

## Evaluation of Salicylic Acid Efficacy on Photosynthesis, Gas Exchange and Adjustment of Drought Stress on Medicine Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *Styriaca*)

Hossein Rabbi Angourani<sup>1\*</sup>, Jaber Panhandeh Yingjah<sup>2</sup>, Sahebali Boland Nazar<sup>3</sup>,  
Nasrin Farhadi<sup>4</sup>

Received: 22 June 2022 Accepted: 24 November 2022

1- Former PhD Student of Horticultural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. & Assist. Prof., Research Institute of Modern Biological Techniques, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2- Assoc. Prof., of the Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Prof. of the Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4- Former PhD Student of Horticulture Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author Email: rabbihosein@znu.ac.ir

### Abstract

**Background & Objective:** Salicylic acid is a phenolic compound that plays an important role in inducing drought resistance in various plant species as a growth regulator.

**Materials & Methods:** In this study, the effect of foliar application of salicylic acid on chlorophyll content, relative water content, accumulation of osmotic compounds and fruit and seeds yield of pumpkin under different levels of drought stress was investigated. Experimental treatments were included the foliar application of salicylic acid at 4 levels (control (spray with distilled water), 0.5, 1 and 1.5 mg.L<sup>-1</sup>) and drought stress at 4 levels (100% field capacity, 85% field capacity, 70% field capacity and 55% field capacity).

**Results:** According to the present results, with increasing drought stress, chlorophyll content, stomatal conductance, transpiration rate, photosynthesis rate and leaf water content significantly decreased, however drought stress increased the amount of proline and soluble carbohydrates. These changes were accompanied by a reduction of fruit and seed yield of medicine pumpkin, so that the lowest yield was achieved under severe drought stress (55% of field capacity). Foliar application of salicylic acid by enhancing the accumulation of osmotic and protein compounds led to the mitigation of the drought stress and improved plant water status, photosynthesis and fruit and seed yield.

**Conclusion:** Based on the present results, the use of 1 mg.L<sup>-1</sup> salicylic acid is recommended to improve the yield of pumpkin especially under drought stress condition.

**Keywords:** Photosynthetic Pigments, Relative Water Content, Soluble Carbohydrate, Soluble Protein

## بررسی کارایی اسید سالیسیلیک در فتوسنتز، تبادلات گازی و تعدیل تنش خشکی در کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*)

حسین ربی انگورانی<sup>۱\*</sup>، جابر پناهنده ینگجه<sup>۲</sup>، صاحبعلی بلند نظر<sup>۳</sup>، نسرین فرهادی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۳

۱- دانشجوی سابق دکتری علوم باغبانی دانشگاه تبریز-استادیار پژوهشکده فناوریهای نوین زیستی دانشگاه زنجان

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی سابق دکتری علوم باغبانی دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبه: Email: rabbihosein@znu.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که به عنوان تنظیم کننده رشد نقش مهمی در القا مقاومت به خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی دارد. در این مطالعه، اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل، محتوی نسبی آب، تجمع ترکیبات اسمولیتی و عملکرد میوه و دانه گیاه کدو تخم کاغذی تحت سطوح مختلف تنش خشکی بررسی شد.

**مواد و روش‌ها:** تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی برگ‌گی اسید سالیسیلیک در ۴ سطح صفر (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۱، ۰/۵، ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و تنش خشکی در ۴ سطح ظرفیت زراعی (آبیاری کامل)، ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی بودند.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج حاضر با افزایش تنش خشکی مقدار کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز و محتوای آب برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که تنش خشکی مقدار پرولین و کربوهیدرات‌های محلول را افزایش داد. این تغییرات همراه با کاهش عملکرد میوه و بذر کدو تخم کاغذی بود به طوری که کمترین عملکرد تحت تنش شدید خشکی (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش تجمع ترکیبات اسمولیتی و پروتئین منجر به تعدیل اثرات تنش خشکی و بهبود وضعیت آبی گیاه، فتوسنتز و عملکرد میوه و بذر گردید.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج حاضر، استفاده از ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک جهت بهبود عملکرد گیاه کدو تخم کاغذی به ویژه در شرایط تنش خشکی قابل توصیه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پروتئین محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌های محلول، محتوای نسبی آب برگ

### مقدمه

وسیع‌تری در پیشگیری از سرطان پروستات و درمان سوزش مجاری ادراری دارد (امیدبگی ۲۰۱۱). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا

کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) گیاهی علفی، یک ساله و متعلق به تیره کدوئیان می‌باشد که روغن و ماده مؤثره آن (بتا سیتوسترول) کاربرد

زراعی نقش تعیین کننده‌ای دارد. به نظر می‌رسد کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی دارای دو نقش اسمولیتی در تنظیم اسمزی و حفاظت کنندگی از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های قطبی پلی‌پپتیدها و گروه‌های فسفولیپیدی از پروتئین‌ها و غشاهای سلولی حفاظت می‌کنند (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸).

در شرایط بدون تنش بین میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن و ظرفیت دفع آن‌ها توسط سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه (آنزیمی و غیر آنزیمی) تعادل وجود دارد، اما تحت تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن از ظرفیت جمع‌آوری آن‌ها توسط سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه بیشتر شده و در نتیجه تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد. بنابراین، برای مقابله با تنش اکسیداتیو افزایش ظرفیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه ضروری می‌باشد (عاریف و همکاران ۲۰۲۰). اسید سالیسیلیک یا ارتو هیدروکسی بنزوئیک اسید یک تنظیم کننده رشد با ماهیت فنلی است و نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش از طریق سنتز ترکیبات مختلف آنتی‌اکسیدانی دارد (لا و همکاران ۲۰۱۹). افزایش مقاومت به تنش‌های مختلف در واکنش به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است (رای و همکاران ۲۰۱۸؛ تهجیب-آریف و همکاران، ۲۰۱۸؛ ال-بیالی و همکاران، ۲۰۲۲). بر این اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ و بررسی تجمع متابولیت‌های اسمولیتی و عملکرد دانه گیاه کدو تخم کاغذی در سطوح مختلف تنش خشکی انجام گردید.

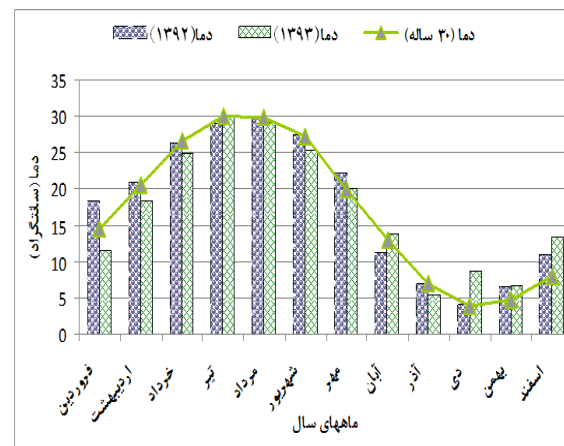
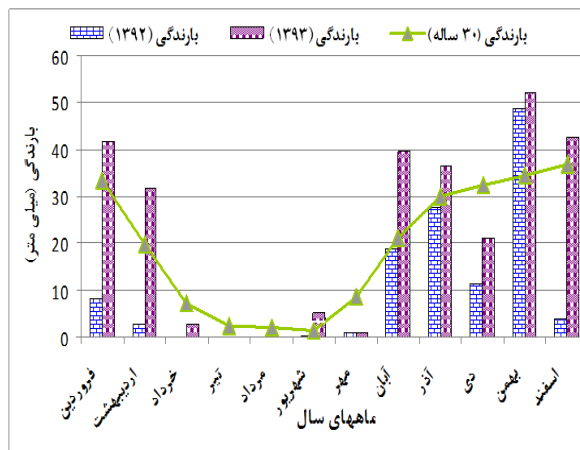
#### مواد و روش‌ها

##### طرح آزمایش و تیمارهای مورد مطالعه

در این تحقیق از رقم کدو تخم کاغذی کاکایی شرکت دارویی زردبند استفاده شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال پیاپی (۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۹۳) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سه تکرار انجام گردید. در

محسوب می‌شود که پس از بیماری‌ها دومین عامل محدود کننده در بسیاری از زراعت‌ها محسوب می‌گردد (فاتح و همکاران ۲۰۱۲). خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است و اکثر کشت‌های مهم کشور در مناطقی تحت تأثیر کم آبی قرار دارند. اثرات تنش خشکی در گیاهان دارویی شامل کاهش قطعی عملکرد اقتصادی می‌باشد که در بیشتر موارد همراه با افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره است (لا و همکاران ۲۰۱۹). تحقیقات نشان داده است که تنش ناشی از کمبود آب سبب بسته شدن روزنه‌ها، تخریب آنزیم‌ها، تجمع آمینواسیدها و کاهش کلروفیل، فتوسنتز و رشد گیاهان می‌گردد. تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی گیاه، سبب کاهش تولید و تجمع ماده خشک می‌شود (شمی و همکاران ۲۰۲۱). مکانیسم‌های تحمل خشکی در گیاهان شامل فرآیندهای مختلفی می‌باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تنظیم اسمزی اشاره نمود. تنظیم اسمزی عبارت است از کاهش پتانسیل اسمزی سلول به دنبال تجمع مواد محلول آلی و غیر آلی که به منظور حفظ روابط آبی صورت می‌گیرد (ربی-انگورانی و همکاران ۲۰۱۸). که شامل تجمع طیف وسیعی از مولکول‌ها از قبیل قندهای محلول، الکل‌های قندی، پرولین، ترکیبات آمونیومی مانند گلیسین بتائین، اسیدهای آلی، یون‌های معدنی و ... می‌باشد (شهباز و همکاران ۲۰۱۱). تحت شرایط تنش کم آبی و تجمع یافتن این مواد، پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد که باعث جذب آب به درون سلول گردیده و به حفظ فشار تورژسانسی کمک می‌نماید (لا و همکاران ۲۰۱۹). مواد اسمولیتی دارای وزن مولکولی پایین با حلالیت بالا می‌باشند که به‌طور معمول حتی در غلظت‌های سیتوزولی بالا، غیرسمی هستند و با شرکت در تنظیم اسمزی و سم-زدایی گونه‌های اکسیژن فعال منجر به پایدار ماندن غشاء و ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در شرایط تنش می‌گردند. از مهم‌ترین ترکیبات اسمولیتی سلول پرولین می‌باشد و تجمع آن پاسخ متداول بسیاری از گیاهان عالی، جلبک‌ها، حیوانات و باکتری‌ها به پتانسیل آب پایین است (لا و همکاران ۲۰۱۹). همچنین تجمع قندهای محلول در شرایط تنش در کاهش پتانسیل اسمزی بسیاری از گونه‌های

یکنواخت تمام کرت‌ها به مدت ۸ ساعت گردید. در طول مراحل مختلف آزمایش، عملیات کشاورزی به‌طور یکسان برای کلیه گیاهان مزرعه اعمال شد. خاک محل تحقیق دارای ۰/۵۹ درصد کربن آلی، ۰/۰۵ نیتروژن کل، ۲۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم، ۱۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر با اسیدیته ۷/۸۵ و ۰/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی بود. میانگین دمایی و بارندگی در منطقه مورد آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- میانگین دما و بارندگی ماهیانه سال‌های تحقیق (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) و میانگین ۳۰ ساله

خاک و تعیین زمان آبیاری از دستگاه تی‌دی‌آر (TDR) استفاده شد. مقدار آب قابل دسترس موجود در خاک با استناد به منحنی‌های رطوبت خاک تعیین و بر مبنای آن، مقدار آب موجود در خاک برای تیمارهای مختلف، محاسبه شد. به منظور اطمینان از صحت محاسبه مقادیر رطوبت خاک، به‌صورت موردی از روش وزنی نیز استفاده شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در زمان تمام گل در ساعات اولیه صبح انجام شد و مقدار آن به اندازه‌ای بود که به حد ریزش قطرات محلول‌ها بعد از خیسی کامل برگ‌ها رسید. لازم به ذکر است در طول آزمایش کلیه عوامل زراعی به صورت یکنواخت اعمال شده و از سیستم آبیاری قطره‌ای جهت کنترل و مدیریت بهتر آبیاری استفاده گردید. نمونه‌برداری از برگ ۷۲ ساعت بعد از تیمار با اسید سالیسیلیک انجام شد که به سرعت در نیتروژن مایع منجمد و تا زمان تجزیه صفات

دهم خرداد ماه هر دو سال، یک قطعه زمین به ابعاد ۱۶۰۰ متر مربع بعد از انجام شخم توسط دستگاه سیکلوتیلر، با دستگاه دیسک تسطیح شد و بعد از تصادفی نمودن نقشه‌های طرح و مشخص نمودن کرت‌های آزمایشی و تابلو کوبی و معلوم شدن خطوط کشت با میخ چوبی اقدام به لوله‌کشی و پهن نمودن نوارهای تیپ آبیاری گردید. جهت اعمال تیمارها و کنترل دقیق آبیاری در هر ردیف کشت شیر جداگانه نصب گردید و سپس برای مشخص شدن خط داغ آب اقدام به آبیاری اولیه و

تیمارهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بود. محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک در ۴ سطح شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۰/۵، ۱، ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر انجام گردید. تنش خشکی نیز در ۴ سطح شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی: آبیاری کامل)، تنش ملایم (۸۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) بود که به ترتیب در پتانسیل ماتریک‌های ۰/۱، -۰/۵، -۱، -۱/۵ مگا پاسکال) تنظیم گردید. اعمال تیمار تنش خشکی با شروع ظهور گل‌ها صورت گرفت و برای دستیابی به سطوح مختلف تنش خشکی در خاک، از روش پرهیز از آبیاری استفاده شد. بدین صورت که کرت‌های آزمایشی پس از انجام آبیاری و رسیدن مقدار رطوبت خاک به سطح ظرفیت مزرعه، دیگر آبیاری نگردیدند. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت

در محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد انجام گرفت سپس سانتریفیوژ گردید. روشناور حاصل از سانتریفیوژ محلول استخراج با آب مقطر، معرف نین-هیدرین و استیک اسید گلاسیال مخلوط شد. محلول حاصل یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و سپس بلافاصله در داخل یخ سرد شده و به دمای اتاق رسید. به این محلول ۲ میلی لیتر تولوئن افزوده گردید و به مدت ۳۰ ثانیه به هم زده شد. در این حالت دو فاز تشکیل شد و پرولین وارد فاز فوقانی رنگی (فاز تولوئن) گردید. همزمان محلول های استاندارد پرولین (صفر تا پنج میکرومولار) تهیه شد. فاز فوقانی نمونه های گیاهی و محلول های استاندارد جدا شده و جذب آن ها در طول موج ۵۲۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. مقدار پرولین بر حسب میکرومول در گرم وزن تر محاسبه و گزارش شد.

**پروتئین محلول:** یک گرم از بافت برگ در هاون چینی با نیتروژن مایع پودر و سپس با ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ میلی مولار و pH برابر ۶/۸ استخراج شد و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ گردید. از روشناور حاصل برای سنجش پروتئین محلول به روش برادفورد استفاده شد. مقدار پروتئین در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از منحنی استاندارد سرم آلبومین گاوی بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه شد (بردفورد ۱۹۷۶)

**کربوهیدرات های محلول:** میزان کربوهیدرات های محلول گیاه با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید (دوبیوس و همکاران، ۱۹۵۶) اندازه گیری شد. در این روش به ۰/۱ گرم از بافت تازه گیاه ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه شد و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید. سپس یک میلی لیتر از محلول نمونه ها برداشته شد و حجم آن با آب مقطر به دو میلی لیتر رسانده شد. پس از اضافه کردن یک میلی لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ میزان جذب به وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد و در انتها میزان قندهای محلول در هر نمونه

فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سانتی-گراد نگهداری شدند. اعمال تنش خشکی یک هفته پس از آخرین محلول پاشی اسید سالیسیلیک به مدت یک ماه تا شروع رنگ گیری میوه ها ادامه یافت و ۱۲۰ روز پس از زمان کاشت (رنگ گیری ۸۵ درصد میوه های مزرعه) برداشت میوه ها انجام و اجزاء عملکرد مورد بررسی قرار گرفتند.

### صفات مورد ارزیابی

**صفات فتوسنتزی و تبادلات گازی:** اندازه گیری هدایت روزنه ای و فتوسنتز با دستگاه فتوسنتز متر (LCA4-ADC) انجام شد. برگ های توسعه یافته هر گیاه درون اتاقک اندازه گیری طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به طرف بالا قرار گیرد، تا نور کافی دریافت کند، سپس صفات هدایت روزنه ای ( $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )، سرعت فتوسنتز ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) و سرعت تعرق ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) اندازه گیری شد. این کار بین ساعت ۹ تا ۱۱ صبح انجام گردید. در هر واحد آزمایشی اندازه گیری بر روی پنج بوته تصادفی به طور جداگانه انجام شد و در نهایت میانگین آن ها گزارش گردید.

**کلروفیل:** اندازه گیری میزان کلروفیل طبق روش آرنون (۱۹۴۹) انجام شد. به این منظور استخراج کلروفیل با استون ۸۰ درصد انجام گردید و میزان جذب نور توسط عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۳، ۶۴۵، و ۴۷۰ نانومتر ثبت شد. مقدار کلروفیل بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید.

**محتوای نسبی آب برگ:** برای تعیین محتوی نسبی آب برگ، ابتدا برگ ها را از بوته جدا نموده و بلافاصله وزن تر آن ها تعیین شد. سپس نمونه ها در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیده و سپس توزین شدند. محتوی نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد: درصد آب برگ =  $\frac{\text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}} \times 100$

**پرولین:** برای استخراج و سنجش پرولین آزاد در نمونه ها از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) با استفاده از معرف نین هیدرین استفاده شد. استخراج عصاره گیاهی

شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که در اثر افزایش تنش خشکی محتوی کلروفیل برگ کاهش یافت، به گونه‌ای که کمترین مقدار کلروفیل در سطح تنش شدید خشکی (۲۰/۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود (شکل ۲). در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش سطح برگ، تجمع کلروفیل افزایش می‌یابد اما به علت تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای آب نسبی و دنبال آن فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد (حبیبی ۲۰۱۲). کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شوری به دلیل آسیب فتوسیستم‌ها و تجزیه کلروفیل در نتیجه افزایش فعالیت کلروفیلز است (زاده باقری و همکاران ۲۰۱۴). اگرچه در پژوهش حاضر اسید سالیسیلیک اثری بر مقدار کلروفیل نداشت ولی اسید سالیسیلیک در برخی از گونه‌های گیاهی با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه از غشای سلولی تیلاکوئیدها در برابر پراکسیداسیون لیپیدها محافظت می‌کند و در نتیجه آسیب وارد شده به رنگدانه‌ها را کاهش می‌دهد (ما و همکاران ۲۰۱۷).

با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک محاسبه شد.

**عملکرد میوه و دانه:** کلیه میوه‌های قابل برداشت در هر تیمار با ترازوی دقیق دیجیتالی وزن شد و در پایان عملکرد میوه در هکتار بدست آمد. بعد از حذف حاشیه‌ها، میوه‌های کل کرت برداشت و بعد خشک نمودن بذرها در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها توزین و سپس مقدار آن در هکتار محاسبه گردید.

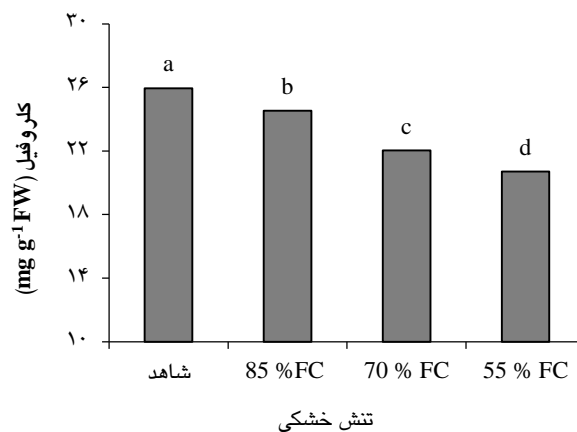
### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

#### مقدار کلروفیل

نتایج نشان داد که تنها تیمار تنش خشکی بر روی مقدار کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار



شکل ۲- تأثیر تنش خشکی بر روی محتوی کلروفیل برگ کدو تخم کاغذی

(FC: ظرفیت زراعی) - (حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد)

سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر بود و کمترین مقدار آن نیز در زمان تنش شدید رطوبتی (۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) به میزان  $0.27 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  بود. با افزایش تنش خشکی هدایت روزنه‌ای نیز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها کاهش یافت اما با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک هدایت روزنه‌ای افزایش پیدا کرد (جدول ۲).

#### هدایت روزنه‌ای

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت. بیشترین هدایت روزنه‌ای ( $0.075 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) در زمان تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید

رفت آب می‌شود (آریف و همکاران ۲۰۲۰). کاهش هدایت روزنه‌ای را در واکنش به کاربرد اسید سالیسیلیک را به اثرات ضدتعرقی اسید سالیسیلیک نسبت داده شده است. بنابراین به نظر می‌رسد که این امر باعث حفظ آب در داخل گیاه شده و شادابی آن را به همراه دارد (خانام و محمد ۲۰۱۸). در بررسی تأثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک بر واکنش‌های فتوسنتزی گزارش شده است که اسید سالیسیلیک موجب افزایش در میزان هدایت روزنه‌ای و در نهایت موجب افزایش ترکیبات فتوسنتزی می‌شود (ما و همکاران ۲۰۱۷).

کاهش رشد گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی بواسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. عوامل محدود کننده فتوسنتز به دو دسته عوامل روزنه‌ای که منجر به کاهش انتشار CO<sub>2</sub> به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند و عوامل غیرروزنه‌ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم کمبود آب بر فرایندهای بیوشیمیایی فرآوری کربن محدود می‌کنند، تقسیم می‌شوند (خانام و محمد ۲۰۱۸). در اثر تنش خشکی میزان اسید آبسزیک در برگ‌ها افزایش پیدا می‌کند که باعث بسته شدن روزنه‌ها و جلوگیری از هدر

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس سال، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد کدو تخم کاغذی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		کلروفیل کل	هدایت روزنه‌ای	سرعت تعرق	سرعت فتوسنتز	نسبی آب برگ	محتوای پرولین	کربوهیدرات‌های محلول	پروتئین	عملکرد میوه	عملکرد بذر
سال	۱	۲/۸۷ ns	۱/۴۴ ns	۰/۰۰۵۸ ns	۱۱/۴۸ ns	۲/۱۶۴ ns	۳۸/۷۳**	۰/۶۶ ns	۷۶/۶۳**	۱۷۲۵۵۵۷۹ ns	۱۰۹۴/۸۵ ns
سال (تکرار)	۴	۲/۴	۰/۵	۰/۰۰۷۲	۰/۸	۶۵/۰۵	۱/۳۵۱	۰/۵۰۵	۱/۷۳۲	۷۱۵۲۱۱۸	۱۸۵۲/۵۲
خشکی	۲	۱۳۴/۴۱**	۱/۵۶*	۱/۴۲۳**	۵۶/۳۲**	۵۹۲/۸۸**	۹۶۸/۰۷**	۱/۶۵۸*	۶۱۹/۷۱**	۲۱۹۸۴۰۴۹۲۸**	۶۴۴۷۱۹/۴**
سالیسیلیک اسید	۲	۱/۹۷ ns	۱/۳۷ ns	۰/۰۹۸۸**	۳/۸۵۶*	۳۳/۱۳ ns	۹۴/۲۰۳**	۵/۵۳۷**	۳۲۴/۷**	۸۱۸۲۴۲۱۳**	۲۱۲۹۸/۷**
سال×خشکی	۳	۰/۸ ns	۱/۴ ns	۰/۰۰۹۵ ns	۱/۱۵۳ ns	۱۷/۵ ns	۲/۶۸۳ ns	۰/۰۴۲۴ ns	۸/۳۹۴**	۴۴۸۶۱۴۸ ns	۶۲۹/۱۲ ns
سال×اسید سالیسیلیک	۳	۱/۷۲ ns	۱/۴۱ ns	۰/۰۵۴۴*	۱/۰۵۹ ns	۷/۴۷ ns	۱۶/۴۱۵**	۰/۳۷۱۵ ns	۳/۳۰۴ ns	۳۲۴۰۱۹۷۴*	۴۴۷۰/۶ ns
خشکی×اسید سالیسیلیک	۹	۳/۰۱ ns	۱/۲۷*	۰/۰۱۸۵ ns	۱/۴۰۴**	۱۲/۱۶ ns	۱۶/۴۸**	۰/۳۱۹۳ ns	۱۵/۹۵**	۱۳۱۹۶۶۳۷ ns	۴۵۱۱/۰۷*
سال×خشکی×اسید سالیسیلیک	۹	۲/۰۱ ns	۱/۲۸ ns	۰/۰۱۷۲ ns	۰/۵۰۶ ns	۳/۳۳ ns	۱/۹۹۵ ns	۰/۲۴۳۷ ns	۳/۳۸۲*	۴۹۵۳۱۹۸ ns	۱۲۵۸/۵ ns
خطا	۶۰	۱/۸۸	۰/۵۰۲	۰/۰۱۶۷	۱/۲۴۰	۲۶/۸۷	۲/۱۰۵	۰/۴۰۱	۱/۴۳۵	۸۲۰۵۳۲۱	۲۱۴۵/۵۲
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۹	۱۵/۱۵	۷/۹۵	۱۴/۵۴	۶/۹۵	۷/۱۰۴	۱۰/۶۷	۷/۱۹	۷/۰۲	۷/۰۱

ns، \* و \*\* به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

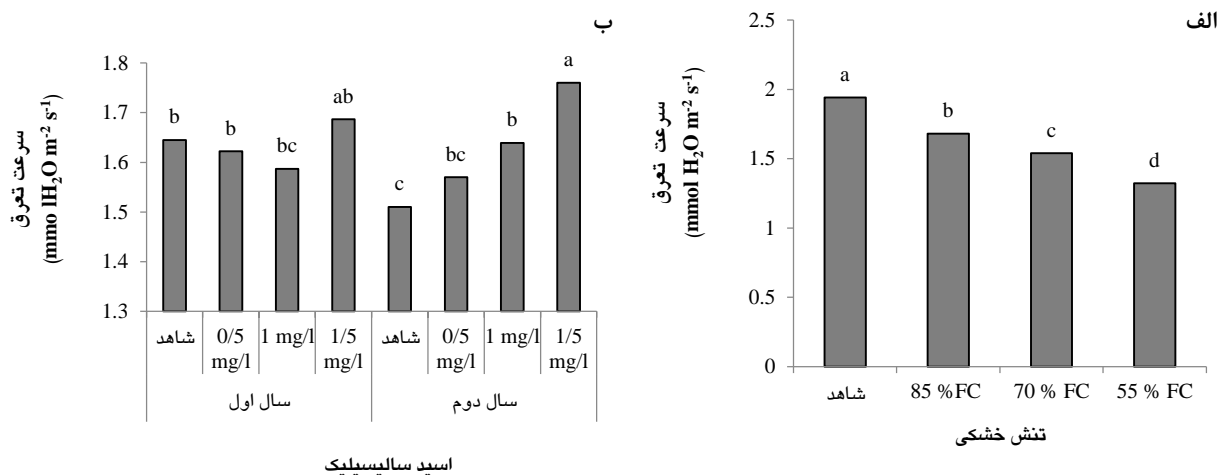
### سرعت تعرق

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) سرعت تعرق در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و اسید سالیسیلیک قرار گرفت. همچنین اثرمتقابل سال در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۵ درصد روی سرعت تعرق اثر معنی‌داری داشت. در هنگام اعمال تنش خشکی بیشترین میزان سرعت

تعرق مربوط به تیمار شاهد ( $2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) بود و این روند در زمان اعمال تنش سیر نزولی داشت و کمترین میزان نیز در زمان اعمال ۵۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) بود (شکل ۳-الف) هنگامی‌که از اسید سالیسیلیک به عنوان تیمار استفاده شد و در طی دو سال تأثیر متفاوتی بر روی سرعت تعرق داشت که بیشترین میزان در زمان استفاده از ۱/۵ میلی گرم در لیتر اسید

مقاومت روزنه‌ای و در نهایت کاهش تعرق است که این امر باعث کاهش هدرروی آب در شرایط تنش می‌گردد. بدیهی است چنانچه تنش به مدت طولانی‌تری ادامه یابد باعث کاهش شدید راندمان فتوسنتزی و در نهایت کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد. در گزارشی که توسط زارعیان و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است، آنها اشاره کردند که سرعت تعرق در گندم با افزایش میزان تنش خشکی به طور متوسط ۵۵ درصد کاهش می‌یابد.

سالیسیلیک و در سال دوم ( $1/76 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) مشاهده شد و کمترین میزان نیز در تیمار شاهد و در سال دوم بدست آمد (شکل ۲-ب). کاهش سرعت تعرق در شرایط تنش خشکی در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و جهت جلوگیری از هدررفت آب و استفاده بهتر از آب قابل دسترس می‌باشد که با کاهش سرعت فتوسنتز نیز در ارتباط است (فاتح و همکاران ۲۰۱۲). با توجه به نتایج این تحقیق یکی از مکانیسم‌های مهم گیاه کدو برای تحمل بیشتر تنش خشکی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش



شکل ۳- اثرات تنش خشکی (الف) و ترکیبات تیماری سال و اسید سالیسیلیک (ب) بر سرعت تعرق کدو تخم کاغذی (FC: ظرفیت زراعی)

(حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

### سرعت فتوسنتز

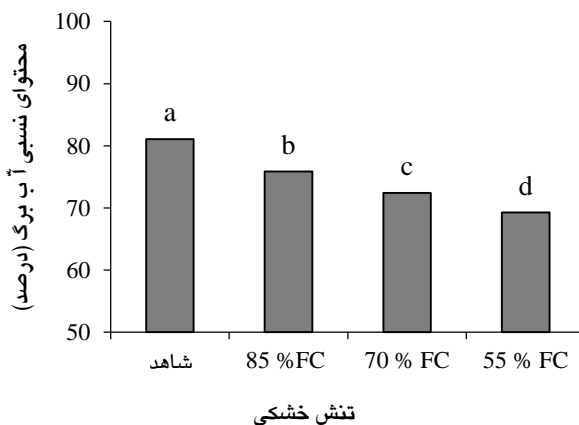
مقایسه میانگین، بیشترین سرعت فتوسنتز در واحد سطح مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و محلول پاشی ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ( $1/8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) بود که اختلاف ۴/۷ واحدی نسبت به زمان عدم استفاده از اسید سالیسیلیک در تنش شدید ۵۵ درصد ظرفیت زراعی ( $6/11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) داشت (جدول ۲). فتوسنتز فرآیندی ضروری برای گیاه است و آب یکی از عناصر اصلی جهت انجام آن می‌باشد. تنش خشکی موجب کاهش سرعت فتوسنتز در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود و تعدادی از محققین گزارش کرده‌اند که در گیاهان

در میان شاخص‌های فیزیولوژیک، فتوسنتز یکی از مهمترین فرآیندها در رشد و محصول محسوب شده و حفظ سرعت اسیمیلاسیون کربن تحت شرایط تنش اهمیت اساسی در شکل‌گیری عملکرد دارد (ال-بیالی و همکاران ۲۰۲۲). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر تأثیرپذیری سرعت فتوسنتز از اثرات ساده تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. همچنین کاربرد همزمان اسید سالیسیلیک با اعمال تنش خشکی بر روی سرعت فتوسنتز در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به



### محتوی نسبی آب برگ

با توجه به نتایج جدول ۱، محتوای نسبی آب برگ تنها تحت تأثیر سطوح مختلف خشکی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت. بدین گونه که گیاهان شاهد محتوی آب بیشتری (۸۱/۰۶۷ درصد) نسبت به سایر سطوح خشکی داشت و دارای اختلافی حدود ۱۱/۸ واحدی نسبت به گیاهان رشد یافته تحت تنش شدید بود (شکل ۴). تغییرات محتوای رطوبتی برگ به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت گیاه در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (عباس‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). به نظر می‌رسد تنش خشکی در بسیاری از گیاهان موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کم شدن جذب دی‌اکسید کربن و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج به دست آمده از پژوهش‌هایی در گیاه اطلسی (زاده باقری و همکاران ۲۰۱۴) و لوبیا چشم بلبلی (هایتو و همکاران ۲۰۱۴) همسویی داشت.



شکل ۴- تأثیر تنش خشکی بر روی محتوای نسبی آب برگ کدو تخم کاغذی (FC: ظرفیت زراعی)

(حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد)

### مقدار پرولین

یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش بسزایی دارد و گیاه با تجمع پرولین، پلی‌آمین، ترهالوز، افزایش فعالیت آنزیمی نیترات ردوکتاز، افزایش ذخیره-سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌سازی می‌تواند در برابر

حساس کاهش رشد و میزان فتوسنتز در اثر تنش خشکی بیشتر از گیاهان متحمل بوده است (کانگ و همکاران ۲۰۱۶). کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک ممکن است بر فرآیندهای مختلفی در گیاهان تأثیرگذار باشد. این فرآیندها شامل باز و بسته شدن روزنه، جذب و انتقال یون، نفوذپذیری غشاء و سرعت فتوسنتز و رشد می-باشد (نظر و همکاران ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از تخریب کلروپلاست و افزایش ظرفیت انتقال الکترون توسط فتوسیستم II می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز شود. به نظر می‌رسد افزایش فتوسنتز در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک ناشی از تأثیر آن بر افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو باشد (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸). از طرفی اسید سالیسیلیک اثر آبسزیک اسید (ABA) را در بستن روزنه‌ها کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش میزان فتوسنتز می‌گردد. نتایج این مطالعه همسو با نتایج آریف و همکاران (۲۰۲۰) و حبیبی (۲۰۱۲) می‌باشد.

گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری، گرما و غیره با ذخیره مواد تنظیم کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم کننده فشار اسمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین هستند. پرولین

تنش ایجاد شده مقاومت کند (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸). مقدار پرولین در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر اثر متقابل سال در اسید سالیسیلیک و همچنین تنش خشکی در اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل اسید سالیسیلیک در تنش خشکی نشان می‌دهد که بیشترین میزان پرولین ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$ ) (۵۶/۹) در تنش شدید و استفاده از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک حاصل شد که با ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در همین سطح تنش تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$ ) (۳۵/۶۵) نیز در شرایط بدون تنش خشکی و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک حاصل شد. همانطور که قابل مشاهده است با افزایش تنش خشکی و غلظت اسید سالیسیلیک میزان پرولین افزایش می‌یابد. پرولین نقش مهمی در متابولیسم گیاهان تحت تنش دارد و در تنظیمات اسمزی سلول و نیز در محافظت پروتئین‌ها مؤثر است (شهباز و همکاران ۲۰۱۱). تجمع پرولین که باعث کاهش تبدیل پرولین به پروتئین می‌شود که ناشی از تخریب پروتئین سنتتاز است منجر به افزایش پرولین می‌شود که در نتیجه باعث کاهش رشد می‌گردد (لا و همکاران ۲۰۱۹). افزایش غلظت پرولین تحت تنش ممکن است نشان دهنده نقش احتمالی این اسید آمینه در تنظیم اسمزی باشد. در برگ‌های بالغ تجزیه پروتئین‌ها سبب کاهش غلظت آن‌ها و در نتیجه افزایش اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین می‌شود (شهباز و همکاران ۲۰۱۱).

اسید سالیسیلیک با کاهش میزان تنش اکسایشی و افزایش مقدار پرولین در حفاظت از غشاها و اندامک‌های سلولی از جمله ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها موفق عمل می‌کند و از اکسایش یا تجزیه آن‌ها می‌کاهد (پارک و همکاران ۲۰۲۱). اسید سالیسیلیک از طریق توسعه واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود و از این طریق بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸). در این تحقیق نیز اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان پرولین گیاه شد که می‌تواند منجر به مقاومت گیاه در برابر تنش شود.

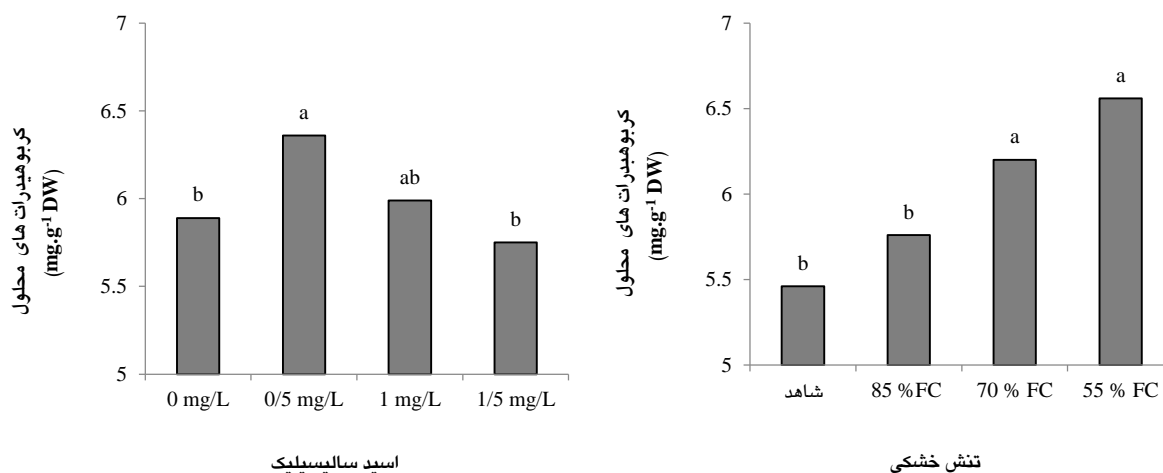
### مقدار کربوهیدرات‌های محلول

کربوهیدرات‌های محلول گروهی از اسمولیت‌های سازگاری هستند که در داخل سلول‌های گیاهی به‌عنوان تنظیم‌کننده دخالت دارند و در زمان تنش بر مقدار این ترکیب‌ها در داخل سلول‌های گیاهی افزوده می‌شوند. این ترکیبات با تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی، مقاومت گیاهان را در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهند (تهجیب-آریف و همکاران ۲۰۱۸). با توجه به نتایج تجزیه واریانس میزان کربوهیدرات‌های محلول در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک و همچنین در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمار تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی میزان کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت و بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول ( $\text{mg g}^{-1} \text{DW}$ ) (۶/۵۶) در سطح تنش شدید (۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) حاصل شد که با تنش متوسط (۷۰ درصد ظرفیت مزرعه) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول ( $\text{mg DW g}^{-1}$ ) (۵/۴۶) نیز مربوط به شاهد یعنی بدون اعمال تنش خشکی بود (شکل ۵-الف). همچنین در این بررسی مشخص گردید که حداقل کربوهیدرات‌های محلول در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با میزان  $\text{mg DW g}^{-1}$  (۵/۷۵) حاصل شد که با سطح اول و سوم تفاوت معنی‌داری نداشت ولی ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول شده است، همانطور که نشان داده شده است با افزایش میزان اسید سالیسیلیک، میزان کربوهیدرات‌های محلول در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است (شکل ۵-ب). به نظر می‌رسد تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ در شرایط تنش خشکی به دلیل نیاز به این ترکیبات جهت تنظیم فشار اسمزی برگ و پایداری غشای سلولی باشد. ملاحی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که ترکیباتی همانند کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی مکانیسم‌های حفاظتی نقش داشته باشند. نتایج این تحقیق با یافته‌های والنتویک و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ در شرایط تنش

می‌رود افزایش قند به دلیل افزایش کلروفیل و متعاقب آن افزایش بازده دستگاه فتوسنتزی باشد. افزایش مقدار قندها و ایجاد شیب اسمزی در گیاهان منجر به مقاومت در برابر از دست رفتن آب، افزایش محتوای آب برگ و تسریع رشد گیاهان در شرایط تنش‌زا شده است (عباس-زاده و همکاران ۲۰۲۰). به نظر می‌رسد که تیمار اسید سالیسیلیک، تا مقداری افزایش سیستم آنزیمی هیدرولیزکننده پلی ساکاریدها را افزایش و پس از آن این سیستم را مهار کرده و یا به عبارت دیگر، سرعت تبدیل قندهای نامحلول به قندهای محلول را کاهش می‌دهد (تهجیب-آریف و همکاران ۲۰۱۸).

خشکی، مطابقت و همخوانی دارد. عمده نتایج تحقیقات حکایت از افزایش قندهای محلول در اثر تنش خشکی در گیاهان مختلف از جمله مریم گلی (سودایی‌زاده و منصور ۲۰۱۴) و آفتابگردان (جباری و همکاران ۲۰۱۱) داشت.

اسید سالیسیلیک بر واکنش‌های متابولیکی گیاه تأثیر می‌گذارد و موجب تغییراتی در آن‌ها می‌شود. این تغییرات به صورت سازش‌هایی است که میزان تحمل و سازگاری گیاهان را در مقابل عوامل محیطی افزایش می‌دهد (رای و همکاران ۲۰۱۸). در گزارش‌هایی که اسید سالیسیلیک به عنوان عامل تعدیل‌کننده آمده است، گمان



شکل ۵- اثرات تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر کربوهیدرات‌های محلول کدو تخم کاغذی (FC: ظرفیت زراعی) - (حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

### مقدار پروتئین

کاهش مقدار پروتئین پدیده‌ای متداول در تنش‌هایی نظیر تنش خشکی است و تنش خشکی موجب سرکوب تولید برخی پروتئین‌ها و القای سنتز پروتئین‌های جدید می‌شود. تنش اکسایشی ناشی از تنش خشکی یکی از دلایل کاهش مقدار پروتئین‌هاست و احتمالاً تولید رادیکال‌های سوپراکسید یا هیدروکسیل باعث اکسایش اسیدهای آمینه می‌شود و به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها آسیب جدی وارد می‌کند. تنش خشکی، بیان ژن‌های کدکننده پروتئین‌های درون سلولی را القا می‌کند و سبب تجزیه پروتئین‌ها و تحرک مجدد نیتروژن و متعاقب آن سنتز مواد محلول سازگار می‌شود. از اینرو،

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثرات ساده سال، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین اثرات متقابل خشکی در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. به طور کلی با افزایش محدودیت آب میزان پروتئین کاهش پیدا کرد به گونه‌ای که کمترین میزان پروتئین در تیمارهای تنش شدید خشکی و بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بدست آمد و بیشترین مقدار پروتئین در گیاهان رشد یافته در شرایط بدون محدودیت رطوبت و محلول‌پاشی شده با ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک حاصل شد (جدول ۲).

نیز از دلایل افزایش مقدار پروتئین در گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک ذکر شده است (لا و همکاران ۲۰۱۹ و پارک و همکاران ۲۰۲۱). تیمار با اسید سالیسیلیک منجر به تجمع اسید آسبزیک می‌شود که سازگاری گیاهچه‌های تحت تنش را تحریک می‌کند. اسید آسبزیک، سنتز محدوده وسیعی از پروتئین‌های ضدتنش را القا می‌کند که باعث ایجاد مقاومت در گیاه می‌شود (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸).

کاهش مقدار پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین مرتبط است (نظری‌ناسی و همکاران ۲۰۱۸). اسید سالیسیلیک در تنظیم پاسخ به خشکی در گیاهان نقش دارد و به نظر می‌رسد که تنظیم کننده رشد بالقوه‌ای برای بهبود رشد گیاه تحت تنش آبی باشد. تأثیر اسید سالیسیلیک بر افزایش مقدار نیترات و افزایش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز و محافظت از این آنزیم در برابر غیرفعال شدن

جدول ۲- اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد بذر کدو تخم کاغذی تحت سطوح مختلف

### تنش خشکی

عملکرد بذر (kg ha <sup>-1</sup> )	مقدار پروتئین (mg g <sup>-1</sup> FW)	مقدار پرولین (μmol g <sup>-1</sup> FW)	سرعت فتوسنتز μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) ( <sup>1</sup> )	هدایت روزنه‌ای (mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	اسید سالیسیلیک (mg L <sup>-1</sup> )	تنش خشکی
۸۳۳/۳ a	۲۹/۳۶ def	۲۵/۶۵ e	۷/۶۵ d	۰/۰۵۵ c	۰	شاهد
۸۵۱/۳ a	۴۲/۰۹ bc	۳۶/۹۱ ed	۹/۲۶ b	۰/۰۶۵ b	۰/۵	
۸۸۵/۵ a	۴۶/۹۳ a	۴۰/۱۳ d	۹/۷۵ b	۰/۰۷۲ a	۱	
۸۷۵/۰ a	۴۶/۹۱ a	۴۳/۰۸ c	۱۰/۸۰ a	۰/۰۷۵ a	۱/۵	
۶۹۱/۹ b	۳۳/۰۹ l	۴۴/۲۷ c	۷/۹۶ d	۰/۰۴۷ cd	۰	۸۵ درصد FC
۷۴۴/۲ b	۳۷/۵۱ f-j	۴۴/۴۷ c	۷/۸۵ d	۰/۰۴۷ cd	۰/۵	
۷۳۰/۶ b	۳۸/۳۰ e-h	۴۳/۸۴ c	۸/۵۲ c	۰/۰۵۳ c	۱	
۶۹۲/۰ b	۳۸/۴۹ e-h	۴۵/۶۵ c	۸/۶۵ c	۰/۰۶۳ b	۱/۵	
۵۲۷/۶ d	۲۸/۱۵ mn	۴۹/۳۰ b	۶/۶۵ e	۰/۰۳۷ de	۰	۷۰ درصد FC
۶۱۷/۹ c	۳۶/۶۱ g-k	۴۹/۳۰ b	۶/۳۲ e	۰/۰۳۹ d	۰/۵	
۶۳۲/۸ c	۳۷/۸۱ f-i	۴۹/۹۳ b	۷/۱۱ de	۰/۰۴۲ d	۱	
۵۴۳/۷ d	۲۸/۶۲ efg	۵۱/۸۵ b	۸/۷۶ d	۰/۰۲۸ d	۱/۵	
۴۲۴/۲ e	۲۳/۷۰ o	۵۰/۵۰ b	۶/۲۳ e	۰/۰۲۷ e	۰	۵۵ درصد FC
۴۹۵/۱ d	۲۹/۰۰ m	۵۰/۷۰ b	۶/۵۲ e	۰/۰۳۰ e	۰/۵	
۴۹۷/۵ d	۴۲/۸۱bc	۵۵/۴۷ a	۶/۴۸ e	۰/۰۳۲ de	۱	
۵۲۱/۸ d	۳۵/۵۴ Jk	۵۶/۹۰ a	۶/۴۳ e	۰/۰۳۵ de	۱/۵	

حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

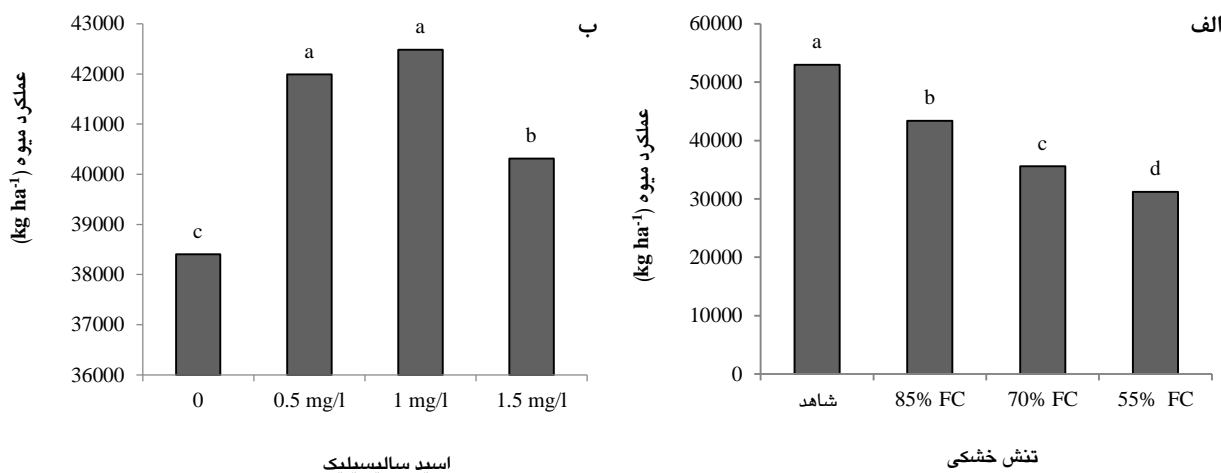
### عملکرد میوه

هکتار برداشت شد و در شرایط عدم تنش میزان برداشت میوه تازه ۵۲۹۹۳/۲ کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف بیش از ۲۱ تنی را شاهد بودیم و با افزایش محدودیت رطوبت این روند به صورت کاهشی بود (شکل ۶-الف). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در واحد حجم عملکرد میوه ابتدا تا سطح ۱ میلی‌گرم در لیتر افزایش، سپس روند نزولی را در پیش گرفت (شکل ۶-ب). با توجه به نتایج، به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد به میزان ۴۳۶۶۰/۴

عملکرد کل میوه تازه کدو تخم کاغذی تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت، همچنین اثر متقابل سال در اسید سالیسیلیک بر عملکرد میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی عملکرد میوه تازه در هکتار کاهش معنی‌داری پیدا کرد به گونه‌ای که کمترین عملکرد در تیمار تنش خشکی شدید به مقدار ۳۱۱۸۳/۵ کیلوگرم در

کیلوگرم در هکتار تحت تأثیر تنش آبی گزارش کرده‌اند. اسید سالیسیلیک یک تنظیم کننده درونی رشد گیاه است که بر واکنش‌های متابولیک و فیزیولوژیک دخیل در رشد و توسعه گیاه موثر است (لا و همکاران ۲۰۱۹؛ ال-بیالی و همکاران ۲۰۲۲). افزایش در تولید ماده خشک تحت کاربرد اسید سالیسیلیک به افزایش فعالیت متابولیسی سلول‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان نسبت داده شده است (عباس‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). همچنین تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک می‌تواند به افزایش جذب CO<sub>2</sub> و سرعت فتوسنتز به وسیله گیاه تحت تیمار اسید سالیسیلیک نسبت داد (شمی و همکاران ۲۰۲۱). افزایش معنی‌دار عملکرد میوه کدو تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک توسط بیاره و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است.

و ۳۷۸۲۵/۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار ۱ میلی-گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در سال اول و بدون محلول پاشی در سال دوم بود. تنش‌های محیطی در زمره مهمترین فاکتورهای محدودکننده برای تولید در سیستم کشاورزی به شمار می‌روند. علاوه بر خصوصیات درونی ویژه گیاهی، بخش قابل توجهی از عملکرد سالانه محصولات کشاورزی توسط تنش زنده یا تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده شامل دماهای خارج از محدوده رشد گیاهی، خشکسالی یا شوری خاک از دست می‌رود (سودایی‌زاده و منصور ۲۰۱۴). از آنجا که قسمت اعظم وزن میوه کدو را آب تشکیل می‌دهد لذا وزن میوه‌ها در کدو تابعی از مقدار آب موجود در آن است، با محدود شدن جریان آب به سمت میوه، اندازه و وزن آن کاهش می‌یابد. بیاره و همکاران (۲۰۲۰) کاهش عملکرد میوه از ۲۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۶۰۰۰



شکل ۶- اثرات تنش خشکی (الف) و اسید سالیسیلیک (ب) بر عملکرد میوه کدو تخم کاغذی (FC: ظرفیت زراعی)

(حروف غیرمشترک نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

اسید سالیسیلیک می‌باشد و کمترین مقدار (۴۲۴/۲ کیلوگرم در هکتار) نیز مربوط به تیمار تنش شدید خشکی (۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) و بدون محلول پاشی می‌باشد. به جز تنش شدید در سایر سطوح خشکی با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک ابتدا افزایش عملکرد تا سطح ۱ میلی‌گرم در لیتر صورت گرفت و سپس میزان عملکرد کاهش یافت. هرچند در دو سطح اول رطوبت یعنی شاهد و ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه این تفاوت‌های

### عملکرد بذر

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) بیانگر تأثیر-پذیری عملکرد بذر از اثرات ساده تنش خشکی و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۱ درصد است و همچنین اثر متقابل تنش خشکی در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال ۱ درصد بر روی عملکرد بذر معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد بذر (۸۸۵/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار بدون تنش (شاهد) و محلول پاشی ۱ میلی‌گرم در لیتر

مثبت دارد و در واقع، اسید سالیسیلیک از طریق توسعه واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌گردد (ملاحی و همکاران ۲۰۱۸).

#### نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل، پروتئین و محتوای آب برگ شد، درحالی‌که مقدار پرولین و کربوهیدرات‌های محلول تحت تنش خشکی افزایش یافت. این تغییرات همراه با کاهش عملکرد میوه و بذر کدو تخم کاغذی بود. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش تجمع ترکیبات اسمولیتی و جلوگیری از کاهش پروتئین منجر به افزایش کلروفیل کل، محتوای آب برگ و بهبود هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز گردید. اسید سالیسیلیک با تعدیل اثرات تنش، عملکرد تولیدی میوه و بذر را افزایش داد. بر اساس نتایج حاضر، استفاده از ۱ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک جهت بهبود عملکرد گیاه کدو تخم کاغذی به‌ویژه در شرایط خشکی قابل توصیه می‌باشد.

#### سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات همکاران گروه علوم باغبانی دانشگاه تبریز و گروه ژنتیک تولید گیاهی دانشگاه زنجان بویژه آقای دکتر اسماعیل زنگانی که در اندازه‌گیری صفات مرتبط با تبدلات گازی ما را یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

افزایش و کاهش معنی‌دار نبود ولی در سطح سوم (۷۰ درصد ظرفیت مزرعه) این تفاوت در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی در تنش شدید همواره با افزایش اسید سالیسیلیک روند افزایش عملکرد بذر افزایشی بود هرچند که بین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک (۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

بروز تنش خشکی در طی مراحل مختلف نمو به ویژه مراحل زایشی به علت کاهش در میزان کلروفیل، کاهش طول دوره فتوسنتز و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز و همچنین کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده، موجب کاهش در اجزای عملکرد و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (شمی و همکاران ۲۰۲۱). نظری-ناسی و همکاران (۲۰۱۸) کاهش عملکرد بذر کدو پوست کاغذی را از ۹۰۱ کیلوگرم در هکتار به ۴۹۲ کیلوگرم در هکتار تحت تنش شدید خشکی گزارش کردند. افزایش سطوح تنش خشکی پارامترهای رشدی گیاه را کاهش می‌دهد این مسئله احتمالاً نتیجه اختلال در فتوسنتز، تعرق و فرایندهای متابولیکی گیاه است که در نهایت کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد. تنش خشکی از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داد و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه آفتابگردان شد (ال-بیالی و همکاران ۲۰۲۲). به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طی حیات گیاه در مواجهه با تنش‌های زنده و غیرزنده، باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود. اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر

#### منابع مورد استفاده

- Abbaszadeh B, Layeghaghghi M, Azimi R and Hadi N. 2020. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144: 111893.
- Arif Y, Sami F, Siddiqui H, Bajguz A and Hayat S. 2020. Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany*, 175: 104040.
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.

- Bates LE, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Biyare V, Shekari F, Seifzadeh S, Zakerin H and Hadidi E. 2020. Effect of foliar application of salicylic acid on yield and yield components of pumpkin under different water deficiencies. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14: 173-192. (In Persian)
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Chemistry*, 72: 248-254.
- Dubois M, Giles KA, Hamilton JK, Roberes PA and Smith F. 1956. Colorometric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- El-Bially ME, Saady HS, Hashem FA, El-Gabry YA and Shahin MG. 2022. Salicylic acid as a tolerance inducer of drought stress on sunflower grown in sandy soil. *Gesunde Pflanzen*, 74: 603-613.
- Fateh H, Siosemardeh A, Karimpoor M and Sharafi S. 2012. Effect of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of barley. *International Journal Farming and Allied Science*, 1(2): 33-41.
- Habibi G. 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biology*, 56: 57-63.
- Hayatu M, Muhammad SY and Habibu UA. 2014. Effect of water stress on the leaf relative water content and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L) walp.) genotype. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(7): 148-152.
- Jabbari H, Daneshian J and Aliabadi Farahan H. 2011. The use of productivity effort, quantity and quality features for recognizing of drought tolerance in sunflower hybrids. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(1): 9-23. (In Persian)
- Kang J, Zhao W and Zhu X. 2016. Silicon improves photosynthesis and strengthens enzyme activities in the C<sub>3</sub> succulent xerophyte *Zygophyllum xanthoxylum* under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 199: 76-86.
- Khanam D and Mohammad F. 2018. Plant growth regulators ameliorate the ill effect of salt stress through improved growth, photosynthesis, antioxidant system, yield and quality attributes in *Mentha piperita* L. *Acta Plant Physiology*, 40: 188.
- La VH, Lee BR, Islam MT, Park SH, Jung HI, Bae DW and Kim TH. 2019. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. *Environmental and Experimental Botany*, 157: 1-10.
- Ma X, Zheng J, Zhang X, Hu Q and Qian R. 2017. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Frontiers in Plant Science*, 8: 600.
- Mallahi T, Saharkhiz MJ and Jamal Javanmardi J. 2018. Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica*, <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.02.003>
- Nazar R, Umar S, Khan NA and Sareer O. 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*, 98: 84-94.
- Nazari Nasi H, Amirnia R and Zardashti M. 2018. Effect of drought stress and biofertilizers on some physiological characteristics and grain yield of medicinal pumpkin plants. *Journal of Crops Improvement*, 20(1): 205-217. (In Persian).
- Omidbeigi R. 2011. Production and processing of medicinal plants, sixth edition, Astan. Quds Razavi Publications. (In Persian).

- Park SH, Lee BR, La VH, Mamun A, Bae DW and Kim TH. 2021. Characterization of salicylic acid- and abscisic acid-mediated photosynthesis,  $Ca^{2+}$  and  $H_2O_2$  accumulation in two distinct phases of drought stress intensity in *Brassica napus*. *Environmental and Experimental Botany*, 186: 104434.
- Rabbi Angourani H, Panahandeh J, Boland nazar S, Saba J and Zare Nahandi F. 2018. Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical attributes of medicinal pumpkin under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 19(4): 853-865.
- Rai KK, Rai N and Rai SP. 2018. Salicylic acid and nitric oxide alleviate high temperature induced oxidative damage in *Lablab purpureus* L plants by regulating bio-physical processes and DNA methylation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 128: 72-88.
- Shahbaz M, Ashraf M, Akram NA and Hanif A. 2011. Salt-induced modulation in growth, photosynthetic capacity, proline content and ion accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Acta Plant Physiology*, 33: 1113-1122.
- Shemi R, Wang R, Gheith ESMS, Hussain HA, Hussain S, Irfan M, Cholidah L, Zhang K, Zhang S and Wang L. 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 11:1-14.
- Sodaeizadeh H and Mansouri F. 2014. Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Journal of Arid Biome*, 4(1): 1-9.
- Tahjib-Ul-Arif M, Siddiqui MN, Sohag AAM, Sakil MA, Rahman MM, Polash MAS, Mostofa MG and Tran LSP. 2018. Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37: 1318-1330.
- Valentovic P, Luxova M, Kolarovic L and Gasparikova O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Plant Soil Environment Journal*, 52(4):186-191.
- Zadeh Bagheri M, Al-Boali F, Sadeghi H and Javanmardi S. 2014. The effect of distant irrigation on ionic changes, relative water content, prolin level, and some general characteristics of *Petunia*. *Journal of Horticultural Science*, 28(3): 347-359. (In Persian).
- Zareian A, Heidari H, Sharifabad-Hamidi A, Noor-Mohammadi G and Tabatabaei S. 2013. Effect of drought stress and potassium foliar application on some physiological indices of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Annals Biology and Research*, 4 (5): 71-74.