تأثیر کاربرد کلسیم و پتاسیم بر مصرف آب و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک با توزیع دینامیک و غیر یک‌نواخت املاح

محمد کوشافر[۱*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۲]، عبدالامیر معزی[۳] و مصطفی مبلی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۰)

چکیده

یکی از مشکلات توزیع غیریک‌نواخت املاح در محیط ریشه، سمیت سدیم و کاهش جذب برخی عناصر، به ویژه کلسیم و پتاسیم، توسط بخشی از ریشه است که در محیط شور رشد می‌کند. این فرضیه وجود دارد که در این سیستم‌ها، افزودن پتاسیم و کلسیم به محلول شور می‌تواند خسارت شوری را کاهش دهد. بر همین اساس، این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد کلسیم و پتاسیم بر عملکرد میوه، مصرف آب و محصول بر قطره (CPD) گوجه‌فرنگی رقم فالکاتو (*Lycopersicon esculentum* var. Falcato F1) در سیستم هیدروپونیک با توزیع دینامیک و غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه انجام شد. در این پژوهش، ریشه‌های گوجه‌فرنگی به دو قسمت تقریباً مساوی تقسیم شدند و نیمی از آنها در محلول غذایی قرار گرفتند. در نیمه دوم سیستم ریشه، محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به تنهایی (N) یا همراه با کلرید پتاسیم ۶ میلی‌مولار (N_k)، کلرید کلسیم ۴ میلی‌مولار (N_c)، ترکیب نمک‌های کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم (به ترتیب ۲ و ۳ میلی‌مولار) (N_{ck}) و محلول غذایی نیم جانسون ($N_{j/2}$) قرار داشت. در تیمار شاهد، دو طرف ریشه در محلول غذایی جانسون کامل (C) قرار گرفت. در کلیه تیمارها، هر هفت روز یکبار، دو قسمت ریشه هر گیاه بین دو طرف محیط کشت جابجا می‌شد. نتایج نشان داد که اعمال شوری ۴۰ میلی‌مولار در یک طرف ریشه باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، ارتفاع شاخساره، قطر ساقه، تعداد برگ و عملکرد میوه در مقایسه با شاهد شد. با افزودن کلسیم، کلسیم+پتاسیم و نیز محلول غذایی نیم جانسون به محیط نیمه شور ریشه، رشد شاخساره، ریشه و عملکرد میوه نسبت به تیماری که یک طرف ریشه در معرض شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود به طور معنی‌داری افزایش یافت. در مقابل، افزودن پتاسیم به محیط نیمه شور ریشه در این سیستم نتوانست آثار زیان‌بار شوری بر گیاه را کاهش دهد و حتی باعث کاهش جزئی عملکرد میوه شد. اعمال شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در یک طرف محیط ریشه باعث کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه شد. افزودن کلسیم، کلسیم+پتاسیم و محلول غذایی نیم جانسون باعث افزایش معنی‌دار CPD شد. افزودن کلسیم، کلسیم+پتاسیم و هم‌چنین محلول غذایی نیم جانسون در سیستم توزیع دینامیک و غیریک‌نواخت نمک در محیط ریشه به ترتیب باعث جایگزینی ۴۸، ۴۳ و ۴۳ درصد آب شور به جای محلول غذایی شد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در سیستم توزیع دینامیک و غیریک‌نواخت املاح در محیط ریشه، در صورت کاربرد کلسیم در محلول شور، می‌توان حدود نیمی از آب مصرفی گیاه را با آب شور جایگزین نمود بدون آن که عملکرد میوه کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: شوری موضعی، گوجه‌فرنگی، هیدروپونیک، کلسیم، پتاسیم

۱. دانشجوی دکتری خاک‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز
۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. استاد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mkmkmkfar@yahoo.com

مقدمه

کمبود کمی و کیفی منابع آب یکی از مهمترین مشکلات توسعه بخش کشاورزی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، است (۴۰). استفاده از آب‌های غیر متعارف نظیر آب‌های شور، به همراه افزایش کارایی مصرف و بهره‌وری آب کشاورزی، از جمله راهکارهای مقابله با کم‌آبی است که خود با شیوه‌های مختلف قابل انجام است.

یکی از ایده‌های موجود برای استفاده از آب‌های شور، توزیع غیریک‌نواخت شوری در محیط کشت و اعمال شوری‌های موضعی و یک‌طرفه است (۱۴ و ۴۱). در سیستم‌های توزیع غیریک‌نواخت نمک، ریشه گیاه به دو قسمت تقسیم شده و یک قسمت در شرایط غیرشور یا در محلول غذایی و قسمت دیگر تحت تنش شوری قرار می‌گیرد (۵، ۱۴، ۲۴، ۴۱، ۵۰، ۵۴ و ۵۸). در این حالت، نمک و عناصر غذایی در محیط ریشه در شرایط غیریک‌نواخت توزیع می‌شوند و در نتیجه واکنش‌های مربوط به جذب عناصر غذایی و آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵۱). در سیستم‌های توزیع غیریک‌نواخت نمک، تغییرات فیزیولوژیک القا شده در گیاه به واسطه حضور بخشی از ریشه در محیط شور سبب افزایش تحمل به شوری و بهبود کیفیت محصول از یک‌طرف و افزایش کارایی مصرف آب از طرف دیگر می‌شود (۵، ۲۴ و ۴۱). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است در صورتی‌که ریشه گیاه در محیط غیریک‌نواخت از نظر شوری و یا خشکی قرار گیرد، سازوکارهای مقابله با تنش شوری در گیاه فعال شده و از این طریق رشد و عملکرد گیاه بهبود می‌یابد (۵ و ۴۱). در سیستم‌های توزیع غیریک‌نواخت نمک، علاوه بر استفاده از آب شور، افزایش کارایی مصرف آب نیز مورد نظر است. بهره‌وری آب به مفهوم تعیین آب مورد نیاز برای تولید مقدار یا ارزش خاصی از محصول (۳۳) و یا نسبت مقدار یا ارزش محصول به حجم یا ارزش آب مصرف شده می‌باشد (۲۲). بهره‌وری آب، عملکرد به ازای واحد حجم آب، یا اصطلاحاً محصول بر قطره (Crop Per Drop, CPD) است. افزایش این شاخص با افزایش عملکرد و یا کاهش مصرف آب امکان‌پذیر است (۳۷ و ۴۸). مول‌هلند و همکاران (۴۱) گزارش کردند که تنش شوری در سیستم توزیع غیر یک‌نواخت نمک باعث کاهش جذب آب توسط گوجه‌فرنگی می‌شود، ضمن آن که عملکرد نیز نسبت به شرایط شوری یک‌نواخت افزایش می‌یابد. در این پژوهش، دو طرف ریشه به ترتیب در شوری‌های ۲/۸ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفته و نتایج با دو تیمار مستقل شوری‌های یک‌نواخت ۲/۸ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر مقایسه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در سیستم توزیع غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه، کاهش عملکرد در دو رقم مورد مطالعه ۹ و ۱۳ درصد در مقایسه با شاهد بود. در حالی‌که در تیمار با شوری یک‌نواخت، این کاهش عملکرد ۳۳٪ بود (۴۱).

یکی از مشکلات سیستم‌های توزیع غیریک‌نواخت نمک، سمیت یون‌های ویژه و کاهش جذب برخی عناصر، به ویژه کلسیم و پتاسیم، توسط بخشی از ریشه است که در محیط شور رشد می‌کند. همین امر سبب از بین رفتن ریشه در این بخش و کاهش کارایی سیستم می‌شود (۵). فلورس و همکاران (۲۴) نشان دادند که افزایش سطح شوری در سیستم توزیع غیریک‌نواخت نمک باعث کاهش رشد ریشه گوجه‌فرنگی و جذب عناصر غذایی شده است. گزارش‌های متعددی در باره افزایش غلظت سدیم در گیاه و به دنبال آن کاهش عملکرد در شرایط شور وجود دارد (۱۹، ۲۰، ۲۵، ۳۸ و ۵۵). افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه باعث کاهش جذب و غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی می‌شود (۴۲ و ۵۶). هم‌چنین گزارش شده که مقدار زیاد کلرید سدیم در محیط کشت باعث بروز کمبود کلسیم در گیاه می‌شود (۴۳). افزایش غلظت سدیم و کلر و کاهش نیترات، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ریشه و ساقه گوجه‌فرنگی در شرایط شور گزارش شده است (۱۹). غلظت زیاد سدیم مانع جذب پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شود (۴). بنابراین، به نظر می‌رسد افزودن کلسیم و پتاسیم به محیط شور می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آثار نامطلوب شوری بر گیاه داشته باشد (۹، ۳۹ و ۴۵). به طوری‌که افزودن ۱۰

میلی‌مولار کلرید کلسیم به محلول ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در محیط کشت باعث افزایش ۶ درصدی زیست‌توده (بیوماس) گیاه سویا شد (۱۰). مطالعات مختلف بر آثار مثبت کاربرد کلسیم در محیط ریشه گوجه‌فرنگی در شرایط شور تأکید دارند (۱۶، ۱۸ و ۳۶)، به طوری‌که افزودن کلسیم به محیط کشت باعث افزایش معنی‌دار عملکرد میوه گوجه‌فرنگی شده است (۵۵). هم‌چنین نتایج تحقیقات مختلف بیانگر نقش پتاسیم در کاهش آثار زیان‌بار شوری در محیط کشت است (۱۳ و ۳۱). لوپز و ساتی (۳۶) نیز افزودن هم‌زمان کلسیم و پتاسیم را در افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی مؤثرتر از افزودن یون پتاسیم به تنهایی می‌دانند.

بنابراین، این فرضیه وجود دارد که در سیستم‌های توزیع غیریک‌نواخت نمک، افزودن پتاسیم و کلسیم به محلول شور در نیمی از محیط ریشه می‌تواند از طریق بهبود نسبت کلسیم و پتاسیم به سدیم، به کاهش خسارت شوری کمک کند. بر همین اساس، این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد کلسیم و پتاسیم بر عملکرد، مصرف آب و CPD گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک با توزیع دینامیک و غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در محل گلخانه‌های تحقیقاتی مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. میانگین دمای گلخانه در طول دوره کشت ۲۹-۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت آن ۴۰ تا ۶۰ درصد اندازه‌گیری شد.

بذرهای گوجه‌فرنگی رقم فالکاتو (*Lycopersicon esculentum* var. Falcato F1) پس از ضد عفونی، در محیط کشت حاوی مخلوط پرلیت و کوکوپیت کاشته شد. این رقم گوجه‌فرنگی در سطح وسیعی در گلخانه‌های اصفهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشاها در مرحله پنج برگی به سیستم کشت موقت هیدروپونیک ساده حاوی محلول نیم جانسون منتقل شدند. شکل‌دهی ریشه در این مرحله انجام شد. برای این کار، قسمت عمده ریشه اصلی و ریشه‌های فرعی بزرگ قطع شدند (۵). مجدداً و به ترتیب ۴ و ۵ روز بعد، قسمت انتهایی ریشه‌های اصلی قطع شد. این مرحله به منظور جلوگیری از رشد یک ریشه اصلی و تحریک رشد ریشه‌های فرعی و جداسازی و تقسیم ریشه به دو بخش در سیستم اصلی انجام شد (۵). در نهایت، پس از ۹ روز، ۲۴ نشای سالم و یک‌نواخت از بین ۵۰ نشای پرورش داده شده انتخاب شده و ریشه آنها به دو قسمت تقریباً مساوی تقسیم شد. سپس نشاها به سیستم اصلی کشت منتقل شدند. محیط کشت این سیستم شامل ۲۴ جعبه سیاه رنگ در دو قسمت کاملاً مجزا و مشابه و به حجم ۲/۷ لیتر برای هر قسمت بود. یک طرف این محیط کشت محلول غذایی قرار داشت، که شامل ترکیبات نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم، منوآمونیوم دی‌هیدروژن فسفات، سولفات منیزیم، کلرید پتاسیم، اسید بوریک، سولفات منگنز، سولفات روی، سولفات مس و منگنز، اسید مولیبدیک و کلات آهن به ترتیب با غلظت ۶، ۴، ۲، ۱، ۰/۰۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۵ میلی‌مولار بود. طرف دوم حاوی محلول کلرید سدیم با غلظت مشخص ۴۰ میلی‌مولار بود که بر حسب تیمار: کلرید پتاسیم ۶ میلی‌مولار، کلرید کلسیم ۴ میلی‌مولار ،ترکیب نمک‌های کلرید کلسیم+ کلرید پتاسیم به ترتیب با غلظت‌های ۲ و ۳ میلی مولار و محلول غذایی نیم جانسون، به تفکیک به آن اضافه شده بود. در تیمار شاهد، در هر دو طرف محیط کشت دو قسمتی، محلول غذایی کامل جانسون قرار داده شد. در یک تیمار دیگر نیز در طرف متغیر محیط کشت دو قسمتی، کلرید سدیم بدون ماده افزودنی قرار داشت. برای ایجاد شرایط دینامیک، محل استقرار ریشه‌ها در کلیه نمونه‌ها هر هفت روز یک بار جابجا شد. بدین ترتیب، این آزمایش با تغییر در محلول طرف شور محیط کشت، شامل شش تیمار شاهد (C)، کلسیمی (N_C)، پتاسیمی (N_K)، کلسیمی-پتاسیمی (N_{CK})، نیم جانسون ($N_{J/2}$) و بدون افزودنی (N) بود.

قالب طرح، بلوک‌های کامل تصادفی بود و هر تیمار در چهار تکرار انجام شد. سمتی از ریشه که در زمان شروع آزمایش در

محلول جانسون بود A و سمت دیگر B نام گرفت. در زمان برداشت نمونه‌ها نیز طرف A ریشه در محلول جانسون و طرف B ریشه در محلول شور قرار داشت. غلظت ۴۰ میلی‌مولار و زمان هفت روز بر اساس نتایج پژوهش قبلی (۳۴) انتخاب شدند. کلیه محلول‌های محیط کشت هر هفته تعویض شده و هوادهی محلول‌ها به صورت پیوسته از طریق پمپ هوا انجام شد.

صفات طول ساقه، قطر ساقه، تعداد برگ، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر میوه در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. مقدار آب مصرفی، روزانه و از طریق اندازه‌گیری کاهش ارتفاع آب به‌دست آمد. مقدار CPD از نسبت عملکرد به حجم آب مصرف شده به‌دست آمد (۱).

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر، ابتدا نمونه‌های برداشت شده گیاهی با استفاده از آب مقطر تمیز و خشک شده و سپس تا رسیدن به وزن ثابت در خشک‌کن هواکش‌دار قرار داده شدند. وزن مشخصی از نمونه پودر شده (۱ گرم) به بوته چینی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. دمای کوره الکتریکی در ۵۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شده و نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت داخل کوره قرار داده شدند. بعد از خنک شدن بوته، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه اضافه شد و روی گرم‌کن به آرامی حرارت داده شد تا زمانی که نیمی از اسید تبخیر شد. محلول تهیه شده از کاغذ صافی عبور داده شده و عصاره صاف شده در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری شد. سپس با آب مقطر، حجم نهایی عصاره به ۵۰ میلی‌لیتر رسید (۲). برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم، از دستگاه شعله‌سنج Corning مدل 410 ساخت کشور انگلستان و برای اندازه‌گیری غلظت فسفر از دستگاه طیف‌سنج UV-visible مدل 6505 ساخت کشور انگلستان استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی (مدل AA200 ساخت کشور مالزی تحت لیسانس شرکت Perkin Elmer آمریکا) و برای عناصر آهن و روی از دستگاه جذب اتمی(Perkin Elmer 3030 ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ مقایسه گردید.

نتایج

ویژگی‌های شاخساره و ریشه

بیشترین میانگین وزن تر و خشک شاخساره، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک دو طرف ریشه و تعداد برگ مربوط به تیمار شاهد بود که دو طرف ریشه در محلول غذایی جانسون قرار داشت (جداول ۱ و ۲). کمترین تعداد برگ، ارتفاع ساقه و وزن تر طرف B ریشه مربوط به تیماری بود که یک طرف ریشه در معرض شوری ۴۰ میلی‌مولار سدیم و طرف دیگر در محلول غذایی قرار داشت. افزودن پتاسیم به بخش حاوی محلول شور محیط کشت سبب کاهش قطر ساقه، وزن تر و خشک شاخساره، وزن خشک دو طرف ریشه و وزن تر طرف A ریشه در مقایسه با تیمار حاوی محلول شور بدون پتاسیم شد.

عملکرد میوه

تیمار شاهد دارای بیشینه وزن میوه (۲۴۱/۲ گرم) بود (شکل ۱). تیمار بدون افزودنی (تیماری که یک طرف ریشه در محلول کلرید سدیم ۴۰ میلی‌مولار و طرف دیگر آن در محلول غذایی جانسون بود) و تیمار کاربرد پتاسیم در بخش شور محیط کشت دارای کمترین عملکرد (به ترتیب ۵۳/۴۷ و ۴۵/۵۳ گرم) بودند. افزودن عناصر غذایی با غلظت معادل محلول غذایی نیم جانسون، کلسیم و پتاسیم به طرف شور محیط کشت به ترتیب ۱۶/۴، ۱۷/۴ و ۲۱/۲ درصد عملکرد میوه را در مقایسه با شاهد کاهش داد. افزودن کلسیم، کلسیم به همراه پتاسیم و یا محلول غذایی نیم جانسون به طرف شور محیط ریشه در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک سبب کاهش عملکرد میوه در مقایسه با شاهد شد. اما اثر منفی شوری بر عملکرد میوه را به خوبی کاهش داد. به طوری که وزن تر میوه در این تیمارها به ترتیب ۷۳/۲، ۷۳/۵ و ۷۱/۸ درصد بیشتر از تیماری بود که در آن یک طرف ریشه در محلول شور قرار داشت.

جدول ۱. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر وزن تر و خشک شاخساره، قطر و ارتفاع ساقه و تعداد برگ

تیمار	تعداد برگ	قطر ساقه (میلی‌متر)	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)
شاهد (C)	۱۶/۰۰ a	۱۵/۲۷ a	۸۰/۲۵ a	۴۱۱/۳۴ a	۶۸/۹۹ a
بدون افزودنی (N)	۹/۲۵ c	۱۰/۸۷ b	۳۳/۵۰ c	۶۳/۲۴ c	۸/۶۲ c
نیم جانسون ($N_{j/2}$)	۱۳/۰۰ b	۱۵/۱۹ a	۷۳/۰۰ ab	۳۸۵/۸۵ a	۶۱/۹۸ a
کلسیمی (N_C)	۱۳/۰۰ b	۱۳/۸۰ a	۷۲/۶۳ ab	۲۵۷/۰۴ b	۳۹/۰۲ b
پتاسیمی (N_k)	۱۰/۵۰ bc	۱۰/۲۹ b	۴۳/۰۰ c	۵۲/۳۸ c	۸/۲۳ c
۲/(کلسیمی+پتاسیمی) (N_{CK})	۱۳/۰۰ b	۱۳/۱۵ a	۶۱/۰۰ b	۲۶۳/۹۰ b	۴۵/۱۰ b

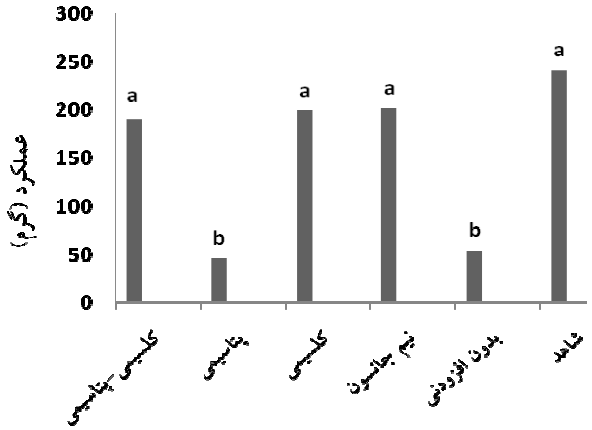
در هر ستون، اعداد دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

تیمار شاهد: دو طرف ریشه در محلول غذایی جانسون، تیمار بدون افزودنی: یک طرف ریشه در محلول غذایی جانسون و طرف دیگر در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، تمار نیم جانسون: یک طرف ریشه در محلول غذایی جانسون و طرف دیگر در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه محلول غذایی نیم جانسون، تیمار کلسیمی: یک طرف محیط ریشه در محلول غذایی جانسون و طرف دیگر در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه ۴ میلی‌مولار کلرید کلسیم، تیمار پتاسیمی: یک طرف ریشه در محلول غذایی جانسون و طرف دیگر در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه ۶ میلی‌مولار کلرید پتاسیم، تیمار ۲/(کلسیمی+پتاسیمی): یک طرف ریشه در محلول غذایی جانسون و طرف دیگر در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه ۶ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۴ میلی‌مولار کلرید کلسیم.

جدول ۲. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر وزن تر و خشک ریشه

	وزن خشک ریشه (گرم)		وزن تر ریشه (گرم)	
تیمار	طرف B	طرف A	طرف B	طرف A
شاهد (C)	۵/۲۲ a	۶/۱۱a	۷۲/۰۲ a	۸۰/۱۶ a
بدون افزودنی (N)	۲/۱۸ cd	۲/۶۰d	۱۸/۱۸d	۳۸/۷۰ d
نیم جانسون ($N_{j/2}$)	۳/۷۵ b	۴/۶۲b	۵۴/۵۱ b	۶۴/۸۳ b
کلسیمی(N_C)	۳/۵۷ b	۳/۸۷bc	۴۶/۲۸ b	۵۱/۲۳ c
پتاسیمی (N_k)	۱/۷۴ d	۲/۰۵d	۳۱/۳۱ c	۳۴/۹۴ d
۲/(کلسیمی+پتاسیمی) (N_{CK})	۳/۱۲ bc	۳/۱۰dc	۴۵/۸۱ b	۵۴/۷۰ bc

توضیحات تیمارها شبیه جدول ۱ است. در هر ستون، اعداد دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.



شکل ۱. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر عملکرد میوه

جدول۳. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر آب مصرفی و CPD

تیمار	CPD (گرم بر لیتر)	کل آب مصرفی (لیتر)	محلول کلرید سدیم مصرفی (لیتر)	محلول غذایی مصرفی (لیتر)
شاهد (C)	۱۳/۴۲ a	۱۸/۰۹ a	۹/۶۰ a	۸/۴۹ a
بدون افزودنی (N)	۶/۵۷ b	۸/۱۳ c	۳/۶۷ c	۴/۴۶b
نیم جانسون ($N_{j/2}$)	۱۳/۳۲ a	۱۵/۰ ab	۶/۴۰b	۸/۵۹ a
کلسیمی (N_C)	۱۴/۶۳ a	۱۳/۷۰ b	۶/۵۲ b	۷/۱۱ a
پتاسیمی (N_k)	۵/۷۹ b	۷/۶۷ c	۳/۳۹ c	۴/۲۸ b
۲/(کلسیمی+پتاسیمی) (N_{CK})	۱۳/۵۳ a	۱۳/۸۵ b	۵/۸۹ b	۷/۸۸ a

توضیحات تیمارها شبیه جدول ۱ است. در هر ستون، اعداد دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

مقدار آب مصرفی و CPD

قرارگیری یک طرف ریشه در محلول حاوی ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، صرف‌نظر از عناصر افزوده شده به این بخش، سبب کاهش مصرف آب شد. به طوری که بیشترین مصرف آب (۱۸/۱ لیتر) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). افزودن پتاسیم به محلول شور محیط ریشه در سیستم توزیع غیریک‌نواخت نمک سبب شد تا کمترین مقدار مصرف آب توسط گوجه‌فرنگی (۷/۶۷ لیتر) حاصل شود. قرار دادن نیمی از ریشه در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب شد مصرف آب نسبت به تیمار شاهد ۵۵٪ کاهش یابد.

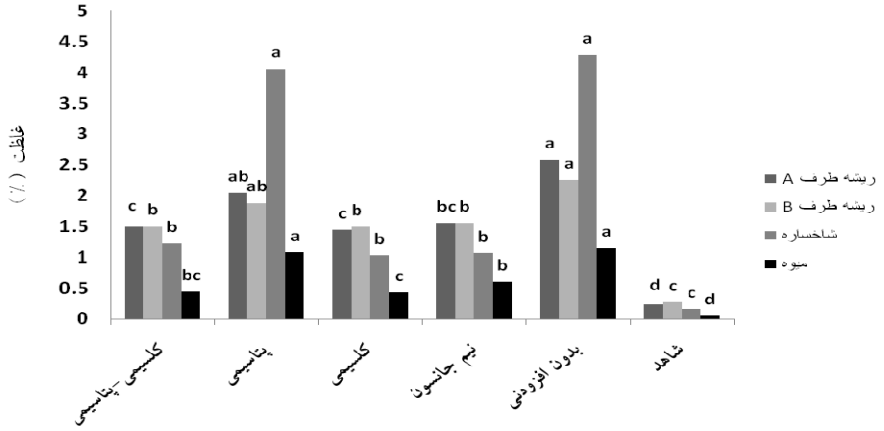
کمترین مقدار CPD مربوط به تیمارهای بدون افزودنی (۶/۵۷ گرم بر لیتر) و کاربرد پتاسیم در بخش شور محیط کشت (۵/۷۹ گرم بر لیتر) بود. افزودن کلسیم به طرف شور محیط ریشه سبب افزایش معنی‌دار CPD شد. به طوری که بیشترین مقدار CPD معادل ۱۴/۶۳ گرم بر لیتر مربوط به این تیمار بود.

غلظت کلسیم، پتاسیم و سدیم

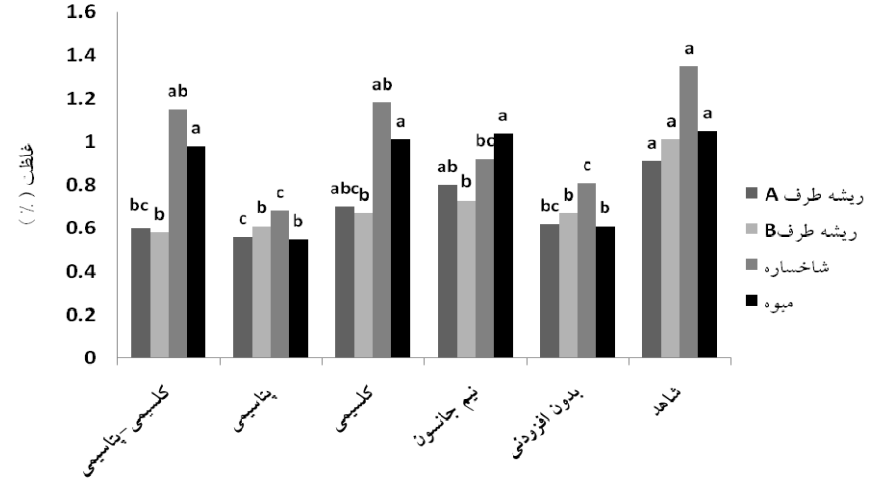
تیماری که دو طرف ریشه در محلول غذایی جانسون قرار داشت (شاهد) دارای بیشترین غلظت کلسیم ریشه، شاخساره و میوه بود (شکل ۲). قرار دادن نیمی از ریشه در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش غلظت کلسیم اندام‌های مختلف گیاه در مقایسه با شاهد شد، اگر چه این کاهش در تیماری که پتاسیم به محلول شور اضافه شده بود بیشتر از سایر تیمارها بود. قرار دادن نیمی از ریشه در محلول ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث شد غلظت کلسیم شاخساره، میوه، طرف A ریشه و طرف B ریشه به ترتیب ۴۰، ۴۲، ۳۲ و ۳۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یابد.

اختلاف معنی‌داری از لحاظ غلظت پتاسیم شاخساره، میوه و دو طرف ریشه بین تیمارهای مختلف مشاهده شد (شکل ۴). قرار دادن نیمی از ریشه در محلول حاوی ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم گیاه در مقایسه با تیمار شاهد شد. اعمال شوری یک‌طرفه و دینامیک در محیط ریشه سبب کاهش غلظت پتاسیم شاخساره، میوه، طرف A ریشه و طرف B ریشه به ترتیب ۳۵، ۱۷، ۵۴ و ۴۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شد. افزودن کلسیم به محلول شور محیط ریشه سبب کاهش غلظت پتاسیم شاخساره در مقایسه با سایر تیمارها شد.

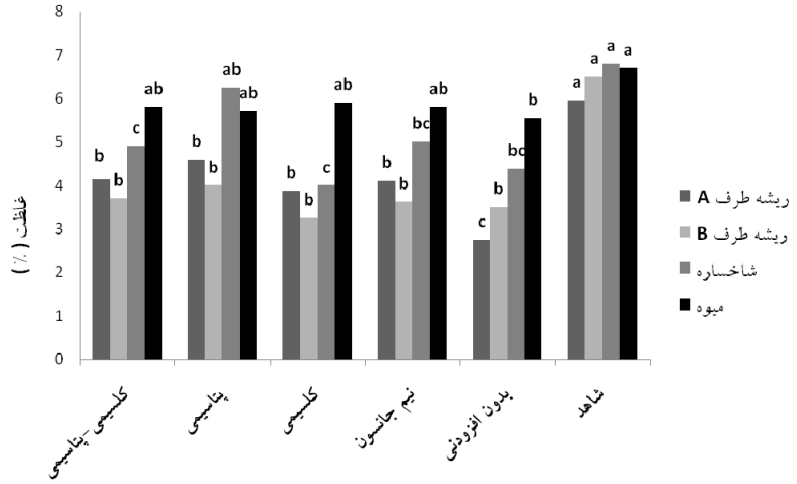
قرار دادن نیمی از ریشه در محلول حاوی ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم ریشه، شاخساره و میوه در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۲). اعمال شوری یک‌طرفه و دینامیک در محیط ریشه سبب شد غلظت



شکل۲. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر غلظت سدیم ریشه، شاخساره و میوه



شکل۳. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر غلظت کلسیم ریشه، شاخساره و میوه



شکل۴. اثر کلسیم و پتاسیم افزوده شده به نیمه شور محیط ریشه گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیریک‌نواخت و دینامیک نمک بر غلظت پتاسیم ریشه، شاخساره و میوه

سدیم شاخساره، میوه، ریشه طرف A و ریشه طرف B به ترتیب ۲۷، ۲۲، ۱۱ و ۹ برابر نسبت به شاهد افزایش یابد.

بحث

صفات رشد و عملکرد میوه

اعمال شوری ۴۰ میلی‌مولار در نیمه محیط کشت ریشه سیستم کشت دو قسمتی و در شرایطی که هر هفت روز محل دو قسمت ریشه بین محلول غذایی و محلول شور جابجا می‌شد باعث کاهش مقادیر وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، قطر ساقه، طول شاخساره، تعداد برگ و عملکرد میوه در مقایسه با تیمار شاهد شد (جداول ۱ و ۲ و شکل ۱). مطالعات قبلی نیز کاهش وزن تر و خشک دو قسمت ریشه، وزن تر و خشک شاخساره، طول گیاه، قطر ساقه و عملکرد گیاه در سیستم‌های توزیع یک‌نواخت نمک را نشان می‌دهد (۱۷، ۲۶، ۲۸، ۴۶، ۵۲، ۵۵ و ۵۷). دارا (۵) و مول‌هلند و همکاران (۴۱) نیز به نتایج مشابهی در کشت گوجه‌فرنگی در سیستم توزیع غیر یک‌نواخت نمک در ناحیه ریشه دست یافتند. از مهمترین دلایل این کاهش در تیمار مذکور، افزایش غلظت سدیم گیاه است (شکل ۲). به طوری که کاهش عملکرد میوه ارتباط مستقیمی با افزایش غلظت سدیم میوه دارد. هم‌چنین وقتی ریشه گوجه‌فرنگی در شرایط غیریک‌نواخت توزیع نمک قرار گرفت، غلظت سدیم در اندام‌های مختلف آن افزایش یافت (۵). اتیا و همکاران (۱۱) در شرایط غیریک‌نواخت توزیع نمک برای گیاه ارابیدپسیس (*Arabidopsis thaliana*) به نتایج مشابهی دست یافتند. افزایش سدیم باعث ایجاد تنش اسمزی، تغییر حجم سلول و تغییر در ساختار پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (۲۱). در شرایط شور، غلظت زیاد سدیم ممکن است غشای سلول‌های ریشه را تخریب کرده و توان آنها را در ورود انتخابی یون‌ها تغییر دهد (۳). هم‌چنین مقدار زیاد کلرید سدیم در محیط کشت باعث بروز کمبود کلسیم (۴۳) و اختلال در عملکرد پتاسیم (۳) در گیاه می‌شود. در پژوهش حاضر نیز مشابه با نتایج مطالعات قبلی (۱۰)، غلظت یون‌های کلسیم و پتاسیم گیاه در تیماری که یک طرف ریشه در معرض شوری ۴۰ میلی‌مولار سدیم مستقر بود، کاهش یافت (شکل‌های ۳ و ۴). افزایش نسبت سدیم به کلسیم در این شرایط باعث کاهش پیوندهای کلسیم با غشای پلاسمایی شده و جریان خروجی کلسیم افزایش می‌یابد که این فرایند به کاهش رشد گیاه منجر می‌شود (۴۵).

با افزودن کلسیم به نیمه شور محیط ریشه، وزن خشک ریشه و شاخساره و عملکرد میوه نسبت به تیماری که یک طرف ریشه در معرض شوری ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود به طور معنی‌داری افزایش یافت (جداول ۱ و۲ و شکل ۱). این افزایش عملکرد نشان می‌دهد که افزودن کلسیم باعث کاهش اثر زیان‌بار شوری شده است. کلسیم عنصر مهمی در افزایش تحمل به شوری گیاه است (۹، ۱۶، ۱۸، ۲۷، ۳۶، ۴۳ و ۵۵). افزودن کلسیم به محیط کشت شور باعث افزایش کلسیم گیاه می‌شود (۴۷) و در اکثر مواقع این افزایش کلسیم، مقاومت گیاه به شوری را بالا می‌برد (۲۰). گوتیر و همکاران (۲۵) کاهش غلظت سدیم گوجه‌فرنگی را در اثر افزودن کلسیم به محیط کشت شور ریشه مشاهده کردند. مقدار مناسب کلسیم، ورود یون سدیم به سلول و عبور آن از دیواره و غشای سلولی را تنظیم می‌نماید. کلسیم نقش خود را در مقابله با شوری از طریق حفظ پایداری سلولی ریشه و اندام‌های هوایی نشان می‌دهد (۴۵). نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط تنش شوری، یون‌های کلسیم از نشت یا خروج یون‌های پتاسیم از ریشه جلوگیری می‌کنند (۳۵). کلسیم به انتقال یون پتاسیم و افزایش نسبت انتخابی پتاسیم به سدیم کمک می‌نماید (۴۶). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که افزودن کلسیم به محیط کشت ریشه از طریق کاهش غلظت سدیم و افزایش غلظت کلسیم گیاه عامل مهمی در افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در سیستم دینامیک تفکیک ریشه برای کاربرد آب‌های شور است.

افزودن پتاسیم به نیمه شور محیط ریشه در این سیستم نتوانست آثار زیان‌بار شوری بر گیاه را کاهش دهد و حتی باعث کاهش جزئی عملکرد میوه در مقایسه با تیمار بدون افزودنی شد (شکل ۱). نتایج نشان داد که افزودن پتاسیم به

طرف شور محیط ریشه تأثیری بر غلظت سدیم گیاه نداشت (شکل ۲) و در نتیجه نتوانست آثار زیان‌بار شوری بر گیاه را کاهش دهد. این در حالیست که بر خلاف نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، برخی مطالعات قبلی بر نقش مثبت پتاسیم در کاهش آثار زیان‌بار شوری در گوجه‌فرنگی و افزایش رشد رویشی و عملکرد میوه تأکید دارد (۱۳، ۲۶، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۹). در مقابل، بعضی از محققین نیز مشابه با نتایج پژوهش حاضر گزارش کردند که با افزودن پتاسیم به محیط کشت، آثار شوری کاهش نیافت (۶ و ۳۶). بالیو و ایبرو (۱۲) با بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر گوجه‌فرنگی نشان دادند که پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گوجه‌فرنگی نداشت. گرجی و همکاران (۷) در پژوهشی با گیاه گلرنگ و یورتنسون و همکاران (۵۸) با گوجه‌فرنگی گزارش کردند که پتاسیم اضافه شده به محیط ریشه تأثیری بر کاهش آثار نامطلوب شوری بر گیاه نداشت. بترینی و همکاران (۱۵) در مطالعات خود نتیجه گرفتند که افزایش مقدار پتاسیم در محیط شور ریشه گوجه‌فرنگی مقدار جذب سدیم را کاهش داد، ولی اثری بر عملکرد میوه نداشت. در تحقیقات ساراس و همکاران (۴۴) نیز مشاهده شد که سطوح اضافی پتاسیم، غلظت سدیم برگ‌های گوجه‌فرنگی را کاهش داد، ولی اثر مثبتی بر عملکرد میوه نداشت. به نظر می‌رسد افزودن پتاسیم به محیط ریشه تغذیه شده با محلول شور با کاهش کسر مولی کلسیم (نسبت کلسیم به مجموع سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم) و در نتیجه تشدید کمبود کلسیم، سبب کاهش جزئی عملکرد میوه شده است. آدامز (۸) نیز اظهار داشته است که افزودن یون پتاسیم به محلول غذایی شور به دلیل اثر متقابل کلسیم و پتاسیم، غلظت کلسیم گیاه را کاهش می‌دهد.

افزایش توأم کلسیم- پتاسیم و هم‌چنین عناصر غذایی با غلظت معادل محلول غذایی نیم جانسون به نیمه شور محیط ریشه، مشابه تیمار کلسیمی، باعث افزایش عملکرد میوه شد. ولی اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها با تیمارهای شاهد و کلسیمی مشاهده نشد (شکل ۱). با توجه به توان کلسیم در کاهش آثار شوری، کلسیم عامل مؤثر این افزایش عملکرد می‌باشد. لوپز و ساتی (۳۶) نیز افزودن هم‌زمان کلسیم و پتاسیم به محیط کشت شور گوجه فرنگی را مؤثرتر از پتاسیم تنها بیان کردند (۳۶).

مصرف آب

در پژوهش حاضر، شوری ۴۰ میلی مولار کلرید سدیم در یک طرف محیط کشت ریشه در همه تیمارها، بجز تیماری که عناصر معادل غلظت نیم جانسون به نیمه شور ریشه اضافه شده بود، باعث کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). نتایج تحقیقات قبلی نیز نشان داده که با افزایش شوری، به دلیل ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی ریشه، جذب آب گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد (۴۶). هم‌چنین گزارش شده که افزایش جزئی شوری کلرید سدیم در بافت کالوس باعث کاهش هدررفت آب شده و روشی اقتصادی برای تنظیم شرایط اسمزی گیاه است (۲۱). کاهش زیست‌توده شاخساره (۴۶) و افزایش تولید هورمون آبسیزیک اسید در گیاه (۳۲ و ۳۸) از سازوکارهایی است که در نهایت منجر به بهبود کارایی مصرف آب در این شرایط می‌شود (۵۳). افزایش هورمون آبسیزیک اسید در بافت‌های گیاهی معمولاً باعث کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه گیاه می‌شود (۵۳). در پژوهش حاضر، تیمارهای بدون افزودنی، نیم جانسون، کلسیمی، پتاسیمی و کلسیمی- پتاسیمی به ترتیب ۵۵، ۱۷، ۲۴/۳، ۵۷/۶ و ۲۳/۵ درصد جذب آب کمتری نسبت به شاهد (محلول جانسون در دو طرف ریشه) داشتند. بر این اساس، در ناحیه‌ای از ریشه که در محلول شور قرار داشت سازوکارهای مقابله با شوری فعال شدند و در نتیجه مصرف آب کاهش یافت (۲۱، ۳۲، ۳۸ و ۴۶). در همین زمان، طرف دیگر ریشه گیاه در محلول غذایی قرار داشته و جذب آب و عناصر غذایی به طور طبیعی انجام شده است. در این پژوهش، جابجایی ریشه باعث شد سمیت یون سدیم و کمبود مواد غذایی به طور پیوسته یک طرف ریشه را تحت تأثیر قرار ندهد و ریشه تحت تنش به

صورت متناوب در دوره‌های هفت روزه در شرایط طبیعی قرار گیرد. در تحقیقات قبلی، با توزیع غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه، سمیت سدیم و کمبود مواد غذایی به عنوان یک عامل محدودکننده رشد و نمو گیاه گزارش شده است.

گرچه با توجه به کمبود منابع آب، کاهش مصرف آب یک امتیاز محسوب می‌شود ولی مقدار مصرف آب در ارتباط با عملکرد قابل بحث است. به عبارت دیگر، کاهش مصرف آب تا اندازه‌ای مناسب است که عملکرد در حد مطلوبی باشد. بنابراین، عملکرد و مقدار مصرف آب باید با هم در نظر گرفته شود (۲۳). برهمین اساس، پارامتر CPD اهمیت بیشتری نسبت به مقدار خالص آب مصرفی دارد (۴۸).

در تیماری که نیمی از ریشه در معرض شوری قرار داشت و هم‌چنین در تیماری که به قسمت شور محیط کشت پتاسیم اضافه شده بود، CPD به‌طور معنی‌داری کمتر از بقیه تیمارها بود (جدول ۳). مهمترین دلیل کاهش CPD در این دو تیمار، عملکرد کم میوه بود. افزودن کلسیم، کلسیم- پتاسیم و عناصر با غلظت معادل محلول نیم جانسون باعث افزایش معنی‌دار CPD شد و از این لحاظ اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها با شاهد مشاهده نشد. کاهش مصرف آب و عملکرد مناسب در این تیمارها دو عامل اصلی افزایش CPD است.

بررسی مصرف آب به تفکیک دو طرف محیط کشت نشان داد که مقدار مصرف محلول غذایی و محلول کلرید سدیم به ترتیب در تیمار بدون افزودنی ۵۵ و ۴۵ درصد، در تیمار نیم جانسون ۵۷ و ۴۳ درصد، در تیمار کلسیمی ۵۲ و ۴۸ درصد، در تیمار پتاسیمی ۵۶ و ۴۴ درصد و در تیمار کلسیمی- پتاسیمی ۵۷ و ۴۳ درصد از کل آب مصرفی بود. این مقادیر در دو طرف تیمار شاهد ۵۳ و ۴۷ درصد بود (جدول ۳). یعنی افزودن عناصر کلسیم، کلسیم- پتاسیم و هم‌چنین نیم جانسون در سیستم توزیع دینامیک و غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه باعث کاهش معنی‌دار مصرف آب و نیز دستیابی به عملکرد و CPD زیاد (قابل مقایسه با شاهد) شد. علاوه بر این، افزودن عناصر کلسیم، کلسیم- پتاسیم و هم‌چنین نیم جانسون در سیستم توزیع دینامیک و غیر یک‌نواخت نمک در محیط ریشه به ترتیب باعث جایگزینی ۴۸، ۴۳ و۴۳ درصد آب شور به جای محلول غذایی شد.

نتیجه‌گیری

افزودن کلسیم و یا محلول نیم جانسون در روش دینامیک توزیع غیریک‌نواخت نمک در محیط ریشه گیاه گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک باعث کاهش آثار زیان‌بار شوری بر رشد و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی و تولید عملکرد مشابه تیمار شاهد (محلول غذایی در دو طرف ریشه) شد. هم‌چنین افزودن کلسیم در روش دینامیک توزیع غیریک‌نواخت نمک باعث افزایش CPD، کاهش مصرف آب و جایگزینی در حدود نیمی از محلول غذایی با آب شور شد. افزودن کلسیم به نیمه شور محیط ریشه باعث دستیابی به بیشترین مقدار CPD شد. براساس نتایج پژوهش حاضر، با افزودن کلسیم به سیستم دینامیک توزیع غیریک‌نواخت نمک در محیط ریشه گیاه، ضمن حصول عملکرد مورد نظر، صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف آب انجام خواهد شد که این موضوع با توجه به بحران آب در ایران و جهان اهمیت شایانی دارد. انجام این پژوهش در غلظت‌های متفاوت عناصر مکمل و هم‌چنین سطوح مختلف شوری می‌تواند باعث یافتن سطوح بالاتر شوری برای کاربرد در این سیستم شود.

منابع مورد استفاده

۱. احسانی، م. و ه. خالدی. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۲. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶ الف. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۶ ب. مبانی تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۹. مباحث پیشرفته در تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. دارا، ع. ۱۳۸۷. اثر توزیع یک‌نواخت و غیر یک‌نواخت نمک بر رشد، عملکرد و وضعیت تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶. فرزانه، ن.، ا. گلچین و ک. هاشمی مجد. **۱۳۸۹**. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و پتاسیم مکمل محلول غذایی بر عملکرد و غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ گوجه‌فرنگی. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۱): ۲۷-۳۳.

۷. گرجی، م.، م. زاهدی و ا. ح. خوشگفتارمنش. ۱۳۸۹. تأثیر پتاسیم و کلسیم بر پاسخ گلرنگ به شوری ناشی از کلرید سدیم در محیط آبکشت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۳(۱۴): ۱-۷.

8. Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. J. Hort. Sci. 66: 201-207.
9. Afzal, I., S. Rauf, S.M.A. Basra and G. Murtaza. 2008. Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. Plant, Soil and Environ. 54: 382-388.
10. Arshi, A., A. Ahmad, I. M. Aref and M. lqbal. 2010. Calcium interaction with salinity- induced effects on growth and metabolism of soybean (*Glycine max* L.) cultivars. J. Environ. Biol. 31: 795-801.
11. Attia, H., N. Karray, M. Rabhi and M. Lachaal. 2008. Salt-imposed restrictions on the uptake of macro elements by roots of *Arabidopsis thaliana*. Acta Physiol. Plantarum 30: 723-727.
12. Balliu, A. and A. Ibro. 2002. Influence of different levels of potassium fertilizers on growth, yield and ascorbic acid content of tomato fruit grown in non-heated greenhouse. Intl. Soc. Hort. Sci. 579: 385-388.
13. Bar-Tal, A., S. Feigenabaum and D.L. Sparks. 1990. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. Irrig. Sci. 12: 27-35.
14. Bazihizina, N., T.D. Colmer and E.G. Barrett-Lennard. 2009. Response to non-uniform salinity in the root zone of the halophyte *Atriplex nummularia*: Growth, photosynthesis, water relations and tissue ion concentrations. Annals Bot. 104: 737-745.
15. Botrini, L., M.L. Di Paola and A. Graifenberg. 2000. Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hydroponic cultivation under saline-sodic stress. HortSci. 35: 1220-1222.
16. Cabanero, F.J., V. Martinezand and M. Carvajal. 2004. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants. Plant Sci. 166: 443-450.
17. Chookhampaeng, S., W. Pattanagul and P. Theerakolpisut. 2007. Effect of salinity on growth, activity of antioxidant enzymes and sucrose content in tomato (*Lycopersicon esculentom* Mill.) at the reproductive stage. Sci. Asia 34: 69-75.
18. Colmer, T.D., T.W.M. Fan, R.M. Higashi and A. Lauchli. 1996. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the ionic relations and proline accumulation in the primary root-tip of sorghum bicolor. Physiol. Plantarum 97: 421-424.
19. Cuartero, J. and R. Fernandez-Munoz. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78: 83-125.
20. Dogan, M., R. Tipirdamaz and Y. Demir. 2010. Salt resistance of tomato species in sand culture. Plant Soil Environ. 56: 499-507.
21. Errabii, T., C.B. Gandonou, H. Essalmani, J. Abrini, M. Idaomar and N.S. Senhaji. 2007. Effects of NaCl and mannitol induced stress on sugarcane (*Saccharum* sp.) callus cultures. Acta Physiol. Plantarum 29: 95-102.
22. FAO. 2003. Agriculture, Food and Water. A Contribution to the World Water Development Report.
23. Fedaku, Y. and T. Teshome. 1998. Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia. Agric. Water Manage. 35: 201-207.
24. Flores, P., M.A. Botella, V. Martinez and A. Cerda. 2002. Response to salinity of tomato seedlings with a split-root system: Nitrate uptake and reduction. J. Plant Nutr. 25: 177-187.
25. Gautier, H., F. Lopez-Lauri, C. Massot, R. Murshed, I. Marty, D. Grasselly, C. Keller, H. Sallanon and M. Genrad. 2009. Salinity on tomato fruit ascorbate content and enzymatic activities related to ascorbate recycling. Func. Plant Sci. and Biotechnol. 4(Special Issue I): 66-75.
26. Ghazi, N.A. 2000. Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. J. Plant Nutr. 23: 1-8.
27. Gonzalez- Fernandez, J.J. 1996. Tolerancia a la salinidad en el tomate en estado de plantula y en planta adulta. Tesis doctoral, Cordoba University, 269 p.
28. Hajar, A.S., A.A. Malibari, H.S. Al-Zahrani and O.A. Almaghrabi. 2006. Responses of three tomato cultivars to sea water salinity. I. Effect of salinity on the seedling growth. African J. Biotechnol. 5: 855-961.

29. Idowo, M.K. and E.A. Aduayi. 2006. Effects of sodium and potassium application on water content and yield of tomato in southwestern Nigeria. J. Plant Nutr. 29: 2131-2145.
30. Karimi, E., A. Abdolzadeh and H.R. Sadeghipour. 2009. Increasing salt tolerance in olive, *Olea europaea* L. plants by supplemental potassium nutrition involves changes in ion accumulation and anatomical attributes. Intl. J. Plant Produc. 3: 49-60.
31. Khalafalla, M.M., M.G. Osman and E. Agabna. 2010. Potassium and calcium nitrate ameliorates the adverse effect of NaCl on in vitro induced tomato (*Lycospersicon escolentum* Mill.). Intl. J. Current Res. 6: 68-72.
32. Kidra, C., M. Cetin, Y. Dasgan, S. Topcu, H. Kaman, B. Ekici, M.R. Derici and A.L. Ozguven. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. Agric. Water Manage. 69: 191-201.
33. Kijne, J., J. Barron, H. Hoff, J. Rockström, I. Karlberg, J. Gowing, S.P. Wani and D. Wichelns. 2009. Opportunities to increase water productivity in agriculture with special reference to Africa and South Asia. Project Report, Stockholm Environment Institute.
34. Koushafar, M., A.H. Khoshgoftarmanesh, A.A. Moezzi and M. Mobli. Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and crop per drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. Sci. Hort. 131: 1–5.
35. Kuiper, P.J.C. 1985. Environmental changes and lipid metabolism of higher plants. Plant Physiol. 40: 251-259.
36. Lopez, M.V. and S.M.E. Satti. 1996. Calcium and potassium– enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. Plant Sci. 114: 19-27.
37. Luquet, D., A. Vidal, M. Smith and J. Dauzat. 2005. More crop per drop: How to make it acceptable for farmers? Agric. Water Manage. 76: 108-119.
38. Maggio, A., G. Raimondi, A. Martino and S.D. Pascale. 2007. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. Environ. Exper. Bot. 59: 276-282.
39. Maser, P., M. Gierth and I.I. Schroeder. 2002. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plant. Plant and Soil 247: 43-54.
40. Molden, D., R. Sakthivadivel and Z. Habib. 2001. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia. Research Report 49, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
41. Mulholland, B.J., M. Fussell, R.N. Edmondson, A.J. Taylor, J.M.T. Mckee and N. Parsons. 2002. The effect of split-root salinity stress on tomato leaf expansion, fruit yield and quality. J. Hort. Sci. and Biotechnol. 77: 509-519.
42. Nakamura, Y., K. Tanaka, E. Ohta and M. Sakata. 1990. Protective effect of external Ca^{2+} on elongation and the intracellular concentration of K^+ in intact mungbean roots under high NaCl stress. Plant Cell Physiol. 31: 815-821.
43. Navarro, J.M., V. Martinez and M. Carvajal. 2000. Ammonium bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. Plant Sci. 157: 89-96.
44. Psarras, G., M. Bertaki and K. Chartzoulakis. 2008. Response of greenhouse tomato to salt stress and K^+ supplement. Plant Biosys. 142: 149-153.
45. Rengel**,** Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. Plant, Cell and Environ. 15: 625-632.
46. Romero- Aranda, R., T. Soria and J. Cuartero. 2001. Tomato plant- water uptake and plant water relationships under saline growth conditions. Plant Sci. 160: 265-272.
47. Satti, S.M. and R.A. Al-Yahyai. 1995. Salinity tolerance in tomato: Implications of potassium, calcium and phosphorus. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26: 2749-2760.
48. Seckler, D. 1996. The New Era of Water Resources Management: From “Dry” to “Wet” Water Savings. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
49. Skorzynska-Polit, E., A. Tukendorf, E. Selstam and T. Baszynski. 1998. Calcium modified Cd effects on runner bean plants. Environ. Exper. Bot. 40: 275-286.
50. Sonneveld, C. and C. De Kreij. 1999. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. Plant and Soil 209: 47-56.
51. Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science.
52. Tantawy, A.S., A.M.R. Abdel-Mawgoud, M.A. El-Nemr and Y.G. Chamoun. 2009. Alleviation of salinity effects on tomato plants by application of amino acids and growth regulators. Europ. J. Sci. Res. 30: 484-494.
53. Tardieu, F., B. Parent and T. Simonneau. 2010. Control of leaf growth by abscisic acid: Hydraulic or non-hydraulic processes*?* Plant, Cell and Environ. 33: 636-647.
54. Taylor, R.M. and L.B. Fenn. 1985. Translocation of water within root systems of pecan, grape, and tomato. HortSci. 20: 104-105.
55. Tuna, A.L., C. Kaya, M. Ashraf, H. Altunlu, I. Yokas and B. Yagmur. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. Environ. Exper. Bot. 59: 173-178.

56. Tzortzakis, N.G. 2010. Potassium and calcium enrichment alleviates salinity-induced stress in hydroponically grown endives. Hort. Sci. 37: 155-162.
57. Yaling, L. and C. Stanghellini. 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. Sci. Hort. 89: 9-21.
58. Yurtseven, E., G.D. Kesmez and A. Unlukara. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native Central Anatolian tomato species. Agric. Water Manage. 78: 128-135.