیب ۲۴، ۵۷ و ۷۴ درصد کاهش یافت.

Mukherjee *et al* (2023) یک آزمایش دو ساله برای ارزیابی رشد، عملکرد و بهره‌وری آب

گوجه‌فرنگی تحت شرایط کم‌آبیاری انجام دادند. نتایج نشان داد رشد، عملکرد و بهره‌وری آب به طور قابل توجهی تحت تاثیر رژیم کمبود رطوبت خاک قرار گرفت. صدرقاین و همکاران (۱۳۸۹) اثر مقادیر مختلف آب در روش آبیاری قطرهای را بر عملکرد گوجه فرنگی در ورامین مورد بررسی قرار دادند. بیان داشتند در مناطقی که محدودیت آب وجود نداشت، تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بهترین عملکرد را نشان داد. در شرایط با محدودیت آب تامین ۷۵ درصد نیاز آبی برای حصول حداکثر کارایی مصرف آب پیشنهاد شد.

عملکرد گوجه فرنگی و بهره‌وری آب به دلیل کمبود رطوبت خاک در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد زراعی به طور قابل توجهی معنی‌دار بود (Chakma *et al*, 2021). تعیین نقاط بهینه آب آبیاری و درآمد حاصل از عملکرد محصول از نکات مهمی است که در تحقیقات این محققین بدان اشاره شده است.

(Cantore *et al.* 2016) گزارش کردند عملکرد میوه قابل فروش گوجه فرنگی در شرایط ۵۰ درصد آبیاری کامل و دیم به ترتیب ۵۳ تا ۸۳ درصد و راندمان مصرف آب ۱۷ درصد کاهش یافت.

انصاری (۱۳۸۶)، به منظور محاسبه عمق‌های شاخص و بهینه آب مصرفی و با توجه به هدف کسب سود حداکثر در اثر کم آبیاری، تحقیقی را در قالب یک طرح آماری با آرایش کرت‌های خرد شده بر روی سه رقم ذرت زودرس انجام داد. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود اینکه آبیاری کامل بالاترین میزان عملکرد را به دنبال دارد اما به دلیل بالا رفتن هزینه‌ها سود خالص نهایی حداکثر نیست. همچنین با کم آبیاری در شرایط محدودیت زمین با هدف استفاده حداکثر از واحد زمین، عمق بهینه آب مصرفی برای ارقام مختلف حدوداً ٪۳ کاهش را نسبت به آبیاری بیشینه نشان می‌دهد و با کم آبیاری در شرایط محدودیت آب با هدف استفاده حداکثر از واحد حجم آب، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به آبیاری بیشینه به طور متوسط ٪۱۹ کاهش خواهد یافت.

عبادی و همکاران (۱۳۹۴) نقاط بهینه آب آبیاری را بر روی مرکبات انجام داده و نتایج زیر را بدست آورند. روابط بین عملکرد و هزینه با آب مصرفی به ترتیب توابع چند جمله‌ای درجه دوم و خطی به‌دست آمد. عمق آب آبیاری در حالات عملکرد بیشینه (۱۹۹/۸میلی‌متر) تفاوت کمی با عمق آب در حالت محدودیت زمین داشت و به همین دلیل بیشترین درآمد خالص در واحد سطح که از این‌دو عمق بدست آمد، تفاوت کمی با هم داشتند. با کاربرد عمق آب در حالت محدودیت آب ۱۲۷میلی‌متر مصرف آب ۳۶درصد کاهش یافت و در نتیجه بهره‌وری آب ۴۱/۸ درصد و درآمد خالص به‌ازای واحد حجم آب ۲۳ درصد افزایش یافت. همچنین با این مقدار آب می‌توان ۵۷ درصد سطح زیر کشت را افزایش داد.

English & Raja (1996) در شرایط محدودیت آب مقدار بهینه آب آبیاری را نسبت به آبیاری کامل (در آبیاری کامل محصول به حداکثر می‌رسد) برای گندم ۳۹ درصد، پنبه ۴۴ درصد و ذرت ۵۹ درصد گزارش کردند.

English & Raja (1996) طی تحقیقی در زیمباوه روی محصول ذرت به بهینه سازی مصرف آب پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد در این شرایط درحالت آبیاری کامل با مصرف ۵۲/۵ سانتی‌مترعمق آب مصرفی عملکرد برابر ۶ تن در هکتار قابل حصول است. اما با اعمال کم آبیاری به میزان ۵۹ درصد، اگرچه عملکرد در واحد سطح به میزان ۳۱ درصد کاهش می‌یابد (۴/۱۳ تن درهکتار) اما با آب صرفه‌جویی شده می‌توان سطح زیرکشت را از ۱ هکتار به ۲/۴۴ هکتار افزایش داد. در نتیجه تولید از ۶ تن به ۱۰/۱ تن (افزایشی برابر ۶۸ درصد) می‌رسد.

با توجه به موارد ذکر شده و لزوم آبیاری گوجه فرنگی در استان مازندران که سطحی معادل ۱۲۰۰ هکتار را به خود اختصاص داده است (سازمان جهاد کشاورزی مازندران، ۱۳۹۰)، برای حصول به عملکرد بیشتر و با عنایت به محدودیت منابع آب و نیاز به بهره‌برداری

پایـــدار از آن، بررســـی و شـناخت راهکارهـای مدیریت بهینه مصـرف آب، ماننـد کـم‌آبیـاری، امری اجتناب ناپذیر است. این راهکارهـا بـــرای انـواع محصـولات از جملـه گوجه فرنگی به‌طور گسترده در دنیا مطالعه و بـه‌کـار گرفتـه شـده اسـت، لـذا پـژوهش حاضـر بـه‌منظـور مطالعـه بهینه‌سازی عمـق آبیـاری برای گوجـه‌فرنگـــی و ســـپس تحلیـل اقتصـادی بـه کمـک روش انگلـیش در شرق استان مازندران پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور استخراج تابع تولید، تابع هزینه، نقاط آستانه آب آبیاری محصول گوجه فرنگی در استان مازندران، آزمایشی در طی سال ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجراء شد. مزرعه مورد نظر در عرض ۳۶ درجه و۴۱ ثانیه و طول ۵۳ درجه و۳۶ ثانیه و ارتفاع ۴ متر از سطح دریا در روستای چمان شهرستان نکا قرار دارد.

تیمارهای آبیاری شامل I_1، I_2، I_3، I_4، I_5 و I_6 (بـه ترتیـب ۰ (بـدون آبیـاری)، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بوده است. نیاز آبـی گیاه با استفاده از فرمول پنمن- مونتیث اصلاح شـده (Allen *et al*, 1998) توسـط فـائو و اعمـــال ضـــریب گیـــاهی (K_C) تعیـــین شـــد. پارامترهای مربوط به فرمـول پـنمن مانتیـث از ایستگاه دشت ناز که نزدیـک محـل بـود، اخـذ گردید. ضریب گیاهی با استفاده از دستورالعمل نشـــریه شـــماره ۲۴ فـــائو تعیـــین گردیـــد (Doorenbos & Kassam,1979). بـرای اعمال تیمارها، آبیاری به صـورت شـیاری و بـا استفاده از کنتور حجمـی و در کـرت‌هـایی بـه ابعاد ۶×۴/۸ متری یک هفته بعد از اسـتقرار در زمین اصلی انجام شد. گوجه فرنگی رقم اوربانا در اوایل فروردین مـاه، بـا آمـاده شـدن خزانـه کاشته شد. نشـاها در اواخـر فـروردین مـاه بـه زمین مورد نظر که قبلاً آماده شده بود، منتقـل شدند. فاصله ردیف‌ها ۱۲۰ سانتی‌متـر و فاصـله بوته‌ها روی ردیف ۴۰ سـانتی‌متـر بـود. در هـر گودال سه نشاء کشت و بلافاصـله آبیـاری شـد. پس از استقرار بوته‌ها، تنک کـردن و خاکـدهی پـای آن‌هـا اجـرا شـد. در خـلال فصـل رشـد، مراقبت‌های لازم از قبل وجین علف‌هـای هـرز،

مبارزه با آفات و بیماری‌ها و خاکدهی پای بوته‌ها انجام شد. مقدار آب آبیاری تیمارها به‌صورت شیاری و با استفاده از کنتور حجمی و بر مبنای رساندن رطوبت خاک در عمق ریشه به حد ظرفیت زراعی برای تیمار ۱۰۰ درصد تعیین و تیمارهای دیگر بر اساس درصد نیاز آبی اعمال شد. آبیاری زمانی که ۵۰ درصد رطوبت در منطقه توسعه ریشه برای تیمار ۱۰۰ درصد تخلیه گردید، اعمال شد. مقدار رطوبت خاک به صورت یک روز در میان و به صورت وزنی به دست آمد. سطح آب زیرزمینی در طی فصل رشد بر اساس اندازه گیری سطح آب چاهک موجود در منطقه بین پنج تا ۱۰ متر نوسان داشته است.

در پایان مقایر عددی حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای مطرح شد که به صورت میدانی و در سطح تیمارهای آزمایشی برداشت شد، داده‌های بدست آمده توسط نرم افزار آماری MSTAT-Cمورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

مدل‌ها و روابط تجربی-ریاضی

در کم آبیاری یکی از مهم‌ترین و در عین حال مشکل‌ترین مراحل کار، بهینه‌سازی آن از نظر عملکرد و یا سود خالص است. بنابراین برای تعیین حد بهینه آبیاری استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی-ریاضی و توابع تغییرات مصرف آب-عملکرد امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این تحقیق کم‌آبیاری پنبه با استفاده از روش انگلیش مورد بررسی قرار گرفت. انگلیش معادلاتی برای تعیین مقادیر بهینه آب آبیاری ارائه کرده است. بر اساس این معادلات تابع هزینه به شکل خطی و تابع تولید از نوع درجه دوم و به شرح زیر می‌باشند (English, 1990. English & Raja, 1996):

(۱) (تابع هزینه) $$c(w) = a_2 + b_2 w$$

(۲) (تابع تولید) $$y(w) = a_1 + b_1 w + c_1 w^2$$

که w مقدار آب آبیاری (mm)، Y(w) عملکرد محصول (kg/ha)، c(w) هزینه و (a_2)

a_1, b_1, c_1, b_2) ضرایب تابع تولید و هزینه می‌باشند.

درآمد خالص از هر هکتار گوجه فرنگی i(w) که تابعی از قیمت محصول، عملکرد گوجه فرنگی، هزینه ها و آب مصرفی است، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$i(w) = P_c\, y(w) - C(w) \qquad (۳)$$

که P_c قیمت هر کیلوگرم گوجه فرنگی (ریال) می‌باشد.

مقدار آب مصرفی که بیشینه عملکرد را به همراه دارد (W_m) با مشتق‌گیری از تابع تولید بدست می‌آید:

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \qquad (۴)$$

برای اپتیمم آب مصرفی هنگامی که زمین عامل محدود کننده باشد (W_I)، به قرار زیر نوشته می‌شود:

$$W_I = \frac{b_2 - P_c b_1}{2 P_c c_1} \qquad (۵)$$

وقتی که با محدودیت آب مواجه باشیم (W_w) خواهیم داشت:

$$Ww = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c c_1}\right)^{0.5} \qquad (۶)$$

عمقی از آب مصرفی (W_{el}) که در شرایط محدودیت زمین، سود خالص ناشی از آن برابر سود خالص ناشی از آبیاری کامل (W_m) می‌شود:

$$W_{el} = \frac{b_2 - P_C b_1 + Z_1}{2 P_C c_1} \qquad (۷)$$

که مقدار Z_1 از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

(۸)

$$Z_1 = -\left(P_c b_1 - b_2\right) + \left[\left(P_c b_1 - b_2\right)^2 - 4 P_c c_1 \left(\frac{P_c b^2_1}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1}\right)\right]^{0.5} \div \left(2 P_c C_1\right)$$

با توجه به کل حجم آب تامین شده و عمق آب مصرفی در برنامه‌ریزی کم آبیاری، کل سطح آبیاری شده بر حسب هکتار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A = \frac{W_T}{W} \qquad (۹)$$

مقدار W_{ew} (عمقی از آب مصرفی سود خالص ناشی از آن برابر سود خالص ناشی از آبیاری کامل) از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۱۰)

$$W_{ew} = \frac{\left(\frac{P_e b_1^{\,2} + 4P_e a_1 c_1 - 4a_2 c_1}{2b_1}\right) + \left[\left(\frac{P_e b_1^{\,2} + 4P_e a_1 c_1 - 4a_2 c_1}{2b_1}\right)^2 - 4P_e c_1 (P_e a_1 - a_2)\right]^{0.5}}{2P_e c_1}$$

به منظور برآورد راندمان آب آبیاری قابل حصول بواسطه مقادیر بهینه آب آبیاری (CIW,mm)، درصد کم آبیاری (WD,%)، و به واسطه مقدار عملکرد حاصله (CY,kg/ha) از هر یک از نقاط بهینه آب مصرفی، مقدار کاهش عملکرد (CYR,%)، همچنین درآمد خالص در واحد سطح (NIW,$/m^3$)، افزایش درآمد در حالت محدودیت زمین(NIILL,%)، افزایش درآمد در حالت محدودیت آب (NIIWL,%)، سطح آبیاری شده (IL,ha)، عملکرد کل (TP,kg) و افزایش عملکرد (PI,%) به صورت زیر بدست می‌آیند:

$$WD = \frac{(CIW_{Wm} - CIW)}{CIW_{Wm}} \times 100 \quad (۱۱)$$

$$CYR = \frac{(CY_{Wm} - CY)}{CY_{Wm}} \times 100 \quad (۱۲)$$

$$NIW = \frac{i_I(W)}{CIW} \quad (۱۳)$$

$$NIILL = \frac{(i_I(W)_{WI} - i_I(W)_{Wm})}{i_I(W)_{Wm}} \quad (۱۴)$$

$$NIIWL = \frac{(NIW_{Ww} - NIW_{Wm})}{NIW_{Wm}} \quad (۱۵)$$

$$IL = \frac{CIW}{CIW_{Wm}} \quad (۱۶)$$

$$TP = IL \times CY \quad (۱۷)$$

$$PI = \frac{(TP - TP_{Wm})}{TP_{Wm}} \quad (۱۸)$$

بحث و نتایج

مقایسه میانگین عملکرد

مقایسه میانگین داده‌های آزمایش(جدول ۱) نشان می‌دهد که بین مقدار عملکرد گوجه فرنگی در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بالاترین عملکرد مربوط به تیمار I_5 (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به میزان ۴۴۴۹۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به

تیمار I_0 (تیمار یدون آبیاری) به میزان ۱۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. یعنی با افزایش تنش عملکرد گوجه فرنگی کاهش نشان داد. Shinohara ،Rahman, *et al* (1998) *et al* (1995)، Liu *et al* (2019) و گلکار و همکاران (۱۳۸۷) نیز گزارش دادند در اثر تنش آبی، عملکرد گوجه فرنگی کاهش می یابد.

بر اساس داده‌های جدول (۱) در تیمار دیم هم عملکرد وجود دارد. ذکر این نکته ضروری است در منطقه کشت دیم گوجه نیز مرسوم بوده که عملکرد پایین نیز حاصل می‌گردد. البته باید اشاره نمود که برای تثبیت نشاها در زمین مقدار آب اولیه اعمال گردید و همچنین باران فصل رشد و رطوبت اولیه خاک نیز در تیمارهای دیم بر میزان عملکرد تاثیر گذار می-باشد. در مورد تاثیر باران فصل رشد و تاثیر آن بر عملکرد و مقادیر بهینه آب آبیاری گوجه فرنگی در منطقه مزبور نادرنژاد و اکبری نودهی (۱۳۹۵) مطالعاتی انجام داده و تاثیر باران فصل رشد را بررسی نمودند.

جدول۱-مقادیر آب آبیاری و عملکرد حاصله در تیمارهای مختلف

تیمارهای آبیاری	عمق آب آبیاری(mm)	*عملکرد گوجه فرنگی(kg/ha)
I_0	۰	۱۲۸۵۰f
I_1	۱۱۶	۱۶۶۲۰e
I_2	۲۳۲	۲۴۸۰۰d
I_3	۳۴۸	۳۲۲۹۰c
I_4	۴۶۴	۴۰۸۰۰b
I_5	۵۸۰	۴۴۴۹۰a

*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

توابع تولید و هزینه

هزینه‌های تولید برای دو حالت دیم و آبی بدست آمده است. به دلیل اختلاف در طبیعت هزینه‌ها، تعیین این تابع در تیمارهای مختلف مشکل است. لذا در این تحقیق هزینه‌های متغیر مانند هزینه‌های سمپاشی، آب بهاء، آبیاری، کود پاشی به صورت تابع خطی از آب مصرفی و هزینه‌های برداشت و حمل و نقل

کالا به صورت تابع خطی از تولید در نظر گرفته شد. هزینه‌های ثابت شامل هزینه‌های تهیه زمین، کاشت، اجاره بهای زمین، برای تمام تیمارها یکسان بوده و بر این اساس هزینه‌ها در سطح یک هکتار محاسبه شده است. هزینه‌های تولید ناشی از هزینه‌های ثابت و متغیر با استفاده از اطلاعات موجود در منطقه به صورت جدول ۲ به دست آمد:

جدول۲-متوسط هزینه‌های تولید برای یک هکتار گوجه فرنگی در استان مازندران(به ریال) بر اساس سال مبنا

نوع هزینه	مبلغ(ریال)
کل هزینه‌های ثابت	۲۵۵۳۷۰۰۰
کل هزینه‌های متغیر در حالت دیم	۳۲۵۴۳۰۰۰
کل هزینه‌های متغیر در حالت آبی	۴۷۸۱۱۲۰۰
کل هزینه‌های تولید در حالت دیم	۶۳۴۵۰۰۰۰
کل هزینه‌های تولید در حالت آبی	۷۴۸۴۸۲۰۰

رابطه خطی بین هزینه کل و آب مصرفی، به دست آمده از تجزیه رگرسیون، به صورت معادله ۱۹ است.

$$C(W)=۶۳۴۵۰۰۰۰+۱۹۹۶۲W \qquad (۱۹)$$

که در آن $C(W)$ هزینه کل تولید بر حسب ریال است.

تابع تولید با استفاده از میزان محصول حاصله از تیمارهای مختلف و بر اساس معادله (۲) محاسبه شده است:

$$Y(W)=۰/۱۴W^{۲}+۱۶۰W-۱۷۷۹ \qquad (۲۰)$$

که در آن $Y(w)$ عملکرد بر حسب کیلوگرم بر هکتار و w مقدار آب مصرفی برحسب میلی‌متر است. مطابق رابطه (۱۹) هزینه‌های

تولید تقریباً ۱۹۹۶۲۰۰ریال به ازای هر ۱۰۰ میلی‌متر آب آبیاری افزایش می‌یابد. در حالت کلی هزینه‌های تولید گوجه فرنگی بسته به هزینه نهاده‌ها و دستمزدها و متغیرهای دیگر در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. روابط بین عملکرد (معادله ۲۰) و هزینه (معادله ۱۹) با آب مصرفی به ترتیب توابع چند جمله‌ای درجه دوم و خطی به دست آمد. رابطه بین عملکرد و آب مصرفی در بسیاری از محصولات از چندجمله‌ای درجه دوم پیروی می‌کند. Ayas (۲۰۱۹)، Birhanu & Tilahun (2010) و Hou *et al* (2020) در گوجه فرنگی نادیانفر (۱۳۹۵) در ریحان، عبادی و همکاران (۱۳۹۵) در مرکبات نیز گزارش کردند رابطه بین عملکرد وآب مصرفی از چندجمله‌ای درجه دوم و هزینه از تابع خطی پیروی می‌کند.

عمق های بهینه آب آبیاری

مقدار بهینه آب آبیاری در صورت محدودیت زمین(Wl)، محدودیت آب(Ww) و معادل مقدار کم آبیاری در صورت محدودیت زمین(Wel) و محدودیت آب (Wew) برای گوجه فرنگی با توجه به مدل ارائه شده توسط English (۱۹۹۰) و همچنین بر اساس توابع تولید و هزینه و با در نظر گرفتن قیمت واحد هر کیلو (Pc) ۳۵۰۰ ریال (بر اساس قیمت سال مبنا(۱۳۸۹)) مطابق جدول(۳) بدست آمده است.

نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل (Wm) و عدم بروز تنش آبی در گیاه به منظور رسیدن به حداکثر عملکرد مقدار عمق آب آبیاری برابر ۵۷۰ میلی‌متر بر اساس معادله (۴) بدست آمد (جدول ۳). بر اساس این عمق آب آبیاری اگر چه حداکثر عملکرد به مقدار ۴۳۹۳۵ کیلو گرم بر هکتار حاصل شد اما بهره‌وری آب به کمترین مقدار یعنی ۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت. همچنین درآمد خالص نسبت به آب مصرفی (NIW) به کمترین مقدار ۱۳۸۲۲ ($Rial/m^3$) رسید. البته سود خالص در واحد سطح برای W_m می‌باشد جدول (۳). مقدار عمق بهینه آب آبیاری در شرایط محدودیت زمین (W_l) بر اساس داده‌های جدول ۳، ۵۱۳ میلی‌متر و

عملکرد ۴۳۴۵۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. کاربرد عمق آبیاری محاسبه شده بر اساس شرایط محدودیت زمین منجر به کاهش ۱۰ درصد آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل و افزایش دو درصدی درآمد در واحد سطح گردید. مقدار درآمد کم در حالت (W_I) نسبت به آبیاری کامل توسط عبادی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش گردید.

جدول ۳ - عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و درآمد خالص در واحد سطح و آب مصرفی

نقاط بهینه WL	عملکرد (kg/ha) CY	درصد کاهش عملکرد (CYR)	آب آبیاری محاسبه شده mm (CIW)	بهره وری آب kg/m^3	درصد کم آبیاری (WD)	سود خالص در واحد سطح (Rial/ha) $i_I(W)$	درآمد خالص نسبت به آب مصرفی ($Rial/m^3$) NIW	افزایش درآمد در حالت محدودیت زمین(٪) (NIILL)	افزایش درآمد در حالت محدودیت آب(٪) (NIIWL)
W_m	۴۳۹۳۵		۵۷۰	۷/۷		۷۸۱۹۴۹۲۰	۱۳۸۲۲		
W_I	۴۳۴۵۷	۱	۵۱۳	۸/۵	۱۰	۷۸۴۰۸۹۹۴	۱۵۲۸۴	۲	
W_w	۴۲۱۳۴	۴/۱	۴۵۸	۹/۲	۲۰	۷۴۸۷۶۴۰۴	۱۶۳۴۸		۱۸
W_{el}	۴۲۰۰۵	۴/۴	۴۵۴	۹/۳	۲۱	۷۴۵۰۴۷۵۲	۱۶۴۱۱		
W_{ew}	۳۸۰۲۷	۱۳/۴	۳۶۶	۱۰/۳	۳۶	۶۲۳۳۸۴۰۸	۱۷۰۳۲		

در صورتی که تنها یک درصد کاهش عملکرد داشته است (جدول ۳). مقدار Wl برای ماکزیمم درآمد خالص در صورت محدودیت زمین ۵۷ میلی‌متر کمتر از Wm بوده است. بنابراین بعنوان یک منبع مناسب در مناطقی که آب عامل محدود کننده است پیشنهاد نمی‌شود. مقدار عمق بهینه آب در شرایط محدودیت آب (Ww) برای پژوهش حاضر ۴۵۸ میلی‌متر و عملکرد ۴۲۱۳۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. نتایج نشان داد که استفاده از عمق آب آبیاری بهینه در شرایط کمبود آب منجر به ۲۰ درصد صرفه-جویی در مقدار آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل گردید (جدول ۳). با استفاده از این مقدار آب، سطح زیر کشت ۲۵ درصد افزایش یافت که منجر به افزایش ۲۴ درصدی درآمد کل از کل سطح زیر کشت نسبت به آبیاری کامل شد جدول (۴). مقدار Ww با ۱۱۲ میلی‌متر کمتر از Wm و با ۲۰٪ کم آبیاری و با افزایش درآمدی برابر با ۱۸٪ بعنوان یک تیمار مناسب در مواقع محدودیت منابع آب پیشنهاد می‌گردد (جدول ۳). در حالت محدودیت آب (Ww) با ۲۰٪ کاهش آب مصرفی و مقدار ۴۵۸ میلی‌متر آب آبیاری درآمد خالص نسبت به آب مصرفی از ۱۳۸۲۲به ۱۶۳۴۸ریال به ازای هر مترمکعب رسیده است. این در حالی است که تنها ۴/۱٪ کاهش عملکرد مشاهده گردیده است. نادریانفر (۱۳۹۵) و راشکی و همکاران (۱۳۹۹) بیان نمودند با اعمال کم‌آبیاری در شرایط محدودیت آب، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به عمق بیشینه کاهش مصرف آب داشته است.

عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت زمین (Wel)، یعنی حالتی که سود حاصل از واحد سطح در حالت محدودیت زمین برابر سود حاصل از واحد سطح در حالت آبیاری کامل می‌شود، برابر ۴۵۴ میلی‌متر و عملکرد آن ۴۲۰۰۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در این حالت کاهش ۲۱ درصدی نسبت به آبیاری کامل و تنها کاهش ۴/۴ درصدی عملکرد داشته است. و درآمد خالص نسبت به آب مصرفی ۱۶۴۱۱ ریال به ازای هر مترمکعب آب بدست آمده است.

عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت آب آبیاری (Wew)، در این حالت هدف تعیین عمق آب آبیاری است که در آن سود خالص به ازای واحد آب مصرفی برابر سود خالص در واحد آب مصرفی در حالت آبیاری کامل است. در این حالت مقدار آب آبیاری ۳۶۶ میلی‌متر و عملکرد ۳۸۰۲۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). کاهش ۳۶ درصدی مصرف آب نسبت به آبیاری کامل حاصل شد که این امر باعث کاهش ۱۳/۴ درصدی عملکرد محصول شده است. با این مقدار آب صرفه‌جویی شده سطح زیر کشت ۵۶ درصد افزایش یافته جدول(۴) که از این افزایش سطح زیر کشت ۳۵ درصد افزایش عملکرد حاصل می‌شود (جدول ۴). درآمد خالص نسبت به آب مصرفی دارای بیشترین مقدار (۱۷۰۳۲ ریال در مترمکعب) و در این حالت بالاترین بهره‌وری آب (۱۰/۳ kg/m3) بدست آمد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول سه و چهار می‌توان گفت که اگر هدف، افزایش سود خالص به ازای مصرف آب باشد، روش مقدار عمق بهینه آب در شرایط محدودیت آب (Ww) با سود خالص ۱۶۳۴۸ریال به ازای هر متر مکعب در هر هکتار روش بهینه می‌باشد؛ در حالی که اگر هدف صرفه جویی 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 (Wew) استفاده شود. امیدی و همایی (۱۳۹۹) در تحقیقات خود به همین نتیجه رسیدند.

جدول۴-مقادیر سطح آبیاری، محصول کل و درصد افزایش محصول حاصله از سطوح مختلف کم آبیاری

نقاط بهینه (WL)	آب آبیاری محاسبه شده (CIW, mm)	عملکرد (CY, kg/ha)	سطح آبیاری شده (IL, ha)	محصول کل (TP, kg)	درصد افزایش محصول (PI,%)
W_m	۵۷۰	۴۳۹۳۵	۱	۴۳۹۳۵	
W_w	۴۵۸	۴۳۴۵۷	۱/۲۵	۵۴۳۲۱	۲۴
W_{ew}	۳۶۶	۳۸۰۲۷	۱/۵۶	۵۹۳۲۲	۳۵

با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌گردد که می‌توان با کاهش مقادیر آب مصرفی تا حدود زیادی از مصرفه بی‌رویه آب در مزارع جلوگیری نموده و همچنین با افزایش سطح زیر کشت محصولات مختلف به واسطه کم آبیاری درآمد بیشتری را برای کشاورز ایجاد کرد. البته باید توجه نمود که مقادیر بهینه آب آبیاری بسته به میزان بارندگی در هر سالی تغیر می‌کند که لازم است در این زمینه مطالعات لازم صورت گرفته و یا از منابع موجود مقادیر بارندگی لحاظ گردد (Sepaskhah & Akbari, 2005).

نتیجه گیری

با توجه به وضعیت بحرانی آب در کشور و جهت استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، محاسبه عمق‌های آستانه آب آبیاری و اعمال کم‌آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب امری ضروری است. کاهش مصرف آب در تیمارهای کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل موجب صرفه‌جویی آب شد. به‌طوریکه با آب صرفه-جویی شده می‌توان تحت شرایط عدم محدودیت زمین، اراضی بیشتری را زیر کشت برد. در شرایط محدودیت آب نیز با برداشت کمتر آب می‌توان مصرف منابع آب را کاهش داد. تعیین عمق بهینه آبیاری و رعایت اعمال این عمق نسبت به آبیاری کامل، می‌تواند به میزان قابل توجهی در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی کرده و از طرف دیگر به دلیل امکان افزایش سطح زیر کشت، میزان کل درآمد خالص را تا حد زیادی افزایش دهد.

توابع آب- مصرفی عملکرد و آب مصرفی هزینه برای گیاه گوجه‌فرنگی بدست آمد و در ادامه عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین(Wl)، عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (Ww)، عمق آب آبیاری معادل آبیاری کامل در شرایط محدودیت زمین(Wel) و بیشینه عمق آب مصرفی (Wm) با توجه به مدل ارائه شده توسط English (1990) و بر اساس توابع تولید و هزینه محاسبه شد. نتایج بهینه‌سازی عمق آب مصرفی نشان داد که عمق آستانه‌ای در حالت محدودیت آب (۴۵۸ میلی‌متر) سبب ۲۰ درصد صرفه‌جویی آب و ۱۸ درصد افزایش درآمد خالص به‌ازای واحد حجم آب شده

است. همچنین با این مقدار آب می‌توان ۲۵ درصد سطح زیر کشت را افزایش داد.

منابع

Ansari, H. 2008. Determining the index and optimal irrigation depths to maximize benefit of early maturing corn. J. Water and Soil, 22(2): 107-115.

Omidi, F. and M. Homaee. 2020. The effect of deficit irrigation on irrigation water price and water productivity. J. Iran-Water Resources Research, 16(2): 312-322.

Dehghani Sadeij, H. and M.M. Nakhjavani**. 2007. Application of water consumption efficiency index and performance function in the cultivation model with the aim of water consumption efficiency. The second Iranian water resources management conference. Isfahan. Iran.**

Rashki, P., H. Piri, and E. Khamari. 2020. J. Water management and irrigation, 2(10): 189-202.

Agriculture-Jahad Organization of Mazandaran. 2011. Statistics of cultivated areas of farms in the province. Agricultural management.

Sadrghaen, H., M. Akbari, H. Afshar, and M.M. Nakhjavanimoghaddam. 2010. Effect of three methods of micro-irrigation and irrigation levels on yield of tomato. J. Water and Soil, 24(3): 574-582.

Ebadi, H., M. Raeini-Sarjaz, and M.A. Gholami-Sefidkoohi. 2015. Determination of Irrigation Water Threshold Depths for Citrus Production in Humid Region of Iran. Iranian J. Irrigation and Drainage, 3(1): 313-361.

Golkar, F., V. Farahmand, and H. Fardad. 2008. Investigating the amount of irrigation water on yield and efficiency of water consumption in tomatoes. J. Water Engineering, 1: 13-19.

Nadenejad, N. and D. Akbari Nodehi. 2016. The effect of rain during the growing season on the optimization of tomato irrigation water (a case study in the east of Mazandaran province). Master's thesis. Islamic Azad University, Qaimshahr branch. 55p.

Nadeianfar, M. 2016. Determining the production function of basil plants under low irrigation conditions and the use of Nano-fertilizers. Iranian J. Irrigation and Drainage, 3(10): 365-376.

Allen, R.G., L.S. Periera, D. Raes, and M. Smith.1998. Crop evapotranspiration:

Doorenbos J. and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, FAO, Rome, Italy, 193 pp.

English, M.J. 1990. Deficits irrigation. I: Analytical framework. ASCE: 116 (IR3): 399-412.

English, M.J. and S.N. Raja. 1996. Review perspectives on deficit irrigation. Agric. Water. Manage, 32:1-14.

Hou, X., W. Zhang, T. Du, S. Kang, and W.J. Davies. 2020. Responses of water accumulation and solute metab- olism in tomato fruit to water scarcity and implications for main fruit quality variables. J Exp Bot, 71(4):1249–1264.

Liu, J., T. Hu, P. Feng, L. Wang, and S. Yang. 2019. Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. Plos One, 14 (3): 21-36.

Oweis, T. and H. Zhang. 1996. Water use efficiency: Index for optimization supplement irrigation of water scarce areas, journal of applied irrigation science, 33(2): 33-43.

Rahman, S.M., L. Nawata, and E. Sakuratani.1998. Effects of water stress on yield and related morphological characers Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper,No. 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.

Ayas, S. 2019. Water-yield relationships of deficit irrigated tomato. Applied Ecology and Environmental Research, 17(4): 7765-7781.

Birhanu, K. and K. Tilahun. 2010. Fruit yield and quality of drip irrigated tomato under deficit irrigation. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 10(2): 1684-5358.

Cantore, V., O. Lechkar, E. Karabulut, M.H. Sellami, R. Albrizio, F. Boari, and M. Todorovic, 2016 Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Agric Water Manage 167:53–61.

Cetin, O., O. Yildirim, and D. Uygan. 2002. Irrigation scheduling of drip irrigated tomatoes using class A pan evaporation. Turk. J. Agri, 26:171-178.

Chakma, R., A. Biswas, P. Saekong, H. Ullah, and A. Datta. 2021. Foliar application and seed priming of sali-cylic acid affect growth, fruit yield, and quality of grape tomato under drought stress. Sci Hortic, 280 (5):109904.

among tomato. Thai J. of Agric. Sci, 31(1): 60-78.

Sepaskhah, A.R. and D. Akbari. 2005. Deficit Irrigation Planning under Variable Seasonal Rainfall. Biosystems Eng (2005), 92 (1): 97–106.

Shinohara, Y., K. Akiba, T. Maruo, and T. Ito. 1995. Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using gravel culture. J. Agro. and Crop Sci., 396: 211-218.

Yang, H., T. Du, R. Qiu, J. Chen, F. Wang, Y. Li, C. Wang, L. Gao, and S. Kang. 2017. Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. Agric Water Manag, 179:93–204.

Determining the optimal depth of irrigation water in tomato plants

Davood Akbari Nodehi[1*], Nadia Fahimi borkhali[2], Fatemeh Naderi[3], Abed Vahedi[4]

1. **Assistant Professor and Academic Member, Department of Irrigation, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.**
2. **Mazandaran Region 2 Secretary of Education, Health, Mazandaran, Iran**
3. **M. Sc Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.**
4. **Assistant Professor and Academic Member, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.**

Recived: 2024.12.7 **Accepted: 2025.3.6**

Abstract

This experiment was done in 2010 to determining the optimal depth of irrigation and observing the application of this depth compared to full irrigation can significantly save irrigation water consumption and on the other hand, due evaluate the possibility of increasing the cultivated area, it can increase the amount of net income to a great extent. In this research, the optimal amount of irrigation water for tomato plant in different conditions, maximum yield, land limitation, water and low irrigation was determined. The treatments were carried out in the form of a randomized complete block design with six irrigation levels: zero (no irrigation), 20, 40, 60, 80 and 100 percent of the plant's water requirement). Comparison of average data showed that there is a significant difference between tomato yield in different treatments. The relationships between performance and cost with water consumption were obtained by linear and quadratic polynomial functions, respectively. The amount of irrigation water for maximum production was equal to 570 mm, in the condition of land limitation it was equal to 513 mm and in the condition of water limitation it was 458 mm. In the conditions where the land is the limiting factor, applying low irrigation for tomatoes, the amount of 21% profit per unit area is equal to full irrigation. In this case, the amount of water used for tomatoes will be 454 mm. In the conditions where water is the limiting factor, with the application of low irrigation for tomatoes by 35%, the profit from the surface unit is equal to the profit from full irrigation. In this case, the amount of irrigation water for tomatoes is equal to 366 mm and the surface that can be irrigated by this water is 1.56 times the surface that will be irrigated by the maximum amount of water.

Keywords: Optimization, Production function, Productivity of irrigation water

* Corresponding author (d.akbarin@qaemiau.ac.ir)