نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۳۳ تا ۴۸

مقایسه صفات فیزیولوژیک دو رقم فلفل شیرین سبز و نارنجی تحت تنش شوری

شاداب پناهی[۱] و مریم حقیقی[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر شوری بر فیزیولوژی فلفل دلمه‌ای، آزمایشی در دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. این پژوهش به‌منظور بررسی صفات فیزیولوژیکی دو رقم فلفل دلمه‌ای سبز (Patron) و نارنجی (Paramo) تحت تیمار شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای شامل چهار سطح شوری (آبیاری با آب معمولی، آبیاری با آب‌شور ۱/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم) و دو رقم فلفل، در محل گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که افزایش سطح شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در فلفل دلمه‌ای نارنجی شد و بیشترین میزان فعالیت این آنزیم به تیمار ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر رقم نارنجی تعلق داشت. فلفل دلمه‌ای سبز در همه سطوح شوری نسبت به فلفل دلمه‌ای نارنجی دارای محتوای نشاسته بیشتری بود. همچنین با افزایش روند شوری میزان عناصر پتاسیم ریشه و شاخساره و میزان سدیم شاخساره در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد. با افزایش سطوح شوری، روند افزایشی در میزان پرولین و فنل مشاهده شد. همچنین افزایش سطوح شوری سبب کاهش معنی‌دار میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه شد. با افزایش سطوح شوری مقدار آبسیزیک اسید و کارتنوئید در برگ افزایش یافت. به‌طورکلی شوری با باعث کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدان و فنل گیاه در مدت کوتاه شد و رقم نارنجی نسبت به سبز مقاومت در مدت کوتاهتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، اسکوربات‌پراکسیداز، فنل، نشاسته

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

فلفل دلمه یک محصول مهم کشاورزی است که نه‌تنها به خاطر ارزش اقتصادی، بلکه به خاطر ارزش غذایی میوه‌های آن بسیار مورد توجه قرارگرفته است. اهمیت این گیاه به جهت وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل ترکیبات فنلی، ویتامین ث و کارتنوئیدها موجب خاصیت اشتها آوری و هضم غذا می‌شود و از بروز بسیاری از بیماری‌های قلبی، عصبی و سرطان جلوگیری می‌کند. به همین دلیل تمایل به مصرف میوه‌ی فلفل رو به افزایش است (۱). از سوی دیگر، فلفل به خاطر سازگاری با اقلیم‌های کشت مختلف و تفاوت رقم‌ها در شکل، اندازه، رنگ و تندی میوه در سراسر جهان پرورش داده می‌شود (۱۱).

تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، شوری، دمای بالا و در معرض آلودگی محیطی بودن، مهم‌ترین و بزرگ‌ترین عامل محدودکننده رشد می‌باشند و باعث کاهش شدید عملکرد می‌شوند (۱۱). تنش شوری جز اولین تنش‌های محیطی است که گیاهان با آن مواجه‌اند و شوری خاک یکی از مشکلات اصلی کشاورزی در دنیاست که نه‌تنها تولید بیشتر محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد، بلکه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز تأثیر می‌گذارد، درنتیجه حاصلخیزی زمین‌های قابل‌کشت به‌صورت جزئی یا کلی از بین می‌رود (۱۳). اما آنچه اهمیت این تنش را بیش از سایر تنش‌های محیطی مشخص می‌کند، دائمی بودن اثرات تنش شوری است. از این نظر که برخلاف دیگر تنش‌های محیطی که گیاه در بخشی از دوره‌ی رشد خود با آن مواجه می‌شود، تنش شوری کل دوره رشدی گیاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. اثر بازدارندگی شوری به دو صورت کاهش پتانسیل آب ریشه و از این طریق کاهش جذب آب و املاح توسط ریشه و انباشته شدن یون‌ها با غلظت زیاد در بافت‌های گیاهی که ممکن است ایجاد سمیت کرده و یا تعادل غذایی را بر هم بزند، بروز می‌کند (۱۳). نکته مهم این است که فلفل گیاهی حساس به شوری است و آستانه تحمل به شوری آن بین ۱ تا ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر است که افزایش سطح شوری منجر به کاهش عملکرد در گیاه می‌شود (۱۱). بنابراین با توجه به ارزش غذایی و افزایش کشت فلفل در سراسر دنیا، پژوهش حاضر جهت شناسایی سازوکارهای فیزیولوژیک گیاه فلفل دلمه‌ای برای مقابله با تنش شوری و مقایسه تأثیر تنش شوری بر دو رقم فلفل دلمه‌ای نارنجی و سبز انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه‌ی آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۶، به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار شوری (آبیاری با آب معمولی، آبیاری با آب‌شور ۱/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم) و دو رقم فلفل دلمه‌ای سبز و نارنجی و سه تکرار انجام شد. تعداد ۸۰ گیاهچه فلفل دلمه‌ای رقم نارنجی (پارامو) و رقم سبز (پاترون) در مرحله سه برگی از شرکت تولید نشاء قائم خریداری و هر نشاء به یک گلدان پلاستیکی (قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۲سانتی‌متری) حاوی بستری از ماسه منتقل و نشاءها تا مرحله ۵-۴ برگ حقیقی با استفاده از کود کامل فلورال به نسبت یک در هزار در هفته اول و نسبت دو در هزار در هفته دوم و سوم محلول‌دهی و در شرایط دمایی ۲۷ درجه سلسیوس در روز و ۱۸ درجه سلسیوس شب و رطوبت نسبی در حدود ۴۰ درصد نگهداری شدند.۲۰ روز پس از استقرار نشاها و قبل از رفتن گیاه به فاز زایشی گیاهان به مدت پنج ساعت تحت تیمارهای شوری مورد نظر قرار گرفتند (۲۳). در پایان زمان تنش، نمونه‌برداری از گیاهان جهت اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیولوژیکی جمع‌آوری و در یخزن با دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. لازم به ذکر است در طول اعمال تنش شوری پارامترهای فتوسنتزی، کارایی کوانتومی فتوسیستم II، شاخص سبزینگی برگ، درصد نشت یونی برگ و شاخص‌های رشدی شامل وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر و خشک‌ریشه اندازه‌گیری شدند.

جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه پس از خارج کردن گیاهان از ظروف پلاستیکی ریشه آنها شسته شده و با

کمک چاقوی تیز از محل طوقه، بخش هوایی و ریشه از هم جدا شدند و هرکدام به کمک ترازوی دیجیتال توزین شدند. سپس شاخساره‌ها و ریشه‌ها به‌صورت جداگانه داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سلیسیوس خشک شده و سپس با ترازوی دیجیتال توزین شدند. رنگیزه‌ها توسط حلال استون ۱۰۰ درصد استخراج شده و سپس به کمک دستگاه اسپکتوفتومتر (UV-600A، ژاپن) میزان جذب نور در سه طول‌موج۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید قرائت شدند (۳).

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، وزن تر دیسک‌های برگی به‌دست آمد. بلافاصله دیسک‌های برگی در پتری‌دیش حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در محیطی تاریک نگهداری شدند. آب سطحی برگ‌ها با استفاده از دستمال خشک گرفته و وزن اشباع دیسک‌های برگی توزین شدند. به مدت ۴۸ ساعت دیسک‌های برگی در آون ۸۵ درجه سلیسیوس قرار داده و وزن خشک دیسک های برگی اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (۶).

برای اندازه‌گیری پتانسیل آب، برگ جدا شد و با استفاده از دستگاه بمب فشار (۳۱۱۵، ایالات متحده آمریکا) میزان پتانسیل آب برگ قرائت شد (۳۰). کارآیی کوانتومی فتوسیستم II نمونه‌ها در طول آزمایش با استفاده از دستگاه فلورسانس‌سنج (مدل OS-30 ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد (۱۶).

در طول آزمایش، سبزینگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD-502 plus، ژاپن) از روی برگ‌های بالغ انتهای بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی توسط دستگاه پروتابل اندازه‌گیری تبادلات گازی (مدل LCi, ADC Bioscientific Ltd ، ساخت کشور انگلستان) انجام گرفت (۵). این اندازه‌گیری بر روی برگ، گره‌های یک‌سوم انتهایی گیاه و در حالت اتصال برگ به گیاه در شرایط نوری کامل انجام شد. هر برگ به مدت حداقل ۲۰ ثانیه درون اتاقک اندازه‌گیری قرار گرفت تا گازها توسط تهویه کوچک داخل اتاقک به‌خوبی مخلوط شود و هوای پایدار و یکنواختی را برای فتوسنتز ایجاد کند و از طریق لوله‌های متصل به حسگرهای دی‌اکسید کربن فرآیند سنجش صفات فتوسنتزی انجام شود. اندازه‌گیری در شرایط آفتابی و نور کامل خورشید بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح انجام شد. با استفاده از این دستگاه پارامترهای سرعت فتوسنتز خالص (A)، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای (Ci)، هدایت روزنه‌ای (gs) و میزان تعرق (E) قرائت‌شده و با استفاده از روابط (۱) و (۲) پارامترهای هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی محاسبه شد.

(۱) کارآیی مصرف آب فتوسنتزی = سرعت فتوسنتز خالص/ میزان تعرق

(۲) هدایت مزوفیلی برگ = سرعت فتوسنتز خالص/ میزان دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای

اندازه گیری پرولین به روش بیتس و همکاران (۷) و قرائت در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600A، ساخت ژاپن) انجام گرفت. اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان به شیوه‌ی DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل--UV 600A، ساخت ژاپن) قرائت صورت گرفت و توسط رابطه شماره (۳) محاسبه شد (۲۱).

(۳) درصد ممانعت کنترلی = جذب کنترلی – جذب نمونه /جذب کنترل

برای اندازه‌گیری فنل خارج شده از ریشه و عصاره برگ به شیوه فولین سیوکالتو با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A، ژاپن) قرائت شد (۱۸). اندازه‌گیری نشت یونی به روش زوئا وهمکاران (۳۱) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان غلظت عنصر پتاسیم نمونه‌های گیاهی در مدت ۲۴ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شدند. برای هضم

نمونه‌ها از اسید کلریدریک دو مولار استفاده شد و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در نهایت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۱۲).

با ردیابی تجزیه پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر، فعالیت آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شد (از کووت کوارتز استفاده شد) (۲۷). برای این منظور ۲/۹۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار (pH= ۷)، ۴/۵ میکرو لیتر پراکسید هیدروژن و ۰/۰۵ میلی‌لیتر از عصاره آنزیم مخلوط شد (حجم نهایی محلول سه میلی‌لیتر بود). کاهش جذب نمونه به مدت یک دقیقه در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز با اندازه‌گیری افزایش جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد. بدین منظور سه میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (pH =۷) و ۴/۵۱ میکرولیتر از محلول پراکسیدهیدروژن و ۳/۳۵ میکرولیتر گایاکول و ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره درون کووت دستگاه اسپکتروفوتومتر ریخته و خوب تکان داده شد، سپس در مدت ۲ دقیقه جذب نمونه در طول طول‌موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. از سه میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم و ۴/۵۱ میکرو لیتر محلول H_2O_2 و ۳/۳۵ میکرولیتر گایاکول بدون عصاره به‌عنوان محلول کالیبر کننده دستگاه استفاده شد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از طیف سنجی و با اندازه‌گیری کاهش جذب در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر، در زمان ۳۰ ثانیه، تخمین زده شد (۲۰). برای شروع واکنش، سه میلی‌لیتر بافر واکنش شامل فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار، هیدروژن پراکسید ۰/۵ میلی‌مولار و محلول آسکوربات ۵ میلی‌مولار و ۰/۰۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند (۴).

فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز به این صورت بود که مقدار ۰/۰۵ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی و سه میلی‌لیتر بافر واکنش شامل بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار همراه با متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۶۳ میکرومولار و ریبوفلاوین ۱/۳ میکرومولار اضافه شد. نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در معرض نور لامپ فلورسنت ۳۰ وات قرار گرفت و پس از این مدت، شدت جذب نوری در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف سنج اندازه گیری شد (۲۴).

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری Statistix8 تجزیه شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد و رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی واریته بر غلظت پتاسیم و سدیم شاخساره و ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌داری بود. اثر اصلی شوری بر خصوصیات وزن تر ریشه در سطح احتمال ۵ درصد و وزن خشک ریشه، غلظت پتاسیم شاخساره و ریشه و غلظت سدیم شاخساره در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرمتقابل واریته و شوری برخصوصیات رویشی فلفل دلمه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی واریته بر خصوصیات شاخص سبزینگی و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد و محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیتی و تعرق در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی شوری بر خصوصیات کلروفیل فلورسانس، نشت الکترولیتی، فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرمتقابل واریته و شوری برخصوصیات فیزیولوژیکی فلفل دلمه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرمتقابل واریته و شوری برخصوصیات بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

با افزایش سطح شوری وزن‌تر شاخساره در رقم فلفل دلمه‌ای نارنجی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، اگرچه از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱- الف). کمترین میزان وزن خشک شاخساره در سطح شوری صفر و فلفل دلمه‌ای سبز مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱- ب).

جدول ۱. تجزیه واریانس واریته و شوری بر خصوصیات رویشی فلفل دلمه‌ای

منابع تغییرات	ددرجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن‌تر شاخساره	وزن تر ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن خشک ریشه	غلظت پتاسیم شاخساره	غلظت سدیم شاخساره	غلظت پتاسیم ریشه	غلظت سدیم ریشه
واریته	۱	۲۱/۳^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۶۳/۳**	۳/۶۵**	۸/۲۱**	۲۷/۶**
شوری	۳	۲۵/۴^{ns}	۳/۴۱*	۰/۷۰^{ns}	۰/۱۶**	۵۲/۷**	۰/۹۵**	۱۸/۷**	۱/۹۶^{ns}
واریته× شوری	۳	۱۰/۵**	۲/۸۵**	۱/۷۶**	۰/۲۳**	۵۲/۱**	۱/۱۴**	۱۳/۵**	۲/۶۹**
خطا	۱۶	۲۰/۶	۰/۹۶	۱/۴۶	۰/۰۱	۱/۱۴	۰/۰۶	۰/۹۲	۱/۶۵
ضریب تغییرات		۱۳/۳	۸/۸۸	۲۸/۲۳	۱۶/۹۹	۳/۵	۱۳/۰۳	۴/۳۷	۲۲/۸

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و * در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

جدول ۲. تجزیه واریانس واریته و شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی فلفل دلمه‌ای

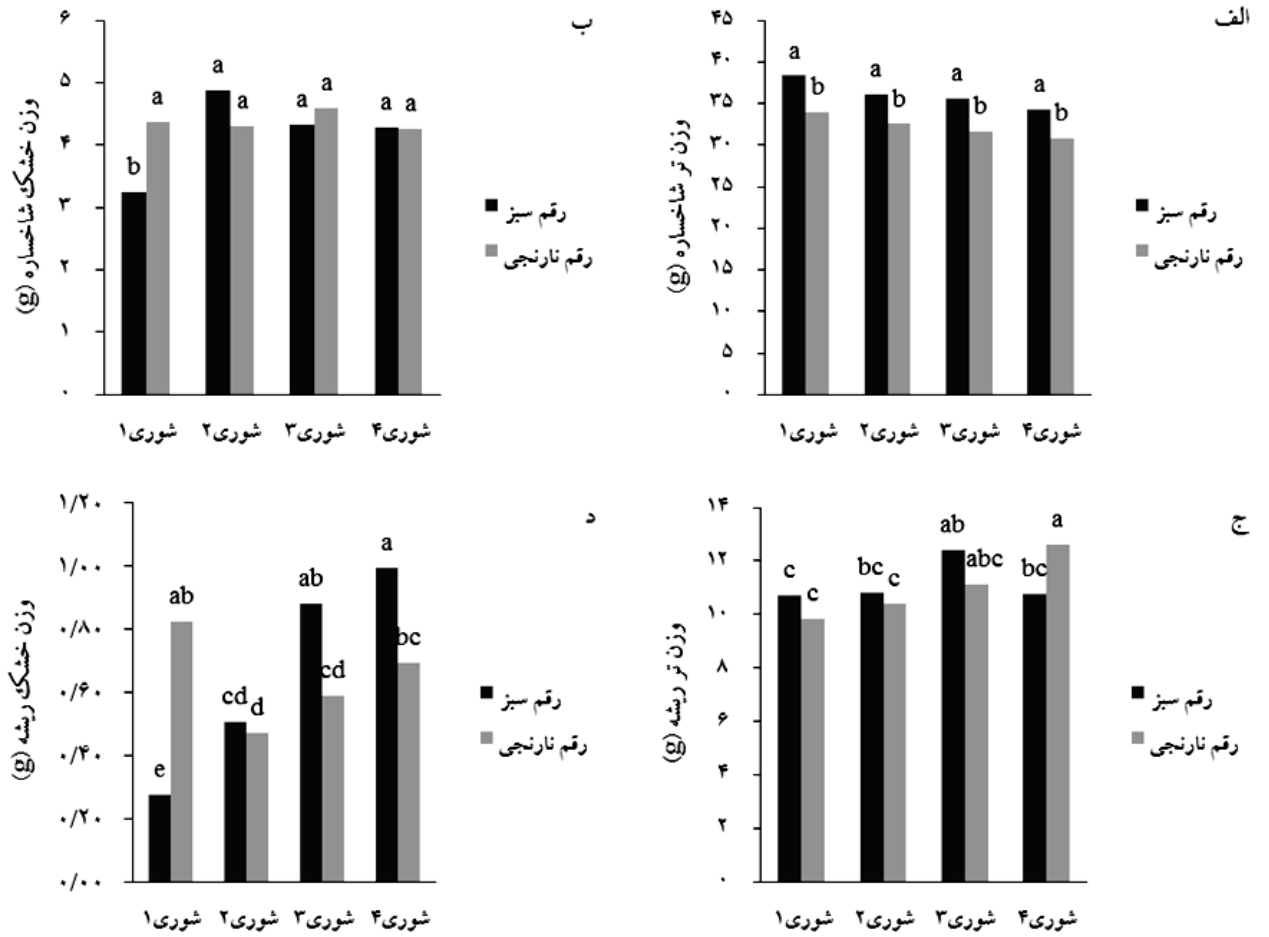
منابع تغییرات	ددرجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص سبزینگی	فلورسانس کلروفیل	محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیتی	فتوسنتز	تعرق	هدایت روزنه‌ای	دی‌اکسید کربن زیر روزنه
واریته	۱	۷۳/۵**	۰/۰۰۲۳^{ns}	۲۰/۹*	۳۷/۳*	۶/۱۸^{ns}	۱/۶۶*	۰/۰۰۶**	۶۰۱۷^{ns}
شوری	۳	۸/۸۲^{ns}	۰/۰۳۱**	۱/۷۵^{ns}	۸۰/۱**	۶/۶۱**	۱/۶۱**	۰/۰۰۱**	۱۸۴۰۰۳**
واریته× شوری	۳	۶۵/۳**	۰/۰۰۱۵**	۱۰۹**	۱۹۳/۷**	۱۳/۶**	۴/۰۴**	۰/۰۰۴**	۳۷۷۳۶**
خطا	۱۶	۵/۲۱	۰/۰۰۲۶	۲/۷۹	۵/۶۰	۱/۸۸	۰/۲۸	۰/۰۰۰۳	۵۵۷۶
ضریب تغییرات		۳/۹۶	۷/۲۵	۳/۰۲	۴/۰۲	۲۰/۶	۲۷/۲	۲۹/۴	۲۱/۹

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و * در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

جدول۳. تجزیه واریانس واریته و شوری بر خصوصیات بیوشیمیایی فلفل دلمه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		غلظت پرولین	فعالیت آنتی اکسیدانی	غلظت فنل	غلظت نشاسته	غلظت قند	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پراکسیداز	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز	فعالیت آنزیم سوپراکسیداز
واریته	۱	۰/۰۰۵*	۳۱/۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۶۷۰۵**	۱۵۸^{ns}	۱۲/۱**	۵/۴۹^{ns}	۱۲۳۶**	۸۲/۹^{ns}
شوری	۳	۰/۰۳**	۸۰/۲۶**	۰/۰۳**	۸۸۲۲**	۸۲۵**	۴/۵۲**	۸/۸۵**	۳۹۱**	۴۳/۶**
واریته× شوری	۳	۰/۱۳**	۱۰/۵۳**	۰/۰۱**	۴۹۹۸**	۳۰۵۶**	۶/۶۶**	۲/۵۵**	۱۰۱**	۱۷/۱**
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۹	۱۵/۸۶	۰/۰۰۰۸	۷۹	۴۰/۹	۰/۶۱	۱/۶۴	۵/۹۹	۳۳/۱
ضریب تغییرات		۱۴/۱	۶/۵۶	۱۶/۹	۱۷/۱	۱۵/۴	۲۱/۸	۲۰/۵	۱۵/۴	۹/۶۷

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و * در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است.

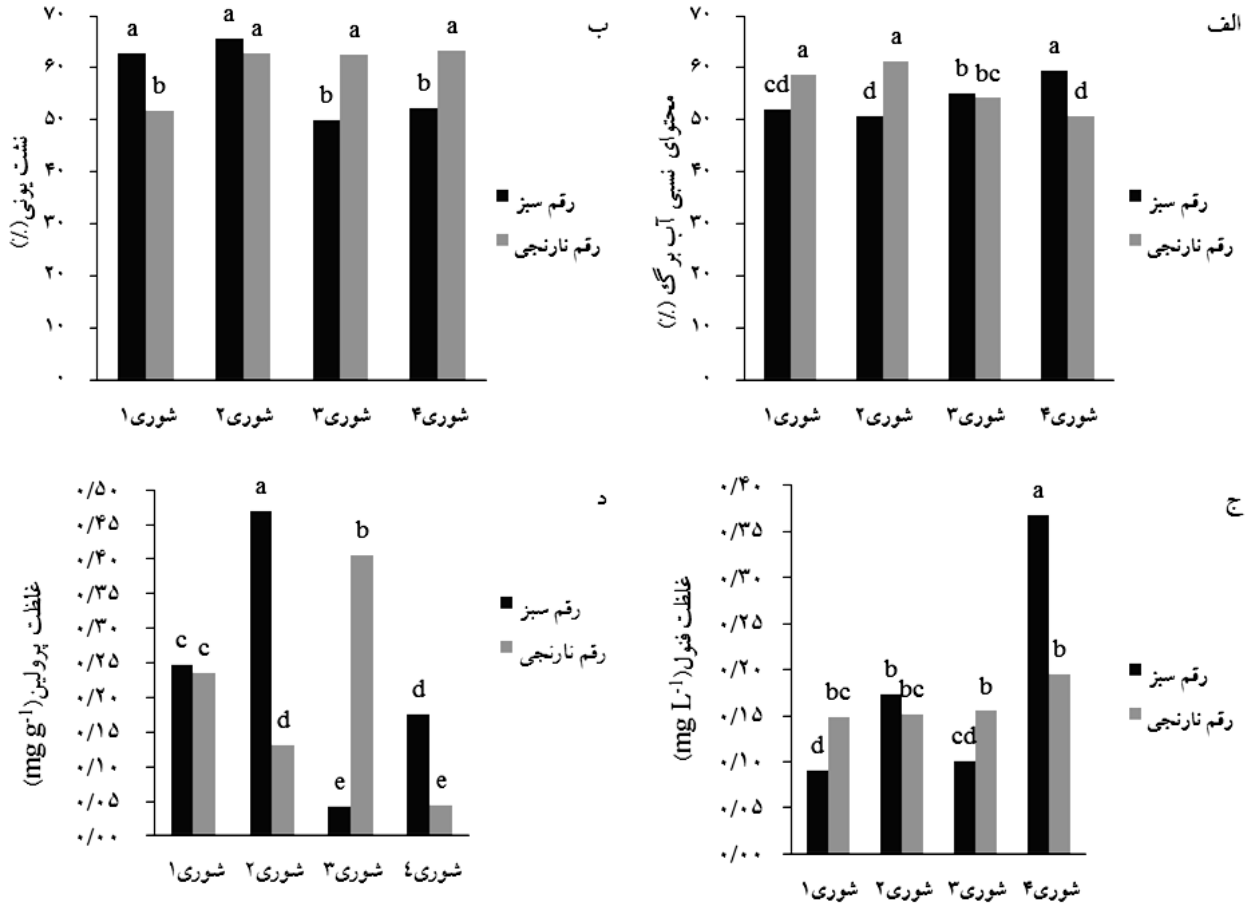


شکل ۱. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم‌های مختلف فلفل بر وزن‌تر شاخساره (الف)، وزن خشک شاخساره (ب)، وزن‌تر ریشه (ج)، وزن خشک‌ریشه (د). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

افزایش سطح شوری در فلفل دلمه‌ای نارنجی، میزان وزن تر ریشه را افزایش داد. بیشترین میزان وزن تر ریشه در تیمار ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر رقم نارنجی مشاهده شد این در حالی است که روند افزایش وزن تر ریشه در فلفل دلمه‌ای سبز نیز تا سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم ادامه داشت و در سطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت (شکل ۱- ج و د).

بر اساس (شکل ۲- الف) با افزایش به سطوح شوری ۳ و ۴ در فلفل دلمه‌ای نارنجی، محتوای رطوبت نسبی در مقایسه با شاهد به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. کمترین محتوی آب نسبی برگ در رقم نارنجی در سطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم سبز در سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم مشاهده شد. بیشترین میزان نشت یونی در رقم سبز در سطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان نشت یونی در رقم نارنجی در سطح شوری صفر دیده شد (شکل ۲- ب). غلظت فنل در دو رقم فلفل دلمه‌ای سبز و نارنجی در سطوح شوری مختلف متفاوت بود، به‌طوری که بیشترین غلظت فنل در تیمار ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین غلظت فنل در تیمار رقم سبز در شوری صفر (شاهد) مشاهده شد (شکل ۲- ج). نوع رقم بر غلظت پرولین در سطوح شوری مختلف تأثیرگذار بوده است به‌طوری‌که بیشترین غلظت پرولین در رقم سبز و سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۲- د).

بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان به‌ترتیب در رقم نارنجی درسطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم سبز در سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۳- الف).



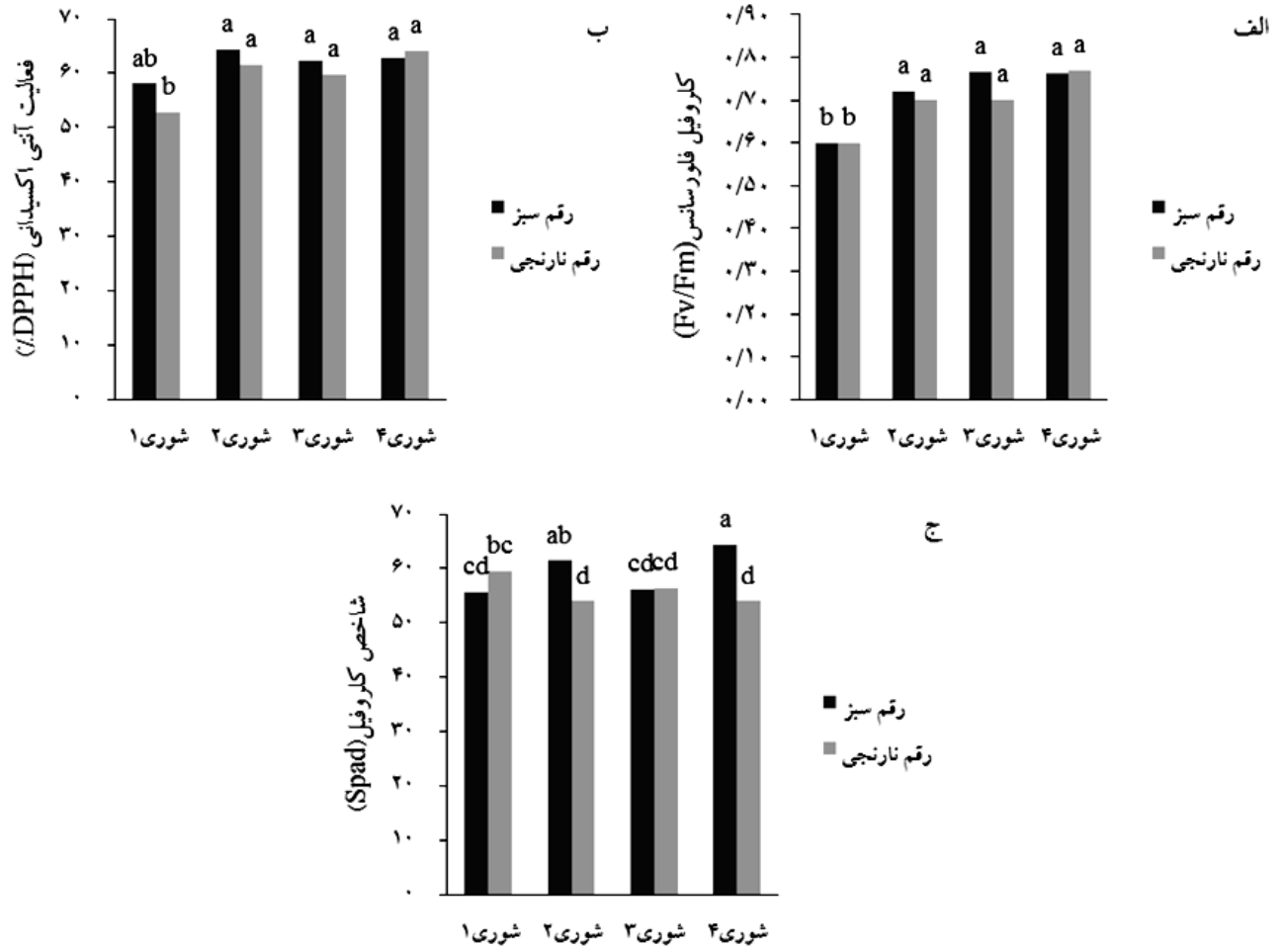
شکل ۲. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم‌های مختلف فلفل بر محتوای آب نسبی برگ (الف)، نشت یونی (ب)، غلظت فنل (ج)، غلظت پرولین (د). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

بیشترین میزان شاخص کلروفیل فلورسانس به‌ترتیب در رقم سبز درسطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و رقم سبز در سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۳– ب و ج)

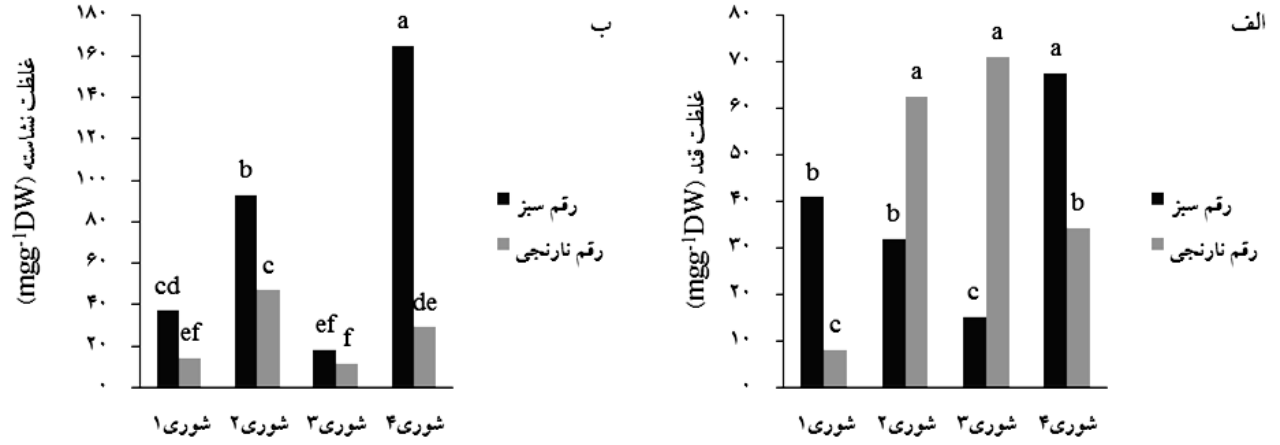
بیشترین غلظت قند به تیمار رقم سبز در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین غلظت آن به تیمار رقم نارنجی در شوری صفر تعلق داشت (شکل ۴– الف). فلفل دلمه‌ای سبز در همه سطوح شوری نسبت به فلفل دلمه‌ای نارنجی نشاسته بیشتری را دارا بود، به‌طوری‌که بیشترین غلظت نشاسته در تیمار رقم سبز در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۴– ب).

نتایج اثر متقابل شوری و رقم نشان داد که نوع رقم و سطوح شوری موجب تغییر در فعالیت آنزیم‌ها شد و بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم سبز و نارنجی در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۵– الف). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز به رقم سبز به شوری صفر تعلق داشت (شکل ۵– ب و ج). افزایش سطح شوری سبب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در رقم نارنجی شد و بیشترین میزان فعالیت این آنزیم به رقم نارنجی در سطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (شکل ۵– د).

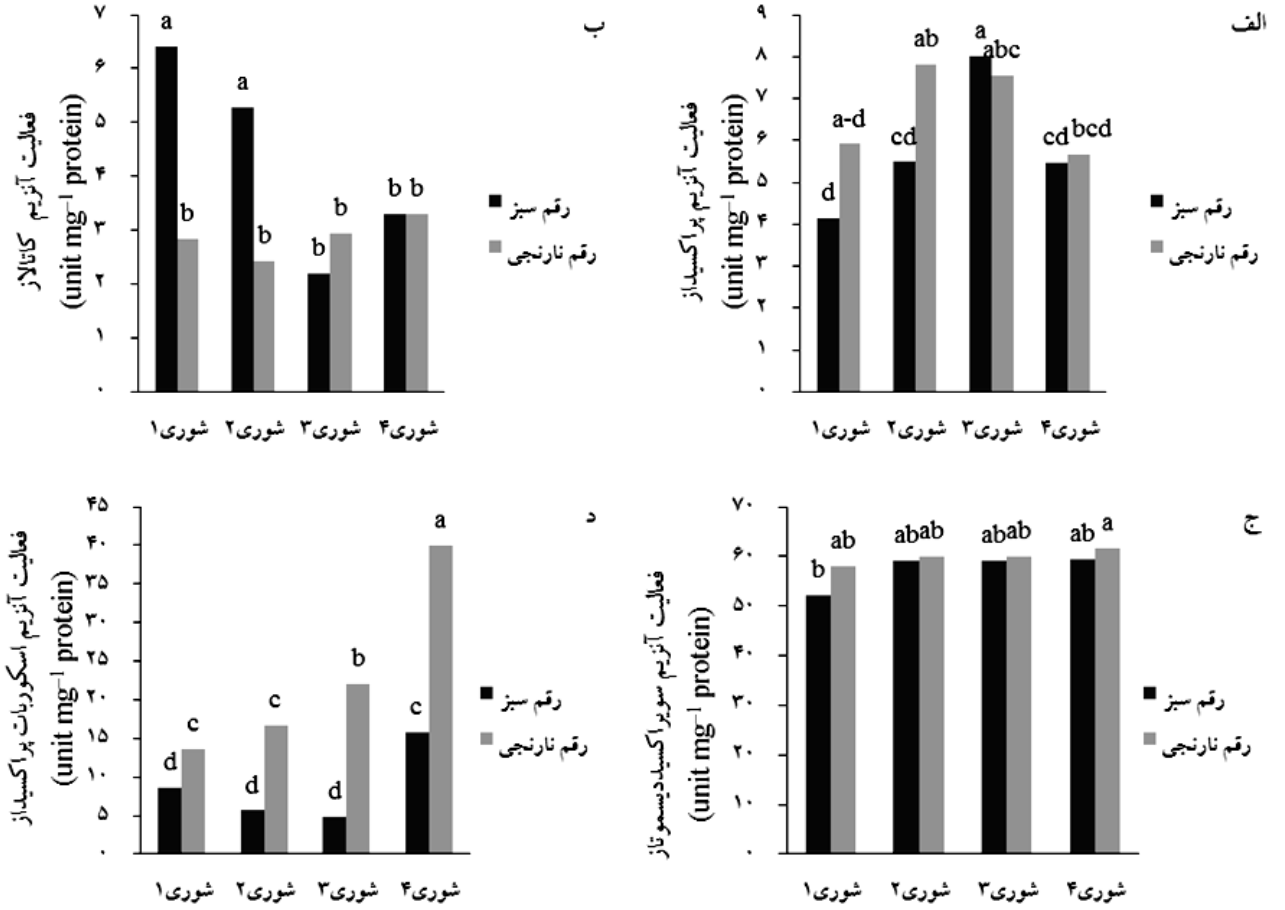
نتایج اثرمتقابل سطوح شوری و رقم نشان داد که کمترین میزان فتوسنتز به تیمار رقم سبز به شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت. همچنین با افزایش سطح شوری میزان فتوسنتز در فلفل دلمه‌ای سبز و نارنجی کاهش یافت (شکل ۶– الف). نمودار اثرمتقابل تیمارها نشان داد که بیشترین میزان هدایت



شکل ۳. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم‌های مختلف فلفل بر کلروفیل فلورسانس (الف)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (ب)، شاخص کلروفیل (ج). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.



شکل ۴. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم‌های مختلف فلفل برغلظت قند (الف)، غلظت نشاسته (ب). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند

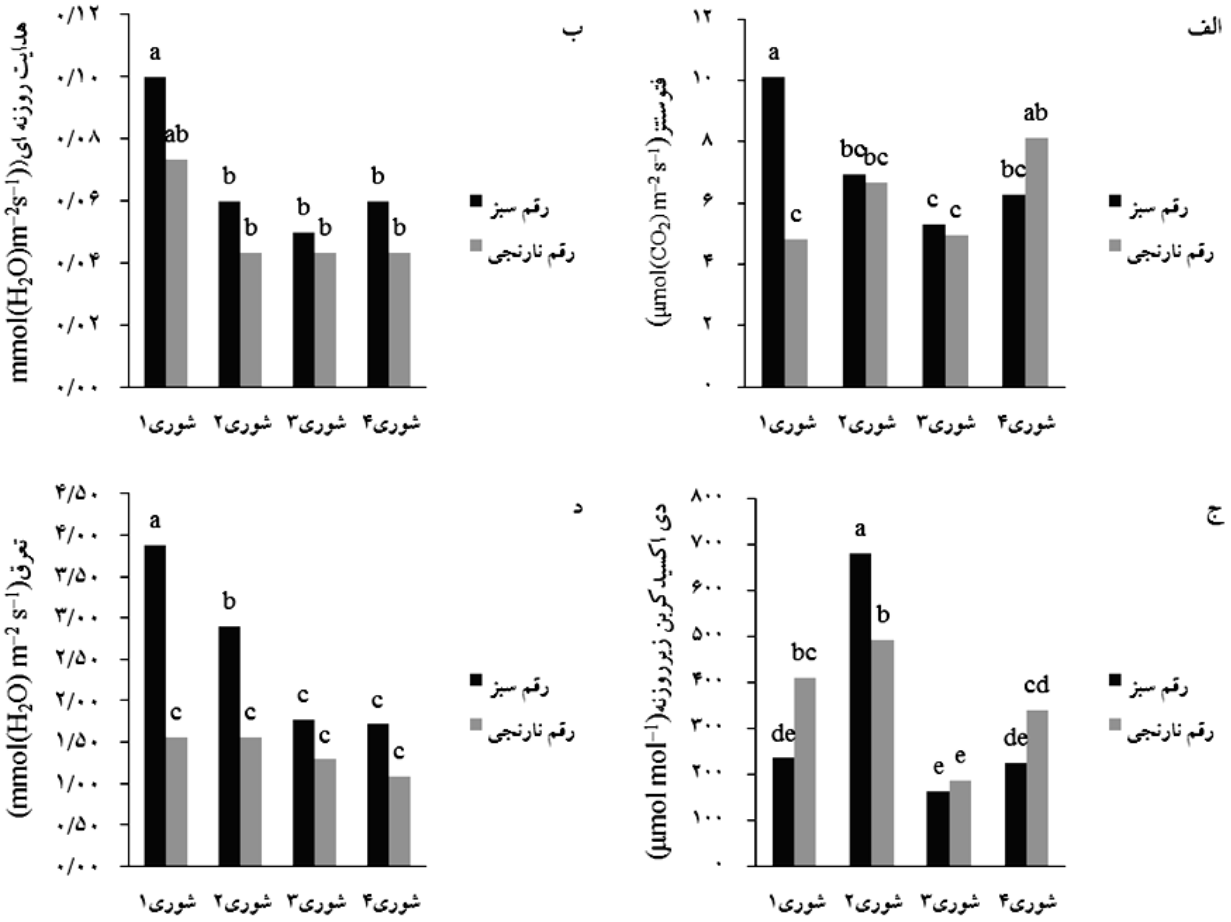


شکل ۵. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم‌های مختلف فلفل بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (الف)، فعالیت آنزیم کاتالاز (ب)، فعالیت آنزیم سوپراکسیدازدیسموتاز (ج)، فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز (د). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

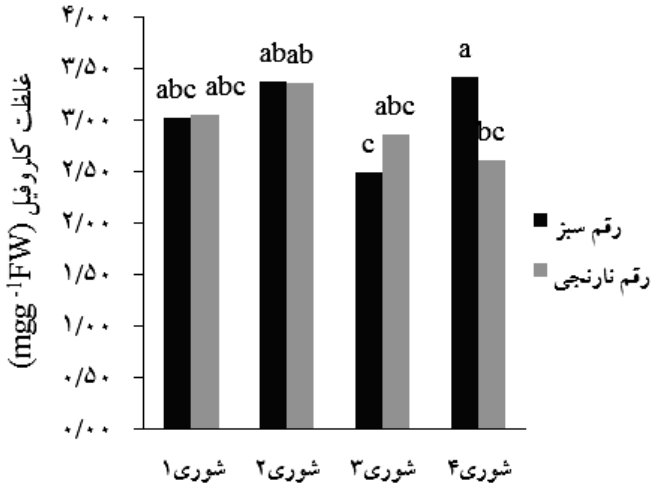
روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه به‌ترتیب به تیمارهای رقم سبز در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و در رقم سبز به سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (شکل ۶- ب و ج). همچنین در رقم نارنجی بین سطح ۱/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، درصورتیکه سطح ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری سبب کاهش معنی‌دار دی‌اکسید کربن زیر روزنه می‌شود. با افزایش سطح شوری در هر دو رقم فلفل رقم سبز و نارنجی میزان تعرق کاهش یافت (شکل ۶- د).

بیشترین غلظت کلروفیل به رقم سبز در شوری صفر تعلق داشت که ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار رقم سبز در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نداشت و کمترین میزان آن در تیمار رقم سبز در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۷)

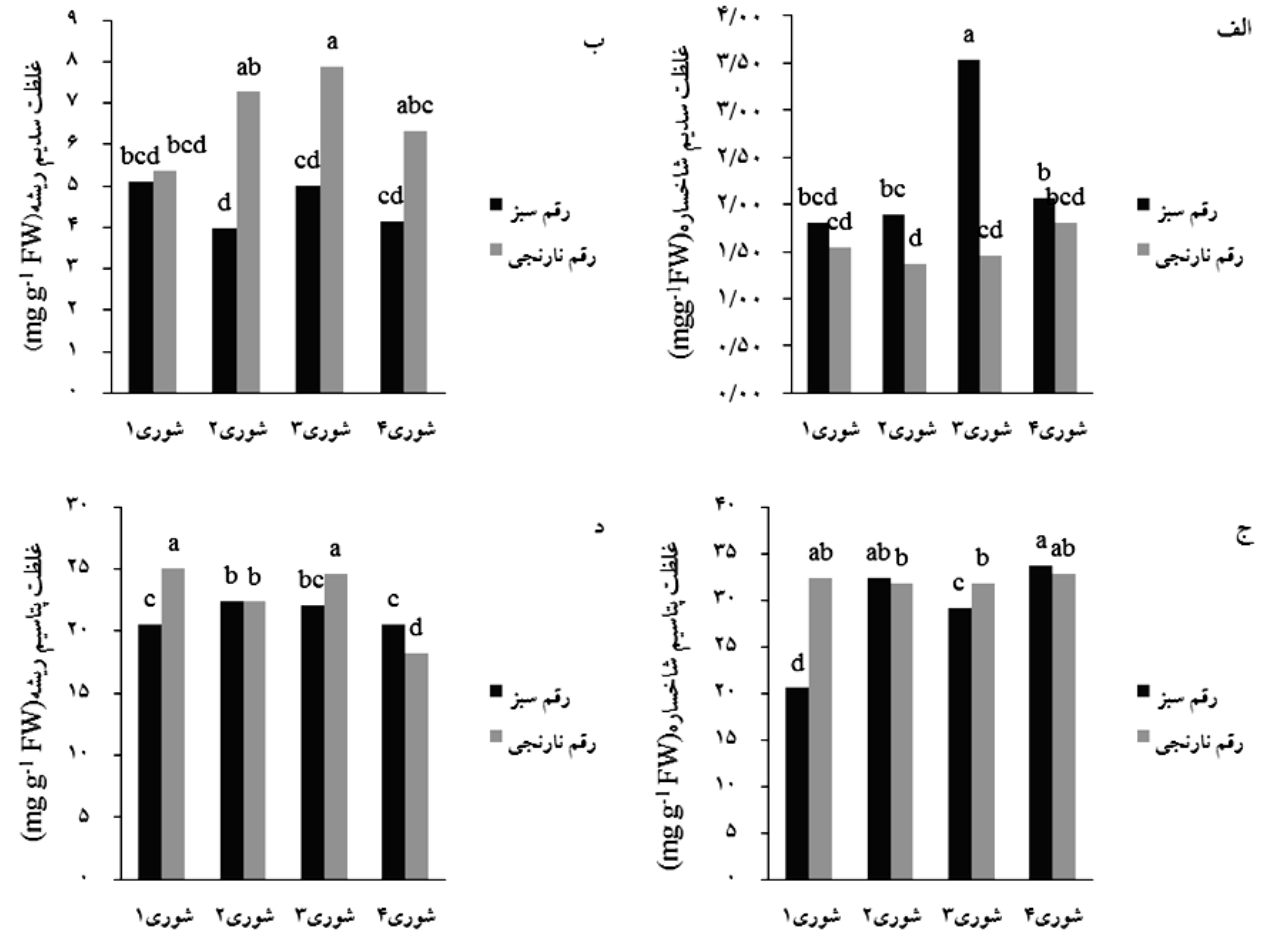
بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شدکه بیشترین غلظت سدیم در بخش شاخساره به رقم سبز در شوری ۴/۵ دسی- زیمنس بر متر و در بخش ریشه به رقم نارنجی در شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر تعلق داشت. کمترین میزان سدیم شاخساره در تیمار رقم نارنجی در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین غلظت سدیم ریشه در تیمار رقم سبز در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۸- الف و ب). نسبت پتاسیم به سدیم شاخساره تحت تأثیر رقم های استفاده شده



شکل ۶. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم ¬های مختلف فلفل بر بر فتوسنتز (الف) هدایت روزنه¬ای (ب)، دی‌اکسید کربن زیر روزنه (ج)، تعرق (د). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.



شکل ۷. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری رقم‌های مختلف فلفل بر غلظت کلروفیل. ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.



شکل ۸. اثرمتقابل سطوح مختلف شوری و رقم ¬های مختلف فلفل بر غلظت سدیم شاخساره (الف)، غلظت سدیم ریشه (ب)، غلظت پتاسیم شاخساره (ج)، غلظت پتاسیم ریشه (د). ستون‌هایی که در یک حرف متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD هستند.

قرار گرفت به‌صورتی که این نسبت به طورکلی در فلفل دلمه‌ای نارنجی بیش از فلفل دلمه‌ای سبز بود و بیشترین غلظت آن در تیمار رقم نارنجی در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین غلظت آن در تیمار رقم سبز در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۸- ج). تیمار رقم سبز در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین غلظت نسبت پتاسیم به سدیم را دارا بود که با تیمار رقم سبز در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت.

بحث

افزایش سطح شوری باعث افزایش وزن خشک ریشه شد که این نشان می‌دهد در شرایط تنش شوری ریشه دوانی فلفل یک مکانسیم دفاعی برای فرار از شوری در ناحیه سطحی خاک و به دنبال آن جذب عناصر مورد نیاز برای گیاه است. شوری اثر بیشتری بر کاهش رشد و وزن خشک شاخساره در مقایسه با ریشه دارد که می‌توان نتیجه گرفت شاخساره به شوری حساس‌تر از ریشه است. تحقیقات نشان داده بررسی رطوبت نسبی برگ یک فاکتور کلیدی در انتخاب گیاهان متحمل به تنش شوری است زیرا بیشتر بودن رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش به معنی جذب آب بیشتر و افزایش تورژسانس سلولی است (۱۴) و طبق نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که رقم سبز تحمل بهتری نسبت به افزایش سطوح شوری داشته

است. در پژوهشی میزان آب بافت گیاهان فلفل تحت تنش شوری افزایش یافت. آنها علت این افزایش را تجمع مواد آلی اسمزی دانسته و بیان کردند که وجود مکانیسم تنظیم اسمزی سبب حفظ ویژگی‌های ساختاری و عملکردی بافت می‌شود. بهبود میزان نسبی آب برگ می‌تواند ناشی از تجمع مواد اسمزی باشد (۱۴).

با افزایش سطوح شوری میزان نشت یونی در رقم نارنجی زیاد شد زیرا، تیمار شوری باعث کاهش یکپارچگی غشا سلولی و آزاد شدن الکترولیت‌ها و مواد درون‌سلولی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد، اسیدهای چرب موجود در غشا سلولی در سیالیت غشا بسیار تأثیرگذارند و تنش شوری باعث تغییر سیالیت و به دنبال آن افزایش نشت یونی می‌شود و در گونه‌های مناطق گرم اسیدهای چرب اشباع، بیشتر و درنتیجه نشت یونی کمتری وجود خواهد داشت (۲۸). از طرف دیگر می‌توان نتیجه گرفت که گیاهان تحت تنش، مکانیسم‌های دفاعی خاصی را از قبیل افزایش محتوای فنل کل در برابر تنش اکسیداتیو به کار می‌گیرند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی عمدتاً ناشی از ویژگی اکسیداسیون– احیای آنها است که می‌تواند نقش مهمی در جذب و خنثی کردن رادیکال‌های آزاد داشته باشد (۲۲) که در رقم سبز فلفل دلمه‌ای نیز این نتایج قابل‌رؤیت است. یکی از این سازوکارهای گیاهان برای غلبه بر تنش شوری، به‌وسیله افزایش یون‌های غیر آلی، تجمع محلول‌های سازگار یا حمایت‌کننده‌های اسمزی است (۹).

پرولین در تنظیم آب درون‌یاخته‌ای نقش دارد و پروتئین‌ها و غشای یاخته‌ای را از آسیب‌های غلظت زیاد یون‌ها حفظ می‌کند (۹). در پژوهش انجام‌شده با افزایش غلظت شوری در گیاه تجمع پرولین به‌صورت کلی در سطح ۲ و ۳ شوری در هر رقم افزایش یافت. طبق نتایج به‌دست آمده در شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم رقم سبز و شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر رقم نارنجی غلظت پرولین به‌شدت کاهش پیداکرده که علت آن را می‌توان در کاهش شدید توان سنتزی ناشی از کاهش شدید فتوسنتز در این گیاه در غلظت‌های بالای شوری دانست. به نظر می‌رسد تجمع زیاد پرولین، گیاه را قادر می‌سازد که تنش اسموتیک ناشی از شوری را تا حدی برطرف کند. همچنین زمانی که گیاه در شرایط پتانسیل آبی پایین قرار می‌گیرد، که ناشی از غلظت بالای نمک در محیط رشد آن است، پرولین به‌عنوان یک ذخیره انرژی و نیتروژن به کار می‌رود (۲۶).

با افزایش شوری شاخص کلروفیل فلورسانس به‌صورت کلی افزایش یافت که علت آن این است که شوری باعث تخریب کلروپلاست و باعث بی‌ثباتی رنگ‌دانه- پروتئین خواهد شد. روند کاهش سبزینگی برگ در رقم نارنجی به‌خوبی مشهود است که می‌توان علت آن را تا حدودی به خاطر کاهش جریان نیتروژن به بافت‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌هایی مثل نیترات ردوکتاز دانست. به‌طورکلی با افزایش تنش شوری میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد که در پژوهش‌های سایر محققان نیز این مورد ذکرشده که علت کاهش فتوسنتز تحت شرایط شوری تجمع یون‌های سدیم در برگ‌ها، تخریب کلروفیل، اختلال در هدایت روزنه‌ای بیان شده است.

نتایج حاصل از اثر تنش شوری بر روی رقم نارنجی نشان می‌دهد که با افزایش شوری غلظت نشاسته به طورکلی کاهش پیدا کرده است. تحت شرایط طبیعی کلروپلاست‌ها دارای دانه‌های نشاسته هستند. زمانی که تنش رخ می‌دهد، تیلاکوئیدها متورم شده و از حالت طبیعی خارج می شوند و تعداد و اندازه دانه‌های نشاسته کاهش می‌یابد (۱۷). کاهش غلظت نشاسته می‌تواند به دلیل تجزیه شدن آن به واحدهای کوچکتر و در نتیجه انباشتگی قندهای محلول در سلول باشد (۲).

افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو رقم متفاوت بوده است. در واقع پاسخ متفاوت ژنتیک این دو رقم به تنش شوری باعث این تفاوت است. به‌صورت کلی رقم سبز توانسته پراکسید هیدروژن بیشتری تولید کند، بنابراین از فعالیت بیشتر آنزیم کاتالاز خودداری کرده است اما در رقم نارنجی با افزایش سطح شوری افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده شد. کاتالاز با استفاده از مواد فنولیک به‌عنوان دهنده الکترون باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود. کاتالاز ازجمله آنزیم‌هایی

است که با افزایش میزان ROS ها فعالیتش افزایش می‌یابد و در مقادیر کم ROS فعالیت نمی‌کند. همچنین با افزایش سطوح شوری میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز در هر دو رقم افزایش یافت. همان‌گونه که محققان گزارش کردند میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز حدوداً ۳ برابر کاتالاز است بنابراین نقش مهم‌تری در حذف پراکسید هیدروژن به‌عنوان دهنده الکترون دارد و به‌صورت کلی می‌توان گفت که فعالیت این آنزیم نقش مهم‌تری در تنش شوری دارد (۱۰). در تأیید این نتایج گزارش‌های مختلفی مبنی برافزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با افزایش مقدار شوری در گیاهان آمده است، ازجمله در گل آهار مقدار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در شوری با هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد به‌ترتیب دو و سه برابر شد (۱۰). روند فعالیت آنزیمی رقم نارنجی در مورد فعالیت آنزیم پراکسیداز یک‌روند افزایشی است. پراکسیدازها در تمام گیاهان عالی گسترش یافته‌اند و نقش مهمی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی سلول دارند. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از فعالیت آنزیم‌ها می‌توان گفت به علت محدود بودن زمان تنش، مقاومت گیاه به سمت مکانسیم‌های دیگر رفته و از آنجایی‌که در مراحل ابتدایی تنش، گیاه دچار خشکی فیزیولوژیکی می‌شود ترکیباتی مانند غلظت پرولین، فنل، قند، هورمون‌ها افزایش پیدا می‌کنند و زمانی که تنش پیشروی می‌کند گیاه دچار تنش ثانویه اکسیداتیو می‌شود و سیستم آنزیمی فعالیت مناسب‌تری از خود نشان می‌دهد.

با افزایش سطوح شوری، مقدار فتوسنتز خالص در رقم سبز و تعرق در هر دو رقم در مقایسه با شاهد کاهش یافت. همچنین هدایت روزنه‌ای در رقم نارنجی تا سطح ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و در سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر در رقم سبز در مقایسه با شاهد کاهش داشت. فتوسنتز یکی از مهم‌ترین مسیرهای زیست شیمیایی در گیاهان محسوب شده که مواد غذایی را برای رشد آنها فراهم می‌کند. عامل‌های دیگری مانند کاهش پتانسیل آب برگ، برهم خوردن تعادل بین یون‌های سدیم و کلر با عنصرهای غذایی ضروری (۱۵) و نیز بسته شدن روزنه‌ها (۲۵) می‌تواند دلایل دیگری برای کاهش بازده فتوسنتزی در اثر تنش شوری باشد. تنش شوری، باعث جلوگیری از انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش تولید انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و به دنبال آن آسیب اکسیداسیونی به سیستم‌های نوری I و II فتوسنتز می‌شود (۲۸). محققان طی پژوهش‌های خود بیان نمودند که مقدار هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت دی‌اکسید کربن درون برگ، تحت تأثیر تنش شوری کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل تحت تیمار شوری سطح سوم (۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به سایر سطوح کاهش بیشتری داشته است و در رقم نارنجی این کاهش در سطح چهارم قابل رویت است.

دلیل کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش شوری، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آنها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی است. به نظر می‌رسد کاهش در پروتئین‌های غشایی خاص در شرایط تنش شوری، افزایش در فعالیت آنزیم کلروفیلاز و پراکسیداز از عوامل مؤثر در کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش شوری است. محققان در تحقیقات خود نشان دادند تخریب کلروفیل و اختلال در عملکرد چرخه‌های فیزیولوژیکی ساخت کلروفیل یکی از دلایل اصلی کاهش غلظت کلروفیل و درنتیجه فرآیند فتوسنتز تحت تأثیر تنش شوری است (۱۹). بررسی پایداری کلروفیل در شرایط تنش شوری یکی از سازوکارهای انتخاب ارقام متحمل به شوری است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روند تجزیه کلروفیل در رقم سبز برخلاف نتیجه‌های به‌دست آمده توسط سایر محققین بود که می‌توان گفت به‌علت ژنتیک رقم سبز یا مدت زمانی که این گیاه تحت تنش بوده تجزیه کلروفیل کمتر صورت گرفته است و شوری تأثیر زیادی بر روی ساخت آنزیم‌های تجزیه‌کننده نداشته است (۸). تغییر در غلظت کلروفیل a و b در طول تنش شوری به گونه گیاهی، تیمار شوری (نوع نمک) و سن گیاه بستگی دارد. از دیگر دلایل

کاهش غلظت کلروفیل در تنش شوری تأثیر در جذب یون‌هایی مانند منیزیم و آهن است که در ساختار کلروپلاست‌ها نقش اساسی دارند و بنابراین با کاهش جذب این یون‌ها ساخت کلروفیل کاهش می‌یابد، درنتیجه فتوسنتز گیاه هم کاهش پیدا می‌کند. از طرف دیگر در هنگام تنش، غلظت مواد تنظیم‌کننده رشد ازجمله آبسیزیک اسید، اتیلن و اکسین افزایش می‌یابند و موجب تحریک فعالیت کلروفیلاز می‌شوند (۱). غلظت سدیم با افزایش سطح شوری افزایش یافت. تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش شوری غلظت یون سدیم افزایش و غلظت یون پتاسیم کاهش می‌یابد و گیاهان متحمل به تنش شوری معمولاً سدیم کمتر و پتاسیم بیشتری در مقایسه با گیاهان حساس جذب می‌کنند. تحقیقات نشان داد که تجمع پتاسیم در برگ‌های گیاهان ازجمله گندم تحت تأثیر شوری موجب افزایش تحمل شوری شده زیرا یون پتاسیم قادر است اثرات منفی یون سدیم بر سلامت غشاهای سلولی را کاهش دهد (۲۹). در پژوهش انجام شده طی تنش شوری روند تغییر غلظت پتاسیم در اندام هوایی تقریباً ثابت بود که با پژوهشی که روی زیتون طی تنش شوری انجام شده بود تطابق داشت (۲۴).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی تحت تنش شوری در بازه پنج ساعته میزان جذب سدیم ریشه نسبت به شاخساره بیشتر بوده و از طرفی در رقابت بر سر جذب پتاسیم و سدیم طبق نتایج گرفته‌شده نسبت پتاسیم به سدیم افزایش‌یافته است. در رقم نارنجی بیشترین میزان جذب سدیم در ریشه است و این در حالی است که مقدار کمتری از آن به برگ‌ها انتقال‌یافته و همچنان میزان بیشتری جذب پتاسیم وجود دارد که این می‌تواند دلیل بر اثرپذیری کمتر این رقم نسبت به شوری باشد.

منابع مورد استفاده

1. Al-Garni, S. M. S. 2006. Increasing NaCl-salt tolerance of a halophytic plant Phragmites australis by mycorrhizal symbiosis. *Journal of Asian Earth Sciences* 1: 119-126.
2. Alaoui-Sosse, B., P. Genet, F. Vinit-Dunand, M. L. Toussaint, D. Epron and P. M. Badot. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Sciences Journal* 166: 1213-1218.
3. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
4. Askari, E. and P. Ehsanzadeh. 2015. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 4-12.
5. Bandeh-Hagh, A., M. Toorchi, A. Mohammadi, N. Chaparzadeh, G. H. Salekdeh and H. Kazemnia. 2008. Growth and osmotic adjustment of canola genotypes in response to salinity. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6*:* 201-208.
6. Barrs, H. D. and P. E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences* 15: 413-428.
7. Bates, L., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
8. Bhattacharjee, S. and A. Mukherjee. 2002. Salt stress-induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Science Research* 30: 279-287.
9. Blokhina, O., E. Virolainen and K. V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany* 91: 179-194.
10. Flexas, J., M. Ribas-Carbo, D. T. Hanson, J. Bota, B. Otto, J. Cifre, N. McDowell, H. Medrano and R. Kaldenhoff. 2006. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO_2 in vivo. *Journal of Plant* 48: 427-439.
11. Gammoudi, N., L. B. Yahia, B. Lachiheb and A. J. J. Ferchichi. 2016. Salt response in pepper (*Capsicum annuum* L.): components of photosynthesis inhibition, proline accumulation and K^+/Na^+ selectivity. *Journal of Aridland*

Agriculture 2: 1-12.
12. Hamada, A. M. and A. E. EL-enany. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum* 36: 75-81.
13. Huez-López, M. A., A. L. Ulery, Z. Samani, G. Picchioni, R. J. T. Flynn and S. Agroecosystems. 2011. Response of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: II. Nitrogen and water use efficiencies, and salt tolerance. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 757-763.
14. Jakab, G., J. Ton, V. Flors, L. Zimmerli, J. P. Metraux and B. Mauch-Mani. 2005. Enhancing Arabidopsis salt and drought stress tolerance by chemical priming for its abscisic acid responses. *Plant Physiology* 39: 267-274.
15. Keutgen, A. J. and E. Pawelzik. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. *Environmental and Experimental Botany* 65: 170-176.
16. Khayyat, M., A. Tehranifar, G. H. Davarynejad and M. Sayyari-Zahan. 2014. Vegetative growth, compatible solute accumulation, ion partitioning and chlorophyll fluorescence of 'Malas-e-Saveh' and 'Shishe-Kab' pomegranates in response to salinity stress. *Photosynthetica* 52: 301-312.
17. Kratsch, H. and R. R. Wise. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell & Environment* 23: 337-350.
18. McAdam, S. A., M. Manzi, J. J. Ross, T. J. Brodribb and A. Gomez-Cadenas. 2016. Uprooting an abscisic acid paradigm: Shoots are the primary source. *Plant Signaling & Behavior* 11: 652-659.
19. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment* 25: 239-250.
20. Nakano, Y. and K. Asada.1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
21. Pennycooke, J. C., S. Cox and C. Stushnoff. 2005. Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia× hybrida*). *Journal of Experimental Botany* 53: 225-232.
22. Pervaiz, Z., M. Afzal, S. Xi, Y. Xiaoe and L. Ancheng. 2002. Physiological parameters of salt tolerance in wheat. *Asian Journal of Plant Sciences* 4: 478-481.
23. Ranjbarfordoei, A., R. Samson and P. Van Damme. 2006. Chlorophyll fluorescence performance of sweet almond [*Prunus dulcis*] in response to salinity stress induced by NaCl. *Photosynthetica* 44: 513-522.
24. Rossi, L., A. Francini, A. Minnocci and L. Sebastiani. 2015. Salt stress modifies apoplastic barriers in olive (*Olea europaea* L.): a comparison between a salt-tolerant and a salt-sensitive cultivar. *Scientia Horticulturae* 192: 38-46.
25. Steduto, P., P. Albrizio, P. Giorio and G. Sorrentino. 2000. Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Journal of Experimental Botany* 44: 243-255.
26. Sudhakar, C., P. Reddy and K. Veeranjaneyulu. 1993. Effect of salt stress on the enzymes of proline synthesis and oxidation in greengram (*Phaseolus aureus* Roxb.) seedlings. *Journal of Plant Physiology* 141: 621-623.
27. Tabatabaei, S. 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae* 108: 432-438.
28. Tabatabaei, S. and P. Ehsanzadeh. 2016. Photosynthetic pigments, ionic and antioxidative behaviour of hulled tetraploid wheat in response to NaCl. *Photosynthetica* 54: 340-350.
29. Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant physiology, sinauer associates. MSc thesis. University of california, Los Angeles, USA.
30. Turner, N. C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation Science* 9: 289–308.
31. Zhao, D. Y., L. Shen, B. Fan, K. L. Liu, M.M. Yu, Y. Zheng, Y. Ding and J.P. Sheng. 2009. Physiological and genetic properties of tomato fruits from two cultivars differing in chilling tolerance at cold storage. *Food Chemistry* 74: 348–352.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 3, Fall 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Comparison of Physiological Traits of Two Sweet Pepper Cultivars under Salinity Stress

Sh. Panahi[1] and M. Haghighi[2*]

(Received: November 30-2021; Accepted: April 19-2022)

Abstract

In order to investigate the effect of salinity on the physiology of two cultivars of green and orange bell peppers, an experiment was conducted at the Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran in 2019. The experiment was a factorial experiment in a completely randomized design in the greenhouse, in which treatments included four salinity levels (irrigation with normal water, irrigation with saline 1.5, 4.5, and 6.5 dS/m). Increasing the salinity level increased the activity of the ascorbate peroxidase enzyme in orange bell pepper. The highest amount of activity of this enzyme was achieved in orange cultivar when grown in the presence of 6.5 dS/m saline water. Green bell peppers had a higher starch content than orange bell peppers at all salinity levels. Also, with increasing salinity, the K concentration of roots and shoots and Na concentration of shoots increased compared to the normal water irrigation condition. An increasing trend in proline and phenol concentrations was observed with increasing salinity level. Also, increasing salinity level significantly reduced transpiration, stomatal conductance and CO_2 concentration in the sub-stomatal space. With increasing salinity level, the abscisic acid and carotenoids concentrations in the leaves increased. In general, salinity led to adverse effects on an array of the examined physiological attributes of both genotypes, though, orange cultivar seemed to be more tolerant to the saline water, compared to the green pepper.

Keywords: Antioxidant, Ascorbate peroxidase, Phenol, Starch

1, 2. Former BSc student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir, Dr.hagh@yahoo.com