

اثر تنش های همزمان شوری و خشکی بر عملکرد گوجه فرنگی در کشت بدون خاک

احد فعالیان، حسین انصاری^{۱*}، 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

بیشتر مناطق کشور با افت کمی و کیفی منابع آب کشاورزی روبرو هستند. به دلیل گسترش روزافزون کشتهای گلخانه‌ای و اهمیت محصول گوجه فرنگی، برای ارزیابی اثر همزمان تنش های شوری و خشکی بر رشد و عملکرد گیاه گوجه فرنگی رقم اورینت (*Lycopersicon esculentum Mill. Cv. Oriental*) آزمایشی با چهار سطح آبیاری (آبیاری به میزان ۱۲۵٪، ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی) و شش سطح شوری (۱/۰، ۱/۳، ۳/۵، ۷/۹ دسی زیمنس بر متر) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار در کشت بدون خاک گلخانه ای انجام شد. عملکرد و شاخص های کمی و کیفی عملکرد در طول آزمایش اندازه گیری شدند. مطابق انتظار مشاهده شد که شوری محلول غذایی و تنش خشکی اثر کاهشی معنی دار بر عملکرد و شاخص های رشدی گیاه دارند. توابع مختلف تولید (خطی ساده، نمایی، کاپ داگلاس، درجه دوم) بر روی داده های عملکرد برآزش داده شد، مشخص شد که تابع تولید خطی ساده تابع تولید بهینه می باشد. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب مربوط به تیمار *SIW4* با حدود ۳۴/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار *SIW1* با حدود ۶/۴ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد. منحنی های هم محصول نشان میدهند که با افزایش مقدار آبیاری، می توان از آب های با سطح شوری بالاتر بدون تغییر در عملکرد گوجه فرنگی گلخانه ای استفاده نمود.

واژه های کلیدی: آبیاری، کم آبیاری، محلول غذایی.

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

*- دریافت: اسفند ۱۳۹۳ و پذیرش: آذر ۱۳۹۴

مقدمه

در سال ۲۰۱۱ به ۲/۵ میلیارد دلار بالغ شده و محصول گوجه فرنگی را به صدر تولیدات کشاورزی و دامی کشور ارتقا داده است (سالنامه آماری فائو، سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱).

لایق و همکاران (۱۳۸۸) تاثیر شوری محلول غذایی بر رشد، عملکرد و صفات کیفی گوجه فرنگی در کشت بدون خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، عملکرد کل، میانگین وزن میوه و شاخص سطح برگ (*Leaf Area Index-LAI*) به طور معنی داری کاهش یافت، در حالی که درصد ماده خشک میوه روند افزایشی داشت.

روبینو و تارانینو (۱۹۸۸) نشان دادند که ماده خشک گوجه فرنگی با افزایش مقدار آب آبیاری کاهش می یابد. همچنین مجموع مواد جامد محلول میوه (*TSS*) بطور متوسط در تیمارهای کم آبیاری بیشتر بوده ولی اسیدیته نسبت به آبیاری تغییری نداشته است.

میتشل و همکاران (۱۹۹۱) در محصول گوجه فرنگی نشان دادند که کم آبیاری عملکرد و آب ذخیره شده در گوجه فرنگی را کاهش می دهد اما میزان مواد جامد محلول، درصد قند، میزان اسید سیتریک و پتاسیم را افزایش می دهد.

گیرتس و رائس (۲۰۰۹) با مروری بر تحقیقات گذشته گزارش کردند که کم آبیاری برای اکثر محصولات زراعی بدون ایجاد کاهش جدی در مقدار محصول، باعث افزایش کارایی مصرف آب می گردد. هرچند بایستی یک حداقلی از رطوبت در طول فصل برای گیاه فراهم باشد. پاتانه و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تأثیر کم آبیاری بر شاخص های کمی و کیفی محصول گوجه فرنگی کاملاً برعکس هم است. یعنی با اعمال کم آبیاری از کمیت میوه کاسته شده و بر کیفیت آن افزوده می شود.

مریک و همکاران (۲۰۱۱) اثر انواع رژیم های آبیاری و سیستم های تغذیه ای را بر روی گوجه فرنگی

افزایش جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی و غذای بیشتر و محدودیت منابع آب، بشر را به سمت استفاده از آب های با کیفیت کم (آب های نامتعارف) و همچنین اعمال مدیریت کم آبیاری 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 زیر کشت وجود نداشته باشد. اما شرایط اقلیمی و اراضی کشاورزی در بیشتر مناطق کشورمان به گونه ای 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، ۱۳۸۵).

گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) یکی از منابع سرشار از مواد معدنی، ویتامینها و ترکیبات آنتی اکسیدانی بوده و از مهمترین محصولات زراعی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می آید. در حال حاضر این سبزی ۲۵ درصد از کل تولیدات سبزی جهان را به خود اختصاص می دهد (چتین و اویگان، ۲۰۰۸). همچنین به دلیل کمبود منابع آبی و یا وجود منابع آب با کیفیت پایین (آب های شور و لب شور)، در تمام دنیا مدیریت تولید سبزی ها تحت شرایط شوری بسیار مورد توجه قرار گرفته است (مالاش و همکاران، ۲۰۰۲).

طبق آمار منتشره از سوی فائو، کشور ایران در سال ۲۰۱۰ با تولید حدود ۵/۲ میلیون تن گوجه فرنگی، رتبه هفتم جهان را داشته و در سال ۲۰۱۱ با تولید حدود ۶/۸ میلیون تن به اندازه یک رتبه صعود داشته و حائز رتبه ششم در بین کشورهای تولید کننده گوجه فرنگی بوده است. همچنین محصول گوجه فرنگی در سال ۲۰۱۰ با ارزش حدود ۱/۹ میلیارد دلار در رتبه سوم تولیدات کشاورزی و دامی ایران بوده است. در حالی که این رقم

تحقیقات زیادی در مورد موضوع اثر شوری و کم آبیاری و نیز برهم گنش این دو تنش همزمان روی محصولات زراعی و باغی در داخل و خارج کشور به روش‌های مختلف و روی محصولات متنوع انجام شده است. از جمله می‌توان به ویلامسن و همکاران (۱۹۹۶)، ماس و گراتان (۱۹۹۹)، یا لینگ لی و همکاران (۲۰۰۱)، باسیل و کافکا (۲۰۰۲)، هارماتو و همکاران (۲۰۰۵)، و... اشاره نمود؛ همچنین شهیدی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که اثر تنش همزمان شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات آنهاست و نیز سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر بود.

در بسیاری از موارد در ایران به دلیل شوری بالای آب و هزینه‌های زیاد اولیه برای کاهش سطح شوری، اکثر کشاورزان تمایلی به کشت‌های گلخانه‌ای نداشته و تولید را بسیار کم سود ارزیابی می‌کنند و لذا اساساً طرح احداث گلخانه در این موارد زیر سؤال جدی قرار می‌گیرد. این در حالی است که با داشتن اطلاعات قابل اعتماد می‌توان توجیه اقتصادی کشت گلخانه‌ای با آب شور را ارزیابی نموده و توصیه‌های دقیق‌تری در این خصوص ارائه داد. با در نظر گرفتن این دلایل، بررسی اثر همزمان تنش‌های شوری و کم آبیاری در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، به عنوان موضوع این پژوهش انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در بخشی از یک گلخانه دارای سامانه گرمایشی (*Heated Greenhouse*) طرح کره‌ای با پوشش پلی اتیلن شفاف در شهرک گلخانه‌ای آوه واقع در ۲۵ کیلومتری اتوبان ساوه-سلفچگان انجام شد. بذور گوجه‌فرنگی هیبرید اورینت (*Lycopersicon esculentum Mill. Cv. Oriental*) از محصولات کمپانی نانهمز هلند (*Nunhemz Netherlands*) در تاریخ سوم اسفند ۱۳۹۰ در سینی نشاء با بستر پیت ماس (*Peat mass*) کاشته شد. نشاءها به مدت ۴۰ روز در

گلخانه‌ای در کشت بدون خاک بررسی کردند. کارآیی مصرف آب حدود ۵۵-۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب در فصل پاییز و حدود ۳۵-۲۶ کیلوگرم بر هکتار در فصل بهار محاسبه شد. نتایج همچنین نشان داد سیستم بسته و رژیم با دور آبیاری زیاد کارآیی مصرف آب را افزایش، ولی محصول و مقدار محلول غذایی مصرف شده را کاهش می‌دهد.

دومینگوئز و همکاران (۲۰۱۱) مدلی تحت عنوان *MOPECO-Salt* را جهت شبیه سازی اثر همزمان شوری و کم آبیاری توسعه داده و با مقادیر متناظر حاصل از *AquaCrop* مقایسه نمودند. مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده عملکرد توسط مدل *MOPECO-Salt* حدود ۳٪ و مدل *AquaCrop* حدود ۱۲٪ اختلاف نشان داد. همچنین مدل نشان داد که در نظر نگرفتن نیاز آبتوی در هر دو منطقه (اسپانیا و لبنان) مشکلی را از نظر شوری خاک ایجاد نمی‌کند، زیرا باران‌های خارج فصل کشت برای شستشوی املاح از پروفیل خاک منطقه ریشه کافی است.

نورجو و همکاران (۱۳۸۰)، گزارش نمودند که میزان آب آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار مواد جامد محلول گوجه‌فرنگی مؤثر بوده و با افزایش میزان آب آبیاری، از درصد مواد جامد محلول کاسته شده است. ولی تأثیر آن بر مقدار اسیدیته و *PH* محصول معنی‌دار نبوده است.

داتا و همکاران (۱۹۹۸) برای گندم تابع درجه دوم، روسو و باکر (۱۹۸۶) برای ذرت و پنبه رابطه غیرخطی درجه دوم، ذوالفقاران و شهبازی (۱۳۸۶) برای چغندر قند تابع کاب داگلاس، محمدی و همکاران (۱۳۸۹) برای گوجه‌فرنگی کشت شده در فضای باز (منطقه کرج) تابع تولید درجه دوم و شهیدی (۱۳۸۷) برای دو رقم گندم قدس و روشن در منطقه بیرجند توابع تولید درجه دوم را به عنوان توابع بهینه تولید بر اساس میزان آب مصرفی معرفی کردند.

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 ۰/۷۱ می باشد. برای تعیین ضریب گیاهی گوجه فرنگی گلخانه‌ای از نتایج تحقیق عابدی کویایی و همکاران (۱۳۹۰) استفاده شد. آنها برای ۲۵ روز اول مقدار ضریب گیاهی (*Kc*) را برابر ۰/۴۴، برای ۳۵ روز بعدی مقدار ۰/۶۸، برای ۹۰ روز بعدی مقدار ۱/۱۵ و نهایتاً برای ۳۰ روز آخر مقدار ۰/۶۸ را برای این ضریب محاسبه و ارائه کردند.

با احتساب شش سطح شوری به عنوان تیمار اصلی و چهار سطح کم آبیاری به عنوان تیمار فرعی مجموعاً ۲۴ تیمار (۶×۴) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هر بوته در یک گلدان و تعداد پنج بوته برای هر تیمار اختصاص یافته و در مجموع با (۳۶۰) بوته طرح آزمایشی تیمار بندی شد. گلدان‌ها به فاصله ۵۰ سانتیمتر از هم روی ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۱۰۰ سانتی‌متر آرایش یافتند. آبیاری تیمارها با محلول غذایی هوگلند اصلاح شده طی دو نوبت در روز انجام شد و یک روز در هفته نیز آبخوئی کامل بستر کشت صورت پذیرفت. فرمول غذایی هوگلند اصلاح شده که توسط هوگلند و آرنون (۱۹۵۰) در بروشور شماره ۳۴۷ دانشگاه کالیفرنیا ارائه شده است، به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد نیتروژن و پتاسیم، برای پرورش گیاهان بزرگ مانند گوجه فرنگی و فلفل دلمه بسیار مناسب است.

اندازه گیری صفات کمی و کیفی

عملیات برداشت میوه ۴-۳ بار در هفته انجام شد. داده های مربوط به عملکرد کل، تعداد میوه در هر بوته، میانگین قطر میوه و متوسط وزن میوه، در هر نوبت برداشت ثبت گردید. ارتفاع بوته‌ها به طور مرتب اندازه گیری و ثبت گردید. در کل دوره آزمایش چهار بار عمل پایین‌کشی بوته‌ها انجام و در آخر، قد نهایی بوته‌ها ثبت

سالن نشاء نگهداری و سپس به گلدان‌های اصلی نگهدارنده با حجم ۱۰ لیتر و حاوی بستر کوکوپیت (*Coco peat*) و پرلایت (*Perlite*) (با نسبت حجمی یک به یک) منتقل گردیدند. از روز اول کاشت بذر تا یک ماه پس از انتقال نشاءها عملیات آبیاری با آب غیر شور شهرک گلخانه‌ای با هدایت الکتریکی ۱/۳ دسی زیمنس بر متر انجام شده، سپس سیزدهم اردیبهشت ۱۳۹۱ تیمارهای شوری (*Salinity*) و کم‌آبیاری (*Deficit Irrigation*) روی بوته‌ها اعمال شدند.

تیمارهای شوری شامل شش سطح هدایت الکتریکی ($S1=0/1$)، ($S2=1/3$)، ($S3=3$)، ($S4=5$)، ($S5=7$) و ($S6=9$) دسی زیمنس بر متر و تیمارهای کم‌آبیاری شامل چهار سطح آبیاری ($W1=125\%$ ، $W2=100\%$ ، $W3=75\%$ و $W4=50\%$ *ETc*) روی بوته‌ها اعمال شدند. *ETc* نیاز کامل آبیاری بوته گوجه فرنگی در هر مرحله از رشد است. منابع آب آبیاری شامل آب شیرین با $EC=0/1$ دسی زیمنس بر متر با استفاده از یک دستگاه آب شیرین‌کن از نوع *General Water*، آب لوله‌کشی شده شهرک گلخانه‌ای با $EC=1/3$ دسی زیمنس بر متر، آب شور با $EC=9$ دسی زیمنس بر متر از یک چاه آب در نزدیکی روستای صالح-آباد از توابع شهرستان ساوه، و بقیه تیمارهای شوری آب از ترکیب آب شیرین با آب شور تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

تیمارهای کم‌آبیاری بر اساس تبخیر از تشت تبخیر استاندارد ۲۰ سانتی‌متری و با اعمال ضریب تشت (*Kpan*) و ضریب گیاهی (*Kc*) محاسبه شده و بر روی تیمارهای اعمال شد. این نوع تشت تبخیر توسط لیو و کانگ (۲۰۰۷) معرفی شده و کاربرد موفقیت‌آمیز آن در گلخانه توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) اثبات شده است. تشت تبخیر مزبور ظرفی استوانه‌ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۱ سانتیمتر می‌باشد. در این تحقیق از سه عدد تشت تبخیر استاندارد ۲۰ سانتی‌متری مستقر بر روی سکوی چوبی در ارتفاعی بالاتر از آسمانه

کمپلکسومتری (*Complexometer*)، کلر با آزمون کلریمتری (*Colorimetric*) و غلظت سدیم و پتاسیم برگ و میوه (مول در کیلوگرم وزن خشک) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر ثبت گردیدند.

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار *SAS 9.1* و مقایسه میانگین‌ها با بکارگیری روش حداقل تفاوت معنی دار (*Least Significant Difference-L.S.D*) که به نام روش فیشر (*Fisher*) معروف است، انجام شدند. همچنین در این تحقیق چهار تیپ متداول از توابع تولید مورد استفاده و مقایسه قرار گرفتند و مشخص شد که تابع خطی ساده برای کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای تابع تولید بهینه است. به این ترتیب که ابتدا داده‌های آماری عملکرد حاصل از اجرای طرح توسط نرم افزار *Minitab 16* برآزش داده شده و فرم‌های مختلف توابع تولید تعیین گردیدند.

نتایج

کارایی مصرف آب

جدول (۱) مقادیر عملکرد تیمارهای مختلف تحت تأثیر شوری و کم آبیاری را نشان می‌دهد، این جدول نشان می‌دهد که طبق انتظار با افزایش شوری عملکرد کاهش می‌یابد، همچنین کاهش سطح آبیاری باعث کاهش عملکرد و شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد می‌گردد.

شکل (۱) مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف شوری و کم آبیاری را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این پارامتر مربوط به تیمار S_1W_4 (شوری ۰/۱ دسی زیمنس بر متر و مقدار آب مصرفی *ETc* ۵۰٪) با حدود ۳۴/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار S_5W_1 (شوری هفت دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آب مصرفی *ETc* ۱۲۵٪) با حدود ۶/۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

طبق انتظار بایستی کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار S_6W_1 باشد، اما اینگونه نیست، و کمترین

گردید. برای تعیین درصد ماده خشک میوه، دو ماه پس از شروع اعمال تیمارهای شوری و کم آبیاری، از هر تیمار تعداد پنج میوه بطور تصادفی انتخاب گردیده و از آنها سه نمونه ۲۰۰ گرمی تهیه شده و درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و با محاسبه اختلاف وزن تر و خشک، وزن خشک میوه بر حسب درصد محاسبه گردید.

در مورد درصد وزن خشک برگ نیز به همین ترتیب، از هر تیمار دو بوته بطور تصادفی انتخاب گردیده و برگ آنها به قطعات کوچک خرد شده و از هر کدام یک نمونه ۲۰۰ گرمی تهیه و طبق روش قبل در آون خشک گردیده و درصد وزن خشک آن محاسبه شد (یولدش و همکاران، ۲۰۰۸؛ فرزانه و همکاران، ۱۳۸۹).

طبیعی است که برخی از بوته‌های تحت تنش-های شدید شوری و کم آبیاری زودتر از بقیه تیمارها پیر شده و گاهی حتی خشک شده و از بین می‌روند. لذا عمر نهایی این بوته‌ها به طور جداگانه ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شاخص سطح برگ (متر مربع بر مترمربع) و وزن خشک بوته (گرم) هر کدام در مورد دو بوته تصادفی از هر تیمار به روش پردازش تصویر (*ImageProcessing*) در محیط نرم‌افزار (*Mathlab*) اندازه گیری گردید.

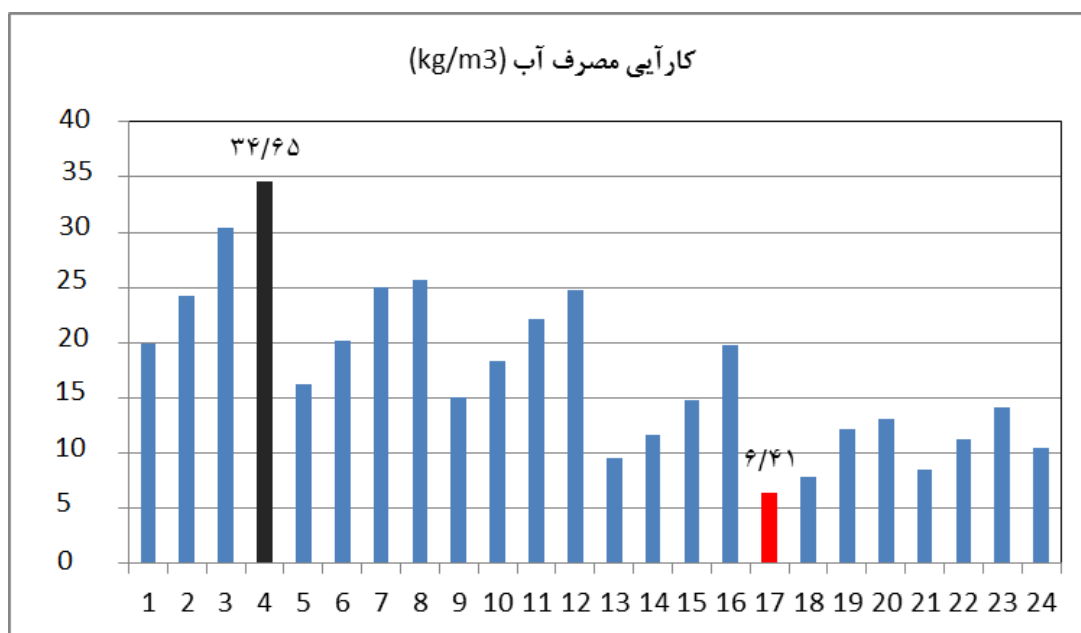
برای اندازه گیری ویتامین ث از هر تیمار به تعداد پنج میوه رسیده بطور تصادفی انتخاب گردیده و پس از شستشو و بریدن، توسط دستگاه مخلوط کن بصورت نمونه یکنواخت در آمد. از این مخلوط دو نمونه ۳۰ گرمی انتخاب شده و مراحل اندازه گیری، با استفاده از روش استاندارد معرف ایندیفنل انجام شد. *EC* (دسی زیمنس بر متر) و *pH* عصاره میوه به ترتیب توسط *EC* متر و *pH* متر، و نیز کل مواد جامد محلول (*TSS*) میوه‌ها توسط رفراکتومتر - شکست‌سنج دیجیتال (*Refractometer*)، اندازه گیری شد. اسید قابل تیتر میوه با تیتراسیون به کمک سود ۰/۱ نرمال، کلسیم میوه با روش

کارایی مصرف آب مربوط به تیمار S_5W_1 می باشد. دلیل آن طبق جدول (۱) مشخص است و آن عبارت از اختلاف طول عمر بوته های تیمارهای S_6 و S_5 می باشد. 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 پایین تر، چون عمر کوتاهتری داشته، به تبع آن مصرف آب کمتری نیز داشته است. بنابراین کارایی مصرف آب آن بیشتر از تیمار S_5W_1 می باشد.

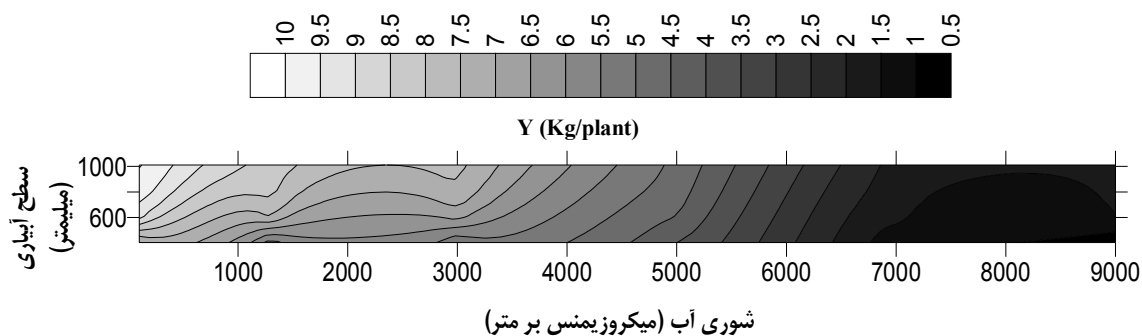
منحنی های هم محصول یکی دیگر از کاربردهای مطالعات توأمان شوری و خشکی در راستای بهینه سازی مصرف آب جهت سازگاری با کم آبی، تهیه منحنی های هم محصول است. این منحنی ها نشان دهنده مکان هندسی ترکیبات مختلف عمق و شوری آب آبیاری است که عملکرد یکسانی را در فرآیند تولید گوجه فرنگی ایجاد می کنند. شکل (۲) منحنی های هم محصول گوجه فرنگی تحت شرایط اعمال همزمان تنش های شوری و کم آبیاری را نشان میدهد.

جدول ۱- عملکرد و برخی شاخص های کمی و کیفی عملکرد به ازای تیمارهای مختلف شوری و کم آبیاری

تیمار	عملکرد (kg/plant)	قد بوته (سانتیمتر)	عمر بوته (روز)	آب مصرفی بوته (m^3)
$S1W1$	۱۰/۰۶	۵۶۸	۱۸۰	۰/۵۱
$S1W2$	۹/۸	۵۶۸	۱۸۰	۰/۴۱
$S1W3$	۹/۲	۵۵۰	۱۸۰	۰/۳
$S1W4$	۷	۵۲۳	۱۸۰	۰/۲
$S2W1$	۸/۲	۵۵۲	۱۸۰	۰/۵۱
$S2W2$	۸/۱۵	۵۲۴	۱۸۰	۰/۴۱
$S2W3$	۷/۶	۵۲۴	۱۸۰	۰/۳
$S2W4$	۵/۲	۴۸۳	۱۸۰	۰/۲
$S3W1$	۷/۶	۵۲۱	۱۸۰	۰/۵۱
$S3W2$	۷/۴	۴۹۲	۱۸۰	۰/۴۱
$S3W3$	۶/۷	۴۸۵	۱۸۰	۰/۳
$S3W4$	۵	۴۰۹	۱۸۰	۰/۲
$S4W1$	۴/۸۲	۳۹۵	۱۸۰	۰/۵۱
$S4W2$	۴/۷	۳۸۴	۱۸۰	۰/۴۱
$S4W3$	۴/۵	۳۶۵	۱۸۰	۰/۳
$S4W4$	۳/۹۸	۳۵۶	۱۸۰	۰/۲
$S5W1$	۱/۸	۱۸۷	۱۰۰	۰/۲۸
$S5W2$	۱/۷۵	۱۹۳	۱۰۰	۰/۲۲
$S5W3$	۱/۷	۱۸۷	۸۳	۰/۱۴
$S5W4$	۱/۰۸	۱۶۹	۷۳	۰/۰۸
$S6W1$	۱/۵۸	۱۶۵	۶۷	۰/۱۹
$S6W2$	۱/۶	۱۶۲	۶۳	۰/۱۴
$S6W3$	۱/۵	۱۵۵	۶۳	۰/۱۱
$S6W4$	۰/۶۶	۱۳۸	۵۷	۰/۰۶



شکل ۱- کارایی مصرف آب در تیمارهای شوری و کم آبیاری



شکل ۲- منحنی های هم محصول در شرایط تنش همزمان شوری و کم آبیاری

حالی که برای حصول این عملکرد در آبیاری با آبی با سطح شوری سه دسی‌زیمنس بر متر بایستی سالانه حدود ۳۰۰ لیتر به هر بوته آب اختصاص داد. بنابراین مقدار نهایی عملکرد تابعی از اثر همزمان تنش‌های شوری و خشکی است و نگاه تک بعدی به اثر هر یک از تنش‌ها بر عملکرد با واقعیت سازگار نیست. همچنان‌که محمدی و همکاران (۱۳۸۹) و نیز داتا و همکاران (۱۹۹۸) هم بر این موضوع تأکید داشته‌اند.

توابع تولید

تابع تولید آب-شوری-عملکرد محصول تحت تأثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری را

ملاحظه می‌شود که در یک عمق مشخص آبیاری (I)، هرچه شوری افزایش یابد عملکرد (Y) کاهش و به همین ترتیب به ازای یک سطح شوری معین، هرچه مقدار آبیاری بیشتر شود، مقدار عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق سپاسخواه و همکاران (۲۰۰۶) نیز مؤید همین مطلب است. اما هرگاه دو عامل شوری و کم‌آبیاری هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرند ملاحظه می‌شود که برای دستیابی به عملکرد مشخص، مقادیر متفاوتی از شوری و کم‌آبیاری را می‌توان جایگزین نمود. به عنوان مثال به ازای مقدار آبیاری سالانه ۲۰۰ لیتر به ازای هر بوته با شوری ۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر می‌توان عملکردی برابر هفت کیلوگرم بر بوته برداشت نمود. در

مقدار این معیار با استفاده از رابطه روبرو به دست می آید:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (5)$$

که در آن:

O_i : مقدار مشاهداتی عملکرد و P_i : مقدار شبیه سازی شده آن و n : تعداد نمونه های بکار رفته می باشد. کمترین مقدار عددی MAE برابر صفر می باشد.

خطای نسبی جذر میانگین مربعات

(Relative Root Mean Square Error: RRMSE)

برای محاسبه این پارامتر آماری از رابطه مقابل استفاده می گردد:

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}}{\bar{O}} \quad (6)$$

که در این رابطه $RRMSE$ خطای نسبی جذر میانگین مربعات و \bar{O} میانگین مشاهداتی پارامتر مورد نظر را نشان می دهد.

بازده مدل (Model Efficiency: EF)

بازده یا راندمان مدل از رابطه زیر به دست می آید:

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

مقدار EF از منفی بی نهایت تا یک تغییر می کند. هرچه مقدار آن بزرگتر باشد کارایی مدل بهتر است. اگر مقدار این کمیت منفی باشد بدین معنی است که شبیه سازی مدل از میانگین مشاهدات ناکارآمدتر است.

ضریب مقدار باقیمانده

(Coefficient of Residual Mass: CRM)

به طوری که سایر عوامل تولید ثابت نگه داشته شوند، می توان به صورت معادله $Y=f(I, ECW, X)$ نشان داد که در آن:

Y مقدار عملکرد محصول (kg/ha)، I مقدار آب آبیاری (cm) و ECw هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m) و X بردار ثابت سایر عوامل تأثیرگذار در تولید است.

برای این کار ابتدا داده های آماری عملکرد حاصل از اجرای طرح توسط نرم افزار *Minitab 16* برازش داده شده و انواع مختلف توابع تولید با فرمهای مختلف: خطی ساده (*Linear*)، خطی لگاریتمی (کاب داگلاس - *Cobb Douglas*)، درجه دوم (*Quadratic*) و فرم متعالی یا نمایی (*Transcendental*) به صورت زیر برآورد شدند.

$$Y = 6.8 + 0.03W - 0.9S \quad (1)$$

فرم خطی لگاریتمی (کاب داگلاس):

$$Y = 1.1W^{0.4}S^{-0.23} \quad (2)$$

فرم درجه دوم:

$$Y = 2.02 + 0.16W - 0.008W^2 - 0.71S + 0.02S^2 - 0.005SW \quad (3)$$

فرم نمایی:

$$Y = W^{0.6} S^{0.06} e^{(-0.01W - 0.2S)} \quad (4)$$

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

خطای مطلق میانگین

(Mean Absolute Error: MAE)

نکوبی برازش (R^2) (Goodness of Fit)

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

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \quad (10)$$

که در آن:

\bar{P} : میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد. این کمیت از صفر تا یک تغییر کرده و مقادیر نزدیکتر به یک نشان دهنده تطابق بهتر مدل و مشاهدات است. جدول (۳) درجه آزادی منابع مختلف تغییرات نتایج این تحقیق را نشان می‌دهد. جداول (۴) و (۵) نتیجه مقایسه میانگین های عملکرد و برخی از اجزای عملکرد را با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی دار (LSD) نشان می‌دهند. تیمارهای با حروف یکسان در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

برای محاسبه این معیار رابطه مقابل بکار می‌رود:

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (8)$$

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 می آید:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

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 بر هم منطبق هستند. این پارامتر در محدوده صفر و مثبت بی نهایت تغییر می‌کند.

جدول ۲- پارامترهای آماری مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت توابع تولید شموری - کم آبیاری

تابع برازش داده شده				
پارامتر آماری	خطی ساده	کاپ داگلاس	درجه دوم	فرم نمایی
R^2	۰/۹۳	۰/۶۴	۰/۸۶	۰/۸۰
CD	۱/۰۷	۱/۷۷	۱/۲۳	۰/۸۶
CRM	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۲۰
MAE	۰/۶۴	۱/۵۹	۱/۱۴	۱/۰۵
RRMSE	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۸
EF	۰/۹۳	۰/۶۴	۰/۷۷	۰/۷۸

جدول ۳- درجه آزادی منابع مختلف تغییرات

منابع تغییرات	شموری S	کم آبیاری W	S*W	مدل	مجموع	خطا
درجه آزادی	۵	۳	۱۵	۲۳	۷۱	۴۸

جدول ۴- مقایسه میانگین های عملکرد و برخی از اجزای کمی و کیفی عملکرد تحت تأثیر تیمار شوری با استفاده از روش (LSD)

متغیر تیمار	عملکرد کل بوته (kg)	وزن متوسط میوه (gr)	LAI (m ² /m ²)	ماده خشک بوته (gr)	EC عصاره میوه (ds/m)	ویتامین C میوه (mg/100ml)	TSS میوه (%)
شوری S ₁	۸/۹۸ ^A	۱۱۹/۵۸ ^A	۰/۳۴۶ ^A	۲۱۲/۴۱ ^A	۴/۳۹ ^C	۳۰/۷۳ ^B	۴/۸۸ ^D
شوری S ₂	۷/۲۶ ^B	۱۱۵/۷۵ ^A	۰/۳۷۹ ^B	۱۹۹/۹۱ ^{AB}	۴/۳۷ ^C	۳۱/۴۰ ^{AB}	۵/۳۸ ^{DC}
شوری S ₃	۶/۶۸ ^B	۹۳/۳۳ ^B	۰/۳۶۷ ^B	۱۸۷/۱۶ ^B	۴/۶۷ ^C	۳۲/۴۵ ^{AB}	۵/۹۰ ^C
شوری S ₄	۴/۵۱ ^C	۸۴ ^B	۰/۱۳۸ ^C	۱۵۲/۱۶ ^C	۵/۲۹ ^B	۳۳/۷۴ ^{AB}	۶/۶۳ ^B
شوری S ₅	۱/۵۷ ^D	۵۸/۵ ^C	۰/۰۵۶ ^D	۱۱۲ ^D	۵/۴۷ ^B	۳۴/۶۳ ^A	۷/۲۹ ^{AB}
شوری S ₆	۱/۳۲ ^D	۴۴/۳۳ ^D	۰/۰۴۴ ^D	۸۳/۶۶ ^E	۶/۲۲ ^A	۳۴/۹۳ ^A	۷/۹۶ ^A
LSD	۰/۶۲۴۵	۹/۶۴	۰/۰۲۳	۱۷/۴۹	۰/۵۵	۳/۶	۰/۷۱۶

جدول ۵- مقایسه میانگین های اجزای کمی و کیفی عملکرد تحت تأثیر تیمار کم آبیاری با استفاده از روش (LSD)

متغیر تیمار	عملکرد کل بوته (kg)	وزن متوسط میوه (gr)	LAI (m ² /m ²)	ماده خشک بوته (gr)	ویتامین C میوه (mg/100ml)	TA میوه (cc)
کم آبیاری W ₁	۵/۶۶ ^A	۹۹/۰۵ ^A	۰/۱۹۰ ^A	۱۶۴/۳۳ ^A	۳۱/۰۶ ^B	۸/۹۱ ^B
کم آبیاری W ₂	۵/۵۶ ^A	۹۱/۴۴ ^A	۰/۲۰۱ ^A	۱۶۱/۷۷ ^{AB}	۳۲/۳۷ ^{AB}	۹/۱۵ ^B
کم آبیاری W ₃	۵/۱۸ ^A	۷۹/۶۱ ^B	۰/۱۹۹ ^A	۱۵۶/۵۰ ^{AB}	۳۳/۷۳ ^{AB}	۹/۷۶ ^{AB}
کم آبیاری W ₄	۳/۸۱ ^B	۷۳/۵۵ ^B	۰/۱۶۳ ^B	۱۴۸/۹۴ ^B	۳۴/۷۷ ^A	۱۰/۲۶ ^A
LSD	۰/۵۱	۷/۸۷	۰/۰۱۹	۱۴/۲۸	۲/۹۴	۰/۸۸

بحث

مقایسه عملکرد و اجزای کمی عملکرد تحت تاثیر شوری عملکرد کل (kg)

مطابق جدول (۴)، با افزایش سطح شوری، عملکرد کل و ارتفاع نهایی بوته‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. تیمار شوری بر وزن متوسط میوه‌ها نیز تاثیر معنی‌دار نشان داد. با افزایش سطح شوری محلول غذایی، وزن و قطر متوسط میوه‌ها کاهش یافت. تاثیر تنش شوری بر عمر نهایی بوته‌های تیمارهای S₁ تا S₄ معنی‌دار نبود اما این چهار تیمار با تیمارهای S₅ و S₆ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. به عبارتی بعد از تیمار شوری S₄، عمر نهایی بوته‌ها به شدت کاهش پیدا کرد به طوری که تیمار S₅ با ۰/۵ و تیمار S₆ با حدود ۰/۳ عمر متوسط بقیه تیمارها، عملاً دوره رشد را به انتها نرساندند. همچنین با افزایش سطح شوری محلول غذایی، شاخص سطح برگ به طور معنی‌دار کاهش یافت. با افزایش سطح شوری درصد ماده خشک میوه افزایش، اما درصد ماده خشک برگ و ماده خشک بوته‌ها به طور معنی‌دار کاهش یافت. تنش شوری روی تعداد گل در خوشه، تعداد خوشه در بوته و تعداد میوه در بوته تاثیر معنی‌دار گذاشت. به طوری که با

افزایش سطح شوری، مقادیر هر سه این پارامترها کاهش یافتند. EC عصاره میوه در سطوح شوری S₁، S₂ و S₃ با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشته ولی با سطح شوری بعدی دارای تفاوت معنی‌دار شدند. تنش شوری تاثیر معنی‌دار بر PH عصاره میوه نداشت. TSS (کل مواد جامد محلول) میوه تحت تاثیر شوری تغییرات معنی‌دار نشان داد. با افزایش سطح شوری، TSS، TA و نیز میزان ویتامین C میوه به طور معنی‌دار افزایش یافتند.

همچنین کلسیم میوه تحت تاثیر شوری تغییرات معنی‌دار نشان داد. مقدار این پارامتر با افزایش سطح شوری محلول غذایی رابطه معکوس داشت. اما مطابق انتظار، با افزایش سطح شوری مقدار سدیم میوه افزایش یافت. کلر میوه هم با اعداد بسیار نزدیک به سدیم، دقیقاً همین روند تغییرات را طی کرد. مقدار پتاسیم میوه تحت تاثیر شوری محلول غذایی قرار نگرفت. با افزایش سطح شوری محلول غذایی، مقدار سدیم برگ افزایش ولی مقدار پتاسیم برگ کاهش یافت.

مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای کمی عملکرد تحت تأثیر تیمار کم آبیاری

بر طبق جدول (۵)، عملکرد کل تیمارهای W1، W2 و W3 با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشته و فقط با تیمار W4 اختلاف معنی‌دار نشان دادند. هرچند با کاهش سطح آبیاری، طبیعتاً مقدار عملکرد کل بوته‌ها کاهش یافت. ارتفاع نهایی بوته‌ها نیز مانند عملکرد کل با یک روند کاهشی ملایم، نسبت به کاهش سطح آبیاری تغییر معنی‌دار نشان داد.

وزن متوسط میوه‌های تیمار W1 و W2 با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشته اما با تیمارهای W3 و W4 اختلاف معنی‌دار نشان دادند. با کاهش سطح آبیاری وزن متوسط میوه‌ها کمتر شد. قطر متوسط میوه‌ها در تیمارهای کم آبیاری، دو به دو باهم اختلاف معنی‌دار نداشتند اما با تیمار سوم دارای اختلاف معنی‌دار شدند. با کاهش سطح آبیاری، قطر متوسط میوه‌ها نیز کاهش پیدا کرد.

عمر نهایی تیمارهای W1 تا W3 تحت تأثیر کم آبیاری، اختلاف معنی‌دار نشان نداد. لیکن با تیمار W4 دارای اختلاف معنی‌دار بود. با کاهش سطح آبیاری، عمر نهایی بوته‌ها کاهش می‌یابد. هرچند شدت کاهش عمر نهایی بوته‌ها تحت تأثیر تنش کم آبیاری به مراتب کمتر از تأثیر تنش شوری است. میانگین شاخص سطح برگ تیمارهای W1، W2 و W3 با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما با تیمار W4 اختلاف معنی‌دار نشان دادند. مطابق انتظار با کاهش سطح آبیاری، سطح برگ کاهش یافت.

از سوی دیگر با کاهش سطح آبیاری، مقدار ماده خشک میوه افزایش یافت. اما تنها تیمار W1 با بقیه تیمارهای کم آبیاری اختلاف معنی‌دار نشان داد. ولی تغییرات ماده خشک برگ تحت تأثیر کم آبیاری عملاً قابل روندیابی و استناد مشاهده نشد. تحت تأثیر کم آبیاری، مقدار ماده خشک بوته‌ها بصورت معنی‌دار کاهش یافت.

تعداد خوشه‌ها و تعداد گل در هر خوشه و نهایتاً تعداد میوه از تیمار کم آبیاری W1 تا تیمار W3، با مقدار آبیاری رابطه معکوس نشان داد. هرچند این تغییرات معنی‌دار نبود. اما در تیمار W4 به یکباره این روند افزایشی قطع و مقدار این پارامترها به طور معنی‌دار کاهش یافت. به احتمال زیاد، دلیل این امر کاهش عمر نهایی بوته‌ها در تیمار W4 بوده است.

همچنین مقدار هدایت الکتریکی عصاره میوه (EC)، اسیدیته (PH) و نیز کل مواد جامد محلول میوه (TSS) تحت تأثیر کم آبیاری افزایش یافت. هرچند این افزایش معنی‌دار نبود. اما مقدار ویتامین C و TA میوه در اثر کاهش سطح آبیاری بطور معنی‌دار افزایش یافت.

مقدار کلسیم میوه نیز تحت تأثیر کم آبیاری بطور معنی‌دار کاهش یافت. برعکس عنصر کلسیم، مقادیر سدیم و کلر میوه، تحت تأثیر کم آبیاری به صورت معنی‌داری افزایش یافتند. پتاسیم میوه نیز تحت تأثیر کم آبیاری افزایش یافت اما تغییرات آن معنی‌دار نبود. سدیم و پتاسیم برگ تحت تأثیر کم آبیاری بطور معنی‌دار افزایش پیدا کردند. روند تغییرات مقدار این دو عنصر در برگ دقیقاً مشابه بود.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی و نیز کاهش سطح آبیاری میزان عملکرد کل و میانگین وزن میوه‌ها کاهش می‌یابد. هر گیاهی جهت تولید میوه بیشتر و رشد مناسب آنها و به عبارتی دستیابی به عملکرد بالا، نیازمند رشد رویشی قوی و داشتن ذخایر غذایی کافی است. این رشد مناسب در صورتی میسر خواهد شد که جذب بهینه و کافی آب و عناصر غذایی توسط ریشه‌ها انجام شود (تورهان و آتیلا، ۲۰۰۴). افزایش هدایت الکتریکی و به عبارتی افزایش شوری در محلول غذایی، به طور شگرفی اثر سوء روی پتانسیل اسمزی آب گیاه داشته و جذب آب توسط گیاه را محدود می‌کند. افزایش غلظت نمک در محیط ریشه می‌تواند پتانسیل آب را در گیاه و به دنبال آن در برگ کاهش دهد. به واسطه چنین مکانیزمی آب کمتری توسط گیاه

محلول غذایی حتی در سطوح پایین تر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر هم تغییر معنی‌دار می‌کند.

نتایج آزمایش همچنین نشان داد که درصد وزن خشک میوه‌ها با افزایش هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. برخی از تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش میزان ماده خشک در میوه‌ها یکی از عوامل بهبود کیفیت آنها است (دورایس و همکاران، ۲۰۰۱). میزان وزن خشک در میوه گوجه‌فرنگی رابطه معکوسی با اندازه میوه دارد ولی همبستگی مثبتی با میزان کل قندها و مواد جامد محلول نشان می‌دهد. میزان وزن خشک میوه همچنین تابعی از مقادیر آب و آسمیلاتهای حاصل از فتوسنتز است. هاهجو و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در گوجه-فرنگی هایی که تحت تیمارهای شوری محلول غذایی قرار گرفته اند، جذب آب به سبب وقوع پدیده‌ای به نام خشکی اسمزی کاهش می‌یابد که این محدودیت در میزان جذب آب، سبب افزایش قندها، اسیدها و نشاسته در میوه‌های تحت تیمار شوری می‌شود و افزایش در میزان ماده خشک را به دنبال دارد.

مهمترین تفاوت چشمگیر بین گیاهان تحت تیمار شوری و گیاهان شاهد، افزایش تجمع نشاسته در میوه‌های گیاهان تحت تیمار شوری است که توسط میشل و همکاران (۱۹۹۱) گزارش شده است. همچنین مشخص شده است که سرعت عمل آنزیم ADP-گلوکز فسفوریلاز که سنتز نشاسته را تنظیم می‌کند در میوه‌های تحت تیمار شوری افزایش می‌یابد که این خود دلیل دیگری در افزایش تجمع نشاسته و در نتیجه افزایش میزان ماده خشک میوه‌هاست (ویت کوهرل و همکاران، ۱۹۹۹). ساواس و لنز (۲۰۰۰) گزارش نمودند که افزایش ماده خشک میوه می‌تواند به کاهش مقدار آب میوه مربوط باشد. این در حالی است که پلات و گراوا (۲۰۰۰) تجمع قندها به خصوص هگزوزهایی نظیر گلوکز را در افزایش میزان ماده خشک میوه در شرایط شوری موثر دانستند.

پلات (۱۹۹۷) علت افزایش مواد جامد محلول در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمار شوری را تجمع

جذب شده و در نتیجه، جریان آب به سمت میوه نیز کاهش می‌یابد (گؤل و سنوگیجان، ۱۹۹۲).

از آنجا که بیش از ۹۲ درصد از وزن میوه گوجه‌فرنگی را آب تشکیل می‌دهد لذا وزن میوه‌ها در گوجه‌فرنگی تابعی از مقدار آب موجود در آن است، بنابراین با محدود شدن جریان آب به سمت میوه، اندازه و وزن آن کاهش خواهد یافت (هاهجو و همکاران، ۲۰۰۱). این موضوع به طریق اولی در مورد تنش کم‌آبایی صادق است. از علل دیگر کاهش میزان جذب آب، به دنبال افزایش مقادیر هدایت الکتریکی، کاهش نفوذپذیری ریشه است که منجر به کاهش جذب آب توسط گیاه و متعاقباً میوه می‌شود (کوارترو و فرناندز مونسوز، ۱۹۹۹). مانس و ترمات (۱۹۸۶) و ایپرن (۱۹۹۶) نیز گزارش نمودند که افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی، اندازه میوه را به واسطه کاهش جریان آسمیلاتها به سمت میوه کاهش می‌دهد که این امر در کاهش میانگین وزن میوه‌ها بسیار موثر است (پلات و همکاران، ۲۰۰۳؛ ماگان و همکاران، ۲۰۰۴)

از اثرات ثانویه شوری محلول غذایی کاهش سطح برگ است. تاثیر افزایش شوری و به دنبال آن استرس آبی بر سطح برگ بیش از سایر پارامترهای رویشی مانند ارتفاع، وزن خشک و غیره است. کاهش رشد برگ، اولین و سریعترین عکس‌العمل گیاهان گلائیکوفیت به تنش شوری است (شی و همکاران، ۲۰۰۲). با کاهش سطح برگ به سبب کاهش سطح فتوسنتزی، از میزان فتوسنتز کاسته شده و به این ترتیب حجم آسمیلاتهای سنتز شده نیز کم می‌شود.

آدامز و هو (۱۹۹۲) گزارش کرده‌اند که افزایش شوری محلول غذایی تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تاثیر معنی‌داری بر میوه بستن ندارد، حال آنکه در مقادیر بالاتر مانند ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر میوه بستن به خصوص در خوشه‌های بالایی کاهش می‌یابد. اما در این تحقیق مشخص شد که تعداد میوه در بوته با افزایش شوری

ولد، ۱۹۸۸). بلدا و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که افزایش سطوح شوری در محلول غذایی می‌تواند سطح ناحیه آوند چوبی در غلافهای آوندی میوه را کاهش دهد که این مسئله نیز می‌تواند در کاهش جذب کلسیم توسط میوه موثر باشد.

همچنین مشخص شده است که مقاومت هیدرولیکی در مسیر بین ساقه و میوه، در شرایط افزایش شوری بالا می‌رود، در نتیجه میزان انتقال آب و کلسیم به میوه از طریق آوندهای چوبی کاهش یافته و با سرعت پایینی انجام می‌شود (مالون و آندرو، ۲۰۰۱). افزایش مقادیر سدیم و کلر همراه با افزایش سطوح هدایت الکتریکی توسط برخی از محققین نیز گزارش شده است (کوآرترو و فرناندز مونوز، ۱۹۹۹؛ دی پاسکاله و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش این یونها مکانیزمی جهت پاسخگویی به کاهش پتانسیل اسمزی در این شرایط است و در تنظیم پتانسیل اسمزی نقش موثری دارد (ویت کوهلر و همکاران، ۱۹۹۹).

نتیجه گیری

مطابق انتظار مشاهده شد که شوری محلول غذایی و تنش خشکی اثر کاهشی معنی‌دار بر روی عملکرد و شاخص‌های رشدی گیاه دارند. توابع مختلف تولید (خطی ساده، نمایی، کاپ داگلاس، درجه دوم) بر روی داده‌های عملکرد برازش داده شد، مشخص شد که تابع تولید خطی ساده تابع تولید بهینه می‌باشد. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب مربوط به تیمار SIW4 با حدود ۳۴/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار S5W1 با حدود ۶/۴ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. منحنی‌های هم محصول نشان می‌دهند که با افزایش مقدار آبیاری، می‌توان از آب‌های با سطح شوری بالاتر بدون تغییر در عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای استفاده نمود.

مشخص شد که تا شوری‌های حدود سه دسی-زیمنس بر متر، عملکرد گوجه‌فرنگی در کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی اقتصادی بوده و اختلاف آن با تیمار ۱/۳ دسی

گلوکز و یونها بویژه کلر گزارش کردند. با افزایش سطوح هدایت الکتریکی محلول غذایی میزان اسیدهای قابل تیتر نیز افزایش یافت. افزایش اسیدهای قابل تیتر در شرایط شوری برای گیاهان مختلف در تحقیقات متعددی گزارش شده است (دورایس و همکاران، ۲۰۰۱؛ دی پاسکاله و همکاران، ۲۰۰۳).

افزایش شوری در محلول غذایی و همچنین تنش کم‌آبیاری می‌تواند منجر به افزایش میزان ویتامین C در میوه‌های گوجه‌فرنگی شود. مالاش و همکاران (۲۰۰۲) و کوآرترو و فرناندز مونوز (۱۹۹۹) گزارش نمودند که افزایش شوری در محلول غذایی تاثیر مثبتی در افزایش مقادیر ویتامین C دارد. آنها این افزایش را به تجمع مونوساکاریدها در میوه مرتبط دانستند. همچنین لایق و همکاران (۱۳۸۸) بیان کردند که در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تیمار شوری، قرارگیری بیشتر میوه‌ها در مقابل نور، به دلیل کاهش رشد، همچنین کاهش سطح برگ، می‌تواند در افزایش میزان ویتامین C میوه موثر باشد. این موضوع در مورد محتوای ویتامین C میوه‌های حاصل از بوته‌های تحت تنش خشکی هم صادق است.

به نظر می‌رسد که کاهش مقادیر آب میوه به واسطه پتانسیل پایین آب در گیاه و برگ و همچنین افزایش غلظت برخی از عناصر مانند سدیم و کلر در میوه، نقش مهمی در افزایش هدایت الکتریکی عصاره میوه داشته باشند (دی پاسکاله و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج این تحقیق نشان داد که کلسیم میوه با افزایش سطوح شوری محلول غذایی کاهش می‌یابد. در حالی که مقادیر عناصر سدیم و کلر روندی افزایشی نشان می‌دهد. مقدار پتاسیم در برگ نیز با افزایش سطح شوری محلول غذایی کاهش یافته و برعکس مقدار سدیم برگ افزایش نشان داد. کاهش مقادیر پتاسیم در برگ، رابطه تنگاتنگی با اثرات آنتاگونیستی بین عناصر سدیم و پتاسیم دارد. افزایش مقادیر سدیم می‌تواند باعث کاهش جذب پتاسیم شود. البته کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه نیز به عنوان عاملی ثانوی در کاهش جذب پتاسیم موثر است (سان

در آبیاری کشت هیدروپونیک در حقیقت صرفه جویی 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 یک چهارم از کل هزینه های تغذیه منجر به صرفه جویی بسیار چشمگیر در مخارج کشت خواهد شد.

زیمنس که جزو آبهای خوب کشاورزی محسوب می‌شود معنی‌دار نیست. لذا می‌توان با اطمینان از برگشت اقتصادی طرح، در مناطقی با آب لب شور اقدام به احداث گلخانه برای کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی نمود. اختلاف عملکرد تیمار سطح آبیاری ۷۵٪ با سطح آبیاری کامل معنی‌دار نبود، لذا می‌توان مقدار آبیاری گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت هیدروپونیک را حدود ۲۵٪ یا یک چهارم کاهش داد، با عنایت به اینکه هرگونه صرفه جویی

فهرست منابع

۱. ذوالفقاران، ا. و شهبازی ح. ۱۳۸۶. برآورد عملکرد چغندر قند در مقادیر متفاوت آب و شوری، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۲. سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. ر. و موسوی، س. ف.؛ ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۸۸ صفحه.
۳. شهیدی، ع. ۱۳۸۷. اثر برهم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب - شوری در منطقه بیرجند. پایان نامه دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۳۶۵ ص.
۴. شهیدی، ع.، نحوی نیا، م. ج.، پارسی نژاد، م. و لیاقت، ع. م. ۱۳۸۹. 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 ۲۴، شماره ۳، ص ۵۴۴-۵۳۴.
۵. عابدی کوپایی، ج.، اسلامیان، س. س. و زارعیان، م. ج. ۱۳۹۰. اندازه گیری و مدل سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکروولایسیمتر در گلخانه، علوم و فنون کشت گلخانه ای، سال دوم، شماره هفتم، پاییز ۱۳۹۰، ص ۶۳-۵۱.
۶. فرزانه، ن.، گلچین، ا.، هاشمی مجد، ک. ۱۳۸۹. تأثیر نیتروژن و بور بر رشد، عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی گوجه فرنگی، مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای، سال اول، شماره دوم، ص ۲۸-۱۹.
۷. لایق، م.، پیوست، غ. ع.، سمیع زاده، ح. ا.، خصوصی، م. ۱۳۸۸. تأثیر شوری محلول غذایی بر رشد، عملکرد و صفات کیفی گوجه فرنگی در سیستم کشت بدون خاک، مجله علوم باغبانی ایران، دوره ۴۰، شماره ۴، ص ۲۱-۱۱.
۸. محمدی، م.، لیاقت، ع. م. و مولوی، ح. ۱۳۸۹. بهینه سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ۱۳۸۹، ص ۵۹۲-۵۸۳.
۹. نورجو، ا.، زمردی، ش. و امامی، ع. ۱۳۸۰. بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری در زراعت گوجه فرنگی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد سوم.

10. Adams, P. & L. C. Ho .1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *Journal of Horticultural Science*, 67, 827-839.
11. 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.
12. Bleda, R. M., Fenlon, J. S. & L. C. Ho. 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibility to Blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science*, 71, 173-179.
13. 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.
14. Cuartero, J. & R. Fernandez-Munoz. 1999. Tomato and salinity. *Sci. Hortic*, 78, 83-125.
15. 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.
16. Depascale, S., Maggio, A., Angelino, G., Graziani, G., Trisaia, C. R. & S.S. Jonicakm. 2003. Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Horticulturae*, 613, 39-46.
17. Domínguez A., Tarjuelo J.M., de Juana J.A., López-Mataa E., Breidyb J. and Karamc F. 2011. Deficit irrigation under water stress and salinity conditions: The MOPECO-Salt Model, *Agricultural Water Management* 98, 1451- 1461.
18. Dorais, M., Papadopulos, A. P. & A. Gosselin. 2001. Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomy*, 21, 367-383.
19. FAOSTAT. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
20. 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.
21. Gül, A. & A. Sevgican. 1992. Effect of growing media on glasshouse tomato yield and quality. *Acta Horticulturae*, 3030, 145-150.
22. 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.
23. 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.
24. Hohjo, M., Ganda, M., Maruo, T., Shinohara, Y. & T. Ito. 2001. Effect of NaCl application on growth, yield and fruit quality in NFT-tomato plants. *Acta Horticulturae*, 548, 469-475.
25. Ieperen, V. W. 1996. Effect of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. *Journal of Horticultural Science*, 71, 99-111.
26. 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.
27. Maas, E. V. & 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.
28. Magan, J. J., Casas, E., Gallardo, M., Thampson, R. B. & P. Lorenzo. 2004. Effect of increasing salinity on fruit development and growth of tomato grown in soilless culture. *Acta Horticulturae*, 609, 235-239.

29. 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.
30. Malon, M. & J. Andrews. 2001. The distribution of xylem hydraulic resistance in the fruiting truss of tomato. *Plant cell-environm*, 24, 565-570.
31. 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.
32. Meric M.K., Tuzel I.H., Tuzel Y., Oztekin G.B. 2011. Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato in soilless culture, *Agricultural Water Management* 99, 19– 25.
33. Munns R., and A. Termat. 1986. Whole plant response to salinity. *Aust. J. plant physiol*, 13:143-160.
34. 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.
35. Plaut, Z. & A. Grava. 2000. Improvement of tomato fruit quality with brackish water unde optimal irrigation management. *Acta Horticulturae*, 537, 611-620.
36. Plaut, Z. 1997. Irrigation with low-quality water: effects on productivity, fruit quality and physiological processes of vegetable crops. *Acta Horticulturae*, 449, 591-597.
37. Plaut, Z., Grava, A., Yehezkel, C. & E. Matan. 2003. How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiological Plantarum*, 122, 429-442.
38. Rubino P. & E. Tarantino. 1988. Influence of irrigation techniques on behaviour of some processing tomato cultivars. *Acta- Horticultras*. 228:109-118.
39. Russo, D. & D. Bakker. 1986. Crop water production functions for sweet corn and cotton irrigated with salin waters, *Soil Science Society American J.* 51:1554-1562.
40. Savas, D. & F. Lenz. 2000. Respone of eggplant grown in recirculating nutrient solution to salinity imposed prior to the start of harvesting. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75, 262- 267.
41. Sepaskhah A.R., Bazrafshan-Jahromi A.R. & Z. Shirmohammadi-Aliakbarkhani. 2006. Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses,. *Biosystems Engineering*, 93 (2), 139–152.
42. Shi, Z. Q., Jobin-Lawler, F., Gosselin, A., Turcotte, G., Papadopoulos, A. P. & M. Dorais. 2002. Effect of different EC managment on yield, quality and nutraceutical properties of tomato grown under supplemental lighting. *Acta Horticulturae*, 580, 241-247.
43. Sonneveld, C. 1988. The salt tolerance of greenhouse crops, *Neth. Journal of Agricultural Science*, 36, 63-73.
44. Turhan, E. & E. Atilla. 2004. Effect of chloride application and different media on ionic strawberry plants under salt stress conditions. *Soil. Science Plant Analysis*, 36, 1021-1028.
45. Veit-Kohler, V., Krumbein, A. & H. Kosegarten. 1999. Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal Plant Nutrient Soil Science*, 162, 583-588.
46. 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.

47. 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
48. Yoldas, F., S. Ceylan, B. Yagmur & N. Morologan. 2008. Effect of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. *J. Plant Nutr.* 31(7): 1333-1343.
49. 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.