به زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹
صفحه‌های ۱۷۹-۱۶۵

بررسی اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر برخی صفات رویشی، زایشی، فیزیولوژیکی و عناصر معدنی در گیاه توت فرنگی رقم پاروس در کشت بدون خاک

محمدرضا ملک‌زاده شمس‌آباد[۱]، مجید اسماعیلی‌زاده[۲*]، حمیدرضا روستا[۳]، فاطمه ناظوری[۴]
۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، کرمان، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، کرمان، ایران.
۳. استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، کرمان، ایران.
۴. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، کرمان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۲

چکیده

در کشت بدون خاک عدم مدیریت صحیح محلول‌دهی به‌دلیل محدودبودن حجم ریشه و ظرفیت نگهداری کم آب بستر باعث ایجاد تنش در گیاه می‌شود. در این پژوهش مدیریت محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم در کشت بدون خاک بر توت‌فرنگی رقم پاروس مورد بررسی قرار گرفت. به‌این منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل تعداد دفعات محلول‌دهی در شبانه‌روز در سه سطح یک، چهار و ۱۰ بار در روز و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم در سه سطح بدون محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی یک و دو گرم بر لیتر در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان انجام گرفت. نتایج نشان داد که افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی تا چهار بار در روز موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد میوه، میزان کلروفیل a، b و کل، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلسیم و منیزیم برگ گردید. بیش‌ترین سطح برگ، وزن میوه، تعداد گل‌آذین و پتاسیم و آهن برگ و ریشه در محلول‌دهی ده بار در روز به‌دست آمد. محلول‌پاشی سولفات پتاسیم یک گرم بر لیتر بیش‌ترین تأثیر را بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و وزن میوه داشت. کاربرد دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم سبب افزایش شاخص سبزینگی در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی‌نشده در تمام شرایط محلول‌دهی گردید. بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ در گیاهان با یک‌بار محلول‌دهی در روز و محلول‌پاشی دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: پتاسیم، تغذیه برگی، فتوسنتز، محلول غذایی، هیدروپونیک.

The Effect of Fertigation Frequency and Foliar Application of Potassium Sulfate on some Vegetative, Reproductive, Physiological Characteristics, and Nutrient Elements of Strawberry Cv. Paros in Soilless Culture System

Mohammad Reza Malekzadeh Shamsabad[1], Majid Esmaeilizadeh[2*], Hamid Reza Roosta[3], Fatemeh Nazoori[4]
1. M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Vali-E- Asr University, Kerman, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-E- Asr University, Kerman, Iran.
3. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-E- Asr University, Kerman, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-E- Asr University, Kerman, Iran.
Received: March 15, 2019 Accepted: October 4, 2019

Abstract

In soilless culture, lack of correct management in fertigation causes stress in plants due to restricted root volume and low water holding capacity of the substrate. The present study tries to assess management of fertigation practice and foliar application of potassium sulfate in a soilless culture of strawberry cv. paros. For this purpose, a factorial experiment has been conducted with two factors, namely fertigation frequency at three levels (1, 4, and 10 times per day) and foliar application with potassium sulfate at three levels of concentration (0 as control, 1, and 2 g/L). The experiment has been carried out based on a complete randomized design with three replications in Vali-e-Asr University of Rafsanjan. Results show that increasing the fertigation frequency up to four times a day leads to a significant increase in dry weight of shoot and root, number of fruits, concentration of chlorophyll a and b, leaf relative water content, and leaf Ca and Mg content. The highest values of leaf area, fruit weight, number of inflorescences, as well as potassium and iron content of leaf and root have been obtained by 10 times of fertigation per day. Application of potassium sulfate foliar with a concentration of 1 g/L has had the greatest impact on leaf area as well as shoot, root, and fruit dry weight. Vegetation index has increased in plants, treated with 2 g/L potassium sulfate, compared with those without any foliar application treatment. The highest content of leaf soluble carbohydrates belongs to the plants, treated with once-a-day fertigation and foliar application of 2 g/L potassium sulfate.

Keywords: Foliar application, hydroponics, nutrient solution, photosynthesis, potassium.

* نویسنده مسئول Email: esmaeilizadeh@vru.ac.ir

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت محلول‌دهی می‌تواند بر بهره‌وری آب، عملکرد و کیفیت میوه تأثیر بگذارد (Saleh, 2018). با این‌حال، در تولید هدفمند یک محصول، مدیریت آبیاری و محلول‌دهی نیز می‌تواند به‌عنوان یک ابزار برای افزایش بهره‌وری آب، برای به حداکثر رساندن محصول یا بازده اقتصادی استفاده شود (Saha, 2008). کاهش دور آبیاری برای ثابت و بهینه نگه‌داشتن محتوای آب ناحیه ریشه ممکن است که نوسانات غلظت عناصر غذایی را کاهش داده و به‌موجب آن در دسترس بودن عناصر غذایی را برای گیاه افزایش دهد و مانع شست‌وشوی آنها از ناحیه ریشه شود هم‌چنین ویژگی‌های سیستم کشت و مقدار آبیاری با محلول‌غذایی بر جذب عناصر توسط گیاه اثر می‌گذارد (Roosta, 2013). به‌کاربردن مکرر آب و مواد غذایی باعث می‌شود که در سطح ریشه و اطراف آن منبع خوبی از مواد غذایی تازه در طول دوره رشد و نمو وجود داشته باشد. این تکرار آبیاری، مانع تشکیل ناحیه خشک در مجاورت سطح ریشه و جذب آب و مواد غذایی با تکرار مداوم کود آبیاری می‌شود (Silber *et al.*, 2005). نتایج یک آزمایش نشان داد آبیاری تدریجی در روز باعث بهبود رطوبت بستر، کاهش مقاومت روزنه‌ای و بهبود پتانسیل آب برگ و در نتیجه افزایش عملکرد توت فرنگی گردید و کارایی مصرف آب بهبود یافت (Delshad *et al.*, 2008). نتایج پژوهشی دیگر نیز نشان می‌دهد که تقسیط مقدار آب موردنیاز گیاه در طول شبانه‌روز و دادن آن در دفعات متعدد به گیاه باعث افزایش و حفظ رطوبت بستر شده و گیاه در وضعیت مناسب فتوسنتزی و رشد قرار گرفته و میزان عملکرد آن افزایش می‌یابد (Ismail *et al.*, 2008).

پتاسیم یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین مواد مغذی در گیاهان است که نقش مهمی را در رشد، متابولیسم و بقای آنها ایفا می‌کند. این عنصر در فعالیت آنزیم‌ها، ساخت پروتئین‌ها، فتوسنتز، تنظیم اسمزی، فعالیت روزنه‌ها، ساخت و انتقال کربوهیدرات‌ها و تحمل تنش دخالت دارد (Marschner, 2012). کاربرد پتاسیم از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی درون‌سلولی با تأثیر بر تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر قندهای محلول سبب کاهش پتانسیل اسمزی بافت گیاه می‌گردد، در این شرایط ریشه گیاه آب بیش‌تری را جذب می‌کند و سبب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود (Wang *et al.*, 2013). سولفات پتاسیم به‌دلیل نقش تنظیمی یونی و هم‌چنین تنظیم فشار اسمزی و ایجاد رقابت در جذب و کاهش جذب و اثر نمک‌ها، سبب افزایش تعداد گل در گل‌آذین، میوه و عملکرد نهایی بوته توت‌فرنگی می‌شود (Ercisli *et al.*, 2005). پتاسیم کاملاً با کاربرد محلول‌پاشی سازگار است زیرا نشان داده شده است که پس از محلول‌پاشی روی برگ‌ها به‌سرعت جذب و در تمام گیاه انتقال می‌یابد (Mengel, 2002). نتایج یک پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در درخت زیتون تحت تأثیر قرار داد و سبب افزایش میزان کلروفیل، پتاسیم برگ، آنتوسیانین و کربوهیدرات محلول میوه و کاهش هدایت روزنه‌ای گردید (Zivdar *et al.*, 2016). در آزمایشی دیگر تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم بر توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری بررسی شد و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی پتاسیم سبب افزایش وزن خشک ریشه و برگ، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب و میزان پتاسیم ریشه و برگ گیاهان در شرایط تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد گردید (Yildirim *et al.*, 2009). در سیستم‌های کشت بدون خاک عدم مدیریت صحیح محلول‌دهی به‌دلیل محدود بودن حجم ریشه و ظرفیت نگه‌داری آب کم بستر باعث ایجاد تنش در گیاه شده و نوسانات غلظت عناصر غذایی را افزایش می‌دهد و بنابراین تنظیم دور آبیاری و مدیریت محلول‌دهی می‌تواند سبب کاهش مشکلات احتمالی گردد. با توجه به اثرات مهم دفعات محلول‌دهی بر ثابت و بهینه نگه‌داشتن محتوای آب

ناحیه ریشه و غلظت عناصر غذایی و به‌موجب آن افزایش دسترسی عناصر غذایی برای گیاه جهت بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه و نقش مؤثر تغذیه برگی عنصر پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات باغبانی، آزمایشی طراحی شد که در آن تأثیر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر برخی صفات رویشی، زایشی، فیزیولوژیکی و عناصر معدنی در گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس در کشت بدون خاک بررسی گردد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان در سال ۱۳۹۶ طی فصل پاییز و زمستان و در سیستم کشت بدون خاک انجام شد. بوته‌ها در اواخر مهرماه کشت شدند و تا اواسط اسفندماه در بستر کاشت قرار داشتند. رقم توت‌فرنگی مورداستفاده پاروس بود. بستر کشت حاوی ۷۰ درصد کوکوپیت و ۳۰ درصد پرلایت بود و بوته‌ها در کیسه کشت، کشت شدند. دمای گلخانه در طول روز و شب به‌طور متوسط به‌ترتیب ۲۲ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور و سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. به‌این منظور مقدار محلول موردنیاز هر بوته در شبانه روز با محاسبه میزان تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد گیاه محاسبه می‌گردید و در سه سطح یک، چهار و ده بار در شبانه روز با استفاده از پمپ آب و تایمر به گیاهان داده شد. حجم محلول در شبانه‌روز برای تمام تیمارها یکسان بود اما تعداد دفعاتی که این حجم محلول در اختیار گیاهان قرار می‌گرفت بسته به تیمار محلول‌دهی متفاوت بود و فاکتور محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم در سه سطح بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی یک و دو گرم بر لیتر اعمال گردید. محلول‌پاشی سولفات پتاسیم هر هفت روز یک‌بار در اول صبح به‌صورت پاشش روی برگ‌ها انجام می‌گردید و تا پایان آزمایش ادامه داشت. محلول غذایی مورد استفاده هوگلند تغییر یافته بود (جدول ۱). pH محلول غذایی ۶/۸ و EC آن $1900 dSm^{-1}$ بود. اعمال تیمارها یک‌ماه بعد از کاشت بوته‌ها و استقرار آنها در بستر کاشت صورت گرفت. وزن‌تر اندام هوایی و ریشه در پایان آزمایش و پس از برداشت بوته‌ها با استفاده از ترازو تعیین شد و سپس بوته‌ها با قرارگرفتن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک اندام هوایی و ریشه به‌وسیله توزین با ترازوی حساس به‌دست آمد. سطح برگ با دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf Area meter) مدل CI202 اسکن و سطح برگ براساس سانتی‌مترمربع محاسبه شد. در پایان آزمایش تعداد گل‌آذین با شمارش تعداد گل‌آذین تولیدشده در هر بوته مشخص شد. تعداد میوه‌ها پس از هر برداشت شمارش گردید و وزن میوه‌ها نیز پس از هر برداشت با ترازوی دقیق توزین شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل از برگ‌های بالغ نمونه‌گیری انجام و با استون عصاره‌گیری شد. به این ترتیب که مقدار ۰/۲۵ گرم از نمونه برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به‌صورت محلول یکنواختی درآید. سپس مخلوط حاصل در لوله‌های فالکون ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور (rpm) ۳۵۰۰ سانتریفیوژ شدند. میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و در پایان غلظت کلروفیل محاسبه گردید (Arnon, 1949). شاخص SPAD (سبزینگی) توسط دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD-502) یک ماه پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) نخست از هر برگ چند دیسک به قطر یک سانتی‌متر از پهنک برگ تازه تهیه و وزن شد و سپس داخل پتری‌دیش

حاوی آب مقطر قرار داده شد تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس درآیند. پس از گذشت ٦ ساعت آن‌ها را بر روی کاغذ صافی قرار داده تا رطوبت اضافی آن‌ها گرفته شد. سپس آن‌ها را وزن کرده و پس از آن نمونه‌ها را در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤٨ ساعت قرار داده تا خشک شدند و دوباره وزن آن‌ها محاسبه شد و با استفاده از روش ویدرلی[1] (۱۹۵۰) و فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ به‌دست آمد:

$$RWC = (Wf - Wd/ Wt - Wd) \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن: RWC: میزان آب نسبی، Wf: وزن تر برگ، Wd: وزن خشک برگ، Wt: وزن برگ در حالت تورژسانس کامل می‌باشند.

در پایان آزمایش پس از تهیه عصاره گیاهی از اندام هوایی و ریشه خشک‌شده، عناصر منیزیم و آهن توسط دستگاه جذب اتمی (کمپانی استرالیایی، Version 1/33 GBC Avanta) و عنصر پتاسیم توسط شعله‌سنج (شرکت آلمانی، مدلJENWAY, PFP7) و عناصر کلسیم و منیزیم به‌روش تیترسنجی اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD انجام شد.

جدول ۱. غلظت عناصر غذایی مورداستفاده در محلول غذایی

عناصر اصلی		ریزمغذی‌ها	
عنصر	غلظت (mg/L, ppm)	عنصر	غلظت (mg/L, ppm)
نیتروژن (N)	۱۲۸	آهن (Fe)	۵
فسفر (P)	۵۸	منگنز (Mn)	۲
پتاسیم (K)	۲۱۱	روی (Zn)	۰/۲۵
کلسیم (Ca)	۱۰٤	بور (B)	۰/۷
منیزیم (Mg)	٤۰	مس (Cu)	۰/۰۷
گوگرد (S)	٥٤	مولیبدن (Mo)	۰/۰۵

1. Weatherely

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. صفات رویشی و زایشی

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها (جدول ۲) نشان داد که محلول‌دهی چهار بار در روز در مقایسه با گیاهان یک و ۱۰ بار محلول‌دهی شده در روز از بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی برخوردار بودند و کاربرد یک گرم بر لیتر به‌طور معنی‌داری سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاهان توت‌فرنگی گردید. هم‌چنین وزن خشک ریشه گیاهان توت‌فرنگی که چهار و ۱۰ بار در روز محلول‌دهی شده بودند نسبت به گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شده بودند به‌ترتیب حدود ۸۰ و ۵۲ درصد از وزن خشک بیش‌تری برخوردار بودند. نتایج هم‌چنین نشان داد محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در غلظت یک و دو میلی‌گرم بر لیتر در شرایط محلول‌دهی چهار بار در روز تأثیری بر وزن خشک ریشه نداشت ولی کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط محلول‌دهی ده بار در روز سبب افزایش وزن خشک ریشه گردید.

تغییر در شاخص‌های رشدی گیاه توت‌فرنگی در ارتباط با تعداد دفعات محلول‌دهی را می‌توان به در دسترس‌بودن عناصر غذایی نسبت داد. هم‌چنین افزایش شاخص‌های رشدی در اثر افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی را می‌توان به افزایش محتوای نسبی آب برگ و در نهایت افزایش جذب عناصر غذایی و مقدار کلروفیل برگ نسبت داد. در پژوهشی تأثیر کمبود آب در آفتابگردان بررسی شد و مشاهده گردید که سطح برگ در شرایط کمبود آب کاهش معنی‌داری داشت که آن را دلیل مهمی برای کاهش عملکرد از طریق کاهش فتوسنتز گزارش نمودند (Metin *et al.*, 2010). کاربرد پتاسیم از طریق بهبود روابط آبی گیاه و جذب بیش‌تر عناصر غذایی در شرایط پتانسیل اسمزی پایین بستر کشت سبب بهبود شاخص‌های رشدی می‌گردد (Kaya *et al.*, 2002). نتایج یک آزمایش نشان داد که کاربرد سولفات پتاسیم سبب

افزایش وزن تر ساقه، سطح برگ و میزان محصول در سه رقم توت‌فرنگی شد (Tohidloo *et al*., 2018). شاخص‌های رشدی گیاه توت‌فرنگی در اثر کاربرد سولفات پتاسیم را به تأثیر سولفات پتاسیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و افزایش غلظت عناصر غذایی در بافت گیاه می‌توان نسبت داد. با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی از یک بار به چهار بار، عناصر غذایی بیش‌تری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که این امر سبب افزایش شاخص‌های رشدی گیاه می‌گردد از طرف دیگر ۱۰ بار محلول‌دهی در روز از طریق تجمع املاح معدنی در محیط اطراف ریشه، پتانسیل آب اطراف ریشه در طی زمان کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش جذب کم‌تر آب و در نهایت کاهش رشد می‌گردد.

گیاهانی که ۱۰ بار در روز محلول‌دهی شده بودند در مقایسه با گیاهانی که در روز چهار و یک بار محلول‌دهی شده بودند از تعداد گل‌آذین بیش‌تری برخوردار بودند. نتایج هم‌چنین نشان داد که محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در تمام شرایط محلول‌دهی در مقایسه با گیاهان شاهد سبب افزایش تعداد گل‌آذین در گیاه گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد چهار بار محلول‌دهی در مقایسه با کاربرد یک بار محلول‌دهی سبب افزایش تعداد میوه در گیاه توت‌فرنگی گردید ولی تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد میوه بین گیاهان محلول‌دهی‌شده ده بار در روز و یک بار در روز مشاهده نشد هم‌چنین محلول‌پاشی سولفات پتاسیم سبب افزایش تعداد میوه در گیاه توت‌فرنگی در تمام شرایط یک و چهار بار محلول‌دهی گردید. گیاهانی که در شرایطی با ۱۰ بار محلول‌دهی قرار گرفتند از وزن میوه بیش‌تری نسبت به گیاهانی که یک و چهار بار محلول‌دهی شده بودند برخوردار بودند. نتایج هم‌چنین نشان داد که محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر سولفات پتاسیم سبب افزایش قابل‌توجهی در وزن میوه در تمام شرایط محلول‌دهی گردید (جدول ۲).

جدول ۲. اثر متقابل تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر برخی از صفات رویشی و زایشی توت فرنگی رقم پاروس

تعداد دفعات محلول‌دهی	سولفات پتاسیم ($gr.lit^{-1}$)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	سطح برگ (cm^2)	تعداد گل‌آذین (در هر گیاه)	تعداد میوه (در هر گیاه)	وزن میوه (gr)
	شاهد	٤/٥٧ d	١/٥ d	٦/٤٢ e	٤ e	٩/٦٥ f	١٠٩ e
یک بار در روز	١	٧/٨٢ bc	٢/٩١ b	١٠/٥ b	٥/٣ d	١٢/٦ e	١٥٤ bcd
	٢	٦ cd	١/٩١ cd	٧/٢٥ de	٤/٢٥ e	١٣ de	١٣٨ d
	شاهد	٨/٣٢ b	٣/٥ ab	٧/٣ de	٤/٢٥ e	١٤/٥ c	١١٣ e
چهار بار در روز	١	١٢/٣ a	٤ a	١٠/٨ ab	٥/٨ d	١٧/٤ b	١٦٣ bc
	٢	٩/٥ b	٣/٩ a	٨/٣ c	٥/٦٥ d	١٩ a	١٤٨ cd
	شاهد	٥ d	٢/١٦ c	٨ cd	٧/٥ c	١٣ cde	١٥٨ bcd
١٠ بار در روز	١	٩/٥ b	٣/٩ a	١١/٤ a	١٠/٨ a	١٣/٨ cde	٢١٠ a
	٢	٧/٥٧ bc	٣/٧٥ a	٨/٥ c	٩/٩ b	١٤/٣ cd	١٧١b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

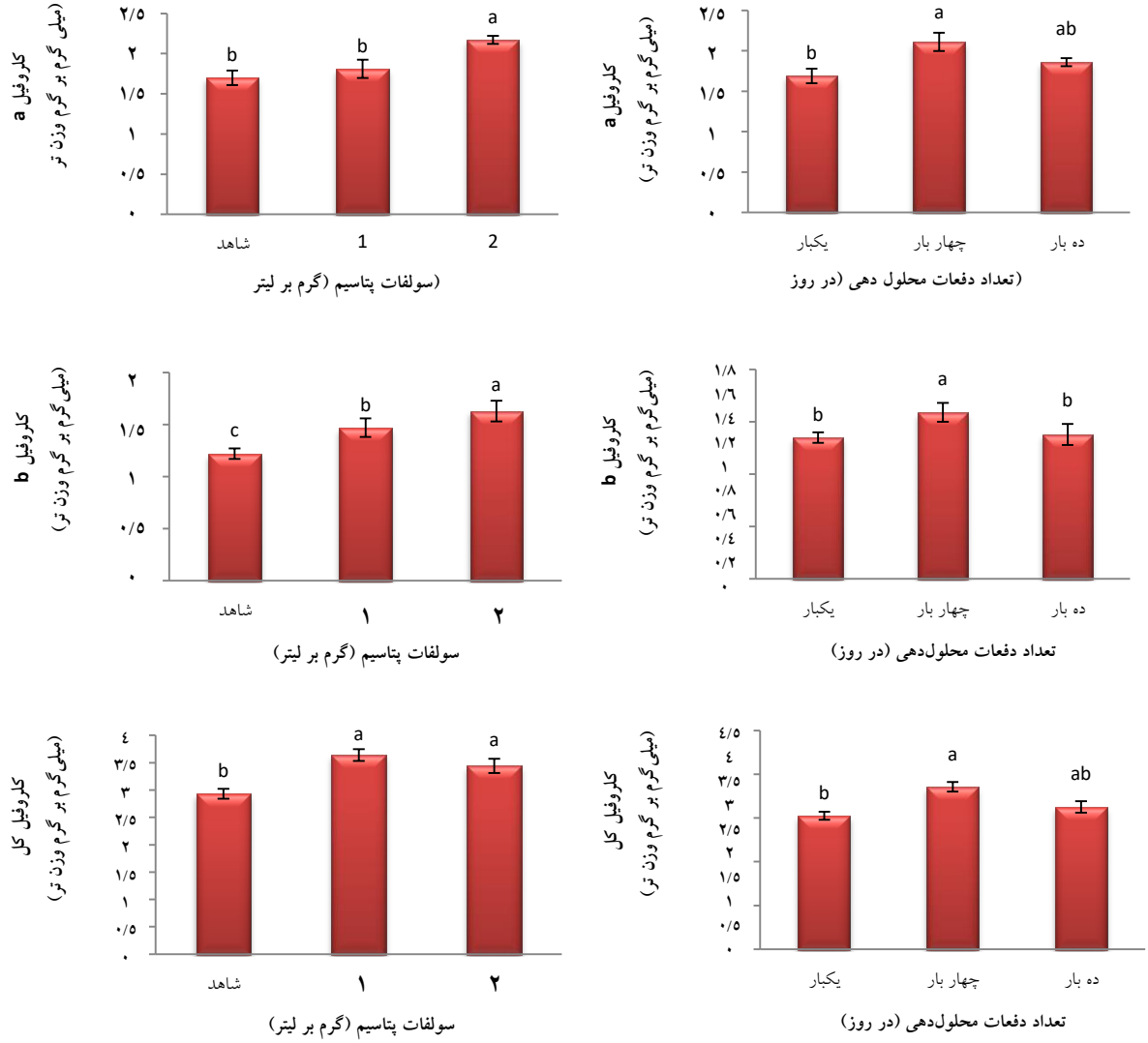
ازآنجایی‌که ۱۰ بار محلول‌دهی در روز می‌تواند سبب تجمع نمک‌های معدنی در محیط اطراف ریشه گردد این امر می‌تواند سبب افزایش EC محیط اطراف ریشه و در نهایت کاهش تشکیل میوه گردد. در یک بررسی روی گیاه توت‌فرنگی نشان داده شد که با افزایش غلظت عناصر غذایی (افزایش EC محلول غذایی)، تعداد میوه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و نشان دادند که EC بالای محیط اطراف ریشه از تشکیل میوه و در نهایت تقسیم سلولی میوه جلوگیری می‌کند (Lee *et al*., 2013). به‌نظر می‌رسد که در شرایط ۱۰ بار محلول‌دهی شرایط برای تمایزیابی گل فراهم هست ولی به‌دلیل کاهش برخی از عناصر و یا ممکن است به‌دلیل کاهش کربوهیدرات فرایند تکامل گل صورت نمی‌گیرد و در نهایت گل‌ها ریزش می‌کنند. بیش‌ترین وزن میوه در گیاهان تیمار شده ۱۰ بار محلول‌دهی در روز مشاهده گردید که این افزایش وزن میوه در این شرایط را می‌توان به کاهش تعداد میوه و اختصاص مواد غذایی بیش‌تر به میوه باشد. در این رابطه روی دو رقم توت‌فرنگی نشان داده شد که گیاهان توت‌فرنگی که در شرایط مختلف از تعداد میوه بیش‌تری برخوردار بودند از وزن کم‌تری برخوردار بودند و با کاهش تعداد میوه در بوته وزن میوه افزایش یافت (Lee *et al*., 2013). طی پژوهشی بهبود کارایی مصرف آب با مدیریت زمان محلول‌دهی در توت‌فرنگی بررسی شد و نشان داده شد که محلول‌دهی تدریجی در طول روز سبب افزایش طول میوه، تعداد میوه و عملکرد در هر بوته گردید (Delshad *et al*., 2008). افزایش درصد گلدهی و افزایش شاخص‌های عملکردی گیاه توت‌فرنگی در اثر محلول‌پاشی پتاسیم را می‌توان به نقش پتاسیم در تحریک رشد گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش برخی از فرآیندهای سوخت‌وساز و بارگیری کربوهیدرات‌ها به آوند آبکش و انتقال آن‌ها به سمت اندام‌های زایشی باشد. پتاسیم در تمایزیابی جوانه گل نقش مهمی دارد و سبب تحریک تشکیل گل در گیاهان می‌گردد و ازآنجایی‌که یکی از نقش‌های پتاسیم در بارگیری کربوهیدرات‌ها در آوند آبکش می‌باشد، بنابراین می‌تواند در تخصیص کربوهیدرات‌ها به بافت‌های گیاه نیز مؤثر باشد (John, 2005). طی پژوهشی کاربرد سولفات پتاسیم در سه رقم توت‌فرنگی سبب افزایش طول، قطر، تعداد و وزن میوه گردید (Tohidloo *et al*., 2018).

۳. ۲. رنگیزه‌های فتوسنتزی و روابط آبی

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات مستقل تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ گیاه توت‌فرنگی معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل این تیمارها در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ در گیاهانی که چهار بار در روز محلول‌دهی شده بودند در مقایسه با گیاهانی که یک بار محلول‌دهی شده بودند بیش‌تر بود. محلول‌پاشی سولفات پتاسیم با غلظت دو گرم بر لیتر نیز سبب افزایش ۲۷/۶ درصدی مقدار کلروفیل a برگ، در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش غلظت سولفات پتاسیم مقدار کلروفیل b برگ افزایش یافت به‌طوری‌که کاربرد یک و دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در مقایسه با گیاهان شاهد به‌ترتیب سبب افزایش ۲۰/۸ و ۳۳/۶ درصدی مقدار کلروفیل b برگ گردید و هم‌چنین محلول‌پاشی سولفات پتاسیم با غلظت یک و دو گرم بر لیتر به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۶ و ۶/۴۵ درصدی مقدار کلروفیل کل برگ، در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (شکل ۱).

سلامت گیاه به‌طور مستقیم با محتوای کلروفیل برگ

در ارتباط است و در صورت تغییر در مقدار کلروفیل، سلامت گیاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Zarco-Tejada *et al.*, 2000). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی از یک به چهار مرتبه در روز محتوای کلروفیل برگ توت‌فرنگی افزایش یافت ولی با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی به ۱۰ بار در روز مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل کاهش یافت. کاهش در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط ۱۰ بار محلول‌دهی در روز را می‌توان به کاهش جذب عناصر غذایی و فعالیت ریشه به‌دلیل پتانسیل اسمزی پایین محیط اطراف ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی نسبت داد. طی آزمایشی نشان داده شد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در سه رقم زیتون سبب افزایش میزان کلروفیل برگ در همه رقم‌ها گردید (Zivdar *et al.*, 2016).



شکل ۱. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس در شرایط کشت بدون خاک

(ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تعداد دفعات محلول دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌های محلول و محتوای نسبی آب برگ توت فرنگی رقم پاروس

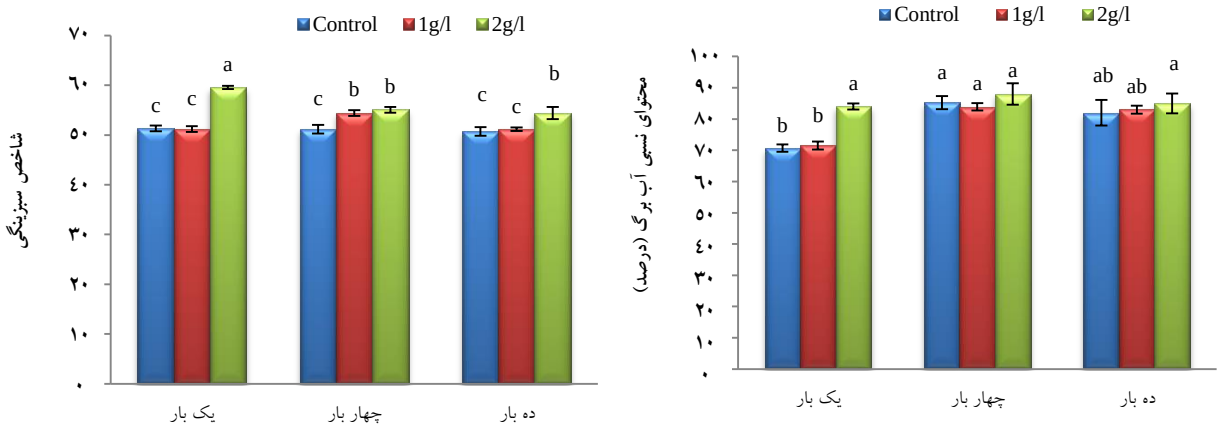
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	شاخص سبزینگی	محتوای نسبی آب برگ	کربوهیدرات‌های محلول برگ
تعداد دفعات محلول‌دهی (I)	۲	۰/۴۰ *	۰/۱۵ *	۱/۰۲ *	۸/۰۳ *	۲۷۰/۹۵ **	۳/۲۵ **
سولفات پتاسیم (K)	۲	۰/۵۳ **	۰/۳۸ **	۱/۲۱ *	۶۸/۰۷ **	۱۳۳/۰۱ **	۰/۲۵ **
I*K	٤	۰/۱۰ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۹ ns	۱۲/۶۶ **	۳۶/۷۱ *	۰/۱۷ **
خطا	۱۸	۰/۰۸۶	۰/۰۱۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۳۲	۷/۸۰	۱٤/۵۰	۲/۶۱	٤/۲۰	۵/۰۶

*، ** و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد آزمون LSD و نبود اختلاف معنی‌دار.

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی شاخص سبزینگی کاهش یافت و کاربرد دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در روز در شرایط یک، چهار و ۱۰ بار محلول‌دهی سبب افزایش شاخص سبزینگی در مقایسه با گیاهان محلول‌پاشی‌نشده گردید. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که محلول‌دهی چهار و ۱۰ بار در روز و محلول‌پاشی دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با کاربرد یک مرحله محلول غذایی در روز و تیمار شاهد گردید (شکل ۲).

محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان معیاری قابل اعتماد برای اندازه‌گیری وضعیت آب در بافت‌های گیاهی محسوب شده و از این‌رو بر پتانسیل آب سلول برتری دارد (Dkhil *et al.*, 2011). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده محتوای نسبی آب برگ در شرایط محلول‌دهی یک بار در روز در مقایسه با شرایط چهار و ۱۰ بار در روز پایین‌تر بود. به‌نظر می‌رسد که در شرایط یک بار محلول‌دهی گیاه توت‌رنگی با کمبود آب مواجه می‌شود در نتیجه آب کافی برای جذب وجود ندارد ولی در شرایط چهار و ۱۰ بار محلول‌دهی آب کافی در اختیار گیاه وجود دارد. در یک بررسی روی گیاه کاهو نشان داده شد که با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی جذب آب از بستر گیاه به‌وسیله ریشه گیاه کاهو ابتدا افزایش و سپس به‌طور نسبی کاهش یافت (Silber *et al.*, 2003). طی بررسی تأثیر غلظت پتاسیم محلول غذایی بر ویژگی‌های رویشی و بیوشیمیایی میوه در سه رقم توت‌فرنگی نشان داده شد که افزایش غلظت پتاسیم محلول غذایی، سبب بهبود شاخص سبزینگی در رقم‌های سلوا و پاروس نسبت به تیمار شاهد گردید (Tohidloo *et al.*, 2018).

کاربرد پتاسیم با تنظیم پتانسیل اسمزی درون‌سلولی از طریق تأثیر بر تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر قندهای محلول سبب کاهش پتانسیل اسمزی بافت گیاه می‌شود در این شرایط ریشه گیاه آب بیش‌تری را جذب می‌کند و سبب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود. به‌طورکلی پتاسیم به‌عنوان یک ماده اسمزی مهم در واکوئل می‌تواند سبب تنظیم باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و هم‌چنین حفظ تعادل آب می‌گردد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط یک بار محلول‌دهی از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی بافت گیاه و تعادل آن با شرایط ریزوسفر سبب افزایش جذب آب می‌شود. از طرف دیگر کاربرد پتاسیم از طریق افزایش رشد ریشه در شرایط یک بار محلول‌دهی در روز سبب افزایش جذب آب و در نهایت افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد.



شکل ۲. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب برگ گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس

(ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)

۳. ۳. کربوهیدرات‌های محلول برگ

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین کربوهیدرات‌های محلول برگ در گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شده بودند مشاهده شد و با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی، کربوهیدرات‌های محلول برگ کاهش یافت ولی تفاوت معنی‌داری بین گیاهان محلول‌دهی چهار و ۱۰ بار در روز از لحاظ مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ مشاهده نشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که در کاربرد دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شدند در مقایسه با گیاهان شاهد میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزایش یافت، درحالی‌که کاربرد سولفات پتاسیم روی گیاهانی که چهار و ۱۰ بار در روز محلول‌دهی شده بودند تأثیری بر کربوهیدرات‌های محلول برگ در مقایسه با گیاهان شاهد نداشت (شکل ۳).

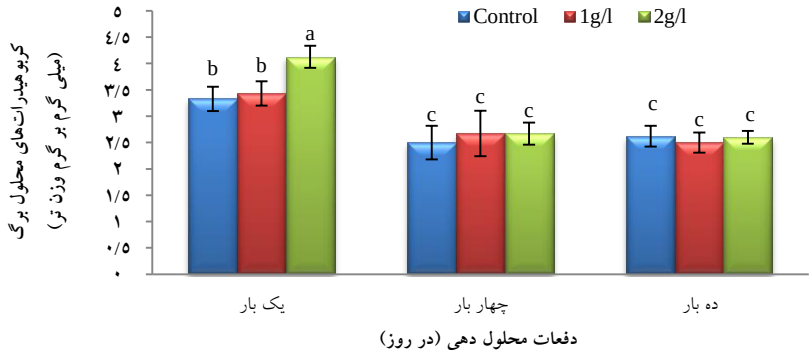
کربوهیدرات‌های محلول جزو ترکیبات اسمزنگهدار هستند که در شرایط تنش در گیاهان تولید آنها افزایش می‌یابد و باعث افزایش پتانسیل اسمزی سلول، تنظیم اسمولاریته درون‌سلولی و حفاظت مولکول‌های زیستی و غشا می‌شوند. براساس نتایج تحقیق حاضر بیش‌ترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در شرایط یک بار محلول‌دهی در روز مشاهده گردید و کاربرد دو گرم برلیتر سولفات پتاسیم سبب افزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول گردید. به‌نظر می‌رسد که با کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط یک بار محلول‌دهی بسیاری از فرآیندهای گیاهی برای مقابله با این شرایط فعال می‌شوند که تجمع کربوهیدرات‌های محلول به‌عنوان یک پاسخ دفاعی به شرایط تنش عمل می‌کند. عابدی باباعربی و همکاران (۱۳۹۰) طی بررسی روی گیاه گلرنگ نشان دادند که با کاهش محتوای نسبی آب برگ، مقدار قندهای محلول افزایش یافت و کاربرد سولفات پتاسیم سبب افزایش قندهای محلول در شرایط کمبود آب گردید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد سولفات پتاسیم سبب افزایش کربوهیدرات‌های محلول در بافت برگ گیاه انگور گردید (Sarikhani *et al.*, 2014). در آزمایشی اثر تغذیه برگی سولفات پتاسیم در انگور بررسی گردید و نشان داده شد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم سبب افزایش میزان قندهای

محلول برگ گردید (Minazadeh *et al.*, 2018). هم‌چنین در پسته کاربرد پتاسیم سیلیکات و پتاسیم سولفات افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول برگ و ریشه دانهال‌ها را باعث شد (Ranjbar *et al.*, 2017). که آن را به نقش پتاسیم در بیوسنتز و انتقال کربوهیدرات‌ها و درنتیجه افزایش محتوای قند موجود در اندام‌های گیاهی نسبت دادند (Karimi, 2017).

۳. ٤. عناصر معدنی

۳. ٤. ۱. پتاسیم ریشه و برگ

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ٤)، اثرات مستقل تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر مقدار پتاسیم ریشه و اندام هوایی معنی‌دار گردید، درحالی‌که برهم‌کنش آنها معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که غلظت پتاسیم ریشه گیاه توت‌فرنگی در گیاهانی که چهار بار و ۱۰ بار در روز محلول‌دهی شده بودند به‌ترتیب حدود ۷/٥٦ و ۸/۸۲ درصد در مقایسه با گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شده بودند بیش‌تر بود و غلظت پتاسیم برگ در گیاهانی که ۱۰ بار در روز محلول‌دهی شده بودند حدود ۱٥/۰۱ درصد در مقایسه با گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شده بودند بیش‌تر بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش غلظت سولفات پتاسیم مقدار پتاسیم ریشه و برگ افزایش یافت (شکل ٤).

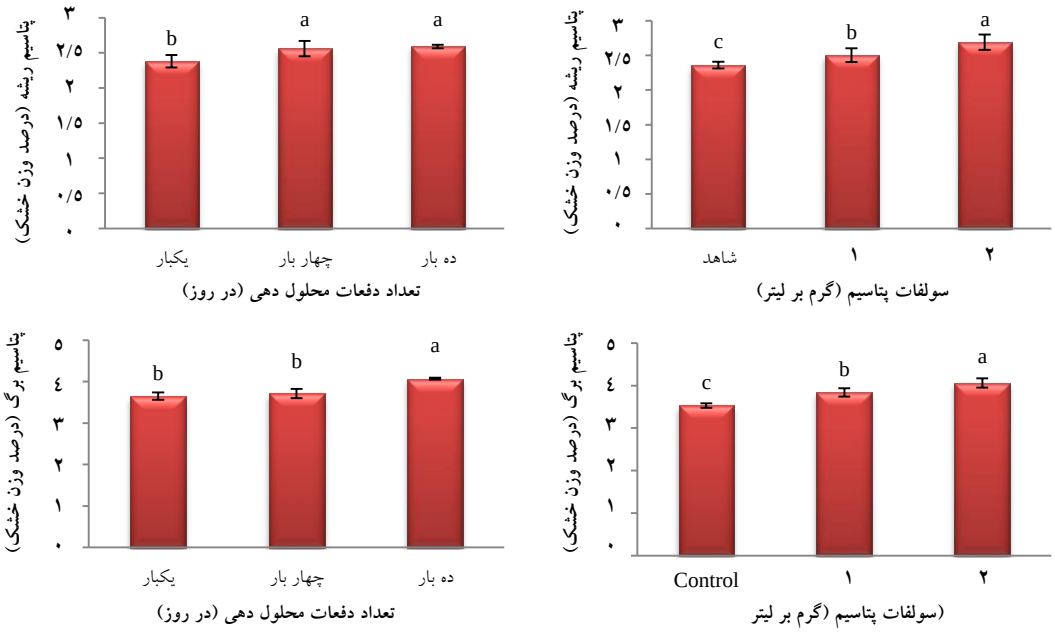


شکل ۳. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم (۰، ۱ و ۲ گرم بر لیتر) بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس. (ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ٥ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)

جدول ٤. تجزیه واریانس اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر غلظت عناصر برگ و ریشه گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پتاسیم (%DW)		کلسیم (%DW)		منیزیم (%DW)		آهن (mg/kg DW)	
		ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ
تعداد دفعات محلول‌دهی (I)	۲	۰/۱۲**	۰/٤۷**	۰/۱۷**	۰/۰٥**	۰/۰۹^{ns}	۰/۰٥**	۲٦٥۷۷۷**	۲۹۱٦/٦٥**
سولفات پتاسیم (K)	۲	۰/۲۲**	۰/٦٦**	۰/۲۳*	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۱۸**	۸۷۹۷۹**	٥٦٥**
I*K	٤	۰/۰۰۷۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۳۳**	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۱٥^{ns}	۰/۰۲^{ns}	٦۲٦۳۸**	۳۳٤*
خطا	۱۸	۰/۰۰٥	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/٤۰	۲۹۰/۱	٥۸۳۷	۹۳/٥٤
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۹۸	٤/۸٦	۱٥/۱٥	۱۰/٥۹	۱۰/۲۲	٥/۳۱	۷/۷٦	٦/٥۰

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد آزمون LSD و نبود اختلاف معنی‌دار.



شکل ٤. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر غلظت پتاسیم ریشه و برگ گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس

(ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)

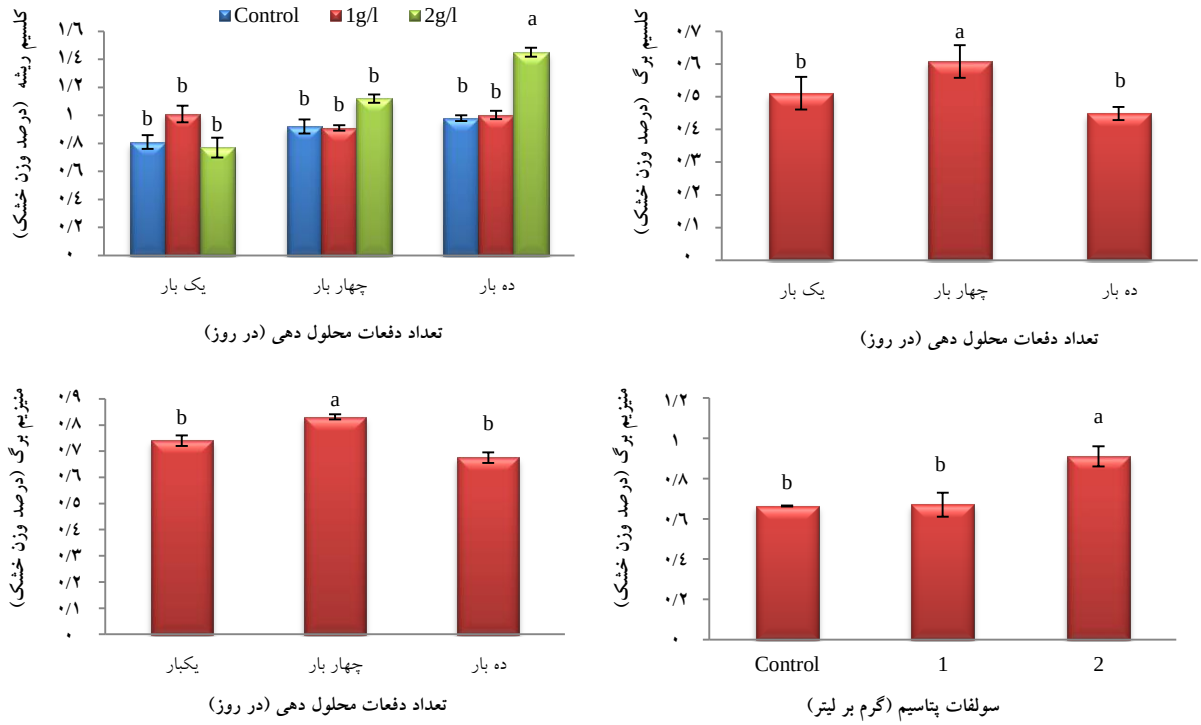
۳. ٤. ۲. کلسیم و منیزیم ریشه و برگ

نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها (جدول ٤) نشان داد که مقدار کلسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش تیمارها قرار گرفت و هم‌چنین اثر مستقل تعداد دفعات محلول‌دهی در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کلسیم برگ معنی‌دار گردید به‌طوری‌که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در شرایط یک و چهار بار محلول‌دهی در روز تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلسیم ریشه نداشت ولی کاربرد دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در شرایط ده بار محلول‌دهی سبب افزایش معنی‌دار مقدار کلسیم ریشه گردید. مقدار کلسیم برگ گیاهان در شرایط چهار بار محلول‌دهی در روز در مقایسه با گیاهان محلول‌دهی‌شده با یک و ۱۰ بار در روز به‌ترتیب حدود ۱۱/۵ و ۲۷/۱ درصد بیش‌تر بود (شکل ۵). نتایج هم‌چنین نشان داد که اثرات ساده دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر مقدار منیزیم برگ معنی‌دار شد. بر طبق نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها مقدار منیزیم برگ گیاه توت‌فرنگی در گیاهانی که چهار بار در روز محلول‌دهی شده بودند حدود ۱۲/۳ درصد در مقایسه با گیاهانی که یک بار در روز محلول‌دهی شده بودند بیش‌تر بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که کاربرد دو گرم بر لیتر سولفات پتاسیم در مقایسه با گیاهان شاهد سبب افزایش ۳۷/۱ درصدی مقدار منیزیم برگ گردید (شکل ۵).

۳. ٤. ۳. آهن ریشه و برگ

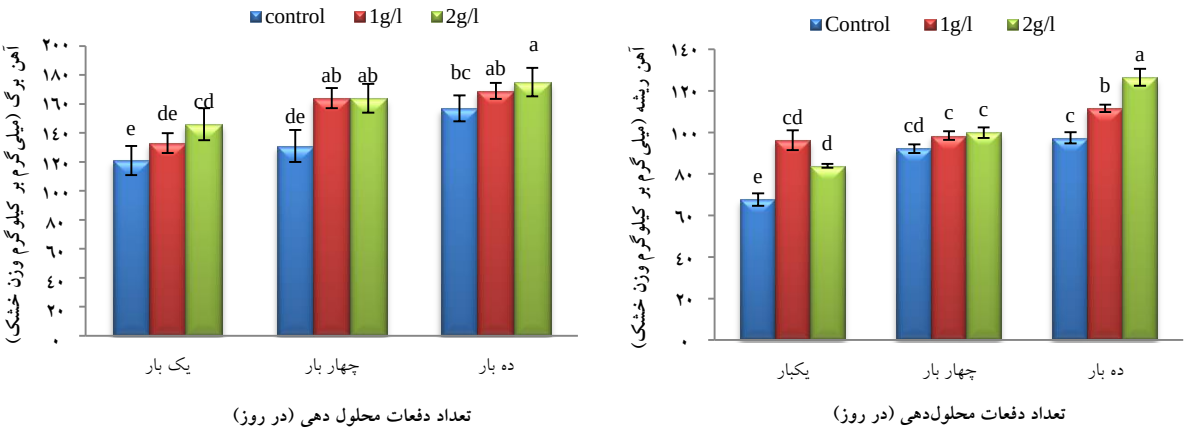
مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ٤)، تعداد دفعات محلول‌دهی، محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و برهم‌کنش بین آنها در سطح احتمال یک درصد بر غلظت آهن ریشه و در سطح پنج درصد بر غلظت آهن برگ گیاهان توت‌فرنگی معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که غلظت آهن ریشه در شرایط بدون محلول‌پاشی با کاربرد چهار و ۱۰ بار محلول‌دهی در روز افزایش پیدا کرد و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در شرایطی که یک و ۱۰ بار در روز محلول‌دهی گردید سبب

افزایش غلظت آهن ریشه گردید. براساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها غلظت آهن برگ با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی افزایش پیدا کرد. نتایج هم‌چنین نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان با غلظت دو گرم بر لیتر سولفات‌پتاسیم در تمام شرایط محلول‌دهی سبب افزایش غلظت آهن برگ گردید (شکل ٦).



شکل ٥. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر مقدار کلسیم و منیزیم ریشه و برگ گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس

(ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ٥ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)



شکل ٦. اثر تعداد دفعات محلول‌دهی و محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم بر مقدار آهن برگ و ریشه گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس

(ستون‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ٥ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.)

توازن در رشد رویشی و زایشی تحت تأثیر مقدار عناصر غذایی بافت گیاه بوده به‌طوری‌که پتاسیم حدود ۸۰ درصد از غلظت کاتیون آوند آبکش را تشکیل می‌دهد که نقش بسیار مهمی در بارگیری کربوهیدرات‌ها به آوند آبکش و انتقال آن به سمت اندام‌های زایشی دارد (Cakmak, 2005). براساس نتایج تحقیق حاضر غلظت پتاسیم و آهن با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی افزایش یافت درحالی‌که بیش‌ترین غلظت منیزیم و کلسیم ریشه و برگ در شرایط چهار بار محلول‌دهی در روز مشاهده شد. به‌طورکلی افزایش غلظت عناصر با افزایش تعداد دفعات محلول‌دهی را می‌توان به افزایش مقدار عناصر در دسترس ریشه نسبت داد که این امر سبب می‌شود که ریشه گیاه عناصر غذایی بیش‌تری را جذب کند. ولی ازآنجایی‌که در شرایط ده بار محلول‌دهی رشد ریشه کاهش یافت کاهش جذب عناصر کلسیم و منیزیم را می‌توان ناشی از کاهش رشد ریشه دانست که این امر می‌تواند ناشی از تجمع بیش از حد املاح در محیط اطراف ریشه باشد که سبب کاهش پتانسیل محلول یا آب اطراف ریشه می‌گردد. از طرف دیگر کاهش مقدار کلسیم و منیزیم در شرایط ۱۰ بار محلول‌دهی می‌تواند به‌دلیل رقابت بین جذب پتاسیم با کلسیم و منیزیم باشد. طی آزمایشی اثر تعداد دفعات محلول‌دهی بر توت‌فرنگی بررسی شد و نشان داده شد که افزایش تناوب آبیاری سبب افزایش میزان عناصر غذایی در برگ، ساقه و میوه توت‌فرنگی می‌گردد (Pooja *et al*., 2016).

نتایج تحقیق حاضر هم‌چنین نشان داد که کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم سبب افزایش غلظت عناصر غذایی پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آهن برگ گردید. افزایش غلظت عناصر در اثر کاربرد سولفات‌پتاسیم را می‌توان به افزایش رشد ریشه در شرایط مختلف محلول‌دهی نسبت داد، به‌طوری‌که با افزایش شاخص‌های رشد ریشه، فعالیت ریشه نیز افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی بیش‌تر در گیاهان تیمارشده در مقایسه با گیاهان شاهد می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش غلظت پتاسیم برگ، بارگیری مواد فتوسنتزی به آوند آبکش بهتر صورت می‌گیرد و کربوهیدرات بیش‌تری به ریشه تخصیص داده می‌شود و رشد ریشه افزایش می‌یابد و در نهایت جذب آب و مواد غذایی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن نیز افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد کاربرد پتاسیم از طریق افزایش هدایت روزنه‌ها و افزایش تعرق سبب افزایش جذب آب و در نهایت افزایش مقدار کلسیم می‌شود. به‌طورکلی پتاسیم از طریق تنظیم تعادل کاتیونی و آنیونی درون‌سلول می‌تواند جذب عناصر را نیز تحت شرایط مختلف تنظیم کند. گزارش شده است که کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم در سه رقم زیتون سبب افزایش میزان پتاسیم در برگ و میوه نسبت به تیمار شاهد گردید (Zivdar et al., 2016).

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر مدیریت محلول‌دهی تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی، زایشی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، روابط آبی و میزان عناصر معدنی در گیاه توت‌فرنگی داشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده با افزایش دفعات محلول‌دهی شاخص‌های رویشی، عملکرد گیاه، محتوای نسبی آب برگ و مقدار پتاسیم و آهن برگ و ریشه افزایش یافت ولی غلظت کلسیم و منیزیم در شرایط چهار بار محلول‌دهی نسبت به سایر شرایط محلول‌دهی بیش‌تر بود. بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ در محلول‌دهی یکبار در روز مشاهده شد. تغذیه برگی سولفات پتاسیم تأثیر مثبتی بر شاخص‌های رویشی و زایشی، میزان کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، غلظت پتاسیم و آهن ریشه و برگ و هم‌چنین منیزیم برگ نسبت به تیمار شاهد داشت. بنابراین تنظیم دفعات محلول‌دهی

از طریق کاهش نوسانات غلظت عناصر غذایی و افزایش جذب عناصر، سبب ایجاد شرایط بهینه و کاهش تنش در شرایط کشت هیدروپونیک می‌گردد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٦. منابع

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*, 1-15. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1.

Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*(4), 521-530. https://doi.org/10.1002/jpln.200420485.

Delshad, M., Alifatahi, R., Taghavi, T. & Parsinezhad, M. (2008). Improve water use efficiency by managing the irrigation time (irrigation) in non-soil cultivation of strawberries. *Journal of Horticultural Science*, *25*(1), 18-24. (in Persian)

Dkhil, B.B., Denden, M. & Aboud, S. (2011). Foliar potassium fertilization and its effect on growth, yield and quality of potato grown under loam-sandy soil and semi-arid conditions. *International Journal of Agricultural Research*, *6*(7), 593-600. DOI: 10.3923/ijar.2011.593.600.

Ercisli, S., sahin, U., esitken, A. & anapali, O. (2005). Effects of some growing media on the growth of strawberry cvs. 'Camarosa' and 'Fern'. *Journal of plant nutrition*, *58*, 185-191. DOI: 10.5586/aa.2005.024.

Ismail, S., Ozava, K. & Khondaker, N. (2008). Influence of single and multiple water application timing on yield and water use efficiency in tomato (var. first power). *Agriculture Water Management*, *95*, 116-122. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.09.006.

John, A. (2005). *Strawberry Fertigation Future issues*. Senior Horticultural Consultant University of Adas.

Karimi, R. (2017) Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticultura*, *215*, 184-194. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.12.018.

Kaya, C., Higgs, D., Saltali, K. & Gezerel, O., 2002. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. *Journal of Plant Nutrition*, *25*(7), 1415-1427. DOI: 10.1081/PLN-120005399.

Lee, J., Kim, S., Namgung, H., Jo, Y.H., Bao, C., Choi, H.K., Auh, J.H. & Lee, H.J. (2013). Ellagic acid identified through metabolomic analysis is an active metabolite in strawberry ('Seolhyang') regulating lipopolysaccharide-induced inflammation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*, 3954-3962.

Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Edition, Academic Press, London, UK, PP. 178-189.

Mengel, K. (2002). Alternative or Complementary Role of Foliar Supply in Mineral Nutrition. *Acta Horticulturae*., *594*, 33-47. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.594.1.

Metin, S., Gulendam, C., Attila, Y., Servet, T. & Burcak, K. (2010). Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Scientific Research and Essay*, *5*(1), 41-48.

Minazadeh, R., Karimi, R. & Mohamad Parast, B. (2018). The effect of foliar nutrition of potassium sulfate onmorpho-physiological indices of grapevine under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *10*(3), 83-106. (in Persian)

Pooja, R., Bhosale, Dr. G. M., Waghmare, D. & Suman, M. (2016). Effect of fertigation period on growth, yield and nutrient content of strawberry (fragaria ananassa) var. winter dawn under substrate. *The Bioscan An International Quarterly Journal of Life Sciences*, *11*(4), 2631-2635.

Ranjbar, M., Esmaeilizadeh, M., Karimi, H. R. & Shamshiri, M. H. (2017) Study of foliar application effect of silicon and potassium elements on some biochemical and ecophysiological traits of pistachio seedlings cv. Badami E-Riz Zarand Kerman under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *47*, 739-752. (in Persian)

Roosta, H. R. (2013). *Plant Nutrition in Hydroponics*. Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran. P. 577. (in Persian)

Saha, U.K., Papadopoulos, A.P., Hao, X. & Khosla, S. (2008). Irrigation strategies for greenhouse tomato production on rockwool. *HortScience*, *43*, 484-493.

Saleh, S., Liu, G., Liu, M., Ji, Y., He, H. & Gruda, N. (2018). Effect of Irrigation on Growth, Yield, and Chemical Composition of Two Green Bean Cultivars. *Horticulturae*, *4*, 1-10. DOI: 10.3390/horticulturae4010003.

Sarikhani, H., Haghi, H., Ershadi, A. & Pouya, M. (2014). Foliar application of potassium sulphate enhances the cold-hardiness. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *89*, 141-146.

Silber, A., Bruner, M., Kenig, E. & Reshef, G. (2005). High fertigation frequency and phosphorus level: Effects on summer-grown bell pepper growth and blossom-end rot incidence. *Plant and Soil*, *270*, 135-146. https://doi.org/10.1007/s11104-004-1311-3.

Tohidloo, G., Souri, M.K. & Eskandarpour, S. (2018). Growth and Fruit Biochemical Characteristics of Three Strawberry Genotypes under Different Potassium Concentrations of Nutrient Solution. *Open Agriculture*, *3*, 356-362. DOI: 10.1515/opag-2018-0039.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, *Basel*, *14*(4), 7370-7390. doi: 10.3390/ijms14047370.

Yildirim, E., Karlidag, H. & Turan, M. (2009). Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. *Journal of Plant, Soil and Environment*., *55* (5), 213-221. DOI: 10.17221/383-PSE.

Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Mohammed, G. H. & Noland, T. L. (2000). Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. Leaf- level measurements and simulation of reflectance and transmittance spectra. *Remote Sensing of Environment*, *74* (3): 582-595.

Zivdar, S., Arzani, K., Souri, M.K., Moallemi, N. & Seyyednejad, S.M. (2016). Physiological and Biochemical Response of Olive (*Olea europaea* L.) Cultivars to Foliar Potassium Application. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *18*, 1897-1908.