

## تأثیر باران اسیدی شبیه‌سازی شده بر جوانه‌زنی، رشد، محتوای عناصر، پروتئین و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*)

مهری عسکری\*، فریبا امینی و نسرین میرمحمودی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۷)

### چکیده

استفاده کنترل نشده از سوخت‌های فسیلی در صنعت و حمل و نقل باعث افزایش آلاینده‌های گازی همچون دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) و مشتقات آنها و ازن ( $O_3$ ) شده است. به‌علاوه تنش‌های مرطوب و خشک این گازها مسیر اصلی ورود این یونها به داخل اکوسیستم است. این تحقیق آثار باران اسیدی شبیه‌سازی شده با pHهای مختلف (۶/۸ به‌عنوان کنترل، ۶/۵، ۵/۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵ و ۲/۵) را بر جوانه‌زنی، رشد، مقدار عناصر، پروتئین و رنگیزه‌های فتوسنتزی گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک ارزیابی می‌کند. آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه اراک در سال ۱۳۹۱ انجام شد. نتایج نشان داد که از اسیدیته ۶/۸ تا ۵/۵ میزان عناصر P و K، پروتئین و وزن تر و خشک برگ افزایش معنی‌داری می‌یابند. در معرض باران اسیدی شبیه‌سازی شده با اسیدیته بالا (pH=۲/۵ تا pH=۵/۵)، جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد، میزان عناصر مورد سنجش P و K، مقدار پروتئین و رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش معنی‌داری نشان دادند، در حالی که محتوای گوگرد افزایش معنی‌دار ۱۵۰ تا ۵۵٪ نسبت به شاهد نشان داد. بیشترین میزان گوگرد در pH=۲/۵ اندازه‌گیری شد. باران اسیدی در اسیدیته بالا رشد و پروتئین‌سازی گیاه را کاهش و محتوای گوگرد برگ را افزایش داد. با توجه به این‌که اسیدیته پایین رشد گیاه گوجه‌فرنگی را تقویت کرد و اسیدیته بالا بازدارنده رشد بود، بنابراین کشت گوجه‌فرنگی در محیط‌های با اسیدیته کم پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، بخش‌های هوایی، پتاسیم، ریشه، فسفر، گوگرد

۱. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m-askary@araku.ac.ir

## مقدمه

رشد، کاهش محصول و یا آسیب برگگی به دلیل اختلال در فتوسنتز، تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش فتوفیتین و ایجاد سمیت از جمله اثرات باران اسیدی است (۹، ۱۸ و ۲۷). تغییرات فیزیکی ظاهر شده در گیاهان در معرض باران اسیدی نشان‌دهنده آسیب به متابولیسم گیاه است. باران اسیدی بر ساختمان و نشت‌پذیری غشای سلول اثر کرده و با اثر بر فعالیت‌های آنزیمی بر مراحل بیوشیمیایی سلول تأثیرگذار است (۹ و ۱۸). ریشه گیاهان به وسیله بارش‌های اسیدی آسیب می‌بینند. رشد گیاهان متوقف و یا حتی آنها می‌میرند (۹ و ۲۰). باران اسیدی به لایه مومی برگ آسیب می‌رساند و گیاه را در برابر بیماری‌ها آسیب‌پذیر می‌کند. حتی اگر گیاه در معرض باران اسیدی زنده باقی بماند در برابر شرایط آب و هوایی شبیه بادهای قوی، بارندگی‌های سنگین و یا دوره‌های کوتاه خشکی بسیار بی‌دوام، ضعیف و ناتوان می‌شود (۹). آسیب‌های ظاهری و تغییرات معنی‌دار رشد و محصول معمولاً بعد از در معرض قرارگیری شروع می‌شود که وابسته به سطوح بالا از آلاینده‌ها است. باران اسیدی ( $H_2SO_4$ ) شبیه دیگر فرم‌های تنش‌های اکسیداتیو رادیکال‌های آزاد را افزایش می‌دهد که می‌تواند آسیب جدی به ماکرومولکول‌های سلول مثل پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA برساند (۷).

گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum* گیاهی علفی از خانواده Solanaceae (۵) یکی از مهم‌ترین تولیدات صنایع تبدیلی در جهان می‌باشد. سالانه ۳۰ الی ۳۵ میلیون تن گوجه تازه در کارخانجات فراهم می‌گردد که سرشار از مواد معدنی، ویتامین، اسیدآمین‌های ضروری، قند، فیبرهای رژیمی، ویتامین B، C، آهن و فسفر است (۱۱). هم‌چنین مقادیر زیادی لیکوپن، کارتنوئید و آسکوربیک اسید دارد که همانند آنتی‌اکسیدان‌ها به حذف رادیکال‌های آزاد کمک می‌کنند (۱۷). با توجه به میزان تولید و اهمیت بالای گوجه از نظر آنتی‌اکسیدان و آلودگی هوای شهر صنعتی اراک، در این تحقیق تأثیر باران اسیدی بر جوانه‌زنی، پارامترهای رشد، میزان پروتئین، عناصر و رنگیزه‌های فتوسنتزی گوجه بررسی شده است.

انرژی اساساً از سوزاندن سوخت‌هایی همچون ذغال‌سنگ، روغن و گازهای طبیعی تولید می‌شود که نتیجه آنها رها شدن مواد مضر در طبیعت است. سوختن سوخت‌های فسیلی در صنعت، حمل و نقل و شهرسازی منجر به افزایش غلظت گازهای اکسیدهای سولفور، نیتروژن و ذرات آلاینده در اتمسفر و در نتیجه آلودگی هوا می‌شود (۲۲). در حال حاضر میزان انتشار گاز  $SO_2$  به دلیل مصارف بالای سوخت‌های فسیلی در کل جهان رو به افزایش است (۲۱). دی‌اکسیدسولفور و اکسیدهای نیتروژن از دلایل اولیه باران اسیدی هستند. منابع اصلی این اکسیدها نیروگاه‌های سوزاندن ذغال‌سنگ، کارخانه‌های ذوب فلزات (تولیدکننده  $SO_2$ ) و آگزوز موتورسیکلت‌ها (تولیدکننده  $NO_x$ ) می‌باشد. این اکسیدها می‌توانند با دیگر مواد شیمیایی واکنش دهند و مواد خوردنده‌ای تولید کنند که مواد موجود در رطوبت و خشکی را می‌شوید (۲۴). باران اسیدی و آلودگی هوا توسط ترکیباتی مثل دی‌اکسیدگوگرد، هیدروژن‌سولفید، سولفیت و یون‌های سولفات یک مشکل جدی برای جامعه جهانی است (۱۹).

اکسید شدن  $SO_2$  معمولاً در حضور کاتالیستی همچون  $NO_2$ ، تشکیل  $H_2SO_4$  و باران اسیدی را می‌دهد که بر تمام اجزا اکوسیستم آبی و خاکی تأثیرگذار است. به‌علت اسیدی شدن خاک، مواد غذایی موجود در خاک تخریب می‌شوند. میکروارگانیسم‌های مفید خاک که از مواد آلی در حال فساد درون خاک استفاده و مواد معدنی آنها را آزاد می‌کنند، در خاک به دلیل pH اسیدی حاصل از باران اسیدی کشته می‌شوند که این امر موجب کمبود مواد غذایی در دسترس گیاه می‌شود (۹). یکی از مهم‌ترین اثرات باران اسیدی، کاهش شدید تولیدات کشاورزی است (۲۷). تیمار باران اسیدی بر گونه‌های مختلف و یا حتی وارته‌های مختلف از یک گونه اثرات متفاوتی دارد (۱۹). هم‌چنین باران اسیدی بر مراحل بیوشیمیایی و بیوفیزیکی گیاهان تأثیر دارد (۱۳). جلوگیری از

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان ۱۳۹۱ در گروه زیست‌شناسی دانشگاه اراک انجام شد. بذر گیاه گوجه‌فرنگی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. بذرهای توسط اتانول ۷۰ درصد به مدت ۲ دقیقه و سپس هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی سطحی و سپس ۵ بار با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس ۱۰ عدد بذر بین دو کاغذ صافی مرطوب درون پتری‌دیش‌های محتوی محلول هوگلند با اسیدیت‌های مختلف (۶/۸ به‌عنوان کنترل، ۶/۵، ۶، ۵/۵، ۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵ و ۲/۵) که با استفاده از  $H_2SO_4$  تنظیم می‌شد در تاریکی و ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد از ۶ روز تعداد بذرهای جوانه‌زده هر پتری‌دیش شمارش و درصد جوانه‌زنی آن محاسبه شد.

## کشت هیدروپونیک گوجه

گیاهک‌های یک روزه حاصل از جوانه‌زنی بذرهای ضدعفونی شده گوجه‌فرنگی درون پتری‌دیش محتوی محلول هوگلند، در شرایط کاملاً استریل به میکروتیوب‌های استریل با انتهای بریده شده انتقال یافتند. میکروتیوب‌های فوق با توجه به تعداد تیمارها به ۳۰ ظرف حاوی ۱/۵ لیتر محلول هوگلند که با پمپ هوا هوادهی می‌شدند، منتقل شدند. هر ظرف حاوی ۶ عدد بذر گوجه، یک تکرار از یک تیمار در نظر گرفته شد. این گیاهان در فتوپریود ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی با درجه حرارت  $25^{\circ}C$  و  $18^{\circ}C$  قرار گرفتند. اعمال تنش باران اسیدی با استفاده از محلول اسیدسولفوریک با اسیدیت‌های مختلف (۶/۸ به‌عنوان کنترل، ۶/۵، ۶، ۵/۵، ۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵ و ۲/۵) صورت گرفت. اسپری محلول شبیه‌سازی شده توسط آب‌پاش‌های دستی به گیاهان ۲۸ روزه به مدت سه هفته و هر هفته یکبار در صبح انجام شد. طول ساقه، عمق ریشه، وزن تر بخش‌های هوایی و ریشه گیاهان ۴۹ روزه اندازه‌گیری و بعد از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در  $70^{\circ}C$  تا رسیدن به وزن ثابت، وزن خشک ریشه و بخش‌های هوایی اندازه‌گیری شد (۱۹). در اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها روش آرنون (۱)، کارتئوئیدها روش لیچنتتالر و

ولبورن (۱۴)، محتوای پروتئین روش بردفورد (۲)، پتاسیم روش وانگ و همکاران (۲۶)، گوگرد روش هیجانو و همکاران (۸) و فسفر روش کروس و همکاران (۴) استفاده شد. آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶، مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس اثر معنی‌دار تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده را بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی شامل درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های ۶ روزه، وزن تر و خشک بخش‌های هوایی و ریشه، ارتفاع بخش‌های هوایی و عمق ریشه، میزان پتاسیم، فسفر، گوگرد، پروتئین، کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و کارتئوئید در گوجه ۴۹ روزه نشان می‌دهد (جدول ۱).

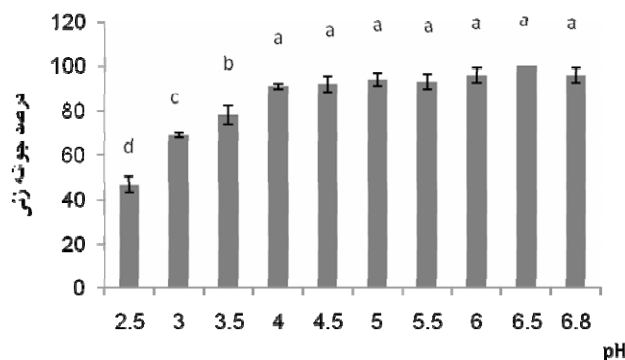
کمترین و بیشترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب در  $pH=2/5$  و  $pH=6/5$  مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین اسیدیت‌های ۶/۸ تا ۴ مشاهده نشد. درصد جوانه‌زنی در  $pH=2/5$ ،  $pH=3$  و  $pH=3/5$  به ترتیب ۱۲/۲۸٪، ۱۸/۷۵٪ کاهش نسبت به شاهد و در  $pH=6/5$  تا ۴٪ افزایش نسبت به شاهد ( $pH=6/8$ ) را نشان داد (شکل ۱). در بررسی ظاهر برگ گیاهان تحت تیمار باران اسیدی وجود نقاط کلروزه را بر سطح برگ گیاهان در معرض اسیدیت ۲/۵، ۳ و ۳/۵ و به مقدار کمی در  $pH=4$  مشاهده شد که این نقاط در  $pH$ ‌های بالاتر و نمونه شاهد مشاهده نشد (شکل ۲).

بیشترین طول بخش‌های هوایی (۳۵Cm) و عمق ریشه (۴۱Cm) در  $pH=5/5$  و کمترین میزان طول بخش‌های هوایی (۱۹/۱۶Cm) و عمق ریشه (۲۰/۲۳Cm) در  $pH=2/5$  در گوجه ۴۹ روزه دیده شد. به طوری که در گیاهان ۴۹ روزه، بعد از ۳ بار قرارگیری در معرض باران اسیدی با  $pH=5/5$  طول بخش‌های هوایی ۳۵/۰۸٪ و عمق ریشه ۱۹/۰۸٪، نسبت به شاهد افزایش را نشان دادند، اما با کاهش میزان  $pH$  باران‌اسیدی در

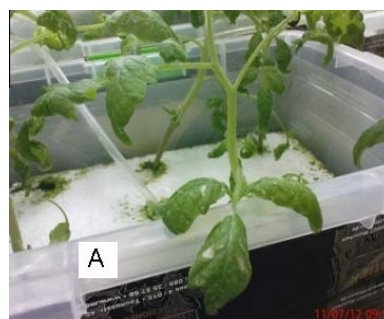
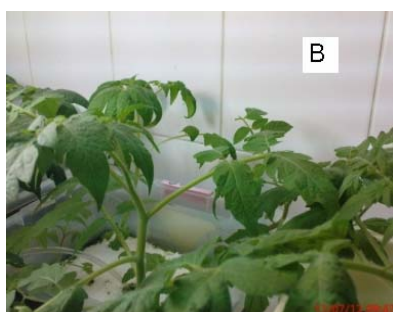
جدول ۱. جدول آنالیز واریانس اثر تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده با اسیدته‌های مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده در گوجه‌فرنگی

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
وزن خشک بخش هوایی	وزن تر بخش هوایی	عمق ریشه	ارتفاع بخش هوایی	درصد جوانه‌زنی		
۰/۲۸	۳۰/۲۲	۱۱۱/۴	۸۷/۱۳	۲۳۱/۲۴	۹	تیمار
۰/۱۱	۸/۰۲	۱/۲۲	۱/۳۰	۷/۵۲	۲۹	خطا
۲/۵۲*	۳/۷۷**	۹۱/۳۲**	۶۶/۹۷**	۳۰/۷۵**		مقدار F
وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	گوگرد	فسفر	پتاسیم		
۰/۰۲۸	۱۷/۰۷	۰/۳۷	۵/۶۵	۰/۱۴	۹	تیمار
۰/۰۰۲	۱/۴۶	۰/۰۰۶	۰/۲۳	۰/۰۳	۲۹	خطا
۱۶/۳۱**	۱۱/۶۹**	۵۶/۸۶**	۲۴/۳۵**	۴/۲۰۶**		مقدار F
پروتئین	کلروفیل کل	کارتنوئید	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل <i>a</i>		
۱۱۴۱/۳	۰/۴۷	۴/۲۳	۰/۳۱	۰/۲۴	۹	تیمار
۸/۹۲	۰/۰۰۲	۰/۰۷۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۲۹	خطا
۱۲۷/۹۱**	۲۰۵/۵۳**	۵۷/۱۰۵**	۴۰/۱۴**	۴۰/۵۳**		مقدار F

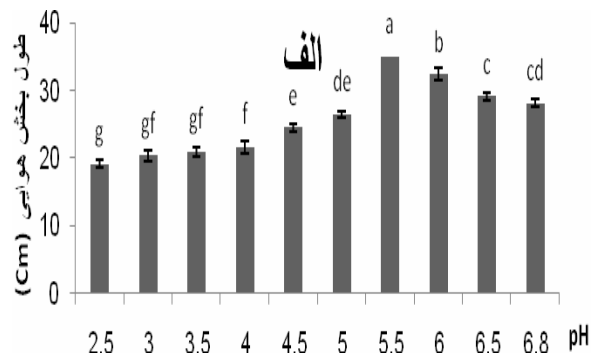
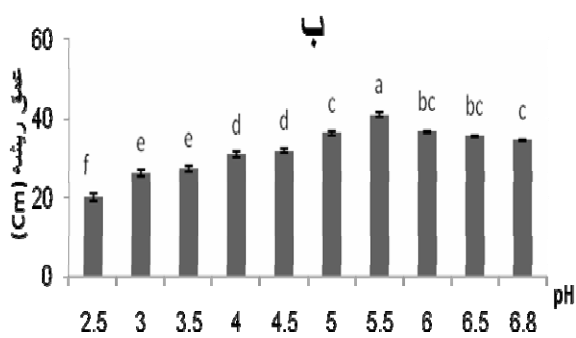
ns: معنی دار نیست      \*: معنی دار در سطح ۰/۰۵      \*\*: معنی دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۱. درصد جوانه‌زنی بذر گوجه در روز ششم تحت تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده با اسیدته‌های مختلف. خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی دار بودن اختلاف می‌باشد.



شکل ۲. اثر تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده بر ظاهر برگ گوجه ۴۹ روزه و ظهور نقاط کلروزه (A)  $pH=2/5$  و (B)  $pH=6/8$  (شاهد).



شکل ۳. تغییرات طول بخش‌های هوایی (الف) و عمق ریشه (ب) گیاهان گوجه ۴۹ روزه تحت تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده با اسیدیته‌های مختلف (۸/۶ به عنوان شاهد، ۵/۶، ۴/۵، ۳/۵، ۳، ۲/۵). خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف برای هر شاخص براساس دانکن می‌باشد.

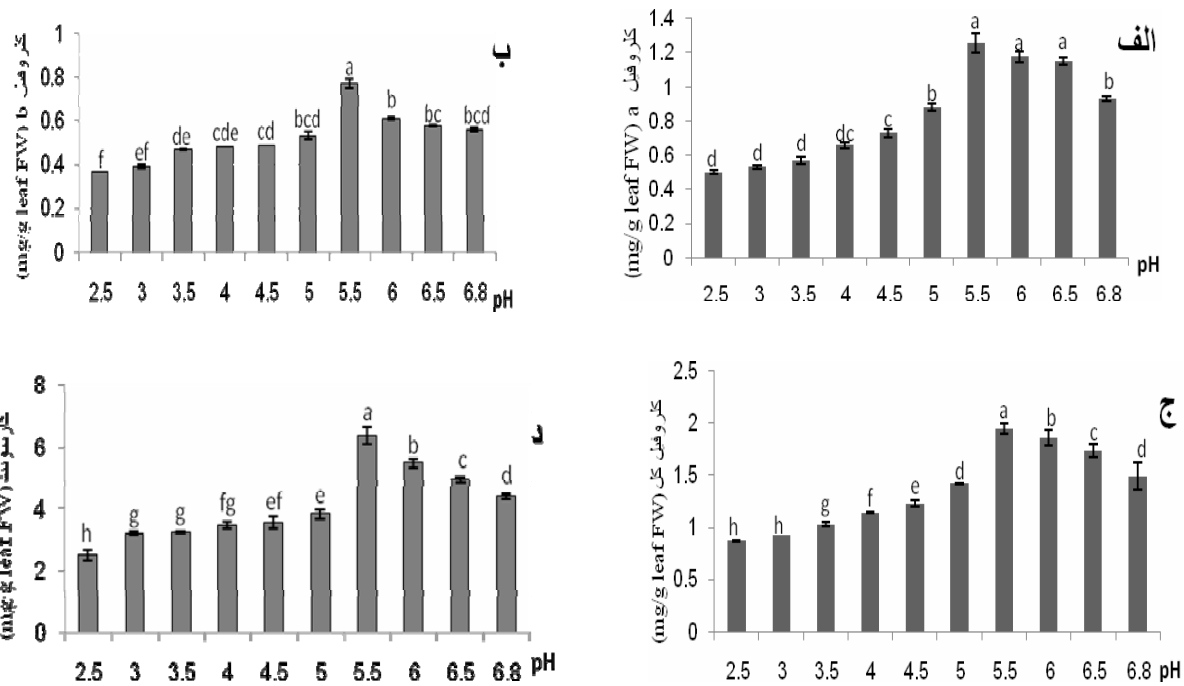
در  $pH=6/5$  اختلاف معنی‌داری بین میزان گوگرد گیاهان تحت تیمار و شاهد دیده نشد. با افزایش اسیدیته تا  $2/5$  مقدار گوگرد افزایش یافت، به طوری که در  $pH$ های ۶، ۵/۵، ۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵، ۳ و  $2/5$  میزان گوگرد برگ به ترتیب ۱/۵، ۲، ۳، ۴، ۵، ۵/۵ برابر میزان گوگرد شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

بیشترین میزان پتاسیم ( $0/019 mg/g DW$ ) در  $pH=5/5$  با  $26/66\%$  افزایش و کمترین ( $0/01 mg/g DW$ ) در  $pH=2/5$  با  $33/33\%$  کاهش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد. در  $pH=6$  میزان پتاسیم  $13/33\%$  افزایش نسبت به شاهد را نشان می‌دهد (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان فسفر برگ به ترتیب در  $pH=5/5$  ( $0/038 mg/g DW$ ) با  $15/15\%$  افزایش و  $pH=2/5$  ( $0/017 mg/g DW$ ) با  $48/49\%$  کاهش نسبت به شاهد دیده شد. میزان فسفر گیاهان تحت تیمار در  $pH$ های ۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵ و ۳ به ترتیب ۳،  $27/27\%$ ،  $30/31\%$ ،  $39/34\%$  و  $42/43\%$  نسبت به شاهد کاهش را نشان دادند (جدول ۲). میزان پروتئین در  $pH=5/5$  نسبت به شاهد  $104/56\%$  افزایش دارد ولی در  $pH$ های اسیدی‌تر تا  $pH=2/5$  با افزایش شدت تنش میزان پروتئین نسبت به شاهد کاهش را نشان داد. در  $pH=2/5$  میزان پروتئین نسبت به گیاه شاهد  $58/80\%$  کاهش را نشان داد (جدول ۲).

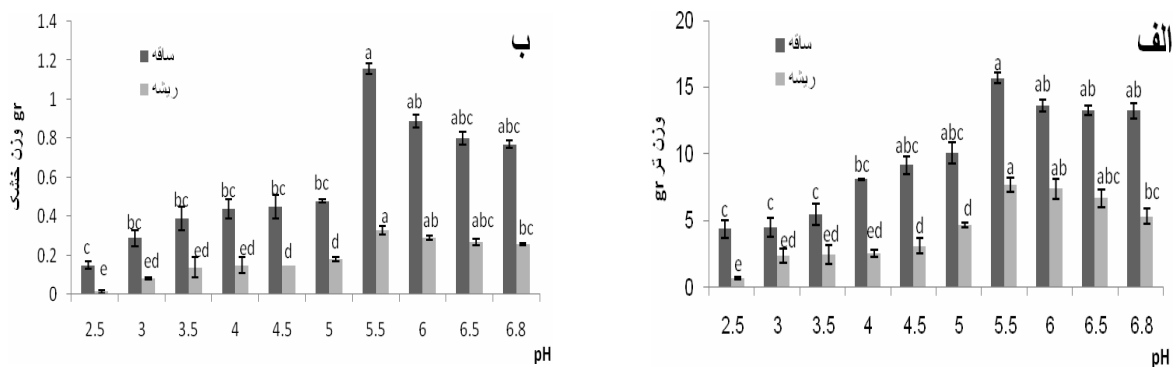
گیاهان ۴۹ روزه در  $pH=2/5$  طول بخش‌های هوایی و عمق ریشه به ترتیب  $31/88\%$  و  $41/24\%$  کاهش را نسبت به گیاهان شاهد ( $pH=6/8$ ) نشان دادند (شکل ۳).

بیشترین میزان کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$ ، کلروفیل کل و کارتنوئید در گیاهان تحت تیمار  $pH=5/5$  اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$ ، کلروفیل کل و کارتنوئید در  $pH=5/5$  به ترتیب  $35\%$ ،  $37\%$ ،  $30\%$  و  $44\%$  برابر همین رنگیزه‌ها در گیاهان شاهد می‌باشد اما با افزایش اسیدیته در اثر باران اسیدی تا  $pH=2/5$  میزان کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$ ، کلروفیل کل و کارتنوئید به ترتیب  $42/23\%$ ،  $33/93\%$ ،  $42/62\%$  و  $43/86\%$  نسبت به گیاهان شاهد کاهش نشان دادند (شکل ۴).

وزن تر و خشک بخش‌های هوایی و ریشه گیاهان ۴۹ روزه تا  $pH=5/5$  نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. این افزایش برای وزن تر و خشک بخش‌های هوایی در  $pH=5/5$  به ترتیب  $18/40\%$  و  $50/64\%$  و برای وزن تر و خشک ریشه به ترتیب  $44/4\%$  و  $26/92\%$  نسبت به شاهد می‌باشد ولی در محیط‌های اسیدی‌تر (تا  $pH=2/5$ ) وزن تر و خشک بخش‌های هوایی و ریشه کاهش یافتند، به طوری که در  $pH=2/5$  به ترتیب وزن تر و خشک بخش‌های هوایی  $66/89\%$  و  $80/51\%$  و وزن تر و خشک ریشه  $86/91\%$  و  $84/61\%$  کاهش را نسبت به شاهد نشان می‌دهند (شکل ۵).



شکل ۴. تغییرات کلروفیل *a* (الف)، کلروفیل *b* (ب)، کلروفیل کل (ج) و کارتنوئید (د) (وزن تر برگ) گیاهان ۴۹ روزه گوجه در تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده با اسیدیته‌های مختلف. خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف براساس تست دانکن می‌باشد.



شکل ۵. تغییرات وزن تر (الف) و وزن خشک (ب) بخش‌های ریشه و ساقه گیاهان ۴۹ روزه در pHهای مختلف باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده (۲/۵، ۳، ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۶/۸). خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف برای هر شاخص می‌باشد.

### بحث

مشابه برای برنج (۲۸) و گندم (۲۰) گزارش شده است. تأثیر مثبت یا منفی باران اسیدی به‌علت مقدار سولفات آن می‌باشد. جوانه‌زنی بذرهایی که در معرض باران اسیدی شبیه‌سازی شده

در مطالعه حاضر با کاهش میزان pH از ۴ تا ۲/۵، درصد جوانه‌زنی بذرهایی گوجه کاهش معنی‌داری نشان دادند. نتایج

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمار باران اسیدی  $H_2SO_4$  شبیه‌سازی شده با pHهای مختلف بر میزان فسفر، پتاسیم، گوگرد و پروتئین گوجه ۴۹ روزه. در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها (میانگین سه تکرار  $\pm SE$ ) براساس آزمون دانکن می‌باشد.

pHهای مختلف	پتاسیم (mg/g DW)	فسفر (mg/g DW)	گوگرد (mg/g DW)	پروتئین (mg/g FW)
۲/۵	۰/۰۱ <sup>e</sup> ± ۰	۰/۰۱۷ <sup>f</sup> ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۱ <sup>a</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۳۲ <sup>g</sup> ± ۳/۲۰
۳	۰/۰۱ <sup>e</sup> ± ۰	۰/۰۱۹ <sup>ef</sup> ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۰ <sup>a</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۵۰/۲۰ <sup>f</sup> ± ۵/۰۹
۳/۵	۰/۰۱۱ <sup>ed</sup> ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۲۰ <sup>e</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۰ <sup>b</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۶۸/۲۹ <sup>e</sup> ± ۱/۴۹
۴	۰/۰۱۲ <sup>d</sup> ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۳ <sup>d</sup> ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۹ <sup>bc</sup> ± ۰/۰۰۰۶	۷۴/۵ <sup>de</sup> ± ۲/۱
۴/۵	۰/۰۱۳ <sup>cd</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۲۴ <sup>d</sup> ± ۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۸ <sup>c</sup> ± ۰/۰۰۰۲	۷۵/۲۶ <sup>de</sup> ± ۱/۵
۵	۰/۰۱۳ <sup>cd</sup> ± ۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۲ <sup>c</sup> ± ۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶ <sup>d</sup> ± ۰/۰۰۰۷	۹۷/۷ <sup>b</sup> ± ۲/۷
۵/۵	۰/۰۱۹ <sup>a</sup> ± ۰/۰۰۰۸	۰/۰۳۸ <sup>a</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴ <sup>f</sup> ± ۰/۰۰۰۷	۱۶۰/۴ <sup>a</sup> ± ۰/۶۲
۶	۰/۰۱۷ <sup>cb</sup> ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۵ <sup>b</sup> ± ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳ <sup>ef</sup> ± ۰/۰۰۰۴	۸۷/۸۶ <sup>c</sup> ± ۴/۹
۶/۵	۰/۰۱۶ <sup>b</sup> ± ۰/۰۰۰۵	۰/۰۳۳ <sup>bc</sup> ± ۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲ <sup>fg</sup> ± ۰/۰۰۰۴	۷۸/۷۷ <sup>e</sup> ± ۳/۲
۶/۸	۰/۰۱۵ <sup>b</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۳ <sup>bc</sup> ± ۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲ <sup>g</sup> ± ۰/۰	۷۸/۴۱ <sup>e</sup> ± ۰/۱

معنی‌دار را نشان می‌دهد. نتایج مشابه در گیاه گل همیشه بهار (۲۵) و گوجه‌فرنگی (۱۹) گزارش شده است. باران اسیدی با pH کم، حلالیت نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد. نیتروژن در ساختمان کلروفیل استفاده می‌شود. بنابراین باران اسیدی در pH کمتر اسیدی باعث افزایش رشد و تولیدات گیاهی می‌شود (۲۰). باران اسیدی با pH خیلی اسیدی بازده استفاده از کلروفیل در فتوسنتز کاهش می‌دهد که می‌تواند با افزایش نرخ تنزل کلروفیل به فتوفتین، تبدیل کلروفیل *b* به کلروفیلاید و در نتیجه کاهش نرخ فتوسنتز همراه باشد (۱۵). قرار دادن برگ‌ها در معرض باران اسیدی منجر به افزایش شدت انتشار فلورسانس کلروفیل از کمپلکس جمع‌کننده نور و تغییر ساختار سیستم غشای تیلاکوئید می‌شود (۱۹). کاهش در میزان کارتنوئیدها به علت تمرکز اسیدسولفوریک در بافت‌های گیاهی و متعاقب آن تفکیک یون‌های  $H^+$  و  $HSO_3^-$  است که باعث تجزیه و کاهش یافتن پیگمانت‌ها می‌شود (۹).

در این مطالعه، افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد در pH=۵/۵ و کاهش معنی‌دار آنها در pHهای پایین‌تر نسبت به شاهد مشاهده شد. نتایج مشابه در گوجه (۱۹)، همیشه بهار (۲۵) و لوبیا (۱۲) گزارش شده است. افزایش تولید در pHهای

با اسیدیته خیلی کم قرار دارند، می‌تواند به علت جذب سولفات در حد ایده‌آل باشند که نقش کود تقویتی را دارد ولی کاهش رشد به علت جذب بیش از اندازه سولفات است که باعث ایجاد سمیت شده و جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (۲۰).

وجود نقاط کلروزه در برگ گیاهان در معرض pHهای مختلف ۲/۵ تا ۳/۵ نشان‌دهنده آسیب برگ‌ی ناشی از  $H_2SO_4$  می‌باشد. علت نقاط کلروزه یا تیره، کاهش سنتز کلروفیل، آسیب سلول‌های اپیدرمی و مرگ بافت‌های برگ به دلیل باران اسیدی است (۱۸). گیاهان در معرض باران اسیدی، سولفات را از طریق برگ‌ها جذب می‌کنند، تجمع این سولفات با ایجاد سمیت مستقیماً باعث آسیب‌های برگ می‌شود (۲۰). در طی تنش‌های اکسیداتیو مثل باران اسیدی، میزان  $H_2O_2$  در سلول بالا می‌رود. تجمع  $H_2O_2$  و دیگر رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث پراکسیداسیون لیپیدها و پارگی سلول‌های اپیدرمی می‌شود (۶). نقاط کلروزه در هر دو سطح برگ گوجه تحت تیمار باران اسیدی با pHهای ۱/۸ تا ۳ (۱۹) و برگ‌های جوان *Wedelia trilobata* در pH=۲/۵ (۲۷) مشاهده شده است.

در این مطالعه، در pHهای کمتر اسیدی (pH= ۵/۵) میزان رنگیزه‌ها نسبت به کنترل افزایش و با کاهش بیشتر pH کاهش

عناصر می شود ولی با افزایش شدت تنش تبادل بین یون های هیدروژن و کاتیون های مغذی شبیه پتاسیم و فسفر در محیط افزایش و این کاتیون ها به درون محیط رها می شوند و توسط آبشویی از محیط خارج می شوند که همین باعث کمبود این عناصر در گیاه می شود. بنابراین باران اسیدی شدید، میزان جذب فسفر و پتاسیم را کاهش می دهد (۲۰). در این مطالعه افزایش معنی دار میزان پروتئین کل نسبت به شاهد در pH=۵/۵ مشاهده شد ولی در pH های اسیدی تر میزان پروتئین نسبت به شاهد کاهش معنی داری یافت. افزایش میزان پروتئین در pH های کمتر اسیدی به دلیل تحریک سنتز آمینواسیدهای حاوی گوگرد و افزایش نیتروژن در دسترس توسط این تنش است (۱۷ و ۲۰). کاهش محتوی پروتئین در pH های خیلی اسیدی نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال های آزاد و در نتیجه تغییر اسید آمینه، افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است (۱۶). نتایج مشابه در لوبیا (۳ و ۱۰)، سویا و نخود (۱۷) گزارش شده است.

### نتیجه گیری

باران اسیدی یکی از شکل های آلودگی هوای شهرهای صنعتی می باشد که تأثیرات منفی بر تمامیت گیاهان می گذارد. تیمار باران اسیدی با اسیدیته کم (۵/۵)، با افزایش دسترسی ریشه به عناصری مثل نیتروژن و فسفر، افزایش رنگیزه ها و پروتئین سازی، باعث بهبود شرایط برای گوجه می شود اما زمانی که میزان اسیدیته افزایش می یابد باعث ایجاد سمیت در گیاه شده و در تمام مراحل رشدی گیاه ایجاد اختلال می کند. بنابراین کشت گیاه گوجه فرنگی در خاک های کمی اسیدی و نواحی با حضور آلاینده کم SO<sub>2</sub> هوا پیشنهاد می شود.

کم تر اسیدی (pH=۵/۵) به دلیل افزایش نرخ فتوسنتز است که گیاه برای خنثی کردن تأثیر آلودگی بر فتوسنتز انجام می دهد. نقش تحریک کنندگی باران اسیدی در pH=۵/۵ در مقدار رنگیزه ها، رشد برگ ها و بخش هوایی باعث افزایش توده زیستی می شود (۲۷). با کاهش بیشتر pH کاهش در جرم زیستی می تواند ناشی از بازدارندگی فعالیت فتوسنتزی و کاهش ماده سازی گیاه باشد (۲۵). باران اسیدی تثبیت CO<sub>2</sub> را به علت کاهش کلروفیل، تعداد و سطح برگ کاهش می دهد، بنابراین سبب کاهش فتوسنتز و رشد و تولیدات گیاهی می شود (۲۷). افزایش در طول ریشه در pH کمتر اسیدی به این علت است که با افزایش حلالیت عناصر، جذب آب و مواد غذایی را بهبود بخشیده و به این دلیل شرایط مناسب تری برای تمام اجزای گیاه ایجاد شده و بخش هوایی نیز رشد بهتری خواهد داشت. احتمالاً H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> نرخ تقسیم و توسعه سلول را در pH هایی با میزان اسید بالا کند می کند در نتیجه از رشد ریشه و اندام هوایی جلوگیری می کند (۲۵).

در این بررسی تیمار باران اسیدی سبب افزایش معنی دار گوگرد برگ شده است. گوگرد یکی از عناصر ضروری برای رشد و تولید مثل گیاهان است و H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> یکی از منابع تأمین گوگرد است که پس از ورود به گیاه برای ساخت مولکول های آلی شامل اسیدهای آمینه و در نهایت پروتئین به کار می رود. افزایش مقدار گوگرد گیاهان در معرض مقادیر زیاد H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> در تمام pH ها مشاهده می شود. سطوح بیش از حد گوگرد در گیاهان می تواند مانع از فتوسنتز شود (۱۸).

در این تحقیق، مقدار پتاسیم و فسفر با کاهش pH تا ۵/۵ افزایش و با افزایش شدت تنش و اسیدی تر شدن، کاهش یافتند که مشابه نتایج مشاهده شده در *Picea abies* است (۱۰). باران اسیدی با pH کمتر اسیدی، باعث اسیدی شدن محیط و افزایش حلالیت عناصر، در نتیجه افزایش جذب

### منابع مورد استفاده

1. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts; Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.



2. Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 74: 248-254.
3. Chehregani, A and F. Kavianpour. 2007. Effect of Acid Rain on the Developmental Stages of Ovules and seed proteins in bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). *American Journal of Plant Physiology* 2(6): 367-372.
4. Creus, C. M., R. J. Sueldo and C. A. Barassi. 2004. Water relations in Azospirillum-inoculated wheat seedlings under osmotic stress. *Canadian Journal of Botany* 76: 238-244.
5. Ejaz, M., R. Waqas, M. Butt, S. U. Rehman and A. Manan. 2011. Role of macronutrient and micro-nutrient in enhancing the quality of tomato. *Journal Agronomica Vet Medicine Science* 5:401-404.
6. Foyer, C. H. and G. Noctor. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant Cell* 17: 1866-1875.
7. Gabara, B., M. Sklodowska, A. Wyrwicka, S. Glinska and M. Gapinska. 2003. Changes in the ultrastructure of chloroplasts and mitochondria and antioxidant enzyme activity in *Lycopersicon esculentum* Mill. leaves sprayed with acid rain. *Plant Science* 164: 507-516.
8. Hijano, C. F., M. D. P Dom'inguez, R. G. Gim'enez and I. S. Garc'ia. 2005. Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions in urban environments. *Environmental Monitoring and Assessment* 111: 75-88.
9. Irshad, A. H., S. Fayaz Ahmad and P. Sultan. 2011. Effect of sulphur dioxide on the biochemical parameters of spinach (*Spinacea oleracia*). *Trakia Journal of Sciences* 9(1): 24-27.
10. Jurat, R. and H. Schaub. 1988. Effects of sulfur dioxide and ozone on ion uptake of spruce (*Picea abies* (L. Karst.) Seedlings. *Plant Nutrition and Soil Science* 151: 379 – 384.
11. Kenneth, R. 2013. Evaluation of five staked tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Varieties for quality and yield. *Gladstone road agricultural centre crop research report* 16:1-14.
12. Khan, A., A. Iram and Mustabeen. 2012. Response of black gram (*Phaseolus mungo* L.) to sulphur dioxide. *Science and Technology* 7: 23-27.
13. Koricheva, J., S. Roy, J. Vernjic, E. Haukioga, P. Hughes and O. hanninen. 1996. Antioxidant responses to simulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. *Enviromental Pollution* 95 (2): 249-
14. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591 – 592.
15. Nayak, R., D. Biswal and R. Sett. 2013. Biochemical changes in some deciduous tree species around Talcher thermal power station, Odisha, India. *Journal Enviromental Biology* 34:521-528.
16. Ninfa, A. J., D. P. Ballou and M. Benore. 2009. Quantification of protein concentration(chapter 4). PP. 105-109. In: *Fundamental Laboratory Approaches for Biochemistry and Biotechnology*. John Wiley and Sons Pub., Hoboken, NG.
17. Omay S.T. and P. Zhang. 1998. Phytochemical interation:  $\beta$ -carotene. Tocopherol and ascorbic acid, PP. 53-75. In: W.R. Bbidlake, S.T. Omaye, M.S. Meskin and D. Jahner (Eds.). *Phytochemicals-A New Paradigm*. Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, USA.
18. Santos, S., B. Francisco, L. Campos, L. Silva, A. Azevedo and R. Aguiar. 2006. Effects of Simulated Acid Rain on Leaf Anatomy and Micromorphology of *Genipa americana* L. (Rubiaceae). *Brazilian archives of biology and technology* 49 (2): pp. 313-321
19. Shaukat, S. S. and M. ali khan. 2008. Growth and physiological responses of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) To simulated acid rain. *Pakistan Journal of Botany* 40(6): 2427-2435.
20. Singh, A. and M. Agrawal. 2008. Acid rain and its ecological consequences. *Journal of Environmental Biology* 29(1): 15-24 .
21. Smith, S. J., J. V. Aardenne, Z. Klimont, R. J. Andres, A. Volke and A. Delgado. 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11: 1101-1116.
22. Tripathi, A. K. and M. Gautam. 2007. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal Environmental Biology* 28: 127-132.
23. Varin, S., J. B. Cliquet, E. Personeni, J. C. Avicand. 2010. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal of Experimental Botany* 61(1): 225-234.
24. Wagh, N.D., V. Poonam, S. Shukla, B. Tambe and S.T. Ingle. 2006. Biological monitoring of roadside plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city. *Journal Environnental Biology* 27: 419-421.
25. Wali, B., M. Iqbal and M. Uzzafar. 2007. Anatomical and functional responses of *Calendula officinalis* L. to SO<sub>2</sub> stress as observed at different stages of plant development. *Flora* 202: 268-280.
26. Wang, B. S. and K. F. Zhao. 1995. Comparison of extractive methods of Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup> in wheat leave. *Plant Physiology Communications* 31(1): 50-52.
27. Wang, R., SH. Rehman, X. Liang, Y. Song, Y. SU, S. Baerson and R. Zeng. 2012. Effects of simulated acid rain on the allelopathic potential of invasive weed *Wedelia trilobata*. *Allelopathy Journal* 30(1): 23-32.
28. Zabawi, A.G. M., F. Moh Esa and C.P. Leong. 2008. Effects of simulated acid rain on germination and growth of rice plant. *Journal Tropic Agriculture and Food Science* 36(2): 281-286.