



Effect of Irrigation Levels and Grafting on Growth and Photosynthetic Activities of Greenhouse "Dafnis" Tomato

Z. Sadeghi¹, M. H. Shamshiri^{1*}, F. Soroush² and H. R. Karimi¹

(Received: 21 January 2023; Accepted: 23 May 2023)

Abstract

In this study, the possibility of growing greenhouse tomato cv. Dafnis with saving water consumption through grafting on different rootstocks was investigated by studying photosynthesis and plant growth. The experiment was carried out in the form of split plots based on completely randomized design in which the main-plot was irrigation levels (irrigation intervals of 3, 6 and 9 days) and the sub-plot consisted of 9 different grafting combinations. After grafting and establishment of tomato plants in greenhouse, the plants were exposed to the irrigation levels for 4 months and all were irrigated up to field capacity. Photosynthesis parameters were measured in four stages and shoot and root dry weights were determined at the end of the experiment. Based on the results, photosynthetic parameters were reduced by the intensity and duration of drought stress. The experimental results showed that the rate of photosynthesis was the same in all grafting combinations 36 days after the start of irrigation levels. However, after 72 days, the rate of photosynthesis in the "Emperador" rootstock was higher than in the control. The chlorophyll fluorescence indices were not sensitive to show the effects of drought stress and the role of rootstocks. Cherry tomato rootstock, in addition to having an extensive root system than the other rootstocks, resulted in more shoot growth at all levels of irrigation, although the least reduction in root weight was observed in the local eggplant rootstock of Yazd. In general, it can be concluded that the photosynthesis in this experiment was more affected by the interaction of environmental factors and grafting and the rootstocks used did not play a significant role in this regard. Furthermore, root and shoot growth traits were more affected by genetic potential of rootstock, and photosynthetic activities of the plant had a minor influence on them.

Keywords: Drought stress, Grafting, Growth, Photosynthesis, Rootstock, Tomato.

Background and Objective: The cultivation of tomato is often threatened by drought stress periods as this crop is largely dependent on sufficient water supply (1). The magnitude and intensity of drought are predicted to increase under climate change scenarios, particularly in semi-arid regions, where water is already a scarce resource. Hence, it is imperative to devise strategies for mitigating the adverse effects of drought on tomato through improvement in the plant's efficiency of root water uptake. Since the root is the entry point for water, its intrinsic structure and functions play a crucial role in maintaining the soil–water–plant continuum during moisture deficit at the rhizosphere. Grafting offers a great opportunity to replace the

1- Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.

2- Department of Water Engineering, College of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.

* Corresponding author, Email: Shamshiri88@gmail.com

root system of the cultivated tomato plants with that of wild species and hence provide a rapid solution to modulate root system architecture in contrast to the time-consuming conventional breeding approach (2). In this study, the possibility of growing greenhouse tomato of Dafnis cultivar by saving water consumption through grafting on different rootstocks and from the point of photosynthesis and growth view was investigated.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the form of split plots based on completely randomized design in which the main-plot was irrigation levels (irrigation intervals of 3, 6 and 9 days) and the sub-plot consisted of 9 different grafting combinations. After grafting and establishment in the greenhouse, tomato plants were exposed to the irrigation levels for 4 months and all were irrigated up to field capacity. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters were measured in 4 stages and shoot and root dry weights were determined at the end of the experiment.

Results: Based on the results, photosynthetic parameters were reduced by the intensity and duration of drought stress. The intensity of photosynthesis was the same in all grafting combinations 36 days after the start of irrigation levels and was not different from the non-grafted control plants. However, after 72 days, the rate of photosynthesis in the “Emperador” rootstock was higher than in the control. In this experiment, chlorophyll fluorescence indices were not sensitive to show the effects of drought stress and the role of rootstocks. Cherry tomato rootstock had, an extensive root system than the other rootstocks, resulted in more shoot growth at all levels of irrigation, although the least reduction in root weight was observed in the local eggplant rootstock of Yazd.

Conclusions: In general, it can be concluded that the process of photosynthesis was more affected by the interaction of environmental factors and grafting, and the rootstocks used did not play a significant role in this regard. Furthermore, root and shoot growth traits were more affected by genetic potential of rootstock, and photosynthetic activities of the plant had a minor influence on them. Grafting as a healthy technique may increase the resistance of tomato plants against drought stress depending on the genotype of the rootstock.

References:

1. Jiang, L., Wang, Y., Zhang, S., He, R., Li, W., Han, J., Cheng, X., 2017. Tomato SlDREB1 gene conferred the transcriptional activation of drought-induced gene and an enhanced tolerance of the transgenic *Arabidopsis* to drought stress. *Plant Growth Regulation* 81: 131–145.
2. Rouphael, Y., Kyriacou, M.C., Colla, G., 2018. Vegetable grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science* 8: 2255.



تأثیر سطوح آبیاری و پیوند بر رشد و شاخص‌های فتوسنتزی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس

زینب صادقی^۱، محمدحسین شمشیری^{۱*}، فاطمه سروش^۲ و حمیدرضا کریمی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲)

چکیده

در این پژوهش امکان پرورش گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس با صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق پیوند بر روی پایه‌های مختلف و با بررسی فرایند فتوسنتز و رشد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد که کرت اصلی سطوح آبیاری (دور آبیاری ۳، ۶ و ۹ روز) و کرت فرعی شامل ۹ ترکیب مختلف پیوندی بود. گیاهان گوجه‌فرنگی پس از پیوند و استقرار در گلخانه به مدت ۴ ماه تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفتند و در هر نوبت تا حد گنجایش مزرعه‌ای آبیاری شدند. نتایج آزمایش نشان داد که شدت فتوسنتز در تمام ترکیبات پیوندی ۳۶ روز پس از آغاز سطوح آبیاری یکسان بود و با شاهد غیرپیوندی تفاوتی نداشت اما پس از گذشت ۷۲ روز، شدت فتوسنتز در پایه امپرادور بیش از شاهد بود. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در این آزمایش حساسیت لازم برای نشان دادن آثار تنش خشکی و نقش پایه‌ها بر آن را نداشتند. پایه گوجه‌فرنگی گیلانی علاوه بر دارا بودن سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر نسبت به سایر پایه‌ها، موجب رشد بیش‌تر شاخساره در تمام سطوح آبیاری شد اگرچه کم‌ترین کاهش وزن ریشه در پایه بادمجان محلی یزد مشاهده شد. در کل می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که فرایند فتوسنتز در این آزمایش بیش‌تر تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل محیطی و پیوندک قرار گرفت و پایه‌های مورد استفاده نقش‌چندانی در این رابطه نداشتند همچنین میزان رشد سیستم ریشه‌ای و شاخساره گیاه پیوندی بیش‌تر تحت تأثیر قدرت ژنتیکی پایه قرار دارد و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه سهم کم‌تری را به‌خود اختصاص می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: پایه، پیوند، تنش خشکی، رشد، فتوسنتز، گوجه‌فرنگی.

مقدمه

که جوابگوی این جمعیت روبه‌رشد باشد با چالش جدی مواجه کرده است. بنابراین به‌کارگیری راهکارهای جایگزین که از طرفی سبب تخریب اکوسیستم نشود و از طرف دیگر سطح تولید محصولات کشاورزی را افزایش داده و یا دست‌کم در سطح فعلی آن نگه دارد بسیار ضروری است.

بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، تغییرات اقلیمی به‌صورت فزاینده سبب بروز تنش‌های خشکی و کاهش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد (۱۳). این در حالی است که افزایش روزافزون جمعیت در جهان، تولید کافی مواد غذایی را

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر "عج" رفسنجان

۲- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر "عج" رفسنجان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Shamshiri88@gmail.com

در بافت مزوفیل برگ نسبت داد (۱۱). در شرایط تنش خشکی، گیاهان از طریق مکانیسم‌های هدررفت انرژی همچون هدررفت گرمایی، تنفس نوری و فلورسانس کلروفیل قادرند انرژی مازاد حاصل از انتقال الکترون‌ها را مهار بنمایند (۹).

اگرچه تاکنون پژوهش‌هایی بر روی واکنش فتوسنتزی گوجه‌فرنگی نسبت به تنش خشکی انجام شده است (۲ و ۱۴) اما در مورد نقش پایه‌ها در تنظیم فعالیت‌های فتوسنتزی گوجه‌فرنگی، منابع بسیار کمیاب است. هدف از انجام این پژوهش بررسی فعالیت‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل ۹ ترکیب‌های مختلف پیوندی شامل ۶ پایه مهم و مطرح گوجه‌فرنگی به اضافه یک پایه بومی به نام بادمجان محلی یزد در برابر تنش‌های خشکی متوسط و شدید بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با استفاده از گوجه‌فرنگی رقم دافنیس به‌عنوان یکی از ارقام مطرح در استان کرمان و در ۹ ترکیب پیوندی مختلف در شرایط گلخانه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. ترکیب‌های پیوندی در این آزمایش به شرح زیر بود:

رقم دافنیس بدون پیوند به‌عنوان شاهد (control)، دافنیس/دافنیس (خود پیوندی) (self grafting)، دافنیس/ *Solanum nigrum* (تاجریزی سیاه)، دافنیس/ *Solanum melongene* (گالاپاگوس)، دافنیس/ *cheesmaniae* (بادمجان زرد)، دافنیس/ *Thai yellow* (بادمجان زرد)، دافنیس/ *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (گوجه‌فرنگی گیلاسی)، دافنیس/ *Lycopersicon pimpinellifolium* (گوجه‌فرنگی وحشی)، دافنیس/ *Solanum lycopersicum* cv. *Emperador* (امپرادور)، دافنیس/ *Solanum melongene* cv. *Mohalli Yazd* (بادمجان محلی یزد)

کشت بذر و پیوند

بذر پایه‌های مورد استفاده از بانک گیاهی مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران، بذر بادمجان محلی یزد از مرکز

یکی از روش‌هایی که به‌واسطه آن می‌توان از آثار مخرب تنش خشکی بر تولید محصولات کشاورزی کاست، پیوند گیاهان بر روی پایه‌هایی است که قادر به افزایش کارایی مصرف آب (WUE) باشند (۲۲). از آنجایی که پایه‌های مناسب و سازگار، با افزایش قدرت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی می‌توانند بر رشد گیاه تأثیر مثبت و مستقیمی داشته باشند، استفاده از تکنیک پیوند به‌عنوان یک روش جایگزین برای روش‌های اصلاحی در گیاهان باغبانی مطرح است (۲۵). گیاهان پیوندی بسته به قدرت پایه اغلب و در مقایسه با گیاهان مشابه غیرپیوندی از قدرت جذب بیش‌تری برخوردارند (۱۹). به‌عنوان نمونه، کلا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که پیوند هندوانه بر روی کدو و در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی سبب شد که در شرایط قلیایی (pH برابر ۸/۱) جذب عناصر پرمصرف به‌ویژه فسفر و منیزیم افزایش یابد (۶). در پژوهش دیگری نشان داده شد که پیوند گوجه‌فرنگی رقم "ژوزفینا" که حساس به خشکی است بر روی پایه مقاوم "زارینا" سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف (N, P, K, Fe, Cu) شد (۳۱).

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین محصولات گلخانه‌ای در سطح جهان است که به‌دلیل رشد زیاد نیاز به آب فراوان دارد (۱۵). تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه به‌کارگیری روش‌های افزایش مقاومت به تنش خشکی در گوجه‌فرنگی انجام شده که از آن جمله می‌توان به ایجاد افزایش در فعالیت ژن‌های خاص یا پروتئین‌های مرتبط با تنش خشکی اشاره کرد (۲۹ و ۳۱) که مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است. گزارش‌های زیادی تاکنون در مورد استفاده از تکنیک پیوند در گوجه‌فرنگی منتشر شده که تأثیر آن را بر بهبود کیفیت میوه (۱۰)، مقاومت به بیماری‌های خاک‌زی (۲۴) و شبه‌ویروسی موزائیک (۱۷) و همچنین تنش‌های غیر زنده مانند خشکی و شوری نشان می‌دهد (۳۰).

یکی از آثار تنش خشکی، محدود نمودن رشد گیاه به دلیل کاهش شدت فتوسنتز است (۳۰). دلیل کاهش شدت فتوسنتز را می‌توان به بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی

یک‌بار بود. با توجه به این‌که بر اساس اطلاعات میدانی، در گلخانه‌های گوجه‌فرنگی کشت خاکی در استان کرمان و در شرایط مشابه آب‌وهوایی، دور آبیاری ۳ روز مرسوم است، این دور آبیاری به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و بر پایه همین پیش فرض، دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز به‌عنوان سطوح متوسط و شدید تنش خشکی منظور گردید. در هر نوبت آبیاری، گیاهان تا حد گنجایش مزرعه‌ای آبیاری شدند. برای محاسبه میزان آب مصرفی در هر نوبت از آبیاری ابتدا میزان رطوبت خاک در لایه ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر (منطقه توسعه ریشه) با استفاده از یک دستگاه TDR، TRIME-PICO 64-TDR, IMKO, Germany) و در طول ردیف‌های کشت در چندین نقطه اندازه‌گیری شده و میانگین اعداد گرفته شد. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک به حد گنجایش مزرعه‌ای محاسبه شد و از طریق شبکه آبیاری اعمال شد:

$$AW = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(\theta_{fc} - \theta_1)_i}{100} \times d_i \right) \times A \quad (1)$$

که در این فرمول:

AW: میزان آب مورد نیاز بر حسب لیتر

θ_{fc} : درصد رطوبت حجمی خاک در گنجایش مزرعه‌ای

θ_1 : درصد رطوبت حجمی خاک قرائت‌شده توسط دستگاه

d_i : ضخامت لایه خاک i بر حسب سانتی‌متر

A: مساحت خاک در اختیار گیاه بر حسب سانتی‌متر مربع

n: تعداد لایه‌های خاک مورد اندازه‌گیری

دو هفته پس از انتقال نشاءهای پیوندی و استقرار آن‌ها در بستر کاشت، سطوح آبیاری اعمال شده و به‌مدت ۴ ماه ادامه یافت. به‌منظور جلوگیری از نشت جانبی آب بین ۳ کرت اصلی مرتبط با سطوح آبیاری از صفحات پلی‌کربنات استفاده شد که در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک تعبیه شدند.

اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی

پارامترهای فتوسنتزی شامل شدت فتوسنتز (P_n) و تعرق (E)،

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد و پایه امپرادور از شرکت سپاهان رویش اصفهان تهیه شد. بذر گوجه‌فرنگی رقم دافنیز نیز که در این پژوهش به‌عنوان پیوندک مورد استفاده قرار گرفت از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جیرفت دریافت گردید. کشت بذرهای پایه‌ای و یک هفته پس از آن، رقم پیوندک در سینی‌های کشت پرشده از مخلوط کوکوپیت و پرلیت با نسبت حجمی ۱:۱ در عمق یک سانتی‌متری و در آذرماه ۱۴۰۰ در گلخانه انجام شد. پس از ظاهرشدن برگ حقیقی سوم، پیوند اسکنه بر روی پایه‌ها انجام شده و نشاءهای پیوندی به اتاقک رشد منتقل شدند (دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد). پس از اطمینان از گرفتن پیوند برای ایجاد سازگاری، نشاءهای پیوندی دوباره به گلخانه منتقل شدند و به‌مدت یک هفته در شرایط طبیعی گلخانه قرار گرفتند (دمای 2 ± 30 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد و بدون نور مصنوعی).

نشاءهای پیوندی در تاریخ ۱۵ بهمن‌ماه به گلخانه منتقل شده و در بستر اصلی با فواصل ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف کاشته شدند. نمونه‌های خاک از دو لایه ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک گلخانه و از قسمت‌های مختلف به‌صورت تصادفی برداشته شده و ویژگی‌های آن‌ها بر اساس روش‌های استاندارد (۱ و ۲) اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه خاک بستر اصلی در جدول (۱) ارائه شده است.

روش و برنامه‌ریزی آبیاری

سیستم آبیاری و تغذیه مورد استفاده در این پژوهش از نوع قطره‌ای بود و با توجه به فواصل کشت، پیش از انتقال نشاءهای پیوندی و بر اساس طرح آزمایشی مورد نظر اقدام به طراحی و پیاده‌سازی سیستم آبیاری قطره‌ای شد. شبکه آبیاری تعبیه‌شده شامل مخزن آب، پمپ و کنتور حجمی، لوله‌های اصلی و فرعی و نوارهای زیپی با دبی ۱/۶ لیتر در ساعت در فشار ۰/۷ بار بود. سطوح آبیاری در این پژوهش شامل آبیاری ۳ روز (شاهد)، ۶ روز (تنش خشکی متوسط) و ۹ روز (تنش خشکی شدید)

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک در لایه‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

Table 1. Result of soil analysis at 0–30 and 0–60 cm layers

درصد ذرات			بافت خاک	چگالی ظاهری	رطوبت خاک (درصد حجمی)		لایه خاک
Percent of particles					Soil texture	Bulk density (g/cm ³)	
شن	رس	سیلت			رطوبت اشباع	گنجایش مزرع‌ای	
Sand	Clay	Silt			Saturated water content	Field capacity	
84.4	6.8	8.8	شن لومی	1.6	41.3	25.4	0–30 cm
84.4	6.8	8.8	شن لومی	1.6	41.6	25.6	30–60 cm

ادامہ جدول ۱.

Table 1. (Continued)

مس	روی	آهن	منگنز	فسفر	پتاسیم	نسبت	مینیزیم	کلسیم	نیتروژن	کربن	رسانایی	
				قابل استفاده	قابل استفاده	جذب	محلول	محلول	کل	آلی	الکتریکی	
Cu	Zn	Fe	Mn	P	K	Sodium adsorption ratio	Soluble magnesium	Soluble calcium	Total nitrogen	Organic carbon	pH	Electrical conductivity
				(mg kg ⁻¹)								(dS m ⁻¹)
0.86	2.83	2.53	3.47	9.74	528.3	1.81	2.2	3.4	0.2	3.45	7.4	1.69

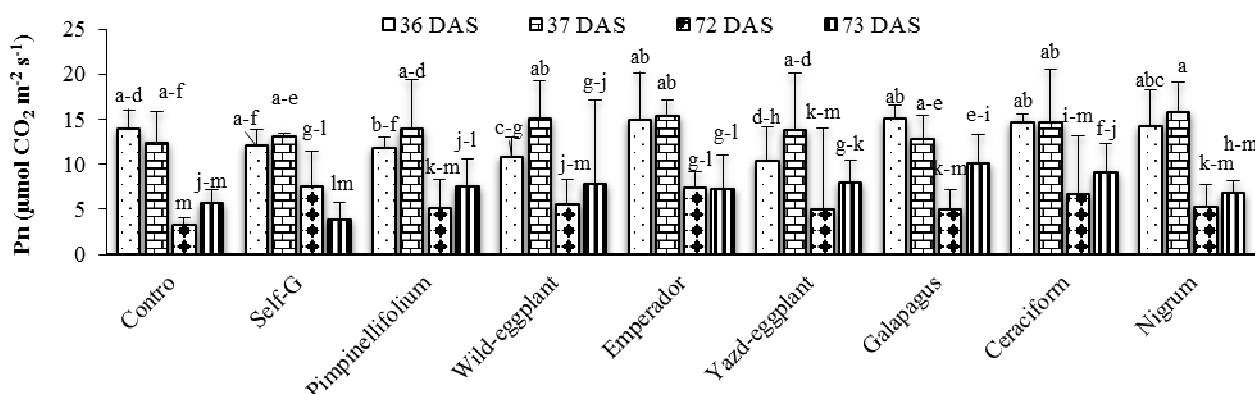
اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و شاخساره

در پایان آزمایش، بوته‌های گوجه‌فرنگی از خاک خارج شده و به دو قسمت ریشه و شاخساره تقسیم شدند. سپس هر یک از این اندام‌ها پس از قطعه‌قطعه شدن، درون پاکت‌های کاغذی جای داده شده و به مدت ۷۲ ساعت درون آون و در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از اطمینان از خشک شدن کامل (ثابت شدن وزن طی دو توزین متوالی)، نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال و با دقت یک صدم گرم وزن شدند.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش برای پارامترهای فئوسستزی به صورت کرت های خردشده در زمان و برای پارامترهای رشدی به صورت کرت های خردشده بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید که در آن کرت اصلی سطوح آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) و کرت فرعی ۹ ترکیب مختلف پیوندی بود. برای تعیین نرمال بودن توزیع داده ها از آزمون کالموگروف-اسمیرنف

هدایت روزنه‌ای (g_s) و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (C_i) با استفاده از دستگاه ایرگا (IRGA, LCI-SD, ADC Bio-) (Scientific Ltd, Hertfordshire, UK) اندازه‌گیری شده و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (WUE_p) به‌صورت نسبت شدتفتوسنتز به تعرق محاسبه شد. اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی در دو مرحله زمانی انجام شد. مرحله اول ۳۶ روز پس از آغاز اعمال تیمارهای تنش و پیش از انجام آبیاری بود و ۲۴ ساعت پس از آبیاری (روز ۳۷) دوباره اندازه‌گیری انجام شد. مرحله دوم ۷۲ روز پس از آغاز تیمارهای تنش خشکی پیش از انجام آبیاری و ۲۴ ساعت پس از آبیاری (روز ۷۳) بود. هدف از اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی در این دو مرحله در درجه نخست بررسی اثر طول دوره تنش خشکی بر فتوسنتز گیاهان و در درجه دوم بررسی تأثیر آبیاری بر بازگشت فتوسنتزی نشاءهای پیوندی بود. همچنین زمان‌های انتخاب‌شده (روزهای ۳۶ و ۷۲) نقطه مشترک زمان آبیاری بین سطوح مختلف این تیمار بود.



شکل ۱. تأثیر برهمکنش پایه و طول دوره تنش خشکی بر شدت فتوستتزر (P_n) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیز؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)؛ DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 1. The interaction effect of the rootstock and the length of the drought stress period on the photosynthesis rate (P_n) of tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), DAS: days after the onset of drought stress.

پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی و گالاپاگوس افزایش معنی‌داری مشاهده شد. در آخرین مرحله اندازه‌گیری (روز ۷۳)، پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی، امپرادور و گالاپاگوس نسبت به شاهد دارای فتوستتزر بیش‌تری بودند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تمامی پایه‌ها در مرحله اول اندازه‌گیری (روزهای ۳۶ و ۳۷) نسبت به شاهد در شرایط یکسانی قرار داشتند یا به‌عبارتی این دوره از تنش نتوانست تأثیر منفی بر فتوستتزر گیاهان گوجه‌فرنگی داشته باشد. اما در دوره دوم اندازه‌گیری (روزهای ۷۲ و ۷۳) با توجه به طولانی‌شدن دوره تنش خشکی، کاهش فتوستتزر در گیاهان گوجه‌فرنگی قابل توجه بود. در این دوره بر خلاف دوره پیشین، آبیاری توانست سبب افزایش فعالیت دستگاه فتوستتزی گیاهان گوجه‌فرنگی در پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی و گالاپاگوس شود (شکل ۱).

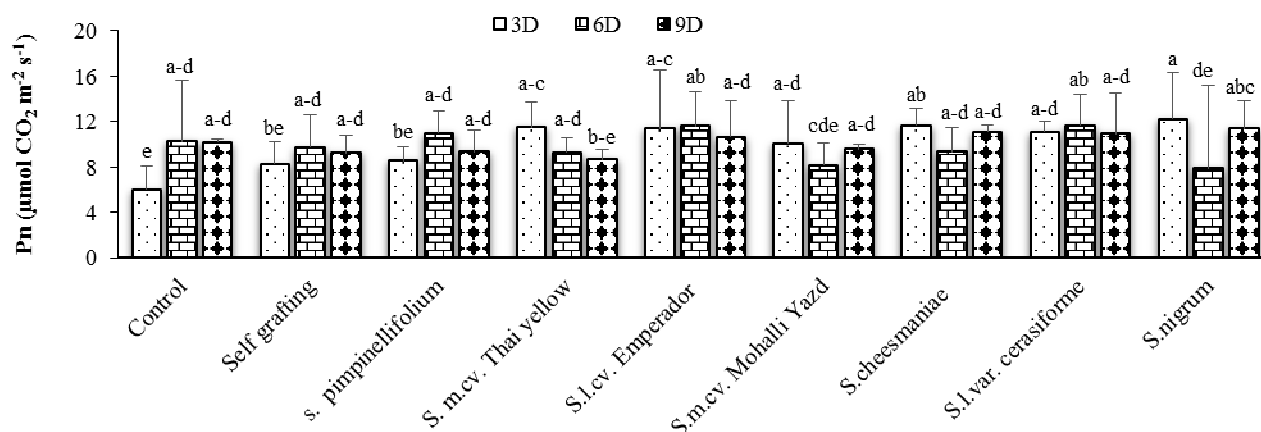
بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل (۲)، برهمکنش سطوح تنش خشکی و پایه‌های مورد استفاده تأثیر اندکی بر شدت فتوستتزر گیاهان گوجه‌فرنگی داشت. در سطح دوم خشکی (۶ روز یک‌بار) هیچ‌یک از پایه‌های به‌کار گرفته شده با گیاهان شاهد تفاوتی نداشتند اما تفاوت‌هایی بین پایه‌ها از این نظر مشاهده نشد به‌طوری‌که پایه‌های امپرادور و گوجه‌فرنگی گیلانی عملکرد بهتری در مقایسه با پایه‌های بادمجان محلی

و برای نرمال‌کردن داده‌های غیرنرمال و تجزیه آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

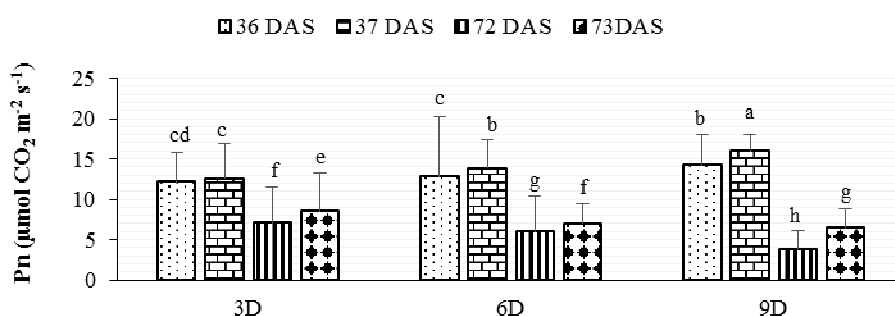
شدت فتوستتزر

مدت ۳۶ روز پس از آغاز تنش خشکی، هیچ‌یک از پایه‌های مورد استفاده در مقایسه با شاهد تفاوتی از نظر شدت فتوستتزر نداشتند درحالی‌که پایه‌های بادمجان (بادمجان محلی یزد و بادمجان زرد) نسبت به پایه‌های امپرادور، گالاپاگوس و گوجه‌فرنگی گیلانی دارای فتوستتزر کم‌تری بودند اما ۲۴ ساعت پس از آبیاری (روز ۳۷) این پایه‌ها نیز به سطح فتوستتزر سایر پایه‌ها رسیدند به‌طوری‌که تمامی پایه‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). به‌طور کلی شدت فتوستتزر، ۷۲ روز پس از آغاز تنش نسبت به دوره پیش اندازه‌گیری (روز ۳۶) کاهش معنی‌داری را نشان داد. در این مرحله از اندازه‌گیری، خودپیوندی و پایه امپرادور نسبت به سایر پایه‌ها و شاهد دارای فتوستتزر بیش‌تری بودند. فتوستتزر بوته‌های گوجه‌فرنگی پس از آبیاری (روز ۷۳) در بیش‌تر موارد تغییری نکرد اما در



شکل ۲. تأثیر برهم‌کنش پایه و سطوح آبیاری بر شدت فتوسنتز (P_n) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)، D: روزهای تنش خشکی ۳، ۶ و ۹ روز.

Fig. 2. The interaction effect of the rootstock and irrigation levels on the photosynthesis rate (P_n) of greenhouse tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), D: days of drought stress.



شکل ۳. تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری و طول دوره تنش خشکی بر شدت فتوسنتز (P_n) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)، DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 3. The interaction effect of irrigation levels and the duration of drought stress period on the photosynthesis rate (P_n) of greenhouse tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), DAS: days after the onset of drought stress.

نسبت به سطح ۳ روز افزایش معنی‌داری در شدت فتوسنتز نشان داد سایر پایه‌ها در سطوح مختلف خشکی عملکرد یکسانی داشتند (شکل ۲).

همان‌گونه که در شکل (۳) دیده می‌شود، در هر یک از سطوح خشکی و در مرحله اول اندازه‌گیری فتوسنتز (روزهای ۳۶ و ۳۷ پس از آغاز تنش خشکی)، تفاوت آماری معنی‌داری دیده نمی‌شود اگرچه در روز ۳۷ (یعنی ۲۴ ساعت پس از

یزد و تاجریزی داشتند. در سطح سوم خشکی (۹ روز یکبار) هیچیک از پایه‌های مورد استفاده در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر شدت فتوسنتز گیاهان گوجه‌فرنگی نداشتند و تفاوتی بین پایه‌ها نیز مشاهده نشد. در سطح اول خشکی، میانگین عملکرد پایه‌ها در بیش‌تر موارد برتر از شاهد بود؛ به عبارت دیگر در گیاهان شاهد کم‌ترین شدت فتوسنتز مشاهده شد. در مجموع، به‌جز شاهد که در سطوح خشکی ۶ و ۹ روز

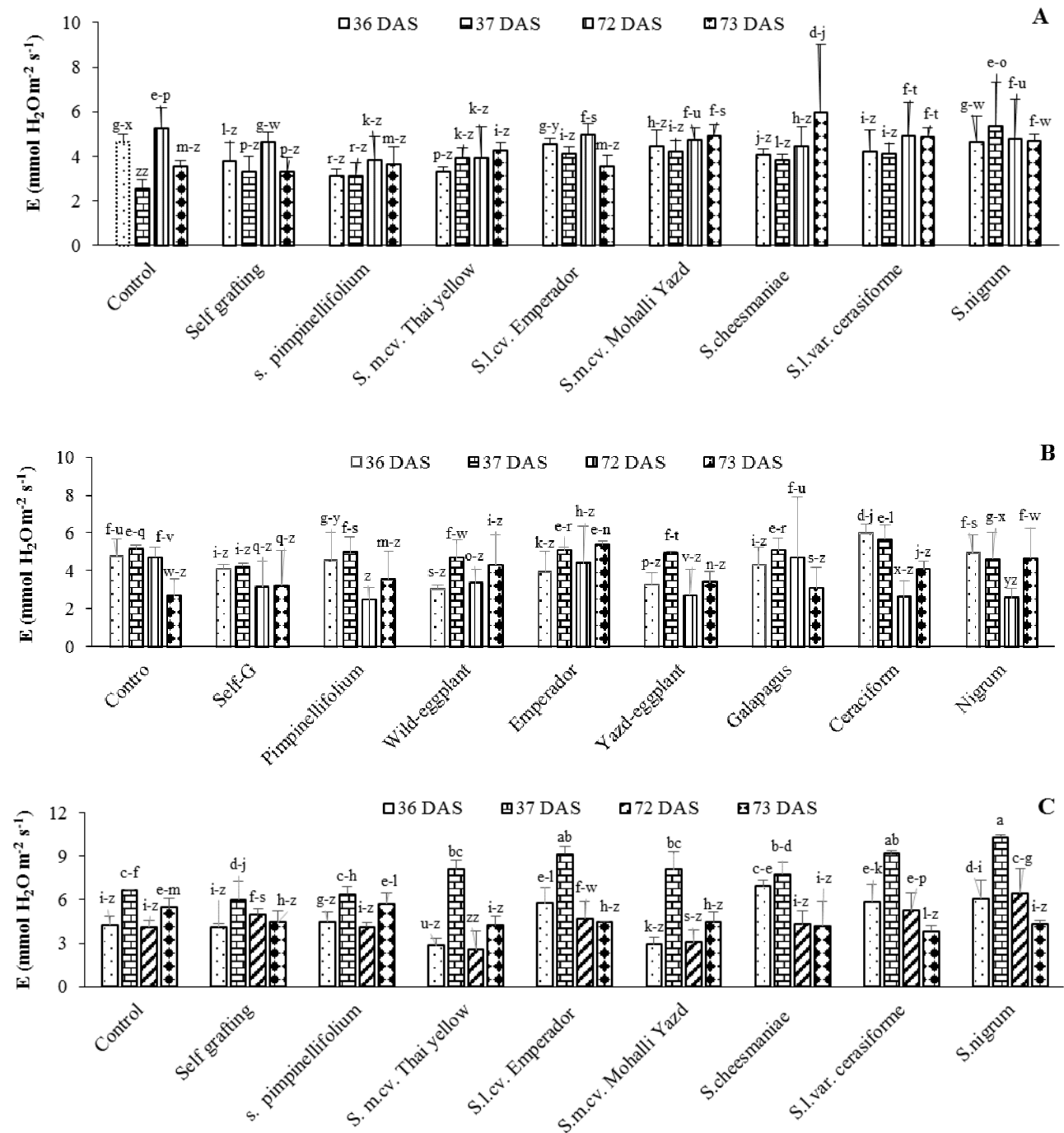
در مرحله اول اندازه‌گیری، نتایج نشان داد که در روز ۳۶ پس از آغاز تنش خشکی، شدت تعرق در پایه سراسیفورم نسبت به پایه‌های بادمجان وحشی، امپرادور، بادمجان محلی یزد و گالاپاگوس بیش‌تر بود.

در ۲۴ ساعت پس از آبیاری (روز ۳۷) در تمامی پایه‌ها تمایل به افزایش شدت تعرق مشاهده شد اگرچه این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود و بین پایه‌های مختلف نیز از این نظر تفاوتی مشاهده نشد. در مرحله دوم اندازه‌گیری و ۷۲ روز پس از آغاز تنش خشکی، کمینه شدت تعرق در پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی، گوجه‌فرنگی گیلانی و تاجریزی مشاهده شد که نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری را نشان دادند. در روز ۷۳، افزایش شدت تعرق به‌ویژه در پایه‌هایی که کم‌ترین شدت تعرق را در روز پیشین داشتند قابل مشاهده بود که این افزایش در پایه گوجه‌فرنگی گیلانی از نظر آماری معنی‌دار بود. در این روز هیچ تفاوت آماری از نظر شدت تعرق بین پایه‌های مختلف مشاهده نشد. در سطح سوم تنش خشکی (آبیاری ۹ روز یکبار) و ۳۶ روز پس از آغاز تنش، بیش‌ترین شدت تعرق در پایه‌های گالاپاگوس و تاجریزی مشاهده شد که با شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. کم‌ترین شدت تعرق در این مرحله متعلق به پایه‌های بادمجان بود. پاسخ پایه‌ها نسبت به آبیاری در روز ۳۷ بسیار قابل توجه بود به‌طوری‌که به جز پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی و گالاپاگوس، در سایر پایه‌ها افزایش معنی‌داری در شدت تعرق نسبت به روز پیشین مشاهده شد که بیش‌ترین افزایش مربوط به پایه‌هایی بود که در روز پیشین کم‌ترین شدت تعرق را نشان داده بودند. در مقایسه بین پایه‌ها در روز ۳۷، پایه‌های امپرادور، گوجه‌فرنگی گیلانی و تاجریزی نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌داری بودند. در مرحله دوم اندازه‌گیری و در روز ۷۲، بیش‌ترین شدت تعرق در پایه‌های گوجه‌فرنگی گیلانی و تاجریزی و کم‌ترین آن در پایه‌های بادمجان وحشی و امپرادور مشاهده شد. شدت تعرق در اکثر ترکیبات پیوندی در این روز مشابه روز ۳۶ بود. بر خلاف دوره پیشین، در این دوره پایه‌ها پاسخی به تیمار آبیاری نشان ندادند

آبیاری)، یک افزایش جزئی در شدت فتوسنتز نسبت به روز قبل آن (یعنی درست پیش از آبیاری) قابل مشاهده است. نکته قابل توجه در دور آبیاری ۹ روز، عملکرد بهتر گیاهان گوجه‌فرنگی در پاسخ به آبیاری است که نسبت به دوره‌های ۳ و ۶ روز، افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد. در مرحله دوم اندازه‌گیری فتوسنتز (روزهای ۷۲ و ۷۳ پس از آغاز تنش خشکی)، کاهش چشم‌گیر شدت فتوسنتز نسبت به مرحله اول قابل مشاهده است. در این مرحله، در هر یک از دوره‌های ۳ و ۶ روز علی‌رغم افزایش شدت فتوسنتز در پاسخ به آبیاری، این افزایش در حد معنی‌داری از نظر آماری نیست درحالی‌که در دور آبیاری ۹ روز، این افزایش از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است.

شدت تعرق

اثر برهم‌کنش سطوح تنش خشکی (دور آبیاری ۳، ۶ و ۹ روز یکبار)، پایه‌های مختلف و طول دوره تنش خشکی (۳۶ و ۷۲ روز) بر شدت تعرق گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیز در شکل (۴) قابل مشاهده است. به‌دلیل تعدد میانگین‌ها و عدم امکان نمایش آن‌ها در کنار یکدیگر، نمودار بر اساس سطوح تنش خشکی به سه بخش تقسیم شده است. در سطح آبیاری ۳ روز و در مرحله اول اندازه‌گیری (روزهای ۳۶ و ۳۷ پس از آغاز تنش خشکی که به‌ترتیب بلافاصله پیش و ۲۴ ساعت پس از آبیاری است)، شدت تعرق به‌جز در شاهد، در سایر پایه‌ها و در پاسخ به آبیاری تغییری نیافت. در مقایسه بین پایه‌ها نیز در این مرحله، در روز ۳۶ تفاوت معنی‌داری بین پایه‌ها وجود نداشت و در روز ۳۷ نیز تنها در پایه نیگروم نسبت به شاهد و خودپیوندی افزایش معنی‌داری مشاهده شد. در مرحله دوم اندازه‌گیری نیز هیچ تفاوت معنی‌داری بین پایه‌ها پیش و پس از آبیاری مشاهده نگردید. همچنین در هر یک از پایه‌ها نیز بین روزهای ۷۲ و ۷۳ تغییری در شدت تعرق مشاهده نشد. افزایش دوره تنش خشکی تأثیری بر شدت تعرق در تیمارهای مختلف پیوندی نداشت. در سطح دوم آبیاری (آبیاری ۶ روز یکبار) و



شکل ۴. تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری، شامل آبیاری ۳ روز (A)، ۶ روز (B) و ۹ روز یکبار (C)، پایه‌های مختلف و طول دوره تنش خشکی بر شدت تعرق (E) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیز؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است، DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 4. The interaction effect of irrigation levels including irrigation 3 days (A), 6 days (B) and 9 days once (C), different rootstocks and the duration of the drought stress period on the transpiration rate (E) of greenhouse tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation, DAS: days after the onset of drought stress.

و بین ترکیبات پیوندی مختلف نیز تفاوتی از این نظر مشاهده نشد (شکل ۴).

سوم آبیاری این افزایش در پایه‌های گوجه‌فرنگی وحشی، بادمجان و شاهد ثبت گردید (شکل ۵-B و C).

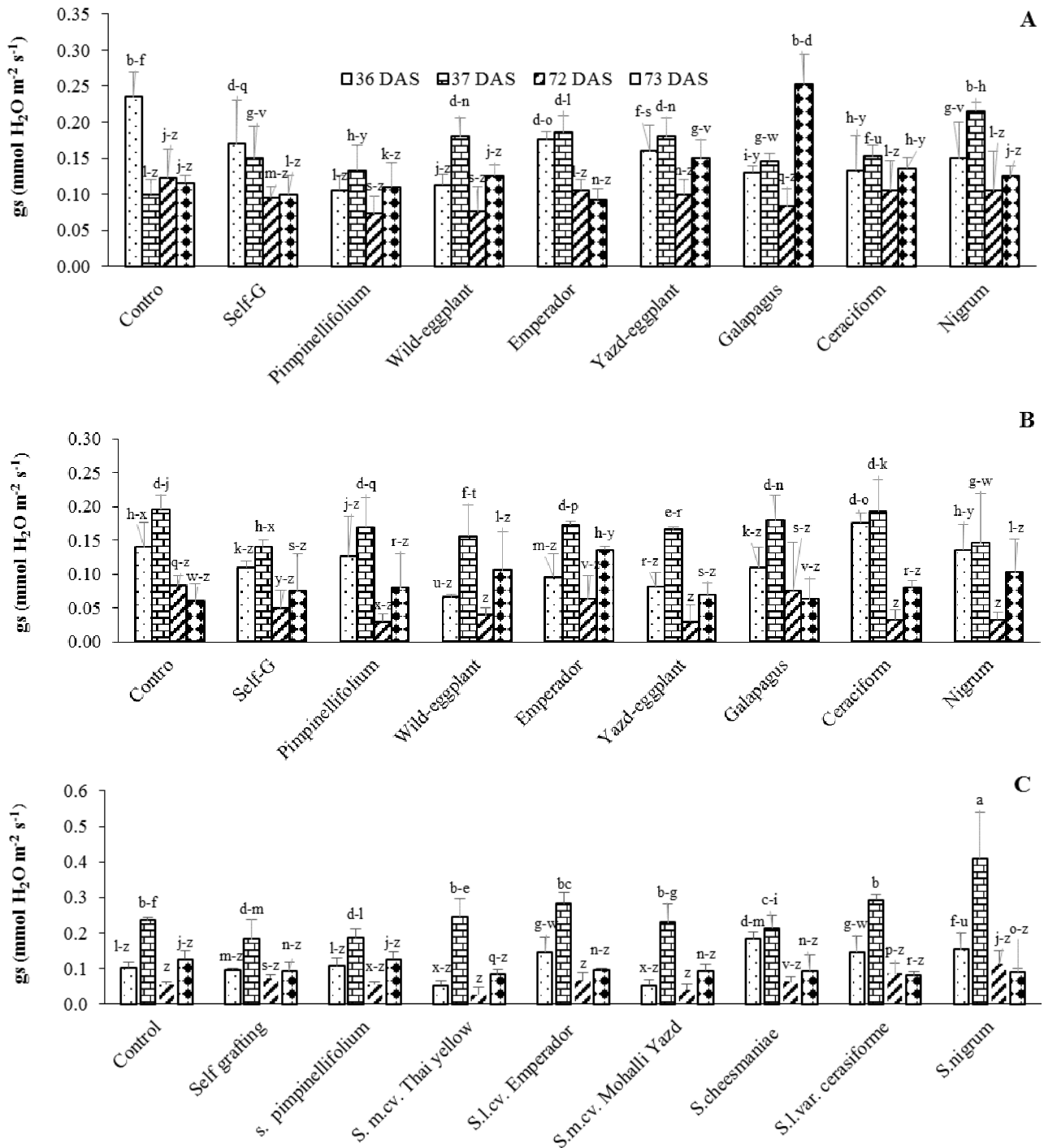
هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر برهم‌کنش سطوح تنش خشکی (آبیاری ۳، ۶ و ۹ روز یک‌بار)، پایه‌های مختلف و طول دوره تنش خشکی (۳۶ و ۷۲ روز) بر هدایت روزنه‌ای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس معنی‌دار بود. در سطح اول آبیاری (۳ روز یک‌بار) و در مرحله اول اندازه‌گیری (روزهای ۳۶ و ۳۷)، به‌جز در شاهد و پایه‌های بادمجان وحشی و تاجریزی در سایر پایه‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر هدایت روزنه‌ای در واکنش به آبیاری مشاهده نشد اگرچه روند افزایشی در آن‌ها قابل مشاهده بود. در شاهد، این پارامتر در واکنش به آبیاری کاهش معنی‌داری نشان داد درحالی‌که در پایه‌های بادمجان زرد و تاجریزی، ۲۴ ساعت پس از آبیاری افزایش معنی‌داری در میزان هدایت روزنه‌ای گیاهان قابل مشاهده بود. در مرحله دوم اندازه‌گیری نیز همین روند وجود داشت با این تفاوت که تنها تغییر معنی‌دار در پایه گالاپاگوس مشاهده شد، جایی‌که یک افزایش معنی‌دار در هدایت روزنه‌ای این ترکیب پیوندی در پاسخ به آبیاری ثبت گردید (شکل ۵-A).

در سطوح دوم و سوم آبیاری (۶ و ۹ روز یک‌بار)، دامنه تغییرات هدایت روزنه‌ای چشم‌گیرتر بود به‌طوری‌که در مرحله اول اندازه‌گیری و به‌ویژه در سطح سوم، ۲۴ ساعت پس از آبیاری یک افزایش معنی‌دار در هدایت روزنه‌ای گیاهان نسبت به پیش از آن مشاهده شد. این افزایش در سطح دوم آبیاری در پایه‌های بادمجان، امپرادور و خودپیوندی و در سطح سوم آبیاری در تمام ترکیبات پیوندی (به‌جز گالاپاگوس) وجود داشت. در مرحله دوم اندازه‌گیری، میزان هدایت روزنه‌ای در سطوح دوم و به‌ویژه در سطح سوم آبیاری کم‌تر از مرحله اول بود. در سطح دوم آبیاری و در مرحله دوم اندازه‌گیری، هدایت روزنه‌ای پایه‌های تاجریزی، گوجه‌فرنگی گیلانی و امپرادور در پاسخ به آبیاری افزایش معنی‌داری داشت درحالی‌که در سطح

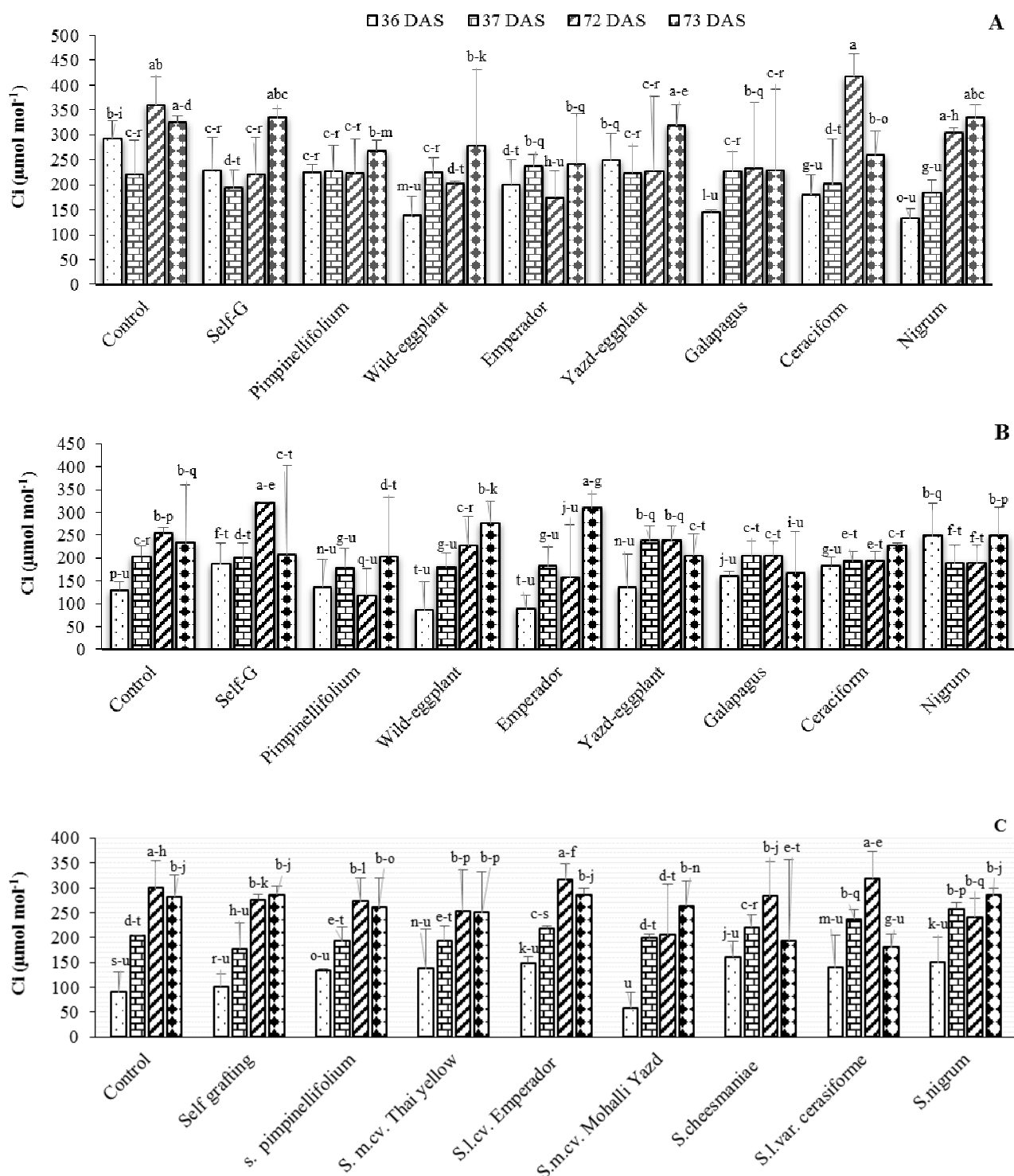
غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی

در سطح آبیاری ۳ روز، در مرحله اول اندازه‌گیری (روزهای ۳۶ و ۳۷) هیچ یک از ترکیبات پیوندی نسبت به آبیاری پاسخی نشان ندادند و مقادیر غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (Ci) پیش و پس از آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشتند. مقایسه بین ترکیبات پیوندی نشان داد که در روز ۳۶، پایه‌های بادمجان زرد و تاجریزی نسبت به شاهد دارای Ci کم‌تری بودند و سایر ترکیبات پیوندی با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند. مدت ۲۴ ساعت پس از آبیاری تنها تفاوت معنی‌دار بین تاجریزی و شاهد از نظر Ci مشاهده شد. در مرحله دوم اندازه‌گیری، ترکیبات پیوندی در مجموع دارای Ci بیش‌تری نسبت به مرحله اول بودند. در روز ۷۲، گوجه‌فرنگی گیلانی به همراه تاجریزی و شاهد نسبت به سایر ترکیبات پیوندی بیش‌ترین میزان Ci را داشتند. در روز ۷۳ (یعنی یک روز پس از آبیاری)، به‌جز پایه گوجه‌فرنگی گیلانی که کاهش معنی‌داری را در میزان Ci نشان داد، نوسانات ثبت‌شده در سایر پایه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین هیچ یک از پایه‌ها با یکدیگر تفاوتی از این نظر نداشتند (شکل ۶-A). در سطح دوم آبیاری (دور ۶ روز)، در مرحله اول اندازه‌گیری و در پاسخ به آبیاری، میزان Ci در مجموع روند افزایشی داشت که این افزایش تنها در پایه‌های بادمجان زرد و امپرادور از نظر آماری معنی‌دار بود. در مرحله دوم اندازه‌گیری نیز مقادیر Ci بیش‌تر از مرحله اول بود و به‌جز در مورد پایه بادمجان زرد، سایر پایه‌ها واکنش معنی‌داری نسبت به آبیاری نداشتند (شکل ۶-B). در سطح سوم آبیاری و در مرحله اول اندازه‌گیری، در مجموع آبیاری سبب افزایش Ci شد. در مرحله دوم اندازه‌گیری مقدار Ci بیش‌تر از مرحله اول بود و آبیاری تغییر معنی‌داری در میزان Ci ایجاد نکرد به‌جز در مورد پایه گوجه‌فرنگی گیلانی که آبیاری سبب کاهش معنی‌دار آن شد (شکل ۶-C).



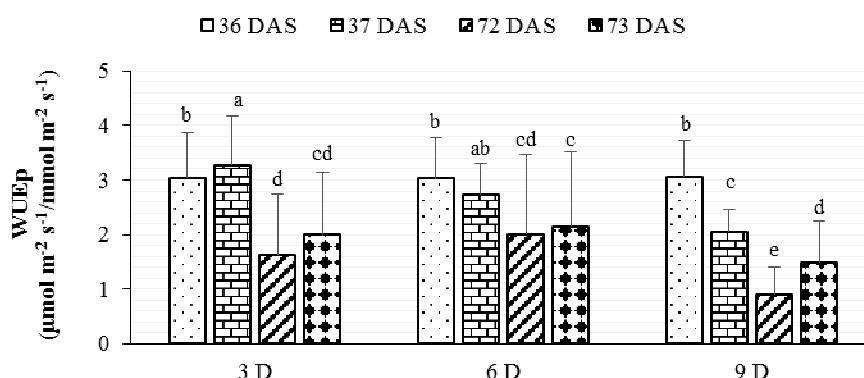
شکل ۵. تأثیر برهم کنش سطوح آبیاری، شامل آبیاری ۳ روز (A)، ۶ روز (B) و ۹ روز یکبار (C)، پایه‌های مختلف و طول دوره تنش خشکی بر هدایت روزنه‌ای (g_s) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیز؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است، DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 5. The interaction effect of irrigation levels, including irrigation 3 days (A), 6 days (B) and 9 days once (C), different rootstocks and the length of the drought stress period on the stomatal conductance (g_s) of greenhouse tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation, DAS: days after the onset of drought stress.



شکل ۶. تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری، شامل آبیاری ۳ روز (A)، ۶ روز (B) و ۹ روز یکبار (C)، پایه‌های مختلف و طول دوره تنش خشکی بر غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (C_i) گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$); شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است، DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 6. The interaction effect of irrigation levels including irrigation 3 days (A), 6 days (B) and 9 days once (C), different rootstocks and the duration of the drought stress period on the intracellular carbon dioxide concentration (C_i) of greenhouse tomato cv. Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation, DAS: days after the onset of drought stress.



شکل ۷. تأثیر برهم‌کنش طول دوره تنش خشکی و سطوح آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز) بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی (WUE_p) گوجه‌فرنگی رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)، DAS: روز پس از آغاز تنش خشکی.

Fig. 7. The interaction effect of drought stress period and irrigation levels (3, 6 and 9 day) on photosynthetic water use efficiency (WUE_p) of greenhouse tomato cv. Daphnis Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), DAS: days after the onset of drought stress.

استفاده بر وزن خشک شاخساره در شکل (۸-۸) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، پایه‌های گوجه‌فرنگی گیلانی، امپرادور و گالاپاگوس در یک گروه آماری قرار گرفته و برتر از شاهد و خودپیوندی بودند. وزن خشک شاخساره در پایه محلی یزد از نظر آماری برتر از شاهد و خودپیوندی بود اما نسبت به پایه گوجه‌فرنگی گیلانی کم‌تر بود.

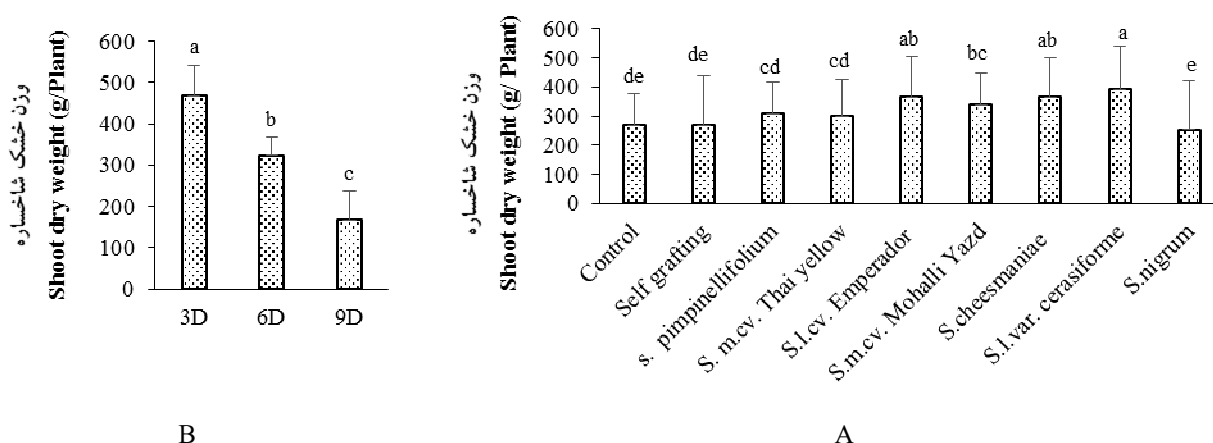
تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری و پایه‌های مورد استفاده بر وزن خشک ریشه نشان داد که بیش‌ترین مقدار این صفت در هر سه دور آبیاری مربوط به پایه گوجه‌فرنگی گیلانی بود. با افزایش دور آبیاری، وزن خشک ریشه در تمامی پایه‌ها کاهش معنی‌داری را نشان داد اما میزان این کاهش در پایه‌های مختلف متفاوت بود، به‌عنوان نمونه، در خودپیوندی و پایه تاجریزی سیاه، سیستم ریشه‌ای در دور آبیاری ۹ روز نسبت به ۳ روز به‌ترتیب ۸۲/۴ و ۸۷/۳ درصد کاهش نشان داد درحالی‌که پایه بادمجان محلی یزد کم‌ترین کاهش را در وزن خشک ریشه و در سطوح آبیاری ۶ و ۹ روز نشان داد که به‌ترتیب حدود ۱۶/۸ و ۳۸/۷ درصد کم‌تر از دور آبیاری ۳ روز بود. در مقایسه دور آبیاری ۹ روز با ۳ روز، به‌ترتیب پایه‌های بادمجان محلی یزد،

کارایی مصرف آب فتوسنتزی (WUE_p)

نتایج ارائه‌شده در شکل (۷) نشان می‌دهد که در مرحله اول اندازه‌گیری و در سطوح آبیاری ۳ و ۶ روز، تفاوتی بین کارایی مصرف آب پیش و پس از آبیاری مشاهده نشد اما در دور آبیاری ۹ روز، این پارامتر در پاسخ به آبیاری کاهش یافت. مقادیر ثبت‌شده برای کارایی مصرف آب در مرحله دوم اندازه‌گیری نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار این پارامتر بود. همانند مرحله اول اندازه‌گیری، در سطوح آبیاری ۳ و ۶ روز، گیاهان در رابطه با این پارامتر پاسخی به آبیاری نشان ندادند. اما در دور آبیاری ۹ روز و برخلاف مرحله اول، آبیاری سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب فتوسنتزی شد (شکل ۷).

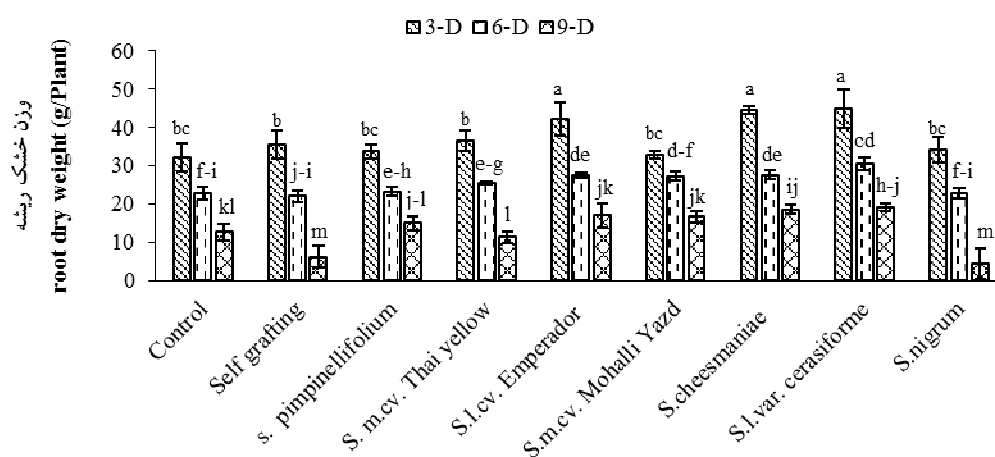
وزن خشک ریشه و شاخساره

اثر سطوح آبیاری بر میانگین وزن خشک شاخساره در شکل (۸-۸) نشان‌دهنده کاهش قابل توجه این صفت با افزایش دور آبیاری بود به‌طوری‌که در یک روند کاهشی، مقدار آن از دور آبیاری ۳ روز به ۶ روز حدود ۳۰ درصد و از دور آبیاری ۳ روز به ۹ روز حدود ۶۴ درصد کاهش یافت. تأثیر پایه‌های مورد



شکل ۸. تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری (A) و پایه‌های مختلف (B) بر وزن خشک شاخساره گوجه‌فرنگی رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)، D: روزهای (۳، ۶ و ۹) اعمال تنش خشکی است.

Fig. 8. The interaction effect of irrigation levels (A) and different rootstocks (B) on the dry weight of tomato shoot of Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), D: days of drought stress (3, 6 and 9 days).



شکل ۹. تأثیر برهم‌کنش سطوح آبیاری و پایه‌های مختلف بر وزن خشک ریشه گوجه‌فرنگی رقم دافنیس؛ میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن، $p < 0.05$)؛ شاخص روی ستون‌ها نشان‌دهنده انحراف معیار است ($n=3$)، D: روزهای (۳، ۶ و ۹) اعمال تنش خشکی است.

Fig. 9. The interaction effect of irrigation levels and different rootstocks on the dry weight of tomato roots of Daphnis; Means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$); The index on the columns shows the standard deviation ($n=3$), D: days of drought stress (3, 6 and 9 days).

آب درون آوندهای چوبی می‌شود که ادامه آن، تشکیل حباب های هوا درون آوندهای چوبی را در پی دارد. به پدیده ورود حباب‌های هوا به آوند چوبی امبولی^۱ گفته می‌شود و موجب کاهش هدایت هیدرولیکی آوند چوبی می‌گردد (۲۷). کاهش

گوجه‌فرنگی وحشی و گوجه‌فرنگی گیلانی با ۵۵/۴ و ۴۹/۰ درصد نسبت به پایه‌های دیگر برتر بودند (شکل ۹).

بحث

افزایش خشکی خاک و اتمسفر موجب افزایش کشش در ستون

1. Emboli

خشکی نشان‌دهنده نقش فاکتورهای غیرروزنه‌ای مانند کاهش هدایت مزوفیلی سلول‌های برگ (۸) و کاهش میزان ریبولوز بیس فسفات (RUBP) ناشی از کاهش تولید ATP (۱۶) در تنظیم شدت فتوستتوز است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. البته در بسیاری از گونه‌های گیاهی، کاهش هدایت روزنه‌ای دلیل اصلی کاهش فتوستتوز در شرایط تنش خشکی است و بدون شک در پژوهش حاضر نیز، کاهش هدایت روزنه‌ای نقش مهمی در کاهش فتوستتوز داشته است که همبستگی بسیار زیاد این دو پارامتر (نتایج نشان داده نشده است) تأییدکننده این واقعیت است. در پژوهش‌های پیشین نیز نتایج مشابهی در مورد نقش عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای در کنترل شدت فتوستتوز گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی به‌دست آمده است (۱۸). نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان‌دهنده مقاومت دستگاه فتوستتزی گوجه‌فرنگی در برابر دوره‌های کوتاه تنش خشکی و کاهش کارایی آن در تنش‌های درازمدت است (مقایسه روزهای ۳۶ و ۷۲). با توجه به بازگشت قابل توجه هدایت روزنه‌ای در مرحله دوم اندازه‌گیری و همچنین افزایش C_i در همین مرحله، به‌نظر می‌رسد که عوامل غیرروزنه‌ای نقش اصلی را در کاهش فتوستتوز مرحله دوم داشته باشند.

مقایسه میانگین اثر پایه بر شدت فتوستتوز گیاهان گوجه‌فرنگی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد اگرچه بیش‌ترین مقدار آن در گوجه‌فرنگی گیلانی (۱۱/۲۴ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) نسبت به کم‌ترین میزان آن در شاهد (۸/۸۲ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) در حدود ۲۱ درصد بیش‌تر بود. به‌هرحال در طول دوره تنش خشکی و در دو مرحله اندازه‌گیری، پاسخ‌های متفاوتی نسبت به طول دوره تنش خشکی و آبیاری پس از تنش از ترکیب‌های مختلف پیوندی دریافت شد. در مرحله اول اندازه‌گیری فتوستتوز (روز ۳۶)، شدت فتوستتوز در هیچ یک از ترکیبات پیوندی تفاوتی با شاهد نداشت و تنها میزان آن در پایه بادمجان زرد نسبت به گالاپاگوس، امپرادور و گوجه‌فرنگی گیلانی کم‌تر بود اما پس

هدایت روزنه‌ای نخستین سازوکاری است که توسط آن، خروج آب از گیاه محدود شده و از افزایش نیروی کشش درون آوندهای چوبی ممانعت به‌عمل می‌آید (۴). البته این مکانیسم سبب کاهش ورود CO_2 به درون برگ و کاهش فتوستتوز نیز می‌شود (۲۳). در این پژوهش اگرچه میانگین اثر سطوح آبیاری بر شدت فتوستتوز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد اما با افزایش طول دوره تنش خشکی، شدت فتوستتوز در تمامی پایه‌ها کاهش یافت (مقایسه روزهای ۳۶ و ۷۲)، طی همین مدت هدایت روزنه‌ای نیز به‌صورت معنی‌داری در تمام پایه‌ها کاهش یافت و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی در مواردی افزایش یافت (از جمله در شاهد و خودپیوندی) و در موارد دیگر بدون تغییر باقی ماند (بادمجان محلی یزد و گوجه‌فرنگی وحشی). بر اساس یافته‌های پیشین، فعالیت‌های فتوشیمیایی برگ نسبت به تنش‌های خشکی متوسط مقاوم است (۷) که با یافته‌های این پژوهش هماهنگ است. سلول‌های مزوفیل برگ در هنگام فتوستتوز، CO_2 را مصرف می‌کنند که نتیجه آن کاهش غلظت CO_2 در فضاهای بین سلولی (C_i) نسبت به اتمسفر بیرون برگ است (C_a) که در صورت بازبودن روزنه‌ها سبب پخشیدگی CO_2 از فضای بیرون به درون برگ می‌شود. در واقع C_i نشان‌دهنده میزان سابسטרیت موجود برای انجام فرآیند فتوستتوز است (۸). در زمان بسته‌بودن روزنه‌ها، C_i کاهش می‌یابد (به‌دلیل مصرف آن در فرآیند فتوستتوز و عدم جایگزینی) که نتیجه آن کاهش شدت فتوستتوز است. نتایج همبستگی پارامترهای فتوستتزی (نتایج نشان داده نشده است) نیز بیانگر همبستگی بین C_i و هدایت روزنه‌ای (g_s) از یک طرف و همبستگی منفی C_i و P_n از طرف دیگر است. در صورتی که تنش خشکی ادامه یابد، فاکتورهای روزنه‌ای ممکن است برای تنظیم نیروی کشش ایجاد شده درون آوندهای چوبی و ممانعت از امبولی کافی نباشند به‌طوری‌که امروزه بسیاری از پژوهشگران اهمیت فاکتورهای روزنه‌ای را در کاهش فتوستتوز تحت تأثیر تنش خشکی بلندمدت زیر سؤال برده و فاکتورهای غیرروزنه‌ای را مطرح می‌نمایند. افزایش یا عدم تغییر C_i در شرایط تنش

بیش از افزایش در شدت تعرق بوده که سبب افزایش WUEp شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، پارامترهای فتوسنتزی در گیاهان گوجه‌فرنگی بیش از آن‌که تحت تأثیر پایه قرار گیرد متأثر از طول و شدت تنش خشکی بود و چنین به نظر می‌رسد که این فرایند بیش‌تر تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل محیطی و پیوندک باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، پایه گوجه‌فرنگی گیلاسی علاوه بر دارا بودن سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر نسبت به سایر پایه‌ها، موجب رشد بیش‌تر شاخساره در تمامی سطوح تنش خشکی شد اگرچه کم‌ترین کاهش وزن ریشه در پایه بادمجان محلی یزد مشاهده شد. بر اساس نتایج این پژوهش، میزان رشد سیستم ریشه‌ای و شاخساره گوجه‌فرنگی پیوندی بیش‌تر تحت تأثیر قدرت ژنتیکی پایه قرار دارد و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه سهم کم‌تری را به‌خود اختصاص می‌دهند.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بدین وسیله از حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) و شرکت سپاهان رویش اصفهان در اجرای این طرح پژوهشی (کد طرح ۴۰۰۳۷۵۵) قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

از آبیاری (روز ۳۷) شدت فتوستتز در تمامی پایه‌ها مشابه بود. در مرحله دوم اندازه‌گیری فتوستتز و پیش از آبیاری (روز ۷۲)، پایه امپرادور نسبت به شاهد از شدت فتوستتز بیش‌تری برخوردار بود و مقدار آن در سایر پایه‌ها علی‌رغم این‌که بیش‌تر از شاهد بود اما تفاوت‌های مشاهده‌شده از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. در این مرحله و پس از آبیاری، پایه گالاپاگوس نسبت به شاهد برتر بوده و در مقایسه با سایر ترکیبات پیوندی از قدرت بازگشت فتوستتزی بیش‌تری برخوردار بود (در حدود صد درصد). نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده نقش پایه در افزایش شدت فتوستتز به‌ویژه در شرایط مطلوب آبیاری (دور آبیاری ۳ روز) است.

کارایی مصرف آب فتوستتزی (WUEp) نسبت بین تولید مواد فتوستتزی به میزان مصرف آب را نشان می‌دهد که افزایش آن یک راهکار مهم در گیاهان در رابطه با مقاومت به تنش خشکی است (۱۲). میزان تغییر WUEp در واکنش به تنش خشکی بسته به شدت تنش، مرحله رشدی گیاه و به‌ویژه گونه گیاهی متفاوت است (۱۸). در پژوهش حاضر، در مرحله اول اندازه‌گیری پارامترهای فتوستتزی، آبیاری سبب کاهش WUEp در دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز شد درحالی‌که با افزایش طول دوره تنش خشکی و در مرحله دوم اندازه‌گیری، مقدار این پارامتر در پاسخ به آبیاری افزایش یافت. پاسخ متفاوت گیاهان در این دو مرحله از اندازه‌گیری به‌خوبی نشان می‌دهد که در مرحله اول و پس از آبیاری، شدت تعرق به‌سرعت افزایش یافته (شکل ۴) اما شدت فتوستتز تغییری نکرده است (شکل ۳)؛ در نتیجه WUEp کاهش یافته است. اما در مرحله دوم اندازه‌گیری و پس از انجام آبیاری، افزایش در شدت فتوستتز

منابع مورد استفاده

1. Black, C.A. (Ed.), 1965. Methods of Soil Analysis: Part I. Physical and Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1122 p.
2. Brix, H., 1962. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plants and loblolly pine seedlings. *Physiologia Plantarum* 15: 10–20.
3. Calatayud, A., Barreno, E., 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 549–555.
4. Cardoso, A.A., Batz, T.A., McAdam, S.A.M., 2019. Xylem embolism resistance determines leaf mortality during

- drought in *Persea americana*. *Plant Physiology* 182: 547–554.
5. Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1962. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Agricultural Publications, University of California, Berkeley, 309 p.
 6. Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., Rea, E., 2010. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environmental and Experimental Botany* 68: 283–291.
 7. Cornic, G.L., Le Gouallec, J.-L., Briantais, J., Hodges, M., 1989. Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two C₃ plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Elatostema repens* (Lour.) Hall f.). *Planta* 177: 84–90.
 8. Farquhar, G., Barbour, M., Henry, B., 1998. Interpretation of oxygen isotope composition of leaf material. In: Griffiths, H. (Ed.), Stable Isotopes: Integration of Biological, Ecological, and Geochemical Processes. Oxford, UK: BIOS Scientific Publisher, pp. 27–48.
 9. Flexas, J., Medrano, H., 2002. Energy dissipation in C₃ plants under drought. *Functional Plant Biology* 29: 1209–1215.
 10. Flores, F.B., Sanchez-Bel, P., Estañ, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J.F., Garcia-Abellán, J.O., Egea, M.I. Fernández-Garcia, N., Romojaro, F., Bolarín, M.C., 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae* 125: 211–217.
 11. Ghotbi-Ravandi, A., Shahbazi, M., Shariati, M., Mulo, P., 2014. Effects of mild and severe drought stress on photosynthetic efficiency in tolerant and susceptible barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 403–415.
 12. Gomes Soares, M., Pereira Tognella, M., Cuevas, E., Medina, E., 2015. Photosynthetic capacity and intrinsic water-use efficiency of *Rhizophora mangle* at its southernmost western Atlantic range. *Photosynthetica* 53: 464–470.
 13. IPCC., 2014. Climate change impacts, adaptation, and vulnerability. Fifth Assessment Report, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, London.
 14. Jangid, K.K., Dwivedi, P., 2016. Physiological responses of drought stress in tomato: a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 9: 53–61.
 15. Jiang, L., Wang, Y., Zhang, S., He, R., Li, W., Han, J., Cheng, X., 2017. Tomato SIDREB1 gene conferred the transcriptional activation of drought-induced gene and an enhanced tolerance of the transgenic *Arabidopsis* to drought stress. *Plant Growth Regulation* 81: 131–145.
 16. Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89: 871–885.
 17. Leonardi, C., Giuffrida, F., 2006. Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks. *European Journal of Horticultural Science* 71: 97–101.
 18. Liang, G., Liu, J., Zhang, J., Guo, J., 2020. Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 145: 12–17.
 19. Martínez-Ballesta, M.C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M., 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127: 112–118.
 20. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, 1142 p.
 21. Pagliarini, C., Vitali, M., Ferrero, M., Vitulo, N., Incarbone, M., Lovisolo, C., Valle, G., Schubert, A., 2017. The accumulation of miRNAs differentially modulated by drought stress is affected by grafting in grapevine. *Plant Physiology* 173: 2180–2195.
 22. Reich, P.B., Sendall, K.M., Stefanski, A., Rich, R.L., Hobbie, S.E., Montgomery, R.A., 2018. Effects of climate warming on photosynthesis in boreal tree species depend on soil moisture. *Nature* 562: 263–267.
 23. Rivard, C., O'Connell, S., Peet, M., Louws, F., 2010. Grafting tomato with interspecific rootstock to manage diseases caused by *Sclerotium rolfsii* and southern root-knot nematode. *Plant Disease* 94: 1015–1021.
 24. Roupshael, Y., Kyriacou, M.C., Colla, G., 2018. Vegetable grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science* 8: 2255.
 25. Singh, H., Kumar, P., Kumar, A., Kyriacou, M. C., Colla, G., Roupshael, Y., 2020. Grafting tomato as a tool to improve salt tolerance. *Agronomy* 10: 263.
 26. Tyree, M.T., Ewers, F.W., 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist* 119: 345–360.
 27. van Iersel, M.W., Weaver, G., Martin, M.T., Ferrarezi, R.S., Mattos, E., Haidekker, M., 2016. A chlorophyll fluorescence-based biofeedback system to control photosynthetic lighting in controlled environment agriculture. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 141: 169–176.
 28. Wang, G., Cai, G., Kong, F., Deng, Y., Ma, N., Meng, Q., 2014. Overexpression of tomato chloroplast-targeted DnaJ protein enhances tolerance to drought stress and resistance to *Pseudomonas solanacearum* in transgenic tobacco. *Plant Physiology and Biochemistry* 82: 95–104.
 29. Zhang, Z., Cao, B., Gao, S., Xu, K., 2019. Grafting improves tomato drought tolerance through enhancing

photosynthetic capacity and reducing ROS accumulation. *Protoplasma* 256: 1013–1024.

30. Zhang, Z., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., Xu, K., 2020. The effectiveness of grafting to improve drought tolerance in tomato. *Plant Growth Regulation* 91: 157–167.

31. Zhao, S.-Y., Wang, G.-D., Zhao, W.-Y., Zhang, S., Kong, F.-Y., Dong, X.-C., Meng, Q.-W., 2018. Overexpression of tomato WHIRLY protein enhances tolerance to drought stress and resistance to *Pseudomonas solanacearum* in transgenic tobacco. *Biologia Plantarum* 62: 55–68.