تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۳۹۷ (ص ۱۴۵۱-۱۴۴۳) DOI: 10.22059/ijswr.2018.237324.667717

The Effect of Different Methods of Water Application Management on Quantitative and Qualitative Properties and Water Productivity of Tomato

MOHAMMAD HOOSHMAND[1], MOHAMMAD ALBAJI[2*], SAEED BOROOMAND NASAB [3], NASER ALAM ZADEH ANSARI[4]

1. MSC student, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Professor, Department of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Associate Professor, Department of Horticulture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(Received: July. 15, 2017- Revised: Jan. 10, 2018- Accepted: Jan. 17, 2018)

ABSTRACT

The limitations of water resources and recent droughts have dictated to use modern crop production systems for reducing water application and increasing water productivity. This research was carried out in the integrated greenhouse of agricultural faculty of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2016. This study has investigated the effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) on tomato under hydroponic culture conditions. This experiment was conducted in a completely randomized design with four replicates and five treatments, consisted of RDI at 85 and 70% of plant water requirement, PRD irrigation at 85 and 70% of the plant water requirement, and control. The results showed that the different methods and levels of deficit irrigation did not have a significant effect on calcium, magnesium, sodium, potassium, pH, TSS, organic matter and fruit diameter, while they have significant effect on the number of fruits, fruit weight, fruit height, and water productivity. The highest fruit weights per plant and water productivity were observed in PRD85 treatment and the least fruit weight per plant and water productivity were observed in PRD70 treatment. Also, deficit irrigation through PRD85 was selected as the best treatment for hydroponic cultivation of tomato.

Keywords: partial root zone drying, deficit irrigation, hydroponics, greenhouse

* Corresponding Author Email: m_albaji2000@yahoo.co.uk

تأثیر روش‌های مختلف مدیریت مصرف آب بر خصوصیات کمی و کیفی و بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی

محمد هوشمند[۱]، محمد البا‌جی[۲*]، سعید برومند نسب [۳]، ناصر عالم زاده انصاری[۴]

۱. دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۲۴/ ۴/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۰/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۷/ ۱۰/ ۱۳۹۶)

چکیده

محدودیت منابع آب و خشکسالی‌های اخیر، لزوم استفاده از سیستم‌های نوین کشت محصولات را برای کاهش آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب ایجاد کرده است. این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در مجتمع گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردید. در این پژوهش اثر روش‌های کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI) و خشکی موضعی ریشه (PRD) بر گوجه‌فرنگی در شرایط کشت هیدروپونیک بررسی گردید. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و پنج تیمار شامل تیمار آبیاری RDI در دو سطح ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه (RDI85 و RDI70) و آبیاری PRD در دو سطح ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه (PRD85 و PRD70) و تیمار شاهد اجرا گردید.. نتایج نشان داد که شیوه‌ها و سطوح مختلف کم آبیاری بر کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، اسیدیته، مواد جامد محلول، مواد آلی و قطر میوه اثر معنی‌دار ندارد، در حالی که بر تعداد میوه، وزن میوه، ارتفاع میوه و بهره‌وری آب محصول اثر معنی‌دار گذاشته است. بیشترین وزن میوه در بوته و بهره‌وری آب در تیمار PRD85 و کمترین وزن میوه در بوته و بهره‌وری آب در تیمار PRD70 مشاهده شد. همچنین کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه با سطح ۸۵٪ نیاز آبی گیاه به عنوان بهترین روش برای کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: خشکی موضعی ریشه، کم آبیاری، گلخانه، هیدروپونیک

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا از یک طرف و محدود بودن منابع آبی و خشکسالی‌های اخیر از طرف دیگر، لزوم استفاده مناسب از منابع آب موجود را ضروری ساخته است. کاهش حجم آب آبیاری مصرفی می‌تواند آب قابل استفاده بخش‌های شهری و صنعتی را افزایش دهد. برآورد دقیق نیاز آبی و انطباق برنامه آبیاری بر اساس نیاز انواع گیاهان و شرایط رشد آن‌ها، سبب افزایش بیشتر راندمان مصرف آب می‌گردد (Entesari *et al*, 2007). آبیاری خشکی موضعی ریشه (Partial Root zone Drying, PRD) یک روش مدیریت آبیاری است و بهره‌وری آب را بدون کاهش چشمگیر در عملکرد بهبود می‌بخشد (Han and Kang, 2002).

Wahbi *et al.* (2005) با بررسی اثر تیمارهای PRD روی درختان زیتون نتیجه گرفتند درصد روغن و اسیدیته روغن در بین تیمارها تفاوت چندانی نداشت. Nourjou *et al.* (2006) با بررسی روی گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که میزان آبیاری بر مقدار مواد جامد محلول در سطح ۵٪ مؤثر بوده و با افزایش میزان آب آبیاری از درصد مواد جامد محلول کاسته می‌شود، ولی تأثیر آن بر مقدار pH معنی‌دار نبوده است.

تیمار کم آبیاری و آبیاری خشکی موضعی ریشه به طور کامل پارامترهای کیفیت میوه گوجه‌فرنگی را افزایش می‌دهند (sobeih *et al*, 2004). در تحقیق دیگری آبیاری PRD بدون کاهش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی، کیفیت میوه‌ها را بهبود داده است (Dry *et al*, 1996). نتایج آزمایشی بر روی عملکرد میوه، وزن خشک کل، مواد معدنی، قند و لیکوپن گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که آبیاری PRD باعث افزایش صفات ذکر شده گردید است (Sticik *et al*, 2003).

Zomorodi *et al.* (2006) با بررسی اثر چهار تیمار آبیاری در سطوح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بر روی گیاه گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که کاهش حجم آب آبیاری باعث افزایش ویتامین ث و مواد جامد محلول و کاهش اسیدیته می‌گردد.

* نویسنده مسئول: m_albaji2000@yahoo.co.uk

Nourmahnad *et al.* (2006b) با بررسی کم آبیاری سنتی و کم آبیاری PRD بر روی گوجه‌فرنگی در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و در چهار تکرار در سطح ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبی به این نتیجه رسیدند که استفاده از روش کم آبیاری PRD باعث افزایش میزان کلسیم، منیزیم، مواد جامد محلول و اسیدیته نسبت به روش کم آبیاری سنتی می‌شود. بیشترین میزان کلسیم، منیزیم در تیمارهای PRD75 مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان مواد جامد محلول و pH در تیمار PRD50 مشاهده شد.

Mousavi Rahimi *et al.* (2014) با بررسی سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و دو روش کم آبیاری معمولی و کم آبیاری PRD در سه بستر متفاوت با ۰، ۱ و ۲ درصد وزنی هیدروژل بر روی گیاه گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که تعداد، قطر، وزن و طول میوه در تیمارهای کم آبیاری PRD نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش چشمگیری داشته است. همچنین در مقایسه بین کم آبیاری معمولی و کم آبیاری PRD، در اسیدیته آب‌میوه و مواد جامد محلول تفاوت معنی‌دار مشاهده شد و میزان آن‌ها در تیمار PRD بیشتر از تیمار کم آبیاری معمولی بود.

Salarinezhad *et al.* (2009) با بررسی چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی و سه سطح ارقام شامل CAl.J، Cheef و Petoearly در سه تکرار به این نتیجه رسیدند که با کاهش حجم آب آبیاری، تعداد میوه در بوته و عملکرد کل کاهش پیدا می‌کند ولی میزان مواد جامد محلول، با کاهش حجم آب آبیاری، ابتدا کاهش یافته ولی با کاهش بیشتر حجم آب آبیاری، مقدار آن افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان عملکرد و متوسط وزن میوه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار آن‌ها در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار مواد جامد محلول (TSS) در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید.

Baghani and Bayat (2000) تأثیر سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و دو روش آبیاری قطره‌ای و شیاری را بر کیفیت و عملکرد گوجه‌فرنگی بررسی کردند و نشان دادند که با کاهش حجم آب مصرفی، عملکرد کل کاهش می‌یابد ولی مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر و مقدار اسیدیته افزایش پیدا می‌کند.

Naderi *et al.* (2013) با بررسی سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و سه تکنیک آبیاری معمولی، آبیاری خشکی موضعی ریشه به صورت ثابت و آبیاری موضعی ریشه به صورت متغیر در چهار تکرار بر روی گیاه ذرت به این نتیجه رسیدند که اعمال کم آبیاری سبب ۱۴ تا ۲۸ درصد صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی در کل فصل رشد گردید. همچنین بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۸۰٪ نیاز آبی و آبیاری موضعی ریشه به صورت متغیر به میزان ۲/۲۷ Kg/m^3 ماده تر مشاهده گردید.

Haghighi and Behnoudian (2008) با بررسی دو تیمار آبیاری معمولی و آبیاری خشکی موضعی ریشه (PRD) در شش تکرار بر روی گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند که در تیمار خشکی موضعی ریشه با کاهش ۵۰ درصدی حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب به میزان ۶ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین میزان مواد جامد محلول در تیمار خشکی موضعی ریشه بیشتر از تیمار شاهد بود که میزان آن در تیمار PRD ۷/۴۴ و در تیمار شاهد ۵/۹۰ درصد بود.

خشکسالی‌های اخیر و پایین بودن بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، لزوم استفاده از روش‌های نوین کشت محصولات و افزایش راندمان استفاده از آب را ایجاب می‌کند.

به منظور کاهش حجم آب آبیاری مصرفی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای در کشت هیدروپونیک از روش‌های کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI) و کم آبیاری خشکی موضعی ریشه (PRD) استفاده شده است. سیستم کشت هیدروپونیک، یک سیستم تغذیه گیاهی است که مشکلات موجود در کشت خاکی از قبیل ساختمان ضعیف خاک، فقر خاک از لحاظ مواد غذایی، زهکشی نامناسب، بافت غیرهمگن خاک را بهبود می‌بخشد. همچنین به دلیل محیط کنترل‌شده، علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زا را کاهش می‌دهد و باعث کاهش استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها می‌گردد که افزایش سلامت میوه و محیط‌زیست را در پی دارد.

در این مقاله سعی شده که شاخص‌های کمی و کیفی و همچنین بهره‌وری آب در اثر کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI) و کم آبیاری خشکی موضعی ریشه (PRD) بر روی گیاه گوجه-فرنگی در شرایط کشت هیدروپونیک مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم آبیاری تنظیم‌شده (Regulated Deficit Irrigation, RDI) و کم آبیاری خشکی موضعی ریشه (PRD) بر روی گیاه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک، آزمایشی در پاییز ۱۳۹۵ با سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در چهار تکرار در مجتمع گلخانه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردید.

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. روش کاشت به صورت دستی بود. فاصله ردیف‌ها از هم ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین گلدان‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ابتدا ۵۲ گلدان به حجم ۹٫۸ لیتری تهیه و در هر گلدان

یک بوته کشت شد. جهت کاشت بذرها درون سینی نشا، ابتدا پیت‌ماس با آب ترکیب و سپس درون سینی نشا قرار داده شد. تعداد ۱۰۵ بذر گوجه‌فرنگی رقم والورو (Valouro) درون حفره‌های سینی نشا، در عمق ۴ تا ۵ میلی‌متری سطح خاک قرار داده شد. در این تحقیق از بستر پیت ماس برای گیاه گوجه‌فرنگی استفاده گردید.

از ورق آلومینیوم به منظور تقسیم گلدان‌ها به دو قسمت مساوی در تیمارهای PRD استفاده شد. به این ترتیب که ورق آلومینیوم در جهت قطر کوچک بیضی و در فاصله ۵ سانتی‌متری از بالای گلدان قرار داده شد. این فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری، جهت کاشتن نشا و ریشه آن درون خاک گلدان در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی کامل گلدان‌ها، بستر پیت‌ماس که با آب به خوبی ترکیب شده بود، درون گلدان‌ها قرار گرفت. سیستم آبیاری تیمارها از نوع آبیاری قطره‌ای اجرا گردید. لوله‌های انتقال آب از مخزن تا ابتدای لوله‌های لاترال از جنس پلی‌اتیلن و به قطر ۳/۴ اینچ و همچنین لوله‌های لاترال نیز از جنس پلی‌اتیلن و به قطر ۱۶ میلی‌متر بودند. برای تأمین نیروی لازم جهت انتقال آب، از پمپ با قدرت ۰/۵ اسب بخار استفاده شد. همچنین برای تیمارهای کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه (PRD) از دو لوله لاترال در کنار هم استفاده شد که هر لاترال یک سمت از گیاه را هر دو روز یکبار آبیاری می‌کرد.

نیاز آبی گیاه با اندازه‌گیری میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A مستقر در گلخانه و ضرب آن در سطح سایه‌انداز گیاه تعیین می‌شد. سطح سایه‌انداز برابر است با ضرب فاصله بین گلدان‌ها در هر ردیف و فاصله ردیف‌ها. دور محلول‌دهی با استفاده از تایمر تنظیم می‌شد. به دلیل ظرفیت نگهداری بسیار پایین بستر کشت، آبیاری روزانه و به تعداد ۱۲ مرتبه در روز و هر بار به مدت ۱ دقیقه انجام می‌گرفت. برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی رِش که شامل عناصر غذایی ماکرو و میکرو برای رشد گیاه است، استفاده شد که در جدول (۱) نام و غلظت عناصر ارائه شده است. برای تهیه محلول از آب شهری با EC = 1.8 mS/cm استفاده می‌گردید.

جدول ۱. عناصر غذایی موجود در محلول غذایی Resh (۲۰۱۲)

عناصر پرمصرف	غلظت عنصر (ppm)	عناصر کم‌مصرف	غلظت عنصر (ppm)
N	140	Mn	۰/۸
P	50	Cu	۰/۰۷
K	325	Zn	۰/۱
Mg	50	B	۰/۳
Ca	180	Mo	۰/۰۳
S	168	Fe	۲۰

پس از اعمال تیمارها، محصول گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در ۵ نوبت به صورت دستی برداشت شد. اولین برداشت ۱۱۳ روز پس از کاشت نشا در گلدان انجام گرفت. تعداد میوه برداشت‌شده، فقط شامل میوه‌هایی بود که کاملاً رشد کرده، تغییر رنگ داده و آماده برداشت بودند. بر این اساس، هر ۲ هفته یک‌بار میوه‌های رسیده شمارش، برداشت و توزین شدند. قطر و ارتفاع میوه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد.

بهره‌وری آب محصول (WP) عبارت است از: نسبت محصول به آب آبیاری و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$WUE = \frac{Y}{IR} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن:

WP: بهره‌وری آب محصول (Kg/m^3)، Y: میزان محصول (Kg) و IR: حجم آب آبیاری (m^3).

صفات کیفی را می‌توان به دو گروه بزرگ تقسیم کرد؛ صفات کیفی ظاهری شامل قطر میوه، طول میوه، عاری بودن از هرگونه شکاف و غیرطبیعی بودن شکل میوه و صفات کیفی درونی شامل عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم و ... و صفاتی که مربوط به طعم می‌شوند مثل مواد جامد محلول، اسیدیته. از نظر مصرف‌کننده صفات کیفی ظاهری دارای اهمیت بیشتری هستند.

برای اندازه‌گیری میزان کلسیم و منیزیم از روش تیتراسیون استفاده گردید (USDA Handbook 60). برای اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر استفاده گردید. میزان pH با استفاده از دستگاه pH سنج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS) از دستگاه رفرکتومتر دیجیتال دستی استفاده گردید. همچنین برای اندازه‌گیری میزان مواد آلی، ابتدا میوه خشک‌شده با استفاده از ترازوی با دقت ۴ رقم اعشار وزن گردید و سپس درون کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خروج از کوره نیز با همین ترازو نمونه‌ها توزین شد و تفاوت دو توزین میزان مواد آلی را به ما نشان داد.

اطلاعات برداشت‌شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه در جدول (۲) و (۴) و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در جدول (۳) و (۵) ارائه شده است. در این جدول‌ها دو گروه برای مقایسه صفات به شرح زیر قرار دارد: گروه ۱: شامل تیمارهای کم آبیاری خشکی موضعی ریشه در سطح ۸۵٪ و کم آبیاری تنظیم‌شده در سطح

۸۵٪. گروه ۲: شامل تیمارهای کم آبیاری خشکی موضعی ریشه در سطح ۷۰٪ و کم آبیاری تنظیم‌شده در سطح ۷۰٪.

کلسیم

نتایج نشان داد که میزان کلسیم در بین تیمارها و در مقایسه-های گروهی اختلاف معنی‌دار ندارد (جدول ۲). تیمارهای کم آبیاری PRD بیشترین میزان کلسیم را دارا بودند. بیشترین میزان کلسیم در تیمار PRD70 (به میزان ۷۰ میلی‌گرم بر گرم) است که نسبت به تیمار شاهد ۲۷٪ افزایش داشته و کمترین میزان آن در تیمار RDI85 (به میزان ۳۵ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، کاهش ۳۶ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۳). میزان کلسیم در تیمار شاهد برابر ۵۵ میلی‌گرم بر گرم بود. تفاوت میزان کلسیم در بین تیمارهایی که به میزان ۷۰٪ نیاز آبی، آب دریافت کرده‌اند کمتر از تیمارهایی است که ۸۵٪ نیاز آبی خود را دریافت کرده‌اند. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد استفاده از تکنیک کم آبیاری PRD باعث افزایش میزان کلسیم در میوه نسبت به تکنیک کم آبیاری RDI در همان سطح از نیاز آبی می‌شود که با نتایج Nourmahnad *et al.* (2006b)، Sticik *et al.* (2003) و Wang *et al.* (2012) مطابقت دارد.

منیزیم

جدول (۲) میانگین مربعات صفات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان منیزیم در بین تیمارها و در مقایسه‌های گروهی اختلاف معنی‌داری نداشت. برخلاف کلسیم، میزان منیزیم در تیمارهای کم آبیاری PRD نسبت به بقیه تیمارها کمتر بود. بیشترین میزان منیزیم در تیمار RDI70 (به میزان ۴۵ میلی‌گرم بر گرم) بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۱۴ درصدی داشت و کمترین میزان آن در تیمارهای PRD85 و PRD70 (به میزان ۹ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد کاهش ۵۷ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۳). همچنین میزان منیزیم در تیمار شاهد برابر ۲۱ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، به نظر می‌رسد بر خلاف کلسیم، میزان منیزیم در تیمارهایی که با تکنیک کم آبیاری RDI آبیاری می‌شوند، منیزیم بیشتری را در میوه، نسبت به تیمارهایی که با تکنیک کم آبیاری PRD آبیاری می‌شوند، به وجود می‌آورند. یکی از اثرات منفی تکنیک PRD، کاهش غلظت مواد معدنی میوه است که در کیفیت میوه تأثیرگذار است (Nakajima *et al,* 2004). نتایج این بخش با نتایج Wang *et al.* (2012) مطابقت دارد. اما با نتایج Nourmahnad *et al.* (2006b) مطابقت ندارد.

سدیم

اثر تیمارهای مختلف بر میزان سدیم دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۲). میزان سدیم در تیمارهایی که ۸۵٪ نیاز آبی خود را دریافت کرده بودند بیشتر از تیمارهایی بود که به میزان ۷۰٪ نیاز آبی، آبیاری شده بودند. بیشترین میزان سدیم در تیمار PRD85 (به میزان ۶/۱۹ میلی‌گرم بر گرم) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۹٪ افزایش را نشان می‌دهد و کمترین آن در تیمار شاهد (به میزان ۵/۱۸ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد با کاهش حجم آب آبیاری تا سطح مشخصی، میزان سدیم در میوه افزایش می‌یابد و پس از آن با کاهش بیشتر حجم آب آبیاری میزان سدیم کاهش پیدا می‌کند. نتایج این بخش با نتایج Wang *et al.* (2012) مطابقت دارد.

پتاسیم

جدول میانگین مربعات (جدول ۲) نشان می‌دهد که میزان پتاسیم نیز در بین تیمارها و در مقایسه‌های گروهی اختلاف معنی‌داری نداشت. تفاوت میزان پتاسیم در تیمارهای مقایسه گروهی۲ برابر ۶/۴۵ میلی‌گرم بر گرم و در تیمارهای مقایسه گروهی۱ برابر ۲/۹۸ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. به نظر می-رسد هرچه حجم آب آبیاری کمتری به گیاه داده شود، تفاوت دو تکنیک کم آبیاری PRD و کم آبیاری RDI در تولید پتاسیم میوه افزایش یمی‌یابد. بیشترین میزان پتاسیم در تیمار RDI70 (به میزان ۵۵/۴۵ میلی‌گرم بر گرم) اندازه‌گیری گردید که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۵ درصدی را نشان داد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (به میزان ۴۸ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد (جدول ۳). نتایج این بخش با نتایج Raisi *et al.* (2011) و Wang *et al.* (2012) مطابقت دارد.

جدول ۲. میانگین مربعات صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	pH	TSS	مواد آلی
تیمار	۴	۳۲۵ n.s	۶/۴۳۵ n.s	۰/۲۸ n.s	۲۳/۲۰ n.s	۰۱۵/۰ n.s	۷۹/۰ n.s	۰ n.s
مقایسه گروهی۱	۱	۶۲۵ n.s	۸۱ n.s	۰/۱۸ n.s	۸/۸۹ n.s	۰۰۱/۰ n.s	۰/۴۹ n.s	۰ n.s
مقایسه گروهی۲	۱	۲۲۵ n.s	۱۲۹۶ n.s	۰۳/۰ n.s	۴۱/۷۴ n.s	۰۲۶/۰ n.s	۰/۸۱ n.s	۰ n.s
خطا	۱۵	۱۵۰	۲/۱۱۵	۳۴۵/۰	۸۲/۸	۰۰۷/۰	۳۵۹/۰	۰
c.v		۴۴/۲۷	۶۸/۷۸	۱۰	۲۴/۷	۱۷/۲	۸۸/۱۶	۶۷/۱

n.s،*،** به ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه

تیمار	کلسیم (mg/gr)	منیزیم (mg/gr)	سدیم (mg/gr)	پتاسیم (mg/gr)	pH	TSS(٪brix)	مواد آلی (gr)
شاهد	۵۵[a]	۲۱[a]	۱۸/۵[a]	۴۸[a]	۴/۶۴[a]	۵۵/۳[a]	۸۸/۰[a]
PRD85	۶۰[a]	۹[a]	۱۹/۶[a]	۵۳/۹۶[a]	۶۴/۴[a]	۹۰/۴[a]	۰/۸۶[a]
RDI85	۳۵[a]	۱۸[a]	۷۶/۵[a]	۹۸/۵۰[a]	۶۱/۴[a]	۲۰/۴[a]	۸۷/۰[a]
PRD70	۷۰[a]	۹[a]	۴۲/۵[a]	۴۹[a]	۸۲/۴[a]	۱۵/۵[a]	۸۶/۰[a]
RDI70	۵۵[a]	۴۵[a]	۶۱/۵[a]	۴۵/۵۵[a]	۶۶/۴[a]	۲۵/۴[a]	۸۵/۰[a]

میانگین‌ها دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند.

اسیدیته (pH)

نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر میزان اسیدیته دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۲). میزان pH در تیمارهای ۷۰٪ نیاز آبی، بیشتر از تیمارهایی بود که ۸۵٪ میزان آب مورد نیاز خود را دریافت کرده بودند. همچنین در یک سطح آبیاری، میزان pH در تیمارهای PRD بیشتر از تیمارهای RDI بود. بیشترین میزان pH در تیمار PRD70 (به میزان ۴/۸۲) به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۴ درصدی نشان می‌دهد و کمترین آن در تیمار RDI85 (به میزان ۴/۶۱) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد فقط ۱٪ کاهش پیدا کرده است (جدول ۳). میزان این شاخص در تیمار شاهد برابر ۴/۶۴ می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد کاهش حجم آب آبیاری، باعث افزایش میزان pH میوه می‌شود که در طعم میوه تأثیرگذار است. نتایج این بخش با نتایج Shahin rokhsar *et al.* (2010)، Nourmahnad *et al.*(2006b)، Zomorodi *et al.* (2006)، Nourjou *et al.* (2006) و Salarinezhad *et al.* (2009) مطابقت دارد.

مواد جامد محلول (TSS)

در مقایسه‌های گروهی و در بین تیمارها، میزان مواد جامد معلق (TSS) فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان مواد جامد معلق (TSS) در تیمار PRD70 (به میزان ۵/۱۵٪ بریکس) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۴۵ درصدی را نشان می‌دهد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (به میزان ۳/۵۵٪ بریکس) اندازه‌گیری گردید (جدول ۳). نتایج این قسمت با نتایج Shahin rokhsar *et al.* (2010)، Salarinezhad *et al.* (2009) و Baghani and Bayat (2000) مشابهت دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، میزان این شاخص در تیمارهایی که با تکنیک کم آبیاری PRD آبیاری شده‌اند نسبت به تیمارهایی که با تکنیک کم آبیاری RDI آبیاری شده‌اند در یک سطح از حجم آب آبیاری، بیشتر است. احتمالاً اعمال تکنیک کم آبیاری PRD باعث افزایش میزان مواد جامد معلق (TSS) نسبت به تکنیک کم آبیاری RDI شده است که با نتایج Haghighi (2008) همخوانی دارد.

مواد آلی

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، میزان مواد آلی در بین تیمارها و در مقایسه‌های گروهی دارای اختلاف معنی‌دار نبود. تفاوت میزان مواد آلی در مقایسه‌های گروهی یکسان و به میزان ۰/۰۱ بود. بیشترین میزان مواد آلی در تیمار شاهد (۰/۸۸ گرم) و کمترین آن در تیمار RDI70 (به میزان ۰/۸۵ گرم) مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد ۳/۵٪ کاهش را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد با کاهش حجم آب آبیاری، میزان مواد آلی درون میوه گیاه کاهش پیدا می‌کند.

تعداد میوه

در بین تیمارها، شاخص تعداد میوه در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد ولی در مقایسه‌های گروهی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). بیشترین تعداد میوه در تیمار شاهد (به تعداد ۲۹ عدد) و کمترین آن در تیمار PRD70 (به تعداد ۱۸ عدد) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد کاهش ۳۸ درصدی را نشان می‌دهد (جدول ۵). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد کاهش حجم آب آبیاری باعث کاهش تعداد میوه در بوته می‌گردد ولی این میزان کاهش در تیمارهای کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI) کمتر از تیمارهای کم آبیاری خشکی موضعی ریشه (PRD) است. نتایج این بخش با نتایج Haghighi (2008)، Midanshahi *et al.* (2013)، Mohammadkhani *et al.* (2013) و Molavi *et al.* (2009) مطابقت دارد.

وزن میوه

جدول میانگین مربعات (جدول ۴) نشان داد که وزن میوه در بین تیمارها و در مقایسه گروهی۲ با اطمینان ۹۹٪ دارای اختلاف معنی‌دار هستند ولی در مقایسه گروهی۱ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بیشترین میزان وزن میوه در تیمار PRD85 (به میزان ۲۵۷۲/۲ گرم) مشاهده شد که نسبت به

تیمار شاهد رشد ۳/۵ درصدی را نشان می‌دهد و کمترین میزان وزن میوه در تیمار PRD70 (به میزان ۱۱۸۹/۵ گرم) اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار شاهد ۵۲٪ کاهش مشاهده گردید. (جدول ۵). میزان وزن میوه برای تیمار شاهد برابر ۲۴۸۳/۵ گرم بود. این میزان وزن میوه نسبت به نتایج Nourmahnad *et al.*(2006a) رشد ۵۲ درصدی را نشان می‌دهد. احتمالاً افزایش میزان سطح برگ به علت اعمال تیمار کم آبیاری خشکی موضعی ریشه در سطح ۸۵٪ نیاز آبی گیاه و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز باعث افزایش میزان محصول در تیمار PRD85 نسبت به تیمار شاهد شده است. این نتایج با نتایج Baghani and Alizadeh (2000) مطابقت ندارد.

جدول ۴. میانگین مربعات صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد میوه	وزن میوه	قطر میوه	ارتفاع میوه	بهره‌وری آب محصول
تیمار	۴	۱۰۲/۶۷*	۱۳۶۳۱۸۵/۶۲**	۳۱/۵۴$^{n.s}$	۲۰/۲۵*	۲۵/۳۲**
مقایسه گروهی ۱	۱	۴۵/۱۲$^{n.s}$	۶۶۰۶۷۵/۱۲$^{n.s}$	۱۱۶/۲۸$^{n.s}$	۴۸/۸۰*	۲۵/۸۱$^{n.s}$
مقایسه گروهی ۲	۱	۱۰/۱۲$^{n.s}$	۳۶۰۸۲۵/۱۲**	۰/۷۸$^{n.s}$	۰/۵۱$^{n.s}$	۲۰/۷۳**
خطا	۱۵	۲۷/۴۸	۷۷۷۹۰/۱۶	۱۶/۰۴	۴/۱۷	۲/۹۳
c.v		۲۷/۴۸	۲۴/۹۴	۷/۶۴	۶/۱۵	۲۱/۹۵

n.s،*،** به ترتیب معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه

تیمار	تعداد میوه	وزن میوه (gr)	قطر میوه (mm)	ارتفاع میوه (mm)	بهره‌وری آب محصول (kg/m^3)
شاهد	۲۹^{a}	۲۴۸۳/۵^{a}	۵۸/۵۲^{a}	۴۶/۷۶^{ab}	۱۳/۱۸^{ab}
PRD 85	۲۴^{ab}	۲۵۷۲/۵^{a}	۶۱/۵۳^{a}	۴۷/۴۷^{a}	۱۶/۰۷^{a}
RDI 85	۲۹^{a}	۱۹۹۷/۸^{ab}	۵۳/۹۰^{a}	۴۲/۵۳^{b}	۱۲/۴۸^{abc}
PRD 70	۱۸^{b}	۱۱۸۹/۵^{c}	۵۷/۰۶^{a}	۴۳/۱۲^{ab}	۹/۰۲^{c}
RDI 70	۲۰^{b}	۱۶۱۴/۲^{bc}	۵۶/۴۳^{a}	۴۶/۶۳^{ab}	۱۲/۲۴^{bc}

میانگین‌ها دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند.

قطر میوه

شاخص قطر میوه در بین تیمارها و در مقایسه‌های گروهی دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۴). بیشترین میزان قطر میوه در تیمار PRD85 (به میزان ۶۱/۵۳ میلی‌متر) اندازه‌گیری گردید که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۵ درصدی را نشان می‌دهد و کمترین میزان آن در تیمار RDI85 (به میزان ۵۳/۹۰ میلی‌متر) مشاهده گردید که نسبت به تیمار شاهد ۸٪ کاهش پیدا کرده است (جدول ۵). در یک سطح از میزان آب آبیاری، تیمارهایی که با روش کم آبیاری PRD آبیاری شدند، قطر بزرگ‌تری را نسبت به تیمارهایی که با روش کم آبیاری RDI آبیاری شدند به وجود آوردند. نتایج این قسمت با نتایج Molavi *et al.* (2009) مطابقت دارد.

ارتفاع میوه

بر طبق جدول میانگین مربعات (جدول ۴)، ارتفاع میوه در بین تیمارها و در مقایسه گروهی ۱ در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار بودند ولی در مقایسه گروهی۲ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. بیشترین میزان ارتفاع میوه در تیمار PRD85 (به میزان ۴۷/۴۷ میلی‌متر) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد رشد ۱/۵ درصدی را نشان داد و کمترین آن در تیمار RDI85 (به میزان ۴۲/۵۳ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار شاهد کاهش ۱۰ درصدی را نشان می‌دهد. با کاهش میزان آب آبیاری تا سطح ۸۵٪ نیاز آبی گیاه، تکنیک کم آبیاری PRD قطر بزرگ‌تری ایجاد می‌کند و با ادامه کاهش میزان آب آبیاری تا سطح ۷۰٪ نیاز آبی گیاه، تکنیک کم آبیاری RDI قطر بزرگتری را به وجود می‌آورد. نتایج Mousavi rahimi *et al.* (2014) با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

بهره‌وری آب

جدول میانگین مربعات (جدول ۴) بهره‌وری آب محصول را در بین تیمارها و در مقایسه گروهی۲ با اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار نشان داد ولی در مقایسه گروهی۱ اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. در این پژوهش بیشترین میزان بهره‌وری آب برابر ۱۶/۰۷ کیلوگرم به ازای مصرف یک مترمکعب آب برای تیمار PRD85 بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۲۲ درصدی را نشان داد و کمترین میزان آن برابر ۹/۰۲ کیلوگرم به

ازای هر مترمکعب آب برای تیمار PRD70 مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۳۱ درصد کاهش را نشان داد (جدول ۵). همچنین بهره‌وری آب محصول برای تیمار شاهد برابر ۱۳/۱۸ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب به‌دست آمد و بر طبق جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) بین تیمار شاهد و PRD85 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش میزان محصول و کاهش حجم آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد باعث ایجاد بهره‌وری آب بالاتری نسبت به تیمار شاهد شده است. در تیمار RDI70 به ازای ۳۰٪ کاهش حجم آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد، فقط ۷٪ کاهش بهره‌وری آب محصول مشاهده می‌شود که بر طبق جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. نتایج این بخش با نتایج Nourmahnad *et al.* (2006a)، Sharayeie *et al.* (2006)، (Sticik *et al*, 2003)، Barrios-Masiasa *et al.* (2016) و Zhang *et al*(2017) مشابهت دارد. در سطح آبیاری ۸۵٪، بهره‌وری آب تیمار PRD نسبت به تیمار RDI افزایش ۲۸ درصدی را نشان داد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر خشکی موضعی ریشه (PRD) و کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI) بر خصوصیات کمی و کیفی و همچنین بهره‌وری آب گیاه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در کشت هیدروپونیک بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که بین خصوصیات کیفی محصول تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و تفاوت معنی‌دار بین شاخص‌های کمی مربوط به یک تیمار نبود. پس نمی‌توان یک تیمار را بر تیمار دیگر برتر دانست. از سوی دیگر بیشترین میزان وزن میوه در بوته و بهره‌وری آب محصول در تیمار PRD85 (به میزان به ترتیب ۲۵۷۲/۵ گرم بر بوته و ۱۶/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین میزان آن‌ها در تیمار PRD70 (به میزان به ترتیب ۱۱۸۹/۵ گرم و ۹/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار PRD85 به عنوان بهترین تیمار جهت کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی در گلخانه شناخته شد. این تیمار باعث صرفه‌جویی ۵۲۰ مترمکعبی در هر هکتار در یک فصل رشد می‌شود.

REFERENCES

Baghani, J. and Alizadeh, A. (2000). Unplanned performance and water use efficiency in drip irrigation and furrow irrigation. *Journal of Agricultural Engineering & Engineering*, 185(5). (In Farsi)

Baghani, J. and Bayat, H. (2000). Trickle and furrow irrigation methods comparison on yield and quality of tomatoes. Research Report No.129. *Agricultural Research and Education Organization Pub*. Tehran.

Barrios-Masiasa. F. and Jacksonb. L. 2016. Increasing the effective use of water in processing tomatoes through alternate furrow irrigation without a yield decrease. *Agricultural Water Management*. 177: 107–117.

Dry, P.R., Loveys, B.R., During, H. and Botting, D.G. (1996). Effects of partial root zone drying on grapevine vigour, yield composition of fruit and use of water. In: *stockley CS. San AN. Johnstone RS. Lee TH (eds) Proc*. 9th Aust. Wine Ind. Techn. Conf. Adelaide, Australia. Winetitles, Adelaide. pp. 128-131.

Entesari, M. R., Heydari, N., kheyrabi, J., Alaie, M., Farshi, A.A. and Vaziri, Zh. (2007). Water use efficiency in greenhouse cultivation. *Publication of Iran National Irrigation and Drainage Committee*. Tehran. (In Farsi)

Haghighi, M. (2008). Effect of partial root zone drying (PRD) on water relationships, growth, yield and some tomato quality characteristics. *Journal of Greenhouse Cultivation Science and Technology* .1 (2): 9-17. (In Farsi)

Haghighi, M. and Behboudian, H. (2008). Water relations of the tomato plant under partial root zone drying (PRD). *Journal of Crops Improvement.* 13(1), 1-8. (In Farsi)

Han, Y.L. and Kang, S.Z. (2002). Effects of the controlled partial root zone irrigation on root nutrition uptake of maize (Zea mays). *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineers (in Chinese)*. 18(1), 57-59.

Midanshahi, M., Mosavi, F., Mostafi zadeh fard, B. and Landi, A. (2013). Effect of deficit irrigation with PRD method with sodium salicylate on yield, yield components and water use efficiency of tomato. *Journal of Science and Technology on Greenhouse Cultivation*. 4 (13), 1-13. (In Farsi)

Mohammadkhani, A., Nouri Emamzadehi, M. R. and Mirjalili, A. (2013). Effect of partial root zone drying irrigation methods on water use efficiency, yield and yield components of tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology, Natural Resources, Water and Soil Science.* 17(66), 173-183. (In Farsi)

Molavi, H., Mohammadi, M. and Liaghat, A. M. (2009). Effects of full irrigation and alternative furrow irriagtion on yield, yield components and water use efficiency of tomato (Super Strain B). *Journal of Water and Soil Science.* 21(3), 115-126. (In Farsi)

Mousavi Rahimi, M., Delshad, M. and Liaghat, A. M. (2014). Yield and quality of tomato fruit (Lycopersicon esculentum L., Cv. Synda) in non-soil culture under the influence of partial root drying and Polymer Hydrogel. *Journal of Plant Production (Agricultural Scientific Journal)*. 37 (3), 23-36. (In Farsi).

Naderi, N., Fazl Avali, R., Zia Tabar Ahmadi, M.,

Shah Nazari, A. Khavari Khorasani, S. (2013). Investigated the effect of different deficit irrigation methods on yield and water use efficiency of corn. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 3(9), 531-523. (In Farsi)

Nakajima, H., Behbodian, H., Gereven, M. and Zegbe, J.A. (2004). Mineral contents of grape, olive, apple and tomato under reduced irrigation. *J. Plant Nutrition and Soil Science. Soil Sci*. 167(2), 91-92.

Nourjou, A., Zomorodi, Sh. and Emami, A. (2006). Study the effects of different levels of irrigation in tomato cultivation. In: *Conference on study solutions Confront Water Crisis*. 143-153.(In Farsi)

Nourmahnad, N., Nouri Emamzadehi, M. R, Ghorbani, B. and Mohammadkhani, A. (2006a). Investigating the effect of deficit irrigation and partial root zone drying of irrigation on yield and water use efficiency of tomato. In: *9th National seminar Irrigation and Evapotranspiration*, Jun., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, pp. 1-8. (In Farsi)

Nourmahnad, N., Nouri Emamzadehi, M. R, Ghorbani, B. and Mohammadkhani, A. (2006b). study the effect of deficit irrigation management on quality and quantity of tomato. In: *10th National seminar Irrigation and Evapotranspiration*, 8-10 Feb., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, pp.1-8. (In Farsi)

Raisi, M., Moradi, P. and Hani, A. (2011). Comparison of irrigation methods for tomato yield under different fertilizer treatments Chyf figure in Jiroft region. In: *1st International and 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference*. 24-26 Aug., Seed and Plant Improvment Institute, Karaj, Iran, pp. 1-3.(In Farsi)

Resh, H. M. 2012. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commerical hydroponic grower. CRC Press. pp27.

Salarinezhad, P., Honarvar, M. and Afsharmanesh, Gh. (2009). Effect of limit irrigation on some quantity and quality characteristics of tomato cultivars in Jiroft. In: *2th National Conference on Agriculture and Sustainable Development,Opportunities and challenges ahead*. 2-3 March., Azad University of Shiraz, Shiraz, Iran. pp. 1-6.(In Farsi)

Shahin rokhsar, P., Shokri vahed, H., Esmaili asadi, M., Davari, K. and peyvast, Gh. (2010). Study of Irrigation Management and Different Substrates in hydroponic cultivated on Quantity and Quality Characteristics of Greenhouse Tomato. *Journal of Agricultural Science and Technology, Natural Resources, Water and Soil Science*. 14 (53), 53-63. (In Farsi)

Sharayeie, P., Sobhani, A. and Rahimian, M. H. (2006). Effect of Different Levels of Irrigation Water and Potassium Fertilizer on Water Use Efficiency and Quality of Tomato Fruit of Petvarli CH. *Journal of Agricultural Engineering Research*. No. 27, 75-86. (In Farsi).

Sobeih, W.Y., Dodd, I.C., Bacon M.A., Grierson, D. and Davies, W.J. (2004). Longdistance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (Lycopersicon esculentum) plants subjected to partial root-zone drying. *Journal Exp Bot 407*, 2353-2363.

sticik, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, Lj. and Zdravkovic, J. (2003). Partial Root Drying (PRD): A new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulgarian Journal of Plant physiology*, special. ISSUE, 164-171.

Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchieh, B., Tahi, H. and Serraj, R. (2005). Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (Olea europaea) in field conditions under arid climate. *I. Physiological and agronomic responses.Agric Ecosyst Environ*. 106, 289-301.

Wang, Y., Liu, F. and Richardt Jensen, C. (2012). Comparative effects of deficit irrigation and alternate partial root-zone irrigation on xylem pH, ABA and ionic concentrations in tomatoes. *Journal of Experimental Botany*, 63(5), 1907–1917.

Zhang, H., Xionga, Y., Huanga, G., Xu, X. and Huanga, Q. (2017). Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality andwater use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soilof the Hetao Irrigation District. Agricultural Water Management. 179: 205–214

Zomorodi, Sh., Nourjou, A. and Emami, A. (2006). Study the effects of deficit irrigation on the yield, quality and storability of tomato. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 27(7), 19-30. (In Farsi)