

اثر سطوح آبیاری و عناصر کم‌مصرف بر رشد و عملکرد گوجه گیلاسی در کشت بدون خاک

معروف خلیلی^{۱*}، سهیلا شهرکی، عیسی پیری، ابوالفضل توسلی و محمدرضا نقوی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱)

چکیده

به منظور بررسی اثر حجم آبیاری و مصرف محلول‌های غذایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه گیلاسی، آزمایش گلخانه‌ای در شهرستان زاهدان به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دور آبیاری در سه سطح I₁: ۱۰، I₂: ۱۵ و I₃: ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز به‌عنوان عامل اصلی و غلظت‌های مختلف عناصر کم مصرف در محلول غذایی هوگلند در ۳ سطح N₁: کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند، N₂: کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت معادل محلول هوگلند، و N₃: کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت یک و نیم برابر محلول هوگلند، به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه در هر چین، عملکرد نهایی میوه، وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز همراه با محلول غذایی کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت یک و نیم برابر محلول هوگلند حاصل شد. بیش‌ترین کارایی مصرف آب نیز از تیمارهای ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی یک و نیم برابر غلظت عناصر کم مصرف در محلول هوگلند به ترتیب با میانگین‌های ۶/۵۵ و ۶/۱۰ گرم عملکرد نهایی میوه تازه هر بوته بر لیتر آب مصرفی هر بوته حاصل شد. پژوهش‌های روابط همبستگی صفات نیز بیانگر رابطه مثبت و معنی‌دار بین عملکرد نهایی میوه با تمامی صفات مورد بررسی بود به گونه‌ای که بیش‌ترین همبستگی ($r = 0/93$) را با صفت تعداد میوه در بوته و کم‌ترین همبستگی ($r = 0/72$) را با صفت قطر ساقه داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، عملکرد، گلخانه، گوجه گیلاسی، محلول هوگلند

مقدمه

و کیفیت محصولات کشاورزی در تقابل با شرایط نامساعد رشدی گیاهان تلاش می‌کنند. چنانچه شرایط رشدی مطلوب و عناصر غذایی موردنیاز گیاهان ضمن اعمال مدیریت باغبانی صحیح تأمین شود کشت بدون خاک می‌تواند به‌عنوان یک روش تولید غذا پیشنهاد و عملی شود. تولید محصولات با کیفیت خوب و عملکرد زیاد در شرایطی که در کشت خاکی مقدور نباشد به‌وسیله کشت بدون خاک امکان‌پذیر است. در کشت بدون خاک باوجود نیاز به

خاک و آب دو منبع حیاتی برای کشت و پرورش گیاهان هستند که امروزه با توجه به محدودیت منابع آبی و کاهش کیفیت خاک‌ها تولید و فراهم آوردن غذا برای جمعیت روزافزون جهان مستلزم استفاده از روش‌های جایگزین تولید و پرورش گیاه است. از روش‌های جایگزین استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای و تولید به روش کشت بدون خاک است (۲۷). سال‌هاست که پژوهشگران و کشاورزان به‌منظور افزایش کمیت

۱- بخش کشاورزی دانشگاه پیام نور، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: makhalily@yahoo.com

نظر صفات فوق کمتر آسیب می‌بیند.

مهم‌ترین عامل مرتبط با تولید محصول، علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاه و استفاده از ارقام مناسب، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش چشمگیری در افزایش عملکرد دارد (۲۶). در همین ارتباط، نقش برخی عناصر کم‌مصرف از اهمیت خاصی برخوردار است (۱۳ و ۱۴).

در بسترهای کشت بدون خاک، گیاهان در طول دوره رشد مرتباً با سطوح ناکافی از غلظت عناصر کم‌مصرف مواجه می‌شوند. بنابراین بهینه‌سازی غلظت عناصر غذایی برای به‌دست آوردن بیشینه عملکرد و کیفیت این محصولات ضروری است (۲۱). چرا که سطوح بیش از حد زیاد عناصر سبب ایجاد شوک اسمزی، سمیت یونی و عدم تعادل یونی می‌شود و همچنین سطوح بیش از حد پایین عناصر منجر به کمبود عناصر غذایی می‌شود (۱۰ و ۱۵).

در سال‌های اخیر تلاش‌های متعددی برای برآورد محدوده مطلوب غلظت یونی کل در محلول‌های غذایی برای تولید محصولات گلخانه‌ای انجام گرفته است (۱۳ و ۱۴). مثلاً گزارش شده است که افزایش غلظت پتاسیم محلول غذایی بیشتر از غلظت کاربردی در محلول هوگلند منجر به افزایش عملکرد و کیفیت فلفل دلمه‌ای می‌شود (۱۶). در پژوهش دیگری، شاهین و همکاران (۲۳) به ارزیابی تأثیر مقادیر ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی با دو نوع کود فسفات بر کارایی مصرف آب، عملکرد محصول و مواد جامد محلول در گیاه گوجه‌فرنگی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد محصول معنی‌دار بود و بیش‌ترین تولید محصول در تیمار ۱۰۰ درصد و کم‌ترین محصول در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. در آزمایشی دیگر نشان داده شد که بیش‌ترین عملکرد گوجه‌فرنگی و درصد ماده خشک میوه و برگ با تغذیه برگ آهن و منگنز حاصل شد (۲۸). همچنین در پژوهشی به‌منظور تعیین نیاز آبی گیاه و نقش عناصر کم‌مصرف آهن و روی بر عملکرد میوه و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی مشاهده شد که مصرف آهن

تخصص کافی و سرمایه اولیه نسبتاً زیاد در مقایسه با کشت خاکی، مزایای بسیاری مانند عملکرد زیاد، نیاز به نیروی کار کم، آسان‌بودن کارها، عدم نیاز به رعایت تناوب کشت، کنترل علف‌های هرز، یکنواختی رشد گیاهان، کمترین هدررفت آب، عدم رقابت گیاهان برای آب و عناصر غذایی، امکان تأمین مواد غذایی متناسب با نیازهای گیاهان و استفاده کمتر از مواد شیمیایی و در نتیجه سالم‌تر بودن محصولات کشاورزی مشاهده می‌شود (۲۷).

گوجه‌فرنگی گیلاسی یا گوجه گیلاسی یا گوجه مینیاتوری (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) میوه‌ای گرد و کوچک است که حاصل ترکیب ژنتیکی گوجه انگورکی و گوجه‌فرنگی اهلی است (۱۷). اندازه این گوجه‌ها از یک بند انگشت تا اندازه توپ گلف متفاوت است و شکل آنها می‌تواند کروی تا اندکی مستطیلی باشند. اگرچه گوجه گیلاسی معمولاً قرمز است اما در انواع دیگری مانند زرد، سبز و سیاه نیز وجود دارد. گوجه‌فرنگی گیلاسی یکی از منابع سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و از مهم‌ترین محصولات باغی جهان در ارتباط با سلامت و تغذیه انسان به شمار می‌آید (۱۷). از این‌رو انجام پژوهش درباره کشت و کار گوجه گیلاسی و افزایش عملکرد آن مورد توجه قرار گرفته است (۸).

به‌منظور بررسی اهمیت تأمین نیاز آبی گیاه بر ویژگی‌های رشدی گوجه گیلاسی کویاگو-کروز و همکاران (۴) نشان دادند که تنش آبی در مقایسه با تیمار بدون تنش باعث کاهش وزن میوه و تعداد میوه در هر خوشه گوجه گیلاسی در رقم Summerbrix شد. در رقم Lazarino، کاهش عملکرد تنها در پایان دوره برداشت مشاهده شد و این کاهش مربوط به کاهش وزن میوه و تعداد گل آذین بود. سانچز-رودریگوئز و همکاران (۲۲) در ارقام مختلف گوجه گیلاسی تحت شرایط تنش آبی مختلف بیان کردند که تنش آبی سبب کاهش عملکرد و برخی ترکیبات در میوه ارقام مختلف می‌شود و در بین ارقام مورد بررسی نیز رقم Zarina تحمل بیشتری به تنش داشته و از

کاربرد عناصر کم‌مصرف با غلظت یک و نیم برابر محلول هوگلند بودند. در جدول (۱) فرمول هر یک از محلول‌های غذایی N_1 ، N_2 و N_3 ارائه شده است. قابل ذکر است فرمول غذایی هوگلند توسط هوگلند و آرنون در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه کالیفرنیا ارائه شده و برای کاشت انواع گیاهان پرورشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱).

بستر کشت مکان آزمایش در اوایل تیرماه آماده شد. بستر گلدان‌ها از پرلیت، کوکوپیت و پیت ماس به ترتیب به نسبت حجمی ۲۰، ۵۰ و ۳۰ تشکیل شد. در این آزمایش گلخانه‌ای بذور گوجه گیلاسی رقم هیبرید فیولین، درون گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و با عرض دهانه ۱۵ سانتی‌متر کشت شدند (شکل ۱). گلدان‌ها برای تهیه نشاء ضد عفونی و مرتب شدند در مکان مناسب از نظر دما، نور، تهویه قرار گرفتند. در هر گلدان یک بذر گوجه گیلاسی کشت شد. آبیاری گلدان‌ها به صورت قطره‌ای از طریق تیپ تا زمان سبز شدن بذور ادامه پیدا کرد. پس از ۴۰ روز از رشد گیاه در هر گلدان، نشاء‌ها به کارتن پلاست با بستر کوکوپیت و پرلیت منتقل شد (شکل ۲). برای هر تیمار یک کارتن پلاست در نظر گرفته شد. به گونه‌ای که طول هر کارتن پلاست ۲۰ متر، با عرض ۵۰ سانتی‌متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر بود. فواصل کارتن پلاست‌ها از یکدیگر نیز یک متر در نظر گرفته شد. در هر کارتن پلاست یک ردیف کاشت انجام گرفت. بدین صورت که نشاء در دو ردیف با فاصله ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر به صورت زیگزاگی کشت شد. به منظور استقرار نشاء‌ها ۲ نوبت آبیاری بدون اعمال تیمارها انجام گرفت. برای آبیاری هر ردیف کشت، یک لوله درپردار استفاده شد. لوله درپردار مورد استفاده در هر کارتن پلاست از شرکت یورودریپ با قطر ۱۷ میلی‌متر، دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت و فواصل قطره‌چکان ۵۰ سانتی‌متر تهیه شد. اعمال تیمارهای محلول غذایی نیز هر روز همراه با آب آبیاری انجام شد. بدین صورت که محلول‌های غذایی در بشکه ۲۰۰ لیتری آماده شده و به وسیله پمپ و سیستم آبیاری قطره‌ای در اختیار گیاهان قرار داده می‌شد. برای

روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شد. از طرف دیگر افزایش مصرف آب از طریق افزایش عملکرد، کارایی مصرف آب را به طور معنی‌داری افزایش داد (۲۵). در رابطه با نقش عنصر کم‌مصرف بُر (B) بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد گوجه‌فرنگی گزارش شد که حداکثر عملکرد میوه تولید شده گوجه‌فرنگی در تیمار مصرف بُر به دست آمد (۹).

گلخانه‌داران معمولاً برای کشت و کار گوجه گیلاسی از همان محلول‌های غذایی پیشنهاد شده برای گوجه‌فرنگی استفاده می‌کنند و تاکنون بررسی دقیقی در زمینه حجم آبیاری و نیاز غذایی این گیاه انجام نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی مقادیر مختلف حجم آب آبیاری و غلظت‌های مختلف عناصر کم‌مصرف بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد گوجه‌فرنگی گیلاسی در شرایط کشت بدون خاک به اجرا در آمده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مجتمع گلخانه‌ای واقع در روستای سیاهدک شهرستان زاهدان اجرا شد. شهرستان زاهدان در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک با میانگین بارندگی ۷۲ میلی‌متر در سال است.

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد، که تیمارهای آزمایشی شامل حجم آبیاری در سه سطح $I_1: 10$ ، $I_2: 15$ و $I_3: 20$ لیتر آب در متر مربع در روز در هر کارتن پلاست به ابعاد 20×5 متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر به عنوان عامل اصلی و غلظت‌های مختلف عناصر کم‌مصرف در محلول غذایی هوگلند در سه سطح N_1 : کاربرد عناصر کم‌مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند، N_2 : کاربرد عناصر کم‌مصرف با غلظت معادل محلول هوگلند، و N_3 :

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی گوجه گیلاسی.

Table 1. Nutrients concentration in nutrient solution for cherry tomato.

واحد Unit	غلظت عناصر کم مصرف یک و نیم برابر غلظت محلول هوگلند Concentration of micronutrients one and a half times the concentration of Hoagland's solution (N ₃)	محلول هوگلند Hoagland solution (N ₂)	غلظت عناصر کم مصرف نصف برابر غلظت محلول هوگلند Concentration of micronutrients half concentration of Hoagland's solution (N ₁)	فرمول شیمیایی Chemical formula	محلول پایه Base solution
گرم در ۱۰۰ لیتر آب gram in 100 liters of water	1181	1181	1181	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	نیتрат کلسیم Calcium nitrate
گرم در ۱۰۰ لیتر آب gram in 100 liters of water	505.5	505.5	505.5	KNO ₃	نیترات پتاسیم Potassium nitrate
گرم در ۱۰۰ لیتر آب gram in 100 liters of water	115	115	115	NH ₄ (H ₂ PO ₄)	آمونیم فسفات دی هیدروژن Ammonium dihydrogen phosphate
گرم در ۱۰۰ لیتر آب gram in 100 liters of water	439	439	439	MgSO ₄ .7H ₂ O	سولفات منیزیم Magnesium sulphate
گرم در لیتر gram in liter	4.29	2.86	1.43	H ₃ BO ₃	اسید بوریک Boric acid
گرم در لیتر gram in liter	2.715	1.81	0.905	MnCl ₂ .4H ₂ O	کلرید منگنز Manganese chloride
گرم در لیتر gram in liter	0.33	0.22	0.11	ZnSO ₄ .7 H ₂ O	سولفات روی Zinc sulfate
گرم در لیتر gram in liter	0.12	0.08	0.04	CuSO ₄ . 5H ₂ O	مس سولفات Copper sulfate
گرم در لیتر gram in liter	0.03	0.02	0.01	H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	اسید مولیبدیک Molybdic acid
گرم در لیتر gram in liter	3	2	1		کلات آهن Iron chelate



A) Planting of tomato seeds in pots



B) Tomatoes grown in pots

شکل ۱. مراحل کاشت و رشد گوجه‌فرنگی در گلدان.

Fig. 1. Stages of planting and growing tomatoes in pots.



A) Planting and transferring tomatoes to plastic cartons



B) Tomato ripening stage in each plastic carton

شکل ۲. مراحل رشد گوجه‌فرنگی در کارتن پلاست.

Fig. 2. Tomato growth stages in plastic cartons.

گیلاسی ۶۰ روز پس از انتقال نشاءها به بستر انجام گرفت. برداشت در ۳ چین به صورت هر هفته یک بار صورت گرفت. در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر میوه، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه در هر چین، عملکرد نهایی میوه، وزن خشک اندام هوایی و کارایی مصرف آب تعیین شد. چگونگی اندازه‌گیری صفات مورد بررسی بدین صورت بود که در هر کارتن پلاست ۵ بوته انتخاب شده و صفات فوق بر روی آنها مورد سنجش قرار گرفت. برای محاسبه کارایی مصرف آب گیاه نیز از فرمول زیر استفاده شد:

= کارایی مصرف آب

$$[1] \quad \frac{\text{میانگین عملکرد نهایی میوه در هر بوته (g)}}{\text{میانگین مقدار آب مصرفی هر بوته (L)}} \quad (\text{g/L})$$

اندازه‌گیری میزان آب ورودی به ردیف از یک کنتور حجمی استفاده شد. تعداد دفعات آبیاری در هر روز نیز بدین صورت بود که برای تیمار ۲۰ لیتر در متر مربع، ۴ مرتبه در روز به ترتیب در ساعات ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ و هر مرتبه به میزان ۵ لیتر در متر مربع آبیاری انجام شد. برای تیمار ۱۵ لیتر در متر مربع ۳ مرتبه آبیاری در روز و هر مرتبه به میزان ۵ لیتر در متر مربع و در ساعات ۸، ۱۲ و ۱۶ آبیاری انجام گرفت. در نهایت برای تیمار ۱۰ لیتر در متر مربع، ۲ مرتبه آبیاری و هر بار به میزان ۵ لیتر در متر مربع و در ساعات ۱۲ و ۱۶ محصولات آبیاری می‌شدند. میانگین دمای شبانه گلخانه ۱۵ درجه سلسیوس و میانگین دمای روزانه آن ۲۵ الی ۲۸ درجه سلسیوس بود و رطوبت گلخانه بین ۷۰-۸۰ درصد نوسان داشت. اولین چین برداشت گوجه

مریستمی در طول روز شده که موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود و سبب کاهش ارتفاع گیاه خواهد شد (۱۸). مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، پرز و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع و تعداد برگ در بوته گوجه‌فرنگی می‌شود.

همچنین کاهش عناصر غذایی کم‌مصرف به‌شدت بر ارتفاع گیاه تأثیرگذار بود و با افزایش مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف حتی بیش‌تر از محلول غذایی هوگلدن، ارتفاع گیاه افزایش یافت. مشابه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، توسلی و همکاران (۲۸) افزایش ارتفاع گوجه‌فرنگی را با کاربرد منگنز و روی گزارش کردند. با توجه به نقش بسیار مهم مواد غذایی در متابولیسم گیاه و نقش‌های ساختاری و کارکردی مواد غذایی در رشد و نمو گیاه، مصرف کمتر مواد غذایی در کشت بدون خاک تأثیر منفی بسیار زیادی بر ویژگی‌های رشدی گیاه می‌گذارد. نتایج پژوهشگران نشان می‌دهد کمبود مواد غذایی سبب کاهش تولید کلروفیل در سلول‌های برگ شده که نتیجه آن کاهش رشد، کاهش تولید، عملکرد، کاهش ارتفاع و سطح برگ می‌شود (۱).

قطر ساقه

قطر ساقه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر حجم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده نشان داد افزایش حجم آبیاری و استفاده از محلول غذایی باعث افزایش قطر ساقه شد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار قطر ساقه از تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز با میانگین ۱/۸ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن از تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز با میانگین ۰/۵ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۳). گزارش شده است که کاهش حجم آبیاری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و همین‌طور کاهش ویژگی‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی شد. اثر اصلی کاهش رطوبت کاهش رشد و نمو گیاه تحت تأثیر کاهش فتوسنتز است. محدودیت‌های شیمیایی ناشی از کاهش فتوسنتز می‌تواند تأثیر منفی بر رشد گیاه بگذارد (۲۴).

براساس این فرمول ابتدا مقدار آب مصرفی هر بوته محاسبه شد. برای این کار مقدار حجم آب آبیاری در کل دوره رشد (از زمان انتقال نشاءها به درون کارتن پلاست تا زمان برداشت چین سوم یا نهایی میوه) محاسبه شده و بر تعداد بوته‌های موجود در هر کارتن پلاست تقسیم شد. در مرحله بعد میانگین مقدار عملکرد نهایی میوه هر بوته (مجموع سه چین) بر حسب گرم بر میانگین مقدار آب مصرفی هر بوته بر حسب لیتر تقسیم شد. با استفاده از این روش مقدار کارایی مصرف آب هر بوته بر حسب گرم در لیتر محاسبه شد.

در نهایت داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری و محلول‌های غذایی و همین‌طور مقایسه میانگین برهم‌کنش این دو فاکتور بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مشابه مقایسه میانگین تیمارها بیش‌ترین ارتفاع بوته از تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز همراه با فرمول $(I_3N_3)N_3$ و کم‌ترین ارتفاع بوته نیز از تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز همراه با فرمول N_1 (I_1N_1) به‌دست آمد (شکل ۳). نتایج به‌دست آمده نشان داد در بین کلیه تیمارها، به‌تدریج که حجم آبیاری از ۱۰ به ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز افزایش یافت بر ارتفاع بوته نیز افزوده شد و این روند افزایشی به‌طور یکنواخت در کلیه تیمارها قابل مشاهده بود (شکل ۳). این نتایج نشان داد کاهش دفعات آبیاری سبب افزایش شدت تنش و کاهش ارتفاع بوته شد. تنش آب آثار فیزیولوژیک متعددی بر گیاهان مانند کاهش میزان فتوسنتز از طریق بستن روزنه‌ها، کوچک شدن سلول‌ها و فضای بین سلولی و کاهش تقسیم سلول و در نتیجه کاهش رشد و کاهش ارتفاع گیاه دارد (۱۸). از طرفی افزایش فواصل آبیاری و تنش ناشی از آن می‌تواند موجب کاهش پتانسیل آب بافت‌های

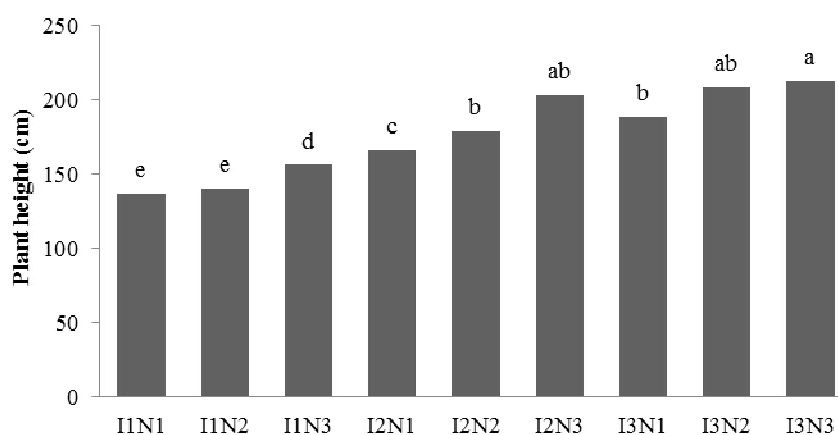
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر ویژگی‌های رشدی گوجه گیلاسی

Table 2. Analysis of variance of the effects of irrigation treatments and nutrient solutions on growth characteristics of cherry tomato

تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	قطر میوه Fruit diameter	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	درجه آزادی Degree of freedom (df)	منبع تغییر Source of variation
میانگین مربعات Mean of Squares					
49.86**	0.354*	0.188	341.13**	2	آبیاری Irrigation
3.85	0.069	0.058	32.04	9	اشتباه اصلی Main error
30.64**	0.392*	0.243*	259.01**	2	محلول‌های غذایی Nutrient solutions
25.39**	0.109 ^{ns}	0.093 ^{ns}	181.01**	4	برهم کنش Interaction effect
4.41	0.075	0.051	37.24	18	اشتباه فرعی Submain error
9.61	15.02	14.16	3.36	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)

*, ** و ^{ns} به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و اثر غیر معنی دار است.

*, ** and ^{ns} stand for significant effect at 5 and 1 probability levels and non-significant effect, respectively.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر ارتفاع گیاه. I₁، I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁، N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

Fig. 3. Mean comparison of the interaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on plant height. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with the same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر ویژگی‌های رشدی گوجه گیلاسی.

Table 3. Mean comparison of the effect of irrigation treatments and nutrient solutions on growth characteristics of cherry tomato.

قطر میوه Fruit diameter (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تیمار Treatment
		Irrigation آبیاری
0.7c	0.6c	100 liter per day ۱۰۰ لیتر در هر روز
1.9b	1.2b	150 liter per day ۱۵۰ لیتر در هر روز
2.9a	1.7a	200 liter per day ۲۰۰ لیتر در هر روز
		Nutrient solutions محلول‌های غذایی
1.3b	1.0b	Formula 1 فرمول ۱
2.0a	1.7a	Formula 2 فرمول ۲
2.4a	1.8a	Formula 3 فرمول ۳

در هر ستون و هر گروه، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.
In each column and each group, numbers with dissimilar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

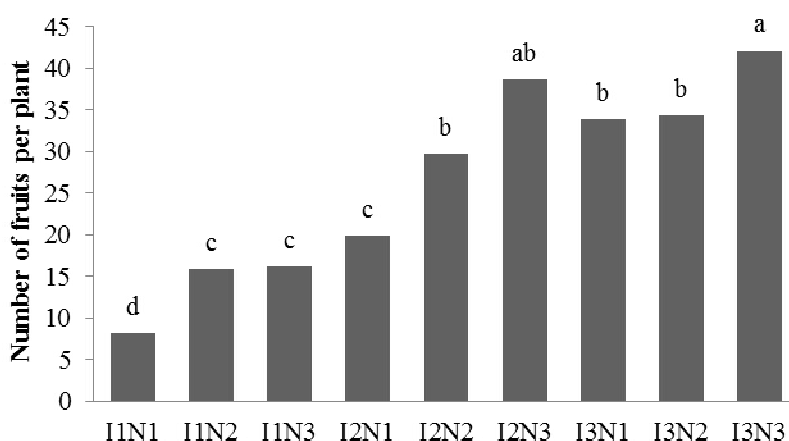
۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و کم‌ترین مقدار قطر میوه با میانگین ۰/۶ سانتی‌متر از تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز به‌دست آمد (جدول ۳). علت بزرگ‌تر بودن قطر میوه در تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز را می‌توان به آثار مثبت میزان آب قابل دسترس بر رشد رویشی و زایشی گیاه نسبت داد. افزایش تعداد آبیاری از طریق افزایش تولید مواد فتوسنتزی منجر به بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه خواهد شد. بیرهانو و تیلاهنون (۲) گزارش کردند تعداد و اندازه میوه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تنش آبی کاهش یافت. نتایج مشابه با این آزمایش در پژوهش کویاگو-کروز و همکاران (۴) که اثر تنش خشکی را بر ویژگی‌های مختلف گوجه‌فرنگی بررسی کردند، مشاهده شد.

مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌های غذایی نیز نشان داد که مصرف فرمول N₃ منجر به افزایش ۸۰ درصدی قطر ساقه نسبت به فرمول (۱) شد اما تفاوت معنی‌داری بین محلول غذایی با فرمول N₃ و فرمول N₂ وجود نداشت (جدول ۳). افزایش دسترسی عناصر غذایی به‌طور مستقیم بر نرخ فتوسنتز و رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و به‌طور خودکار باعث افزایش کارایی مصرف نور، عملکرد و کیفیت گیاه می‌شود (۵). پژوهش‌های زیادی ادعان دارند که کاربرد عناصر کم‌مصرف بر رشد گیاه،

تیمار محلول‌های غذایی نیز تأثیر معنی‌داری بر قطر ساقه داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در بین محلول‌های غذایی مصرف فرمول N₃ منجر به افزایش ۱/۸ برابری قطر ساقه نسبت به فرمول N₁ شد. تفاوت معنی‌داری بین محلول غذایی با فرمول N₃ و فرمول N₂ وجود نداشت (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده نشان داد افزایش محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق تأثیر بر متابولیسم گیاه باعث افزایش رشد گیاه شد که افزایش قطر ساقه را به‌دنبال داشت. کاربرد منگنز و آهن بر متابولیسم کربن تأثیر می‌گذارد زیرا متابولیسم این عناصر کم‌مصرف می‌تواند باعث فراهمی آنزیم‌ها و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شود که در متابولیسم کربن نقش دارند (۲۵ و ۲۸).

قطر میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم آبیاری و محلول‌های غذایی بر قطر میوه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها با کاهش حجم آبیاری از قطر میوه کاسته شده به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار قطره میوه با میانگین ۲/۸ سانتی‌متر از تیمار



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر تعداد میوه در بوته I₁, I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁, N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 4. Mean comparison of the interaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on number of fruits in a plant. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with the same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

مربع در روز بیش‌تر تحت تأثیر انواع مختلف محلول غذایی قرار گرفته است تا حجم آبیاری، به‌گونه‌ای که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای با حجم ۱۵ لیتر آب در متر مربع در روز و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز در فرمول N₁ مشاهده نشد. همچنین برای این دو حجم آب به‌کار رفته تفاوت معنی‌داری در فرمول N₂ وجود نداشت.

تعداد میوه در گیاه به میزان رشد رویشی گیاه بستگی داشته و نتایج بررسی‌های پژوهشگران نشان داده است که کاهش رشد رویشی در اثر کاهش حجم آبیاری به سبب آثار سوء تنش آبی در گیاه بوده که منجر به کاهش تعداد میوه در بوته می‌شود (۶). همچنین کویاگو-کروز و همکاران (۴) بیان کردند که علت کاهش شدید تعداد میوه در گوجه گیلاسی رقم Lazarino مربوط به کاهش تعداد گل آذین در هر بوته است.

یکی از دلایل افزایش تعداد میوه در بوته مرتبط با وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفت با صفت ارتفاع بوته است. از آنجایی که محلول غذایی با فرمول N₃ منجر به حصول

محتوای مواد فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها تأثیرگذار است (۲۵ و ۲۸).

تعداد میوه در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد حجم آبیاری، عناصر غذایی و همچنین برهم‌کنش آنها به‌طور معنی‌داری تعداد میوه در بوته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین تعداد میوه در بوته از تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز همراه با محلول غذایی فرمول N₃ (I₃N₃) به دست آمد که البته به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۵ لیتر آب در متر مربع در روز با محلول غذایی فرمول N₃ (I₂N₃) نداشت. کم‌ترین تعداد میوه در بوته نیز از تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و محلول غذایی فرمول N₁ حاصل شد (شکل ۴). همچنین با توجه به مقادیر ارائه‌شده در شکل (۲) چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تعداد میوه در بوته در حجم آبیاری ۱۵ و ۲۰ لیتر در متر

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر عملکرد گوجه گیلاسی

Table 4. Analysis of variance of the effects of irrigation treatments and nutrient solutions on cherry tomato yield

ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	اشتباه فرعی Submain error	اثر برهمکنش Interaction effect	محلول غذایی Nutrient solution	اشتباه اصلی Main error	تیمار آبیاری Irrigation treatment	منبع تغییر Source of variation
-	18	4	2	9	2	درجه آزادی Degree of freedom (df)
11.15	484.7	1493.4*	3366.2**	417.4	5980.5**	برداشت ۱ Harvest 1 عملکرد میانگین
13.24	1516.1	4594.1*	11214.5**	1431.1	16546.1**	برداشت ۲ Harvest 2 میوه مربعات Fruit yield
10.08	1710.7	6593.4*	12936.2**	1548.4	23889.5**	برداشت ۳ Harvest 3 عملکرد نهایی میوه میانگین Squares
8.26	6561.7	23211.4*	42256.4**	5513.7	61138.1**	(مجموع سه برداشت) Final fruit yield (Total of three harvest)
25.39	33124.8	116547.3*	205074.6**	317821.6	3112678.9**	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
8.96	0.0729	0.432**	0.580**	0.0691	1.42**	کارایی مصرف آب Water use efficiency

*، ** و ns به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و اثر غیرمعنی‌دار است.

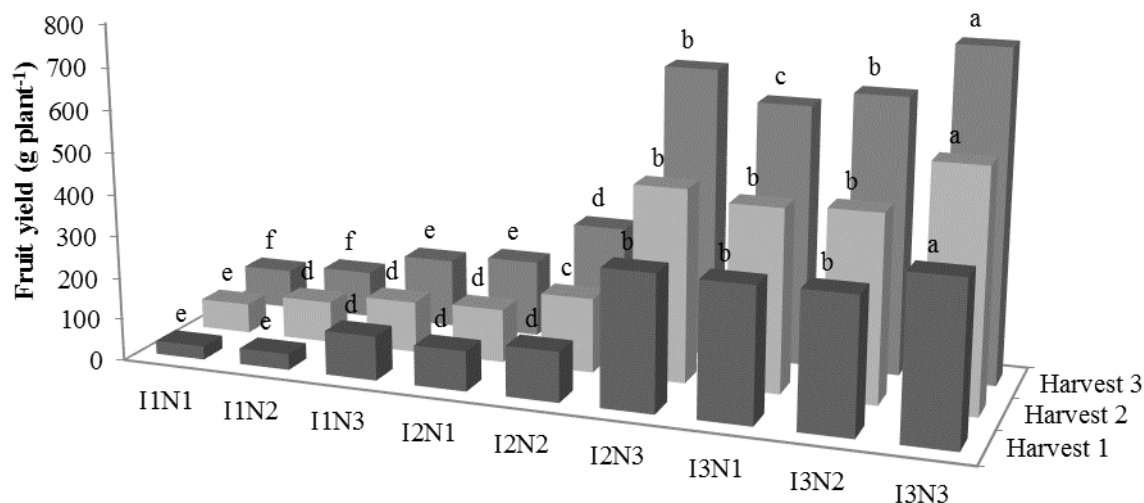
*، ** and ns stand for significant effect at 5 and 1 probability levels and non-significant effect, respectively.

یکی از اجزای مهم و حیاتی گیاه است که اگر به میزان کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد واکنش‌های بیولوژیک را کاهش می‌دهد (۳). رحمان و همکاران (۲۰) گزارش کردند کمبود آب عملکرد گوجه‌فرنگی را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی شاید به دلیل حساس بودن گیاه گوجه‌فرنگی به کمبود آب و در نتیجه کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به سمت میوه است. همچنین گزارش شده است که گوجه‌فرنگی یک سبزی حساس به کمبود آب و تنش خشکی است که مکانیسم خاصی برای مقاومت و تحمل زیادی ندارد (۷). توسلی و همکاران (۲۸) گزارش کردند روی و منگنز از طریق افزایش قدرت فتوسنتزی گیاه و افزایش تحمل به تنش کم آبی در گوجه‌فرنگی سبب افزایش عملکرد میوه گیاه می‌شود. از طرفی کاربرد ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₃ سبب افزایش

بیش‌ترین ارتفاع بوته شده است بنابراین افزایش تعداد میوه در این تیمار کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

عملکرد میوه در سه چین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حجم آبیاری، اثر محلول‌های غذایی و برهم‌کنش دو فاکتور بر عملکرد میوه در سه چین از لحاظ آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد میوه در هر چین از تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₃ حاصل شد. در این بین با کاهش دفعات آبیاری و محلول‌های غذایی از عملکرد میوه در سه چین کاسته شد و در تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₁ به کم‌ترین میزان خود رسید (شکل ۵). آب



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر عملکرد میوه در چین‌های مختلف. I₁, I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁، N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Fig. 5. Mean comparison of the interaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on fruit yield in different harvests. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

آمد (شکل ۶). در واقع این نتایج نشان می‌دهد که نتایج حاصل شده در رابطه با عملکرد نهایی میوه کاملاً تحت تأثیر همان تیمارهایی قرار گرفته است که منجر به حصول بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد میوه در هر چین شده است. نتایج پژوهش سلیسپور و امیدقائم (۲۵) حکایت از این موضوع داشت که کاربرد حداکثر آب آبیاری و عناصر کم مصرف در مقایسه با حجم آب کمتر و غلظت‌های آتارتر عناصر غذایی بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی داشته است.

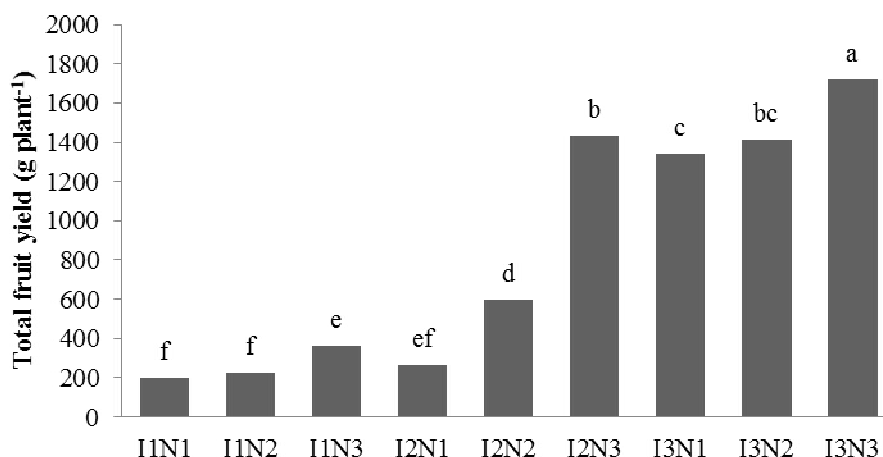
وزن خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر حجم آبیاری، مقادیر مختلف محلول‌های غذایی و برهم‌کنش این دو فاکتور بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین

قطر میوه و تعداد میوه در بوته شده است که به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفات با عملکرد میوه کسب چنین نتیجه‌ای قابل انتظار است.

عملکرد نهایی میوه

اثر حجم آبیاری، سطوح مختلف عناصر کم مصرف در محلول‌های غذایی و برهم‌کنش دو فاکتور بر عملکرد نهایی میوه معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس عملکرد میوه در هر چین بیش‌ترین مقدار عملکرد نهایی میوه از تیمار ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₃ (I₃N₃) حاصل شد و اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین این تیمار با سایر تیمارها مشاهده شد. کم‌ترین مقدار عملکرد نهایی میوه نیز از تیمار ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₁ (I₁N₁) به دست



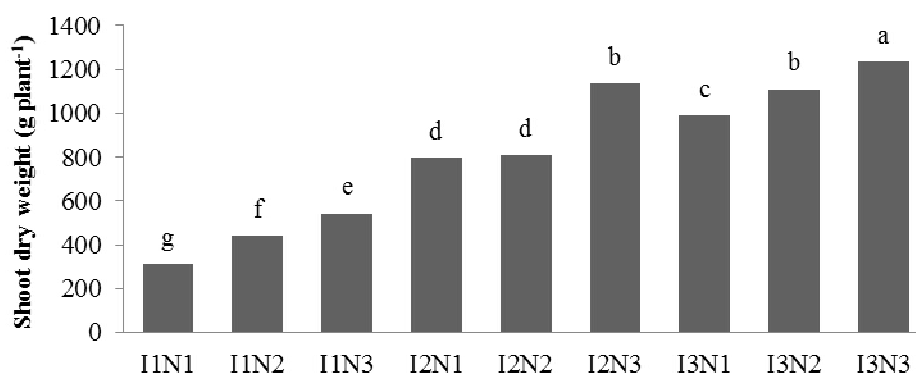
شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر عملکرد کل میوه گیاه. I₁, I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁، N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 6. Mean comparison of the interaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on total yield of plant fruit. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with the same letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

کارایی مصرف آب گوجه گیلاسی

اثر تیمارهای حجم آبیاری، محلول‌های غذایی و برهم‌کنش این دو فاکتور بر کارایی مصرف آب گوجه گیلاسی معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج آزمایش، بیش‌ترین کارایی مصرف آب از تیمارهای ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₃ (یک و نیم برابر غلظت عناصر کم مصرف در محلول هوگلند) به ترتیب با میانگین‌های ۶/۵۵ و ۶/۱۰ گرم عملکرد نهایی میوه تازه هر بوته بر لیتر آب مصرفی هر بوته حاصل شد و با کاهش حجم آبیاری، به‌شدت از میزان کارایی مصرف آب گوجه گیلاسی کاسته شد. به‌گونه‌ای که کم‌ترین کارایی در ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف محلول غذایی با فرمول N₁ با میانگین ۱/۳۴ گرم عملکرد نهایی میوه تازه هر بوته بر لیتر آب مصرفی هر بوته به‌دست آمد. براساس این نتایج کارایی مصرف آب در تیمارهایی که بیش‌ترین کارایی مصرف آب را داشتند به ترتیب ۸۰/۱۵ و ۷۸/۰۳ درصد بیش‌تر از تیماری بود که کم‌ترین میزان

برهم‌کنش نشان داد که با افزایش حجم آبیاری از ۱۰ به ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و همچنین افزایش غلظت عناصر کم مصرف در محلول‌های غذایی از نصف محلول هوگلند به ۱/۵ برابر آن منجر به افزایش معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی شده است (شکل ۷). افزایش وزن خشک بوته می‌تواند ناشی از افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت رشد محصول باشد. در واقع آبیاری مطلوب از طریق بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک مذکور موجب افزایش تجمع ماده خشک در اندام‌های رویشی و در نهایت افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه شده است. یاوز و همکاران (۲۹) گزارش کردند که کاهش عملکرد بیولوژیک گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبی بیش‌تر به دلیل اختصاص شیره پرورده به مکانیزم‌های دفاعی گیاه است. توسلی و همکاران (۲۸) گزارش کردند عناصر کم مصرفی مانند منگنز و آهن از طریق افزایش سطوح سبز گیاه، میزان تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت درصد ماده خشک گیاه را افزایش می‌دهد.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر وزن خشک اندام هوایی. I₁، I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁، N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

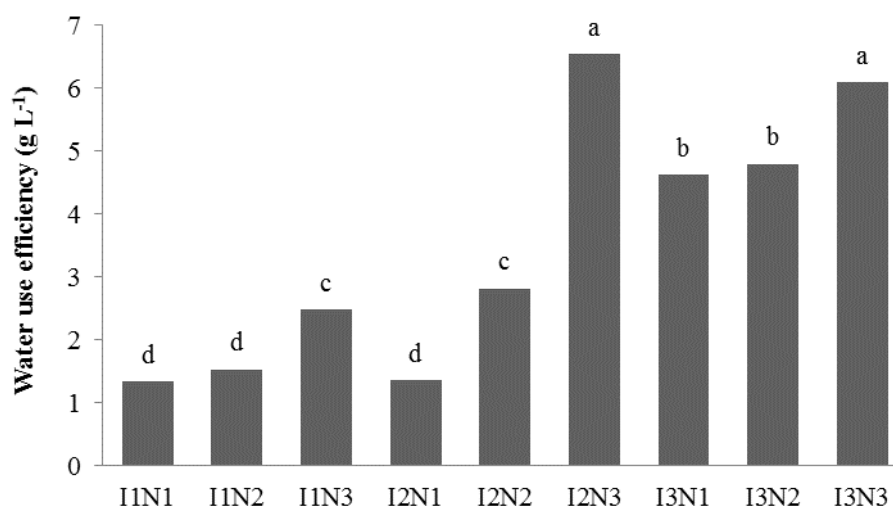
Fig. 7. Mean comparison of the interaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on shoot dry weight. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

هوایی مشاهده شد. قطر ساقه نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با همه صفات مورد بررسی نشان داد و مشابه با ارتفاع بوته، بیش‌ترین همبستگی با $r = 0.90$ بین قطر ساقه با وزن خشک اندام هوایی دیده شد. قطر میوه نیز به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری را با صفات تعداد میوه در بوته و وزن خشک اندام هوایی گوجه داشت. همچنین بین این صفت با صفت قطر میوه رابطه مثبت اما غیرمعنی‌داری مشاهده شد. تعداد میوه در بوته نیز رابطه مثبت و معنی‌داری را به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد با عملکرد نهایی میوه و وزن خشک اندام هوایی نشان داد. بین عملکرد نهایی میوه نیز با تمامی صفات مورد بررسی رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شد به گونه‌ای که بیش‌ترین همبستگی را با $r = 0.93$ با صفت تعداد میوه در بوته و کم‌ترین همبستگی را نیز با $r = 0.72$ با صفت قطر ساقه داشت. وزن خشک اندام هوایی نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری را در سطح ۱ درصد با صفات ارتفاع گیاه، قطر ساقه و عملکرد نهایی میوه و در سطح ۵ درصد با صفات قطر میوه و تعداد میوه در بوته نشان داد (جدول ۵).

کارآیی مصرف آب در آن حاصل شد (شکل ۸). شاهین و همکاران (۲۳) در آزمایشی افزایش کارآیی مصرف آب را با افزایش حجم آبیاری در گوجه‌فرنگی به دلیل افزایش بیش‌تر صورت کسر (یعنی عملکرد میوه) در قیاس با مخرج کسر (یعنی آب مصرفی) گزارش کردند. در این آزمایش نیز تیمارهایی که سبب افزایش عملکرد میوه شدند در نهایت منجر به حصول بیش‌ترین کارآیی مصرف آب در گیاه گوجه‌فرنگی شدند. هوشمند و همکاران (۱۲) اثر دو سطح آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه را بر کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیش‌ترین کارآیی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی در تیمار ۸۵ درصد نیازی آبی گیاه حاصل شد.

همبستگی صفات مورد بررسی گوجه گیلاسی در شرایط آبیاری کامل

همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی گوجه گیلاسی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته با تمامی صفات مورد بررسی وجود دارد و در این بین بیش‌ترین ضریب همبستگی ($r = 0.92$) بین ارتفاع بوته با وزن خشک اندام



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌های غذایی بر کارایی مصرف آب. I₁، I₂ و I₃ به ترتیب معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ لیتر آب در متر مربع در روز و N₁، N₂ و N₃ به ترتیب نشان‌دهنده کاربرد عناصر کم مصرف با غلظت نصف محلول هوگلند (فرمول N₁)، برابر محلول هوگلند (فرمول N₂) و یک و نیم برابر محلول هوگلند (فرمول N₃) است. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند.

Fig. 8. Mean comparison of the interreaction effect of irrigation treatments and nutrient solutions on water use efficiency. I₁, I₂ and I₃ are equivalent to 10, 15 and 20 liters of water per m² per day, respectively, and N₁, N₂ and N₃ indicate the use of low-consumption elements with half the concentration of Hoagland solution (Formula N₁), equal to Hoagland solution (Formula N₂) and one and a half concentrations of Hoagland solution (Formula N₃), respectively. Columns with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی گوجه‌فرنگی گیلاسی در شرایط آبیاری کامل.

Table 5. Correlation coefficients between the studied traits of cherry tomato under complete irrigation condition

وزن خشک اندام هوایی	عملکرد نهایی میوه	تعداد میوه در بوته	قطر میوه	قطر ساقه	ارتفاع گیاه	صفات
Shoot dry weight	Total fruit yield	Number of fruits per plant	Fruit diameter	Stem diameter	Plant height	Traits
					1	ارتفاع گیاه Plant height
				1	0.80**	قطر ساقه Stem diameter
			1	0.77**	0.81**	قطر میوه Fruit diameter
		1	0.27	0.84**	0.89**	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant
	1	0.93**	0.88**	0.72**	0.82**	عملکرد نهایی میوه Final fruit yield
1	0.74**	0.61*	0.58*	0.90**	0.92**	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.
*and ** indicate significant at probability level of 5% and 1%, respectively.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی از نتایج پژوهش حاضر نتیجه‌گیری می‌شود که کشت بدون خاک گوجه گیلاسی واکنش مثبت و معنی‌داری نسبت به حجم آبیاری و عناصر کم‌مصرف نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که برای تمام صفات مورد بررسی بیش‌ترین مقادیر از تیمار کاربرد حجم آبیاری ۲۰ لیتر در متر مربع در روز و مصرف عناصر کم‌مصرف به میزان یک و نیم برابر غلظت پیشنهاد شده در محلول هوگلند به‌دست آمد. این برتری تنها برای عملکرد نهایی میوه، در تیمار فوق منجر به افزایش ۱۶/۷ و ۷۸/۹ درصدی عملکرد در مقایسه با تیمارهای ۱۵ و ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و در شرایط مصرف عناصر کم‌مصرف به میزان یک و نیم برابر غلظت پیشنهاد شده در محلول هوگلند بود. و این مقادیر برای وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای فوق به‌ترتیب ۸/۱۳ و ۵۶/۱۴ درصد بود. همچنین گیاه گوجه گیلاسی بیش‌ترین کارایی مصرف آب را به‌ترتیب در تیمارهای

حجم آب مصرفی ۱۵ و ۲۰ لیتر در متر مربع در روز و در شرایط مصرف عناصر کم‌مصرف به میزان یک و نیم برابر غلظت پیشنهاد شده در محلول هوگلند حاصل کرد، به‌گونه‌ای که این برتری در تیمارهای فوق به‌ترتیب ۶۲/۱ و ۵۹/۳ درصد بیش‌تر از تیمار ۱۰ لیتر در متر مربع در روز و در شرایط مصرف عناصر کم‌مصرف به میزان یک و نیم برابر غلظت پیشنهاد شده در محلول هوگلند بود. در پایان همان‌طور که نشان داده شد گوجه گیلاسی واکنش مثبتی نسبت به حجم آبیاری و مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف نشان می‌دهد کاهش هر کدام از این فاکتورها سبب کاهش شدید عملکرد این گیاه در مقایسه با شرایط مطلوب می‌شود، به‌گونه‌ای که کاهش حجم آبیاری به ۱۰ لیتر آب در متر مربع در روز و مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف به نصف مقدار غلظت مرسوم در محلول هوگلند سبب کاهش شدید تمام صفات مورد بررسی شد.

منابع مورد استفاده

1. Ardakani, M.R., Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Packnejad, F., 2007. The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants* 23(2): 251–261. (in Persian with English abstract)
2. Birhanu, K., Tilahun, K., 2010. Fruit yield and quality of drip-irrigated tomato under deficit irrigation. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 10(2): 2139–2151.
3. Cetin, O., Uygan, D., 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* 95: 949–958.
4. Coyago-Cruz, E., Melendez-Martinez, A.J., Moriana, A., Giron, I.F., Martin-Palomo, M.J., Galindo, A., Perez-Lopez, D., Torrecillas, A., Beltran-Sinchiguano, E., Corell, M., 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agricultural Water Management* 213: 212–221.
5. Güsewell, S., 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164: 243–266.
6. Dehghan, H., Alizadeh, A., Esmaili, K., Nemati, S.H., 2015. Root growth, yield and yield components of tomato in drought stress. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(2): 169–179. (in Persian with English abstract)
7. Dehnavard, S., Souri, M.K., Mardanlu, S., 2017. Tomato growth responses to foliar application of ammonium sulfate in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition* 40(3): 315–323.
8. FAO., 2019. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>
9. Farzaneh, N., Golchin, A., Hashemi Majd, K., 2010. Effect of nitrogen and boron on growth, yield and content of some nutrients of tomato. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1(2): 19–28. (in Persian with English abstract)
10. Haghghi, M., Barzegar, M.R., 2020. The effect of organic media in compensating for nutrient deficiency in the growth of bell peppers. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 11(2): 1–13. (in Persian with English abstract)

11. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular* 347: 1–32.
12. Hooshmand, M., Boroumand, S., Albaji, M., Alamzadeh Ansari, N., 2019. Effect of different management methods of low-irrigation on yield, yield components and water use efficiency of tomato in hydroponic culture. *Iranian Water Researches Journal* 13(3): 78–91.
13. James, E.C., Van Iersel, M.W., 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *Horticulture Science* 36: 40–44.
14. Kang, J.G., Van Iersel, M.W., 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of subirrigated petunias. *Journal of Plant Nutrient* 24: 753–765.
15. Kiani, S., 2020. Effect of different nutrient solutions on the yield, chemical composition and nitrate accumulation of lettuce in soilless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 11(2): 1–13. (in Persian with English abstract)
16. Mardanluo, S., Souri, M.K., Ahmadi, M., 2018. Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition* 41(12): 1604–1614.
17. Nesbitt, T.C., Tanksley, S.D., 2002. Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*. Implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics* 162: 365–79.
18. Neilson, D.C., Nelson, N.O., 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Science* 28: 422–427.
19. Perez, M.A., Ayub, C.M., Khan, H.A., Shahid, M.A., Ashraf, I., 2009. Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 46(3): 24–33.
20. Rahman, S.M., Nawata, L., Sakuratan, E., 1998. Effects of water stress in yield and related morphological characters among tomato (*Lycopersicon esculantum* Mill.) cultivars. *Thai Journal of Agricultural Science* 31(1): 60–78.
21. Safaei, M., Panahandeh, J., Tabatabaei, S., Motallebiazar, A., 2014. Effect of nutrient solution on growth and some physiological characters of hydroponically grown lettuce. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 5(2): 145–153. (in Persian with English abstract)
22. Sanchez-Rodriguez, E., Moreno, D.A., Ferreres, F., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Ruiz, J.M., 2011. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: Changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry* 72(8): 723–729.
23. Shahien, M.M., Abuarab, M.A., Hassan, A.M., 2012. Effects of regulated deficit irrigation and phosphorus fertilizers on water use efficiency, yield and total soluble of tomato. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 12(10): 1295–1304.
24. Sibomana, I.C., Aguyoh, J.N., Opiyo, A.M., 2013. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Global Journal of Bioscience and Biotechnology* 2(4): 461–466.
25. Silspour, M., Omidghaemi, M.R., 2006. Effects of different irrigation water quantities and use of Fe and Zn on yield and water use efficiency of tomato. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences* 20(2): 309–318. (in Persian with English abstract)
26. Souri, M.K., Sooraki, F.Y., Moghadamyar, M., 2017. Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an amino chelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 58(6): 530–536.
27. Souri, N., Kafi, M., 2005. The need to pay attention to hydroponic in the greenhouse and types of soilless culture systems. 1st National Conference on Greenhouse Production Technology, Rasht, Iran.
28. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadian, A., 2010. Effect of Mn and Zn consumption on fruit yield and nutrients content in greenhouse tomato in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1(1): 1–6. (in Persian with English abstract)
29. Yavuz, M.Y., Yıldırım, M., Camoğlu, G., Erken, O., 2007. Effect of different irrigation levels on yield, water use efficiency and some quality parameters of tomato. *Philippine Agricultural Scientist* 90: 283–288.



Effect of Irrigation Levels and Micronutrients on Growth and Yield of Cherry Tomato in Hydroponic Culture

M. Khalili*¹, S. Shahraki, I. Piri, A.F. Tavassoli and M.R. Naghavi

(Received: 10 October 2020; Accepted: 19 February 2021)

Abstract

To investigate the effect of irrigation volume and nutrient consumption on yield and yield components of cherry tomatoes, a greenhouse experiment was conducted as split plots in a completely randomized design. The results showed that the maximum plant height, stem diameter, number of fruits per plant, fruit yield per harvest, total fruit yield, and shoots dry weight were obtained in the treatment of 20 liters of water per square meter per day with nutrient solution application of micronutrients with concentrations of one and a half times the Hoagland solution. The highest water use efficiency obtained from the treatments of 15 and 20 liters of water per square meter per day and consumption of nutrient solution one and a half times the concentration of micronutrients in Hoagland solution with averages of 6.55 and 6.10 g final yield of fresh fruit each plant per liter of water consumption per plant, respectively. Correlation coefficients between the traits also showed a positive and significant relationship between total fruit yield with all studied traits, so that the highest correlation ($r = 0.93$) had with trait of number of fruits per plant and the lowest correlation ($r = 0.7$) had with trait of stem diameter.

Keywords: Irrigation, Yield, Greenhouse, Cherry tomato, Hoagland solution.

Background and Objective: Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) as an important plant product for human health and nutrition is one of the rich sources of minerals, vitamins and antioxidant compounds (1). In soilless cultivation, the concentration of micronutrients periodically reaches an insufficient level for optimal plant growth and development (4). Therefore, optimizing the concentration of nutrients along with sufficient water supply is essential to maximize the yield and quality of tomato at these conditions (2). In a study to determine the plant water requirement and the role of iron and zinc on fruit yield of tomato, it was observed that iron and zinc treatment significantly increased the yield under optimal irrigation compared to the water deficit treatments (3). The present study was conducted to investigate the effect of different irrigation regimes and also different micronutrient concentrations on yield and some growth characteristics of cherry tomatoes in hydroponic culture.

Methods: The experiment was conducted in a greenhouse according to a completely randomized split-plot design with 4 replications. Treatments included irrigation volume at three levels I_1 : 10, I_2 : 15 and I_3 : 20 liters of water per m^2 per day as the main factor and different concentrations of micronutrients in Hoagland nutrient solution at three levels of N_1 : half strength, N_2 : full strength, and N_3 : one and half strength, as sub main plots. The potting media were made of perlite, cocopeat and peat moss in a ratio of 20:50:30.

1- Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.

* Corresponding Author, Email: makhalily@yahoo.com

After 40 days of plant growth in each pot, the seedlings were transferred to plast cartons with cocopeat and perlite bed. Fruit harvesting started 60 days after transplanting with three harvests a week. Plant height, stem diameter, fruit diameter, number of fruits per plant, fruit yield per harvest, total fruit yield and water use efficiency were examined. Data were analyzed using SAS software and the means were compared using Duncan's multiple range test at 5% probability level and the graphs were drawn with Excel software.

Results: Results showed that the highest mean values of the studied traits were obtained at I₃N₃ treatment and the lowest at I₁N₁ one. A positive and significant correlation between plant height and the measured traits may strongly justify the increased number of fruits per plant as the plant height increased. The decrease in tomato fruit yield at I₁ treatment may be attributed to reduced photosynthesis and material transfer to the fruit at lower water availability. Moreover, at I₃N₃ treatment the fruit diameter and number of fruits per plant was increased resulting in an expected positive and significant correlation with fruit yield.

Conclusions: The results showed that sufficient water and micronutrients in hydroponic culture of cherry tomatoes have a significant effect on all measured characteristics. The highest plant height, stem diameter and fruit yield were obtained from I₃N₃ treatment. Also, the highest fruit yield in each harvest, the total fruit yield and the highest dry weight of tomato shoots were obtained from this treatment.

References:

1. Nesbitt, T.C., Tanksley, S.D., 2002. Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*. Implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics* 162: 365–79.
2. Safaei, M., Panahandeh, J., Tabatabaei, S., Motallebiazar, A., 2014. Effect of nutrient solution on growth and some physiological characters of hydroponically grown lettuce. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 5(2): 145–153. (in Persian with English abstract)
3. Silspour, M., Omidghaemi, M.R., 2006. Effects of different irrigation water quantities and use of Fe and Zn on yield and water use efficiency of tomato. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences* 20(2): 309–318. (in Persian with English abstract)
4. Souri, N., Kafi, M., 2005. The need to pay attention to hydroponic in the greenhouse and types of soilless culture systems. 1st National Conference on Greenhouse Production Technology, Rasht, Iran.