

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر سطوح مختلف تهویه آب شور بر عملکرد و بهره‌وری آب گیاه گوجه‌فرنگی در کشت‌های گلخانه‌ای

حمیدرضا سالمی^{۱*}، جمال احمدآلی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۸

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر تهویه آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و نیز تعیین شدت بهینه تهویه آب آبیاری در شرایط شوری بر عوامل رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی شامل سه سطح تهویه (۱۲٪، ۲۴٪ و صفر درصد به عنوان تیمار شاهد) و در چهار تکرار طی دو سال در گلخانه شیشه‌ای مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انجام شد. قبل از شروع پروژه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل تعیین و بر اساس نتایج حاصله، مقادیر کود مورد نیاز توسط متخصص تغذیه تعیین شد. شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، وزن بوته خشک، قطر و طول میوه، تعداد میوه و وزن کل میوه برداشتی در طی ۸ ماه کشت (مهر تا اردیبهشت) اندازه‌گیری شدند. داده‌برداری در طول سال ۱۳۹۴-۹۵ انجام و مورد ارزیابی آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد تأثیر تیمارهای اکسیژن‌دهی روی صفات طول و قطر، تعداد و عملکرد میوه در سطح ۵٪ معنی‌دار گردیده و روی صفات ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه و وزن خشک بوته معنی‌دار نشد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب در تیمار ۲۴ درصد اکسیژن‌دهی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۷ و ۲۱/۵ درصد افزایش داشته است. داده‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تولید گوجه‌فرنگی در خاک‌های شور و آب شور را می‌توان تحت سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی توأم با هوادهی بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، اکسیژن-آبیاری، شوری، گوجه‌فرنگی

مقدمه

تقریباً یک‌سوم جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که دچار کمبود متوسط تا شدید منابع آب هستند. علاوه بر این، افزایش مداوم جمعیت نیز دسترسی به منابع آب دارای کیفیت مناسب را با مشکلات بیشتری روبرو می‌سازد. در چنین شرایطی، منابع محدود آب شیرین عمدتاً به مصرف شرب و بخش صنعت اختصاص می‌یابد و بخش کشاورزی ناچار خواهد بود در کنار استفاده از روش‌های پیشرفته

آبیاری (جهت استفاده بهینه از منابع بسیار محدود آب شیرین) از آب‌های دارای کیفیت پایین از قبیل آب‌های شور یا آلوده (فاضلاب شهری یا پساب کارخانه‌ها) نیز استفاده نماید.

گوجه‌فرنگی یکی از کشت‌های اقتصادی برای کشاورزان استان اصفهان است که سطحی معادل ۳۰۱ هکتار در خصوص گلخانه‌های چوبی پلاستیکی و ۱۵۰ هکتار گلخانه‌های فلزی پلاستیکی را به خود اختصاص داده است. در این اراضی گوجه‌فرنگی هنوز به صورت سنتی آبیاری می‌شود که مقدار آب مصرفی آن بالغ بر ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار است. کارایی مصرف آب برای تولید این محصول در اصفهان ۲۵ تا ۲۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب گزارش شده است که این رقم از میانگین کشور بالاتر است (فرزنام‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴).

به نظر می‌رسد رسیدن به این رقم با اعمال مدیریت صحیح آبیاری با آب شور و استفاده از روش‌های آبیاری نوین همچون آبیاری قطره‌ای زیرسطحی امکان‌پذیر است. سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی یکی از کارآمدترین روش‌های آبیاری است که در صورت

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(Email: hrsalemiwk@gmail.com)

(*- نویسنده مسئول)

گیرد (آبوهوا مخلوط) بدون آن که مشکل فرار اکسیژن از نیمرخ خاک پیش بیاید (Torabi et al., 2014; Pendergast and Midmore, 2006). اکسیژن-آبیاری باعث افزایش قابل توجهی در پارامترهای رشد برای تعدادی از گونه‌های زراعی شده است (Torabi et al., 2013). اکسیژن-آبیاری و دور کم آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی موجب گسترش توزیع عرضی نیمرخ رطوبت خاک، بهبود پارامترهای رشد و عملکرد و همچنین بهبود خصوصیات کیفی میوه می‌گردد. بنابراین می‌توان از فن اکسیژن-آبیاری برای افزایش کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌های سنگین استفاده نمود (سیفی، ۱۳۹۳).

در پژوهش باترای و همکاران که جهت بررسی تأثیر اکسیژن-آبیاری به میزان ۱۲٪ (نسبت حجمی هوا به آب) بر عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت، نتایج نشان داد که میزان عملکرد محصول در تیمار اکسیژن-آبیاری با آب شور ۳۸٪ بیشتر از شاهد بود. همچنین، کارایی مصرف آب (محاسبه شده برای وزن تمامی اندام‌های گیاه) در تیمار اکسیژن-آبیاری ۳۲٪ بیشتر از شاهد گزارش شد (Bhattarai et al., 2006). در پژوهشی سه سطح تهویه آب آبیاری شامل صفر، ۱۲ و ۲۴ درصد حجمی (حجم هوا نسبت به آب) روی گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته شده در خاک لوم رسی شنی در گلخانه‌ای واقع در مرکز تحقیقات استان اصفهان انجام شد. نتایج نشان داد افزایش رشد و عملکرد گیاه رابطه مستقیم با افزایش سطح تهویه آب آبیاری دارد (ترابی، ۱۳۹۴). کرمی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تأثیر سطوح هوادهی بر عملکرد و کارایی مصرف آب میوه و گیاه فلفل تحت سطوح مختلف شوری و بافت خاک با روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را مورد بررسی قرار دادند. سطوح هوادهی در این پژوهش شامل کنترل صفر، ۴ و ۶ ساعت و سطوح شوری ۰/۴، ۱/۵ و ۳ دسی زیمنس بر متر در دو نوع بافت خاک لوم سیلتی و لوم رسی بود. نتایج نشان داد که هوادهی، شوری و بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و کارایی مصرف آب داشته است. با افزایش سطوح هوادهی کارایی مصرف آب میوه و گیاه و عملکرد محصول به ترتیب ۷/۹۸، ۱۰/۷۸ و ۸/۱۸ درصد افزایش داشته است. دوو و همکاران در پژوهشی اثر آبیاری هوادهی شده را بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب به صورت فراتحلیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که به طور متوسط عملکرد محصول ۱۹/۳ درصد و کارایی مصرف آب ۱۷/۹ درصد افزایش داشت (Du et al., 2018). در پژوهش چن و همکاران افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در تیمار اکسیژن-آبیاری نسبت به تیمار شاهد ۲۳ درصد گزارش شد (Chen et al., 2019). در پژوهشی تأثیرات هوادهی آبیاری بر تنفس، اکسیژن و تخلخل خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی محصول گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در تیمار هوادهی شده در مقایسه با تیمار بدون هوادهی، غلظت اکسیژن

اجرای صحیح قادر است با حذف تبخیر از سطح خاک و رواناب و کاهش یا توقف جریان فرونشست از منطقه ریشه، بازده کاربرد آبیاری را تا ۹۰٪ یا بیشتر افزایش دهد (Torabi, 2010). با این روش می‌توان آب را به طور یکنواخت توزیع کرد، مقدار آب مصرفی را به دقت کنترل نمود، عملکرد گیاه را افزایش و خطرات پراکندگی و شورش‌دگی خاک را کاهش داد (سیفی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در این روش آبیاری که مناسب‌ترین شیوه برای استفاده از آب شور هست، آب با سطح برگ تماس نداشته و باعث سوختگی برگ و صدمه به گیاه نخواهد شد. نکته بسیار مهم در استفاده موفقیت‌آمیز از آب‌های شور این است که با آبیاری مستمر (یعنی کاهش دور آبیاری) می‌توان رطوبت خاک را در حد نسبتاً بالایی نگه داشت به نحوی که بتوان از افزایش خطرناک غلظت املاح در عمق توسعه ریشه جلوگیری نمود. اگرچه به لحاظ فنی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی قادر به تأمین شرایط فوق هست، لیکن در خاک‌های دارای بافت ریز و حتی متوسط که زهکشی درونی خاک در وضعیت مطلوبی قرار ندارد، بالا بودن رطوبت خاک باعث اختلال جدی در تنفس ریشه و اعمال حیاتی گیاه به ویژه جذب آب و مواد غذایی شده و همین امر زمینه‌ساز کاهش عملکرد گیاه و بروز بیماری‌های قارچی ریشه خواهد شد. در چنین شرایطی، تأمین اکسیژن مورد نیاز ریشه از طریق سامانه اکسیژن-آبیاری مانع از توقف فعالیت ریشه شده و زمینه توسعه بیماری‌های قارچی ریشه را نیز از بین می‌برد (Bhattarai et al., 2006). در هر آبیاری، صرف نظر از روش مورداستفاده، بانفوذ آب به درون خاک، هوای موجود در منافذ خاک خارج شده و به تدریج شرایط غیرهوازی در اطراف ریشه شکل می‌گیرد. کمبود یا فقدان اکسیژن در محیط ریشه، تأثیر بسیار نامطلوبی بر رشد ریشه داشته و باعث کاهش رشد طولی ریشه و در نتیجه اختلال در جذب آب و مواد غذایی و نهایتاً کاهش عملکرد گیاه خواهد شد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تهویه مصنوعی محیط ریشه باعث بهبود نسبی عملکرد گیاهان کاشته شده در محیط آبکشت و نیز در بسترهای خاکی می‌گردد (ترابی و همکاران، ۱۳۹۳). انتقال اکسیژن از طریق سامانه آبیاری قطره‌ای یا آب هوادهی شده به ناحیه ریشه اصطلاحاً اکسیژن-آبیاری نامیده می‌شود. به نظر می‌رسد که اکسیژن-آبیاری در خاک شور، نفوذپذیری غشایی بیشتری به ریشه می‌دهد. آزمایش‌ها روی گیاهان حساس (گوجه‌فرنگی) نیمه حساس (ذرت علوفه‌ای) و مقاوم (پنبه) به شوری در دامنه‌ای از شوری با و بدون اکسیژن-آبیاری، افزایش توانایی گیاه برای دفع نمک به دلیل اکسیژن-آبیاری را تأیید کردند. چنین افزایشی باعث بهبود کارایی مصرف آب، افزایش مقدار آب برگ، افزایش سطح برگ و تجمع بیشتر بیوماس به دلیل اکسیژن‌دهی در خاک شور می‌شود (Bhattarai, 2005). سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی قادر است هوای محیط را از طریق یک ونتوری به درون سامانه آبیاری تزریق نماید (اکسیژن-آبیاری) تا در حین آبیاری در اختیار ریشه گیاه قرار

لذا پاسخ به دو سؤال زیر از اهداف این پژوهش می‌باشد:
آیا اکسیژن آبیاری قادر است مانع از کاهش رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در آبیاری با آب شور گردد؟ و میزان بهینه تهویه آب آبیاری در اکسیژن آبیاری با آب شور در کشت گوجه‌فرنگی چقدر است؟

با توجه به فقدان هرگونه پژوهش کاربردی در مورد کاربرد اکسیژن آبیاری در گلخانه‌های کشور و در شرایط کنونی که کمبود آب و کاهش تدریجی منابع آبی باکیفیت مناسب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات در منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌رود، به‌نظر می‌رسد اجرای یک پژوهش کاربردی در زمینه استفاده از ونتوری همراه با سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از راهکارهای کلیدی مدیریت آب شور در تولید گوجه‌فرنگی به‌شمار آید. هم‌چنین انتخاب مناسب‌ترین سطح تهویه نیز می‌تواند کمک شایانی به تبیین کاربرد این موضوع نماید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه شیشه‌ای مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان واقع در منطقه دستگرد شهر اصفهان انجام شد (شکل ۱). بذرهاى گوجه‌فرنگی اواسط مهرماه (بذر گوجه از رقم پردیس) در سینی نشاء با بستر پیت‌ماس (peat mass) کاشته شد. نشاءها به‌مدت ۳۵ روز در سالن نشاء (شکل ۲) نگهداری و پس از جوانه زدن در وضعیت چهار برگى به گلدان اصلی با حجم ۱۶ لیتر حاوی خاک شور با شوری عصاره اشباع ۶/۷ دسی‌زیمنس بر متر منتقل شدند.

۱۶ درصد، تخلخل ۷/۴ درصد، تنفس خاک ۲۴/۲۱، مصرف اکسیژن خاک ۲۲/۹۱ درصد و میانگین عملکرد میوه ۲۳ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (Yan et al., 2019). در پژوهشی اثرات چهار سطح مختلف هوادهی (۰، ۵/۰، ۱ و ۱/۵ برابر حجم استاندارد) در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی محصول گوجه‌فرنگی در دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بالاترین سطح هوادهی در عمق ۳۰ سانتی‌متری عملکرد را در مقایسه باحالت بدون هوادهی ۴۱/۲ درصد افزایش داد (Rodrigues do Nascimento et al., 2020). افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمار اکسیژن- آبیاری نسبت به تیمار شاهد در پژوهش ژو و همکاران ۲۲/۴ درصد (Zhu et al., 2019) و در پژوهش لی و همکاران ۳۰/۸ درصد (Li et al., 2020) گزارش شد. در پژوهشی اثر اکسیژن- آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن محصول گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکسیژن- آبیاری عملکرد محصول را بین ۴/۴-۲/۹ درصد و کارایی مصرف نیتروژن را بین ۱۳/۲-۳ درصد افزایش داد (Du et al., 2020). سیفی و میرلطیفی در پژوهشی کارایی مصرف آب و عملکرد پسته در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی هوادهی شده در یک خاک شور با بافت سیلت لوم را مورد بررسی قرار دادند. دو تیمار شامل دور آبیاری ۳ روزه با هوادهی ۱۸ درصد (حجم هوا نسبت به آب) و بدون هوادهی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد عملکرد در تیمارهای هوادهی و بدون هوادهی به ترتیب ۴/۹ و ۴/۴ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۴/۲ و ۳/۷ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر بود (Seifi and Mirlatifi, 2020).

در اکثر شهرک‌های گلخانه‌ای کشور عامل اصلی محدودکننده کشت‌های درون گلخانه، شوری آب آبیاری می‌باشد (نه کمبود آب)،



شکل ۱- گلخانه شیشه‌ای مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان (محل اجرای طرح)



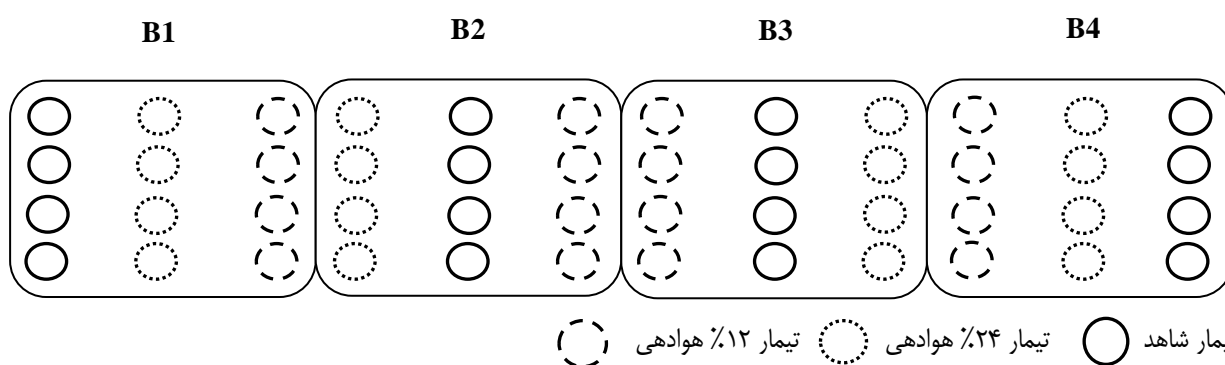
شکل ۲- نگهداری نشاءها در سالن نشاء

متر بود. کاشت در گلدان‌های به قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر انجام شد. فاصله ردیف‌های گلدان از یکدیگر ۱۲۰ سانتی‌متر بود (شکل ۳). با توجه به اینکه در اکثر گلخانه‌های استان اصفهان کشت به صورت خاکی صورت می‌گیرد، بستر کاشت مورد استفاده در این طرح نیز خاک بود که از مزارع منتخب با بافت رس تهیه شد. آرایش طرح به صورت زیر در شکل ۴ اجرا شد.

هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری در محل آزمایش ۳-۴ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. طرح آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی شامل ۳ سطح تهویه آب آبیاری شامل صفر٪ (تیمار شاهد)، ۱۲٪ و ۲۴٪ (نسبت حجم هوا به حجم آب)، در ۴ تکرار اجرا شد. نخست، بذر گوجه‌فرنگی را در خزانه کاشته و پس از جوانه‌زدن هنگامی که چهار برگه شدند، به محل اصلی منتقل و تیمارها اجرا شدند. هر تیمار شامل ۴ ردیف گیاه هر یک به طول ۱۰



شکل ۳- آرایش تیمارها شامل ۴ ردیف گیاه



شکل ۴- موقعیت تیمارها و تکرار آن‌ها در طرح آزمایش

می‌شدند. همچنین، قبل از اجرای طرح، از نمونه خاک و آب آبیاری آزمایش به عمل آمد تا ضمن مشخص شدن ترکیب شیمیایی عناصر محلول در آب، تمهیدات لازم به‌منظور پیشگیری از رسوب املاح و انسداد احتمالی قطره‌چکان‌ها انجام شود. قبل از شروع طرح، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل (جدول ۱) تعیین و بر اساس نتایج حاصله، مقادیر کود موردنیاز توسط متخصص تغذیه تعیین شد. برای تجزیه و تحلیل آماری طرح از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

دمای گلخانه با استفاده از سیستم بخاری گازسوز گلخانه‌ای در ماه‌های پاییز و زمستان در حد مناسب حفظ شد. از مل پاشی و کولر آبی برای خنک‌سازی گلخانه در ماه‌های گرم بهار، استفاده شد. رطوبت گلخانه با آبپاشی کف و باز کردن دریچه‌های جانبی موجود تا حد امکان تنظیم شد. رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده گلخانه بین ۲۵-۸۵ درصد نوسان داشت. در دوران گلدهی برای حصول اطمینان از گرده‌افشانی، هر روز ۲ نوبت سیم‌های قیم بالای بوته‌ها تکان داده

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمون در ابتدای کشت

هدایت الکتریکی (dS/m)	پ- هاش	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	ازت کل (%)	مس قابل جذب	روی قابل جذب	منگنز قابل جذب	آهن قابل جذب
۶/۷	۷/۵	۴۶	۳۵	۱۹	رسی	۱/۹۸	۴۲/۹	۳۳۸	۰/۱۹	۰/۶	۰/۵۶	۲/۳۲	۱/۸

اسید فسفریک استفاده شد. در طول دوره رشد نسبت به ثبت داده‌های آبیاری، خاک و فیزیولوژی گیاهی به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل آکواکراپ که توسط استودتو و همکاران (Steduto et al., 2009) بسط داده شد، اقدام گردید. در این پژوهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) با استفاده از نرم‌افزار ETo Calculator که توسط راس و همکاران (Raes et al., 2009) بر اساس معادله پنمن-مانتیث سازمان فائو توسعه یافته، محاسبه گردید. قبلاً این مدل در محیط گلخانه در سلطان‌نشین عمان روی گوجه‌فرنگی آزمایش شده است (Algharibi et al., 2013). ورودی‌های نرم‌افزار محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع شامل اطلاعات اقلیمی داده‌های بیشینه و کمینه دمای روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد، تشعشع و بارندگی می‌باشند. داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی اصفهان اخذ گردید. به‌منظور کنترل مقادیر آب موردنیاز گیاه در چند نوبت آبیاری، اندازه‌گیری رطوبت موجود در خاک، با نصب تانسومتر در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر (عمق توسعه ریشه) انجام شد (شکل ۵).

مراقبت‌های گیاهی در طول دوره رشد انجام گردید. در این پژوهش آبیاری به روش قطره‌ای زیرسطحی انجام شد. برای هر ردیف کاشت از یک خط لوله به قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر با قطرچکان‌هایی از نوع برخط با آبدهی ۲ لیتر در ساعت که به فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر (۱ قطرچکان مقابل هر بوته) واقع شده بود، استفاده شد. هر قطرچکان از طریق یک لوله باریک (به قطر ۶ میلی‌متر و طول ۲۰ سانتی‌متر) و یک بست ابتدایی به لوله آبیاری وصل شده بود. قطرچکان‌ها در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح گلدان قرار داشتند. در طی ۹ ماه آزمایش و داده‌برداری از اوایل مهر تا اواسط خردادماه، دمای گلخانه در پاییز و زمستان در بازه ۱۸-۳۰ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۴-۱۷ درجه سانتی‌گراد در شب و در بهار بین ۲۵-۳۳ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد در شب نوسان داشت. آبیاری به‌صورت یک روز در میان انجام و ابتدا محلول استوک برای تیمارها ساخته شده و سپس هنگام آبیاری به تانک‌های آبیاری افزوده می‌شد. برای تنظیم PH آب آبیاری در بازه ۵/۸-۶ از



شکل ۵- قرانت مقادیر رطوبت در گلدان‌ها به وسیله تانسیمتر

ابتدای هر ونتوری، یک لوله برگشت (به مخزن آب) همراه با یک شیر برای تنظیم فشار در قسمت ورودی ونتوری تعبیه شده بود. انتهای لوله آبیاری باز نگه داشته شده بود تا آب مازاد بر مصرف آبیاری، به مخزن آب برگردد. تنظیم فشار در قسمت خروجی ونتوری توسط شیریه که در انتهای لوله آبیاری نصب شده بود، انجام می‌گرفت. فشار آب در ورودی ونتوری برای تیمارهای ۱۲ و ۲۴ درصد، به ترتیب $۲۰۶/۸$ و ۲۶۲ کیلو پاسکال، و در قسمت خروجی ونتوری برای هر دو تیمار ۶۲ کیلو پاسکال بود (شکل ۶).

برداشت میوه از دهه سوم آذرماه یعنی حدود ۲ ماه پس از انتقال نشاءها آغاز و تا زمان بوته‌کشی و جمع‌آوری بوته‌ها ادامه داشت. از آغاز باردهی بوته گوجه‌فرنگی، به صورت هفتگی عملکرد محصول، آب مصرفی در تیمارهای مختلف، تعداد میوه در بوته، ارتفاع بوته و خصوصیات ظاهری گوجه‌فرنگی نظیر اندازه و وزن غده و نیز در پایان آزمایش، وزن ریشه خشک اندازه‌گیری شد. برای تأمین سطوح موردنظر تهویه آب آبیاری، روی لوله آبیاری هر یک از تیمارهای ۱۲ درصد و ۲۴ درصد یک ونتوری Mazzei™ مدل ۲۸۷ نصب شد. در



شکل ۶- سامانه اکسیژن - آبیاری در حال کار در گلخانه

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تیمارهای آزمایشی به همراه تجزیه واریانس سالانه داده‌ها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

اندازه‌گیری بده هوای خروجی از قطره‌چکان‌ها (قبل از آن‌که قطره‌چکان‌ها در خاک گلدان مدفون شوند) با استفاده از روش ارائه شده توسط ترابی و همکاران (Torabi et al., 2013) انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس سال اول برای برخی صفات گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف اکسیژن دهی (میانگین مربعات)

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
وزن ریشه خشک	وزن بوته خشک	طول میوه	قطر میوه	تعداد میوه	وزن کل میوه	ارتفاع بوته		
۳۶۰۰	۱۳۴۱۴	۱/۷۱	۰/۶۴۴	۲۲۲/۸	۳۶۰۶۶۷	۱۳۹۱۷	۳	تکرار
۱۱۶۶ ^{n.s}	۶۳۴۸ ^{n.s}	۲۹/۸۳*	۳۵/۵*	۱۲۳/۴**	۳۴۴۶۵۵ ^{n.s}	۹۰۸۰ ^{n.s}	۲	تیمار
۱۹۴۴	۲۳۶۸۱	۸/۲۷	۸/۶	۴۱/۸	۳۰۹۴۴۲	۳۸۲۷	۳۷	خطا
۱۳/۴۱	۱۶/۰۰	۷/۳۲	۶/۴۹	۱۴/۸	۲۸/۸۷	۱۴/۷		C.V.

جدول ۳- تجزیه واریانس سال دوم برای برخی صفات گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف اکسیژن دهی (میانگین مربعات)

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
وزن ریشه خشک	وزن بوته خشک	طول میوه	قطر میوه	تعداد میوه	وزن کل میوه	ارتفاع بوته		
۳۰۵۵	۱۱۴۰۱	۱۱/۱	۱/۶۱	۲۳۴/۲	۲۲۷۴۳۷	۳۰۸۷۸	۳	تکرار
۱۰۷۷/۶ ^{n.s}	۸۰۷۵ ^{n.s}	۴۱/۹ ^{n.s}	۸۶*	۱۳۷/۳*	۸۱۹۹۸۷*	۲۰۳۸۱**	۲	تیمار
۱۶۸۱/۵	۴۰۹۵۱	۱۶/۵	۸/۹	۴۲/۹	۲۰۴۱۴۵	۳۰۰۵	۳۷	خطا
۱۲/۳۱	۱۱/۵۰	۲۰	۲۱/۹	۱۳/۷	۱۹/۷۲	۱۱/۳		C.V.

درصد و وزن کل میوه، قطر میوه و تعداد میوه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج ارائه شده در جدول ۴ (تجزیه و تحلیل آماری رفتار مرکب داده‌ها) نشان داد اثر تیمار اکسیژن - آبیاری شاهد، ۱۲ درصد و ۲۴ درصد بر ارتفاع تجمعی بوته، وزن کل، تعداد میوه، طول و قطر میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است، ولی این اثر روی شاخص‌های وزن خشک قسمت هوایی بوته و وزن خشک ریشه معنی‌دار نیست. در این آزمایش اثر سال در مورد هیچ‌یک از صفات اندازه‌گیری شده به جز ارتفاع تجمعی بوته معنی‌دار نگردید.

در تجزیه واریانس سال اول شاخص‌های وزن کل میوه، ارتفاع بوته و وزن خشک ریشه معنی‌دار نشدند. علی‌رغم برتری نسبی وزن خشک قسمت هوایی در تیمارهای اکسیژن - آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد، نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) نشان داد که این تفاوت‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار نیستند (جدول ۲). با توجه به افزایش قابل ملاحظه وزن میوه تولید شده در تیمارهای اکسیژن - آبیاری نسبت به تیمار شاهد، نتایج آنالیز واریانس سال دوم دلالت بر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد بین تیمارهای آزمایش داشت. در این سال ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب برای برخی صفات گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف اکسیژن دهی (میانگین مربعات)

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
وزن ریشه خشک	وزن بوته خشک	طول میوه	قطر میوه	تعداد میوه	وزن کل میوه	ارتفاع بوته		
۳۹۴۴ ^{n.s}	۵۰۷۸۳ ^{n.s}	۲۹/۲ ^{n.s}	۵/۹ ^{n.s}	۳۴۶ ^{n.s}	۲۵۸۶۵۶۸ ^{n.s}	۸۶۶۵۱*	۱	سال
۳۳۹۱ ^{n.s}	۷۳۷۴ ^{n.s}	۶۴۳۶ ^{n.s}	۱۱/۵ ^{n.s}	۲۲۶/۸*	۳۳۴۵۵۳ ^{n.s}	۲۱۱۱۷*	۵	تکرار (سال)
۱۶۲۵ ^{n.s}	۷۶۵۳ ^{n.s}	۳۵*	۱۳۰/۸*	۲۵۶/۷*	۹۲۹۵۳۵*	۲۴۵۸۲*	۲	تیمار
۱۷۷۴	۳۰۷۴۶	۱۹/۹	۱۸/۵	۴۱/۲	۲۶۳۵۱۰	۳۴۶۸	۷۱	خطا
۲۷/۳	۲۸/۵	۱۷	۲۱/۳	۱۴/۱	۱۴/۵۰	۱۳/۱		C.V.

متوسط روزانه سرعت رشد بوته‌ها

میانگین سرعت روزانه رشد بوته‌ها در طول فصل رشد (۱۹۶ روز) مندرج در جدول ۵ برای تیمار شاهد، ۱۲ درصد و ۲۴ درصد

مقایسه میانگین (آنالیز معنی‌داری میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪) مشخصه‌های گیاهی اندازه‌گیری شده در مقادیر مختلف اکسیژن دهی به تفکیک دو سال آزمایش به شرح زیر می‌باشد.

تیمارهای شاهد، ۱۲ و ۲۴ درصد تهویه به ترتیب ۴۶/۸، ۴۴/۷ و ۴۳/۸ میلی‌متر در سال اول و ۴۵/۴، ۴۴/۴ و ۳۹/۱ میلی‌متر در سال دوم بوده است. هم‌چنین طول گوجه‌های برداشت‌شده در تیمارهای شاهد، ۱۲ و ۲۴ درصد تهویه به ترتیب ۴۰/۸، ۳۸/۷ و ۳۸/۲ میلی‌متر در سال اول و ۴۳/۵، ۴۰/۸ و ۳۸/۶ میلی‌متر در سال دوم بود (جدول ۹). تیمارهای آزمایش دارای تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد بود (جدول ۴).

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد میوه در مقادیر مختلف اکسیژن‌دهی

به تفکیک سال		
سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۵۱ a	۴۶ a	%۲۴
۴۸ ab	۴۳ ab	%۱۲
۴۴ b	۴۰ b	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

جدول ۸- مقایسه میانگین قطر میوه در مقادیر مختلف اکسیژن‌دهی

به تفکیک سال		
سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۴۹/۹ a	۴۶/۹ a	%۲۴
۴۶/۹ a	۴۴/۹ ab	%۱۲
۴۴/۲ a	۴۳/۵ b	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

جدول ۹- مقایسه میانگین طول میوه در مقادیر مختلف اکسیژن‌دهی

به تفکیک سال		
سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۴۳/۵ a	۴۰/۸ a	%۲۴
۴۰/۸ ab	۳۸/۷ ab	%۱۲
۳۸/۶ b	۳۸/۲ b	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

وزن خشک قسمت هوایی بوته

بیشترین وزن قسمت هوایی بوته به ترتیب مربوط به تیمارهای ۲۴ درصد با ۶۰۹، ۱۲ درصد با ۵۹۷ گرم و شاهد ۵۷۰ گرم بود (جدول ۱۰). با وجود متوسط افزایش ۷/۲ درصدی وزن قسمت هوایی در تیمار ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد، نتایج آنالیز واریانس دلالت بر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایش داشت (جدول ۴).

وزن خشک ریشه

بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۲۴ درصد با ۸۹ گرم بود. این پارامتر در تیمارهای ۱۲ درصد و شاهد ۸۶/۵ و ۷۲/۶ گرم در

تهویه به ترتیب ۲۲، ۲۵ و ۲۶ میلی‌متر در روز اندازه‌گیری شد. میانگین ارتفاع تجمع‌ی بوته در تیمارهای شاهد، ۱۲ درصد و ۲۴ درصد تهویه به ترتیب ۴۰۳، ۴۰۶ و ۴۴۷ سانتی‌متر در روز در سال اول و ۴۴۱، ۴۹۴ و ۵۲۲ سانتی‌متر در روز برای سال دوم به‌دست آمد.

جدول ۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته در مقادیر مختلف اکسیژن‌دهی

به تفکیک سال		
سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۵۲۲ a	۴۴۷ a	%۲۴
۴۹۴ a	۴۰۶ a	%۱۲
۴۴۱ b	۴۰۳ a	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

وزن کل و تعداد میوه

وزن تر گوجه‌های برداشت‌شده در تیمارهای شاهد، ۱۲ و ۲۴ درصد تهویه به ترتیب در سال اول ۱۷۹۰، ۱۹۰۰ و ۲۰۸۵ و در سال دوم ۱۹۹۵، ۲۳۵۲ و ۲۵۲۶ گرم در هر مترمربع بود (جدول ۶). بر اساس این ارقام، متوسط افزایش وزن میوه تولیدشده در تیمارهای ۱۲ و ۲۴ درصد تهویه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۲/۳ و ۲۱/۸ درصد بوده است. با توجه به افزایش قابل‌ملاحظه وزن میوه تولیدشده در تیمارهای اکسیژن-آبیاری نسبت به تیمار شاهد، نتایج آنالیز واریانس مرکب دلالت بر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد بین تیمارهای آزمایش داشت (جدول ۴).

جدول ۶- مقایسه میانگین وزن کل میوه در مقادیر مختلف

اکسیژن‌دهی به تفکیک سال		
سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۲۵۲۶ a	۲۰۸۵ a	%۲۴
۲۳۵۲ ab	۱۹۰۰ a	%۱۲
۱۹۹۵ b	۱۷۹۰ a	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

همانند وزن میوه، بیش‌ترین تعداد میوه در واحد سطح مربوط به تیمار ۲۴ درصد تهویه و کم‌ترین تعداد میوه در واحد سطح از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۷). متوسط افزایش نسبی تعداد میوه در واحد سطح در تیمارهای ۱۲ و ۲۴ درصد تهویه در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۸/۳ و ۱۵/۵ درصد اندازه‌گیری شد که دارای تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد بین تیمارهای آزمایش بود.

قطر و طول میوه

بر اساس اندازه‌گیری‌ها (جدول ۸)، قطر میوه تولیدشده در

۱۱۳۶۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. حجم آب مصرفی در طول فصل رشد (اول آبان تا آخر اردیبهشت) برای کلیه تیمارهای اکسیژن‌دهی به ازای هر گلدان ۱۰۲ لیتر اندازه‌گیری شد. با احتساب قرارگرفتن ۶ گلدان در مترمربع میزان آب مصرفی برابر ۶۱۲۰ مترمکعب در هکتار محاسبه گردید. بهره‌وری آب در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی برای فصل رشد ۶ ماهه در تیمارهای اکسیژن‌دهی ۲۴، ۱۲ و ۰ درصد به‌ترتیب ۲۲/۶، ۲۰/۸ و ۱۸/۶ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۱- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در مقادیر مختلف

اکسیژن‌دهی به تفکیک سال

سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۱۰۲/۸ a	۸۹ a	%۲۴
۹۸/۶ a	۸۶/۵ a	%۱۲
۸۸/۸ a	۷۲/۶ a	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

هر بوته برای سال اول و ۱۰۲/۸، ۹۸/۶ و ۸۸/۸ در سال دوم به‌دست آمد (جدول ۱۱). با وجود متوسط افزایش ۱۹/۲ درصدی وزن خشک ریشه در تیمار ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد، نتایج آنالیز واریانس دلالت بر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایش داشت (جدول ۴).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین وزن بوته خشک در مقادیر مختلف

اکسیژن‌دهی به تفکیک سال

سال ۱۳۹۳-۹۴	سال ۱۳۹۲-۹۳	تیمار سطوح تهویه
۶۷۲ a	۶۰۹ a	%۲۴
۶۳۱ a	۵۹۷ a	%۱۲
۶۲۵ a	۵۷۰ a	%۰

در میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب

میانگین عملکرد میوه در طی دو سال آزمایش در تیمارهای اکسیژن‌دهی ۲۴، ۱۲ و ۰ درصد به‌ترتیب ۱۳۸۳۰۰، ۱۳۷۶۰۰ و ۱۲۷۶۰۰

جدول ۱۲- مقادیر متوسط عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب

تیمار سطوح تهویه	عملکرد (kg/ha)	آب مصرفی (m ³ /ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)
%۲۴	۱۳۸۳۰۰	۶۱۲۰	۲۲/۶
%۱۲	۱۳۷۶۰۰	۶۱۲۰	۲۰/۸
%۰	۱۱۳۶۰۰	۶۱۲۰	۱۸/۶

آبیاری قطره‌ای برای تهویه آب آبیاری به میزان ۲۴ درصد حجمی به اندازه‌ای است که قادر خواهد بود در همان سال اول، تمام هزینه خرید و نتوری را پوشش دهد. پژوهش‌های ترابی و همکاران (Torabi et al., 2013) نشان داد در مورد تهویه آب به میزان ۱۲ درصد، پوشش کامل هزینه خرید و نتوری در سال دوم میسر خواهد شد که با توجه به استهلاک ۱۵ ساله و نتوری، می‌توان نتیجه گرفت که اضافه درآمد حاصل از کاربرد و نتوری، هیچ‌گونه هزینه‌ای برای کاربران نخواهد داشت. همچنین با استفاده از منابع آب و خاک شور می‌توان در افزایش بهره‌وری آب تا ۱۸ درصد نقش به‌سزایی ایفا کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش که در یک خاک رسی شور با آب نسبتاً شور انجام گرفت در همه موارد، با افزایش شدت تهویه آب آبیاری، شاخص‌های رشد و عملکرد نیز افزایش یافت. در مطالعه حاضر اثر سطح تهویه بر وزن خشک بوته و وزن خشک ریشه معنی‌دار نبود. این اثر بر ارتفاع بوته، عملکرد میوه، تعداد میوه در یک بوته و طول و قطر میوه گوجه‌فرنگی معنی‌دار شد. همچنین مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب در

با توجه به جدول ۱۲ ملاحظه می‌شود که مقادیر عملکرد و بهره‌وری آب در تیمار ۲۴ درصد اکسیژن‌دهی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۷ و ۲۱/۵ درصد افزایش نشان داده است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش باترای و همکاران (Bhattarai et al., 2005)، باترای و همکاران (Bhattarai et al., 2006)، ترابی (۱۳۹۴)، کرمی و همکاران (۱۳۹۵)، دوو و همکاران (Du et al., 2018)، چن و همکاران (Chen et al., 2019)، یان و همکاران (Yan et al., 2019)، رودریگز و همکاران (Rodrigues do Nascimento et al., 2020)، ژو و همکاران (Zhu et al., 2019)، لی و همکاران (Li et al., 2020)، دوو و همکاران (Du et al., 2020) و سیفی و میرلطیفی (Seifi and Mirlatif, 2020) مطابقت دارد. این محققان نتیجه گرفتند که اکسیژن‌دهی باعث افزایش عملکرد و بهره‌وری آب می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش، تأثیر مثبت تهویه منطقه ریشه بر رشد بوته و عملکرد میوه قطعی و غیرقابل انکار خواهد بود.

توجیه اقتصادی

به‌نظر می‌رسد اضافه درآمد ناشی از کاربرد و نتوری در سامانه

سیفی، ا. ۱۳۹۳. مدیریت شوری خاک و اکسیژن-کودآبیاری باغات پسته تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. رساله دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس.

سیفی، ا.، میرلطیفی، س. م.، دهقانی سانجی، ح. و ترابی، م. ۱۳۹۳. تأثیر دور آبیاری بر توزیع رطوبت و شوری در باغ‌های پسته تحت شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: شهرستان سیرجان استان کرمان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۸. ۷۸۶-۷۹۹.

فرزادینیا، م.، میرانزاده، م. و جهاد اکبر، م. ر. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با استفاده از تست تیخیر کلاس A. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱۰۶: ۱۵-۲۹.

کریمی، م.، نوری امامزاده‌ئی، م. ر.، قبادی‌نیا، م. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف هوادهی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه فلفل قلمی تحت سطوح مختلف شوری آب آبیاری و بافت خاک. اولین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشت، چالش‌ها و راهکارها. اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Algharibi, E., Schmitz, G., Lennartz, F., Schütze, N., Grundmann, J. and Kloss, S. 2013. Evaluation of field and greenhouse experiments with tomatoes using the aquacrop model as a basis for improving water productivity. In International Conference on Water Resources and Environment Research.

Bhattarai, S.P. 2005. The physiology of water use efficiency of crops subjected to subsurface drip irrigation, oxygation and salinity in a heavy clay soil. Ph.D. Thesis. Faculty of Arts, Health and Sciences, Central Queensland University, Australia.

Bhattarai, S.P., Pendergast, L. and Midmore, D.J. 2006. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils. *Scientia horticulturae*. 108.3: 278-288.

Chen, H., Shang, Z.H., Cai, H.J. and Zhu, Y. 2019. An Optimum Irrigation Schedule with Aeration for Greenhouse Tomato Cultivations Based on Entropy Evaluation Method. *Sustainability*. 11.16: 4490.

Du, Y.D., Niu, W.Q., Gu, X.B., Zhang, Q., Cui, B.J. and Zhao, Y. 2018. Crop yield and water use efficiency under aerated irrigation: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*. 210:158-164.

Du, Y.D., Zhang, Q., Cui, B.J., Sun, J., Wang, Z., Ma, L.H. and Niu, W.Q. 2020. Aerated irrigation improves tomato yield and nitrogen use efficiency while reducing nitrogen application rate. *Agricultural Water Management*. 235: 106152.

Li, Y., Niu, W., Cao, X., Zhang, M., Wang, J. and Zhang, Z. 2020. Growth response of greenhouse-produced muskmelon and tomato to sub-surface drip

تیمار ۲۴ درصد اکسیژن‌دهی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۱/۷ و ۲۱/۵ درصد افزایش نشان داد. در اکثر شهرک‌های گلخانه‌ای استان اصفهان بحران آب و شوری آن از عوامل محدودکننده تولید می‌باشند. این پژوهش نشان داد استفاده از سامانه اکسیژن-آبیاری قادر است اثرات منفی شوری روی عملکرد و دیگر پارامترهای مورد ارزیابی را تخفیف دهد و حتی در برخی از مشخصه‌ها باعث افزایش گردد. لذا توصیه می‌شود در صورت محدودیت شوری منابع آب، با آبیاری کامل و بدون اعمال تنش آبی از کاهش عملکرد جلوگیری گردد. همچنین توصیه می‌شود در گلخانه‌ای که حائز شرایط استاندارد از نظر کیفیت نور، کنترل دما، رطوبت و تهویه باشد، آزمایش‌های دیگری روی سایر محصولات گلخانه‌ای مانند توت فرنگی و گل‌های شاخه بریده با سطوح مختلف تهویه و در بسترهای متفاوت انجام شود تا ضمن مطالعه واکنش گیاهان یاد شده به تهویه مصنوعی آب آبیاری، شدت بهینه تهویه آب برای بسترهای مختلف تعیین شود. همچنین، از آنجایی که در اکسیژن-آبیاری، برخلاف سایر روش‌های تهویه مصنوعی که از مواد شیمیایی مانند گاز اوزون یا انواع پراکسیدها استفاده می‌کنند، از تزریق هوای محیط برای تهویه آب استفاده شود. این شیوه آبیاری ظرفیت به‌کار برده شدن در طرح‌های تولید محصولات ارگانیک را دارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (کرج) و راهنمایی‌های ارزشمند و صمیمانه آقایان دکتر حمید ملاحسینی معاون پژوهش و فناوری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و مهندس مصطفی صیاد نصیری کارشناس مدیریت حفظ نباتات سازمان جهاد کشاورزی استان انجام شده است. بدینوسیله از همکاری‌های ایشان قدردانی می‌گردد. همچنین یادآور می‌شود این مقاله برگرفته از پروژه تحقیقاتی "تأثیر سطوح مختلف تهویه آب شور بر افزایش مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی به کاهش عملکرد در کشت‌های گلخانه‌ای" به شماره ۹۲۱۱۲ - ۱۴ - ۳۸ - ۲ می‌باشد.

منابع

ترابی، م. ۱۳۹۴. تأثیر سطوح مختلف تهویه آب آبیاری بر پارامترهای رشد و محصول فلفل دلمه‌ای در گلخانه. گزارش نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت: ۴۸۲۵۱.

ترابی، م.، میدمور، د.ج.، والش، ک.ب. و باترای، س.پ. ۱۳۹۳. بهبود یکنواختی توزیع بده هوای خروجی از قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های اکسیژن-آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۴: ۷۹-۸۹.

- Torabi, M. 2010. Optimizing oxygen delivery in subsurface drip irrigation. Ph.D. Thesis. Centre for Plant & Water Science, Faculty of Sciences, Engineering and Health, CQUniversity Australia.
- Torabi, M., Midmore, D.J., Walsh, K.B. and Bhattarai, S.P. 2014. Improving the uniformity of emitter air bubble delivery during oxygation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 140.7: 06014002.
- Torabi, M., Midmore, D.J., Walsh, K.B., Bhattarai, S.P. and Tait, L. 2013. Analysis of factors affecting the availability of air bubbles to subsurface drip irrigation emitters during oxygation. *Irrigation science*. 31.4: 621-630.
- Yan, Z.H.U., Dyck, M., CAI, H.J., SONG, L.B. and Hui, C.H.E.N., 2019. The effects of aerated irrigation on soil respiration, oxygen, and porosity. *Journal of Integrative Agriculture*. 18.12: 2854-2868.
- Zhu, Y., Cai, H., Song, L. and Chen, H. 2019. Aerated Irrigation Promotes Soil Respiration and Microorganism Abundance around Tomato Rhizosphere. *Soil Science Society of America Journal*. 83.5: 1343-1355.
- irrigation and soil aeration management factors. *BMC Plant Biology*. 20.1: 1-15.
- Pendergast, L. and Midmore, D. 2006. Oxygation: Enhanced root function, yields and water use efficiencies through aerated subsurface drip irrigation, with a focus on cotton. In *The 13th Australian Agronomy Conference*, Perth, Australia.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 101.3: 438-447.
- Rodrigues do Nascimento, J.M., Rezende, R., de Castro Seron, C., de Souza, C., Henrique, Á. and Barion Alves Andrean, A.F. 2020. Tomato production as a function of aeration levels after subsurface drip irrigation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50.
- Seifi, A. and Mirlatifi, S.M. 2020. Irrigation water use efficiency and yield of pistachio under aerated subsurface drip irrigation system. *Journal of Agricultural Science and Technology (Accepted)*.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*. 101.3: 426-437.

The Effect of Different Levels of Aerated Saline Water on the Yield and Water Productivity of Tomato Plant in Greenhouse

H.R. Salemi^{1*}, J. Ahmadaali²

Received: Apr.15, 2020

Accepted: Jun.07, 2020

Abstract

An experiment was conducted with greenhouse tomato plants to determine the effects of oxygen enrichment of the irrigation water on yield and yield components. The study was conducted based on randomized complete blocks as a split plot design with 4 replicates and 3 treatments for 2 years. It is possible to simultaneously irrigate and provide roots with sufficient oxygen via injection of ambient air by means of a venturi coupled to a subsurface drip irrigation system (SDI) called as oxygation. In this study, three levels of irrigation water aeration comprising 0 (the Control), 12 and 24 volumetric percent (i.e. air volume/water volume) was applied to tomato plants grown on a saline clay soil and saline water in a greenhouse in Esfahan Agricultural Research Centre. The type and amount of the required fertilizers were determined from the analysis of soil samples. Tomato plant growth was promoted under conditions which facilitated consistently high oxygen in the root zone. The differences between the aeration treatments and the zero aeration control were significant at the 5% level only for the fruit diameter, fruit length, the number of fruit and total fruits weight. There were no significant effects ($P > 0.05$) between control and aeration levels for height plant, root dry mater and plant dry mater. The results also showed that the values of yield and water productivity in the treatment of 24% oxygation compared to the control treatment increased by 21.7% and 21.5%, respectively. Data from this study indicate that tomato production in saline soils and saline water can be improved under SDI if the subsurface drip irrigation is aerated.

Keywords: Oxygation, Salinity, Subsurface drip irrigation, Tomato

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: hrsalemiwk@gmail.com)