

مقاله پژوهشی:

تأثیر پتاسیم و کلسیم بر خصوصیات رویشی و تعادل یونی نهال‌های پیوندی سیب روی پایه‌های پاکوتاه‌کننده تحت تنش شوری

مینا محبی^۱، مصباح بابالار^{۲*}، محمدرضا فتاحی مقدم^۲ و محمد علی عسکری^۳
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۱۹)

چکیده

شوری خاک یکی از تنش‌های مهم غیر زنده است که با بر هم زدن تعادل عناصر معدنی، رشد و باردهی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق به منظور مطالعه تأثیر تغذیه کلسیم و پتاسیم بر افزایش تحمل شوری درخت سیب، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در طی دو سال انجام شد که در آن از شش محلول غذایی جهت شبیه سازی سطوح مختلف تنش که حاوی مقادیر متفاوتی از نمک کلرید سدیم به همراه تغذیه کلسیم، پتاسیم و منیزیم بود، استفاده شد. طبق نتایج، نهال‌های روی پایه MM₁₁₁ در هر دو سال سریع‌ترین و بیشترین علائم رنگ پریدگی و خشکیدگی برگ را نشان دادند و پایه M₉ نسبت به دو پایه دیگر در طی هر دو سال آزمایش علائم کمتری را نشان داد. میزان همبستگی بین درصد برگ‌های خشکیده شده، ریزش برگ‌ها و محدودیت رشد رویشی با درصد کلر برگ‌ها در طی هر دو سال بالاتر از همبستگی آن با درصد سدیم برگ بود. همچنین نتایج نشان داد نهال‌های تغذیه شده با محلول غذایی D (۵ میلی مولار KNO₃، ۳/۵ میلی مولار Ca(NO₃)₂، ۳/۵۷ میلی مولار MgSO₄ و ۶ میلی مولار NaCl) توانستند در طی هر دو سال آزمایش علائم تنش شوری کمتری را نشان داده و رشد خود را حفظ کنند. نهال‌های روی پایه M₉ در طی مدت زمان تنش شرایط بهتری داشتند و پس از پایان تنش نیز دارای قدرت زنده‌مانی و برگشت‌پذیری بالاتری از دو پایه دیگر بودند.

واژه‌های کلیدی: تعادل یونی، تنش شوری، کلرید سدیم، پایه سیب.

Effects of potassium and calcium on vegetative growth and mineral balance of apple tree grafted on dwarfing rootstocks, under salinity stress

Mina Mohebi¹, Mesbah Babalar^{2*}, Mohammad Reza Fattahi Moghadam² and Mohammad Ali Askary³
1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Professor and Associate Professor, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Feb. 24, 2018 - Accepted: Aug. 10, 2018)

ABSTRACT

Soil salinity is one of the most important abiotic stress that by disrupting mineral balance, affects the growth and fertility of plants. In order to investigate the effects of calcium and potassium nutrition on increasing the apple trees tolerance to salinity stress, a factorial experiment with a completely randomized design was conducted in two years, in which six nutritional solutions were used to simulate different levels of salt stress conditions by several amounts of calcium, potassium, magnesium and sodium chloride. According to the results, trees grafted on MM₁₁₁ showed the earliest and the most frequent symptoms of chlorosis and necrosis in both years, and the trees grafted on M₉ rootstocks showed less symptoms than two other rootstocks during the both years. In both years of experiment, correlation between percentage of necrotized leaves, leaf loss and decreasing vegetative growth with leaves chloride content was higher than their correlation with leaf sodium content. Also, the results showed that in both years of experiment, the D nutritional solution (5 mM KNO₃, 3.5 mM Ca(NO₃)₂, 3.57 mM MgSO₄ & 6 mM NaCl), could suppress the symptoms of stress in the trees and maintained their growth. Trees grafted on M₉ rootstocks, were healthier during the stress period, and also after this period they had higher survival and recovery ability than the two other rootstocks.

Keywords: Apple rootstock, ion homeostasis, salt stress, sodium chloride.

* Corresponding author E-mail: mbabalar@ut.ac.ir

مقدمه

بخش وسیعی از ایران را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل داده است. در این مناطق، به علت تبخیر فراوان و بارندگی اندک، روز به روز به شوری خاک‌ها افزوده می‌شود و هکتارها زمین قابل کشت و کار بر اثر تجمع بیش از حد نمک، غیرقابل استفاده می‌گردد (Mir Mohammadi & Ghareyazi, 2000). بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی موجود در جهان تحت تاثیر شوری قرار گرفته است. این مقدار معادل شش درصد از مساحت کل اراضی جهان می‌باشد (Munns, 2002 ; Bozena, 2017).

سیب با نام علمی *Malus domestica* از تیرهٔ رزاسه یکی از میوه‌های مهم مناطق معتدله است که میوه‌ی تازه و فرآورده‌های آن، بزرگ‌ترین تجارت جهانی را در بین محصولات باغبانی به خود اختصاص داده‌است (Mohebi et al., 2020). از چندین سال قبل تاکنون این محصول ارزآوری فراوانی را از طریق صادرات برای کشورمان به ارمغان داشته است. چین، آمریکا، فرانسه و ایتالیا از عمده کشورهای تولید و صادرکننده‌ی این محصول به‌شمار می‌روند (FAO, 2012). درخت سیب با ۲۴۹۰۶۳/۸ هکتار سطح زیر کشت در ایران، ۹/۱ درصد از کل سطح زیر کشت اختصاص یافته به محصولات باغی و ۱۶/۳ درصد از تولید این محصولات را شامل می‌شود. استان البرز با ۴۵۳۵ هکتار سطح زیرکشت، در رتبه یازدهم تولید سیب در کشور جای دارد (Ahmadi et al., 2017). تنوع ژنتیکی موجود در بین رقم‌های درخت سیب، امکان رشد و سازگاری آن را با شرایط اقلیمی مختلف ایجاد کرده است (Babalar et al., 2014). افزایش علاقه‌مندی‌ها به کشت سیب در مناطق معتدله که سطح وسیعی از ایران را شامل می‌شود، ایجاب می‌نماید که اثر شوری بر این درخت و به خصوص بر پایه‌های پاکوتاه کننده آن که در باغ‌های تجاری به طور متداول استفاده می‌شوند با دقت بیشتری مورد مطالعه قرار گیرد (Alizade et al., 2011). به عنوان گام نخست در مقابله با تنش‌ها، شناخت مکانیسم مقاومت به تنش در گیاه مورد نظر دارای اهمیت فراوانی است. در مورد مکانیسم مقاومت به شوری

درخت سیب منابع بسیار اندکی در دسترس می‌باشد که نشان می‌دهد تجمع یون سدیم در طی این تنش از مهمترین دلایل تحریک پاسخ در پایه MM₁₀₆ بوده‌است (Molassiotis et al., 2006). درخت سیب از گیاهان حساس به شوری است که مقاومترین رقم‌های آن تا ۰/۶ درصد NaCl خاک را تحمل می‌نمایند (۲/۵ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر) (Li et al., 2013). پایه‌های درخت سیب دارای آستانه تحمل متفاوتی نسبت به تنش شوری هستند. به عنوان مثال پایه‌ی Zumi به عنوان پایه‌ی نسبتاً مقاوم، در دامنه pH ۳ تا ۸ خاک رشد می‌نماید و می‌تواند تقریباً هدایت الکتریکی ۳ dS/m دسی‌زیمنس بر متر خاک را بدون آسیب تحمل نماید (Xu et al., 2008). تنش شوری از طریق مکانیسم اسمزی با افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک، باعث مختل شدن تعرق و فتوسنتز می‌گردد. همچنین مکانیسم سمیت یونی موجب تغییر فرایندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ناشی از سمیت، کمبود یا تغییر در تعادل عناصر معدنی می‌گردد (Naeini et al., 2006). کلرید سدیم محلول‌ترین و فراوان‌ترین نمک می‌باشد. گیاهان برای کاهش اثر تنشی این نمک مکانیسم‌های مختلفی را اتخاذ می‌نمایند (Munns, 2002). برخی از این مکانیسم‌ها همانند تجمع یون‌ها و ترکیبات متعادل کننده اسمز در داخل سیتوپلاسم، توزیع یکنواخت یون‌های سمی در داخل واکوئل سلول، قابلیت کاهش جذب و انتقال کلر و سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی و ... (Sanchez & Syvertsen, 2006). برخی از پایه‌های گیاهی از طریق مکانیسم‌های مختلفی همانند پتانسیل بالای جذب آب، تنظیم جذب عناصر معدنی و ... می‌توانند به مقاومت گیاه در مواجهه با این تنش کمک فراوانی نمایند (Rahneshan et al., 2018). در مطالعه پایه‌های مختلف بادام مشاهده شد که پایه‌های مقاومتر قدرت بالایی در حفظ رشد و سبزیگی برگ‌ها در تنش شوری داشتند (Oraei et al., 2008). در گیاه توت فرنگی تنش شوری میزان رشد بوته و سطح برگ‌ها را تحت تأثیر قرار داد که احتمالاً ناشی از کاهش محتوای آب در این گیاه حساس بوده‌است (Mazlomi et al., 2012).

سلامت و انسجام غشا از جمله مهمترین این مکانیسم‌ها می‌باشد (Nedjimi & Daoud, 2006; Blumwald *et al.*, 2000). کاربرد کلسیم با کاهش جذب سدیم و کمک به افزایش جذب پتاسیم و همچنین تحریک سنتز و تجمع پرولین موجب بهبود معنی‌داری در رشد شده و اثر نامطلوب شوری سدیمی در درختان میوه را کاهش می‌دهد (Chen *et al.*, 2005). در آزمایش انجام شده روی درختان زیتون تحت تنش شوری نیز مشاهده شده‌است که رقم‌های دارای نسبت بالاتر پتاسیم به سدیم در ریشه و برگ‌ها دارای مقاومت بیشتری به تنش شوری بودند (Rezaei *et al.*, 2007). توانایی در حفظ غلظت پتاسیم سیتوپلاسمی، یکی از راه‌های مقابله با تنش شوری می‌باشد و با این رقت سدیمی گیاه خواهد توانست با افزایش تعداد و حجم سلولی، به شادابی و رشد خود ادامه دهد (Meloni *et al.*, 2003). در مطالعه تنش شوری بر بوته‌های گوجه‌فرنگی، تغذیه کلسیم توانست نسبت پتاسیم به سدیم برگ‌ها را افزایش داده و گیاه پاسخ بهتری نسبت به گیاهان تغذیه نشده داشته باشد (Mokhtary *et al.*, 2009). در مقایسه انجام شده بین پایه‌های گلابی (پایه از نوع گلابی و به) نیز مشاهده شد که پایه گلابی (*Pyrus communis*) به سبب کارایی بالا در جذب پتاسیم و قابلیت حفظ غلظت پایین سدیم برگ‌ها توانست علائم تنش را محدود نموده و شرایط رشدی بهتری نسبت به درختان پیوند شده روی پایه به (*Cydonia oblonga*) فراهم سازد (Musacchi *et al.*, 2006).

در این تحقیق سعی شده است تا آستانه تحمل و پاسخ‌های مورفولوژیکی سه پایه رویشی درخت سیب بر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم و اثر تغذیه بر آن مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش سال اول

مواد گیاهی

برای اجرای این تحقیق از نهال‌های تقریباً دوساله پیوندی سیب که در بهمن ماه سال ۱۳۹۴ از نهالستان تجاری واقع در دماوند تهران تهیه شده بودند استفاده

در تحقیق انجام شده روی درخت گلابی، در شرایط تنش شوری شاخص‌های رشدی از جمله رشد طولی، قطر تنه، ضخامت برگ‌ها و گسترش ریشه‌ها کاهش یافت که علت این تغییرات را به غلظت بالای نمک‌های محلول و پتانسیل اسمزی محلول خاک نسبت داده‌اند (Serra, 2009). در درخت زیتون نیز با اعمال تنش شوری رشد طولی کاهش یافت و این کاهش رشد در بخش شاخساره بالاتر از ریشه بود، اما کاهش غلظت کاتیون‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم در بخش ریشه بالاتر از شاخساره بود (Rezaei *et al.*, 2007). یکی از اثرات مضر تنش شوری بر گیاهان، بر هم زدن تعادل عناصر غذایی مهمی از جمله پتاسیم، منیزیم و کلسیم می‌باشد، چرا که غلظت این عناصر در گیاه تحت تأثیر میزان سدیم و کلسیم خارج سلولی می‌باشد. یون‌های کلسیم و سدیم دارای اثر رقابتی بوده و تنظیم مناسب این دو عنصر بر غلظت سایر عناصر غذایی تأثیر بسزایی دارد (Renault, 2005). یکی از راه‌های مقدماتی جهت کاهش نسبت یون سدیم به کلسیم در خاک‌های سدیمی، استفاده از گچ یا سولفات کلسیم می‌باشد (Kaya *et al.*, 2002). این روش از حدود یک قرن پیش برای اصلاح خاک و اراضی شور استفاده می‌شده است (Khosla *et al.*, 1979). نقش تغذیه کلسیم در بهبود اثرات مخرب کلرید سدیم بر رشد گیاهان به خوبی اثبات شده است (Kaya *et al.*, 2002; Bouzid *et al.*, 2009). بسیاری از گیاهان حساس به شوری به میزان بالاتری کلسیم نیاز دارند تا بتوانند با ایجاد مقاومت، عملکرد خوبی در شرایط تنش شوری داشته باشند (Lopez & Sattia, 2006; Jiang & Duan, 1996). کلسیم با راه اندازی مسیر مقاومت به تنش شوری و برقراری هموستازی یونی سلول (تعادل یونی)، نقش بسیار تعیین کننده‌ای در مقاومت به تنش دارد به طوریکه مقدار ۵ تا ۱۰ میلی مولار کلسیم (بسته به شدت تنش شوری و ژنوتیپ گیاه) در محیط ریشه، برای کاهش اثرات تنشی کلرید سدیم ضروری می‌باشد (Hadi & Karimi, 2012). اثرات مثبت کلسیم در کنترل تنش شوری گیاهان، از طریق مکانیسم‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که حفظ عمل غشای سلولی با نگهداری

گردد. نهال‌های پیوندی شامل رقم رد دلشیز بر روی سه پایه مالینگ ۹ (M9)، مالینگ مرتون ۱۱۱ (MM₁₁₁) و مالینگ مرتون ۱۰۶ (MM₁₀₆) بود که در شرایط کاملاً یکنواخت نهالستان رشد کرده، در ابتدای بهار پیوند شده و در پاییز سربرداری شده بودند. نهال‌ها در طی بهمن ماه در گلدان‌های ۱۲ لیتری حاوی ۲/۳ پرلیت و ۱/۳ خاک باغچه کاشته شدند و در فضای باز محوطه دانشکده کشاورزی کرج که در طی فصل رشد (فروردین تا شهریور ۹۴) دارای میانگین سرعت باد ۱/۲ متر بر ثانیه، متوسط بارش ۱۴/۸ میلی‌متر و متوسط دمای بیشینه و کمینه ۳۴/۵ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد بود، نگهداری شدند (IRIMO, 2015).

اقدامات تنش شوری به همراه تغذیه کلسیم، پتاسیم و منیزیم از اواسط فروردین ماه، نهال‌های کاشته شده با محلول غذایی شاهد (محلول A) (Zolfaghari et al., 2009) تغذیه گردیدند. برای اعمال تنش از تاریخ پنجم اردیبهشت ماه، چهار محلول غذایی مختلف در کنار محلول شاهد (جدول ۲) برای تغذیه نهال‌ها استفاده شد. بدین منظور در هر هفته ۳ لیتر از محلول‌های غذایی تهیه شده (محلول‌های A تا E) در دو نوبت به عنوان اعمال تنش و در کنار آن یک نوبت آبیاری به عنوان آبیاری خاک انجام شد و در طی دوره اعمال تنش (تغذیه با محلول‌های غذایی)، از وارد شدن تنش خشکی بر نهال‌ها اجتناب شد (Kazemi

2011). تفاوت این محلول‌ها در محتوای نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم، سولفات منیزیم و کلرید سدیم بود (جدول ۲). بدین طریق با تغذیه نهال‌های تحت آزمایش با محلول‌های غذایی تهیه شده (A تا E) تا اواسط شهریور ماه، تنش‌ها و تیمارهای موردنظر (دو تا ۱۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در کنار تغذیه معدنی) اعمال گردید.

طرح آزمایش

آزمایش سال اول به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد که در آن از پنج سطح تغذیه معدنی، یک رقم سیب (رد دلشیز) بر روی سه پایه پاکوتاه کننده M₉، MM₁₀₆ و MM₁₁₁ و سه زمان اندازه‌گیری در سه تکرار و سه واحد آزمایشی استفاده شد. در مجموع برای هر یک از پنج سطح تغذیه معدنی از ۲۷ نهال و در مجموع از ۱۳۵ نهال استفاده شد. از اواخر خرداد ماه علائم تنش در برخی از نهال‌ها به شکل خشکیدگی (Necrosis) و رنگ‌پریدگی (Chlorosis) برگ‌ها مشاهده شد و از همین تاریخ اندازه‌گیری‌های مرتبط انجام شد. نیمه اول مرداد و اواسط شهریورماه با تشدید علائم ظاهری تنش، اندازه‌گیری‌ها مجدداً تکرار شد. تنش‌های اعمال شده از اواسط شهریورماه قطع شده و نهال‌ها تغذیه شاهد (محلول A) را تا اواسط مهرماه دریافت نمودند. صفات زیر در این تحقیق در طی آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱. خصوصیات آب استفاده شده جهت آبیاری و تهیه محلول‌های غذایی

Table 1. Water characteristics used for irrigation and nutritional solutions preparation

pH	EC (dS/m)	Na ⁺ (meq/l)	SAR	Cl ⁻ (meq/l)	CO ₃ ²⁻ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁻ (meq/l)	T.D.S (mg/l)
7.1	1.01	2.6	2.3	4.4	0	2	10.3	220

جدول ۲. عناصر غذایی پر مصرف به ازای هر میلی‌گرم در لیتر در هر دو سال آزمایش

Table 2. Miligram macro nutrients per liter in both year of experiment

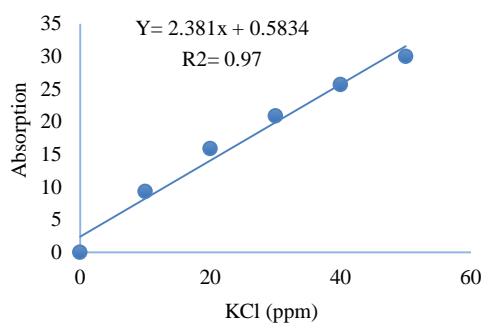
Nutritional solution (mg/L)	KNO ₃	Ca (NO ₃) ₂	NH ₄ (NO ₃)	KH ₂ PO ₄	K ₂ H PO ₄	Mg (SO ₄). 7 H ₂ O	NaCl
Control (A)	101	123	16	40.8	17.4	30.75	5.85
B	202	246	16	109	52.2	108.4	117
C	404	410	16	109	52.2	307.5	234
D	505	574	16	109	52.2	430.5	351
E	505	574	16	109	52.2	430.5	585
F	505	574	16	109	52.2	430.5	877.5

جدول ۳. عناصر غذایی کم مصرف به ازای هر میلی‌گرم در لیتر در هر دو سال آزمایش

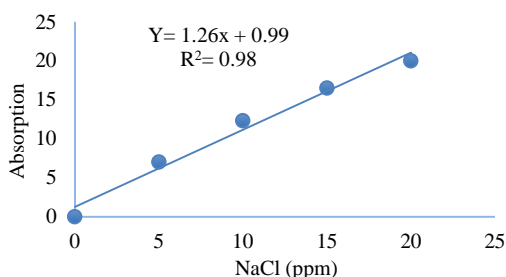
Table 3. Miligram micro nutrients per liter in both year of experiment

Micro Nutrients (mg/L)	MO ₇ O ₂₄ (NH ₄) ₆	H ₃ BO ₃	Mn (SO ₄). 4 H ₂ O	Cu (SO ₄). 5 H ₂ O	Zn (SO ₄). 7 H ₂ O	Sequesteren Fe (138)
Common in six nutritional solutions	0.05	1.5	2	0.25	1	10

ساخت ایران)، میزان سدیم و پتاسیم محلول‌های اسیدی رقیق شده با استفاده از نمودار استاندارد هر یک از عناصر به دست آمد و درصد هر یک در برگ محاسبه شد (Etehadpur, 2015). جهت رسم نمودار استاندارد سدیم و پتاسیم، از محلول‌های استوک کلریدسدیم و کلریدپتاسیم استفاده شد و بر حسب میزان جذب دستگاه، نمودار مربوطه در هر دوره از اندازه‌گیری رسم گردید.



شکل ۱. منحنی استاندارد کلریدپتاسیم
Figure 1. Standard curve for KCl



شکل ۲. منحنی استاندارد کلریدسدیم
Figure 2. Standard curve for NaCl

اندازه‌گیری مقدار کلر در بافت گیاهی، پس از استخراج عصاره با اسید فسفریک، توسط نیترات نقره ۰/۰۱ نرمال به روش عیارسنجی در مجاورت معرف دی کرومات پتاسیم پنج درصد انجام شد (Sadasivam & Manickm, 2008). برای اندازه‌گیری کلسیم برگ‌ها از روش عیارسنجی EDTA (Titration) استفاده شد. (Ethylen ediamine tetra acetic acid) استفاده شد. اساس این روش تشکیل رنگ آبی تیره ناشی از اتمام واکنش مجموع کلسیم با محلول نمک EDTA- 2Na (pH= ۱۰) در حضور شناساگر آمونیوم پورپورات (Ammonium purpurate) می‌باشد (Hunt, 1963).

شاخص‌های رویشی

شاخص‌های رویشی در هر سه دوره اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان تغییرات برخی شاخص‌ها در طی دوره تنش، از تفاضل مقدار اندازه‌گیری شده در دو دوره متوالی استفاده شد.

برای اندازه‌گیری میزان رشد طولی از متر استفاده شد که از محل پیوند تا انتهای شاخه‌های سال جاری در تاریخ‌های مذکور اندازه‌گیری گردید (Oraei *et al.*, 2008). برای محاسبه تعداد برگ، تعداد برگ‌ها در هر نهال شمارش گردید (Momenpour *et al.*, 2015). برای محاسبه درصد برگ‌های خشکیده، تعداد برگ‌های خشکیده شده (برگ‌های دارای بیش از پنج درصد سطح خشکیدگی) در هر نهال شمارش شده و نسبت به کل برگ‌های نهال درصد آن به دست آمد (Momenpour *et al.*, 2015). برای محاسبه سطح برگ‌ها، از آخرین برگ‌های توسعه یافته جوان تمامی تیمارهای آزمایشی (واقع بر روی گره‌های میانی) نمونه‌گیری انجام و با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل دلتا تی (Delta T) ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد (Asadollahi & Mozafari, 2010). برای اندازه‌گیری تغییرات قطری محل بالای پیوند از کولیس دیجیتالی (مدل هاردن (Hardene) MET821 ساخت چین) استفاده شد که در هر دوره از اندازه‌گیری، از نقطه یکسانی در بالای محل پیوند اندازه‌گیری شد (Oraei *et al.*, 2008).

عناصر معدنی

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و کلر برگ، در هر دوره، از قسمت‌های مختلف درخت، برگ‌های کامل با موقعیت یکسان (گره‌های میانی شاخه‌های سال جاری) به تعداد ۲۰ عدد چیده شد (Oraei *et al.*, 2008). سپس برگ‌ها به آزمایشگاه منتقل شده، با آب مقطر شستشو شده و در معرض هوای معمولی خشک گردیدند. نیم گرم از برگ‌های خشک در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (مدل شیمکس (Shimax) ساخت ایتالیا) قرار داده شد و پس از تهیه خاکستر، با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال از آن‌ها محلول اسیدی تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (Flame photometer) (مدل ۶۲۰G

آزمایش سال دوم

مواد گیاهی

در آزمایش سال دوم، محلول‌های غذایی مشابه سال قبل تهیه شد و جهت اعمال تیمارها، نهال‌های مذکور (نهال‌های استفاده شده در آزمایش سال قبل) همانند سال گذشته تغذیه شدند. تنها تفاوت این آزمایش با سال گذشته اضافه کردن یک سطح (F) به پنج محلول غذایی ارائه شده در سال قبل بود. بدین جهت نهال‌های جدیدی که هم‌سن نهال‌های مورد استفاده بود و شرایط رشد و آبیاری یکسانی داشتند به عنوان سطح ششم تغذیه (F) به نهال‌های قبل اضافه شدند. با اضافه شدن یک سطح تغذیه به پنج سطح سال قبل، طرح آزمایش مشابه سال قبل تکرار گردید.

اعمال تنش شوری به همراه تغذیه کلسیم، پتاسیم و منیزیم در سال دوم آزمایش (۱۳۹۵) شرایط اعمال تنش مشابه سال قبل بود، به طوریکه از اواسط فروردین ماه، تغذیه با محلول شاهد (محلول A) و از اواسط اردیبهشت تغذیه پنج محلول‌های غذایی دیگر نیز (محلول‌های غذایی A تا F) انجام شد. در طی این آزمایش، نهال‌ها با شش نوع محلول غذایی تغذیه گردیدند که پنج محلول اول آن مشابه سال قبل بود (محلول‌های حاوی دو تا ۱۵ میلی‌مولار کلرید سدیم در کنار تغذیه معدنی) (جدول ۲). در طی این دوره، به دلیل مشاهده سرعت بالا در تشدید علائم تنش نسبت به سال قبل، شاخص‌ها تنها در دو زمان اندازه‌گیری شدند. اولین اندازه‌گیری‌ها در تاریخ دهم تیر ماه با بروز اولین علائم خشکیدگی و رنگ پریدگی برگ‌ها انجام گردید و دومین دوره اندازه‌گیری‌ها در طی اوایل تا اواخر مرداد ماه در نهال‌هایی که به ۸۰ درصد خشکیدگی برگ رسیده بودند انجام شد. پس از ثبت و نمونه‌گیری از نهال‌های با ۸۰ درصد تنش، آن‌ها جهت بازیابی، رفع تنش شده و پس از آبشویی کامل محیط ریشه، تنها محلول غذایی شاهد را دریافت نمودند. مقدار عناصر موجود در محلول غذایی F در جدول ۲ آرایه شده است و عناصر کم مصرف در این دوره مشابه مقادیر آرایه شده در سال قبل می‌باشد (جدول ۳).

طرح آزمایشی

آزمایش سال دوم نیز همانند سال قبل به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد که در آن از شش سطح تغذیه معدنی، سه پایه پاکوتاه کننده سیب (پایه‌های M_9 ، MM_{106} و MM_{111} با پیوندک یکسان ردلیشز) و سه زمان اندازه‌گیری شاخص‌ها در سه تکرار و سه واحد آزمایشی استفاده شد.

محاسبات آماری

داده‌ها پس از جمع‌آوری، توسط نرم‌افزار SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, version 19) نرمال شده و با استفاده از نرم‌افزار SAS (Statistical Analysis System, version 9-4) تجزیه و تحلیل شدند. جهت مطالعه اثر متقابل تیمارها از نرم‌افزار MSTATC (Michigan State University, USA) استفاده شد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون دانکن (Duncan) در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel) استفاده شد. برای بررسی میزان همبستگی متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) موجود در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش سال اول

درصد برگ‌های خشکیده شده و رشد شاخه اثر پایه و محلول‌های غذایی بر درصد برگ‌های خشکیده شده درخت سیب رقم ردلیشز در هر سه دوره‌ی اندازه‌گیری معنی‌دار بود (سطح احتمال یک درصد). همچنین در طی دوره دوم اندازه‌گیری (اوایل مرداد ماه) بالاترین درصد برگ‌های خشکیده شده ثبت گردید. در طی هر سه دوره‌ی اندازه‌گیری (نیمه سوم خرداد، اوایل مرداد و اواسط شهریور ماه) محلول غذایی A و B کمترین خشکیدگی را در برگ‌ها ایجاد کردند (جدول ۴). نهال‌های با پایه MM_{111} در هر سه دوره بیشترین خشکیدگی برگ را نسبت به دو پایه دیگر نشان دادند که این خشکیدگی به شکل سوختگی نوک و حاشیه برگ‌ها مشخص بود. در طی مردادماه پس از علائم خشکیدگی شدید در نهال‌های

بود و کمترین رشد نیز مربوط به پایه MM₁₁₁ بود. نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های غذایی A و B در طی دوره تنش بالاترین رشد رویشی را داشتند و پایین‌ترین رشد نیز مربوط به محلول‌های C و E بود. در بررسی اثرات متقابل تیمارها، مشاهده شد که رشد رویشی در طی خرداد تا مرداد ماه در محلول‌های غذایی C، D و E به طور معنی‌داری در هر سه پایه کاهش یافت (جدول ۴). در پایه‌های MM₁₁₁ و MM₁₀₆ محلول‌های غذایی C و E کاهش رشد بیشتری نسبت به محلول D داشتند.

تغییرات قطری محل بالای پیوند، سطح برگ و ریزش برگ

تغییرات قطر محل بالای پیوند به طور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر زمان اندازه‌گیری، نوع پایه و محلول‌های غذایی قرار گرفت. پایه M₉ به طور معنی‌داری در طی دوره تنش رشد قطری کمتری از دو پایه دیگر داشت. محلول‌های غذایی D و E منجر به رشد قطری بالاتری نسبت به محلول‌های غذایی دیگر گردیدند. این شاخص در طی خرداد تا مرداد ماه واکنش متفاوتی با دوره‌ی مرداد تا شهریور ماه داشت (جدول ۵). در طی خرداد تا مرداد ماه، رشد قطری در دو پایه MM₁₁₁ و MM₁₀₆ بالاتر از پایه M₉ بود و با افزایش سطح محلول‌های غذایی، رشد قطر نیز افزایش یافت.

تغذیه شده با محلول غذایی E در پایه MM₁₁₁ محلول غذایی C در هر سه پایه (بین ۳۰ تا ۸۰ درصد) و در طی شهریور ماه نیز محلول غذایی C در پایه MM₁₀₆ علائم خشکیدگی شدید (بالای ۲۵ درصد) را نشان دادند. در مطالعه اثر شوری بر بادام، شوری منجر به افزایش درصد برگ‌های خشکیده شده رقم‌های مامایی و نان پاریل روی پایه GF₆₇₇ گردید (Momenpur *et al.*, 2015). مهم‌ترین اثر افزایش شوری در محیط ریشه، افزایش غلظت سدیم در داخل گیاه است. تجمع سدیم در واکوئل یک ابزار موثر برای رفع اثر سمی آن در سیتوسول می‌باشد. یکی از علائم تجمع سدیم در برگ‌ها، زرد شدن و از بین رفتن آن‌ها می‌باشد (Sotiropoulos *et al.*, 2006). یون‌های سدیم و کلر معمولاً شایع‌ترین یون‌های موجود در خاک و آب‌های شور هستند و می‌توانند اثرات مخربی بر گیاهان داشته باشند زیرا با افزایش فشار اسمزی محلول خاک، ایجاد سمیت یونی در گیاه و برهم زدن تعادل یون‌های مورد نیاز گیاه مانند پتاسیم، در نهایت منجر به صورت سوختگی حاشیه برگ‌ها می‌شوند (Schachtman & Munns, 2002).

اثر زمان اندازه‌گیری و محلول‌های غذایی بر میزان رشد شاخه در سطح یک درصد و تیمار پایه‌ها بر این شاخص در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. پایه M₉ رشد رویشی بالاتری را در طی دوره تنش موجب گردیده

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر درصد برگ‌های خشکیده شده و میزان رشد رویشی سیب رقم ردلیشز
Table 4. Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on the percentage of necrotized leaves and vegetative growth of Red delicious apple.

Nutritional solution	Rootstock	% Necrotized leaves			Vegetative growth (cm)	
		Middle june	Late july	Early september	Middle june to late july	Late july to early september
A (control)	M9	0.66 c	1.11 d	2.88 e	14.6 a	9 a
	MM111	1.88 c	20 d	22.5 b-d	13.3 ab	6.11 ab
	MM106	0.88 c	0.55 d	1.44 e	14.4 a	5.11 ab
B	M9	0 c	10.7 d	1.22 e	12 a-c	5.88 ab
	MM111	2.11 c	35 b-d	15 c-e	9.55 a-d	8.16 ab
	MM106	0 c	11.4 d	11.6 c-e	12.4 ab	6.11 ab
C	M9	1 c	34.8 b-d	3.11 e	8 b-e	3.66 ab
	MM111	6.77 b	82.2 a	16.1 c-e	3.33 ef	4.44 ab
	MM106	1.11 c	57.8 ab	24.4 bc	2.44 ef	5.66 ab
D	M9	0.11 c	10.8 d	1.66 e	6.55 c-f	6 ab
	MM111	7.66 b	57.2 a-c	30.5 ab	6.33 c-f	3.88 ab
	MM106	0.88 c	6.11 d	10 c-e	6.23 d-f	5.77 ab
E	M9	0.11 c	19.3 cd	12.2 c-e	7.77 b-e	3.33 b
	MM111	11.4 a	87.3 a	43.8 a	1.77 f	3.66 ab
	MM106	0.77c	22.8cd	21.1b-d	4.66d-f	4ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

بالاترین ریزش برگ را ایجاد نمودند. نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های غذایی D و شاهد نیز کمترین میزان ریزش برگ را داشتند. در بررسی اثر متقابل این دو تیمار نیز مشاهده شد که پایه MM₁₁₁ در طی خرداد تا مرداد ماه بیشترین برگ از دست داده را در نتیجه تغذیه با پنج محلول غذایی مختلف داشت (جدول ۵). دو پایه دیگر نیز با افزایش سطح شوری، افزایش بیشتری در ریزش برگ‌ها نشان دادند، اما به طور کلی در نهال‌های تغذیه شده با محلول غذایی D ریزش برگ کمتری نسبت به محلول‌های C و E مشاهده شد. چنانچه اشاره شد محلول غذایی D که دارای نسبت کلسیم به کلرید سدیم بالاتری از محلول E بود (نسبت کلسیم به سدیم در محلول D ۱/۶۳ و در محلول E ۰/۹۸) ریزش برگ کمتری را در درختان موجب گردید. با افزایش سطح شوری تعداد برگ کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش تقسیم سلولی، تمایز، تولید برگ و همچنین ریزش برگ‌های آسیب دیده می‌باشد (Sayed et al., 2007). نتایج مشابهی نیز در بررسی اثرات تنش شوری بر درخت پسته مشاهده شده است که ریزش بالای برگ را ناشی از غلظت بالای عنصر سدیم و کلر برگ دانسته و این فرایند را نوعی مکانیسم مقاومت به تنش محسوب نموده‌اند (Asadollahi & Mozafari, 2012; Mozafari, 2005). گفته می‌شود که کلسیم با نقشی که در القای رشد و تقسیم سلولی دارد در شرایط تنش می‌تواند مانع از کاهش رشد شاخه و تعداد برگ گردد (Tabatabaee, 2010). همچنین نشان داده شده‌است که تیمار کلسیم کافی در شرایط تنش شوری با برقراری شرایط لازم برای تداوم جذب آب از ریشه، به حفظ رشد و جلوگیری از ریزش برگ کمک می‌نماید (Hadi & Karimi., 2012).

میزان پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ یکی از اثرات منفی تنش شوری بر گیاهان، برهم زدن جذب عناصر غذایی همانند پتاسیم می‌باشد. به طور معمول گیاهان تحت تنش شوری مقدار بالاتری از یون سدیم را به جای پتاسیم و کلسیم جذب می‌نمایند و گیاه به شدت با کمبود پتاسیم مواجه می‌گردد (Hadi & Karimi, 2012).

در طی مرداد تا شهریور ماه، محلول‌های D و E کمترین رشد قطری را موجب گردیدند. محلول غذایی B و شاهد بالاترین رشد قطر را در این دوره ایجاد نمودند و بر خلاف دوره‌ی قبل (خرداد تا مردادماه) پایه M₉ در هر پنج محلول غذایی رشد قطری بالاتری از دو پایه دیگر داشت. این امر نشان می‌دهد که گرچه پایه‌های MM₁₁₁ و M₁₀₆ در دوره اول تنش رشد قطری مناسبی داشته و با افزایش سطوح محلول‌های غذایی رشد قطری پیوندک را افزایش دادند، اما با ادامه تنش شوری میزان رشد در این پایه‌ها کاهش یافت و تنها پایه M₉ توانست رشد خود را حفظ نماید. اثر زمان اندازه‌گیری و تیمار پایه‌ها بر تغییرات سطح برگ در طی دوره آزمایش معنی‌دار نبود (جدول ۵). اثر محلول‌های غذایی بر این شاخص در سطح یک درصد معنی‌دار بود و محلول‌های غذایی A و E در طی دوره تنش به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین سطح برگ را موجب گردیدند. در تحقیق صورت گرفته مشابه نیز رشد قطری تنه (محل بالای پیوند)، ارتفاع شاخه و تعداد برگ‌های بادام با افزایش شوری کاهش یافت (Oraei et al., 2008). در اثر افزایش نمک، تغییراتی که در گیاه رخ می‌دهد موجب کاهش جذب یون‌ها و یا عدم توانایی گیاه در انتقال و توزیع آن‌ها در سلول‌ها می‌گردد که با کاهش رشد همراه است. همچنین گفته می‌شود که پتانسیل شیمیایی محیط شور موجب عدم تعادل پتانسیل آب در فضای بین سلولی و درون سلولی گردیده که در نتیجه آن پتانسیل فشار سلولی کاهش یافته و این پدیده موجب کاهش رشد قطری می‌گردد (Erturk et al., 2007). در تحقیق انجام شده در درخت پسته نشان داده شد که تیمار شوری منجر به کاهش معنی‌دار در رشد شاخه‌ها، تعداد برگ و رشد قطری محل بالای پیوند گردید، اما تیمار کلسیم بکار برده شده (۴۰ کیلوگرم سولفات کلسیم به ازای هر درخت ۱۵ ساله) توانست تنش شوری را کاهش داده و رشد رویشی عادی درختان را حفظ نماید (Mozafari, 2005).

اثر زمان اندازه‌گیری، نوع پایه و محلول‌های غذایی به طور جداگانه در سطح احتمال یک درصد بر شاخص میزان ریزش برگ معنی‌دار بود. به طوریکه در طی دوره تنش پایه MM₁₁₁ و محلول غذایی E

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر تغییرات رشد قطری تنه (بالای محل پیوند) و تعداد ریزش برگ سیب رقم رددلیشز.

Table 5. Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on trunk diameter growth changes (top part of the graft site) and leaf loss of Red delicious apple.

Nutritional solutions	Rootstock	Trunk diameter growth (mm)		Leaf loss	
		Middle june to late july	Late july to early september	Middle june to late july	Late july to early september
A (control)	M9	0.35 c	5.85 c	7.22 ef	20.55 e
	MM111	0.43 c	5.82 c	15.6 c-f	27.22 de
	MM106	0.43 c	5.43 c	10.6 d-f	30.55 cd
B	M9	1.15 c	10.34 a	24.4 a-d	39.44 ab
	MM111	4.4 b	7.57 b	30 a-c	37.22 a-c
	MM106	4.84 b	5.4 c	15 c-f	40.55 a
C	M9	4.46 b	5.92 c	33.3 ab	25 de
	MM111	10.53 a	1.1 d	33.4 ab	31.11 b-d
	MM106	12.12 a	0.82 d	14.4 c-f	30.55 cd
D	M9	10.35 a	1.26 d	6.11 f	32 b-d
	MM111	11.1 a	0.71 d	23.9 a-e	31.66 b-d
	MM106	10.5 a	0.81 d	21.7 a-f	33.33 a-d
E	M9	11.37 a	0.63 d	23.2 a-e	33.3 a-d
	MM111	10.57 a	0.48 d	37.8 a	41.11 a
	MM106	11.68 a	0.91 d	19.4 b-f	38.88 a-c

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند. Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

اندازه‌گیری شده در طی اواخر خردادماه (دوره اول اندازه‌گیری) بالاترین و نمونه‌های اوایل مرداد ماه (دوره دوم اندازه‌گیری) کمترین درصد سدیم برگ را داشتند. در بررسی اثر متقابل تیمارها نیز مشاهده شد که اثر پایه در طی خرداد و شهریور ماه بر درصد سدیم برگ‌ها معنی‌دار نبود اما در طی مرداد ماه پایه M₉ به طور معنی‌داری سدیم برگ بالاتری از دو پایه دیگر داشت. در طی خرداد ماه هر سه پایه با افزایش غلظت محلول‌های غذایی، درصد سدیم برگ خود را افزایش دادند و محلول غذایی E بالاترین سدیم برگ را ایجاد نمود (جدول ۶). چنانچه از نتایج مقدار سدیم و پتاسیم برگ مشاهده می‌شود محلول E با القای جذب سدیم بالا مانع از جذب پتاسیم شده و در هر سه دوره، میزان پتاسیم برگ کمتر و غلظت کمبود بیشتری را نشان داده است. طبق نتایج جدول ۶ محلول غذایی D با داشتن مقدار کلسیم بالاتر (نسبت کلسیم به سدیم در محلول D ۱/۶۳ و در محلول E ۰/۹۸) توانست نسبت به محلول‌های غذایی C و E به میزان مناسبی از پتاسیم و سدیم دست یابد و چنانچه در جدول ۴ دیده شد این سطح محلول غذایی (D) شرایط رشدی بهتری نیز داشت. انباشت سدیم در برگ برخی از درختان میوه همانند گلابی و بادام در شرایط تنش شوری در تحقیقات مختلف نشان داده

کلسیم به طور مستقیم و غیر مستقیم با خنثی کردن این عمل منجر به برقراری مجدد هموستازی سلولی می‌گردد (Renault et al., 2005). مطابق با نتایج آزمون تجزیه واریانس، اثر زمان اندازه‌گیری و محلول‌های غذایی در سطح یک درصد بر این شاخص معنی‌دار بودند، به طوریکه در اولین زمان اندازه‌گیری (اواخر خرداد ماه) بالاترین میزان پتاسیم برگ‌ها نسبت به دو دوره‌ی بعد به دست آمد. در میان محلول‌های غذایی بکار برده شده نیز، نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های A و E پایین‌ترین میزان پتاسیم برگ را داشتند. محلول غذایی C بالاترین میزان پتاسیم برگ را ایجاد نمود. اثر تیمار پایه‌های به کار برده شده بر این شاخص در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، به طوریکه پایه MM₁₀₆ و M₉ به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین درصد پتاسیم برگ را ایجاد نمودند (جدول ۶). تأثیر تنش شوری (۲۰ میلی مولار کلرید سدیم) در چند پایه گلابی بر مقدار پتاسیم برگ‌ها معنی‌دار نبود و تنها در پایه Quince C این تنش منجر به کاهش میزان پتاسیم برگ گردید (Serra, 2009).

اثر تیمار محلول‌های غذایی بر درصد سدیم برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر زمان اندازه‌گیری نیز بر این شاخص معنی‌دار بود و نمونه‌های

شده است (Oraei *et al.*, 2008; Serra, 2009). در بررسی اثر متقابل تیمارها نیز نسبت تحقیق انجام شده روی برخی از گیاهان دارویی و پایه سیب MM₁₀₆، تیمار کلسیم توانست مقدار سدیم بافت را کاهش داده و میزان پتاسیم را بهبود بخشد (Mirzaee *et al.*, 2012; Molassiotis *et al.*, 2006). تیمار محلول‌های غذایی استفاده شده در سطح یک درصد بر نسبت پتاسیم به سدیم برگ معنی‌دار بود و نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های B و D بالاترین نسبت را داشتند. نمونه برگ‌های گرفته شده در دوره اول (اواخر خرداد ماه) دارای نسبت بالایی بودند و کمترین نسبت در نمونه‌های گرفته شده طی اواسط شهریورماه (دوره سوم اندازه‌گیری) مشاهده شد. در مقالات زیادی به اهمیت نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط تنش شوری اشاره شده است و آن را حتی مهم‌تر از محتوای سدیمی گیاه دانسته‌اند (Chinnusamy, 2005; Parida & Das, 2005). شرایط بدون تنش این نسبت (پتاسیم به سدیم) در سیتوپلاست سلولی برگ گیاهان حدود ۱۰۰ می‌باشد که تحت تنش شوری با تجمع سدیم تا چندین برابر کاهش می‌یابد و به نوعی در تعیین حساسیت یا مقاومت رقم‌ها به تنش شوری نیز کاربرد دارد (Chen

2005). در بررسی اثر متقابل تیمارها نیز نسبت پتاسیم به سدیم برگ‌ها در طی خرداد و مرداد ماه در سطح یک درصد تحت تأثیر نوع محلول‌های غذایی قرار گرفت. محلول‌های غذایی B و D در این دو دوره بالاترین نسبت را ایجاد نمودند (جدول ۶). نسبت پتاسیم به سدیم برگ‌های گلایی در رقم‌های Farold 40، Quince C و Abbe fetel در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به مقدار زیادی کاهش یافت (نسبت ۲ در برابر ۱۰۰) (Serra, 2009). در تحقیق مشابه انجام شده روی گیاه دارویی با افزایش سطوح شوری، نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌ها کاهش یافت (Mirzaee *et al.*, 2012). گفته می‌شود گیاهانی که بتوانند نسبت پتاسیم به سدیم خود را در شرایط تنش حفظ نمایند علایم آسیب کمتری را در خود نمایان می‌سازند و متحمل‌تر هستند (Tuna *et al.*, 2007). به طوریکه گیاهانی که دارای مکانیسم فعال در خروج یا عدم جذب سدیم هستند جزو گیاهان متحمل به شوری شناخته می‌شوند، همانند درخت پسته که تا حد بالایی قدرت تحمل شوری را دارد (Asadollahi & Mozafari, 2012).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر درصد عناصر پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ‌های سیب رقم رد دلپیش.

Table 6 Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on leaf sodium, potassium percent and potassium to sodium ratio of Red delicious apple.

Nutritional solution	Rootstock	% Sodium			% Potassium			Potassium to sodium ratio		
		Middle june	Late july	Early september	Middle june	Late july	Early september	Middle june	Late july	Early september
A (control)	M9	0.11 c	0.15 a-c	0.17 a-c	0.8 d	0.9 b-d	0.57cd	4.4 e	5.7 c-e	3.6 d-f
	MM111	0.12 c	0.12 a-d	0.16 a-c	1.0 cd	0.6 c-e	0.54 cd	8.7 b-e	8.2 a-d	3.4 ef
	MM106	0.11 c	0.12 a-d	0.15 a-c	1.0 cd	0.5 de	0.35 d	9.5 a-e	4.6 de	2.9 f
B	M9	0.08 c	0.13 a-d	0.17 a-c	1.4 ab	1.3 a	0.99 b	16.1 a	10.9 a	5.6 b-e
	MM111	0.08 c	0.12 a-d	0.11 bc	1.1 b-d	1.1 ab	0.76 b-d	14.7 ab	9.2 a-c	5.6 b-e
	MM106	0.1 c	0.1 b-d	0.07 c	1.4 ab	0.8 b-d	0.55cd	13.4 a-c	10.3 ab	5.5 b-e
C	M9	0.19 a-c	0.17 a	0.11bc	1.2 a-c	1.1 ab	1.19 a	8.9 b-e	7.0 b-e	7.5 ab
	MM111	0.2 a-c	0.13 a-d	0.16 a-c	1.2 a-c	0.6 a	0.8 bc	7.4 c-e	4.5 de	8.6 a
	MM106	0.17 a-c	0.13 a-d	0.17 a-c	1.1 a-c	1 ab	0.88 bc	8.5 b-e	8.4 a-c	4.8 c-f
D	M9	0.14 bc	0.13 a-d	0.16 a-c	1.4 a	1 a-c	0.9 bc	8.3 b-e	8.3 a-d	3.8 d-f
	MM111	0.13 bc	0.16 ab	0.14 bc	1.4 ab	1 a-c	0.92 bc	10.5 a-e	5.9 c-e	5.6 b-e
	MM106	0.09 c	0.08 d	0.11 bc	1.4 ab	0.9 b-d	0.93 bc	12.2 a-d	9.9 ab	6.3 bc
E	M9	0.27 a	0.12 a-d	0.25 a	1.3 ab	0.9 b-d	0.95 bc	8.0 b-e	6.6 b-e	4.4 c-f
	MM111	0.26 a	0.09 d	0.17 a-c	1.0 cd	0.4 e	0.99 bc	4.4 e	4.1 e	5.8 b-d
	MM106	0.25 ab	0.09 cd	0.19 ab	1.2 a-c	0.8 b-d	0.78 b-d	5.4 de	8.6 ab	4.0 d-f

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

مقدار کلر بیشتری از رقم MM106 بود. نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های غذایی شاهد و D مقدار کلر برگ کمتری در طی دوره تنش داشته و محلول غذایی E بالاترین درصد کلر برگ را ایجاد نمود (جدول ۷). در طی مرداد ماه (همانند خرداد ماه) نهال‌های روی پایه MM111 بالاترین درصد کلر برگ را داشتند. چنانچه از نتایج مشهود است در طی اواخر خرداد ماه با افزایش سطوح شوری، پایه MM111 نتوانسته کنترلی بر جذب کلر داشته باشد و شیب جذب همواره صعودی بوده است. در حالیکه در دو پایه دیگر، نهال‌های تغذیه شده با محلول‌های غذایی A، B، C و D توانستند وضعیت بهتری داشته باشند (مقدار کلر پایین‌تر). در رقم‌های مختلف گلابی که تحت تنش شوری قرار گرفته بودند، کلر در سطح بالایی در برگ و شاخه‌ها تجمع یافت و نسبت به نهال شاهد، تقریباً به هفت برابر در ریشه و ۶۰ برابر در برگ رسید (Serra, 2009). درختان متحمل به تنش شوری همانند برخی از رقم‌های مرکبات و زیتون نسبت به درختان دانه‌دار همانند سیب در سطوح یکسان شوری، جذب کلر پایین‌تری داشته و علائیم (خشکیدگی برگ) کمتری را نیز بروز می‌دهند (Levy & Syvertsen, 2004). در تحقیق مشابه انجام شده توسط وست نیز (West, 1987) با افزایش سطوح شوری درصد یون‌های سدیم و کلر برگ افزایش یافت، اما تغییرات کلسیم و پتاسیم معنی‌دار نبود.

اثر مجزای تیمارهای زمان اندازه‌گیری، محلول غذایی و پایه استفاده شده در سطح یک درصد بر نسبت کلسیم به سدیم برگ معنی‌دار بود. نسبت کلسیم به سدیم برگ‌ها با گذشت دوره تنش (خرداد تا شهریورماه) در برگ‌ها افزایش یافته بود. پایه MM106 بالاترین نسبت کلسیم به سدیم را در برگ‌ها ایجاد کرده بود و برگ نهال‌های روی پایه M9 پایین‌ترین نسبت را داشتند. در میان محلول‌های غذایی تیمار شده نیز، محلول غذایی D به طور معنی‌داری نسبت کلسیم به سدیم برگ بیشتری در مقایسه با چهار محلول‌های غذایی دیگر ایجاد کرده بود (جدول ۷).

میزان کلسیم، کلر و نسبت کلسیم به سدیم برگ اثر مجزای تیمارهای زمان اندازه‌گیری، محلول غذایی و پایه استفاده شده در سطح یک درصد بر کلسیم برگ معنی‌دار بود. در هر سه دوره اندازه‌گیری، پایه MM106 بالاترین و پایه M9 پایین‌ترین درصد کلسیم برگ را نشان دادند (جدول ۷). محلول‌های غذایی E و D بالاترین مقدار کلسیم برگ را ایجاد کرده و پایین‌ترین درصد مربوط به نهال‌های تغذیه شده با محلول غذایی A بود. نمونه برگ‌های گرفته شده در طی دوره دوم (اوایل مرداد ماه) بالاترین و نمونه‌های گرفته شده در طی دوره سوم (اواسط شهریور) کمترین مقدار کلسیم برگ را داشتند. در بررسی اثر متقابل تیمارها نیز مشاهده شد که در طی اواخر خرداد ماه سطوح محلول‌های غذایی D و E در هر سه پایه بالاترین درصد کلسیم برگ را ایجاد کرده و در طی خرداد و مرداد ماه سطح تغذیه شاهد (محلول غذایی A) پایین‌ترین سطح کلسیم برگ را داشت. در تحقیق روی ارقام مختلف گلابی، در دو پایه BA29 و MC (Quince)، تیمار کلرید سدیم منجر به افزایش کلسیم برگ شده که محقق آن را به نوعی آمادگی گیاه در برابر تنش دانسته که منجر به واکنش بهتر این رقم‌ها در برابر تنش گردیده است. به طوریکه در این دو پایه در شرایط تنش شوری، سایر عناصر کاتیونی موجود در برگ نیز از وضعیت بهتری برخوردارند (Serra, 2009).

در شرایط تنش شوری تجمع یون کلر همانند یون سدیم در برگ‌ها، در تشدید علائیم سوختگی برگ نقش مهمی را ایفا می‌نماید که ایجاب می‌نماید بسته به رقم و نوع ژنوتیپ گیاه، میزان تجمع هر دو یون روشن شود. اثر مجزای تیمارهای زمان اندازه‌گیری، محلول غذایی و پایه استفاده شده در سطح یک درصد بر درصد کلر برگ معنی‌دار بود. در طی دوره اول اندازه‌گیری (اواخر خرداد) بالاترین درصد کلر برگ به دست آمد. در بررسی اثر پایه‌ها نیز بر این شاخص مشاهده شد که نهال‌های روی پایه M9 دارای پایین‌ترین درصد کلر در برگ خود بودند و رقم MM111 به طور غیر معنی‌داری دارای

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر درصد عناصر کلر، کلسیم و نسبت کلسیم به سدیم برگ‌های سیب رقم رد دلشیز.

Table 7. Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on leaf chloride and calcium percent and calcium to sodium ratio of Red delicious apple.

Nutritional solution	Rootstock	% Chloride			% Calcium			Calcium to Sodium ratio		
		Middle june	Late july	Early september	Middle june	Late july	Early september	Middle june	Late july	Early september
A (control)	M9	0.07 g	0.08 f	0.13 cd	1.46 f	2.37 e	1.18 bc	7.9 e	15 e	32.2 c-f
	MM111	0.17 ef	0.13 c-e	0.16 b-d	1.76 ef	2.37 e	2.2 a	14.5 de	19.2 de	57.4 a-d
	MM106	0.24 de	0.09 de	0.16 b-d	2.56 c-e	2.4 e	2.32 a	23.2 a-d	21.3 de	63.7 a-c
B	M9	0.16 e-g	0.11 c-e	0.19 a-c	2.18 d-f	2.9 c-e	0.85 e	24.5 a-d	23.9 b-e	24.3 fg
	MM111	0.22 e	0.17 b-e	0.16 b-d	2.29 c-e	2.74 de	1.2 b-e	28.4 ab	21.4 de	39.9 d-g
	MM106	0.17 ef	0.16 ce	0.24 a	2.85 b-d	3.22 a-e	1.6 b	26.8 a-c	39.1 a-c	67.2 ab
C	M9	0.15 e-g	0.18 b-d	0.19 a-c	2.53 c-e	2.74 de	1.38 b-d	16.7 c-e	15.6 e	44.5 b-f
	MM111	0.32 cd	0.14 c-e	0.15 b-d	2.66 cd	3.94 ab	1.06 c-e	14.3 de	30.5 a-e	26.9 e-g
	MM106	0.21 e	0.16 c-e	0.19 a-c	2.85 b-d	4.05 a	1.49 bc	17.7 b-e	33 a-d	38.6 d-g
D	M9	0.11 fg	0.13 c-e	0.1 d	2.98 a-d	3.2 a-e	1.6 b	18.1 b-e	31.5 a-e	49.3 b-e
	MM111	0.34 bc	0.13 c-e	0.17 a-d	2.93 b-d	3.6 a-d	2.37 a	22.1 a-d	22.3 c-e	65.6 a-c
	MM106	0.19 ef	0.19 bc	0.13 cd	3.54 ab	3.76 a-c	2.45 a	30.3 a	43.9 ab	79.2 a
E	M9	0.2 ef	0.2 bc	0.16 b-d	3.01 a-c	3.16 b-e	1.3 de	8.1 e	25.8 b-e	26.9 g
	MM111	0.46 a	0.34 a	0.1 d	3.78 a	3.3 a-d	1.57 bc	9.2 e	35.9 a	38.8 d-g
	MM106	0.42 ab	0.26 ab	0.21 ab	3.78 a	3.44 a-d	2.24 a	10.3 e	35.0 a-e	58.9 a-d

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

(کلر) داشته باشد (Etehadpur, 2015). در مطالعه انجام شده روی سایر درختان دانه‌دار همانند به و گلابی نیز مشاهده شده‌است که این گیاهان کنترلی بر جذب کلر نداشته و با افزایش غلظت این عنصر در محیط ریشه، انباشت آن در برگ‌ها نیز افزایش می‌یابد (Serra, 2009).

نتایج آزمایش سال دوم

درصد برگ‌های خشکیده شده و رشد شاخه
با تکرار تنش شوری در سال دوم، نتایج تقریباً مشابهی نسبت به سال قبل به دست آمد. در دو پایه M₉ و MM₁₀₆ درصد خشکیدگی تنها در نهال‌های تغذیه شده با محلول غذایی F به مقدار جزئی بالا بود، اما نهال‌های روی پایه MM₁₁₁ به طور معنی داری درصد خشکیدگی برگ بالایی داشتند (جدول ۹). در این پایه درصد خشکیدگی بالا از محلول غذایی B شروع شده و در محلول غذایی E بالاترین درصد (۲۸/۷) را نشان داد. این پایه در محلول غذایی D همانند محلول غذایی شاهد به طور معنی داری درصد خشکیدگی برگ کمتری از سطوح دیگر داشت که مشابه سال قبل نشان از وضعیت بهتر نهال‌های تغذیه شده با این سطح

نتایج آزمون همبستگی آزمایش سال اول

مطابق با آزمون همبستگی پیرسون (جدول ۸) همبستگی بالایی بین درصد کلر برگ‌ها با شاخص‌های رشدی مثل محدود شدن رشد شاخساره، ریزش برگ‌ها و درصد برگ‌های خشکیده شده در هر دو دوره وجود دارد. این همبستگی بالا نشان داد برگ‌های با مقدار کلر بالا از نظر رشدی دچار مشکل شده و با سوختگی و ریزش همراه بوده‌اند. بین مقدار کلسیم و پتاسیم برگ با درصد برگ‌های خشکیده شده همبستگی مشاهده نشد که نشان می‌دهد عناصر پتاسیم و کلسیم به طور مستقیم نتوانسته‌اند کنترلی بر جلوگیری از خشکیدگی برگ‌ها داشته باشند. اما با توجه به اینکه نسبت پتاسیم به سدیم با مقدار کلسیم برگ دارای همبستگی مثبتی می‌باشد، نشان‌دهنده نقش مثبت تغذیه کلسیم بر حفظ محتوای پتاسیم برگ می‌باشد. بین درصد سدیم برگ و درصد برگ‌های خشکیده شده ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۴ و ۰/۴۷ در هر دو دوره اندازه‌گیری مشاهده نشد که احتمالاً اشاره به ایجاد سمیت بیشتر کلر در فرمول کلرید سدیم نسبت به سدیم دارد که تغذیه معدنی نیز نتوانسته کمکی بر کاهش جذب آن

اعمال تنش سطح ششم (محلول غذایی F)، عدم کاهش رشد در طی این دوره قابل پیش بینی می‌باشد اما سطح چهارم محلول غذایی در سال گذشته وضعیت رشدی بهتری نسبت به سطوح پنجم و سوم (محلول‌های غذایی C و E) داشت که مغایر با نتیجه سال دوم می‌باشد.

(D) را دارد. میزان رشد شاخه‌ها تحت تأثیر نوع پایه قرار نگرفت. سطوح محلول‌های غذایی بکار برده شده در سطح یک درصد بر این شاخص معنی‌دار بود و محلول‌های غذایی F و D به ترتیب دارای بیشترین و کمترین رشد شاخه (۶/۰۹ و ۳/۵۵ سانتی‌متر) در طی دوره تنش بودند (جدول ۹). با توجه به اولین دوره

جدول ۸. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در دوره اول و دوم آزمایش سال اول سیب رقم رد دلشیز.

Table 8. Correlation coefficient between the studied traits in the first and second periods of the first year of experiment of apple red delicious.

First period of measurement										
	Necrotized leaves	Vegetative growth	Trunk diameter growth	Leaf loss	% Na+	% K+	% Ca ²⁺	% Cl ⁻	K ⁺ /Na ²⁺	Ca ²⁺ /Na ²⁺
Necrotized leaves	1									
Vegetative growth	-0.53*	1								
Trunk diameter growth	0.36	-0.9**	1							
Leaf loss	0.61*	-0.5	0.26	1						
% Na+	0.36	-0.63*	0.6*	0.41	1					
% K+	-0.15	-0.22	0.41	0.1	-0.09	1				
% Ca ²⁺	0.32	-0.73**	0.68*	0.3	0.55*	0.42*	1			
% Cl ⁻	0.73**	-0.62*	0.53*	0.55*	0.58*	-0.02	0.67**	1		
K ⁺ /Na ²⁺	-0.33	0.33	-0.29	0.07	-0.69**	0.55*	-0.18	-0.32	1	
Ca ²⁺ /Na ²⁺	-0.23	0.21	-0.17	-0.03	-0.76**	0.49*	-0.001	-0.22	0.87**	1
Second period of measurement										
	Necrotized leaves	Vegetative growth	Trunk diameter growth	Leaf loss	% Na+	% K+	% Ca ²⁺	% Cl ⁻	K ⁺ /Na ²⁺	Ca ²⁺ /Na ²⁺
Necrotized leaves	1									
Vegetative growth	-0.44	1								
Trunk diameter growth	-0.45	0.53*	1							
Leaf loss	0.18	-0.25	-0.06	1						
% Na+	0.47*	0.05	0.27	0.4*	1					
% K+	-0.32	0.28	0.45	-0.07	0.45	1				
% Ca ²⁺	0.55*	-0.41	-0.71**	0.33	-0.25	-0.03	1			
% Cl ⁻	0.49*	-0.52*	-0.48*	0.56*	0.56*	-0.36	0.35	1		
K ⁺ /Na ²⁺	-0.48*	0.34	0.37	0.35	-0.26	0.63*	0.05	-0.1	1	
Ca ²⁺ /Na ²⁺	0.15	-0.22	-0.55*	0.62*	-0.78**	-0.28	0.71**	0.51*	0.29	1

**همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ * همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

**Correlation is significant at the 0.01 level. *Correlation is significant at the 0.05 level.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر درصد برگ‌های خشکیده شده، رشد شاخه، ریزش برگ و رشد قطری تنه (محل بالای پیوند) سب رقم رد دلشیز.

Table 9. Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on the percentage of necrotized leaves, vegetative growth, leaf loss and trunk diameter growth changes (top part of the graft site) of Red delicious apple.

Nutritional solution	Rootstock	% Necrotized leaves	Vegetative growth (cm)	Trunk diameter growth (mm)	Leaf loss
		Late June	Late June to 80% necrosis	Late June to 80% necrosis	Late June to 80% necrosis
A (control)	M9	0 d	3 d	0.93 a	70 c-f
	MM111	0 d	6.3 a-c	0.43 ab	86.6 a-e
	MM106	0 d	7.8 a	0.58 ab	69.1 c-f
B	M9	0.83 d	5.6 a-d	0.47 ab	95 a-d
	MM111	8.33 b-d	6 a-d	0.52 ab	123.3 a
	MM106	0 d	3 d	0.31 ab	61.6 c-f
C	M9	4.16 cd	4.5 b-d	0.49 ab	78.3 b-e
	MM111	17.33 b	5.8 a-d	0.77 ab	46.6 e-g
	MM106	1.33 d	4.8 a-d	0.27 b	96.6 a-d
D	M9	1.66 d	3 d	0.34 ab	78.3 b-e
	MM111	5 cd	3 d	0.82 ab	115.8 ab
	MM106	2.5 d	4.6 b-d	0.46 ab	95 a-d
E	M9	1.16 d	3 d	0.42 ab	98.3 a-c
	MM111	28.73 a	3.3 cd	0.57 ab	56.6 d-f
	MM106	2.5 d	5.5 a-d	0.47 ab	123.3 a
F	M9	6.1 cd	7.1 ab	0.50 ab	31.1 fg
	MM111	13.84 bc	6 a-d	0.61 ab	33.8 fg
	MM106	5.55 cd	5.1 a-d	0.30 ab	13.3 g

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

رشد قطری محل بالای پیوند و ریزش برگ

اثر پایه‌ها و محلول‌های غذایی استفاده شده به طور جداگانه و در تقابل با هم، بر تغییرات قطر محل بالای پیوند معنی‌دار نبود. تفاوتی بین پایه‌ها در تعداد برگ از دست داده مشاهده نشد، اما هر سه پایه تغذیه شده با محلول غذایی F ریزش برگ کمتری داشتند که این نتیجه مخالف تحقیقات مشابه انجام شده بود (Sohail *et al.*, 2009). البته بایستی توجه داشت که پاسخ ریزش برگ کمتر در نهال‌های سطح F (که بالاترین سطح کلرید سدیم را دارد) نسبت به مابقی سطوح می‌تواند به سبب اولین سال قرارگیری آن‌ها در معرض تنش باشد (Mazlomi *et al.*, 2012). چرا که همانطور که در قسمت تجزیه عناصر معدنی نشان داده شده‌است، این سطح (تغذیه شده با محلول غذایی F) دارای مقدار پایین‌تری از یون سدیم و میزان مناسب‌تری از نسبت کلسیم به سدیم برگ می‌باشد (جدول ۱۰).

قبل بوده و با توجه به بروز علائم شدیدتر خشکیدگی در این پایه، این نتیجه دور از انتظار نبود (جدول ۱۰).

میزان کلسیم، کلر و نسبت کلسیم به سدیم در برگ
پایه MM₁₁₁ به طور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) درصد کلسیم برگ بالاتری را نسبت به دو پایه دیگر ایجاد نمود. محلول غذایی شاهد نیز کمترین درصد کلسیم برگ را داشت (جدول ۱۰). نسبت کلسیم به سدیم برگ تحت تأثیر هیچ یک از پایه‌ها قرار نگرفت، اما به طور کلی محلول غذایی E دارای کمترین نسبت بود (جدول ۱۰). اثر پایه بر مقدار کلر برگ معنی‌دار بود و پایه MM₁₁₁ به طور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد)، درصد کلر برگ بالاتری از دو پایه دیگر داشت. محلول غذایی E منجر به مقدار بالاتر کلر در برگ‌ها نسبت به سایر سطوح محلول‌های غذایی گردید. کمترین درصد کلر، در برگ نهال‌های با پایه MM₁₀₆ با سطح تغذیه شاهد مشاهده شد. محلول غذایی D در هر سه پایه مورد بررسی مقدار کلر برگ پایین‌تری را ایجاد نمود (جدول ۱۰).

میزان پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ
اثر پایه‌ها و محلول غذایی بر درصد سدیم برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. درصد سدیم برگ همانند سال قبل در پایه MM₁₁₁ به طور معنی‌داری بالاتر از دو پایه دیگر بود (جدول ۱۰). در هر سه پایه، محلول‌های غذایی C تا F به طور معنی‌داری درصد سدیم بالاتری از محلول شاهد و B ایجاد نمودند. پایه MM₁₁₁ با افزایش غلظت نمک در محلول‌های غذایی، درصد سدیم برگ خود را افزایش داد، اما در دو پایه دیگر رابطه به این شکل صعودی نبود. درصد پتاسیم برگ در بین پایه‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما محلول غذایی F در هر سه پایه به طور معنی‌داری درصد پتاسیم برگ پایین‌تری را موجب گردید و محلول‌های C و E بالاترین مقدار پتاسیم را ایجاد نمودند. نسبت پتاسیم به سدیم در پایه MM₁₁₁ به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) پایین‌تر از دو پایه دیگر بود. در بین محلول‌های غذایی بکار برده شده، محلول غذایی E پایین‌ترین نسبت را ایجاد نمود. پایه MM₁₀₆ بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم را در سطوح محلول‌های غذایی A تا D داشت، اما در محلول‌های غذایی E و F در هر سه پایه این نسبت کاهش معنی‌داری را نشان داد که در پایه MM₁₁₁ پایین‌ترین نسبت حاصل شد که این نتیجه مشابه سال

نتایج آزمون همبستگی برای آزمایش سال دوم
آزمون پیرسون نشان داد که همانند سال گذشته بین درصد سدیم برگ و درصد برگ‌های خشکیده شده همبستگی مثبت ($r=0/48$) وجود دارد (جدول ۱۱). درحالی که همبستگی بین درصد کلر برگ و برگ‌های خشکیده شده بالاتر بود ($r=0/74$). همبستگی مثبت ($r=0/49$) بین درصد سدیم با کلسیم و کلر برگ مشاهده شد، که به نظر می‌رسد کلسیم نتوانسته جذب سدیم را کاهش دهد. Mazlomi *et al.* (2012) نیز در بررسی تنش شوری توت‌فرنگی نشان دادند که تیمار کلسیم نتوانست از انباشت سدیم در برگ‌ها جلوگیری نماید. اما از طرفی همانند نتایج سال گذشته همبستگی بالایی بین نسبت پتاسیم به سدیم با نسبت کلسیم به سدیم برگ ($r=0/84$) مشاهده شد که نشان از بهبود یافتن هموستازی سلولی دارد (Hadi & Karimi., 2012). این احتمال نیز وجود دارد که کلسیم با تأثیر بر پایداری و سایر خواص غشای سلولی از جمله نفوذپذیری آن، نقش بهبودکنندگی (افزایش نسبت پتاسیم به سدیم) خود را ایفا نموده است (Mokhtary *et al.*, 2009).

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول غذایی و پایه بر درصد سدیم، پتاسیم، کلر، کلسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم برگ سیب رقم رددلیشز در اواسط تیر (زمان شروع علائم).

Table 10. Mean comparison interaction effect of nutritional solution and rootstock on leaves sodium, potassium, chloride and calcium percent, and on potassium to sodium and calcium to sodium ratio of Red delicious apple (The onset of symptoms).

Nutritional solution	Rootstocks	% Sodium	% Potassium	% Calcium	% Chloride	Potassium to sodium ratio	calcium to sodium ratio
A (control)	M9	0.06 d	1.21 d-g	1.62 e	0.07 fg	22.4 bc	28.7 a-d
	MM111	0.09 b-d	1.18 e-g	1.92 c-e	0.10 d-g	16.8 c-f	32.9 ab
	MM106	0.07 cd	1.36 b-e	1.81 de	0.05 g	19.2 b-e	25.3 a-d
B	M9	0.06 d	1.31 c-f	1.81 de	0.13 b-f	20.2 b-d	27.5 a-d
	MM111	0.09 b-d	1.33 b-e	2.34 a-e	0.17 a-d	17.1 c-f	30 a-d
	MM106	0.07 d	1.35 b-e	1.92 c-e	0.08 e-g	22.8 bc	30.8 a-c
C	M9	0.07 cd	1.52 a-c	2.24 a-e	0.14 b-f	20.3 b-d	29.7 a-d
	MM111	0.17 ab	1.44 a-d	2.77 a	0.18 a-c	8.3 fg	16.05 b-d
	MM106	0.04 d	1.29 c-f	2.02 b-e	0.09 d-g	27.5 ab	43.3 a
D	M9	0.16 a-c	1.36 b-e	1.92 c-e	0.08 e-g	8.8 fg	11.8 cd
	MM111	0.2 a	1.26 d-g	2.56 a-c	0.14 b-f	10.2 e-g	20.4 b-d
	MM106	0.04 d	1.32 c-e	1.62 e	0.10 d-g	34.2 a	42.8 a
E	M9	0.17 ab	1.34 c-e	2.53 a-d	0.16 a-e	10.5 d-g	18.9 b-d
	MM111	0.24 a	1.58 ab	2.42 a-d	0.24 a	6.5 g	10.1 d
	MM106	0.21 a	1.68 a	2.29 a-e	0.20 a-c	7.7 fg	10.7 cd
F	M9	0.07 cd	1.06 g	2.21 a-e	0.12 c-g	14.4 c-g	30.2 a-d
	MM111	0.22 a	1.03 g	2.69 ab	0.20 ab	7.8 fg	21.4 b-d
	MM106	0.08 b-d	1.03 g	2.13 a-e	0.15 b-e	12.03 d-g	25.04 a-d

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means within a column followed by the same letter, are not significantly different at probability 5% level.

جدول ۱۱. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در آزمایش سال دوم سیب رقم رددلیشز

Table 11. Correlation coefficient between the studied traits in the second year of experiment of apple red delicious.

	Necrotized leaves	Vegetative growth	Trunk diameter growth	Leaf loss	% Na ⁺	% K ⁺	% Ca ²⁺	% Cl ⁻	K ⁺ /Na ²⁺	Ca ²⁺ /Na ²⁺
Necrotized leaves	1									
Vegetative growth	-0.1	1								
Trunk diameter growth	0.07	-0.12	1							
Leaf loss	-0.23	-0.18	0.07	1						
% Na ⁺	0.48**	-0.13	0.12	0.08	1					
% K ⁺	0.08	-0.19	0.07	0.42**	0.15	1				
% Ca ²⁺	0.49**	-0.2	0.009	0.006	0.31*	0.12	1			
% Cl ⁻	0.74**	-0.07	0.01	0.03	0.49**	0.15	0.46**	1		
K ⁺ /Na ²⁺	-0.32*	0.006	0.04	0.10	-0.79**	0.05	-0.3*	-0.44**	1	
Ca ²⁺ /Na ²⁺	-0.18	0.009	-0.06	-0.02	-0.74**	-0.14	0.07	-0.33*	0.84**	1

** همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۱، * همبستگی معنی دار در سطح ۰/۰۵.

**Correlation is significant at the 0.01 level, *Correlation is significant at the 0.05 level.

نتیجه گیری کلی

دو سال آزمایش نشان داد که نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم برگ در هر سه پایه با بروز علائم تنش (درصد برگ های نکروزه) همبستگی منفی دارد که نشان از اهمیت نسبت مناسب این عناصر در جلوگیری از بروز علائم تنش شوری دارد. در سال اول و دوم این آزمایش محلول غذایی E بیشترین علائم ظاهری تنش را نشان داد. محلول غذایی D، این علائم را بسیار کمتر و دیرتر از سطوح محلول های غذایی E و C نشان داد و این سطح، وضعیت بهتری از بابت رشد طولی شاخساره و درصد خشکیدگی برگ داشت

چنانچه نتایج این تحقیق نشان داد، پایه MM₁₁₁ هر دو سال آزمایش علائم تنش ظاهری (کاهش رشد، سوختگی و رنگ پریدگی برگ ها) را نسبت به دو پایه دیگر در سریع ترین و شدیدترین حالت نشان داد که می تواند ناشی از حساسیت بالای این پایه به تنش شوری نسبت به دو پایه دیگر باشد. در پایه MM₁₁₁ در هر دو سال همبستگی بالایی بین درصد کلر و تا حدودی سدیم برگ با درصد خشکیدگی برگ ها و کاهش رشد مشاهده گردید. نتایج این تحقیق در هر

شاهد بالا می‌باشد. نهال‌های با پایه M₉ در بهار سال دوم (قبل از اعمال تنش سال دوم)، بازیابی بهتری نسبت به دو پایه دیگر داشته و تقریباً همه نهال‌های روی این پایه به خوبی توانستند به رشد و شرایط ایده‌آل برسند. نهال‌های روی پایه MM₁₁₁ به سبب شرایط بدی که طی تنش گذرانده بودند، در بهار نیز دارای برخی از نهال‌های از دست رفته به خصوص در سطوح محلول‌های غذایی C و E بودند. بنابراین بطور کلی با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان پایه MM₁₁₁ را حساس‌ترین پایه به تنش شوری دانست که نباید در مناطق دارای تنش شوری استفاده شود. پایه M₉ به سبب تحمل بالاتر به تنش شوری (نسبت به دو پایه دیگر) برای مناطق دارای این تنش قابل توصیه می‌باشد. حفظ نسبت‌های استفاده شده در محلول غذایی D (۵ میلی مولار KNO₃، ۳/۵ میلی مولار Ca(NO₃)₂، ۳/۵۷ میلی مولار MgSO₄ و ۶ میلی مولار NaCl) در محیط ریشه، می‌تواند بروز علائم تنش را در پایه‌های رویشی سیب به تأخیر انداخته و تحمل درخت را به تنش شوری افزایش دهد.

که نشان می‌دهد برخلاف بالا بودن میزان نمک در سطح محلول غذایی D نسبت به محلول C، اما با داشتن مقدار کلسیم بالاتر توانسته است با حفظ بالای نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم برگ (نسبت به محلول‌های E و C) علائم تنش را کاهش دهد. در آزمایش سال اول مقدار سدیم برگ پیوندک در پایه M₉ بالاتر از دو پایه دیگر بود، اما چنانچه نتایج نشان داد این پایه علائم تنش را ملایم‌تر و دیرتر از دو پایه دیگر نشان داد که نشان‌دهنده اهمیت مجموعه‌ای از غلظت این عناصر در کنار هم در فرایند تنش است چرا که این پایه دارای نسبت پتاسیم به سدیم برگ بالاتری از دو پایه دیگر بوده و پایه MM₁₁₁ با بیشترین حساسیت، دارای کمترین نسبت پتاسیم به سدیم برگ بود. طبق نتایج این تحقیق، تجمع کلر در برگ‌های رقم ردلیشز در طی تنش شوری ناشی از کلرید سدیم اهمیت بالایی دارد، چرا که در پایه MM₁₁₁ با حساسیت بالا (طبق نتایج این مقاله)، در هر دو سال آزمایش، مقدار کلر برگ پیوندک نسبت به

REFERENCES

- Ahmadi, K., Gholizade, H., Ebadzade, H., Hatami, F., Hoseinpur, R., Abdshah, H., Rezaee, M. M. & Fazli, M. (2017). *Horticulture production in Iran*. (Annual Report 2016:17). Ministry of Jihad Keshavarzi. 231.
- Alizade, A., Xlilova, X. & Eivazi, A. (2011). Biochemical response of apple dwarf rootstock to salinity stress. *Technical Journal of Engineering and Applied Science*, 40, 118-124.
- Asadollahi, Z. & Mozafari, V. (2010). Effect of salinity and manganese on growth and chemical composition of seedling pistachio (*Pistacia vera* L.) in perlite. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 3 (12), 13-27. (in Farsi).
- Babalar, M., Mohebi, M., Askari sarcheshmeh, M. A. & Talaee, A. R. (2014). Effect of iron and nitrogen application on quantitative and qualitative characteristics of apple "cv. Fuji". *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(3), 399-407. (in Farsi).
- Blumwald, E., Aharon, G. S. & Apse, M. P. (2000). Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta Journal*, 1465, 140- 151.
- Bouid, N. & Youcef, D. (2009). Ameliorative effect of CaCl₂ on growth, membrane permeability and nutrient uptake in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* grown at high (NaCl) salinity. *Desalination Journal*, 249, 163-166.
- Bozena, S. (2017). Salt-tolerant trees usable for Central European cities (review). *HortScience Journal*, 44 (1), 43-48.
- Chen, Z., Newman, I., Zhou, M., Mendham, N., Zhang, G. & Shabala, S. (2005). Screening plants for salt tolerance by measuring K⁺ flux: a case study for barley. *Plant Cell Environment Journal*. 28, 1230- 1246.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A. & Zhu, J. K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45, 437-448.
- Erturk, U., Sivritepe, N., Yerlikaya, C., Bor, M., Ozdemir, F. & Turkan, I. (2007). Response of the cherry rootstock to salinity *in vitro*. *Biologia Plantarum*, 51(3), 597- 600.
- Etehadpur, M. (2015). *Morphological and physiological responses and gene expression pattern associated with NaCl salinity in citrus genotypes*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (in Farsi).

12. Food and Agriculture Organization. (2012). *Production: Apple production in FAO*. Retrieved January 2013, from <http://www.fao.org/Q/QC/E>.
13. Garcia-Sanchez, F. & Syvertsen, J. P. (2006). Salinity tolerance of *Cleopatra mandarin* and *Carrizo citrange* citrus rootstock seedlings is affected by CO₂ enrichment during growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131, 24-31.
14. Hadi, M. R. & Karimi, N. (2012). The role of calcium in plant salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 2037-2054.
15. Hunt, J. R. (1963). Feedstuffs analysis, rapid determination of calcium in feedstuffs. *Journal of Agriculture*, 11 (4), 346-347.
16. Iran Meteorological Organization. (2015). *Weather data in IRIMO*. Retrieved May 22, 2018, from <http://www.irimo.ir/eng/index.php>.
17. Jiang, L. & Duan, L. (2006). NaCl salinity stress decreased *Bacillus thuringiensis* (Bt) protein content of transgenic Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany Journal*, 55 (3), 315- 320.
18. Kaya, C., Higgs, B. E. & Murillo-Amador, B. (2002). Influence of foliar applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt stress conditions. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42, 631-636.
19. Kazemi, A. (2011). *Interaction of salinity stresses and water deficit on growth of two cultivars of sorghum*. M.Sc Thesis. Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran. (in Farsi).
20. Khosla, B., Gupta, P. K. & Abrol, I. P. (1979). Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. *Agricultural Water Management*, 2 (3), 193-202.
21. Levy, Y. & Syvertsen, J. (2004). Irrigation water quality and salinity effects in citrus trees. *Horticultural Reviews*, 30, 37-81.
22. Li, Q. J., Liu, D., Tan, A. C., Allan, Y., Jiang, X., Xu, Z. H., Han, J. & Kong, J. (2013). A genome-wide expression profile of salt-responsive genes in the apple rootstock malus zumi. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 21053-21070.
23. Lopeza, V. & Sattia, S. M. E. (1996). Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Science*, 114, 19-27.
24. Mazlomi, F., Ronaghi, A. M. & Karimian, N. A. (2012). Effect of salinity and supplemental calcium on vegetative growth, fruit yield and concentration of some elements in hydroponic strawberry. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 2 (6), 51-62. (in Farsi).
25. Meloni, D. A., Gulotta, M. R., Martínez, C. A. & Oliva, M. A. (2003). The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis Alba*. *Braz. Journal of Plant Physiogyl*, 16 (1), 39- 46.
26. Mir Mohammadi, A. & Ghareyazi, B. (2000). *Physiological aspects and breeding for salinity stress in plants* (1th ed.). Isfahan University of Technology Publication Cerner. (in Farsi).
27. Mirzaee, S., Rahimi, A., Dashti, H. & Madahhoseini, S. H. (2012). Evaluation of salt stress adjustment using calcium and potassium in a medicinal plant zanian (*Carum copticum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10 (1), 189- 197. (in Farsi).
28. Mohebi, M., Babalar, M., Fatahi moghaddam, M. R. & Askari sarcheshmeh, M. A. (2020). Study the apple fruit (*Malus domestica* cv. Fuji) browning factors, during storage. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 51(3), 589-596. (in Farsi).
29. Molassiotis, A. N., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Kofidis, G., Diamantidis, G. & Therios, E. (2006). Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM₁₀₆ treated with NaCl, KCl, mannitol or sorbitol. *Biologia Plantarum Journal*, 50 (3), 331- 338.
30. Momenpour, A., Imani, A., Bakhshi, D. & Rezaie, H. (2015). Evaluation of growth characteristics and nutrient concentration in four almond (*Prunus dulcis*) genotypes budded on GF₆₇₇ rootstock under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46 (3), 409- 428. (In Farsi).
31. Mokhtary, I., Ganjali, A. & Abrishamchi, P. (2009). Ameliorative effects of CaCl₂ and CaSO₄ on growth, content of soluble proteins, soluble sugars, proline and some mineral nutrients (Na⁺, K⁺) in leaves of *Lycopersicon esculentom* var Mobile under salt stress. *Iranian Journal of Biological Science Promotion*, 23 (1), 62- 72. (in Farsi).
32. Mozafari, V. (2005). *Study the effect of potassium and calcium on pistachio dieback disease*. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran. (in Farsi).
33. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25, 239- 250.
34. Musacchi, S., Quartieri, M. & Tagliavini, M. (2006). Pear (*Pyrus communis*) and quince (*Cydonia oblonga*) roots exhibit different ability to prevent sodium and chloride uptake when irrigated with saline water. *European Journal of Agronomy*, 24 (3), 268-275.

35. Nedjimi, B. & Daoud, Y. (2006). Effect of Na_2SO_4 on the growth, water relations, proline, total soluble sugars and ion content of *Atriplex halimus* subsp. *Annals Biology Journal*, 28, 35-43.
36. Naeini, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H. & Fallahi, E. (2006). Partitioning of chlorine, sodium and potassium and shoot growth of three pomegranate cultivars under different levels of salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1835-1843.
37. Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. & Imani, A. (2008). The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond (*Prunus dulcis* Mill.). *Journal of Horticultural Sciences*, 23 (2), 131-140.
38. Parida, A.K. & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants (review). *Ecotoxicology and Environment Safety*, 60, 324-349.
39. Rahnesan, Z., Nasibi, F. & Ahmadi Moghadam, A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13 (1), 73- 82.
40. Renault, S. (2005). Response of red osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity: effects of supplemental calcium. *Physiological Plantarum*, 123, 75-81.
41. Rezaei, M., Lesani, H., M, Babalar. & Talaei, A. R. (2007). Effect of sodium chloride stress on growth indexes and mineral contents in five genotype of olive tree. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 37 (2), 293- 301. (in Farsi).
42. Sadasivam, S. & Manickm, A. (2008). Biochemical methods. *New Age International*, 5, 270-281.
43. Schachtman, D. & Munns, R. (2002). Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. *Australian Journal. Plant Physiology*, 19 (3), 331-340.
44. Serra, S. (2009). *Salt stress responses in pear and quince: physiological and molecular aspects*. Ph. D. Thesis, Faculty of Agriculture, Bologna University, Italy.
45. Sotiropoulos, T.E., Dimassi, K.N., Tsirakoglou, V. & Therios, I.N. (2006). Responses of two *Prunus* rootstock to KCl induced salinity *in vitro*. *Biologia Plantarum*, 50 (3), 477-480.
46. Sohail, M., Saied, A.S., Gebauer, J. & Buerkert, A. (2009). Effect of NaCl salinity on growth and mineral composition of *Ziziphus spina-christi* (L.). *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 110 (2), 107-114.
47. Tabatabaee, J. (2010). *Principals of mineral nutrition of plants*. Tabriz University Press. (in Farsi).
48. Tuna, A.L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, L. & Yagmur, E. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 173-178.
49. West, D. W. (1978). Water use and sodium chloride uptake by apple trees. *Journal of Plant and Soil Science*, 50, 37-49.
50. Xu, J., Wang, Y. Z., Zhang, Y. X. & Chai, T. Y. (2008). Rapid *in vitro* multiplication and *ex vitro* rooting of *Malus zumi* (Matsumura) Rehd. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 129-132.
51. Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Journal of Plant Biology*. 6, 441- 445.
52. Zolfaghari, M., Babalar, M., Nadery, R., Askary, M.A. & Yazdani, H. (2009). Iranian phosphate rocks and their usage as phosphate fertilizers in zeoponic culture. *Seed and Plant Production Journal*, 2 (25), 403- 414. (In Farsi).