مقاله پژوهشی
یافته‌های نوین در علوم زیستی
جلد ۸، شماره ۳، صفحات ۲۰۶ الی ۲۱۹ (۱۴۰۰)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

Research Article
Nova Biologica Reperta 8(3): 206-219 (2021)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.8.3.206

اثرات منابع متفاوت پتاسیم و کلسیم بر عملکرد و تعادل یونی گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری درکشت هیدروپونیک

اکبر فرقانی[۱]، امیر حسین فرقانی[۲]، مریم الطافی[۱]، کاظم هاشمی مجد[۳] و امید سفالیان[۴]

[۱]گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران؛ [۲]گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران؛ [۳]گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران؛ [۴]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مسئول مکاتبات: امیرحسین فرقانی، Forghani@pnu.ac.ir

چکیده. اکثر اراضی کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار داشته و جزو خاک‌های شور محسوب می‌شوند. به منظور بررسی تاثیر متقابل شوری، منابع پتاسیم و کلسیم بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط هیدروپونیک در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل شوری در سه سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلریدسدیم)، پتاسیم از دو منبع کلرید و نیترات (۰ و ۱۵ میلی‌مولار) و کلسیم از منابع کلرید و نیترات (۰ و ۱۰ میلی‌مولار) بودند. با افزایش سطح شوری شاخص‌های رشد شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد گل و میوه و کلروفیل برگ کاهش یافت. استفاده از نیترات کلسیم در شوری ۴۰ mM NaCl سبب افزایش به ترتیب ۵۵ و ۹۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان شد. همچنین کاربرد نیترات کلسیم در بیشترین غلظت نمک سبب افزایش ۷۵ درصدی کلروفیل کل شد. آنالیز داده‌ها نشان دادکه با افزایش شوری غلظت سدیم در ریشه و ساقه افزایش و غلظت پتاسیم در اندام ریشه کاهش یافت ولی محتوای پتاسیم اندام هوایی تحت تاثیر شوری قرار نگرفت. استفاده از نیتراتکلسیم در شوری ۴۰ mM NaClسبب کاهش ۲۳ درصدی غلظت سدیم ریشه نسبت به گیاهان تیمار شده با ۴۰ mM NaCl گردید. بنابراین با توجه به یافته های به دست آمده می توان بیان کرد که از بین منابع پتاسیم و کلسیم به نظر می‌رسد استفاده از نیترات کلسیم در مقایسه با موارد دیگر با افزایش کلروفیل کل، وزن خشک و تعدیل در نسبت‌های یونی می‌تواند اثرات شوری را در گیاه گوجه فرنگی کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی. سدیم، رشد، کلروفیل، گل‌دهی، میوه

The effects of different sources of potassium and calcium on yield and ionic balance of tomatoes under salinity stress in hydroponic cultivation

Akbar Forghani[1], Amir Hossein Forghani[2], Maryam Altafi[1], Kazem Hashemi Majd[3] & Omid Sofalian[4]

[1]Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran; [2]Department of Biology, Faculty of Science, Payame Noor University, P.O. BOX 19395-3697 Tehran, Iran; [3]Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran; [4]Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Correspondent author: Akbar Forghani, Forghani@pnu.ac.ir

Abstract. Most of agricultural lands in Iran are located in arid and semi-arid regions and are considered as saline soils. In order to investigate the interaction of salinity as well as potassium and calcium on the growth and yield of tomato plants, a factorial experiment was perfected in the form of randomized complete blocks, in hydroponic conditions, with three replicates per treatment. Experimental factors include salinity at three levels (0, 20, and 40 mM NaCl), potassium content form chloride, nitrate (0 and 15 mM), and calcium from chloride, and nitrate (with 0 and 10 mM) . The studied growth factors, including plant height, stem diameter, number of leaves, flowers and fruits and leaf chlorophyll decreased

Received 28.03.2021/ Revised 26.05.2021/ Accepted 27.06.2021/ Published 22.10.2021
دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸/ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵/ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶/ انتشار: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

with increase NaCl. Treatment plants with Ca $(NO_3)_2$ at 40 mM NaCl, increased the shoot and root dry weight by 55% and 95%, respectively. In addition, application of Ca $(NO_3)_2$ in the medium with maximum salinity concentration resulted in an increase of 75% in chlorophyll content. The analysis of data showed that the increase of salinity was accompanied with increase sodium content level of tomato plants. However, the root potassium was observed to decrease. On the contrast to the root, potassium content showed no change in the organs from the root upwards. Also, the use of Ca $(NO_3)_2$ with 40 mM NaCl reduced Na^+ content by 23% compared with plants treated only with 40 mM NaCl. According to the results, it seems that application of Ca $(NO_3)_2$ may improve chlorophyll content, dry weight, and modulate ion hemostasis and decreased the negative of salt stress in tomato plants.

Key words. chlorophyll, flowering, fruit, growth, sodium

مقدمه

شوری خاک در اثر آبیاری، زهکشی نامناسب، پیش‌روی دریا در مناطق ساحلی و تجمع در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی در حال افزایش است. تنش شوری یکی از عوامل عمده محدود کننده رشد در گیاهان است. شوری خاک یا آب با محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب پتاسیم، نیترات، فسفر و کلسیم، افزایش غلظت یونی درون سلولی و تنش اسمزی همراه است (Gong et al., 2020). اولین آثار تنش شوری بر گیاه اثر اسمزی است. بر این اساس نمک‌ها انرژی نگهداری آب در خاک را افزایش می‌دهند و خاک باید مرطوب‌تر شود تا مقدار آب قابل دسترس گیاه را همانند شرایط غیر شور فراهم کند. تنش یونی یا به عبارت بهتر تجمع ترکیبی یون‌ها در اندام‌های هوایی و عدم بردباری یون‌های تجمع یافته، از اثرات دیگر شوری است (Ahmad et al., 2013; Hasanuzzaman et al., 2018). در میان کاتیون‌ها و آنیون‌ها، یون‌های سدیم و کلرید سمیت ویژه‌ای برای گیاه دارند و بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که مقدار زیادی از عناصر غذایی به فرم نمک قابل دسترس هستند، شوری زیاد و سمیت یونی می‌تواند تعادل عناصر غذایی در گیاه را برهم بزند یا در جذب آن‌ها اختلال ایجاد کند (Gong et al., 2020). تنش اسمزی به سرعت جوانه زنی (Nejadhabibvash & Rezaee, 2021) و رشد اندام هوایی را کاهش می‌دهد در حالی‌که تنش یونی با تاخیر و نخستین اثر قابل مشاهده آن افزایش پیری در برگ‌های مسن است (Kaya et al., 2009). پیدایش خاک‌های شور می‌تواند به صورت طبیعی و یا بواسطه توسعه کشت آبی همراه با تبخیر زیاد و فعالیت‌های بشری ایجاد گردد. همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن افزایش دما و تغییرات اقلیمی تاثیرات متفاوتی بر میزان بارندگی دارند و در مناطق خشک و بیابانی سبب کاهش بارندگی، کاهش رواناب و افزایش شوری در خاک می‌گردد (Ghahremaninejad et al., 2021). در کشور ما نیز اراضی به‌دلیل تکیه بر کشاورزی فاریاب برای تولید محصولات کشاورزی به شدت در معرض شور شدن است. بیشتر گیاهان زراعی نسبت به شوری حساس هستند (Hasanuzzaman et al., 2018). گوجه‌فرنگی یکی از گیاهان بسیار مهم باغبانی در کل دنیا است که به شوری حساس است. گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* گیاهی است علفی، چند ساله و از خانواده بادمجان است. تولید گوجه‌فرنگی در گلخانه‌ها یا سایر ساختارهای حفاظتی در مناطقی که شرایط آب و هوایی، تولید مزرعه‌ای را محدود می‌کند از اهمیت زیادی برخوردار است (Jenkins, 1948). کشت‌های حفاظت شده نیاز به اقدامات زراعی متراکم‌تری نسبت به کشت مزرعه‌ای دارند و شوری آب یا خاک تهدید جدی برای این گیاه است (Cuartero et al., 2006). تجمع یون سدیم ناشی از تنش شوری در برگ گیاهان و از جمله گوجه فرنگی (Cuartero et al., 2006) و انگور (Heidarpour et al., 2021)، منجر به تخریب غشاهای سلولی، کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه می‌گردد. در حالی‌که کاهش جذب آب بر اثر تنش اسمزی ناشی از شوری منجر به کاهش توسعه برگ‌ها، کاهش تبادلات روزنه‌ای و در نهایت کاهش فتوسنتز برگ‌ها می‌شود (Ahmad et al., 2013). در این میان دانشمندان با روش‌های متفاوت ملکولی، ژنتیکی، اصلاح بذر و غیره به‌دنبال افزایش تولید، بهره‌وری و کاهش اثرات زیان‌بار شوری در گیاهان زراعی هستند. یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات زیان‌بار تنش شوری استفاده از مواد مغذی معدنی همانند کلسیم و پتاسیم است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است (Gong et al., 2020). تأثیر کلسیم و پتاسیم در محیط کشت شور در تعدیل اثرهای مخرب شوری بر روی گیاهان توسط برخی از محققان گزارش شده است. کلسیم از جمله عناصر غذایی است که در پایداری دیواره سلولی، توسعه سلول و فرایندهای داخلی، پایداری غشای سلولی، پایداری در برابر شوری و بیماری‌ها نقش مهمی را ایفا می‌نماید. شوری ناشی از سدیم نه تنها باعث کاهش قابلیت استفاده کلسیم شده بلکه باعث کاهش انتقال و پویایی کلسیم به نواحی در حال رشد گیاهان می‌شود و در نتیجه کیفیت و رشد اندام‌های رویشی و زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gong et al., 2020; Hasanuzzaman et al.,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

2018). شواهد زیادی وجود دارد که کاربرد کلسیم علائم سمیت سدیم را در گونه‌های گیاهی از بین می‌برد. کلسیم با پایداری دیواره سلولی، کاهش نفوذپذیری سدیم از طریق کانال‌های کاتیونی غیر انتخابی، بهبود انتقال پتاسیم و انتخاب پذیری پتاسیم به سدیم، کاهش نشت پتاسیم و تأثیر بر کانال‌های آب با تنش شوری مقابله می‌کند (Ahmad et al., 2013; Gong et al., 2020). مطالعات نشان داد تیمار کلسیم کمبودهای مواد غذایی را در گوجه‌فرنگی (Navarro et al., 2000) و توت فرنگی اصلاح و باعث افزایش رشد و عملکرد در شرایط تنش شوری در سیستم هیدروپونیک شده است (Kaya et al., 2002). در مقابل مطالعات دیگری نشان داد که افزودن کلسیم تکمیلی به محلول غذایی شور نه تنها اثرات منفی شوری را کاهش نداد بلکه باعث افزایش اثرات شوری بر خصوصیات رشدی توت‌فرنگی شده است (Mazloomi et al., 2011).

پتاسیم نه‌تنها برای رشد طبیعی گیاه ضروری است بلکه عنصر غذایی بسیار مهم در تنظیم فشار اسمزی و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی است. پتاسیم در باز و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب سدیم در شرایط تنش شوری دخالت دارد (Ahmad et al., 2013). معمولا غلظت پتاسیم بافت‌های گیاهی با افزایش شوری به دلیل اثر رقابتی با سدیم به شدت کاهش می‌یابد و استفاده از پتاسیم در محلول غذایی اثرات منفی شوری بر رشد رویشی و عملکرد میوه را به‌دلیل ذخیره پتاسیم در بافت‌ها برطرف می‌کند (Cuartero et al., 2006; Gong et al., 2020). در مقابل، مطالعات بر روی گیاهان مختلف از جمله گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) نشان داده است که غلظت پتاسیم در محلول غذایی تأثیر مثبتی بر بردباری به شوری نداشته است (Gorgi et al., 2010). اگرچه اثر منابع مختلف پتاسیم یا کلسیم به‌صورت جداگانه بر روی گیاهان مختلف انجام شده است اما کاربرد همزمان آن‌ها کمتر در گیاه گوجه فرنگی بررسی شده است. با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه گوجه فرنگی و افزایش شوری آب و خاک در اکثر مناطق ایران، هدف از این مطالعه بررسی اثرات منابع متفاوت کلسیم و پتاسیم و کاربرد همزمان آنها بر عملکرد و رفتارهای فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه و طراحی آزمایش

به منظور بررسی اثرات منابع کلسیم و پتاسیم بر عملکرد و فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی در گلخانه تحقیقاتی از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ و قطر داخلی ۲۰ سانتی‌متر استفاده گردید. به منظور تهویه و زهکشی، تعداد ۴ عدد سوراخ در کف گلدان‌ها ایجاد شد. مواد داخل گلدان‌ها (ماسه) چندین بار با آب شهری شسته شد. مقدار تقریبی ۳ کیلوگرم ماسه در هر گلدان ریخته شد و نشاهای گوجه‌فرنگی رقم HAVANA در مرحله ۵ برگی به گلدان‌ها که در شرایط دمایی ۵±۲۵ و رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد بودند، انتقال داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با ۳ تکرار و مقایسه میانگین با آزمون دانکن و با به‌کارگیری نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۴) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. فاکتور اول شامل شوری در سه سطح ۰ (۲/۵ mS/cm)، ۲۰ (۵/۰۳ mS/cm) و ۴۰ (۷/۰۷ mS/cm) میلی‌مول در لیتر کلرید سدیم در محلول غذایی، فاکتور دوم شامل کلسیم در دو سطح ۰ و ۱۰ میلی‌مول در لیتر کلسیم در محلول غذایی از منابع کلرید و نیترات کلسیم و فاکتور سوم شامل پتاسیم در دو سطح ۰ و ۱۵ میلی‌مول در لیتر پتاسیم در محلول غذایی از منابع کلرید و نیترات پتاسیم بود. به عبارت بهتر برای بررسی نحوه تعامل و برهم کنش عوامل فوق از مقایسه گیاهان تیمار شده با منابع کلسیم و پتاسیم در محیط فاقد تنش شوری (شاهد مثبت) و گیاهان تیمار شده با غلظت های متفاوت نمک (شاهد منفی) استفاده شد. از ترکیب این عوامل ۲۷ تیمار به دست آمد که در سه تکرار اجرا گردید. تعداد کل گلدان‌های آزمایشی ۸۱ عدد بود. محلول غذایی مورد استفاده بر اساس فرمول دانشگاه فلوریدا (Hochmuth & Hochmuth, 2001) تهیه و روزی دو بار صبح و بعدازظهر به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر در هر بار به هر گلدان داده شد. از این رو در این تحقیق گیاهانی که NaCl و هیچ کدام از منابع تکمیلی پتاسیم را دریافت نکردند به عنوان گروه شاهد و گیاهانی که فقط با ۲۰ یا ۴۰ میلی مولار NaCl تیمار یافتند به ترتیب با S_1 و S_2 معرفی شدند.

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی در مرحله گلدهی

ارتفاع گیاه تا دمبرگ آخرین برگ تازه رشدکرده هر گیاه اندازه‌گیری شد. قطر ساقه در محل طوقه با استفاده از کولیس تعیین گردید. تعداد برگ، ساقه جانبی، گل و میوه با شمارش دستی تعیین شد. شاخص کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) ساخت شرکت Minolta ژاپن اندازه گیری شد. در زمان شروع میوه دهی گیاهان از محل طوقه قطع گردیدند، وزن ریشه و اندام هوایی جداگانه در آزمایشگاه تعیین گردید برای این منظور نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۷۲ ساعت در ۶۵ درجه سانتیگراد در آون خشک گردید و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دارای دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم

گیاهان خشک شده با آسیاب پودر شده و ۱ گرم از ریشه و اندام هوایی خشک شده برای اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

کلسیم در بوته‌چینی ریخته و به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره الکتریکی خاکستر گردید و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال به بوته چینی حاوی نمونه گیاهی اضافه گردید و روی اجاق برقی گذاشته شد تا شروع جوشش گرم شد. سپس محتوای بوته چینی با عبور از دو لایه کاغذ صافی به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شده و به حجم رسید و از این عصاره برای تعیین عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم ریشه و اندام هوایی به‌وسیله دستگاه فلیم فوتومتر (انگلستان-Jenway) استفاده گردید (Jones, 2001).

نتایج

رشد و عملکرد گوجه فرنگی

جدول های ۱ و ۲ نتایج تجزیه واریانس تأثیر شوری، منابع پتاسیم و کلسیم و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک اندام هوایی، ریشه، میوه، تعداد میوه، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، تعداد گل، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و کلروفیل کل در گیاه گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد. اثر شوری بر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ، کلروفیل برگ، میوه، وزن خشک میوه و تعداد گل؛ اثر منابع پتاسیم بر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، تعداد گل و کلروفیل برگ، اثر منابع کلسیم بر قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و کلروفیل برگ، اثر متقابل دو جانبه شوری و منابع پتاسیم بر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، قطر ساقه و کلروفیل برگ، اثر متقابل دو جانبه شوری و منابع کلسیم بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، قطر ساقه و کلروفیل برگ و اثر متقابل سه جانبه شوری، منابع پتاسیم و منابع کلسیم بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، قطر ساقه و کلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول های ۱، ۲). در مقابل تعداد شاخه‌های جانبی تحت تأثیر شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی و برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت.

بیش‌ترین ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی در محیط فاقد نمک NaCl و در فقدان منابع پتاسیم تکمیلی و کم‌ترین آن در بیشترین غلظت نمک NaCl مشاهده شد. ارتفاع گیاهان تیمار شده با منابع پتاسیم تکمیلی در محیط فاقد NaCl کاهش یافت ولی در محیط واجد NaCl مانع از کاهش ارتفاع گیاه شد (شکل ۱). در خصوص قطر ساقه با افزایش NaCl به محیط، قطر ساقه کاهش یافت و بیشترین قطر ساقه در گیاهان شاهد مشاهده شد (جدول ۳). استفاده از منابع پتاسیم و کلسیم به‌صورت جداگانه و کاربرد همزمان آن‌ها نیز سبب کاهش قطر ساقه در محیط فاقد NaCl شد. استفاده از کلرید کلسیم و نیترات کلسیم به ترتیب سبب کاهش ۲۳ و ۱۷ درصدی قطر ساقه در محیط فاقد NaCl در مقایسه با گروه شاهد شد. با این وجود اثرات متقابل منابع کلسیمی و پتاسیمی اثرات متفاوتی در طی شوری نمک سدیم نشان دادند. به گونه‌ای که کاربرد مجزای کلرید کلسیم و نیترات کلسیم در شوری ۲۰ و ۴۰ میلی مولار نمک با کاهش قطر ساقه در مقایسه با گروه S_1 و S_2 همراه نبود. در مقابل کاربرد نیترات پتاسیم و کلرید کلسیم در شوری ۲۰ میلی مولار نمک سبب کاهش ۲۵ درصدی و معنی‌دار قطر ساقه در مقایسه با گروه S_1 گردید ولی در شوری ۴۰ میلی مولار نمک این اثر کاهشی مشاهده نشد (جداول ۱ و ۳). همچنین با توجه به اثرات متقابل شوری، منابع کلسیمی و پتاسیم کاربرد همزمان منابع کلسیمی و پتاسیم مانع کاهش قطر ساقه در شرایط تنش شد (شکل ۱).

آنالیز داده‌ها بیانگر این مطلب است که تعداد برگ، وزن میوه خشک و تعداد میوه در بوته گوجه‌فرنگی فقط تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول های ۱، ۲). کاهش تعداد برگ در گیاه گوجه فرنگی با افزایش غلظت NaCl مشاهده شد. در بیشترین غلظت NaCl تعداد برگ در هر بوته تقریبا ۲۰ درصد کاهش یافت. آنالیز داده‌ها بیانگر این مطلب است که فقط تعداد و وزن خشک میوه تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (شکل ۲) و منابع پتاسیم و کلسیم و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت. بیش‌ترین تعداد و وزن خشک میوه در محیط فاقد کلرید سدیم و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمار ۲۰ و ۴۰ میلی-مولار کلرید سدیم وجود نداشت (شکل ۲). به عنوان مثال در شوری ۴۰ میلی مولار NaCl، تعدا میوه در هر بوته و وزن خشک میوه به ترتیب ۷۵ و ۸۵ درصد کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین مشخص کرد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاهان شاهددر محیط فاقد نمک حاصل شد و با افزایش نمک میزان وزن خشک گیاه کاهش یافت (جدول ۴). در محیط فاقد NaCl منابع تکمیلی پتاسیم و کلسیم به‌طور معنی‌داری باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گردید. به عنوان مثال در محیط فاقد NaCl استفاده از کلرید کلسیم و نیترات کلسیم به ترتیب وزن خشک اندام هوایی را ۷۳ و ۶۲ درصد و وزن ریشه را ۶۵ و ۳۱ درصد کاهش دادند. همچنین در محیط فاقد NaCl منابع تکمیلی کلرید پتاسیم و نیترات پتاسیم به ترتیب ۳ و ۲/۶ برابر وزن اندام هوایی و در حدود ۲ و ۳ برابر وزن ریشه را کاهش داد. اما استفاده از نیترات کلسیم در شوری ۴۰ میلی مولار نمک سبب افزایش به ترتیب ۵۵ و ۹۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان در غیاب منابع پتاسیم تکمیلی شد (جدول ۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر شاخص‌های رشد گیاه گوجه‌فرنگی(* p<0.05, ** p<0.01).

Table 1. Results of variance analysis of the salinity, potassium and supplemental calcium sources effects on tomato plant growth parameters (* p<0.05, ** p<0.01).

منابع تغییر (Sources)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد شاخه جانبی Number of branches	تعداد برگ Number of leaves	کلروفیل کل Total chlorophyll	تعداد گل Number of flowers
شوری (Salt)	2	2908.03**	0.077**	13.37 ns	80.60**	2553.06**	123.25**
پتاسیم (K)	2	388.93**	0.027**	21.81 ns	0.9 ns	274.69*	34.48**
کلسیم (Ca)	2	54.71 ns	0.006**	1.81 ns	17.98 ns	818.07**	10.26ns
شوری× پتاسیم (Salt×K)	4	350.63**	0.011**	10.57 ns	1.12 ns	161.38**	5.63 ns
شوری× کلسیم (Salt×Ca)	4	29.96 ns	0.005**	5.96 ns	14.97 ns	137.84**	1.35 ns
شوری× پتاسیم× کلسیم(Salt×K×Ca)	12	82.85 ns	0.004**	8.89 ns	4.19 ns	415.2**	4.06 ns
تکرار (Repeat)	2	96.77 ns	0.002 ns	9.33 ns	12.64 ns	18.41 ns	9.33 ns
خطا (Error)	52	45.31	0.001	10.21	7.10	30.74	6.59
ضریب تغییرات (C.V)		24.42	15.42	144.37	17.42	38.92	121.71

جدول ۲ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی (* p<0.05, ** p<0.01).

Table 2. Results of variance analysis of the salinity, potassium and supplemental calcium sources effects on tomato yield (* p<0.05, ** p<0.01).

منابع تغییر (Sources)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد میوه Numbers of fruits	وزن خشک میوه Fruit dry weight
شوری (Salt)	2	139.9**	18.99**	4.46**	0.99**
پتاسیم (K)	2	104.25**	12.1**	1.53ns	0.45ns
کلسیم (Ca)	2	19.5**	2.22**	0.61 ns	0.17ns
شوری× پتاسیم (Salt×K)	4	43.33**	6**	0.53 ns	0.28 ns
شوری× کلسیم (Salt×Ca)	4	10.17**	1.56**	0.16 ns	0.1 ns
شوری× پتاسیم× کلسیم(Salt×K×Ca)	12	7.83**	.65*	0.19 ns	0.12 ns
تکرار (Repeat)	2	2.63 ns	0.1 ns	1.12 ns	0.29 ns
خطا (Error)	52	2.06	.31	0.59	0.18
ضریب تغییرات (C.V)		67.76	91.12	245.4	352.9

محتوای رنگیزه فتوسنتزی

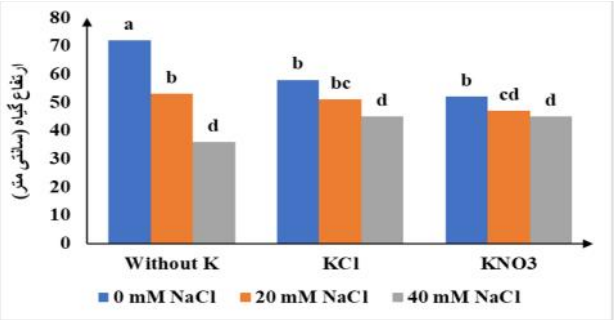
نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که کلروفیل کل در پاسخ به تنش شوری کاهش یافت (جدول ۳). به عنوان مثال میزان کلروفیل کل در گیاهان S_1 و S_2 نسبت به گیاهان کنترل به ترتیب ۲۸ و ۵۳ درصد کاهش یافت. به‌صورت کلی صرفا استفاده از منابع پتاسیمی (نیترات و کلرید) سبب کاهش کلروفیل کل در محیط فاقد نمک و یا گیاهان تیمارشده با ۲۰ میلی مولار نمک شد. به عنوان مثال میزان کلروفیل کل در گیاهان تیمارشده با نیترات پتاسیم یا کلرید پتاسیم در محیط واجد ۲۰ میلی مولار نمک به ترتیب حدود ۵۴ و ۶۲ درصد کاهش یافت. در مقابل منابع تکمیلی کلسیم اثرات متفاوتی را نشان دادند. صرف استفاده از کلرید کلسیم در محیط فاقد یا واجد NaCl سبب کاهش کلروفیل کل شد. اما در مقابل تنها با کاربرد نیترات کلسیم در شوری ۴۰ میلی مولار NaCl با افزایش ۷۵ درصدی در میزان کلروفیل در مقایسه با گیاهان S_2 همراه بود (جدول ۳). به‌علاوه اثرات کاربرد همزمان منابع پتاسیم و کلسیم بر میزان کلروفیل معنی دار بود که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

جدول ۳- اثرات متقابل شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر قطر ساقه و کلروفیل برگ گیاه گوجه فرنگی. حروف انگلیسی یکسان عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

Table 3. Interaction effects of salinity, potassium and calcium sources on stem diameter and leaf chlorophyll of tomato plants. The same English letters show no significant difference at the 5% level.

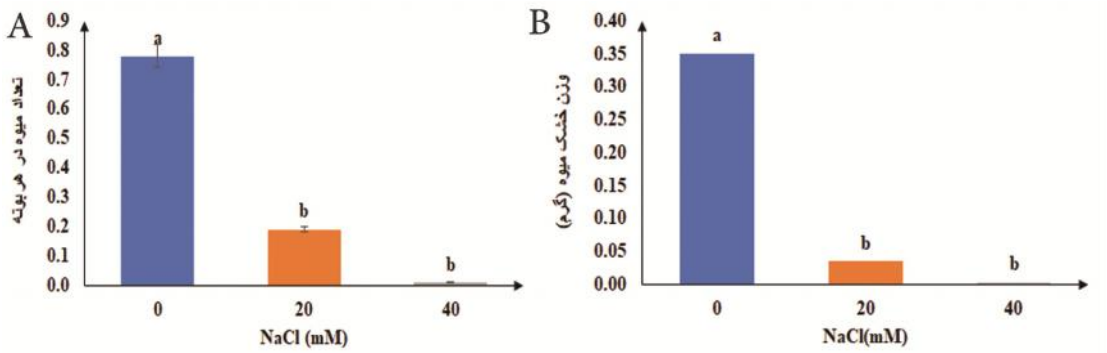
کلروفیل کل(mg/g FW) Total Chlorophyll	قطر ساقه (mm) Stem diameter	کلسیم Ca^{++} source	منابع پتاسیم K^{+} source	شوری Salt
61.57 A	0.65 A	Control	Control	Control
31.17 F-K	0.5 BCD	$CaCl_2$		
62.53 A	0.54 B	$Ca(NO3)_2$		
57.9 AB	0.53 BC	Control	KCl	
33.67 D-J	0.48 B-F	$CaCl_2$		
37.27 D-G	0.49 BCD	$Ca(NO3)_2$		
39.6 DEF	0.48 B-G	Control	KNO_3	
43.17 CDE	0.46 D-K	$CaCl_2$		
51.1 BC	0.52 BCD	$Ca(NO3)_2$		
44.17 CD	0.51 BCD	Control	شاهد (Control)	20 mM NaCl
17.03 MN	0.47 D-J	$CaCl_2$		
33.03 E-J	0.49 B-E	$Ca(NO3)_2$		
28.03 G-M	0.41 I-M	Control	KCl	
31.27 G-K	0.37 lM	$CaCl_2$		
36.9 E-H	0.40 J-M	$Ca(NO3)_2$		
23.3 I-M	0.41 I-M	Control	KNO_3	
21.83 KM	0.42 G-l	$CaCl_2$		
19.93 LM	0.35 M	$Ca(NO3)_2$		
28.83 G-L	0.41 I-M	Control	شاهد (Control)	40 mM NaCl
9.43 N	0.37 LM	$CaCl_2$		
50.6 BC	0.47 D-J	$Ca(NO3)_2$		
34.6 D-H	0.43 E-L	Control	KCl	
35.1 D-H	0.48 C-G	$CaCl_2$		
33.83 D-I	0.47 D-I	$Ca(NO3)_2$		
26.23 H-M	0.40 KLM	Control	KNO_3	
36.87 D-H	0.42 F-L	$CaCl_2$		
23.13 J-M	0.37 LM	$Ca(NO3)_2$		



شکل ۱- اثر متقابل شوری و منابع پتاسیم تکمیلی بر ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی. حروف انگلیسی یکسان عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Figure 1. Interaction of salinity and potassium sources on tomato plant height. The same English letters show no significant difference at the 5% level.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]



شکل ۲- اثر شوری بر تعداد میوه (A) و وزن خشک میوه (B) در بوته گوجه فرنگی. حروف انگلیسی یکسان عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Figure 2. Effect of salinity on fruit number (A) and fruit dry weight (B) in tomato plant. The same English letters show no significant difference at the 5% level.

.

وابسته به غلظت نمک نوع عملکرد متفاوت بود. با این وجود با توجه به نتایج به نظر می رسد کاربرد همرمان منابع فوق سبب کاهش اثرات مثبت نیترات پتاسیم بر کلروفیل کل شده است.

غلظت عناصر در اندام‌های گیاه گوجه‌فرنگی

سدیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شوری و منابع پتاسیم بر درصد غلظت سدیم ریشه و بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی معنی دار بود (جدول ۵). با افزایش تنش شوری غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی از نظر آماری افزایش یافت. در گیاهان S_2، درصد سدیم در ریشه نسبت به گیاهان شاهد بیش از ۱۵۰ درصد افزایش یافت. اگر چه چنین روندی نیز برای منابع پتاسیمی مشاهده شد اما در محیط واجد ۴۰ میلی مولار NaCl غلظت سدیم در گیاهانی که فقط با کلرید پتاسیم یا نیترات پتاسیم تیمار شده بودند به ترتیب ۸۷ و ۹۶ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافته بود ولی با گیاهان S_2 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. استفاده از منابع کلسیمی اثر معنی‌داری بر غلظت سدیم ریشه نداشت اما برهمکنش شوری، منابع پتاسیم و منابع کلسیم اثرات قابل توجه و معنی‌داری نشان داد. به عنوان مثال استفاده از نیترات کلسیم در شوری ۴۰ میلی مولار نمک سبب کاهش ۲۳ درصدی غلظت سدیم نسبت به گیاهان S_2 شد (جدول ۶). اما استفاده همزمان نیترات کلسیم و منابع پتاسیمی در شوری ۴۰ میلی مولار NaCl سبب افزایش تجمع سدیم در ریشه گردید. بیش‌ترین غلظت سدیم اندام هوایی در تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کم‌ترین آن در شوری صفر مشاهده شد. در خصوص منابع پتاسیمی، نتایج مشخص کرد که بیش‌ترین غلظت سدیم اندام هوایی با کاربرد نیترات پتاسیم همراه بود (شکل B۳) که بیش از دو برابر گیاهان کنترل بود.

پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شوری و منابع پتاسیم بر درصد پتاسیم ریشه و منابع پتاسیمی و اثر متقابل سه جانبه شوری، منابع پتاسیم و منابع کلسیم بردرصد پتاسیم اندام هوایی معنی دار بود و عامل شوری به تنهایی اثر معنی داری بر تجمع یا خروج پتاسیم در بخش هوایی ایجاد نکرد (جدول ۵). بیش‌ترین درصد پتاسیم ریشه در شوری صفر مشاهده شد و با اضافه شدن نمک در محیط غلظت پتاسیم در ریشه گوجه کاهش یافت. کاربرد منابع پتاسیم به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درصد پتاسیم ریشه و اندام هوایی شد و در این میان تاثیر کلرید پتاسیم بیش‌تر از نیترات پتاسیم بود (شکل A۳). به عنوان مثال در شوری ۲۰ میلی مولار نمک، استفاده ازکلرید پتاسیم و نیترات پتاسیم به ترتیب سبب افزایش بیش از ۴ و ۳ برابری درصد غلظت پتاسیم در مقایسه با گیاهان S_1 شد (جدول ۶).

کلسیم

آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر منابع کلسیم، پتاسیم و شوری در سطح ۱ درصد بر درصد کلسیم ریشه معنی دار بود. همچنین اثرات منابع کلسیم (در سطح ۱ درصد) و اثر متقابل منابع کلسیمی و شوری (در سطح ۵ درصد) بر میزان کلسیم اندام هوایی معنی‌دار شد (جدول ۵). کم‌ترین درصد کلسیم ریشه در تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد(شکل۳ D). بر این اساس بر خلاف ریشه، شوری تاثیر معنی داری بر تغییرات کلسیم در اندام هوایی نداشت لیکن میزان افزایش درصدکلسیم اندام هوایی در تیمار کلرید کلسیم همانند ریشه بیش از نیترات کلسیم بود. نتایج مشخص کرد که استفاده از منابع پتاسیم سبب کاهش غلظت کلسیم ریشه شد ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمار کلرید پتاسیم و نیترات پتاسیم مشاهده نشد (شکل ۳ C).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

جدول ۴- اثرات متقابل شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه. حروف انگلیسی یکسان عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

Table 4. Interaction effects of salinity, potassium and calcium sources on shoot and root dry weight. The same English letters show no significant difference at the 5% level.

وزن خشک ریشه Shoot dry weight (g)	وزن‌خشک‌اندام‌هوایی Shoot dry weight (g)	کلسیم Ca^{++} source	منابع پتاسیم K^{+} source	شوری Salt
5.25 A	16.91 A	Control	Control	Control
3.18 BC	9.76 BC	$CaCl_2$		
3.99 B	10.44 B	$Ca(NO3)_2$		
2.56 CD	5.65 D-G	Control	KCl	
1.41 EFG	5.96 D-G	$CaCl_2$		
0.88 E-H	3.89 F-I	$Ca(NO3)_2$		
1.67 DEF	6.35 DEF	Control	KNO_3	
1.25 E-H	5.92 D-G	$CaCl_2$		
0.62 FGH	2.47 IJ	$Ca(NO3)_2$		
1.4 EFG	7.75 CD	Control	Control	20 mM NaCl
1.06 E-H	5.86 D-G	$CaCl_2$		
1.42 EFG	6.74 DE	$Ca(NO3)_2$		
0.8 E-H	3.54 F-J	Control	KCl	
0.68 FGH	4.08 E-I	$CaCl_2$		
1.31 E-H	5.4 D-H	$Ca(NO3)_2$		
0.92 E-H	3.85 F-I	Control	KNO_3	
0.6 FGH	3.55 F-J	$CaCl_2$		
0.37 GH	2.41 IJ	$Ca(NO3)_2$		
0.6 FGH	2.7 HIJ	Control	Control	40 mM NaCl
0.24 H	1.7 IJ	$CaCl_2$		
1.77 DE	4.2 E-I	$Ca(NO3)_2$		
1.00 E-H	3.22 G-J	Control	KCl	
0.71 E-H	4.13 E-I	$CaCl_2$		
0.72 E-H	1.05 J	$Ca(NO3)_2$		
0.81 E-H	3.79 F-J	Control	KNO_3	
0.83 E-H	3.85 F-I	$CaCl_2$		
0.35 GH	1.96 IJ	$Ca(NO3)_2$		

بحث

در این مطالعه پاسخ‌های برخی صفات رویشی، فیزیولوژی و میزان جذب یون‌ها در پاسخ به تنش شوری و استفاده از منابع متفاوت پتاسیم و کلسیم برای کاهش اثرات تنش شوری بررسی شد. به عنوان یک پاسخ کلی به شوری، رشد گیاهان از چند مسیر شامل شوک اسمزی، یون سمی و تغییر توازن مواد غذایی کاهش می‌یابد. کاهش ارتفاع، قطر ساقه، وزن و به‌صورت کلی رشد گیاه در پاسخ به تنش شوری در بسیاری از گیاهان مانند جو (Mohammad et al., 2003)، گوجه فرنگی (Fatemi et al., 2010)، سورگوم (Forghani et al., 2018) گزارش شده است. کاهش رشد، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه در سطوح بالای شوری به عدم توسعه ریشه گیاه، کاهش پتانسیل اسمزی خاک و در نتیجه کاهش جذب آب و عناصر غذایی و افزایش سمیت یون‌های کلر و سدیم نسبت داده می‌شود (Ahmad et al., 2013; Hasanuzzaman et al., 2018). همچنین تحقیقات مشخص کرده است که شوری با کاهش سطح جیبرلین و اکسین و بالطبع کاهش تقسیم سلولی باعث کاهش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (Ahmad et al., 2013;. Forghani et al., 2020).

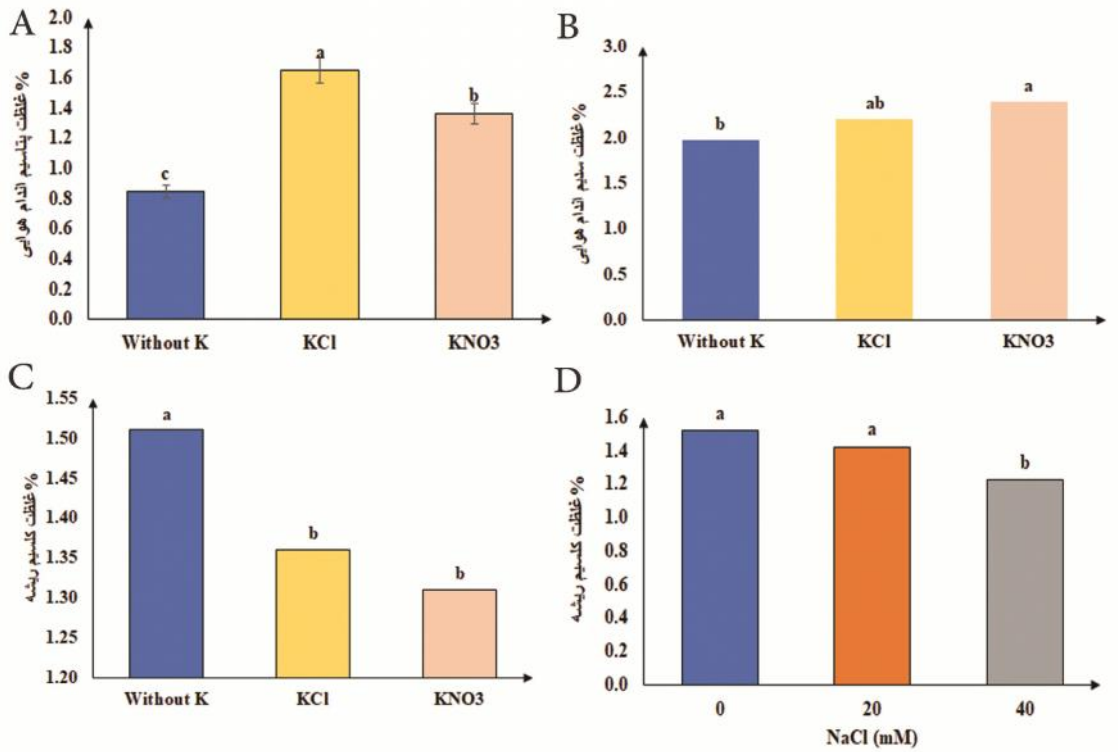
بنابراین علاوه بر پتانسیل آبی و سمیت یون‌ها، کاهش ارتقاع و رشد گیاه گوجه فرنگی در این تحقیق می‌تواند احتمالا مربوط به کاهش فیتوهورمون‌های مذکور نیز باشد. استفاده از منابع متفاوت پتاسیم و کلسیم اثرات متفاوت و گاه متضادی در پاسخ به تنش شوری ایجاد کرده است. اگرچه اثرات مثبت استفاده از کلسیم و پتاسیم کلسیمی در برخی از موارد مشاهده شده است اما نتایج تحقیقات مظلومی و همکاران (Mazloomi et al., 2011) نشان داد که کاربرد کلسیم تکمیلی توام با شوری وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه توت فرنگی را کاهش داد و کاربرد کلسیم تکمیلی در کاهش آثار منفی شوری موثر نبود و حتی در کاربرد همزمان شوری و کلسیم تکمیلی، کلسیم تکمیلی اثرات منفی شوری را تشدید کرد و بیش‌ترین کاهش عملکرد در افزودن توام کلسیم و شوری به تیمارها به‌دست آمد. این تحقیق

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر غلظت عناصر ریشه و اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی (* $p<0.05$, ** $p<0.01$)

Table 5. Results of variance analysis of the salinity, potassium and calcium sources effects on root and shoot ions tomato plants (* $p<0.05$, ** $p<0.01$).

منابع تغییر (Sources)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		ریشه Root			ساقه Shoot		
		سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلسیم Ca^{++}	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلسیم Ca^{++}
شوری(Salt)	۲	12.58**	0.53**	0.48**	18.88 **	0.29 ns	0.72 ns
پتاسیم (K)	۲	1.57	4.92**	0.29**	1.20 *	32.66**	0.64 ns
کلسیم (Ca)	۲	0.59 ns	0.25 ns	6.35**	0.04 ns	1.59 ns	34.40**
شوری× پتاسیم (Salt×K)	۴	0.24 ns	0.19ns	0.026 ns	0.46 ns	0.42 ns	2.04 ns
شوری× کلسیم (Salt×Ca)	۴	0.19 ns	0.007 ns	0.115 ns	0.25 ns	0.71 ns	6.94*
شوری× پتاسیم× کلسیم (Salt×K×Ca)	۱۲	1.43**	0.115 ns	0.047 ns	0.34 ns	1.79 **	1.74 ns
تکرار(Repeat)	۲	0.56 ns	0.104 ns	0.011 ns	0.03 ns	0.05 ns	7.34 ns
خطا (Error)	۵۲	0.44	0.098	0.045	0.24	0.65	2.44
ضریب تغییرات		39.15	39.53	33.84	39.53	64.04	41.46



شکل ۳- اثر منابع پتاسیم تکمیلی بر غلظت پتاسیم (A) و سدیم اندام هوایی (B) و کلسیم ریشه (C) و همچنین اثر شوری برغلظت کلسیم ریشه (D). حروف انگلیسی یکسان در هر نمودار، عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

Figure 3. Effect of potassium sources on accumulation potassium (A) and sodium (B) in shoot and calcium in root (C) as well as effects of salinity on root calcium concentration (E). The same English letters in each chart show no significant difference.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

جدول ۶- اثرات متقابل شوری، منابع پتاسیم و کلسیم تکمیلی بر غلظت سدیم ریشه و پتاسیم اندام هوایی. حروف انگلیسی یکسان در هر نمودار، عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

Table 6. Interaction effects of salinity, potassium and calcium sources on root sodium and shoot potassium concentrations. The same English letters in each chart show no significant difference.

پتاسیم‌اندام‌هوایی Shoot K^+ (%)	سدیم ریشه Root Na^+(%)	کلسیم Ca^{++} source	منابع پتاسیم K^+ source	شوری Salt
0.73 E	1.32 H	Control	Control	Control
0.7 E	2.56 FGH	$CaCl_2$		
0.78 E	1.50 FGH	$Ca(NO3)_2$		
1.87 DE	2.01 D-H	Control	KCl	
1.77 DE	1.69 FGH	$CaCl_2$		
4.78 A	1.61 FGH	$Ca(NO3)_2$		
3.74 AB	1.44 FG	Control	KNO_3	
2.56 BCD	1.78 FGH	$CaCl_2$		
1.94 CDE	1.85 E-H	$Ca(NO3)_2$		
0.79 E	2.33 D-H	Control	Control	20 mM NaCl
0.81 E	2.27 D-H	$CaCl_2$		
0.78 E	2.71 C-G	$Ca(NO3)_2$		
3.49 ABC	3.1 A-E	Control	KCl	
2.41 BCD	3.12 A-E	$CaCl_2$		
2.99 BCD	2.20 D-H	$Ca(NO3)_2$		
2.85 BCD	3.13 A-E	Control	KNO_3	
1.83 DE	2.46 C-H	$CaCl_2$		
1.68 DE	4.12 A	$Ca(NO3)_2$		
0.72 E	3.35 A-D	Control	Control	40 mM NaCl
0.66 E	2.81 B-F	$CaCl_2$		
0.71 E	1.60 FGH	$Ca(NO3)_2$		
2.61 BCD	2.47 C-H	Control	KCl	
2.51 BCD	2.30 D-H	$CaCl_2$		
3.12 BCD	3.98 AB	$Ca(NO3)_2$		
2.18 B-E	2.59 C-H	Control	KNO_3	
2.06 CDE	2.59 C-H	$CaCl_2$		
2.46 BCD	3.66 ABC	$Ca(NO3)_2$		

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

مشخص کرد که منابع پتاسیمی و کلسیمی در شرایط بدون تنش سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه شد و تنها استفاده از نیترات کلسیم در بالاترین سطح شوری سبب بهبود وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد. به نظر می‌رسد کاهش وزن خشک گیاه در تیمارهای تلفیقی پتاسیم و کلسیم مکمل احتمالا مربوط به افزایش غلظت یون‌ها در محلول غذایی، شوری و تغییر پتانسیل آبی سلول‌های ریشه و اختلال در فرایند انتقال یون‌ها به ریشه نسبت داد (Cuartero et al., 2006; Hasanuzzaman et al., 2018). در خصوص کودهای نیتراته برخی از مطالعات افزایش عملکرد با مصرف مقادیر اضافی نیتروژن در شرایط شور گزارش کرده‌اند (Hasanuzzaman et al., 2018). محلول‌پاشی نیترات پتاسیم و نیترات کلسیم باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی توت‌فرنگی شد. در این مطالعه نیز در بیشترین غلظت کلرید سدیم، کاربرد کلرید کلسیم باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی شد در حالی‌که کاربرد نیترات کلسیم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گردید. به نظر می‌رسد نیترات احتمالا با ممانعت از جذب کلر می‌تواند اثرات شوری را کاهش دهد (Akram et al., 2009).

نتایج تحقیقات بر گیاه آفتابگردان نشان داد استفاده از پتاسیم به صورت خاکی در سطوح پایین تا متوسط (۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش ارتفاع بوته در آفتابگردان شده است ولی کاربرد مقادیر بالای پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد (Mirzapour et al., 2003). همچنین کاربرد پتاسیم در شرایط شوری متوسط (۵ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش ارتفاع سورگوم که مقاومت مناسبی به خشکی و شوری دارد را به همراه داشت (Sadeghi Lotfabadi et al., 2010). مشابه نتایج حاضر استفاده از نمک‌های کلرید پتاسیم و کلسیم در کاهش ارتفاع بوته‌های گوجه‌فرنگی نیز مشاهده شد (Mokhtary et al., 2010) که احتمالا اثر مثبت این عناصر بر مقاومت به شوری گیاه، تحت الشعاع شوری ایجاد شده ناشی از نمک‌های کلرید و نیترات پتاسیم قرار گرفته است. همانند یافته‌های این تحقیق،کاربرد کلسیم و پتاسیم در شرایط بدون تنش باعث کاهش قطر ساقه گوجه فرنگی گردید و همین‌طور در تیمارهای شوری کاربرد پتاسیم و کلسیم در شوری بالا مانع کاهش قطر ساقه شد (Fatemi et al., 2010). در مقابل محققان (Sadeghi Lotfabadi et al., 2010) مشاهده کردند شوری باعث کاهش معنی‌دار قطر ساقه در سورگوم شده و با کاربرد پتاسیم قطر ساقه افزایش پیدا کرده است. بنابراین و با توجه به اثرات متفاوت منابع کلسیمی و پتاسیمی و شوری به نظر می‌رسد اثرات منابع کلسیم و پتاسیم بر ارتفاع، قطر و رشد گیاه وابسته به گونه و شدت تنش شوری است.

در خصوص وزن میوه به نظر می‌رسد که تنش شوری توانایی فتوسنتز گیاهان را کاهش و سبب توسعه‌ی بافت مردگی برگ و تسریع در پیری آن می‌شود. بنابراین جذب کربوهیدرات‌های لازم برای تولید میوه کاهش می‌یابد (Cuartero et al., 2006). گزارش‌های متعددی از کاهش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت تنش شوری وجود دارد (Ahmad et al., 2013). عکس العمل گیاهان به تنش شوری از نظر کلروفیل برگ در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت بوده است. معمولا با افزایش شوری میزان شاخص کلروفیل برگ همانند این تحقیق کاهش می‌یابد. شوری از طریق آسیب به کلروفیل‌های برگ و ایجاد اختلال در امر سنتز کلروفیل‌ها باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (Abogadallah, 2010; Hasanuzzaman et al., 2018). در ارزیابی سورگوم در شرایط تنش شوری، کاهش و افزایش محتوای کلروفیل کل و کلروفیل a و b در نمونه‌های مورد آزمایش گزارش شده است (Forghani et al., 2018). کاهش میزان کلروفیل ممکن است در ارتباط با اثر یون‌های کلرید و سدیم بر میزان عناصر غذایی ضروری باشد. کاهش آهن، منگنز، کلسیم و پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاهان در تنش شوری و کادمیم مشاهده شده است (Hasanuzzaman et al., 2018). همچنین کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است در ارتباط با افزایش فعالیت تجزیه کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز باشد. تجمع یون در برگ‌ها نیز تاثیر معکوسی بر غلظت کلروفیل دارد (Ahmad et al., 2013). محققان (Kafi et al., 2013) تایید نمودند که کاربرد کلسیم در *Kochia scoparia* سبب افزایش میزان کلروفیل در تیمارهای تحت تنش شوری شده است در حالی‌که کاربرد پتاسیم چنین تاثیری نداشت. مطابق با این نتایج کاربرد نیترات کلسیم در بالاترین غلظت شوری سبب افزایش کلروفیل شد که با افزایش وزن خشک نیز همراه بود. بنابراین افزایش وزن خشک در این تیمار ناشی از افزایش رنگیزه های فتوسنتزی با استفاده از نیترات کلسیم است. محققان گزارش کردند به‌طور کلی کاربرد کلسیم نسبت به کاربرد پتاسیم و کاربرد کلسیم همراه با پتاسیم موجب حفظ بهتر فتوسنتز و حفظ پایداری غشا در شرایط تنش شوری می‌شود (Kafi et al., 2013). با وجود اثرات مثبت نیترات کلسیم در بهبود کلروفیل و وزن خشک ریشه و ساقه، اثر معنی داری بر وزن میوه ایجاد نکرد. در برخی از پژوهش‌ها کاربرد کلسیم و پتاسیم تأثیرات متفاوتی بر تعداد میوه داشته است. کاربرد کلسیم باعث افزایش تعداد و عملکرد میوه در توت فرنگی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

شده است (Khayyat et al., 2007). ولی در تحقیق حاضر تأثیر مثبت یا منفی از کاربرد این عناصر مشاهده نگردید. عدم تاثیر کاربرد کلسیم تکمیلی بر عملکرد میوه توسط برخی پژوهشگران ذکر شده است (Hasanuzzaman et al., 2018). حتی کاربرد کلسیم تکمیلی بیش‌ترین اثر منفی را بر روی تعداد میوه توت فرنگی و عملکرد میوه گذاشت (Mazloomi et al., 2011). دیگر محققان (Cengiz Kaya et al., 2001) کاهش وزن میوه توت‌فرنگی با کاربرد کلرید سدیم را گزارش کردند و نشان دادند که کاربرد کلسیم سبب بهبود عملکرد میوه در شرایط شور می‌شود. محققان دیگر (Rubio et al., 2009) نشان دادند افزودن پتاسیم در شرایط متوسط شوری به محلول غذایی باعث افزایش تعداد میوه شد که افزایش تعداد میوه در تیمارهای ۲ الی ۷ و ۱۴ میلی‌مولار پتاسیم بیشتر از تیمار ۰/۲ میلی‌مولار پتاسیم بود. در مطالعه آن‌ها تعداد میوه تحت تاثیر کلسیم قرار نداشت.

افزایش غلظت سدیم در اندام‌های گیاهان مختلف بخصوص گوجه‌فرنگی (Cuartero et al., 2006) در پاسخ به تنش شوری گزارش شده است. بهم خوردن نسبت‌های یونی گیاه در شرایط شوری، حاصل اثر رقابتی یون‌های سدیم و پتاسیم در جذب است و بدین ترتیب سمیت سدیم فراهم می گردد (Ahmad et al., 2013). در گیاهان افزایش غلظت سدیم در بافت‌ها تا حد آستانه، بعنوان یک پاسخ مفید در تنظیم اسمزی ذکر شده است. با این وجود در گیاهان حساس به شوری همانند گوجه‌فرنگی افزایش غلظت سدیم با تجمع این یون در بخش‌های متفاوت گیاه و کاهش رشد همراه بود (Hochmuth & Hochmuth, 2001). در چندین مطالعه، با افزایش پتاسیم در محیط، غلظت سدیم در بخش هوایی توت‌فرنگی در پاسخ به تنش شوری کاهش یافت (Kaya et al., 2001; 2002). در مقابل اضافه شدن پتاسیم به محلول‌های غذایی با ۶۰ mM NaCl و ۳۰ تغییری در غلظت سدیم در ریشه گوجه فرنگی نداشت (Fatemi et al., 2010). چنین روندی در حضور NaCL در این تحقیق مشاهده شد. تاثیر منابع پتاسیم بر غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی گوجه فرنگی در این تحقیق می تواند ناشی از رقابت سدیم و پتاسیم برای ورود از طریق ناقل‌های غشایی دانست که افزایش انتقال سدیم به اندام هوایی را به‌دنبال خواهد داشت (Ahmad et al., 2013; Cuartero et al., 2006). با توجه به اثرات مثبت استفاده از منابع پتاسیم در گیاهان مختلف، در مقابل مطالعات نشان دادند که تغذیه پتاسیم اندکی بیش از حد بحرانی باعث افزایش مقدار یون پتاسیم و سدیم در بخش هوایی گیاهانی همچون آفتابگردان (Akram et al., 2009) و *Sesbania aculeate* (Karimi et al., 2008) شده و سمیت یون‌ها و تشدید اثرات تنش ایجاد شد. همچنین کاربرد نیترات در گوجه‌فرنگی در پاسخ به تنش شوری با افزایش غلظت سدیم اندام هوایی همراه شد (Song & Fujiyama, 1996). چنین روندی در استفاده از نیترات پتاسیم در این تحقیق نیز مشاهده شد که به نظر وابسته به سرده، گونه، غلظت شوری و غلظت منابع مورد استفاده است.

به‌صورت کلی، محتوای پتاسیم بافت‌های گیاهی به دلیل رقابت با سدیم با افزایش شوری در بیشتر گیاهان و بخصوص گوجه‌فرنگی به‌شدت کاهش می‌یابد (Ahmad et al., 2013; Cuartero et al., 2006). فعالیت آنزیم های موجود در سیتوپلاسم حساسیت زیادی به نمک دارد و لذا حفظ نسبت زیاد پتاسیم به سدیم در سیتوسول، یک نیاز اساسی برای رشد گیاه در شرایط شوری زیاد است (Hasanuzzaman et al., 2018). بر این اساس مطالعات در گیاهان مختلف و گوجه‌فرنگی بیانگر این است که کاربرد پتاسیم در محیط می‌تواند با افزایش معنی‌دار پتاسیم ریشه با توجه به رقابت دو عنصر همراه شود (Fatemi et al., 2010). در برخی از تحقیقات گذشته کاربرد کلسیم در شرایط شوری باعث افزایش پتاسیم در ریشه شده است در حالی‌که در تحقیق حاضر چنین تاثیری مشاهده نشد. مکانیسم مقاومتی در بعضی گیاهان یا گونه‌های یک گیاه در پاسخ به تنش شوری، انتقال بیشتر پتاسیم از ریشه به بخش اندام هوایی است و بدین صورت اثرات منفی تنش شوری را مدیریت می‌نمایند (Hasanuzzaman et al., 2018). افزایش غلظت پتاسیم اطراف ریشه، از طریق کاهش اثر رقابتی سدیم بر جذب پتاسیم، موجب افزایش میزان جذب پتاسیم به وسیله ریشه و انتقال آن به بخش هوایی می‌شود (Gong et al., 2020). در مطالعه‌ای بر جو، مصرف پتاسیم باعث کاهش میزان سدیم و افزایش درصد پتاسیم بافت اندام هوایی شد (Akbari et al., 2006). لذا با توجه به نتایج به نظر می‌رسد احتمالا با فزونی یافتن یون پتاسیم در محیط و بنابراین افزایش جذب پتاسیم در ریشه و همچنین انتقال موثر پتاسیم به بخش هوایی، سطح پتاسیم در بخش اندام هوایی را حفظ کرده و بنابراین عدم کاهش پتاسیم در اندام هوایی در گیاهان تیمار شده با منابع پتاسیمی می تواند ناشی از این مکانیسم باشد.

تغییرات کلسیم در پاسخ به تنش شوری در گیاهان متفاوتی بررسی شده است. غلظت سدیم در محلول خارجی باعث کاهش پتاسیم و کلسیم در بافت‌های بسیاری از گیاهان می‌شود. اعتقاد بر این است که در غلظت‌های بالای نمک وابسته به نوع گیاه، کاهش کلسیم در اندام گیاهی صورت می گیرد (Gong et al., 2020) که این تغییرات وابسته به سطح شوری، نوع گیاه و اندام مورد بررسی است. در این مطالعه نیز فقط در ریشه و در سطوح بالای NaCl کاهش کلسیم مشاهده شد که می‌تواند ناشی از رقابت سدیم، پتاسیم و کلسیم در جذب توسط ریشه و نرخ انتقال آن به اندام هوایی باشد (Gong et al., 2020; Hasanuzzaman et al.,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

2018). اثرات و قدرت پتاسیم در کاهش کلسیم بافت‌های گیاهی قبلا نیز گزارش شده است (Hasanuzzaman et al., 2018). با این وجود نتایج مخالف نیز وجود دارد. کاربرد پتاسیم در گوجه‌فرنگی باعث افزایش غلظت کلسیم ریشه شد (Fatemi et al., 2010). افزایش کاهش غلظت کلسیم و پتاسیم به‌دلیل اثر ناهمسازی سدیم با پتاسیم یا کلسیم در مکان‌های جذبی ریشه، تاثیر سدیم بر انتقال پتاسیم و کلسیم به آوند چوبی و انتقال به بخش هوایی یا محدود شدن فرایندهای جذبی است (Ahmad et al., 2013). لذا کاهش درصد کلسیم ریشه در این مطالعه با وجود منابع پتاسیمی، احتمالا بیانگر انتقال بیشتر کلسیم به بخش هوایی است. نتایج مشابهی در گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی (Fatemi et al., 2010) و توت فرنگی (Mazloomi et al., 2011) گزارش شده است. افزایش کلسیم با کاربرد کلسیم نیز سبب افزایش کلسیم در اندام هوایی گوجه‌فرنگی شد (Fatemi et al., 2010). کاربرد کلسیم موجب حفظ پایداری غشا و کنترل ورود و خروج انتخابی یون‌ها می‌شود مقادیر بالای کلسیم می‌تواند موجب کاهش نفوذ سدیم به غشا پلاسمایی شود. کاهش میزان ورود سدیم توسط کلسیم موجب کاهش تجمع سدیم از طریق انتقال غیر فعال می‌شود. غلظت بالای کلسیم در شرایط شور باعث کاهش انتقال سدیم به اندام هوایی می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2018). بنابراین افزایش غلظت کلسیم با استفاده از منابع خارجی احتمالا اثر رقابتی سدیم را تعدیل کرده است و افزایش کلسیم در ریشه و اندام هوایی و احتمالا انتقال بیشتر به بخش هوایی را به همراه داشته است. از طرفی با توجه به اثرات مثبت نیترات کلسیم بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت بیشترین غلظت NaCl، به نظر می‌رسد کود نیترات کلسیم در شرایط تنش شوری بهتر از کلرید پتاسیم باشد. در این تحقیق اثرات متفاوت منابع پتاسیمی و کلسیمی بر مقاومت به شوری گیاه گوجه فرنگی مطالعه شد. با توجه به نتایج، شوری باعث کاهش رشد و تولید محصول گردید. اما با توجه به به نتایج حاصله می توان بیان کرد که از بین منابع پتاسیم و کلسیم به نظر می‌رسد استفاده از نیترات کلسیم در مقایسه با موارد دیگر با افزایش کلروفیل کل، وزن خشک و تعدیل در نسبت‌های یونی بخصوص سدیم، پتاسیم و کلسیم می‌تواند اثرات شوری را در گیاه گوجه فرنگی کاهش دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان از زحمات گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی دانشگاه گیلان و دانشگاه علامه طباطبایی اردبیل که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند، نهایت قدردانی و تشکر را دارند.

REFERENCES

Abogadallah, G.M. 2010. Antioxidative defense under salt stress. Plant Signaling and Behavior 5: 369-374.

Ahmad, P., Azooz, M. & Prasad, M. N. V. 2013. Salt stress in plants: signalling, omics and adaptations: Springer Science & Business Media, 495 pp.

Akbari, G.A., Foughi, B., Adim, H., Mokhtasi Bid Goli, A., Rahimian Mashhadi, H.R. & Zand, E. 2006. Investigation of morphophysiological aspects wheat cultivars on their yield augmentation released during past 50 years. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13: 58-66

Akram, M.S., Ashraf, M. & Akram, N.A. 2009. Effectiveness of potassium sulfate in mitigating salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 204: 471-483.

Cuartero, J., Bolarin, M., Asins, M. & Moreno, V. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. Journal of Experimental Botany 57: 1045-1058.

Fatemi, M., Hashemimajd, K., Esmaeili, G. & Khosgoftarmanesh, A. 2010. The effect of adding potassium, calcium and silicon to the nutrient solution on tomato resistance to salinity in hydroponic culture. (M.Sc. dissertation.), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, 90 pp.

Forghani, A.H., Almodares, A. & Ehsanpour, A.A. 2018. Potential objectives for gibberellic acid and paclobutrazol under salt stress in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench cv. sofra). Applied Biological Chemistry 61: 113-124.

Forghani, A.H., Almodares, A. & Ehsanpour, A. A. 2020. The role of gibberellic acid and paclobutrazol on oxidative stress responses induced by In vitro salt stress in sweet sorghum. Russian Journal of Plant Physiology 67: 555-563.

Ghahremaninejad, F., Hoseini, E. & Fereidounfar, S. 2021. Cities in drylands as artificial protected areas for plants. Biodiversity and Conservation 30: 243-248.

Gong, Z., Xiong, L., Shi, H., Yang, S., Herrera-Estrella, L.R., Xu, G. & Qin, F. 2020. Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency. Science China Life Sciences 63: 635-674 .

Gorgi, M., Zahedi, M. & Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. The effects of potassium and calcium on the response of safflower to salinity in hydroponic nutrient solution. Water and Soil Science 14: 1-7.

Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K. & Hawrylak-Nowak, B. 2018. Plant nutrients and abiotic stress tolerance: Springer, Singapore, 590 pp.

Heidarpour, S., Abbaspour, N., Mohammadkhani, N. & Mosavi pornaki, S. 2021. The effect of salt stress on ion accumulation, photosynthesis and compatible solute contents in four grapevine (*Vitis vinifera*) genotypes. Nova Biologica Reperta 7: 400-410.

Hochmuth, G.J. & Hochmuth, R.C. 2001. Nutrient solution formulation for hydroponic (perlite, rockwool, NFT) tomatoes in Florida. HS796. Univ. Fla. Coop. Ext. Serv., Gainesville, Pp: 1-10.

Jenkins, J.A. 1948. The origin of the cultivated tomato. Economic Botany 2: 379-392 .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]
[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]

Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis: CRC press, 384 pp.

Kafi, M., Nabati, J., Zare Mehrjerdi, M., Goldani, M., Khaninejad, S., Keshmiri, E. & Norooziyan, A. 2013. Effect of calcium and potassium on amelioration of negative effects of salinity on some physiological characteristics *Kochia* (*Kochia scoparia*). Environmental Stresses in Crop Sciences 5: 181-192.

Karimi, H., Abdolzadeh, A. & Sadeghipour, H.R. 2008. Effects of potassium nutrition on sesbania aculeate plants grown in greenhouse under salinity. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 6: 158-170

Kaya, C., Kirnak, H. & Higgs, D. 2001. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). Journal of Plant Nutrition 24: 1457-1471.

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. & Saltali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Scientia Horticulturae 93: 65-74 .

Kaya, C., Tuna, A.L. & Yokaş, I. 2009. The role of plant hormones in plants under salinity stress. In M. Ashraf, M. Ozturk & H. R. Athar (Eds.), Salinity and Water Stress: Improving Crop Efficiency. Dordrecht: Springer Netherlands. Pp: 45-50

Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M. & Rajaee, S. 2007. Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2: 539-544.

Mazloomi, F., Ronaghi, A. & Karimian, N. 2011. Influence of salinity and supplementary calcium on vegetative growth, fruit yield and concentration of some nutrients in hydroponically-grown strawberry. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 2: 51-62

Mirzapour, M.H., Khoshgoftar, A.H., Mirnia, S.K., Bahrami, H.A. & Naeini, M.R. 2003. Interactive effects of potassium and magnesium on growth and yield of sunflower in a saline soil. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 17: 132-139

Mohammad, M.J., Malkawi, H.I. & Shibli, R. 2003. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. Journal of Plant Nutrition 26: 125-137 .

Mokhtary, I., Abrishamchi, P. & Ganjali, A. 2010. Ameliorative effects of $cacls_2$ and $caso_4$ on growth, content of solouble proteins, solouble sugars, proline and some mineral nutrients (Na^+, k^+) in leaves of *Lycopersicon esculentom* var mobile under salt stress. Iranian Journal of Biology 23: 62-72

Navarro, J.M., Martínez, V. & Carvajal, M. 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. Plant Science 157: 89-96 .

Nejadhabibvash, F. & Rezaee, M.B. 2021. The effect of salinity on seed germination, early seedling growth and anatomical structure of *Beta vulgaris*. Nova Biologica Reperta 7: 419-430.

Rubio, J., Garcia-Sanchez, F., Rubio, F. & Martinez, V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca_2^+ fertilization. Scientia Horticulturae 119: 79-87.

Sadeghi Lotfabadi, S., Kafi, M. & Khazaei, H.R. 2010. Effects of calcium, potassium and method of application on sorghum (*sorghum bicolo*r) morphological and physiological traits in the presence of salinity. Journal of Water and Soil 24: 385-393.

Song, J.Q. & Fujiyama, H. 1996. Ameliorative effect of potassium on mice and tomato subjected to sodium salinization. Soil Science and Plant Nutrition 42: 493-501.

Zaman, B., Niazi, B., Athar, M. & Ahmad, M. 2005. Response of wheat plants to sodium and calcium ion interaction under saline environment. International Journal of Environmental Science and Technology 2: 7-12.

*****

How to cite this article:

Forghani, A., Forghani, A.H., Altafi, M., Hashemi Majd, K. & Sofalian, O. 2021. The effects of different sources of potassium and calcium on yield and ionic balance of tomatoes under salinity stress in hydroponic cultivation. Nova Biologica Reperta 8: 206-219. (In Persian).

فرقانی، ا.، فرقانی، ا.ح.، الطافی، م.، هاشمی مجد، ک. و سفالیان، ا. ۱۴۰۰. اثرات منابع متفاوت پتاسیم و کلسیم بر عملکرد و تعادل یونی گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری درکشت هیدروپونیک. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۸: ۲۱۹-۲۰۶.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24236330.1400.8.3.5.8]

[DOI: 10.52547/nbr.8.3.206]