

اثر تنش‌های همزمان شوری و خشکی بر اقتصاد تولید کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

احد فعالیان، حسین انصاری^{1*}، محمد کافی، امین علیزاده و مهنوش مقدسی

دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

ahad.faalian@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

Ansary@um.ac.ir

استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه فردوسی مشهد.

Kafi@um.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

Alizadeh@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه اراک.

m-moghaddasi@araku.ac.ir

چکیده

برای بررسی اقتصادی اثر همزمان تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی رقم اورینت (*Lycopersicon esculentum Mill. Cv. Oriental*) در کشت بدون خاک گلخانه‌ای، آزمایشی با چهار سطح میزان آبیاری شامل (آبیاری به میزان 125%، 100%، 75% و 50% نیاز آبی) و شش سطح شوری (0/1 به عنوان تیمار شاهد، 1/3، 3، 5، 7 و 9 دسی‌زیمنس بر متر) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. برای اولین بار مدل اقتصادی بهینه‌سازی کم آبیاری در مورد کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی در گلخانه استخراج و استفاده شد. نتیجه حاصل از این مدل اقتصادی نشان داد که سود خالص حاصل از آبیاری کامل گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک با آب شیرین (شاهد)، شوری 1/3، و شوری 3 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با سود خالص حاصل از کم آبیاری به مقادیر 36%، 21% و 24% برابر است. یعنی به طور متوسط حدود 25 درصد می‌توان کم آبیاری اعمال کرد بدون اینکه سود خالص تولید تغییر کند. با توجه به تعدد گلخانه‌های دارای کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی و قیمت روزافزون کودهای شیمیایی و سایر هزینه‌های مرتبط با تغذیه و آبیاری، کاهش حدود یک چهارم از کل هزینه‌های تغذیه منجر به صرفه جویی بسیار چشمگیر در مخارج کشت خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، محلول غذایی، شاخص‌های رشد.

1- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

* دریافت: اسفند 1393 و پذیرش: مرداد 1394.

دامی کشور ارتقا داده است (سالنامه آماری فائو، سال‌های 2010 و 2011). یکی از روش‌های نسبتاً مدرن و جدیدتر کشت‌های گلخانه‌ای، کشت بدون خاک (*Soiless Culture*) می‌باشد. افزایش روز افزون کشت‌های گلخانه‌ای بدون خاک به این دلیل است که بستر خاکی به دلایل متعددی از جمله هزینه‌های بالا جهت آزمایش‌های اولیه تعیین میزان عناصر غذایی، عدم امکان کنترل دقیق *PH*، *EC*، بیماری‌های خاکزی، علف‌های هرز و مسائل مربوط به تناوب با موانع زیادی مواجه است (حساح، 2000).

علاوه بر موارد فوق کمبود آب و عدم امکان کنترل دقیق تغذیه گیاه در سیستم‌های خاکی باعث شده که در دهه‌های اخیر تولید محصولات به روش‌های مختلف کشت بدون خاک در عرصه جهانی افزایش یابد (رمضانیان و همکاران، 2001). لایق و همکاران (1388) نشان دادند که تحت تاثیر شوری محلول غذایی، عملکرد کل، میانگین وزن میوه و شاخص سطح برگ به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ولی درصد ماده خشک میوه روند افزایشی پیدا می‌کند. روبینو و تاراتینو (1988) نشان دادند که ماده خشک گوجه‌فرنگی با افزایش میزان آبیاری کاهش می‌یابد.

میشل و همکاران (1991) گزارش کردند که کم‌آبایی، عملکرد و آب ذخیره شده در گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد اما میزان مواد جامد محلول، درصد قند، میزان اسید سیتریک و پتاسیم را افزایش می‌دهد. گیرتس و رائس (2009) با مروری بر تحقیقات گذشته گزارش کردند که کم‌آبایی برای اکثر محصولات زراعی بدون ایجاد کاهش جدی در مقدار محصول، باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. هرچند بایستی یک حداقلی از رطوبت در طول فصل برای گیاه فراهم باشد.

مریک و همکاران (2011) اثر انواع رژیم‌های آبیاری و سیستم‌های تغذیه‌ای را بر روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک بررسی کردند. کارایی

افزایش جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی و غذای بیشتر و محدودیت منابع آب، بشر را به سمت استفاده از آب‌های با کیفیت کم (آب‌های نامتعارف) و همچنین اعمال مدیریت کم‌آبایی سوق داده است. آبیاری کامل به منظور کسب حداکثر محصول از واحد سطح در شرایطی قابل اعمال است که اولاً آب به مقدار کافی در اختیار باشد و ثانیاً امکان توسعه و افزایش سطح زیرکشت وجود نداشته باشد. اما شرایط اقلیمی و اراضی کشاورزی در بیشتر مناطق کشورمان به گونه‌ای است که نه تنها آب به اندازه و مقدار کافی در دسترس نیست، بلکه اراضی مستعد و قابل احیای زیادی وجود دارند که در صورت رسیدن آب به آنها امکان افزایش تولید قابل توجهی وجود خواهد داشت (سپاسخواه و همکاران، 1385).

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) یکی از منابع سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و از مهمترین محصولات زراعی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می‌آید. این سبزی 25 درصد از کل تولیدات سبزی جهان را به خود اختصاص می‌دهد (چتین و اوینگان، 2008). همچنین به دلیل کمبود منابع آبی و یا وجود منابع آب با کیفیت پایین (آب‌های شور و لب‌شور)، در تمام دنیا مدیریت تولید سبزی‌ها تحت شرایط شوری بسیار مورد توجه قرار گرفته است (مالاش و همکاران، 2002).

طبق آمار منتشره از سوی فائو، کشور ایران در سال 2010 با تولید حدود 5/2 میلیون تن گوجه‌فرنگی، رتبه هفتم جهان را داشته است و در سال 2011 با تولید حدود 6/8 میلیون تن به اندازه یک رتبه صعود داشته و حائز رتبه ششم در بین کشورهای تولیدکننده گوجه‌فرنگی بوده است. همچنین محصول گوجه‌فرنگی در سال 2010 با ارزش حدود 1/9 میلیارد دلار در رتبه سوم تولیدات کشاورزی و دامی ایران بوده است. درحالی‌که این رقم در سال 2011 به 2/5 میلیارد دلار بالغ شده و محصول گوجه‌فرنگی را به صدر تولیدات کشاورزی و

مزرعه را تحت شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل بهینه سازی می کند.

دومینگوئز و همکاران (2011) مدلی را تحت عنوان *MOPECO-Salt* جهت شبیه سازی اثر همزمان شوری و کم آبیاری برای تعیین مناسب ترین استراتژی آبیاری به منظور دستیابی به عملکرد بالاتر، سود اقتصادی بیشتر و مدیریت شوری خاک برای برخی محصولات زراعی مثل پیاز و سیب زمینی توسعه دادند. داتا و همکاران (1998) رابطه های خطی، توانی و درجه دوم را بین عملکرد گندم و عوامل متغیری مانند مقدار آب آبیاری، شوری آب و شوری اولیه خاک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تابع درجه دو بهترین نوع تابع برای بیان کمی رابطه آب-شوری-عملکرد است.

ذوالفقاران و شهبازی (1386) در بررسی عملکرد چغندر قند در مقادیر متفاوت آب و شوری دریافتند که پیش بینی عملکرد چغندر قند تحت شرایط توأم خشکی و شوری با تابع کاب داگلاس از سایر توابع بهتر است. محمدی و همکاران (1389) به منظور تعیین ضرایب حساسیت گیاه و بهینه سازی مصرف آب در کشت فضای باز گوجه فرنگی در کرج، نشان دادند که تابع تولید درجه دوم برای گوجه فرنگی به عنوان تابع بهینه تولید، قابل توصیه می باشد. آنها با رسم منحنی های هم محصول نشان دادند که با افزایش میزان آبیاری، می توان از آب آبیاری با شوری بالاتری در آبیاری گوجه فرنگی استفاده نمود، به نحوی که عملکرد تغییر نکند.

شهیدی (1387) اثر تنش های همزمان شوری و کم آبیاری را بر روی دو رقم گندم قدس و روشن در منطقه بیرجند مورد بررسی قرار داده و نشان داد که توابع تولید درجه دوم برای هر دو رقم گندم قدس و روشن نسبت به سایر توابع از برتری نسبی برخوردارند و به عنوان توابع بهینه تولید در منطقه بیرجند قابل توصیه می باشند. تحقیقات زیادی در مورد موضوع اثر شوری و کم آبیاری و نیز برهم گنشی این دو تنش همزمان روی محصولات زراعی و باغی در داخل و خارج کشور به

مصرف آب حدود 55-33 کیلوگرم بر مترمکعب در فصل پاییز و حدود 35-26 کیلوگرم بر هکتار در فصل بهار محاسبه شد. نتایج همچنین نشان داد سیستم بسته و رژیم با دور آبیاری زیاد کارایی مصرف آب را افزایش، ولی محصول و مقدار محلول غذایی مصرف شده را کاهش می دهد.

پاتانه و همکاران (2011) نشان دادند که تأثیر کم آبیاری بر روی شاخص های کمی و کیفی عملکرد گوجه فرنگی کاملاً برعکس هم می باشد. بطوری که با اعمال کم آبیاری میزان عملکرد کاهش و کیفیت میوه افزایش پیدا می کند. آنها پیشنهاد کردند که در مناطق خشک و نیمه خشک که منابع آب در حال کاهش و قیمت تمام شده آب رو به افزایش است، می توان در شرایط مزرعه، با تأمین 50% نیاز آبی گوجه فرنگی در تمام مراحل رشد، برنامه کم آبیاری اجرا نمود.

نورجو و همکاران (1380)، گزارش نمودند که عمق آب آبیاری، در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار مواد جامد محلول میوه گوجه فرنگی مؤثر بوده و با افزایش میزان آب آبیاری، از درصد مواد جامد محلول کاسته شده است. ولی تأثیر آن بر مقدار اسیدیته عصاره میوه معنی دار نبوده است. شهیدی و همکاران (1389) با اعمال تنش های شوری و کم آبیاری به صورت همزمان و نیز به صورت مجزا در مورد گندم نشان دادند که اثر تنش همزمان شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات آنها است و همچنین سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر بود.

بنلی و کودال (2003) یک مدل غیرخطی را برای بهینه سازی کم آبیاری و آبیاری کامل برای منطقه جنوب شرق ترکیه توسعه دادند. مدل برای بهینه سازی تابع هدف که همان توابع آب مصرفی - سود خالص بود، پایه گذاری شد. به این معنی که ابتدا مقادیر سود خالص به ازای سطوح مختلف آبیاری به صورت توابع مختلف برای منطقه مزبور در محیط نرم افزار اکسل برآورد گردید. مدل مزبور الگوی کشت بهینه و نیاز آبی گیاه و کل درآمد

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در یک گلخانه دارای سامانه گرمایشی طرح کره‌ای با پوشش پلی‌اتیلن شفاف در شهرک گلخانه‌ای آوه واقع در اتوبان تهران - سلفچگان و مرز استان‌های تهران، قم و استان مرکزی انجام شد. منطقه ساوه که یکی از کانون‌های بسیار مهم تولیدات زراعی و باغی و کشت گلخانه‌ای مرکز ایران می‌باشد دارای آب لب شور و اقلیم نیمه خشک، تابستان گرم و زمستان معتدل و کم‌بارش می‌باشد. بذور گوجه‌فرنگی هیبرید اورینت (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv.) از محصولات کمپانی نانهمز هلند (*Nunhemz Netherlands*) در تاریخ 1390/12/3 در سینی نشاء با بستر پیت‌ماس (*peat mass*) کاشته شد.

نشاء‌ها به مدت 40 روز در سالن نشاء نگهداری و سپس در مرحله چهاربرگی به بستر اصلی منتقل شدند. بستر اصلی شامل گلدان‌های با حجم 10 لیتر حاوی بستر کوکوپیت (*coco peat*) و پرلایت (*perlite*) (با نسبت حجمی یک به یک) بود. از روز اول کاشت بذرها تا یک ماه پس از انتقال نشاء عملیات آبیاری با آب غیرشور شهرک با هدایت الکتریکی 1/3 دسی‌زیمنس بر متر انجام شده، سپس از 1391/2/13 تیمارهای شوری (*Salinity*) و کم‌آبیاری (*Deficit Irrigation*) بر روی بوته‌ها اعمال شد.

تیمارهای شوری در شش سطح شامل (1، 1/3، 3، 5، 7 و 9 دسی‌زیمنس بر متر) به ترتیب با علائم S1، S2، S3، S4، S5 و S6 و تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل (125، 100، 75 و 50 درصد نیاز آبی گیاه) به ترتیب با علائم W1، W2، W3 و W4 در نظر گرفته شدند. منابع آب آبیاری شامل آب شیرین با شوری 0/1 دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از یک دستگاه آب‌شیرین‌کن کوچک با مارک (*General Water*)، آب لوله‌کشی شده شهرک گلخانه‌ای با شوری 1/3 دسی‌زیمنس بر متر، آب شور با شوری نه دسی‌زیمنس بر متر از یک چاه آب در مجاورت محل آزمایش و بقیه تیمارهای

روش‌های مختلف و روی محصولات متنوع انجام شده است. از جمله می‌توان به ویلامسن و همکاران (1996)، ماس و گراتان (1999)، یالینگ لی و همکاران (2001)، باسیل و کافکا (2002)، هارمانتو و همکاران (2005) و نظایر آنها اشاره نمود.

در مورد کشت‌های گلخانه‌ای مخصوصاً کشت بدون خاک، شوری آب آبیاری یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید است، لذا در طرح‌های توجیهی مربوط به احداث گلخانه‌ها برای مناطق دارای آب شور، سیستم آب‌شیرین‌کن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به بحران انرژی در تمام دنیا و به طریق اولی در کشور ما، هزینه‌های انرژی مصرفی سیستم‌های آب‌شیرین‌کن و نیز مقدار قابل توجه تلفات آب به صورت پساب در این سیستم‌ها، لزوم بهینه‌سازی عملکرد در شرایط شوری آب را بیشتر آشکار می‌نماید.

به عبارت دیگر، طبیعی است که هرچه آب آبیاری دارای شوری کمتری باشد، عملکرد محصول بیشتر خواهد بود، اما چه‌بسا ممکن است با در نظر گرفتن هزینه‌های کاهش شوری آب به طرق مختلف از جمله سیستم آب‌شیرین‌کن، استفاده از آب شور سود اقتصادی بیشتری را نصیب تولیدکننده گرداند.

همچنین در اغلب موارد به دلیل شوری بالای آب و هزینه‌های زیاد اولیه برای کاهش سطح شوری از یک طرف و کمبود منابع آب موجود از طرف دیگر، اکثر کشاورزان تمایلی به کشت گلخانه‌ای نداشته و تولید را بسیار کم‌سود ارزیابی می‌کنند و لذا اساساً طرح احداث گلخانه در این موارد زیر سؤال جدی قرار می‌گیرد. در حالی که با داشتن اطلاعات قابل اعتماد می‌توان توجیه اقتصادی کشت گلخانه‌ای با آب شور و کم‌آبیاری را ارزیابی نموده و توصیه‌های دقیق تری ارائه داد. با جمع‌بندی مطالب فوق، بررسی اثر همزمان تنش‌های شوری و کم‌آبیاری در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، به عنوان موضوع این پژوهش انتخاب شد.

بوته، میانگین قطر میوه و متوسط وزن میوه، در هر نوبت برداشت ثبت گردید. ارتفاع بوته‌ها به طور مرتب اندازه‌گیری و ثبت گردید. در کل دوره آزمایش چهار بار عمل پایین کشی بوته‌ها انجام و در آخر، قد نهایی بوته‌ها ثبت گردید. برای تعیین شاخص‌های آستانه‌ای عمق آب مصرفی مدلی برای بهینه‌سازی سودخالص مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از بارزترین خصوصیات این مدل، وجود دو تابع (تولید و هزینه) و همچنین قیمت محصول است که به صورت تلفیقی به کار گرفته می‌شوند (انگلیش و همکاران، 1990؛ انگلیش و راجا، 1996، انصاری، 1387). از خصوصیات دیگر این مدل وجود منطق ریاضی، ضوابط اقتصادی و مبانی زراعی در آن است. در این مطالعه از شکل اول بهینه‌سازی عمق آب مصرفی و در نتیجه سودخالص استفاده شد که در این حالت تابع تولید به صورت منحنی درجه دو، تابع هزینه به صورت خطی و قیمت محصول نیز ثابت (بر اساس نرخ بازار) می‌باشد. شکل عمومی این روابط به صورت زیر است:

$$Y = a_1 + b_1W + c_1W^2 \quad (1)$$

$$C = a_2 + b_2W \quad (2)$$

$$P = \text{ثابت} \quad (3)$$

که در آنها:

Y عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، C هزینه کل بر حسب ریال در هکتار، w عمق آب مصرفی در طول فصل زراعی بر حسب سانتی متر و P قیمت واحد محصول به ریال است. عمق‌های شاخص آب مصرفی با استفاده از روابط زیر تعیین شد.

1- عمق آب آبیاری کامل (W_m)، که با مشتق‌گیری از تابع تولید بر حسب عمق آب مصرفی (w) و مساوی صفر قرار دادن آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \quad (4)$$

2- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت زمین (W_L)

$$W_L = \frac{b_2 - b_1P}{2c_1P} \quad (5)$$

3- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w)

$$W_w = \left[\frac{a_1P - a_2}{c_1P} \right]^{0.5} \quad (6)$$

شوری از ترکیب آب شیرین با آب شور تهیه شد. با احتساب شش سطح شوری به عنوان تیمار اصلی و چهار سطح آبیاری به عنوان تیمار فرعی مجموعاً 24 تیمار (6×4) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هر بوته در یک گلدان و تعداد پنج بوته برای هر تکرار اختصاص یافته و در مجموع با (360) بوته طرح آزمایشی اجرا شد. گلدان‌ها به فاصله 50 سانتیمتر از هم روی ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم 100 سانتی‌متر آرایش یافتند.

نیاز آبیاری براساس تبخیر از تشت تبخیر استاندارد 20 سانتیمتری و با اعمال ضریب تشت (K_{pan}) و ضریب گیاهی (K_c) محاسبه‌شده و بر روی تیمارهای اعمال شد. این نوع تشت تبخیر توسط لیو و کانگ (2007) معرفی شده و کاربرد موفقیت‌آمیز آن در گلخانه توسط ژانگ و همکاران (2010) اثبات شده است. تشت تبخیر مزبور ظرفی استوانه‌ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر 20 سانتیمتر و ارتفاع 11 سانتیمتر می‌باشد. در این تحقیق از 3 عدد تشت تبخیر استاندارد 20 سانتیمتری مستقر بر روی سکوی چوبی در ارتفاعی بالاتر از آسمانه گیاه ($Crop Canopy$) برای تعیین تبخیر از سطح آزاد آب به عنوان مرجع استفاده شد.

ضریب این تشت در داخل گلخانه و شرایط استاندارد مذکور (پایه چوبی و ارتفاع) برابر 0/71 می‌باشد. برای تعیین ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای از نتایج تحقیق عابدی‌کوپایی و همکاران (1390) استفاده شد. محلول غذایی مورد استفاده در این پژوهش طبق فرمول غذایی هوگلند اصلاح شده تهیه شد. این فرمول به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد نیتروژن و پتاسیم، برای پرورش گیاهان بزرگ مانند گوجه‌فرنگی و فلفل‌دل‌مه بسیار مناسب می‌باشد (هوگلند و آرنون، 1950).

بهینه‌سازی اقتصادی عمق آب مصرفی

عملیات برداشت میوه 3-4 بار در هفته انجام شد. داده‌های مربوط به عملکرد کل، تعداد میوه در هر

می‌یابد، همچنین کاهش سطح آبیاری باعث کاهش عملکرد و شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد می‌شود. شکل (1) مقادیر کارآیی مصرف آب در تیمارهای مختلف شوری و کم‌آبیاری را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این پارامتر مربوط به تیمار S_1W_4 (شوری 0/1 دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آب مصرفی 50% ETC) با حدود 34/6 کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار S_5W_1 (شوری هفت دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آب مصرفی 125% ETC) با حدود 6/4 کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

طبق انتظار بایستی کمترین کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار S_6W_1 باشد، اما اینگونه نیست، و کمترین کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار S_5W_1 می‌باشد. دلیل آن طبق جدول (1) مشخص است و آن عبارت از اختلاف طول عمر بوته‌های تیمارهای S_5 و S_6 می‌باشد. تیمار S_5 بیشتر از تیمار S_6 تحت شرایط شوری دوام آورد و لذا مقدار آب بیشتری مصرف کرد. تیمار S_6W_1 علیرغم عملکرد پایین‌تر، چون عمر کوتاه‌تری داشته، به تبع آن مصرف آب کمتری نیز داشته است. بنابراین کارآیی مصرف آب آن بیشتر از تیمار S_5W_1 می‌باشد.

توابع تولید

تابع تولید آب- شوری- عملکرد محصول تحت تأثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری را به طوری که سایر عوامل تولید ثابت نگه داشته شوند، می‌توان به صورت معادله $Y=f(I, EC_w, X)$ نشان داد که در آن Y مقدار عملکرد محصول (kg/ha)، I مقدار آب آبیاری (cm) و EC_w هدایت الکتریکی آب آبیاری (ds/m) و X بردار ثابت سایر عوامل تأثیرگذار در تولید است. لذا ابتدا داده‌های آماری عملکرد حاصل از اجرای طرح توسط نرم افزار *Minitab 16* برازش داده شده و فرم‌های مختلف توابع تولید با فرم‌های مختلف: خطی ساده (*Linear*)، خطی لگاریتمی (کاب‌داگلاس

4- عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین

(W_{eL})

$$W_{eL} = \frac{(b_2 - b_1P) \pm Z_1}{2c_1P} \quad (7)$$

که در آن:

$$Z_1 = \left[(b_1P - b_2)^2 - 4c_1P \left(\frac{b_1^2P}{4c_1} - \frac{b_1b_2}{2c_1} \right) \right]^{0.5} \quad (8)$$

اگر معادلات ایجاد شده منتج به دو یا سه جواب شود (جوابهای موهومی یا حقیقی)، تنها آن جوابی که مقدار آن بین W_m و W_k قرار دارد قابل قبول و بقیه غیرقابل قبول هستند. W_k عمق آب در حالت سر به سری یا سود صفر می‌باشد که در ادامه تعریف شده است.

5- عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب

(W_{ew})

در این سطح از آب آبیاری، سود خالص به ازای واحد این عمق آب مصرفی (W_{ew}) برابر با سود خالص به ازای واحد عمق آب مصرفی آبیاری کامل (W_m) است.

$$W_{ew} = \frac{-Z_2 \pm [Z_2^2 - 4c_1P(a_1P - a_2)]^{0.5}}{2c_1P} \quad (9)$$

که در آن:

$$Z_2 = \frac{b_1^2P + 4a_1c_1P - 4a_2c_1}{2b_1} \quad (10)$$

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، از دو جوابی که از معادله (7) به دست می‌آید، تنها یکی از آنها که مقدار آن بین W_m و W_k قرار دارد قابل قبول است.

6- عمق آب مصرفی در حالت سر به سری (W_k)، در این

حالت سود خالص برابر صفر است:

$$W_k = \frac{(b_2 - b_1P) \pm Z_3}{2c_1P} \quad (11)$$

که در آن:

$$Z_3 = [(b_1P - b_2)^2 - 4c_1P(a_1P - a_2)]^{0.5} \quad (12)$$

نتایج و بحث

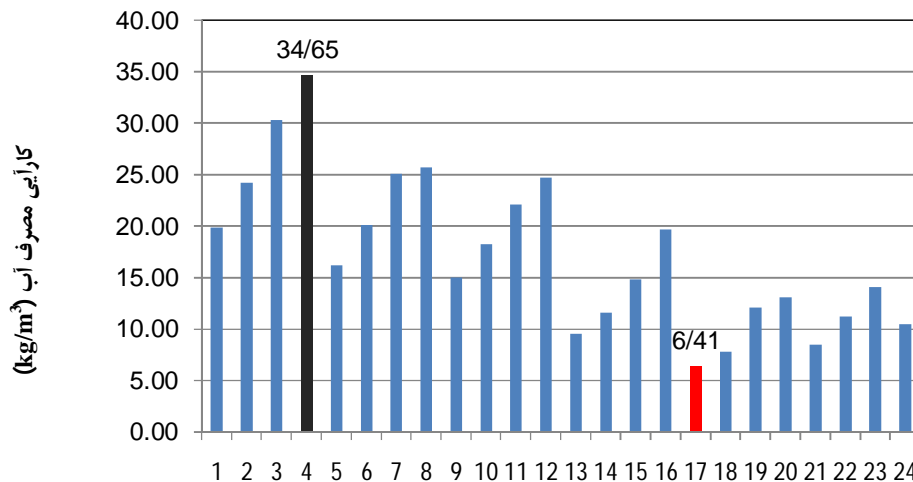
کارآیی مصرف آب

جدول (1) مقادیر میانگین عملکرد و برخی شاخص‌های عملکرد در تیمارهای مختلف تحت تأثیر شوری و کم‌آبیاری را نشان می‌دهد، این جدول نشان می‌دهد که طبق انتظار با افزایش سطح شوری عملکرد کاهش

متعالی یا نمایی (Transcendental) برآورد شد. (CobbDouglas)، درجه دوم (Quadratic) و فرم

جدول 1- عملکرد و برخی شاخص‌های کمی عملکرد به ازای تیمارهای مختلف شوری و کم آبیاری

شماره تیمار	عنوان تیمار	عملکرد (kg/plant)	قد بوته (سانتیمتر)	عمر بوته (روز)	آب مصرفی بوته (m ³)	کارایی مصرف آب (kg/m ³)
1	S1W1	10/06	568	180	0/51	19/89
2	S1W2	9/8	568	180	0/41	24/20
3	S1W3	9/2	550	180	0/3	30/36
4	S1W4	7	523	180	0/2	65/34
5	S2W1	8/2	552	180	0/51	16/21
6	S2W2	8/15	524	180	0/41	20/12
7	S2W3	7/6	524	180	0/3	25/08
8	S2W4	5/2	483	180	0/2	25/74
9	S3W1	7/6	521	180	0/51	15/02
10	S3W2	7/4	492	180	0/41	18/27
11	S3W3	6/7	485	180	0/3	22/11
12	S3W4	5	409	180	0/2	24/75
13	S4W1	4/82	395	180	0/51	9/52
14	S4W2	4/7	384	180	0/41	11/6
15	S4W3	4/5	365	180	0/3	14/85
16	S4W4	3/98	356	180	0/2	19/72
17	S5W1	1/8	187	100	0/28	6/41
18	S5W2	1/75	193	100	0/22	7/79
19	S5W3	1/7	187	83	0/14	12/12
20	S5W4	1/08	169	73	0/08	13/12
21	S6W1	1/58	165	67	0/19	8/45
22	S6W2	1/6	162	63	0/14	11/23
23	S6W3	1/5	155	63	0/11	14/07
24	S6W4	0/66	138	57	0/06	10/44



تیمارهای شوری و کم آبیاری به ترتیب جدول (1)

شکل 1- کارایی مصرف آب در تیمارهای شوری و کم آبیاری

(13) فرم خطی ساده: $Y = 6.8 + 0.03W - 0.9S$

(14) فرم خطی لگاریتمی (کابداگلاس): $Y = 1.1W^{0.4}S^{-0.23}$

(15) فرم درجه دوم: $Y = 2.02 + 0.16W - 0.008W^2 - 0.71S + 0.02S^2 - 0.005SW$

(16) فرم نمایی یا متعالی: $Y = W^{0.6} S^{0.06} e^{(-0.01W - 0.2S)}$

این کمیت منفی باشد بدین معنی است که شبیه‌سازی مدل از میانگین مشاهدات ناکارآمدتر است.
* ضریب مقدار باقیمانده

(Coefficient of Residual Mass: CRM)

برای محاسبه این معیار رابطه مقابل به کار می‌رود:

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (20)$$

بیشترین مقدار CRM برابر یک بوده و مقادیر منفی این کمیت نشانگر آن است که مدل دارای بیش برآورد می‌باشد و برعکس.

* ضریب تعیین

(Coefficient of Determination: CD)

ضریب تعیین از رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (21)$$

این کمیت نشان‌دهنده پراکنش مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی حول میانگین مشاهدات است. عدد یک برای CD بیانگر این است که مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کاملاً برهم منطبق هستند. این پارامتر در محدوده صفر و مثبت بی‌نهایت تغییر می‌کند.

* نکویی برازش (R^2 : Goodness of Fit)

این پارامتر که در مقایسات آماری بسیار کاربرد دارد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad (22)$$

که در آن:

\bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد. این کمیت از صفر تا یک تغییر کرده و مقادیر نزدیکتر به یک نشان‌دهنده تطابق بهتر مدل و مشاهدات است.

برای سنجش اعتبار توابع به دست آمده، از شاخص‌های آماری متعددی می‌توان استفاده کرد که در این پژوهش از ضریب تعیین (CD)، نکویی برازش (R^2)، بازده مدل (EF)، ضریب مقدار باقیمانده (CRM)، خطای مطلق میانگین (MAE) و خطای نسبی جذر میانگین مربعات (RRMSE) استفاده شد. مقایسه این شاخص‌ها نشان داد که تابع تولید خطی ساده از تمام جهات تابع بهینه تولید است جدول (2).

* خطای مطلق میانگین

(Mean Absolute Error: MAE)

مقدار این معیار با استفاده از رابطه روبرو به دست می‌آید:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (17)$$

که در آن:

O_i مقدار مشاهداتی عملکرد و P_i مقدار شبیه‌سازی شده آن و n تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد. کمترین مقدار عددی MAE برابر صفر می‌باشد.

* خطای نسبی جذر میانگین مربعات

(Relative Root Mean Square Error: RRMSE)

برای محاسبه این شاخص آماری از رابطه مقابل استفاده می‌گردد:

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}}{\bar{O}} \quad (18)$$

که در آن:

RRMSE خطای نسبی جذر میانگین مربعات و \bar{O}

میانگین مشاهداتی پارامتر مورد نظر را نشان می‌دهد.

* بازده مدل (Model Efficiency: EF)

بازده یا راندمان مدل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (19)$$

مقدار EF از منفی بی‌نهایت تا یک تغییر می‌کند. هرچه مقدار آن بزرگتر باشد کارایی مدل بهتر است. اگر مقدار

جدول 2- شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت توابع تولید شوری - کم آبیاری

تابع برازش داده شده				
پارامتر آماری	خطی ساده	کاب داکلاس	درجه دوم	فرم نمایی
R ²	0/93	0/64	0/86	0/80
CD	1/07	1/77	1/23	0/86
CRM	0/00	-0/01	0/17	0/20
MAE	0/64	1/59	1/14	1/05
RRMSE	0/15	0/35	0/28	0/28
EF	0/93	0/64	0/77	0/78

گلدان و بسترکشت، هزینه‌های انرژی و کارگری، هزینه‌های بسته‌بندی و ارسال محصول به بازار، هزینه‌های جاری کود و سموم و ... بر اساس قیمت‌های سال 91 و تقسیم ارزش هر یک از این هزینه‌ها به عمر مفید مربوطه، عدد 210 میلیون ریال به عنوان هزینه ثابت یک هکتار گلخانه گوجه‌فرنگی هیدروپونیک در منطقه مورد مطالعه استخراج و وارد محاسبات شد.

اجاره یک مترمکعب آب کشاورزی در منطقه ساوه با شوری حدود 1/3 دسی‌زیمنس بر متر، 600 ریال می‌باشد. مضافاً همین مقدار پساب آب شیرین کن نیز جمع‌آوری نشده و هدر می‌رود. با در نظر گرفتن قیمت کودهای شیمیایی موجود در یک مترمکعب محلول غذایی هیدروپونیک گوجه‌فرنگی (آبکود) با قیمت‌های سال 91 برابر 70 هزار ریال، هزینه آبیاری به عمق یک سانتیمتر در هکتار برابر با هفت میلیون و 120 هزار ریال می‌باشد.

اجاره یک مترمکعب آب کشاورزی در منطقه ساوه با شوری حدود سه دسی‌زیمنس بر متر، 500 ریال، با شوری حدود پنج دسی‌زیمنس بر متر، 300 ریال، با شوری حدود هفت دسی‌زیمنس بر متر، 100 ریال و با شوری حدود نه دسی‌زیمنس بر متر، 50 ریال می‌باشد. با در نظر گرفتن قیمت کودهای شیمیایی موجود در یک مترمکعب محلول غذایی هیدروپونیک گوجه‌فرنگی (آبکود) با قیمت‌های سال 91 حدود 70 هزار ریال، تابع آب- هزینه در صورت استفاده از آب با شوری سه، پنج، هفت و نه دسی‌زیمنس بر متر به صورت جدول (5) به دست می‌آید.

جدول (3) تجزیه واریانس برخی از صفات کمی و کیفی عملکرد حاصل از این تحقیق را نشان می‌دهد. جدول (4) نتیجه مقایسه میانگین‌های عملکرد و برخی از اجزای عملکرد را با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) نشان می‌دهند. تیمارهای با حروف یکسان در سطح احتمال 0/01 تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بررسی اقتصادی کم‌آبیاری گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک

برای تیمارهای مختلف شوری، تابع تولید آب مصرفی - عملکرد به صورت منحنی درجه دو استخراج شد که در جدول (5) ارائه شده است. تابع هزینه به صورت خطی و برابر مجموع قیمت مستقیم آب، هزینه‌های جانبی تهیه محلول غذایی شامل کود و انرژی لازم برای پمپاژ آب آبیاری و هزینه‌های کارگری، هزینه ثابت احداث گلخانه و هزینه‌های سرشکن شده استهلاک سازه و تجهیزات گلخانه در طول عمر طرح محاسبه و استخراج شد. منظور از عمر طرح، عمر مفید سازه و هرکدام از تجهیزات و هزینه‌ها است که از یک سال برای بذر و کود و سموم تا بیست و پنج سال برای اسکلت سازه گلخانه متغیر می‌باشد و در محاسبات اقتصادی، ارزش هزینه‌ها به عمر تجهیزات مربوطه تقسیم و سرشکن شده است.

با در نظر گرفتن تمام هزینه‌های ثابت و جاری کشت گلخانه‌ای بدون خاک اعم از سازه و پوشش گلخانه، سیستم آبیاری، سیستم گرمایش و سرمایش،

جدول 3- تجزیه واریانس صفات عملکرد کل، وزن متوسط میوه، شاخص سطح برگ، ماده خشک بوته، EC عصاره میوه، ویتامین ث میوه، TSS میوه

میانگین مربعات								
TSS میوه	ویتامین ث میوه	EC میوه	ماده خشک بوته	شاخص سطح برگ	وزن متوسط میوه	عملکرد کل	درجه آزادی	منابع تغییرات
16/467 **	35/67 *	6/351 **	31786 **	0/191 **	10951/2 **	118/24 **	5	سطح شوری
0/561 ns	46/76 **	0/489 ns	831/5 *	0/0056 **	2374/5 **	13/13 **	3	سطح آبیاری
0/076 ns	0/17 ns	0/037 ns	68/57 ns	0/0013 **	95/03 ns	0/83 **	15	شوری*آبیاری
0/427	10/83	0/257	255/1	0/0005	77/51	0/32 **	48	خطا
10/3	9/97	9/99	10/11	11/4	10/24	11/25		ضریب تغییرات

ns، * و ** به ترتیب فاقد اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1%

جدول 4- مقایسه میانگین‌های عملکرد و برخی از اجزای کمی و کیفی عملکرد تحت تأثیر تیمار شوری با استفاده از روش (LSD)

TSS (% میوه)	VitC میوه (mg/100ml)	EC عصاره میوه (ds/m)	ماده خشک بوته (gr)	LAI (m ² /m ²)	وزن متوسط میوه (gr)	عملکرد کل بوته (kg)	متغیر تیمار
D 4/88	B 30/74	C 4/39	A 212/41	A 0/346	A 119/58	A 8/98	شوری S ₁
DC 5/38	AB 31/40	C 4/37	AB 199/91	B 0/279	A 115/75	B 7/26	شوری S ₂
C 5/90	AB 32/45	C 4/67	B 187/16	B 0/267	B 93/33	B 6/68	شوری S ₃
B 6/63	AB 33/74	B 5/29	C 152/16	C 0/138	B 84	C 4/51	شوری S ₄
AB 7/29	A 34/63	B 5/47	D 112	D 0/056	C 58/5	D 1/57	شوری S ₅
A 7/96	A 34/92	A 6/22	E 83/66	D 0/044	D 44/33	D 1/32	شوری S ₆
0/716	3/6	0/55	17/49	0/023	9/64	0/6245	LSD

جدول 5- رابطه خطی توابع آب- هزینه در سطوح مختلف شوری

تابع آب هزینه	سطح شوری
$C=7120000W+2100000000$	S_1
$C=7060000W+2100000000$	S_2
$C=7050000W+2100000000$	S_3
$C=7030000W+2100000000$	S_4
$C=7010000W+2100000000$	S_5
$C=7005000W+2100000000$	S_6

گل‌گاه در نظر گرفته و قیمت‌گذاری انجام شد. با در نظر گرفتن این تغییرات مقادیر ضرایب a_2 و p برآورد شده و در مدل انگلیش به کار گرفته شد. جدول (7) نتایج آنالیز اقتصادی کم آبیاری به روش انگلیش و همکاران (1990) را برای این تحقیق نشان می‌دهد.

مقدار عملکرد در هزینه بسته بندی و حمل و نقل دخالت داده شد. به عبارت دیگر با افزایش مقدار عملکرد در سطوح شوری پایین‌تر، هزینه‌های بسته‌بندی و حمل و نقل نیز افزایش یافت؛ همچنین کیفیت میوه در قیمت فروش تأثیرگذار می‌باشد. در این تحقیق کیفیت محصول در سایز میوه، استحکام دم‌برگ و پوسیدگی یا سلامت

جدول 6- توابع عملکرد به ازای آب مصرفی (سانتیمتر در هکتار در طول فصل زراعی) برای سطوح مختلف شوری محلول غذایی

تابع R^2	تابع آب-عملکرد	سطح شوری
$R^2=0.986$	$Y=-23.53w^2+4298.9w+5278.3$	S_1
$R^2=0.984$	$Y=-25.56w^2+4988.2w-50182$	S_2
$R^2=0.997$	$Y=-18.61w^2+3471.7w-9407$	S_3
$R^2=0.996$	$Y=-4.86w^2+965.9w+48708$	S_4
$R^2=0.956$	$Y=-6.91w^2+1200.2w-15260$	S_5
$R^2=0.968$	$Y=-10.27w^2+1736.5w-39696$	S_6

جدول 7- مقادیر پارامترهای حاصل از آنالیز اقتصادی کم آبیاری به روش انگلیش و همکاران (1990)

W_w	W_L	W_m	P	b_2	a_2	c_1	b_1	a_1	پارامتر
58/14	85/31	91/37	25000	7120000	2120000000	-23/52	4298	5278	شوری S_1
68/55	82/41	87/35	25000	7060000	2100000000	-28/55	4988	-50182	شوری S_2
70/41	85/72	93/31	25000	7050000	2070000000	-18/6	3471	-9407	شوری S_3
177/59	26/83	99/36	10000	7050000	2020000000	-4/86	965/8	48708	شوری S_4
242/13	-15/19	86/81	5000	7050000	1950000000	-6/912	1200	-15260	شوری S_5
202/25	15/88	84/61	5000	7050000	1900000000	-10/26	1736	-39696	شوری S_6

ادامه جدول (7)

کم آبیاری	W_k	Z_3	W_{ew}	Z_2	W_{el}	Z_1	پارامتر
0/363	22/88	73418086	37/01	75483462/5	79/26	7120000	شوری S_1
0/215	36/68	65283454	53/80	100751124	77/46	7060000	شوری S_2
0/245	36/82	45480217	53/13	68092919/2	78/14	7050000	شوری S_3
-0/787	*	*	99/36	20256606/5	-45/69	7050000	شوری S_4
-1/78	*	*	86/81	26342976	-117/18	7050000	شوری S_5
-1/39	*	*	84/61	29144613/8	-52/82	7050000	شوری S_6

عبارت دیگر در کشت گلخانه‌ای هیدروپونیک گوجه‌فرنگی با شرایط این تحقیق، با افزایش سطح شوری به پنج دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر، نه تنها نمی‌توان تیمار کم آبیاری اعمال نمود، بلکه اساساً تولید از حالت اقتصادی خارج می‌شود. مگر اینکه به فرض محال، آب و انرژی بطور نامحدود و رایگان در اختیار باشد تا با استفاده از

برای سطوح شوری چهار و پنج و شش مقدار کم آبیاری منفی به دست آمده است که کاملاً منطقی و عقلانی است. مقادیر منفی برای کم آبیاری به این معنی است که در این سطوح از شوری، عملکرد محصول به قدری کاهش می‌یابد که عملاً درآمد حاصل از تولید با آبیاری کامل هم هزینه‌های تولید را تأمین نمی‌کند. به

برمتر که جزو آب‌های خوب کشاورزی محسوب می‌شود، معنی دار نیست. لذا می‌توان با اطمینان از برگشت اقتصادی طرح، در مناطقی با آب لب‌شور اقدام به احداث گلخانه برای کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی نمود.

برای اولین بار مدل اقتصادی انگلیش و همکاران (1990) در مورد کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه تحت شرایط تنش شوری و کم‌آب‌آبی تهیه و استفاده شد. نتیجه حاصل از این مدل اقتصادی نشان داد که سود خالص حاصل از آبیاری کامل گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک با آب شیرین، شوری $1/3$ و شوری سه دسی‌زیمنس برمتر به ترتیب با سود خالص حاصل از کم‌آب‌آبی به مقادیر 36% ، 21% و 24% برابر است. لذا در گلخانه‌هایی که از نظر ساختار و اقلیم مشابه با طرح حاضر می‌باشند، می‌توان به طور میانگین 25% کم‌آب‌آبی را به عنوان نسخه بهینه اقتصادی در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی توصیه کرد. با عنایت به اینکه هرگونه صرفه‌جویی در آبیاری کشت هیدروپونیک در حقیقت صرفه‌جویی در میزان مصرف کودهای شیمیایی محلول غذایی است و با توجه به تعدد گلخانه‌های هیدروپونیک گوجه‌فرنگی و قیمت روزافزون کودهای شیمیایی و سایر هزینه‌های مرتبط با تغذیه و آبیاری، کاهش حدود یک‌چهارم از کل هزینه‌های تغذیه منجر به صرفه‌جویی بسیار چشمگیر در مخارج کشت خواهد شد.

آب‌شیرین‌کن، آب با این سطوح شوری را شیرین نموده و مورد استفاده قرار داد؛ که در شرایط نرمال هیچ‌گاه این اتفاق نخواهد افتاد.

اما طبق جدول (7)، در مورد سطوح شوری یک، دو و سه نتایج قابل‌توجهی حاصل شد، به این ترتیب که سود خالص حاصل از آبیاری کامل گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک با آب شیرین، شوری $1/3$ و شوری سه دسی‌زیمنس برمتر به ترتیب با سود خالص حاصل از کم‌آب‌آبی به مقادیر $0/36$ ، $0/21$ و $0/24$ برابر است. این یعنی به‌طور متوسط حدود 25% درصد می‌توان کم‌آب‌آبی اعمال کرد بدون اینکه سود خالص تولید تغییر کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به ارزش اقتصادی بسیار چشمگیر گوجه‌فرنگی در میان محصولات کشاورزی از یک سو، و مسائل مربوط به کمیت و کیفیت آب در کشور از سوی دیگر، در این تحقیق برای اولین بار اثر تنش‌های همزمان شوری و خشکی بر روی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت بدون خاک مطالعه شد. نتایج تولید برای کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی در گلخانه استخراج و ارائه شد. مشخص شد که تا شوری‌های حدود سه دسی‌زیمنس برمتر، عملکرد گوجه‌فرنگی در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی اقتصادی بوده و اختلاف آن با تیمار $1/3$ دسی‌زیمنس

فهرست منابع

- انصاری، ح. 1387. تعیین عمق شاخص و بهینه‌آب‌آبی در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 22، شماره 2، ص 107-116.
- ذوالفقاران، ا. و شهبازی ح. 1386. برآورد عملکرد چغندر قند در مقادیر متفاوت آب و شوری، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. ر. و موسوی، س. ف.؛ 1385. اصول و کاربرد کم‌آب‌آبی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، 288 صفحه.
- شهیدی، ع. 1387. اثر برهم‌کنش کم‌آب‌آبی و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب-شوری در منطقه بیرجند. پایان‌نامه دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، 365 ص.

5. شهیدی، ع.، نحوی نیا، م. ج.، پارسی نژاد، م. و لیاقت، ع. م. 1389. تعیین مدل بهینه جذب آب در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی توسط ارقام زراعی گندم (*Triticum aestivum*) در منطقه بیرجند، نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 3، ص 534-544.
6. عابدی کوپایی، ج.، اسلامیان، س. س. و زارعیان، م. ج. 1390. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل با استفاده از میکروولایسیمتر در گلخانه، علوم و فنون کشت گلخانه‌ای، سال دوم، شماره هفتم، پاییز 1390، ص 51-63.
7. لایق، م.، پیوست، غ. ع.، سمیع زاده، ح. ا.، خصوصی، م. 1388. تاثیر شوری محلول غذایی بر رشد، عملکرد و صفات کیفی گوجه‌فرنگی در سیستم کشت بدون خاک، مجله علوم باغبانی ایران، دوره 40، شماره 4، ص 11-21.
8. محمدی، م.، لیاقت، ع. م. و مولوی، ح. 1389. بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه‌فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج، نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 3، 1389، ص 583-592.
9. نورجو، ا.، زمردی، ش. و امامی، ع. 1380. بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری در زراعت گوجه‌فرنگی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم.
10. Bassil, E.S. & S.R. Kaffka. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soil and irrigation II. Crop response to salinity. *Agric. Water Manage.* 54, 81–92.
11. Benli, B. & S. Kodal. 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region, *Agricultural Water Management* 62, 187–203.
12. Cetin, O. & D. Uygan. 2008. The effects of drip Line spacing, irrigation regimes and planting geometries of tomato on yield, irrigation water use efficiency and return. *Agricultural Water Management*, vol. 95: 949- 958.
13. Datta, K.K., V.P. Sharma & D.P. Sharma. 1998. Estimation of production function for wheat under salin conditions, *Agricultural Water Management*, 36:85-94.
14. Domínguez, A., Tarjuelo, J.M., de Juana, J.A., López-Mataa, E., Breidyb, J. & F. Karamc. 2011. Deficit irrigation under water stress and salinity conditions: The MOPECO-Salt Model, *Agricultural water management* 98, 1451– 1461.
15. English, M., James, L. & C.F. Chen. 1990. Deficit Irrigation: II. Observation in Columbia Basin. *Irrigation and Drain J.*, 16:413-426.
16. English, M. & S.N. Raja. 1996. Perspective on deficit irrigation. *Agricultural water management.* 32: 1-14.
17. FAOSTAT. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
18. Geerts, S. & D. Raes. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas, *Agricultural Water Management* 96, 1275–1284.
19. Harmanto Salokhe, V. M., Babel, M.S. & H. J. Tantau. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment, *Agricultural Water Management* 71: 225–242.
20. Hassah, A. 2000. Hydroponics as an agriculture production system. Rirdic Publication. No. 141.
21. Hoagland, D. R., & D. I. Arnon. 1950. The water–culture method for growing plants without soil. College of Agriculture, Univ of Cal Berkeley, Cal. Circular 347.
22. Liu H. J. & Y. H. Kang. 2007. Sprinkler irrigation scheduling of winter wheat in the North China Plain using a 20 cm standard pan. *Irrigation Science*, 25, 149-159.

23. Maas, E. V., and S. R. Grattan. 1999. Crop yields as affected by salinity. In R. W. Skaggs and J. van Schilfgaarde, eds., *Agricultural Drainage*. Agron. Monograph 38. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
24. Malash, N., Ghaibeh, A., Yeo, A., Ragab, R. & J. Cuartero. 2002. Effect of irrigation water salinity on yield and fruit quality of tomato. *Acta Horticulturae*, 573, 415-423.
25. Meric M.K., Tuzel, I.H., Tuzel Y., G.B., Oztekin. 2011. Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato in soilless culture, *Agricultural Water Management* 99, 19– 25.
26. Mitchell, J. P., Shannan, C., Grattan, S. R. & D. M. May. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of American Horticultural Science*, 16, 215-221.
27. Patanèa C., Tringali S. & O. Sortinob. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions, *Scientia Horticulturae* 129, 590–596.
28. Ramezani, A., Tavallali, V. & F., Sadeghi Ghotbabadi. 2001, *Greenhouse - Scientific and practical methods of greenhouse construction and plant care*. Takhtejamshid publishing 120 p. (In Farsi).
29. Rubino P. & E. Tarantino. 1988. Influence of irrigation techniques on behaviour of some processing tomato cultivars. *Acta- Horticultras*. 228:109-118.
30. Willumsen, J., Petersen, K.K. & K. Kaack. 1996. Yield and blossom-end rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. *J. Hort. Sci.* 71 (1), 81-98.
31. Ya Ling Li, Cecilia Stanghellini & Hugo Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum L.*), *Scientia Horticulturae*, 88: 11-29
32. Zhang, Z. k., LIU, S. Q., LIU S. H. & H. Zhi-jun. 2010. Estimation of cucumber evapotranspiration in solar greenhouse in northeast China, *Agricultural Sciences in China*, 9(4): 512-518.