

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## The Effect of Partial Root-zone Drying on Changes of Photosynthesis, Respiration and Qualitative Characteristics of Processing Tomato

Haghighi<sup>1\*</sup>, M. and Behboudian, H.

1. Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
  2. Professor, Department of Horticultural Science, College of Natural Resource, University of Massey, New Zealand
- \*: Corresponding author      Email: [mhaghighi@cc.iut.ac.ir](mailto:mhaghighi@cc.iut.ac.ir)

Received: 2022/10/20      Accepted: 2023/12/09

### Abstract

A greenhouse experiment was conducted to investigate the effect of partial rootzone irrigation on physiological processes and quality traits of processed tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. Cv. Petopride). The experiment was conducted in a completely randomized design with 2 treatments, 6 replications, and 4 plants per replication and one-way local irrigation were compared with the usual method. In the one-way local irrigation method, only one side of the root was irrigated with 2 liters (50% of field capacity) in each irrigation cycle and the control treatment included irrigation of both sides of the root with 4 liters of water (100% of field capacity). The results showed that in general, the rate of respiration, photosynthesis, stomata conductivity in partial root zone irrigation was less than the control. There was no significant difference in the ratio of carbon dioxide of stomatal cells to air and photosynthetic active radiation, mesophyll conductance, and photosynthetic water use efficiency. Soil water content in partial root zone irrigation treatment was lower than the control throughout the growing season. Decreasing the amount of irrigation water improved soluble solids (26%) and glucose, fructose, and sucrose sugars in tomato fruit. The results of this experiment showed that partial root zone irrigation increased color (5.16%), and decreased fruit juice content (2%). The fruit yield (fresh weight) in partial root zone irrigation treatment at the end of the experiment was lower (42%) than the control. Conclusively, due to improving the quality of tomatoes under partial rootzone conditions, this method was recommended for the dry zone. Since this test was performed in a greenhouse to prevent environmental factors such as rain, field experiments are recommended, which means conditions where the root is more permeable and environmental conditions are also effective. An investigation on the yield in this condition is recommended.

**Keywords:** Partial root-zone drying, Sucrose, Photosynthesis, Glucose

### Introduction

Tomato is one of the most widely planted vegetables around the world. Water is one of the essential requirements for its growth and proper yield. Given the current climate changes and increasing water scarcity, the use of effective irrigation methods is crucial to meet the water needs of tomatoes and improve their productivity. One such water-saving irrigation technique is Alternate Partial root-zone drying (PRD). In PRD, irrigation water is supplied to only half of the root system at a time, while the other half is allowed to dry. The next irrigation cycle then shifts to the previously dry side, allowing the previously irrigated side to dry out. The objective of this study is to investigate the effect of local irrigation reduction on physiological processes and quality traits of processed tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Petopride).

### Materials and Methods

This study was conducted in the research greenhouses of Massey University, New Zealand, in a completely randomized design with 2 treatments, 6 replications, and 4 plants per replication. The aim was to compare the PRD method with the usual irrigation approach. In the one-way local irrigation treatment, only one side of the root system was irrigated with 2 liters of water (50% of field capacity) in each irrigation cycle. The control treatment involved irrigating both sides of the root system with 4 liters of water (100% of field capacity). To assess the post harvest factors, mature green fruits were transferred to a temperature-controlled chamber with carefully monitored conditions. Various photosynthetic characteristics were measured, including the rate of photosynthesis per unit of leaf area, stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> of stomata, mesophyll conductance, photosynthetic water use efficiency, and changes in respiration. Additionally, quantitative and qualitative fruit characteristics, such as fresh and dry weight, fruit juice content, number of fruits, color, and total dissolved solids, were evaluated. The data analysis was performed using SAS and Statistix software, and the comparison of means was conducted using the T-Test.

### **Results and Discussion**

In general, the rate of respiration, photosynthesis, and stomatal conductivity were lower under the PRD irrigation treatment compared to the control. The reduction in photosynthesis in the PRD treatment can be attributed to a decrease in the internal CO<sub>2</sub> levels within the leaves or potential damage to the photosynthetic systems in plants under the one-way local irrigation regime compared to the control. The PRD irrigation method largely reduced stomatal conductance, the ratio of internal to external CO<sub>2</sub>, and consequently, photosynthesis through stomatal factors. The lower rate of photosynthesis and CO<sub>2</sub> processing, despite the high internal CO<sub>2</sub> levels in the stomata, suggests a low level of mesophyll conductivity and the inability of mesophyll cells to utilize the available CO<sub>2</sub> effectively. Decreasing the amount of irrigation water improved the soluble solids (26%) and the levels of glucose, fructose, and sucrose sugars in the tomato fruits. This increase was particularly significant for sucrose sugars. The increase in soluble solids in tomatoes, considering the lower number of fruits under the PRD irrigation, suggests that the limited water supply enhanced the distribution and accumulation of carbohydrates in a smaller number of fruits compared to the control. Additionally, the lack of water likely increased the conversion of starch into sugars, leading to the observed increase in sugar and soluble solids content. The PRD treatment resulted in a 5.16% increase in fruit color. This increase in fruit color is believed to be linked to the concurrent rise in internal ethylene levels within the tomato fruits. Therefore, it can be reasonably inferred that the PRD irrigation method, by inducing water stress in one half of the root zone, has effectively stimulated the production of ethylene within the tomato plants. This ethylene-driven enhancement of the ripening process, in turn, has manifested in the observed improvement of fruit color through the accumulation of carotenoid pigments, especially lycopene.

### **Conclusions**

The PRD irrigation method improved key tomato quality attributes critical for processing and paste production, including increased color, soluble solids, and reduced juice content, despite lower overall yield. These quality enhancements can optimize efficiency and reduce energy demands in tomato paste manufacturing, making PRD irrigation a promising sustainable approach for this industry. By implementing this innovative irrigation technique, tomato growers can achieve higher quality produce, improved processing outcomes, and enhanced sustainability in the agricultural sector.

**Citations:** Haghighi, M. & Behboudian, H. (2024). The Effect of Partial Root-zoon Drying on Changes of Photosynthesis, Respiration and Qualitative Characteristics of Processing Tomato. *Plant Production Technology*, 23(2), 1-12. <https://doi.org/10.22084/PPT.2023.17525.1886>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**Online ISSN:** 2476-5651

**Print ISSN:** 2476-6321

## تأثیر آبیاری موضعی بر تغییرات فتوسنتز، تنفس و صفات کیفی گوجه‌فرنگی فراوری

### The Effect of Partial Root-zoon Drying on Changes of Photosynthesis Respiration and Qualitative Characteristics of Processing Tomato

مریم حقیقی<sup>۱\*</sup> و حسین بهبودیان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

(مقاله پژوهشی)

#### چکیده

آزمایشی گلخانه‌ای جهت بررسی تأثیر کاهش آبیاری موضعی بر فرایندهای فیزیولوژیکی و صفات کیفی گوجه‌فرنگی فراوری (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Petopride) انجام شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۲ تیمار، ۶ تکرار و ۴ گیاه در هر تکرار انجام شد و آبیاری موضعی یک‌طرفه با روش معمول مقایسه گردید. در روش آبیاری موضعی یک‌طرفه فقط یک سمت ریشه در هر دور آبیاری به میزان ۲ لیتر (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) آبیاری می‌شد و تیمار شاهد شامل آبیاری هر دو طرف ریشه با ۴ لیتر آب (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج آزمایش نشان داد که به‌طور کلی میزان تنفس، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در آبیاری موضعی یک‌طرفه کم‌تر از شاهد می‌باشد اما نسبت دی‌اکسیدکربن محفظه زیر سلول‌های روزنه به هوا، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی به‌طور کلی تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. محتوای آبی خاک در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه نسبت به شاهد در تمام طول دوره رشد کم‌تر بود. کاهش میزان آب آبیاری باعث بهبود مواد جامد محلول (۲۶ درصد) و قندهای گلوکز، فروکتوز و ساکارز در میوه گوجه‌فرنگی شد. هم‌چنین آبیاری موضعی یک‌طرفه باعث افزایش رنگ (۵/۱۶ درصد) و کاهش محتوای آب میوه (۲ درصد) گردید، عملکرد میوه (وزن تر) نیز در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه در پایان آزمایش کم‌تر (۴۲ درصد) از شاهد شد. به‌طور کلی به دلیل بهتر شدن کیفیت گوجه‌فرنگی جهت فراوری تحت تیمار آبیاری موضعی استفاده از این روش در مناطق کم آب توصیه می‌شود. البته از آنجایی که این آزمایش در شرایط گلخانه‌ای برای جلوگیری از دخالت عوامل محیطی مانند باران صورت گرفت، انجام آزمایشات مزرعه‌ای یعنی شرایطی که ریشه قدرت نفوذپذیری بیش‌تری دارد و شرایط محیطی اثرگذار می‌باشد لذا بررسی عملکرد در این شرایط توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری موضعی یک‌طرفه، ساکارز، فتوسنتز، گلوکز

ارجاع به مقاله: حقیقی، م. و بهبودیان، ح. (۱۴۰۲). تأثیر آبیاری موضعی بر تغییرات فتوسنتز، تنفس و صفات کیفی گوجه‌فرنگی فراوری. مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۳(۲)، ۱-۱۳. <https://doi.org/10.22084/PPT.2023.17525.1886>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

شاپا الکترونیکی: ۵۶۵۱-۲۴۷۶

۱. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
۲. استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مسی، نیوزلند  
\* نویسنده مسئول  
Email: [mhaghghi@cc.iut.ac.ir](mailto:mhaghghi@cc.iut.ac.ir)

## مقدمه

جهت استفاده بهینه از منابع آب، روش‌های مختلف آبیاری گسترش یافته است که رایج‌ترین آن‌ها در ایران، آبیاری تحت فشار قطره‌ای می‌باشد (زریق<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). یکی دیگر از روش‌های موثر، روش آبیاری موضعی یک‌طرفه است که در این روش فقط قسمتی از ریزوسفر ریشه با درصدی از آب آبیاری به روش معمول، آبیاری می‌شود و به‌طور متناوب پس از اینکه قسمت باقیمانده ریشه به مقدار مشخصی از رطوبت رسید، تناوب آبیاری عوض می‌شود (سانتوز<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱) با کاربرد این روش در مراحل فنولوژیکی خاصی از رشد گوجه‌فرنگی علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، کاهش محصول را فقط در مرحله میوه‌بندی<sup>۳</sup> مشاهده کردند اما این اثر در مراحل پایانی رشد و زمان برداشت کم‌تر بود. آن‌ها همچنین افزایش رنگ، مواد جامد محلول و ماده خشک میوه یا اندام دیگر را در بیش‌تر تیمارهای اعمال شده در مراحل مختلف رشد گزارش کردند. کارایی مصرف آب، تعداد میوه، وزن تر، وزن خشک و شاخص برداشت نیز در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه اعمال شده قبل از میوه‌بندی با تیماری که به‌طور کامل آبیاری شده بود، تفاوتی نشان نداد (زریق و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج تحقیق گلکار و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی میزان آب آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب در گوجه‌فرنگی نشان دادند که افزایش آب آبیاری به میزان ۲۰ درصد باعث افزایش جزئی تولید در میوه می‌شود و بیان کردند که این افزایش آب باعث کاهش بازده مصرف آب می‌شود. در تحقیق نورمهند و همکاران (۲۰۱۰) کاهش عملکرد میوه با روش آبیاری یک‌طرفه و آبیاری سنتی مشاهده شد، آن‌ها همچنین علت کاهش فتوسنتز در تیمارهای آبیاری یک‌طرفه را کاهش تعداد روزنه‌های باز در اثر افزایش میزان اسید آسزیک بیان کردند و گزارش کردند که افزایش اسید آسزیک در تیمارهای آبیاری یک‌طرفه با کنترل روزنه‌ها باعث افزایش مقاومت در برابر تنش می‌شود.

نتایج تحقیق سرائی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه (PRD) نسبت به تیمار کم آبیاری سنتی (۵۰ و ۷۵ درصد نقصان رطوبتی خاک) و تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب ۴۸/۳، ۶۱/۹ و ۷۰/۱ درصد افزایش داشت. PRD باعث صرفه‌جویی در میزان آب آبیاری در انگور تا ۵۰ درصد شد، درحالی‌که محصول کاهش نیافت، زیرا پتانسیل آب گیاه به روش PRD به اندازه گیاه کامل آبیاری

شده، حفظ می‌شود (بهبودیان<sup>۴</sup>، ۱۹۹۴). در گلایی آسیایی تحت تنش آبی، پتانسیل آب میوه‌ها شبیه به شاهد بود زیرا میوه‌ها دارای خاصیت تنظیم اسمزی بودند، به این معنا که وقتی گیاه تحت تنش آبی قرار گرفت، پتانسیل اسمزی کاهش یافت و از این طریق، باعث عدم تغییر فشار تورژسانس شد که این تغییرات ناشی از تجمع مواد معدنی، تولید مواد اسمزی آلی و دهیدراسیون بافت‌ها بود (هیسو<sup>۵</sup>، ۱۹۹۰).

نتایج مطالعات محققین نشان می‌دهد در شرایط تنش و حتی با وجود غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن محیطی، باز هم فتوسنتز کاهش می‌یابد که بیان‌کننده این امر است که در شرایط تنش کمبود آب، روزنه‌ها در گیاه بسته می‌شوند و متعاقب آن غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت مزوفیل کاهش می‌یابد و به دنبال تنش، واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل شده و محصول واکنش‌های روشنایی، که شامل ATP، NADPH است، مصرف نمی‌شود. در چنین شرایطی به دلیل عدم اکسید شدن مولکول NADPH، مصرف NADP<sup>+</sup> جهت دریافت الکترون کاهش می‌یابد، بنابراین مولکول اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به‌عنوان پذیرنده جانشین الکترون عمل می‌کند و منجر به شکل‌گیری رادیکال سوپراکسید (O<sub>2</sub><sup>-</sup>)، پراکسید هیدروژن (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) و رادیکال هیدروکسیل (OH) می‌گردد (سرام و ساکسینا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰) که باعث تخریب سلولی می‌شود.

تنفس در مرحله رسیدن در گوجه‌فرنگی کاهش یافته و تولید رنگدانه بالا می‌رود. با رسیدن میوه، طی تنفس نشاسته تجزیه شده و به قند تبدیل می‌شود که بیش‌ترین مقدار قند در گوجه‌فرنگی مربوط به گلوکز است (زریق و همکاران، ۲۰۰۶).

هدف از این تحقیق استفاده از تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه در تمام دوره رشد گوجه‌فرنگی و بررسی تغییرات فتوسنتزی و تنفسی گیاه و میوه هم‌چنین تغییرات کیفی میوه جهت فرآوری و تغییرات پتانسیل آب گیاه مرتبط با محتوای آب خاک بود تا از این طریق سودمندی استفاده از این روش در گوجه‌فرنگی‌های فرآوری تحت شرایط بحران کم آبی و استفاده بهینه از منابع آبی موجود بررسی شود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در ماه‌های اکتبر تا مارس سال ۲۰۰۸ میلادی در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشگاه مسی نیوزلند<sup>۷</sup> و اتاواک رشد

4. Behboudian  
5. Hsiao  
6. Sairam and Saxena  
7. Massey University of new Zealand

1. Zeghbe  
2. Santos  
3. Fruit set

### اندازه‌گیری تبدلات گازی

به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول در مترمربع در ثانیه) و غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای (میکرومول بر مول) دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LCi, ADC Bioscientific Ltd., UK) ۴، ۳۶، ۳۹، ۴۴، ۵۰ و ۶۴ روز پس از آغاز آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۴۰۰ تا ۱۲۰۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه انجام شد. در هر تیمار صفات مورد نظر از برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته با ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. داده‌ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ در داخل محفظه دستگاه اعداد ثبت گردید. هدایت مزوفیلی (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای تعیین گردید. کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسیدکربن در مول آب) شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازاء هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد که به‌منظور تعیین کارایی آن میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم می‌شود.

پس از برداشت میوه‌ها در مرحله سبز بالغ، در ظروف در بسته در اتاقک رشد قرار داده شدند و هر روز در زمان مشخصی تنفس میوه توسط تزریق یک میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن در دستگاه گاز کروماتوگرافی<sup>۴</sup> مجهز به ستون CTR-1 colum در ۶ روز متوالی انجام شد تا زمانی که اکثر میوه‌ها به مرحله سبز-نارنجی یا شکست رنگ برسند که حدوداً ۶ روز به طول انجامید. پس از برداشت هر میوه قرمز جهت تعیین مواد جامد محلول، پس از آگیری میوه با مخلوط‌کن و صاف کردن آب میوه از رفراکتومتر (ATC-1Atago, Japan) استفاده شد. قندهای گلوکوز، فروکتوز و ساکارز با دستگاه HPLC (Agilent 5975N, Santa Clara, USA) اندازه‌گیری شد.

رنگ پوست میوه با استفاده از کرومومتر<sup>۵</sup> (CR-200; Minolta, Osaka, Japan) در ۴ جهت میوه به فاصله هر ۲ روز پس از برداشت میوه‌ها بر حسب Hue angle اندازه‌گیری شد. پتانسیل آب برگ توسط دستگاه بمب فشار<sup>۶</sup> (3115 model, Santa Barbara, USA) توسط اندامی که کم‌تر از ۶ ثانیه قبل از گیاه جدا شده بود سنجیده و بر حسب مگاپاسکال بیان گردید.

مرکز تحقیقات باغبانی پالمستون نیوزلند<sup>۱</sup> با میانگین دمایی ۱۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نشاهای گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Petopride<sup>۷</sup> پس از رسیدن به مرحله ۴-۵ برگی در محیط کوکوپیت به بستر اصلی شامل جعبه‌های چوبی بزرگی حاوی پوست درخت، پومیس و پیت با نسبت حجمی ۱:۳:۶ منتقل شدند. ابعاد جعبه‌ها ۲/۵۳ متر طول، ۰/۶۵ متر عرض و ۰/۲ متر ارتفاع بود و هر یک از قسمت‌ها ۰/۶۰ متر طول، ۰/۶۰ متر عرض و ۰/۲۰ متر ارتفاع داشت. گیاهچه‌ها در مرکز جعبه چوبی به شکلی قرار گرفتند که نیمی از ریشه‌ها در یک طرف و نیم دیگر در طرف مقابل باشد. کود کند رهانشونده NPK 20:20:20 همراه با کود میکرو قبل از کاشت به بسترها اضافه گردید. تیمارها به‌صورت شاهد (آبیاری توسط ۴ لیتر آب در هر بار آبیاری که به کل حجم ریشه داده می‌شد) و آبیاری موضعی یک‌طرفه (آبیاری توسط ۲ لیتر آب که فقط به یک سمت ریشه در هر دور آبیاری داده می‌شد) بر اساس نیاز آبی گیاه تناوب آبیاری در زمانی که رطوبت خاک به اندازه ۲۰ درصد آب موجود برسد انجام می‌شد و آب به میزانی اضافه می‌شد تا به تیمارهای مورد نظر یعنی ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برسد. محتوای آب بستر<sup>۲</sup> (رطوبت حجمی بستر) در شاهد و دو سمت ریشه PRD به روش ذکر شده توسط دستگاه پرتابل<sup>۳</sup> در عمق ۰/۲۰ متر و با فاصله ۰/۰۵ متر از دیواره‌های جعبه‌های کاشت در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب در بخش مرکزی و انتهای جعبه‌ها، قطعه چوبی جهت جداسازی بخش تحتانی جعبه‌ها و هدایت آب به سمت پایین از هر سمت ریشه قرار داده شد. ضمن اینکه بستر سبک به کار رفته از حرکت جانبی آب بین دو بخش ریشه جلوگیری نموده و باعث حرکت عمودی آب به پایین می‌شد. جهت بررسی فاکتورهای پس از برداشت، میوه‌های سبز بالغ به اتاقک کنترل دمایی با شرایط کنترل شده بسیار دقیق با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، فشار بخار ۰/۹ کیلوپاسکال، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و میزان دی‌اکسیدکربن ۳۵۰ پی‌پی‌ام در روز و دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد، فشار بخار ۰/۷ کیلوپاسکال، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و میزان دی‌اکسیدکربن ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شب منتقل شد.

4. Gas chromatograph (3400 Varian; Varian Instrument Group, Walnut Creek, Calif)  
5. Chromameter: CR-200; Minolta, Osaka, Japan  
6. Scholander Pressure Bomb

1. HortResearch Palmerstone North center of New Zealand  
2. Volumetric water content  
3. 6000 IRAMS Time Domain Reflectometry model

برای تعیین پتانسیل اسمزی میوه از دستگاه وسکور<sup>۱</sup> استفاده شد. برای این منظور دیسک‌هایی از قسمت گوشتی میوه به اندازه جایگاه استقرار نمونه در دستگاه تهیه و در هر محفظه دستگاه گذاشته و ۱۵۰ دقیقه پس از کالیبره شدن دستگاه، نمونه‌ها به نیتروژن مایع منتقل و جهت اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی بر حسب مگاپاسکال دوباره به دستگاه وسکور منتقل شدند.

کلیه میوه‌ها پس از شمارش وزن شد و سپس به آون با دمای ۷۱ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از ثابت شدن وزن جهت تعیین وزن خشک توزین مجدد صورت گرفت و محتوای آب براساس تفاضل وزن تر و خشک محاسبه شد.

کارآیی مصرف آب<sup>۲</sup> از تقسیم مقدار آب مصرفی در طی دوره رشد به ازاء وزن خشک محاسبه شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار و ۴ گیاه در هر تکرار پیاده شد. آنالیز داده‌ها با نرم‌افزارهای SAS و Statistix و مقایسه میانگین‌ها توسط T-Test صورت گرفت.

## نتایج

### تغییرات رطوبتی خاک و گیاه و تغییرات فیزیولوژیکی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی

محتوای آبی خاک در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه نسبت به شاهد در تمام طول دوره رشد کم‌تر بود (شکل ۱). محتوای آبی خاک در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه در دو سمت مرطوب و خشک متفاوت و میانگین آن بیش از  $22/36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  و کم‌تر از  $6/64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  نبود. حداقل و حداکثر محتوای آب بخش خشک آبیاری موضعی یک‌طرفه ۲۱/۷۵ و ۶/۷ و بخش مرطوب آن ۲۸/۷۴ و ۷/۵۹ و محتوای آب شاهد در محدوده  $30/75 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  و ۹/۶ بود. پتانسیل آب برگ در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه نیز منفی‌تر از شاهد و تفاوت آن‌ها در اکثر روزها معنی‌دار بود (شکل ۱). خصوصاً هرچه به انتهای دوره رشد و گرم‌تر شدن هوا نزدیک‌تر می‌شد، این تفاوت افزایش می‌یافت.

پتانسیل اسمزی میوه در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه منفی‌تر از شاهد ( $P < 0.01$ ) بود و میانگین پتانسیل اسمزی میوه پس از ۵ روز در تیمار شاهد  $-7/7$  و در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه  $-14/05$  مگا پاسکال بود. میزان تنفس (جدول ۱)، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای (جدول ۱) در اکثر اندازه‌گیری‌ها در آبیاری موضعی یک‌طرفه کم‌تر از شاهد بود اما میزان دی‌اکسیدکربن محفظه زیر سلول‌های روزنه به هوا (جدول ۱)، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی (جدول ۲) در

بیش‌تر دفعات اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری نداشت (معنی‌داری اندازه‌گیری‌ها در هر مرتبه اندازه‌گیری در جدول ۱ و ۲ آمده است).

میزان تنفس (جدول ۳) در تمام دفعات اندازه‌گیری به غیر از دفعه چهارم (روز ۷۲)، بین تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه و شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد. هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی (جدول ۳) در محدوده روز ۳۹ تا ۴۴ از شروع آزمایش، بین دو تیمار متفاوت بود و هدایت مزوفیلی در ادامه تیمار و کارآیی مصرف آب قبل از روز ۳۹ نیز تفاوت مشاهده شد این تفاوت‌ها نشانگر بیش‌تر بودن کارآیی مصرف آب در آبیاری موضعی یک‌طرفه یا عدم تفاوت آن با شاهد بود و هدایت مزوفیلی تحت تیمار کم آبی آبیاری موضعی یک‌طرفه کاهش نیافت. نتایج هدایت روزنه‌ای نیز بر بی‌اثر بودن تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه بر فعالیت روزنه‌ای تایید می‌نماید با وجود عدم تغییر فعالیت‌های روزنه‌ای فتوسنتز تحت تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه کاهش یافت.

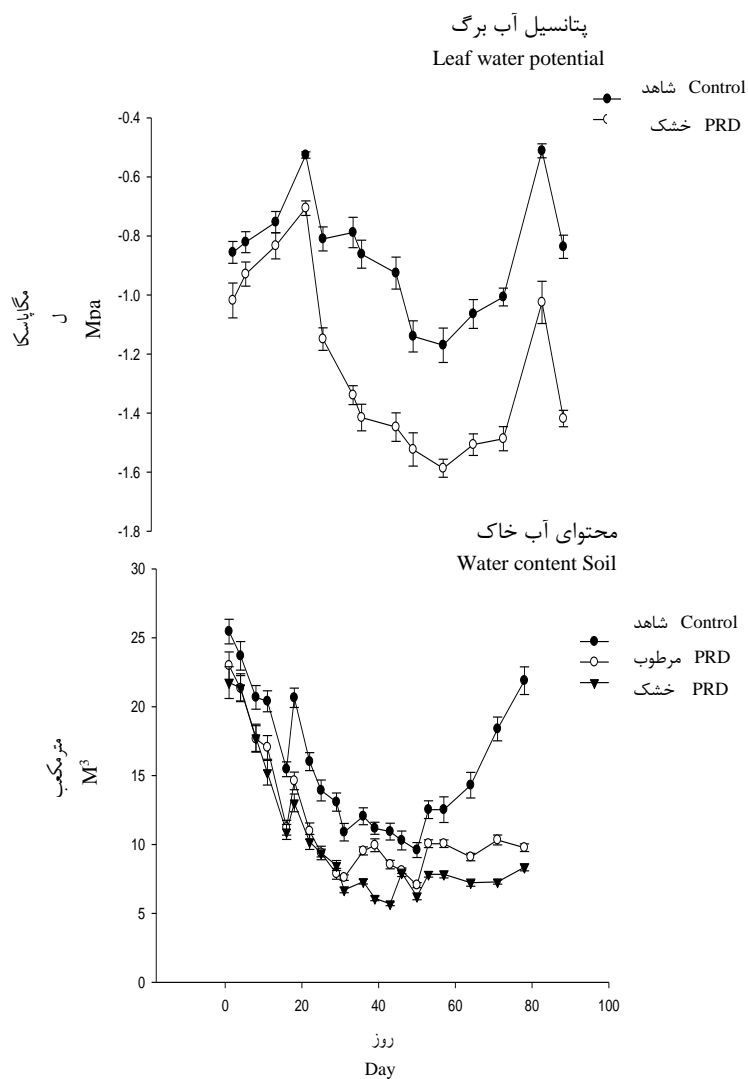
### تغییرات کیفی میوه

وزن خشک میوه به‌طور معنی‌داری در تیمار شاهد بیش از آبیاری موضعی یک‌طرفه بود و محتوای آب میوه‌های شاهد و درصد توزیع ماده خشک نیز بیش از آبیاری موضعی یک‌طرفه بود.

درصد مواد جامد محلول میوه در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه نسبت به شاهد بیش‌تر بود. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه، ۷/۴۴ درصد و در شاهد ۵/۹۰ درصد مشاهده شد (جدول ۴).

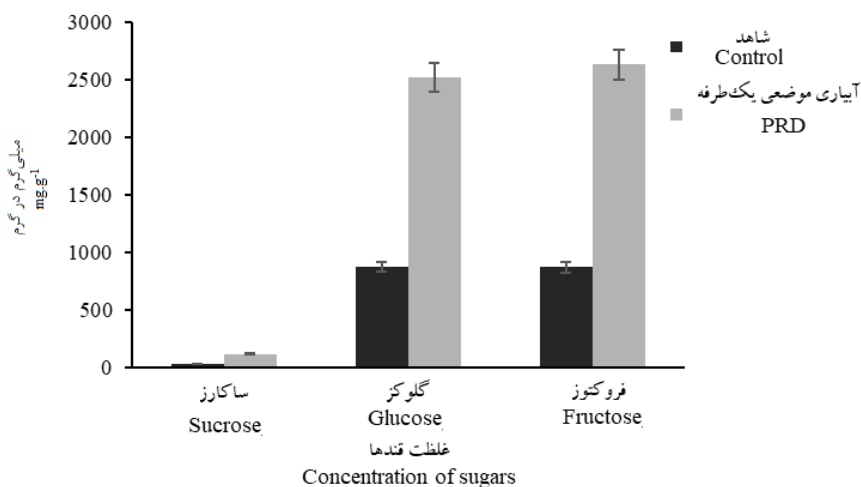
رنگ میوه‌ها در طول یک هفته هر ۲ روز یکبار اندازه‌گیری شد. اولین روز پس از برداشت رنگ میوه‌های دو تیمار تفاوت معنی‌داری نشان نداد اما در روز ۳ و ۵ از شروع اندازه‌گیری رنگ، میزان رنگ میوه‌های تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه بیش‌تر از شاهد بود اما به‌طور کلی میزان رنگ میوه‌های هر دو تیمار با گذشت زمان کاهش یافت (جدول ۴).

1. Wescor Dew Point Hygrometer  
2. Water Use Efficiency



شکل ۱: پتانسیل آب برگ و محتوای آب خاک در تیمار شاهد و آبیاری موضعی یک‌طرفه. سطح معنی‌داری در هر بار اندازه‌گیری در بالای شکل با ستاره مشخص شده است. واحد بر اساس روز از شروع تیماردهی است.

Fig. 1: Leaf water potential and soil water content in control and partial root-zoon drying. A significant level is specified at the top of the figure with the star in each time measurement. The unit is based on the day from the beginning of the treatment



شکل ۲: غلظت قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز تحت تیمار آبیاری موضعی یک‌طرفه

Fig. 2: The concentration of sugars, sucrose, glucose and fructose under partial root-zoon drying

جدول ۱: تغییرات فتوسنتز، هدایت روزنه ای و نسبت دی اکسیدکربن محفظه زیر سلول های روزنه به هوا در تیمار شاهد و آبیاری موضعی یک طرفه

Table 1: The photosynthesis changes, stomata conductance, and internal CO<sub>2</sub> of stomata in control and partial root-zoon drying.

						روز از شروع آزمایش Day from the starting of the experiment
4	36	39	44	50	64	
فتوسنتز (میکرومول CO <sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه) Photosynthesis ( $\mu\text{MCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )						
15.55±1.10	15.29±0.75	5.93±1.86	11.93±1.21	9.28±1.75	9.88± 1.44	شاهد Control
15.48±1.33	11.71±1.84	2.16±1.71	2.36±0.54	3.22±1.22	5.98±1.46	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.96	0.093	0.15	0.00	0.01	0.06	T-Test
هدایت روزنه ای (میلی مول H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه) Stomata conductance ( $\text{mM H}_2\text{O}_2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )						
4.50±0.45	2.09±0.24	0.84±0.23	2.34±0.32	0.78±0.19	1.40±0.29	شاهد Control
5.63±0.88	1.13±0.28	0.66±0.23	0.50±0.09	0.32±0.11	0.42±0.10	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.26	0.01	0.59	0.00	0.05	0.00	T-Test
نسبت دی اکسیدکربن محفظه زیر سلول های روزنه به هوا (میکرومول بر مول) Internal CO <sub>2</sub> of stomata ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )						
0.71±0.03	0.53±0.038	0.63±0.065	0.68±0.032	0.37±0.65	0.52±0.064	شاهد Control
0.73±0.034	0.38±0.046	0.87±0.043	0.70±0.058	0.48±0.093	0.36±0.085	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.81	0.01	0.00	0.77	0.31	0.12	T-Test

جدول ۲: تغییرات هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تیمار شاهد و آبیاری موضعی یک طرفه

Table 2: Changes in mesophyll conductivity and photosynthetic water use efficiency in control treatment and partial root-zoon drying

						روز از شروع آزمایش Day from the starting of the experiment
4	36	39	44	50	64	
هدایت مزوفیلی (میلی مول CO <sub>2</sub> در مترمربع در ثانیه) Mesophyll conductance ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$ )						
0.04±0.00	0.08±0.10	0.03±0.00	0.04±0.00	0.06±0.01	0.05±0.09	شاهد Control
0.05±0.00	0.10±0.02	0.00±0.00	0.01±0.07	0.03±0.18	0.04±0.01	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.91	0.33	0.01	0.00	0.04	0.33	T-Test
کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO <sub>2</sub> بر مول H <sub>2</sub> O) Photosynthetic water use efficiency ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{molH}_2\text{O}$ )						
0.03±0.00	0.01±0.01	0.08±0.01	0.05±0.00	0.14±0.02	0.01±0.01	شاهد Control
0.03±0.00	0.14±0.01	0.02±0.00	0.00±0.01	0.01±0.04	0.14±0.02	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.67	0.00	0.00	0.38	0.44	0.07	T-Test

قندهای ساکارز نسبت به گلوکز و فروکتوز بیشتر بود اگرچه میزان این دو قند به طور کلی در گوجه فرنگی تحت هر دو تیمار میزان بالایی را نشان داد. این افزایش در قند ساکارز ۳/۰۱ درصد و در گلوکز و فروکتوز به ترتیب ۱/۸۹ و ۲/۰۳ درصد بود (شکل ۲).

تعداد کل میوه بدون در نظر گرفتن میوه های دارای عارضه پوسیدگی گلگاه در شاهد ۶۴۰ و در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه ۵۳۸، هم چنین وزن تر میوه ها در تیمار شاهد بیش از آبیاری موضعی یک طرفه بود (جدول ۴).  
میزان قندهای گلوکز، ساکارز و فروکتوز در میوه های آبیاری موضعی یک طرفه بیش تر از شاهد بود و این افزایش خصوصاً در



## بحث

### تغییرات رطوبتی خاک و گیاه و تغییرات فیزیولوژیکی و فتوسنتزی گیاه

کاهش فتوسنتز در تیمار آبیاری موضعی یکطرفه می‌تواند به دلیل کاهش میزان دی‌اکسیدکربن داخل برگ‌ها باشد اما معنی‌دار نبودن آن در ۴ مرتبه دیگر اندازه‌گیری این احتمال را می‌دهد که آسیب دیدن سیستم‌های فتوسنتزی می‌تواند عامل دیگری بر کاهش فتوسنتز در گیاهان تحت تیمار آبیاری موضعی یکطرفه نسبت به شاهد باشد. در این آزمایش برخلاف نتایج زیقب و بهبودیان (2006) که در گیاه گلابی نشان داد هدایت روزنه‌ای برگ‌ها تحت تیمار آبیاری موضعی یکطرفه کاهش یافت. پس به احتمال قوی تری نتایج هدایت روزنه‌ای موید اثرات روزنه‌ای آبیاری موضعی یکطرفه بر کاهش فتوسنتز در گوجه‌فرنگی می‌باشد. البته این نکته را باید در نظر داشت که نتایج این آزمایش نمی‌تواند به‌طور قطع بر تأثیر یا عدم تأثیر آبیاری موضعی یکطرفه بر سیستم‌های فتوسنتزی نظر داشته باشد. در این آزمایش برخلاف نتایج زیقب و همکاران (2004)، بر روی گوجه‌فرنگی نشان داد که میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای هم تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت. همچنین آن‌ها گزارش دادند که فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای گوجه‌فرنگی با تیمارهای آبیاری قطره‌ای، شیاری و آبیاری موضعی یکطرفه تغییر نکرد. اما نتایج این آزمایش نشان داد که روش آبیاری موضعی یکطرفه در اکثر موارد باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، دی‌اکسیدکربن داخلی به خارجی و در نتیجه کاهش فتوسنتز از طریق عوامل روزنه‌ای گردید.

میزان کم‌تر فتوسنتز و فرآوری دی‌اکسیدکربن در حضور مقادیر بالای دی‌اکسیدکربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسیدکربن می‌باشد (فیشسر<sup>۱</sup> و همکاران، 1998).

در زمان‌هایی که فتوسنتز گیاه اندازه‌گیری شد محتوای آب خاک و پتانسیل آب برگ بین دو تیمار تفاوت داشت که دلیل دیگری بر این ادعا می‌باشد که روش آبیاری از طریق کاهش محتوای آب خاک بر پتانسیل آب برگ اثر گذاشته است و تا ۴۰ درصد پتانسیل آب برگ نسبت به شاهد منفی‌تر گردید و متعاقباً باعث تأثیر بر سلول‌های روزنه‌ای و کاهش هدایت روزنه‌ای شد هم‌چنین از ورود دی‌اکسیدکربن به داخل برگ‌ها جلوگیری کرده و میزان دی‌اکسیدکربن داخلی به هوا را کاهش داد.

در تمام طول آزمایش محتوای آب خاک تیمار آبیاری موضعی یکطرفه منفی‌تر از شاهد و قسمت خشک ریشه منفی‌تر از بخش مرطوب آن بود. در زمان ۱۰۳ روز پس از شروع آزمایش پتانسیل آب برگ توسط بمب فشار سنجیده شد و پتانسیل آب در تیمار آبیاری موضعی یکطرفه منفی‌تر از شاهد بود، هم‌چنین مقایسه پتانسیل آب برگ و محتوای آب بخش مرطوب و خشک بستر نشان داد که پتانسیل آب هیچ یک از بخش‌های خشک و مرطوب بستر اثری بر پتانسیل آب برگ‌ها نداشت و برگ‌ها از نظر پتانسیل آب از وضعیت رطوبتی خاک و ریشه تبعیت نمی‌کنند.

با پیشرفت تنش خشکی هدایت مزوفیلی تحت تأثیر قرار گرفت و از روز ۳۹ به بعد تفاوت آن بین شاهد و آبیاری موضعی یکطرفه معنی‌دار بود.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی نشان داد که کارایی مصرف آب فتوسنتزی در آبیاری موضعی یکطرفه نسبت به شاهد بیش‌تر بود یا تفاوت معنی‌داری نداشت. روش آبیاری موضعی یکطرفه نتوانست بر میزان فتوسنتز به‌طور مستقیم اثر داشته باشد و کاهش میزان فتوسنتز از طریق دیگری تحت تأثیر روش آبیاری موضعی یکطرفه قرار گرفت و البته دلیل معنی‌دار شدن تفاوت تیمارها در روز ۳۹ اندازه‌گیری، کاهش میزان روشنایی به ۱۱/۱۳ نسبت به ۳۰/۵۷ و ۴۳/۴۴ لوکس در روزهای ۳۶ و ۴۴ بود.

### تغییرات کیفی میوه گوجه‌فرنگی

کاهش میزان آب آبیاری باعث افزایش مواد جامد محلول و قندهای گلوکز، فروکتوز و ساکارز در میوه گوجه‌فرنگی شد و این افزایش خصوصاً در قندهای ساکارز معنی‌دار بود. در آزمایش انجام شده بر روی درختان سیب، کاهش میزان آب آبیاری باعث افزایش میزان مواد جامد محلول میوه شد (یانگ<sup>۲</sup> و همکاران، 1993).

جدول ۳: روند تغییرات تنفس (میکرومول در کیلوگرم در ثانیه) در میوه‌های گوجه‌فرنگی در ۸ روز متوالی

Table 3: The changes of respiration ( $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) tomato fruit in 8 consecutive days

67	68	69	72	73	74	روز از شروع آزمایش Day from the starting of the experiment
0.161	0.121	0.085	0.047	0.042	0.058	شاهد Control
0.415	0.326	0.029	0.054	0.00	0.147	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.00	0.00	0.01	0.56	0.01	0.00	T-Test

جدول ۴: تعداد، رنگ، درصد مواد جامد محلول میوه، وزن تر و خشک میوه گوجه‌فرنگی تحت تیمار آبیاری موضعی یک طرفه

Table 4: The number, color, soluble solids percentage, fresh weight and dry weight of tomato fruit under partial root-zoon drying

وزن تر (گرم) Fresh weight fruit (g)	وزن خشک میوه (گرم) Dry weight fruit (g)	محتوای آب میوه (درصد) Water content fruit (%)	تعداد میوه Number fruit	رنگ Color	درصد مواد جامد محلول Soluble solids (%)	تیمار Treatment
2949.94a <sup>†</sup>	206.308a	93.06a	640a	61.02a	5.9b	شاهد Control
1267.52b	111.95b	91.21 b	538a	57.87b	7.44a	آبیاری موضعی یک طرفه Partial root-zoon drying
0.00	0.00	0.00	0.08	0.000	0.000	سطح معنی‌داری Significantly level

†حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون T-Test را در هر ستون نشان می‌دهد

† Similar letters show in each column significantly the same according T-Test

کل میوه در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه نسبت به شاهد کم‌تر شد که دلیل آن را می‌توان به کوچکتر بودن میوه‌های بوته‌های آبیاری موضعی یک طرفه نسبت به شاهد دانست.

در این آزمایش نیز میوه‌های تحت تیمار آبیاری موضعی یک طرفه دارای Hue angle کم‌تری نسبت به شاهد بودند به این معنا که آن‌ها قرمزتر از میوه‌های شاهد بودند. برج‌ت<sup>۴</sup> و همکاران (1994) بر روی گوجه‌فرنگی گزارش کردند میوه‌های تحت استرس کم آبی پررنگ‌تر از شاهد می‌شوند، آن‌ها گزارش نمودند که افزایش میزان کارتنوئیدها همزمان با افزایش میزان اتیلن داخلی است حتی اگر بر هم اثر مستقیم نداشته باشند و اتیلن رسیدگی را سرعت می‌بخشد و فرآیند رسیدگی باعث افزایش میزان لیکوپن می‌شود.

همان‌طور که بیان شد تولید رنگ با تغییرات اتیلن و تنفس همبستگی دارد و در میوه فلفل دلمه‌ای افزایش میزان اتیلن داخلی همزمان با افزایش رنگ همراه بود (گروس<sup>۵</sup> و همکاران، 1986)، اما از آنجایی که در گوجه‌فرنگی تولید اتیلن و تنفس پس از برداشت تغییر محسوسی نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است) لذا تنها اتیلن درونی دلیل بر افزایش رنگ میوه‌ها و افزایش سرعت رسیدگی میوه‌ها مانند آنچه در فلفل گزارش شده است، نمی‌باشد (ویلاویسنسو<sup>۶</sup> و همکاران 2001).

افزایش مواد جامد محلول در گوجه‌فرنگی به چند دلیل احتمالی است: اول این که با توجه به این که تعداد میوه در آبیاری موضعی یک طرفه کم‌تر از شاهد بود به نظر می‌رسد آبیاری به میزان کم موجب افزایش توزیع و تجمع کربوهیدرات در مقدار کم‌تر میوه نسبت به شاهد گردید (درجی<sup>۱</sup> و همکاران 2005) یا به عبارتی غلظت مواد جامد محلول در شاهد به دلیل آب بیش‌تر، کم‌تر می‌شود و دوم این که به دلیل پایین بودن پتانسیل آب و محتوای آب میوه در آبیاری موضعی یک طرفه تخلیه مواد پرورده از میوه کم‌تر از شاهد صورت می‌گیرد (یانگ و همکاران، 1993). از طرفی به دلیل شرایط کمبود آب، تبدیل نشاسته به قند بیش‌تر صورت گرفته و مقدار قند و مواد جامد محلول افزایش یافت (کرامر<sup>۲</sup>، 1993).

کیتو<sup>۳</sup> و همکاران (1996) بیان داشتند که پتانسیل آب در ظهر کاهش یافته و در بعد از ظهر شروع به بهبود می‌کند زیرا هوا خنک‌تر می‌شود، همزمان با آن جریان آسمیلات‌ها به میوه افزایش می‌یابد و این تاییدی بر افزایش مواد جامد محلول در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه می‌باشد. بالاتر بودن میزان مواد جامد، فروکتوز و ساکارز در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی میوه در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه نسبت به شاهد شد. با این وجود وزن خشک

4. Brecht  
5. Gross  
6. Villavicencio

1. Dorji  
2. Keramer  
3. Kitano

### نتایج کلی

با توجه به نتایج ذکر شده استفاده از آبیاری موضعی یک طرفه باعث افزایش رنگ، میزان مواد جامد محلول و کاهش محتوای آب میوه می‌شود که مناسب صنایع فرآوری و رب‌سازی است. اگرچه عملکرد (وزن تر) تیمار آبیاری موضعی یک طرفه در پایان آزمایش (به میزان ۴۲/۹۶ درصد) کم‌تر از شاهد بود اما از آنجایی که این رقم بیش‌تر برای تولید رب گوجه‌فرنگی به کار می‌رود و میزان رنگ و درصد مواد جامد محلول از اهمیت بیش‌تری در این صنعت برخوردار است و از طرفی کاهش محتوای آب میوه انرژی لازم برای تغلیظ گوجه‌فرنگی و تولید رب را کاهش می‌دهد، بنابراین کاهش محتوای آب میوه که دلیل اصلی کاهش عملکرد می‌باشد نیز در اینجا مطلوب است. از آنجایی که این آزمایش در شرایط گلخانه‌ای برای جلوگیری از دخالت عوامل محیطی مانند باران صورت گرفت، انجام آزمایشات مزرعه‌ای یعنی شرایطی که ریشه قدرت نفوذپذیری بیش‌تری دارد و شرایط محیطی نیز اثرگذار می‌باشد توصیه می‌شود.

تحقیقات ثابت کرده است که غلظت اسید آسزیک در فلفل هنگام تنش آبی افزایش یافته که اهمیت نقش اسید آسزیک در افزایش رنگ و رسیدگی فلفل را ثابت می‌کند (سیرانو<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۵). لذا افزایش اسید آسزیک در تیمار آبیاری موضعی یک طرفه و نقش آن در افزایش رنگ در گوجه‌فرنگی نیز محتمل است.

در گوجه‌فرنگی فرآوری سه خصوصیت بسیار حائز اهمیت است، اول میزان رنگ خصوصاً میزان لیکوپن از جهت فواید آن برای سلامتی بشر و محتوای آب میوه که انرژی کم‌تری برای تغلیظ گوجه به رب مصرف می‌شود و افزایش میزان مواد جامد محلول که هم سرعت بلوغ میوه و هم میزان هزینه تولید را کاهش می‌دهد و از جهت زود به بازار دادن محصول حائز اهمیت است (مای و گونزالز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹). مکانیسم احتمالی آن این است که وقتی بخشی از سیستم ریشه در هر بار آبیاری خشک می‌ماند طبق مکانیسم پیغام‌هایی از ریشه به ساقه و از ساقه به میوه، بیوسنتز اتیلن را فعال می‌کند که باعث می‌شود میوه سریع‌تر بالغ شود (گونونوی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱). در این آزمایش نیز سه خصوصیت افزایش رنگ و مواد جامد محلول و کاهش محتوای آب میوه شرایط لازم برای فرآوری گوجه‌فرنگی را تسهیل و مطلوب ساخت.

### منابع

- Behboudian, M. H., Lawes, G. S. and Griffiths, K. M. 1994. The influence of water deficit on water relation, photosynthesis and fruit growth in Asian pears (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae*, 60: 89-99. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90064-7).
- Brecht, J. K., Locascio, S. J. and Bergsma, K. A. 1994. Water quantity affects quality of drip irrigated tomato fruit. *Horticultural Science*, 5: 450. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.5.450g>.
- Dorji, K., Behboudian, M. H. and Zeghbe-Dominguez, J. A. 2005. Water relation growth, yield and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Science Horticulturae*, 104: 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.015>.
- Fisher, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Candon, A. G. and Saavedra, A. L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38: 1467-1475. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060011x>.
- Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52: 725-749. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.725>.
- Golkar, F., Farahmand, A. and Fardad, H. 2008. Investigating the effect of irrigation water on yield and efficiency of water consumption in tomato. *Journal of Water Engineering*, 1: 13-20. (In Persian).
- Gross, K., Watada, A. E., Kang, M. S., Kim, S. D. and Lee, S. W. 1986. Biochemical change associate with the ripening of hot pepper fruit. *Physiologia Plantarum*, 66: 31-36. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb01227.x>.
- Hsiao, T. C. 1990. Plant atmosphere interaction evapotranspiration and irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 278: 55-66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.278.3>.
- Keramer, P. J. 1983. *Water Relation of Plants*. Academic press, London, pp. 264.
- Kitano, M., Yokomukaro, F. and Eguchi, H. 1996. Interactive dynamic of fruit and stem growth in tomato plants as affected by root water condition relation with sucrose translocation. *Biotronics*, 25: 75-84.

1. Serrano
2. May and Gonzales
3. Giovannoni

- May, D. M. and Gonzales, J. 1999. Major California processing tomato cultivars respond differently in yield and fruit quality to various levels of moisture stress. *Acta Horticulturae*, 487: 525-529. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.487.87>.
- Nourmahnad, N., Emamzadei, M., Ghorbani, B. and Mohamdkhani, A. 2010. Effects of deficit irrigation management on water use efficiency and some physiologic and phenologic properties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Water and Soil Science*, 13: 1-11. (In Persian).
- Sairam, R. K. and Saxena, D. C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Agronomy and Crop Science*, 184: 55-61. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00358.x>.
- Santos, D. L., Coelho, E. F., Cunha, F. F., Donato, S. L. R., Bernado W. P., Rodrigues, W. P. and Campostrini, E. 2021. Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 243: 106421. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106421>.
- Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., Parsinejad, M. and Modares Sanavi, S. 2010. Improving soybean water use efficiency using partial root drying. *Journal of Water and Soil Science*, 14: 1-14. (In Persian).
- Serrano, M., Martinez-Madrid, M. C., Riquelm, F. and Romojaro, F. 1995. Endogenous level of polyamines and abscisic acid in pepper fruit during growth and ripening. *Physiologia Plantarum*, 95: 73-76. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00810.x>.
- Villavicencio, L. E., Blankenship, S. M., Sanders, D. C. and Swallow, W. H. 2001. Ethylene and carbon dioxide concentration in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Science Horticulturae*, 91: 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00249-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00249-7).
- Young, T. E., Jovic, J. A. and Sollivan, J. G. 1993. Accumulation of the component of total solids in ripening fruit of tomato. *American Society Horticultural Science*, 118: 268-292. <https://doi.org/10.21273/JASHS.118.2.286>.
- Zeghbe, J. A., Behboudian, M. H. and Clothier, B. E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural Water Management*, 68: 195-206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.002>.
- Zeghbe, J. A. and Behboudian, M. H. 2006. Relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pears (*Pyrus serotina* Rehd.). *Science Horticulture*, 60: 89-99.