مقاله پژوهشی

پاسخ ارقام هلو پیوندشده بر پایه GN-15 به کاربرد اسیدهای آلی در شرایط تنش بی‌کربنات کلسیم

احسان اکبرپور[۱]، علی ایمانی[۲]، عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی*[۱]، منصوره شمیلی[۱]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[۲] پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات باغبانی، کرج

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۹/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۰/۲۱)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر اسید آلی بر تعدیل تنش بی‌کربنات کلسیم در سه رقم هلو روی پایه GN-15 انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کاملاً تصادفی طی سال‌های ۱۳۹۸- ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورها شامل ارقام هلو (رد هون، جی‌اچ هیل و برزگر)، بی‌کربنات کلسیم (صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و ترکیب اسیدهای آلی سیتریک، اگزالیک و مالیک (صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بود. تحت تنش بی‌کربنات کلسیم، میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و میزان کربوهیدرات افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل (۱/۷ میلی‌گرم بر گرم) و نسبت Fv/Fm (۰/۷۹) در رقم برزگر و در شرایط عدم تنش مشاهده شد. تحت تنش شدید بی‌کربنات کلسیم (۱۵ میلی‌مولار) برگ‌های رقم برزگر میزان آب نسبی بالاتری (۵۵/۷۷ درصد) را در مقایسه با سایر ارقام پیوندی نشان داد. اسیدهای آلی سبب بهبود میزان کلروفیل برگ، تجمع پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، سوپراکسیداز دیسموتاز و گلوتاتیون ردوکتاز) شد. همچنین کاربرد ۱۰ میلی‌مولار اسیدهای آلی سبب افزایش معنی‌دار عناصر فسفر، آهن، روی و منگنز گردید و شدت کلروز ناشی از کمبود آهن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. درنهایت، برزگر به‌عنوان متحمل‌ترین رقم به کلروز ناشی از کمبود آهن معرفی شد.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، کلروز، فلورسانس کلروفیل

مقدمه

از بین عوامل اصلی تأثیرگذار بر کیفیت آب، درجه قلیائیت آن، به‌دلیل اثر شدید بر pH خاک، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Albiac *et al.*, 2006). درجه قلیائیت آب نشان‌دهنده غلظت مواد قلیایی محلول است که دارای ظرفیت خنثی‌کنندگی اسیدها هستند (Geddie and Hall, 2019). pH قلیایی منجر به تشکیل اشکال نامحلول آهن و روی می‌شود، که به‌موجب آن، این عناصر از حالت قابل‌جذب برای گیاه خارج می‌شوند (Shahsavandi *et al.*, 2020).

وجود مقادیر زیاد بی‌کربنات در آب و خاک از دلایل اصلی کلروز کمبود آهن در گیاهان رشدیافته در خاک‌های آهکی است (Valipour *et al.*, 2020). در بادام تنش بی‌کربنات کلسیم به‌طور معنی‌داری سبب کاهش شاخص‌های رشدی و میزان کلروفیل شده است (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۹). در نهال‌های هلو (De La Guardia and Alcantara, 2002) و انگور (Ksouri *et al.*, 2007) تحت تیمار بی‌کربنات سدیم، کاهش

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: majiddastjerdy@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

میزان کلروفیل برگ گزارش شده است. در درختان سیب، آب آبیاری حاوی بی‌کربنات با غلظت بالاتر از ۵ میلی‌مولار موجب بروز اختلالات تغذیه‌ای شد (شهابی و ملکوتی، ۱۳۸۲). افزایش مقدار غلظت بی‌کربنات در آب آبیاری موجب کاهش مقدار کلروفیل و میزان آهن برگ، رشد ساقه و تعداد برگ جدید در نهال‌های زیتون و هلو شده است (Manul and Esteban, 2002). همچنین در دو رقم کیوی بی‌کربنات سبب تخریب کلروپلاست و کاهش وزن خشک برگ و شاخه شد. ضمن اینکه علائم زردی ناشی از کلروز آهن، ۳۵ روز پس از اعمال تنش، در هر دو رقم مشهود بود (Wang *et al*., 2019).

از راه‌های تعدیل اثرات منفی قلیائیت آب بر گیاهان، می‌توان به افزودن اسید به آب، مدیریت آب با تغییر میزان آبیاری، استفاده از ارقام مقاوم و برخی روش‌های به‌زراعی یا به‌باغبانی جهت افزایش تهویه خاک اشاره کرد. افزودن اسیدهای آلی به آب آبیاری می‌تواند به‌عنوان راهکاری ایمن و پایدار برای کاهش اثرات منفی تنش بر رشد گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. مهمترین مزیت آن در مقایسه با کلات‌های EDTA و EDDHA سهولت تجزیه توسط میکروارگانیزم‌ها و عدم اثرات سوء است، لذا در بلندمدت آسیبی به محیط زیست و اکوسیستم وارد نمی‌کند. اسیدهای ارگانیک با شکستن باندهای کاتیون- اکسیژن ساختارهای معدنی و کاهش pH ریزوسفر، سبب آزادشدن کاتیون‌های غذایی غیرقابل دسترس می‌گردند (Adeleke *et al*., 2012). نتایج پژوهش Tahjib و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد اسید سیتریک به‌صورت محلول‌پاشی یا همراه با آب آبیاری، سبب کاهش اثرات منفی ناشی از تنش بی‌کربنات شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بهبود بخشیده است Macias-Benitez و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند تیمار ریزوسفر با اسیدهای آلی سیتریک، اگزالیک و لاکتیک با افزایش حلالیت فسفر و جمعیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک (این میکروارگانیزم‌ها از اسیدهای آلی به‌عنوان منبع کربن و منبع انرژی در متابولیسم خود استفاده می‌کنند) همراه بوده است.

برای مقابله با کلروز آهن ناشی از آهک، از پایه‌های مقاوم به کلروز آهن نیز استفاده می‌شود (Tagliavini *et al*., 2001). پایه هیبرید TNG (هیبرید بین بادام رقم تیتان و هلوی نماگارد) نسبت به پایه‌های نماگارد و مونتکلار، تحمل بالایی نسبت به کلروز ناشی از کمبود آهن در شرایط قلیایی نشان داده است (Egilla *et al*., 1994). پایه GN-15 (گارنم) یکی از پایه‌های هیبرید رویشی بادام Garfi و هلو Nemared است که به‌صورت تجاری تکثیر می‌گردد و تحمل نسبتاً بالایی به آهک در خاک دارد. این پایه در اروپا در سطح وسیعی استفاده می‌گردد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۸) در این مطالعه با هدف بررسی تحمل ترکیبات پایه پیوندی مختلف به حضور بی‌کربنات کلسیم در آب آبیاری و نقش اسیدهای آلی در تعدیل خسارات ناشی از تنش بی‌کربنات کلسیم، پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی سه رقم هلوی جی‌اچ‌هیل، رد هون و برزگر پیوندشده بر پایه GN-15 به کاربرد اسیدهای آلی تحت تنش بی‌کربنات کلسیم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۸- ۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل (سه رقم، سه سطح بی‌کربنات کلسیم و دو سطح اسید آلی) بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در محل مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در محمد شهر کرج به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد مطالعه در این آزمایش شامل ارقام هلو (جی‌اچ‌هیل، رد هون و برزگر)، بی‌کربنات کلسیم (صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و کاربرد دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌مولار) ترکیب اسیدهای آلی اگزالیک (ساخت شرکت سیگما آلدریچ با وزن مولکولی ۹۰/۰۳ و خلوص ۹۹ درصد)، سیتریک (ساخت شرکت سیگما الدریچ با وزن مولکولی ۱۹۲/۱۲ و خلوص ۹۹/۵) و مالیک (ساخت شرکت سیگما آلدریچ با وزن مولکولی ۱۳۴/۰۹ و خلوص ۹۹ درصد) بود.

پایه‌های رویشی GN-15 تکثیرشده از طریق ریزازدیادی از شرکت تولید نهال کشت بافتی (ایتا صدرا) تهیه و در فروردین ۱۳۹۶ به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۴۰ و ارتفاع ۴۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

سانتی‌متر حاوی مخلوطی از کود دامی پوسیده، ماسه نرم و خاک باغ به نسبت وزنی (۱:۱:۱) ضدعفونی شده با قارچ‌کش بنومیل، منتقل شدند. تیمار تنش بی‌کربنات کلسیم همراه با آب آبیاری در اردیبهشت ۱۳۹۷ اعمال گردید. تیمار اسیدهای آلی نیز به‌صورت همزمان و با اضافه نمودن ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول به حجم رسانده شده اسید آلی به گلدان‌ها اعمال گردید. تیمارهای بی‌کربنات کلسیم و اسید آلی در تمامی واحدهای آزمایشی به‌صورت همزمان و همراه با آبیاری انجام گردید بدین صورت که در تیمار شاهد تنها آب خالی و در تیمارهای بی‌کربنات کلسیم آبیاری به‌وسیله محلول حاوی غلظت معین بی‌کربنات کلسیم و در تیمارهای اسیدآلی ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول به‌حجم رسانده شده از ترکیب اسیدهای آلی ذکرشده شش ساعت پس از آبیاری اولیه به گلدان‌ها اضافه می‌گردید. میزان آب مصرفی برای تمامی واحدهای آزمایشی یکسان و به‌میزان ۵ لیتر در هر بار آبیاری بود. pH آب مورد استفاده برای آبیاری با دستگاه EC-pH متر دیجیتال ساخت شرکت Hanna اندازه‌گیری گردید. در حالت شاهد آب آبیاری pH برابر با ۷/۵ و EC ۰/۵ ds/m را نشان داد. پس از اضافه نمودن بی‌کربنات کلسیم به آبیاری در تیمار ۷/۵ میلی‌مولار pH محلول به عدد ۷/۸ و EC محلول به ۰/۵۱ ds/m رسید. در تیمار ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات کلسیم pH محلول به عدد ۸ و EC محلول به عدد ۰/۵۲ رسید. اضافه نمودن اسیدهای آلی تأثیری بر درجه شوری آب نداشته اما در تیمار شاهد pH را تا ۷/۳، در تیمار بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار تا ۷/۵ و در تیمار ۱۵ میلی‌مولار تا ۷/۹ کاهش داد. دو ماه پس از اعمال تیمارهای تنش و اسیدهای آلی، برخی از ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در برگ‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ براساس روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) انجام شد. نمونه‌ها از بالاترین برگ توسعه‌یافته جدا گردیده و توزین شدند (FW). سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر غوطه‌ور گردیدند و بعد از اینکه آب آنها گرفته شد، وزن آنها مجدداً ثبت گردید (SW). نمونه‌ها بعد از ۴۸ ساعت قرارگرفتن در آون و خشک‌شدن، برای بار سوم وزن شدند (DW). سپس مقدار نسبی آب برگ از (۱) محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$RWC = (FW - DW / SW - DW) \times 100$$

اندازه‌گیری میزان نشت یونی با استفاده از روش Zhao و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد. بدین‌منظور، از برگ‌های تازه دو دیسک به قطر یک سانتی‌متر تهیه و در تیوب‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار داده شدند نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت درون شیکر (۲۴ درجه سلسیوس، ۷۲۸ دور در دقیقه) قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی اولیه (Lt) آنها به‌وسیله دستگاه ECمتر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم (۱۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و مجدداً به‌مدت دو ساعت شیک شدند و میزان هدایت الکتریکی نهایی آنها (LO) اندازه‌گیری شد و درنهایت درصد نشت یونی (Il) از رابطه (۲) محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$Il = Lt / Lo \times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل به‌روش Arnon (۱۹۶۷) انجام شد. نیم گرم برگ تازه در نیتروژن مایع خرد کرده، سپس ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ افزوده و سانتریفیوژ (۶۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) شد. مقدار جذب روشناور در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (مدل DR2000 ساخت شرکت Hach آمریکا) خوانده شد. درنهایت با استفاده از روابط ۳ تا ۵ میزان کلروفیل کل (Total Chlorophyll) برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر نمونه بدست آمد:

رابطه ۳

$$Chlorophyll\ a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})\ V/100W$$

رابطه ۴

$$Chlorophyll\ b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})\ V/100W$$

رابطه ۵

$$Total\ Chlorophyll = Chlorophyll\ a + Chlorophyll\ b$$

که در آنها V: حجم روشناور؛ A_{663} و A_{645}: جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W: وزن تر نمونه برحسب گرم است.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

فلوریمتر (مدل Opti-Sciences: OS30p ساخت کشور ایالات متحده آمریکا) و براساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) انجام شد. بدین‌منظور برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس سنسور دستگاه به گیره متصل، نور در طول‌موج ۶۹۵ نانومتر به برگ تابیده و عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی (F_v/F_m) ثبت گردید.

میزان کربوهیدرات از روش Chandel و Chauhan (۱۹۹۱) سنجش شد. ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به ۰/۰۱ گرم نمونه‌های پودرشده اضافه و سانتریفیوژ (۵ دقیقه، ۲۵۰۰ دور در دقیقه) شد. سپس فاز رویی با متانول ۸۰ درصد مخلوط و پس از ۳ دقیقه شیک‌شدن، سانتریفیوژ مجدد (۵ دقیقه، ۲۵۰۰ دور در دقیقه) انجام شد. به هر نمونه ۲ میلی‌لیتر سولفات روی ۲ درصد و ۲ میلی‌لیتر هیدروکسید باریوم ۲ درصد اضافه شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده، یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک خالص افزوده و بعد از نیم ساعت میزان جذب در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. برای ترسیم منحنی استاندارد از محلول گلوگز (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام) استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری پرولین برگ به‌روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، ۰/۲ گرم برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد در هاون ساییده و عصاره سانتریفیوژ (۱۳۰۰۰ دور در دقیقه، ۴ درجه سلسیوس، ۱۰ دقیقه) شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سلسیوس) قرار گرفت و بعد از سردشدن، به هر نمونه ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. درنهایت جذب عصاره در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده و محتوی پرولین (برحسب میکرومول در گرم وزن تر) با توجه به منحنی استاندارد پرولین خالص (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار) محاسبه شد. پودر پرولین مورد استفاده برای تهیه استاندارد، از نوع L-Proline ساخت شرکت مرک آلمان با فرمول شیمیایی $C_5H_9NO_2$ بود.

درنهایت مقدار پرولین محلول براساس رابطه ۶ و برحسب میلی‌گرم در گرم بافت گیاهی بدست آمد.

رابطه ۶

$$X = \frac{\left[\frac{A \times B}{C}\right]}{\frac{D}{5}}$$

که X مقدار پرولین (میکروگرم در گرم)، A مقدار پرولین بدست آمده از نمودار استاندارد (میکروگرم بر میلی‌لیتر)، B مقدار تولوئن استفاده‌شده (میلی‌لیتر)، C عدد ملکولی پرولین و D مقدار نمونه گیاهی توزین‌شده (گرم) است.

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا برگ تازه با استفاده از ازت مایع در هاون چینی پودر شد. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) طبق روش Aebi (۱۹۸۴) و براساس میزان ناپدیدشدن آب اکسیژنه (H_2O_2) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر سنجش و با استفاده از رابطه ۷ و برحسب میلی‌گرم در گرم برگ محاسبه شد.

رابطه ۷

$$\text{CAT activity} = \frac{|A_{240}\,(t_2) - A_{240}\,(t_1)|}{t_2 - t_1} \times \frac{V_t}{E \times V_s}$$

در رابطه فوق، t_1 و t_2 به‌ترتیب، ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد بررسی (برحسب دقیقه)، $A_{240}\,(t_1)$ و $A_{240}\,(t_2)$ به‌ترتیب، مقادیر جذب نور در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر در زمان‌های t_1 و t_2، Vt حجم نهایی محلول واکنش، Vs حجم عصاره آنزیمی مورد استفاده و E ضریب تجزیه H_2O_2 (عدد ثابت ۳۹/۴) است.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به‌روش اسپکتروفتومتری و براساس قابلیت بازدارندگی آن از احیای فتوشیمیایی نیتروبلو تترازولیوم (NBT) در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Beyer and Fridovich, 1987). فعالیت آنزیم (برحسب میلی‌گرم در گرم برگ) از رابطه ۸ محاسبه شد.

رابطه ۸

$$\text{SOD activity} = \frac{A_{560}\,(\text{control}) - A_{560}\,(\text{Sample})}{A_{560}\,(\text{control})} \times 100$$

در رابطه فوق، A_{560} (control) و A_{560} (sample) به‌ترتیب مقادیر جذب نور محلول شاهد و نمونه مورد بررسی در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر هستند.

جهت سنجش فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز (GR) به روش Smith و همکاران (۱۹۸۸)، تغییرات جذب نور نمونه‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

در طول‌موج ۳۴۰ نانومتر که بیانگر اکسیداسیون NADPH است، هر ۱۰ ثانیه و به‌مدت ۱۲۰ ثانیه انجام شد. میزان فعالیت آنزیم (برحسب میلی‌گرم در گرم برگ) از رابطه ۹ محاسبه گردید.

رابطه ۹

$$\text{GR activity} = \frac{|A_{340}(t_2) - A_{340}(t_1)|}{t_2 - t_1} \times \frac{V_t}{E \times V_s}$$

که در این رابطه t_1 و t_2 ابتدا و انتهای بازه زمانی مورد بررسی (برحسب دقیقه)، $A_{340}(t_1)$ و $A_{340}(t_2)$ به‌ترتیب مقادیر جذب نور در طول‌موج ۳۴۰ نانومتر در زمان‌های t_1 و t_2، V_t حجم نهایی محلول واکنش، Vs حجم عصاره آنزیمی مورد استفاده و E ضریب تجزیه NADPH (عدد ثابت ۶/۲) است.

شاخص شدت کلروز برگ: شدت کلروز برگ‌ها به‌صورت دیداری و با استفاده از روش پیشنهادشده توسط Penas و همکاران (۱۹۹۰) انجام شد. براساس این روش درجه‌بندی کلروز به‌صورت رتبه ۱ تا ۵ (۱: طبیعی، بدون کلروز؛ ۲: نزدیک به نرمال، سبزروشن، بدون کلروز برگ‌ها؛ ۳: کلروز خفیف تا متوسط، زردی بین رگبرگ‌ها در شاخه‌های جوان؛ ۴: بسیار کلروتیک با علایم مشخص زردشدن در اکثر برگ‌ها؛ و ۵: کلروز شدید با برگ‌های بالایی به‌طور مشخص زرد و کلروزه و در حال ریزش و برگ‌های پایینی بسیار کلروتیک) ثبت شد. نمونه‌ها توسط دو نفر کارشناس بدون اطلاع از تیمار مربوطه رتبه‌بندی شدند. نمره‌دهی دو هفته پس از پایان اعمال تیمار و بروز کامل علایم کلروز انجام گردید و سپس داده‌های بدست آمده یادداشت برداری و نتایج بدست آمده به‌صورت درصد گزارش گردید.

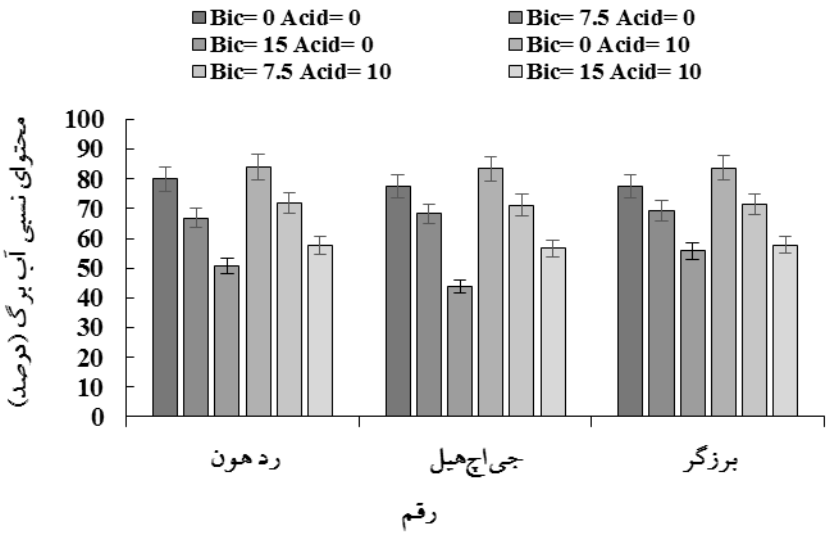
اندازه‌گیری محتوای عناصر برگ به‌روش هضم تر (اسید سولفوریک – اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه) انجام گرفت. در این روش ابتدا ۰/۳ گرم از بافت گیاهی خشک‌شده با ۲/۳ میلی‌لیتر مخلوط اسیدها به‌مدت ۱۲ ساعت به‌حال خود رها گردید و سپس در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. بعد از خنک‌شدن ۵ قطره آب اکسیژنه اضافه گردید و دوباره به‌مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه تا دمای ۲۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا بخار سفید رنگ حاصل شود. پس از خنک‌شدن دوباره ۵ قطره آب اکسیژنه اضافه شد و این چرخه تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه‌ها تکرار گردید. پس از خنک‌شدن، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به آن اضافه گردید. عصاره حاصل، جهت اندازه‌گیری ماکرو و میکرو المان‌ها مورد استفاده قرار گرفت. (احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲). میزان فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر براساس روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد و عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز با دستگاه جذب اتمی و پس از کالیبره‌کردن با استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شد. برای تهیه استانداردها، محلول‌های استاندارد استوک آهن، منگنز، روی و فسفر حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از این عناصر با محلول از پیش مخلوط شده آب دیونیزه و اسید نیتریک غلیظ آزمایشگاهی رقیق شدند تا استانداردهای مربوطه با غلظت‌های مختلف در (w/v) ۲٪ HNO_3 تهیه شود. محلول خالی کالیبراسیون مورد استفاده محلول (w/v) ۲٪ HNO_3 بود. برای آهن و روی استانداردهای کاری ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، برای منگنز استاندارد تهیه شده با غلظت‌های ۱، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای فسفر، استانداردهای ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.2) واکاوی شد و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مقایسه میانگین‌ها داده‌ها (سطح احتمال پنج درصد) انجام شد.

نتایج و بحث

از نظر محتوای نسبی آب برگ، در تیمارهای شاهد بدون بی‌کربنات کلسیم و بدون اسید آلی در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما میزان این صفت به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تنش بی‌کربنات کلسیم کاهش داشت، به‌طوریکه بالاترین سطح بی‌کربنات کلسیم (۱۵ میلی‌مولار) به‌ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۲۹/۱۲، ۳۳/۶۵، و ۲۱/۵۶ درصدی در محتوای نسبی آب برگ ارقام رد هون، جی‌اچ‌هیل و برزگر گردید (شکل ۱). همچنین کاربرد اسیدهای آلی باعث افزایش معنی‌دار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



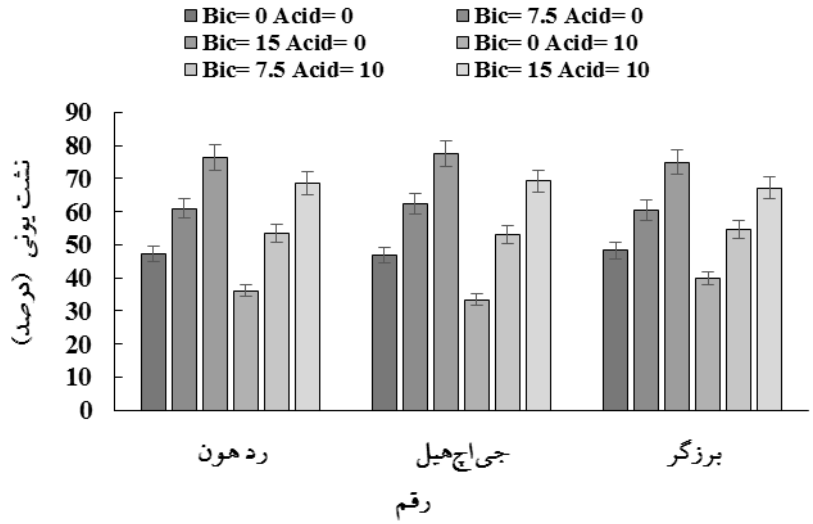
شکل ۱- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر محتوای نسبی آب در برگ سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

محتوای نسبی آب برگ در کلیه ارقام پیوندی هلو گردید. کاهش در محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای تنش بی‌کربنات کلسیم، نشان‌دهنده فشار تورژسانس کمتر و وجود محدودیت در دسترسی آب برای فرآیند توسعه سلول برگ است. در واقع کاهش در محتوای آب برگ تحت تنش قلیائیت می‌تواند به‌طور غیرمستقیم نتیجه اثرات مخرب pH بالا بر ساختار ریشه و کاهش جذب آب توسط گیاه باشد (Katerji *et al.*, 1997; Balaguer *et al.*, 2002). کاهش کمتر آب نسبی برگ در رقم برزگر می‌تواند به‌علت تنظیم اسمزی کافی گیاه و حاکی از تحمل بالای آن به تنش وارده باشد. El-Tohamy و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند کاربرد خارجی اسید سیتریک در لوبیای معمولی تحت تنش خشکی سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید. در شرایط تنش، کاربرد اسیدهای آلی به‌همراه آب آبیاری می‌تواند pH ریزوسفر را کاهش داده و همچنین با افزایش تولید ترکیبات ضدتنش نظیر پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز از تخریب سلول‌های ریشه جلوگیری کرده و با حفاظت از مکانسیم‌های تولید آنزیم‌ها در برابر تجزیه توسط رادیکال‌های آزاد، جذب آب و مواد غذایی از ریشه‌ها را بهبود بخشد.

در خصوص صفت نشت یونی، با وجود اینکه در تیمار شاهد بین سه رقم مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار میزان نشت یونی در تمامی ارقام گردید که بیشترین میزان آن (۷۷/۵۹ درصد) در رقم جی‌اچ‌هیل مشاهده شد (شکل ۲). تحت شرایط تنش شدید بی‌کربنات کلسیم (۱۵ میلی‌مولار)، رقم برزگر کمترین مقدار نشت یونی (۷۴/۹۸ درصد) را در مقایسه با سایر ارقام نشان داد. در مقابل کاربرد ۱۰ میلی‌مولار اسید آلی سبب کاهش میزان نشت یونی در تمام ارقام گردید. در این میان رقم برزگر کمترین میزان نشت یونی را تحت تیمارهای ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار (به‌ترتیب ۳۹/۷۸ و ۶۷/۱۳ درصد) دارا بود (شکل ۲).

تنش، به‌دلیل تخریب دیواره سلولی و کاهش فشار تورژسانس، نشت یونی را افزایش می‌دهد. تحت‌تأثیر تنش بی‌کربنات سدیم و با افزایش شدت تنش میزان نشت یونی برگ‌های اسفناج افزایش یافت. این افزایش در رقم حساس بیشتر از رقم مقاوم بود (بیارش و همکاران، ۱۳۹۹). کاربرد اسیدهای آلی به‌همراه آب آبیاری می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش بی‌کربنات را تا حد قابل‌توجهی کاهش دهد (Tusei,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



شکل ۲- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر نشت یونی سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

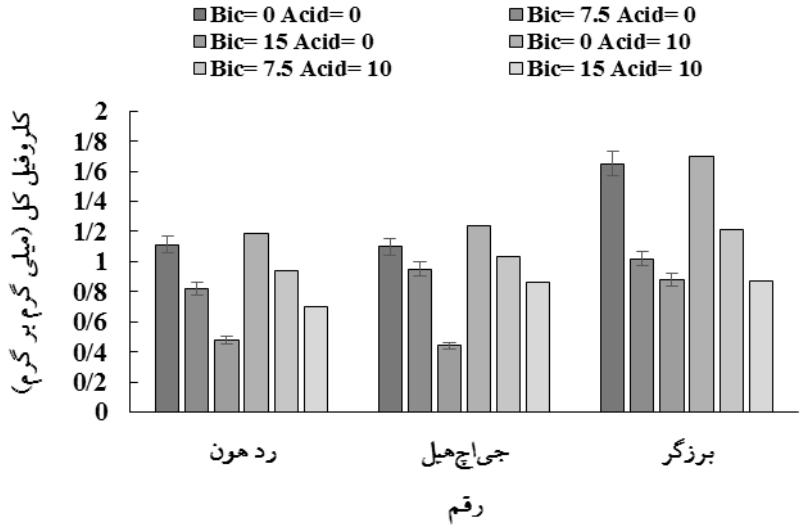
2019). این تأثیر تعدیل‌دهنده اسید ممکن است با اثرات محافظتی آن بر زوال غشاء در اثر پراکسیداسیون، مهار رادیکال‌های آزاد، حفظ ثبات غشا، افزایش فعالیت ریشه و فعال‌شدن پاسخ آنتی‌اکسیدانی مرتبط باشد (Tusei, 2019).

صفات کلروفیل کل و عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی، به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر نوع رقم قرار گرفت (شکل ۳ و ۴). بیشترین میزان کلروفیل کل در رقم برزگر در حضور اسید آلی مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر ارقام داشت اما با تیمار شاهد آن تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳). افزایش میزان بی‌کربنات کلسیم به‌طور معنی‌داری باعث کاهش مقدار کلروفیل کل در برگ همه ارقام گردید، به‌طوریکه در ارقام جی‌اچ‌هیل، رد هون و برزگر به‌ترتیب ۶۰، ۵۶ و ۴۶ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد. تحت تنش شدید (بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار)، در گیاهان رقم برزگر که با ۱۰ میلی‌مولار اسید آلی تیمار شده بودند، بیشترین میزان کلروفیل کل (۰/۸۷ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد.

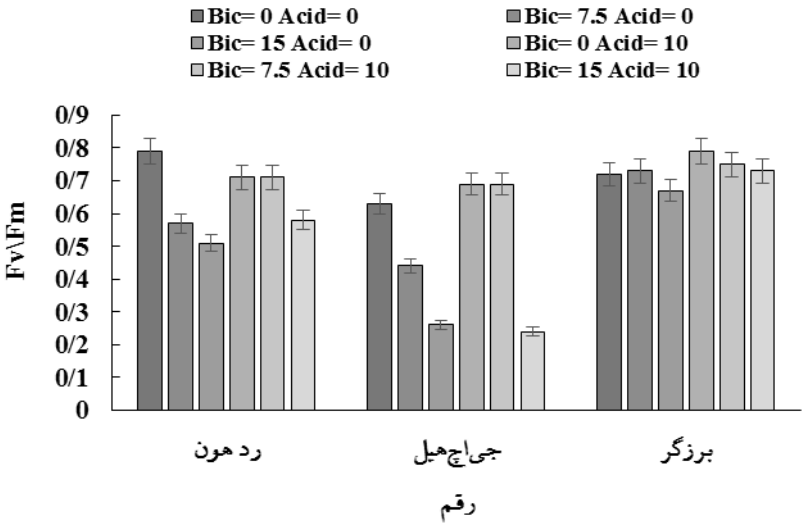
در صفت عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی در تیمار شاهد، بیشترین مقدار *Fv/Fm* در رقم ردهون ثبت گردید که اختلاف معنی‌داری با رقم برزگر نداشت. با افزایش شدت تنش بی‌کربنات کلسیم، نسبت *Fv/Fm* در تمامی ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در مورد این صفت نیز تحت تنش شدید بی‌کربنات کلسیم (۱۵ میلی‌مولار) رقم برزگر که با اسید آلی تیمار شده بودند بیشترین نسبت *Fv/Fm* ثبت گردید. اگر چه تحت شرایط بدون تنش استعمال ترکیب اسیدهای آلی باعث تغییر معنی‌داری در میزان کلروفیل برگ نگردید ولی نسبت *Fv/Fm* در مقایسه با عدم کاربرد اسیدهای آلی بیشتر افزایش یافت. با این وجود در هر سه رقم، کاربرد اسیدهای آلی با افزایش میزان کلروفیل و بالا نگه‌داشتن *Fv/Fm* به‌طور معنی‌داری تأثیرات منفی بی‌کربنات کلسیم را تعدیل نمود.

کاهش محتوای کلروفیل با افت نرخ رشد و کاهش تحمل گیاهان به تنش همراه بوده است (Pestana *et al*., 2001). کاهش میزان کلروفیل تحت تیمار بی‌کربنات کلسیم می‌تواند به‌علت تجزیه کلروفیل بر اثر آنزیم کلروفیلاز (Deng *et al*., 2010)، رسوب عنصر منیزیم و اختلال در تعادل یون سدیم (Wang *et al*., 2019) و کمبود (De La Guardia and Alcantara, 2002) باشد. تنش بی‌کربنات سدیم در پایه‌های هلو (De La Guardia and Alcantara, 2002) و انگور (Ksouri *et al*., 2007) نیز موجب کاهش میزان کلروفیل برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



شکل ۳- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر محتوای کلروفیل کل سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۴- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) نسبت Fv/Fm سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شده است و مقدار کاهش کلروفیل در گیاهان به ژنوتیپ گیاه و مقدار بی‌کربنات بستگی دارد (Ksouri *et al*., 2007). نسبت *Fv/Fm* نشان‌دهنده حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II است و شاخص حساسی برای سنجش عملکرد فتوسنتزی گیاه به‌شمار می‌آید (Khan *et al*., 2010). کاهش نرخ فتوسنتز و به تأخیر انداختن رشد گیاه بر اثر تنش قلیاییت در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است (Yang *et al*., 2009; Cardarelli *et al*., 2010). در پژوهشی کاهش نسبت *Fv/Fm* تحت شرایط تنش شور و قلیا، به اثر مخرب pH بالا بر دستگاه فتوسنتزی و پذیرنده‌های الکترون، کاهش کارآیی فلورسانس، تضعیف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

فعالیت فتوسیستم II و کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی نسبت داده شده است (Liu and Shi, 2010).

اسیدهای آلی به‌دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی خود و افزایش تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌توانند با جلوگیری از تجزیه آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و بهبود جذب عناصری که در فتوسنتز نقش اساسی دارند سبب بهبود کارایی فتوسنتز در گیاه و بالا نگاه‌داشتن نسبت *Fv/Fm* در شرایط تنش گردند. تأثیر اسیدهای آلی بر افزایش میزان کلروفیل کل می‌تواند به اثر مستقیم سیترات بر فعال‌کردن آنزیم Fe-reductase غشای پلاسمایی و کلات‌کردن آهن نسبت داده شود (Brown, 1961). Hu و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاهش محتوای کلروفیل، نسبت *Fv/Fm*، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و همچنین فعالیت ریشه در گیاهان تیمارشده با اسید سیتریک تحت شرایط تنش گرمایی بهبود یافت.

تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف از نظر محتوای کربوهیدرات مشاهده نشد. تیمار با بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار، با افزایش معنی‌دار میزان کربوهیدرات‌ها در برگ همراه بود ولی افزایش بی‌کربنات کلسیم (۱۵ میلی‌مولار)، کاهش معنی‌داری را در این صفت باعث گردید. بیشترین میزان کربوهیدرات در بین ارقام مختلف در برگ‌های رقم برزگر (۳/۶۴ میکروگرم بر گرم وزن تر) تحت تنش بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار ثبت گردید. کاربرد اسیدهای آلی در گیاهان تیمارشده با بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار در تمامی ارقام محتوای کربوهیدرات برگ‌ها را افزایش داد، اما در سطح بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار تفاوت معناداری در این صفت ایجاد نکرد (جدول ۱).

افزایش تجمع کربوهیدرات در برگ به‌عنوان مکانیسم مقاومتی از طرف گیاه و در پاسخ به شرایط تنش شناخته می‌شود. در این پژوهش مواجه با تنش سبب افزایش میزان کربوهیدرات در برگ گردید، اما بعد از مواجه با تنش شدید (بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار)، تولید کربوهیدرات‌ها در گیاه دچار مشکل گردیده و تجمع آن در برگ رو به کاهش گذاشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش شدید به‌دلیل اختلال در جذب مواد غذایی و مختل‌شدن مکانیسم‌های تولید کربوهیدرات، گیاه توانایی تولید و ذخیره کربوهیدرات را از دست داده و درنتیجه تجمع آن در برگ‌ها کاهش یافته است.

مطالعات محدودی در خصوص تأثیر اسیدهای آلی بر تجمع کربوهیدرات در برگ گیاهان تحت تنش انجام شده است. از آنجایی که کربوهیدرات‌ها درنتیجه فعالیت فتوسنتزی گیاهان در برگ‌ها تولید و ذخیره می‌شوند، هر گونه تنشی که سبب محدودکردن فعالیت فتوسنتزی گیاه گردد می‌تواند به‌طور مستقیم تولید و ذخیره‌سازی آنها در برگ را کند نماید. El-Beltag و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی روی پنبه بیان نمودند که تحت تنش شوری استفاده از سیترات پتاسیم موجب بهبود محتوای قندهای کل در برگ‌های پنبه گردید.

در تیمار شاهد محتوای پرولین در برگ‌های رقم ردهون بالاتر از سایر ارقام بوده است (۱۱/۹۷ میکرومول بر گرم وزن تر) در حالیکه کمترین میزان آن در رقم برزگر (۹/۹۴ میکرومول بر گرم وزن تر) ثبت شد. بعد از مواجهه با تنش بی‌کربنات کلسیم، محتوای پرولین برگ در تمامی ارقام به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این شرایط، برگ‌های رقم برزگر بیشترین میزان پرولین (۱۸/۸) را دارا بود (جدول ۱). کاربرد مقدار ۱۰ میلی‌مولار اسید آلی سبب افزایش معنی‌دار میزان پرولین در تمام ترکیبات پیوندی نسبت به شاهد گردید.

گیاهان با روش‌های گوناگون در برابر تنش‌های محیطی مقاومت می‌کنند و تجمع پرولین به‌منزله پاسخ عمومی گیاهان تحت شرایط تنش شور و قلیا است که در حفظ پتانسیل آب درون سلول به‌منظور حفظ فشار تورژسانس و جذب آب برای رشد گیاه کمک می‌کنند (Gonzalez-Vallejo *et al.*, 2000; Parker and Walker, 1986). افزایش محتوای پرولین در برگ‌های شاه‌توت تحت‌تأثیر تنش قلیائیت نیز گزارش شده است (Ahmad and Sharma, 2010).

استفاده از اسیدهای آلی با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی و حفاظتی که ایجاد می‌کنند می‌تواند در شرایط تنش تولید متابولیت‌های گیاهی را در سطح بالاتری حفظ کرده و از توقف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

جدول ۱- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر میزان کربوهیدرات و پرولین برگ در ارقام هلو

رقم	بی‌کربنات کلسیم	اسید آلی	کربوهیدرات (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)
رد هون	۰	۰	۱/۹۵ ± ۰/۰۱ c	۱۱/۹۷ ± ۰/۱۹ d
	۰	۱۰	۲/۰۶ ± ۰/۰۱ c	۱۴/۴۷ ± ۰/۱۹ bc
	۷/۵	۰	۲/۰۵ ± ۰/۰۱ c	۶/۹۷ ± ۰/۱۹ ij
	۷/۵	۱۰	۲/۷۵ ± ۰/۰۶ b	۱۵/۹۶ ± ۰/۱۹ bc
	۱۵	۰	۰/۸۵ ± ۰/۰۶ ef	۱۰/۶۴ ± ۰/۳۸ d-f
	۱۵	۱۰	۰/۹۹ ± ۰/۰۶ ef	۱۶/۱۴ ± ۰/۱۹ b
جی‌اچ‌هیل	۰	۰	۱/۸۶ ± ۰/۰۱ cd	۱۰/۶۴ ± ۰/۱۹ d-f
	۰	۱۰	۱/۹۲ ± ۰/۰۱ c	۸/۶۴ ± ۰/۱۹ g-i
	۷/۵	۰	۱/۷۹ ± ۰/۰۱ cd	۹/۴۷ ± ۰/۶۹ f-h
	۷/۵	۱۰	۲/۸ ± ۰/۲ b	۱۵/۱۴ ± ۰/۵۱ bc
	۱۵	۰	۰/۳۷ ± ۰/۰۱ f	۵/۹۷ ± ۰/۱۹ j
	۱۵	۱۰	۰/۵۱ ± ۰/۰۱ f	۸/۳ ± ۰/۱۹ g-i
برزگر	۰	۰	۲/۱۷ ± ۰/۰۱ bc	۹/۹۴ ± ۰/۵۴ e-g
	۰	۱۰	۲/۲۶ ± ۰/۰۱ bc	۹/۹۷ ± ۰/۱۹ e-g
	۷/۵	۰	۲/۰۴ ± ۰/۲۹ c	۸/۱۴ ± ۰/۱۹ hi
	۷/۵	۱۰	۳/۶۴ ± ۰/۳۱ a	۱۱/۶۳ ± ۰/۱۹ de
	۱۵	۰	۰/۹۶ ± ۰/۰۳ ef	۱۴/۳ ± ۰/۳۸ c
	۱۵	۱۰	۱/۲۸ ± ۰/۱۶ de	۱۸/۸ ± ۰/۵۱ a

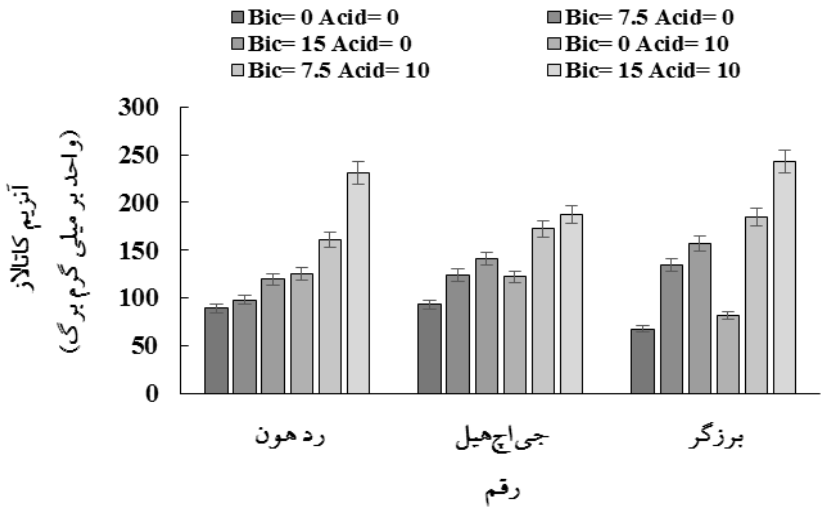
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش جلوگیری نماید. در این رابطه Abdellatif و Ibrahim (۲۰۱۸) در پژوهشی روی گیاه چای ترش گزارش کردند که تحت شرایط تنش شوری، گیاهانی که با اسید سیتریک تیمار شده بودند محتوای پرولین برگ بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند. در تیمار شاهد بین ارقام مختلف از نظر محتوای آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز تفاوت معناداری وجود نداشت، اما در نمونه‌های شاهد رقم برزگر مقادیر بیشتری از فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ثبت گردید (شکل ۵، ۶ و ۷). کاربرد مقادیر ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز در هر سه رقم گردید (شکل ۵، ۶ و ۷). بیشترین میزان فعالیت کاتالاز (۲۴۲/۷۹ واحد در میلی‌گرم برگ) در گیاهان رقم برزگر مواجه شده با بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار و اسید آلی ۱۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۵). همچنین بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱۸۰۶۵/۸ واحد بر میلی‌گرم برگ) به رقم برزگر تحت تنش بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار و در حضور اسید آلی تعلق داشت (شکل ۶).

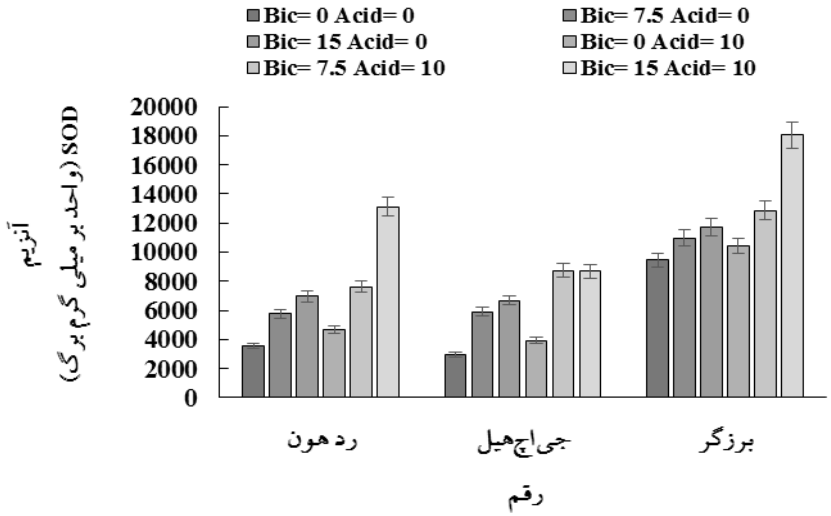
همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در رقم رد هون حداکثر (۱/۳۹ واحد در میلی-گرم برگ) و در رقم برزگر تحت تیمار بدون بی‌کربنات کلسیم و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



شکل ۵- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر فعالیت کاتالاز سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



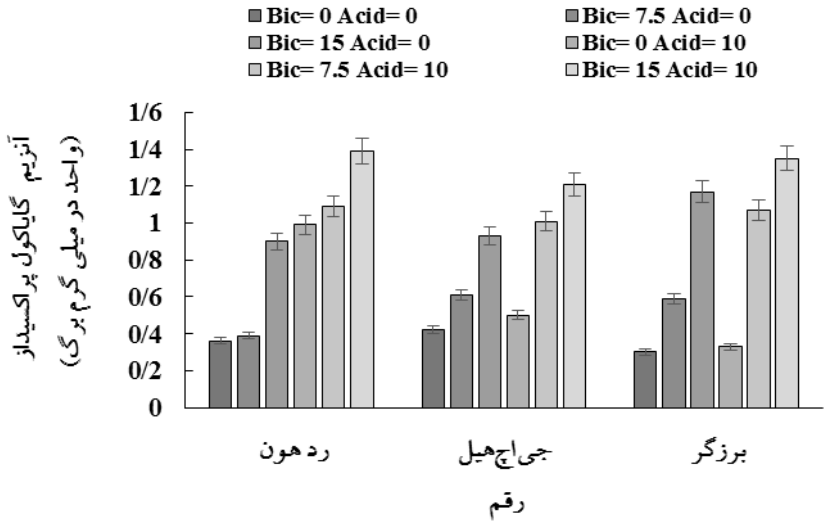
شکل ۶- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بدون اسید آلی حداقل (۰/۳ واحد بر میلی‌گرم برگ) بود.

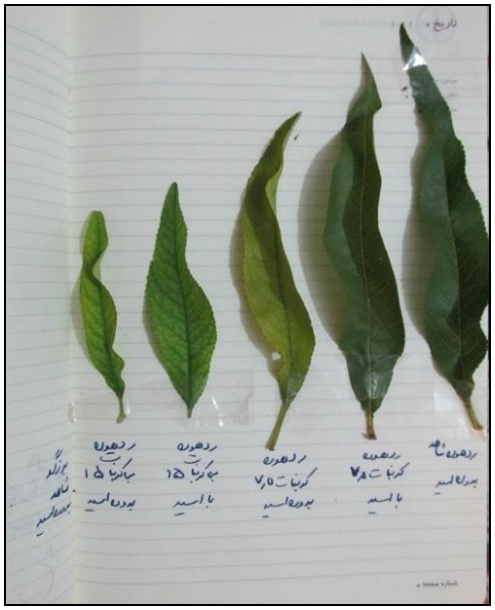
در شرایط تنش‌های غیرزنده مکانیسم‌های دفاعی گیاهان فعال شده و با تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اثرات و صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد را کنترل می‌کنند (Tahjib *et al.*, 2021). Gebaly و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی روی گیاه پنبه گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

کاربرد خارجی اسیدهای آلی به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی شان به حفظ کارایی فتوسنتز، تولید آنزیم‌ها و سایر متابولیت‌های گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کنند. گزارش شده که استفاده از اسید سیتریک در شرایط تنش خشکی توانسته فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



شکل ۷- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (Bic: صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (Acid: صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز سه رقم هلو. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند، مطابق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

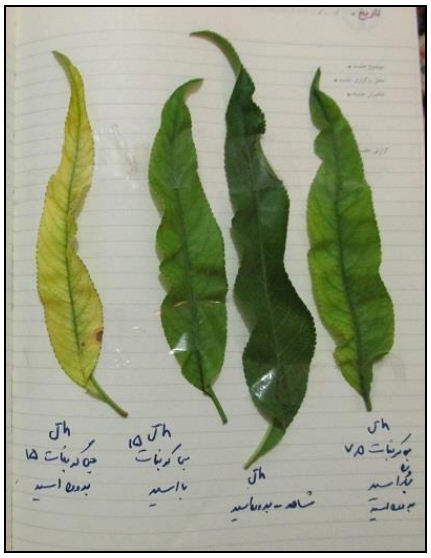


شکل ۸- تأثیر بی‌کربنات کلسیم و اسید آلی بر شدت کلروز برگ رقم رد هون. از راست به چپ: شاهد، بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار و اسید آلی، بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار، بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار و اسید آلی، بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار.

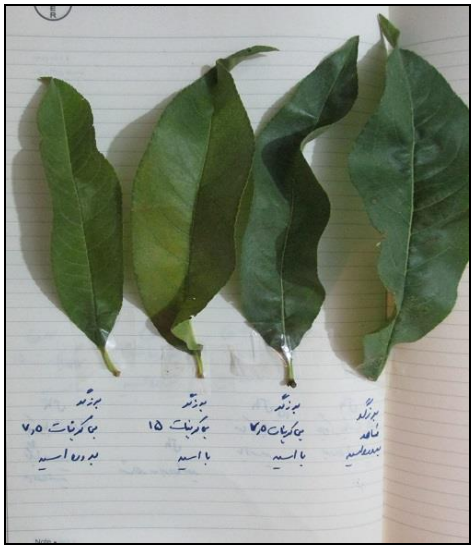
در سطح بالاتری حفظ نماید (Gebaly *et al.*, 2013).

در شاخص درصد کلروز برگ‌ها، با وجود اینکه ارقام مختلف در شرایط بدون تنش از نظر شدت کلروز شرایط مشابهی داشتند اما تحت شرایط تنش بی‌کربنات، با افزایش شدت تنش در تمامی ارقام کلروز افزایش نشان داد (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰) در بین ارقام مختلف بیشترین درصد کلروز (۷۰ درصد) متعلق به رقم جی‌اچ‌هیل در شرایط تنش بی‌کربنات ۱۵ میلی‌مولار بود. تحت شرایط تنش بی‌کربنات کلسیم کاربرد اسید آلی توانست از شدت کلروز برگ‌ها در تمامی ارقام بکاهد (شکل ۸، ۹ و ۱۰) به‌طوریکه این کاهش کلروز در تیمار بی‌کربنات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]



شکل ۹- تأثیر بی‌کربنات کلسیم و اسید آلی بر شدت کلروز برگ رقم جی‌اچ‌هیل. از راست به چپ: بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار، شاهد، بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار و اسید آلی، بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار.



شکل ۱۰- تأثیر بی‌کربنات کلسیم و اسید آلی بر شدت کلروز برگ رقم برزگر. از راست به چپ: شاهد، بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار و اسید آلی، بی‌کربنات کلسیم ۱۵ میلی‌مولار و اسید آلی، بی‌کربنات کلسیم ۷/۵ میلی‌مولار.

کلسیم ۱۵ میلی‌مولار نسبت به تیمار بدون اسید آلی برای رقم رد هون ۲۵/۶ درصد، رقم جی‌اچ‌هیل ۳۹/۴ درصد و برای رقم برزگر ۷/۴ درصد بود (جدول ۲).

تحقیقات نشان داده است که با افزایش pH خاک، غلظت یون بی‌کربنات افزایش یافته و درنتیجه حلالیت آهن کاهش می‌یابد و آهن به‌صورت غیرفعال درآمده و رسوب می‌نماید (کلباسی، ۱۳۷۴). همچنین، بی‌کربنات از طریق افزایش قلیائیت آپوپلاست برگ منجر به غیرفعال شدن آهن برگ می‌گردد (Mengel *et al.*, 1994). پیامد آن کاهش سنتز کلروفیل، زردی برگ‌های جوان، توقف رشد (Hensen *et al.*, 2003; Roosta, 2011) و کلروز است (کلباسی، ۱۳۷۴). افزایش قلیائیت باعث زردی برگ ارقام آفتابگردان (Alcantara *et al.*, 1988) و انگور (Ksouri *et al.*, 2007) شده است. در مقایسه میزان تحمل به کلروز گلابی پیوندشده بر سه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

جدول ۲- تأثیر بی‌کربنات کلسیم (صفر، ۷/۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و اسید آلی (صفر و ۱۰ میلی‌مولار) بر شدت کلروز برگ و محتوای فسفر، آهن، منگنز و روی در برگ ارقام هلو.

رقم	بی‌کربنات کلسیم	اسید آلی	شدت کلروز برگ (درصد)	فسفر (درصد)	آهن (پی‌پی‌ام)	منگنز (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)
رد هون	۰	۰	۵/۲	۰/۳۰۸۳ ± ۰/۰۰۴ a-c	۷۲/۰۶ ± ۰/۴۲ bc	۳۶/۷۶ ± ۱/۷ f-h	۴۰/۳۶ ± ۰/۵۲ d
	۰	۱۰	۳/۴	۰/۳۲۲ ± ۰/۰۰۳ ab	۹۸/۱۶ ± ۰/۴۲ a	۴۷/۰۶ ± ۱/۷ ef	۴۷/۳۶ ± ۰/۵۲ c
	۷/۵	۰	۲۵/۴	۰/۱۵۳۷ ±۰/۰۰۴ e-h	۴۸/۵۳ ± ۰/۴۲ f-h	۳۳/۹۶ ± ۰/۶۷ gh	۲۶/۷۳ ± ۰/۵۲ i
	۷/۵	۱۰	۱۱	۰/۳۱۵ ± ۰/۰۰۶ a-c	۶۲/۷۵ ±۲/۹۷ c-e	۴۴/۶۱ ± ۲/۰۵ e-g	۳۵/۹۱ ± ۰/۵۲ f
	۱۵	۰	۴۳/۲	۰/۰۹۴۳ ±۰/۰۰۳ f-h	۳۹/۳۴ ± ۰/۴۲ h-j	۲۵/۳۵ ± ۰/۵۶ hi	۲۲/۱۸ ± ۰/۵۲ k
	۱۵	۱۰	۱۷/۶	۰/۱۶۲۴ ±۰/۰۰۳ e-g	۴۳/۳۸ ± ۰/۴۲ g-j	۳۹/۱۲ ± ۱/۷ fg	۳۳/۶۴ ± ۰/۵۲ f
جی‌اچ‌هیل	۰	۰	۱۲/۴	۰/۱۹۵۸ ±۰/۰۰۴ c-f	۵۳/۳۱ ±۰/۴۲ e-g	۵۱/۳۷ ± ۴/۸۸ de	۳۷/۹۱ ± ۰/۵۲ e
	۰	۱۰	۹/۴	۰/۲۴۹۶ ±۰/۰۰۶ a-e	۶۴/۹۱ ±۳/۰۶ b-d	۶۰/۵۹ ± ۱/۷ d	۴۶/۶۴ ± ۰/۵۲ c
	۷/۵	۰	۴۴/۸	۰/۰۷۹۲ ± ۰/۰۰۲ gh	۳۶/۰۳ ± ۰/۴۲ ij	۱۷/۶۵ ± ۱/۷ i	۱۹/۹۱ ± ۰/۵۲ l
	۷/۵	۱۰	۲۷/۸	۰/۱۴۵۸ ± ۰/۰۰۴ e-h	۴۶/۶۹ ± ۰/۴۲ f-i	۳۶/۰۸ ± ۰/۸۹ f-h	۳۳/۱۸ ± ۰/۵۲ f
	۱۵	۰	۷۰	۰/۰۳۳۹ ± ۰/۰۰۲ h	۲۱/۰۵ ± ۳/۳۶ k	۵/۸۸ ± ۰/۵۴ j	۱۳/۷۹ ± ۳/۸ m
	۱۵	۱۰	۳۰/۶	۰/۱۰۲۰ ± ۰/۰۰۳ f-h	۳۳/۵۲ ± ۳/۰۶ j	۲۱/۰۸ ± ۲/۰۵ i	۲۱/۸۵ ± ۰/۴ k
برزگر	۰	۰	۰	۰/۳۲۴۵ ± ۰/۰۰۶ ab	۹۹/۸۵ ± ۳/۱۲ a	۱۰۵/۸۸ ± ۱/۷ b	۵۱/۷۳ ± ۶/۳ b
	۰	۱۰	۵	۰/۳۵۲۳ ± ۰/۰۰۵ a	۱۰۳/۸۱ ±۳/۶۹ a	۱۲۰/۵۹ ± ۱/۷ a	۵۸/۱۸ ± ۰/۵۲ a
	۷/۵	۰	۱۸/۴	۰/۱۸۳۰ ± ۰/۰۰۵ d-g	۶۵/۸۱ ±۰/۴۲ b-d	۷۴/۳۳ ± ۵/۴۲ c	۲۹/۶۴ ± ۰/۵۲ h
	۷/۵	۱۰	۱۰/۲	۰/۲۹۸۴ ± ۰/۰۰۵ a-d	۷۵/۶۱ ± ۳/۷۱ b	۱۰۰/۷۱ ± ۰/۵۴ b	۴۰/۷۳ ± ۰/۵۲ d
	۱۵	۰	۲۱/۴	۰/۱۷۶۳ ± ۰/۰۰۷ e-g	۳۴/۵۶ ± ۰/۴۲ j	۳۶/۵۷ ± ۱/۷۵ f-h	۲۴/۷۳ ± ۰/۵۲ j
	۱۵	۱۰	۱۴	۰/۲۲۲۱ ± ۰/۰۰۵ b-e	۵۵/۸۸ ± ۰/۴۲ d-f	۵۴/۳۱ ± ۰/۸۷ de	۳۱/۶۴ ± ۰/۵۲ g

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

پایه رویشی "به"، درختان گلابی روی پایه Q.A و PQBA29 محصول بیشتری تولید کرده و نسبت به پایه Q.C کمتر دچار کلروز شدند (Carrera and Ortiz, 1984). گیاهانی که در خاک‌های قلیایی رشد می‌کنند، اسیدهای آلی نظیر مالات و سیترات از ریشه‌های خود ترشح می‌کنند و این به آنها امکان می‌دهد تا با کاهش pH ریزوسفر، مواد مغذی ضروری مانند فسفر و آهن را جذب کنند (Lopez-Bucio *et al.*, 2000). اثرات مثبت اسیدهای آلی تنها ناشی از تعدیل pH خاک نیست، بلکه پاسخ‌های فیزیولوژیکی زیادی توسط گیاهان به اسیدهای آلی که به‌صورت برون‌زا اعمال می‌شود گزارش شده است (Tahjib *et al.*, 2021). کاربرد خارجی اسیدهای آلی با تشکیل کمپلکس‌های آلی نظیر سیترات آهن و سیترات روی می‌توانند عناصری که در خاک به‌فرم غیرقابل جذب حضور دارند را برای گیاه قابل جذب نموده و با کاهش pH آپوپلاست می‌تواند حرکت این عنصر را در داخل بافت گیاه تسهیل نمایند (Tahjib *et al.*, 2021).

در تیمار شاهد بین ارقام مختلف تفاوت معناداری از نظر محتوای عناصر وجود داشت. بیشترین مقادیر فسفر (۳۲۴۵/۱ پی‌پی‌ام)، آهن (۹۹/۸۵ پی‌پی‌ام)، منگنز (۱۰۵/۸۸ پی‌پی‌ام) و روی (۵۱/۷۳ پی‌پی‌ام) در برگ رقم برزگر ثبت گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

براساس نتایج، میزان عناصر تحت‌تأثیر تیمارهای بی‌کربنات کلسیم و اسید آلی قرار گرفت به‌طوریکه با افزایش شدت تنش میزان عناصر در برگ دچار کاهش شد (جدول ۲).

pH قلیایی منجر به تشکیل اشکال غیرمحلول مواد غذایی، به‌خصوص آهن، روی و مس می‌شود، که به موجب آن از حالت قابل‌جذب برای گیاه خارج می‌شوند (Alcantara *et al*., 1988; Bertoni *et al*., 1992; Shi and Yin, 1993; Adeleke *et al*., 2017). بی‌کربنات در جذب عناصر پرمصرف، به‌ویژه فسفر، پتاسیم و منیزیم در گیاه تداخل ایجاد می‌کنند (Pissaloux *et al*., 1995). در خاک‌های قلیایی، فسفر به‌مقدار زیادی به‌واسطه تشکیل مجموعه‌های فلزی (از قبیل Mg-P، Ca-P) از دسترس گیاه خارج می‌شود (Mengel, 1994). شرایط pH زیاد و سطوح بالای بی‌کربنات خاک، نه‌تنها سبب ایجاد غلظت سمی یون HCO^{3-} در گیاه، بلکه موجب وقوع واکنش شیمیایی بین بی‌کربنات‌ها و عناصر دوظرفیتی می‌شود (Hensen *et al*., 2003; Roosta, 2011; Alonso Valdez Aguilar, 2004; Geddie and Hall 2019;). کاهش معنی‌دار میزان فسفر با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم در هلو (Shi and Yin, 1993) و هندوانه (Colla *et al*., 2010) گزارش شده است. کاهش شدید میزان روی جذب‌شده تحت شرایط قلیائیت بالا در لوبیا سبز ناشی از غیرفعال شدن این عنصر گزارش شده است (Barton and Abadia, 2006).

اسیدی‌کردن آب موجب خنثی‌شدن قلیائیت خاک و افزایش حلالیت آهن، منگنز، روی، مس و آلومینیوم شده و درنتیجه موجب افزایش جذب آهن می‌شود (شریفی اصل و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین اسیدهای آلی می‌توانند در خاک به‌صورت عامل کمپلکس‌کننده عمل کرده و جذب عناصری نظیر فسفر و همچنین ریزمغذی‌های آهن، منگنز و روی را بهبود بخشند (Tusei, 2019). گیاهان گندم تیمارشده با اسید سیتریک توانستند مقادیر بیشتری از عناصر درشت مغذی را جذب کنند (Tusei, 2019). آبیاری گیاهان با آب اسیدی شده، غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات را کاهش داده و درنتیجه ریشه قادر خواهد بود آب و عناصر غذایی را بهتر جذب کند (Mengel, 1994; Adeleke *et al*., 2017).

نتیجه‌گیری

افزایش قلیائیت آب می‌تواند اثرات زیان‌آوری بر رشد، تغذیه و تولید گیاهان داشته باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش سه رقم هلوی پیوندی بر پایه GN15 پاسخ متفاوتی به تنش ناشی از بی‌کربنات کلسیم داشتند. رقم برزگر مقاوم‌ترین رقم به کلروز ناشی از بی‌کربنات کلسیم بود و نسبت به دو رقم جی‌اچ‌هیل و ردهون به‌ترتیب ۴۸/۶ و ۲۱/۸ درصد علائم کلروز ناشی از کمبود آهن کمتری نشان داد. در مقابل، رقم جی‌اچ‌هیل حساس‌ترین رقم به تنش بی‌کربنات کلسیم بود. همچنین کاربرد اسیدهای آلی از طریق بهبود محتوای آب نسبی برگ، محتوای کلروفیل برگ و کارایی فتوسنتز، تجمع پرولین و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب بهبود ویژگی‌های رشدی ارقام هلو تحت شرایط تنش بی‌کربنات کلسیم شد.

منابع

احیایی، ع. و بهبهانی‌زاده، م. (۱۳۷۲) شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره ۸۹۳، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

ایمانی، ع.، پرویزی، خ.، بیرامی جم، ح. و هادوی، ا. (۱۳۹۹) بررسی اثرات غلظت بی‌کربنات کلسیم بر واکنش فیزیولوژیکی و صفات رشدی ارقام بادام پیوندشده بر روی پایه رویشی GN15. علوم باغبانی ۲۴۶-۲۳۱.

بیارش، م.، رقامی، م.، روستا، ح. و کریمی، ح. (۱۳۹۹) ارزیابی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی دو رقم اسفناج (هیبرید و ایرانی) تحت تنش آب قلیایی. دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها ۴: ۳۹-۲۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

رستمی، ر.، ارشادی، ا. و ساری خانی، ح. (۱۳۹۴) ارزیابی تحمل پایه‌های هلو، بادام تلخ، GF677 و GN15 به کلروز ناشی از بی‌کربنات و کمبود آهن. به‌زراعی کشاورزی ۱۷: ۳۵۵-۳۴۱.

شریفی اصل، ر.، شجاعیان، ع.، صیدی، م. و گیتی، ع. (۱۳۹۱) بررسی اثرات سطوح مختلف اسیدیته آب آبیاری بر کمیت و کیفیت دو رقم شمعدانی. نشریه علوم باغبانی ۲۶: ۲۲۹-۲۲۳.

شهابی، ا. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۲) نقش بی‌کربنات در بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در درختان میوه. چاپ اول. انتشارات سنا، تهران، ایران.

کلباسی، م. (۱۳۷۴) کلروز آهن یا زردی برگ درختان میوه. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

مرادی، ح.، اثنی عشری، م. و ارشادی، ا. (۱۳۹۸) ارزیابی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی پایه‌های پیوندشده و غیرپیوندی بادام به تنش خشکی. علوم باغبانی ایران ۵: ۳۲۳-۳۱۱.

Abdellatif, Y. and Ibrahim, M. (2018) Non-enzymatic anti-oxidants potential in enhancing *Hibiscus sabdariffa* L. tolerance to oxidative stress. International Journal of Botany 14: 43-58.

Adeleke, R., Cloete, T. E. and Khasa, D. P. (2012) Culturable microorganisms associated with Sishen iron ore and their potential roles in biobeneficiation. World Journal of Microbiology and Biotechnology 28: 1057-1070.

Adeleke, R., Nwangburuka, C. and Oboirien, B. (2017) Origins, roles and fate of organic acids in soils: A review. South African Journal of Botany 108: 393-406.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods Enzymol 105: 121-126.

Ahmad P. and Sharma, S. (2010) Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under $NaHCO_3$ stress. International Journal of Plant production 4: 1735-1743.

Albiac, J., Hanemann, M., Calatrava, J., Uche, J. and Tapia, J. (2006) The rise and fall of the Ebro water transfer. Natitonal Resources Journal 46: 727-757.

Alcantara, E., Romera, F. J. and De La Guardia, M. D. (1988) Genotypic differences in bicarbonate-induced iron chlorosis in sunflower. Journal of Plant Nutrition 11: 65-67.

Alonso Valdez Aguilar, L. (2004) Effect of alkalinity irrigation water on selected greenhouse crops. Thesis 293.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Balaguer, L., Pugnaire, F. I., Martinez-Ferri, E., Armas, C., Valladares, F. and Manrique, E. (2002) Ecophysiological siginificance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme acidity in *Stipa tanacissima* L. Plant and Soil 240: 343-352.

Barton, L. L. and Abadia, J. (2006) Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. Springer.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bertoni, G. M., Pissaloux, A., Morad, P. and Sayag, D. R. (1992) Bicarbonate-pH relationship with iron chlorosis in white lupine. Journal of Plant Nutrition 15: 1509-1518.

Beyer, W. F. and Fridovich, I. (1987) Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in condition. Analytical Biochemistry 161: 559-566.

Brown, J. C. (1961) Iron chlorosis in plants. Advances in Agronomy 13: 329-369

Cardarelli, M., Rouphael, Y., Rea, E. and Colla, G. (2010) Mitigation of alkaline stress by arbuscular mycorrhiza in zucchini plants grown under mineral and organic fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173: 778-787.

Carrera, M. and Ortiz, E. (1984) Performance of three quince rootstock for pears. Acta Horticulturae 161: 231-234.

Chandel, J. S. and Chauhan, J. S. (1991) Accumulation of proline, ABA and carbohydrate contents in Starking Delicious apple on clonal rootstocks and their correlation with drought resistance. Progress in Horticulture 23: 5-11.

Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Salerno, A. and Rea, E. (2010) The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. Environmental and Experimental Botany 68: 283-291.

De la Guardia, M. D. and Alcantara, E. (2002) Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. Journal of Plant Nutrition 25: 1021-1032.

Deng, C. N., Zhang, G. X., Pan, X. L. and Zhao, K. Y. (2010) Chlorophyll fluorescence and gas exchange responses of maize seedlings to saline-alkaline stress. Bulgarian Journal of Agricultural Science 16: 49-58.

Egilla, J. N., Byrne, D. H. and Reed, D. W. (1994) Iron stress response of three peach rootstock cultivars: Ferric iron reduction capacity. Journal of Plant Nutrition 17: 2079-2103.

El-Beltag, H. S., Sherif Helmy, A., Alia Awad Mahmoud, N. and Reman Raafat, A. (2017) Effect of salicylic acid and potassium citrate on cotton plant under salt stress. Fresenius Environmental Bulletin 26: 1091-1100.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

El-Tohamy, W., El-Abagy, H., Badr, M. and Gruda, N. (2013) Drought tolerance and water status of bean plants (*Phaseolus vulgaris L*.) as affected by citric acid application. Journal of Applied Botany and Food Quality 86.

Gebaly, S. Ahmed, F. and Namich, A. (2013) Effect of spraying some organic amino acids and potassium citrate on alleviation of drought stress in cotton plants. Journal of Plant Production 4: 1369-1381.

Geddie, A. W. and Hall, S. G. (2019) The effect of salinity and alkalinity on growth and the accumulation of copper and zinc in the *Chlorophyta ulva fasciata*. Ecotoxicology and Environmental Safety 172: 203-209.

Genty, B., Briantais, J. M. and Baker, N. R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochim Biophys Acta 990: 87-92.

Gonzalez-Vallejo, E., Morales, F., Cistue, L., Abadia, A. and Abadia, J. (2000) Iron deficiency decreases the Fe (III) - Chelate reducing activity of leaf protoplasts. Plant Physiology 122: 337-344.

Hensen, N. C., Schmitt, M. A., Anderson, J. E. and Strok, J. S. (2003) Iron deficiency of soybean in the upper mid west and associated soil properties. Agronomy Journal 95: 1595-1601.

Hu, L., Zhang, Z., Xiang, Z. and Yang, Z. (2016) Exogenous application of citric acid ameliorates the adverse effect of heat stress in tall fescue (*Lolium arundinaceum*). Frontiers in Plant Science 7: 179.

Katerji, N., Van Hoom, J. W., Hamdy, A., Masrtorilli, M. and Mou Karzel, E. (1997) Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. Agriculture Water Management 34: 57-69.

Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Naeem, M. and Khan, M. M. A. (2010) Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation. Acta Physiologiae Plantarum 32: 121-129.

Ksouri, R., Debez, A., Mahmoudi, H., Ouerghi, Z., Gharsalli, M. and Lachaal, M. (2007) Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. Plant Physiology and biochemistry 45: 315-322.

Liu, J. and Shi, D. C. (2010) Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. Photosynthetica 48: 127-134.

Lopez-Bucio, J., de la Vega, O. M., Guevara-Garcia, A. and Herrera-Estrella, L. (2000) Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. Natioonal Biotechnology 18: 450-453.

Macias-Benitez, S., Garcia-Martinez, A., Caballero Jimenez, P., Gonzalez, J., Tejada Moral, M. and Parrado Rubio, J. (2020) Rhizospheric organic acids as biostimulants: Monitoring feedbacks on soil microorganisms and biochemical properties. Frontiers in Plant Science 11: 663.

Manul, D. G. and Esteban, A. (2002) Bicarbonate and low iron level increase rot to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. Plant Nutrition 25: 1021-1032.

Mengel, K. (1994) Iron availability in plant tissues, iron chlorosis on calcareous soils. Plant and Soil 165: 275-283.

Parker, M. B. and Walker, M. E. (1986) Soil pH and manganes effects on manganes nutrition of peanut. Agronomy Journal 78: 614-620.

Penas, E. J., Wiese, R. A., Elmore, R. W., Hergert, G. W. and Moomaw, R. S. (1990) Soybean chlorosis studies on high pH bottomland soils. University of Nebraska Institution of Agriculture. National Resources Bulletin 312. University of Nebraska, Lincoln, NE.

Pestana, M., David, M. and Varennes, A. (2001) Responses of ‘‘Newhall’’ orange trees to iron deficiency in hydroponics, effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency, and root ferric chelate reductase activity. Journal of Plant Nutrition 24: 1609-1620.

Pissaloux, A., Morarad, P. and Bertoni, G. (1995) Alkalinity-bicarbonate calcium effects on iron chlorosis in white lupine in soilless culture. In: Development in Plant and Soil Science Iron Nutrition in Soils and Plants (ed. Abadia, J.) Pp.127-133. Seventh International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants.

Ritchie, S. W., Nguyan, H. T. and Holaday, A. S. (1990) Leaf Water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.

Roosta, H. R. (2011) Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese and zinc conditions in lettuce. Journal of Plant Nutrition 34: 717-731.

Shahsavandi, F., Eshghi, S., Gharaghani, A., Ghasemi-Fasaei, R. and Jafarinia, M. (2020) Effects of bicarbonate induced iron chlorosis on photosynthesis apparatus in grapevine. Scientia Horticulturae 270: 109427.

Shi, D. C. and Yin, L. J. (1993) Different between salt (NaCl) and alkaline (Na_2CO_3) stresses on *Puccinellia tenuiflora* (Griseb) Scribn. Merr. plants. Acta Botanica Sinica 35: 144-149.

Smith, K., Vierheller, T. and Carol, A. (1988) Properties and functions of glutathione reductase in plants. Physiologia Plantarum 77: 449-456.

Tagliavini, M., Baldi, E. Lucchi, P. Antonelli, M. Sorrenti, G. Baruzzi, G. and Faedi, W. (2001) Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria* × *ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. European Journal of Agronomy 23: 15-25.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

Tahjib-Ul-Arif, M., Zahan, M. I., Karim, M. M., Imran, S., Hunter, C. T., Islam, M. S., Mia, M. A., Hannan, M. A., Rhaman, M. S., Hossain, M. A., Brestic, M., Skalicky, M. and Murata, Y. (2021) Citric acid-mediated abiotic stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences 22: 7235.

Tusei, C. (2019) The effects of citric acid on ph and nutrient uptake in wheatgrass (*Triticum aestivum*). IdeaFest: Interdisciplinary Journal of Creative Works and Research from Humboldt State University 3: 7.

Valipour, M., Baninasab, B., Khoshgoftarmanesh, A. H. and Gholami, M. (2020) Oxidative stress and antioxidant responses to direct and bicarbonate-induced iron deficiency in two quince rootstocks. Scientia Horticulturae 261: 108933.

Wang, N., Yao, C., Li, M., Li, C., Liu, Z. and Ma, F. (2019) Anatomical and physiological responses of two kiwifruit cultivars to bicarbonate. Scientia Horticulturae 243: 528-536.

Yang, C. W., Xu, H. H., Wang, L. L., Liu, J., Shi, D. C. and Wang, D. L. (2009) Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. Photosynthetica 47: 79-86.

Zhao, Y., Aspinall, D. and Paleg, L. G. (1992) Protection of membrane integrity in *Medicago sativa* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology 140: 541-543.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]

The response of peach cultivars grafted on GN-15 rootstocks to the application of organic acids under bicarbonate stress

Ehsan Akbarpour[1], Ali Imani[2], Abdolmajid Mirzaalian Dastjerdi[1*], Mansoore Shamili[1]

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Temperate Fruits Research Institute, Horticultural Research Institute, Karaj, Iran
(Received: 24/11/2021, Accepted: 11/01/2022)

Abstract

The aim of this study was to investigate effects of organic acid for alleviation of bicarbonate stress of three peach cultivars grafted on GN-15. The experiment was performed as a factorial based on a randomized complete block design during 2017-2019. Factors included peach cultivars (Red Haven, Jh. Hale and Barzegar), calcium bicarbonate (0, 7.5 and 15 mM), as well as combination of oxalic, malic and citric organic acids (0 and 10 mM). Under bicarbonate stress, proline content, activity of catalase, superoxide dismutase, guaiacol peroxidase enzymes and carbohydrate content increased. The highest amount of chlorophyll (1.65 mg / g) and Fv/Fm (0.79) was observed in Barzegar cultivar under non-stress conditions. Under severe bicarbonate stress (15 mmol), the leaves of Barzegar cultivar maintained higher relative water content (55.77%) compared to other the cultivars. Organic acids improved leaf chlorophyll content, proline accumulation, at the same time, increased the activity of antioxidant enzymes (catalase, superoxide dismutase, and glutathione reductase). Also, application of 10 mM organic acids significantly increased phosphorus, iron, zinc and manganese content of leaf, whereas it reduced chlorosis severity due to iron deficiency. Finally, Barzegar was introduced as the highest tolerant cultivars to the iron-deficiency which induced chlorosis.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Chlorosis, Chlorophyll fluorescence
.

Corresponding author, Email: majiddastjerdy@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.48.17.8]