



Response of genotypes of *Foeniculum vulgare* Mill. to salicylic acid priming under salinity stress

Sanaz Adalatzadeh Aghdam¹, Mahmoud Turchi^{2*}, Mahmoud Zaei³

¹ Department of agricultural biotechnology, plant branch, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Iran.
Email: s.adalatzade@tabrizu.ac.ir

² Department of Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
Email: mtoorchi@tabrizu.ac.ir

³ Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Tabriz University, Tabriz, Iran.
Email: mzarei@tabrizu.ac.ir

Serial 67, 17th year, Number 3, Autumn 2022 (61-77)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 15.04.2021
Revised: 22.07.2021
Accepted: 13.08.2021

Keywords
Salicylic acid
Salt stress
Hydrogen peroxide
Fennel
Hogland

Abstract

The current study agreenhouse research was designed to evaluate the reaction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes to salt stress (NaCl salinity) and Salicylic acid, to study of the proteome profile of leaves for identifying molecular pathway involved in salt stress tolerance. The study was designed as factorial experiment using a randomized complete block design in three replications. Treatments are included NaCl solutions at three levels (0, 100, 200 mM) as salinity stress, Salicylic acid at two levels (0, 0/5 mM) and five genotypes. Agronomic and physiochemical traits were included: fresh and dry weight of arial plant and roots, plant height, root length, fresh and dry weight of total plant, chlorophyll a, b and carotenoids, total chlorophyll, Na⁺ and K⁺ content, K⁺/Na⁺ ratio, malondialdehyde (MDA), Hydrogen peroxide (H₂O₂) and Total soluble carbohydrate (TSC) of leaves. The analysis of variance revealed significant differences for main and interaction effects in examined traits. German and Moghan genotypes were expressed as the most tolerant and sensitive genotypes based on Arunachalam method, respectively.



پاسخ ژنوتیپ‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) به پیش تیمار اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری

ساناز عدالت‌زاده اقدام^۱، محمود تورچی^{۲*}، محمود زاعی^۳

^۱گروه بیوتکنولوژی کشاورزی شاخه گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: s.adalatzade@tabrizu.ac.ir

^۲گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mtoorchi@tabrizu.ac.ir

^۳گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mzareii@tabrizu.ac.ir

سال هفدهم، شماره ۶۷، پاییز ۱۴۰۱ / صفحات: ۶۱-۷۷

چکیده

نوع مقاله:

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) به تنش شوری کلرید سدیم و اعمال اسید سالیسیلیک و جهت بررسی الگوی پروتئوم برگ، برای شناسایی سازوکار مسیرهای مولکولی موثر در تحمل تنش شوری، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمار شوری از نوع کلرور سدیم در سه سطح صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک در دو سطح صفر (شاهد) و ۰/۵ میلی‌مولار و پنج ژنوتیپ در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک کل گیاه، میزان کلروفیل a، b، کارتنوئیدها و کلروفیل کل، میزان سدیم و پتاسیم اندام هوایی، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، میزان مالون‌دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن و کربوهیدرات‌های کل اندام هوایی بودند. تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌داری را برای اثرات اصلی و متقابل در صفات مورد مطالعه نشان داد. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به روش آروناچالام منجر به تعیین ژنوتیپ آلمان به عنوان متحمل‌ترین و مغان به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها گردید.

مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۲

واژه‌های کلیدی:

اسید سالیسیلیک

تنش شوری

پراکسید هیدروژن

رازیانه

هوگلند

مقدمه

تحميل به شوری است. تنظیم اسمزی نوعی کاهش در پتانسیل اسمزی گیاه از طریق افزایش در میزان مواد محلول و یا کاهش در میزان آب گیاه در واکنش به کاهش پتانسیل آب بیرونی به شمار می‌رود. هالوفیت‌ها به دلیل تجمع یون‌ها در داخل سلول‌های خود دارای پتانسیل تورژسانسی بالایی هستند. این یون‌های تجمع یافته در داخل سلول‌ها، به واکنش فرستاده شده و در آنجا ذخیره می‌شوند (Chinnusamy et al., 2006). گیاهانی که غلظت‌های بالای نمک محیط بیرون را می‌توانند تحمل کنند، در داخل گیاه مخصوصاً در برگ‌ها نیز آن را به همین نحو تحمل می‌کنند. ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری را می‌توان با نسبت بالای K^+/Na^+ از ژنوتیپ‌های حساس متمایز کرد. بنابراین شناسایی و تفکیک گیاهانی که قادرند غلظت‌های بالای نمک محیط بیرونی (شوری خاک) را تحمل کنند از آن‌هایی که در غلظت بالای نمک از بین می‌روند حائز اهمیت است (Huang and Gupta, 2014).

اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان طبیعی درون‌زا از گروه فنول‌ها می‌باشد که در مکانیسم‌های دفاعی تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی، از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درگیر می‌باشد (Yanik et al., 2018). مطالعات نشان داده است که اسید سالیسیلیک به‌عنوان تعدیل‌کننده تنش‌های شوری (Palma et al., 2013)، خشکی (Yazdanpanah et al., 2011) و گرما عمل می‌نماید (Khan et al., 2013). این مطالعات نشان می‌دهند که اسید سالیسیلیک احتمالاً به‌عنوان یک محرک فرایندهای آنتی‌اکسیدانی، جهت مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید شده تحت شرایط تنش‌های غیرزنده عمل نماید (Ma et al., 2013).

رازیانه گیاه دارویی معطر یک ساله یا چند ساله از خانواده چتریان (Apiaceae) می‌باشد. رازیانه بومی منطقه مدیترانه بوده (Rather et al., 2016) و اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک جهان رشد می‌کند (Ceccanti et al., 2018). این گیاه معطر علاوه بر استفاده در طب سنتی در بسیاری از زمینه‌های دیگر از جمله صنایع غذایی و آرایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ceccanti et al., 2018). تحقیقات نشان داده است گیاهان در دوره حیات خود با انواع تنش‌های محیطی مواجه می‌شوند. این تنش‌ها نمو و بقای گیاهان را محدود می‌کنند. از بین تنش‌های مختلف غیر زیستی، خشکی، شوری، دما (سرما/گرما)، شدت نور و آلودگی فلزات سنگین، شایع‌ترین تنش‌ها هستند که بطور قابل توجهی نه تنها تولید محصول در گیاه را به تاخیر می‌اندازند بلکه کیفیت گیاه زراعی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند (Batista et al., 2019). تنش شوری به‌عنوان اصلی‌ترین فاکتور محدود کننده غیرزیستی در گیاهان زراعی و غیر زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. تنش شوری سبب پاسخ مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تغییرات مولکولی در گیاهان می‌شود (Abreu et al., 2013). این تنش موجب عدم تعادل یونی می‌شود که به سمیت یونی، تنش اسمزی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌انجامد (Chawla et al., 2013). عنوان شده است تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول‌های گیاهی تحت تنش افزایش می‌یابد (Khan and Panda, 2008). برای هضم گونه‌های فعال اکسیژن گیاهان دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی هستند (Karuppanapandian et al., 2011). در بیشتر گیاهان تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای موثر در افزایش

جهت بررسی اثر اسید سالیسیلیک روی گیاهان بویژه گیاهان دارویی از جمله توده‌های رازیانه، مطالعات اندکی صورت گرفته است. بر این اساس در این تحقیق تاثیر پیش تیمار اسید سالیسیلیک روی برخی از صفات رشدی و فیزیولوژیکی توده‌های رازیانه، مورد مطالعه قرار گرفته است تا روشی آسان، مقرون به صرفه و کارآمد جهت محافظت از گیاه در برابر تنش شوری ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، شرایط رشد، تیمارهای اعمال شده و زمان نمونه برداری: این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز بصورت طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. مواد گیاهی این مطالعه شامل بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*) بود که از سه منطقه مختلف ایران (مغان، همدان، بناب) و دو ژنوتیپ خارجی (آلمان و قاضی آنتپ از ترکیه) جمع آوری شده بود. ضدعفونی سطحی بذرها از طریق محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد (حجمی به حجمی) به مدت ۱۰ دقیقه و سپس شستشو با آب برای سه بار انجام شد. بذور در گلدانهای پلاستیکی حاوی مخلوط ماسه و پرلیت (یک به چهار)، کشت شدند. بذرها تحت شرایط گلخانه ای (۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۵۰-۴۰ درصد، دوره روشنایی ۱۶/۸ ساعت) پرورش داده شدند. تقریباً بعد از یک ماه، گلدان‌ها با محلول غذایی نیم‌هوگلند (Hoagland, 1950 and Arnon, 1950)، به مدت یک ماه تغذیه شدند. ۶۰ روز پس از کشت، اولین محلول‌پاشی گیاهان توسط اسید سالیسیلیک، (۰ و ۰/۵ میلی مولار) بر روی قسمت‌های هوایی (پرایمینگ) صورت گرفت و پس از سه روز تحت تنش شوری (NaCl) در سه

سطح قرار گرفتند (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار). تنش شوری همراه با محلول هوگلند (شوری ۰/۵+ هوگلند ۰/۵)، به مدت یک ماه (سه بار با فاصله ۱۰ روز) انجام شد. دومین و آخرین محلول پاشی اسید سالیسیلیک، دو هفته قبل از برداشت صورت گرفت. برای کمک به جذب اسید سالیسیلیک از طریق برگها و ساقه‌ها (قسمتهای هوایی)، اسید سالیسیلیک در اتانول (۹۵٪) و Tween-20 (محلول ۰/۱٪) حل شد. گیاهان ۱۰ روز پس از آخرین تنش شوری (در مرحله تشکیل گل آذین) برای تجزیه و تحلیل مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جمع آوری شدند.

سنجش صفات مورفولوژیکی: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول ریشه (سانتی‌متر)، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه (گرم) اندازه‌گیری شد. پنج نمونه از بخش هوایی و ریشه به طور جداگانه برای وزن تر آنها توزین شده و سپس برای اندازه گیری وزن خشک در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۲ ساعت) قرار داده شدند.

سنجش صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

اندازه‌گیری کلروفیل a, b و کاروتنوئیدها: برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش Lichtenthaler (1987) استفاده شد. ۰/۱ گرم برگ تازه درهاون چینی با ازت مایع پودر شده و به میزان ۱ mL استون ۸۰٪ اضافه می‌گردد. پس از سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، غلظت کلروفیل a, b و کاروتنوئید توسط دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج‌های ۶۶۴، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و با استفاده از فرمول‌های زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر (mg/g FW) به دست آمد.

$$C_a = 12.25A_{664} - 2.79A_{647}$$

$$C_b = 21.50A_{645} - 5.10A_{663}$$

$$C_{a+b} = 7.15A_{663} + 18.71A_{645}$$

$$C_{x+c} = [1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b] / 198$$

$$C_a = \text{chlorophyll } a;$$

۰/۰۵ mL از هر نمونه به لوله‌های ۱۵ mL منتقل سپس حجم هر یک با آب مقطر به ۱ mL رسانده شد. سپس ۴ mL از معرف آنترون به این مخلوط اضافه گردید. در نهایت تمام نمونه‌های تهیه شده به همراه محلول‌های استاندارد در حمام آب گرم به مدت هشت دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن نمونه‌ها در آب یخ قرار داده شد. محلول حاصل در طول موج ۶۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید. با استفاده از محلول‌های استاندارد و برقراری رابطه رگرسیون بین غلظت محلول و مقدار جذب در ۶۳۰ نانومتر، غلظت کربوهیدرات‌های محلول در آب بر حسب ppm برای هر نمونه برآورد شده و سپس به میلی‌گرم در گرم وزن خشک (mg/g DW) تبدیل گردید.

تعیین میزان یون‌های سدیم Na^+ ، پتاسیم K^+ و نسبت سدیم/پتاسیم: برای اندازه‌گیری یون‌های Na^+ و K^+ از نمونه‌های خشک شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. نمونه‌های گیاهی خشک شده با دست خرد شدند و سپس از نمونه‌های اندام هوایی ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی‌گرم و نمونه‌های ریشه ۳۰ الی ۵۰ میلی‌گرم توزین شد. برای حل نمونه‌های گیاهی از اسید نیتریک ۷/۲ نرمال (هفت و دو دهم) استفاده شد. به نمونه‌های گیاهی در داخل بوتله چینی هشت میلی‌لیتر اسید نیتریک ۷/۲ نرمال اضافه شد. بوتله‌های چینی روی‌هات پلیت قرار گرفته و به مدت یک ساعت در زیر هود حرارت داده شدند. بعد از آن‌که نمونه‌های گیاهی کاملاً هضم و به صورت محلول درآمدند مقداری آب مقطر به آن‌ها اضافه شد تا خشک نشوند. سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پمپ مکشی و کاغذ صافی صاف شده و داخل فالكون تیوب‌های ۵۰ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. بعد از آماده شدن

C_b = chlorophyll b;
 C_{a+b} = total chlorophyll;
 C_{x+c} = carotenoids,
 A_λ = absorbance at λ (nm)

سنجش مالون دی‌آلدئید (MDA): برای بررسی مالون‌دی‌آلدئید از روش Valentovic و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد. ابتدا ۰/۳۳ گرم برگ تازه در داخل هاون چینی با ازت مایع پودر گردید. سپس به میزان یک میلی‌لیتر محلول یک درصد تری کلرواستیک اسید (TCA)، در محیط سرد به تیوب‌های حاوی برگ تازه له شده اضافه شد. این مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد با دور ۲۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. ۲۵۰ میکرولیتر از عصاره حاصل از سانتریفیوژ به فالکن ۱۵ mL منتقل گردید. یک و نیم میلی‌لیتر از محلول تیوباریتیوریک اسید (TBA) در محلول ۲۰ درصد تری کلرواستیک اسید به فالکن اضافه و به مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن ماری حرارت داده شد. سپس این مخلوط را در حمام یخ سرد کرده و جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر با توجه به منحنی استاندارد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و سپس با قرار گیری در فرمول میزان مالون دی‌آلدئید در واحد میلی‌گرم در گرم وزن تر (mg/g FW) بدست آمد.

سنجش میزان قندهای محلول کل: برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش Willis و Yem (۱۹۵۴) استفاده شد. ابتدا نمونه‌های برگگی به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس در هاون چینی با ازت مایع پودر گردید از هر نمونه برگگی پودر شده، ۰/۵ گرم برداشته و حدود ۲۰ mL آب دیونیزه اضافه نموده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق روی شیکر قرار داده شد. ۰/۲ گرم آنترون در ۱۰۰ mL اسید سولفوریک رقیق حل نموده تا به رنگ زرد روشن درآید. به هنگام اندازه‌گیری

مقایسات میانگین‌ها با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های کلیه صفات، از روش Arunachalam و Bandyopadhyay (۱۹۸۴) استفاده شد. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل انجام شد. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودار از نرم افزارهای کامپیوتری SAS نسخه ۹/۴ و Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج

صفات رشدی: صفات رشدی شامل طول ساقه، طول ریشه، وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن تر کل گیاه، وزن خشک کل گیاه جهت مطالعه تاثیر تنش شوری و پیش تیمار اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری (اسید سالیسیلیک+ شوری) مورد بررسی قرار گرفتند. تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری در تمام صفات ذکر شده گردید. از طرفی دیگر پیش تیمار اسید سالیسیلیک موجب تاثیرات مثبت بر روی صفات رشدی در شرایط شاهد (اسید سالیسیلیک+ شاهد) گردید. علاوه بر این اسید سالیسیلیک اثر منفی تنش شوری بر روی این صفات را در هر دو سطح تنش شوری کاهش داد (جدول ۱).

کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها: کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها تحت تنش شوری کاهش نشان دادند. در شرایط شاهد بکارگیری اسید سالیسیلیک در اغلب موارد موجب افزایش معنی‌دار در رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید. هرچند در برخی موارد دیگر افزایش معنی‌دار مشاهده نشد. تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر روی رنگدانه‌های فتوسنتزی، بیشتر در ژنوتیپ‌های هم‌دان و بناب مشاهده گردید. در شرایط تنش شوری بکارگیری

محلول‌های استاندارد، قرائت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فلاایم فتومتر انجام گردید. پس از کالیبره شدن دستگاه، محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. با استفاده از غلظت‌های تهیه شده و قرائت دستگاه، معادلات خطوط رگرسیون برآورد شده و با استفاده از این معادلات، میزان غلظت نمونه‌ها بدست آمد. غلظت یون‌ها برحسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک (mg/g DW) بیان شد. به این منظور عدد قرائت دستگاه به‌وسیله معادله رگرسیونی برآورد شد. عدد حاصل در درجه رقت ضرب شد (Chaparzadeh et al., 2003).

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن: برای استخراج میزان پراکسید هیدروژن از روش Loreto و Velikova (۲۰۰۱) استفاده شد. ابتدا حدود ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده برگ در نیتروژن مایع با مقدار پنج میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد همگن شد. سپس نمونه هموزنیزه شده در شرایط دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی یک میلی‌لیتر از محلول بافر فسفات پتاسیم (pH7) و دو میلی لیتر محلول یدید پتاسیم یک مولار اضافه شد. به‌منظور جلوگیری از تجزیه مواد در اثر نور کلیه مراحل آزمایش در حداقل نور و روی ظرف یخ انجام شدند. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان پراکسید هیدروژن برگ‌های رازیانه بر اساس فرمول بدست آمده از منحنی استاندارد، بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر ($\mu\text{g/g FW}$) بیان شد.

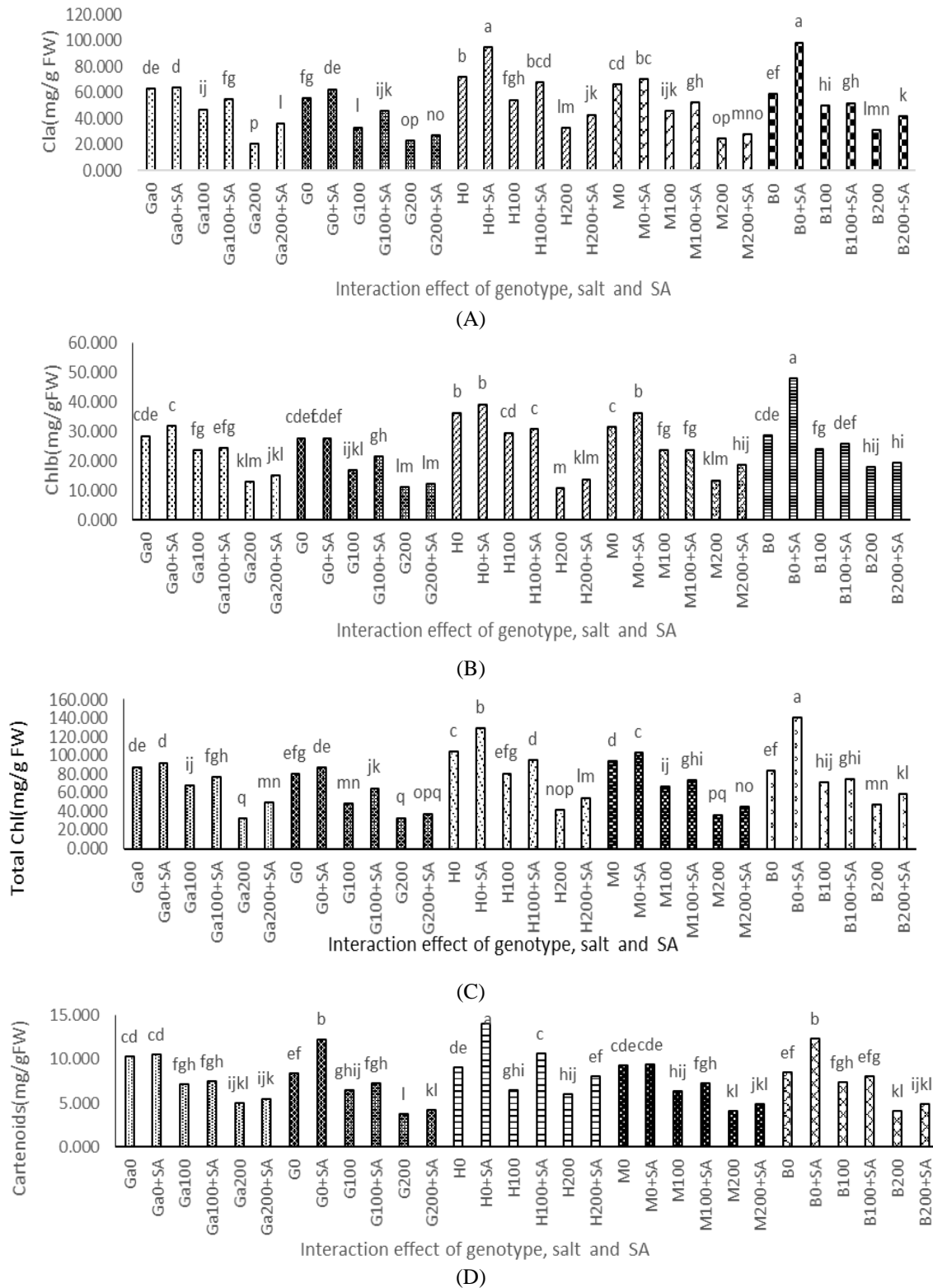
تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و

اسید سالیسیلیک موجب افزایش میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در هر دو سطح تنش شوری شد (شکل ۱ (A و D)). اثر مثبت به کارگیری اسید سالیسیلیک در کلروفیل b و کاروتنوئیدها تنها در برخی ژنوتیپ‌ها و مشاهده گردید (در کلروفیل b به ترتیب در ژنوتیپ‌ها آلمان و مغان در سطح شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار و در کاروتنوئیدها تنها در ژنوتیپ‌ها همدان در هر دو سطح تنش) (شکل ۲ (B و C))

جدول ۱: مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف تنش شوری و اسیدسالیسیلیک از نظر صفات مورفولوژیکی

ژنوتیپ‌ها	شوری	طول بخش هوایی (cm)	طول ریشه (cm)	وزن تر بخش هوایی (گرم)	وزن تر خشک هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر کل (گرم)	وزن خشک کل (گرم)
آلمان	۰	۷۰/c۶	۲۳/۱۳b	۱۰/a۶۸	۱/b۶۴	۳/hij۶۶	۰/bv	۱۴/۳۵ b	۲/۳۴ b
	۱۰۰ mM SA	۸۸/a۴۳	۲۸/a۵۶	۱۲/a۲۴	۲/a۲	۶/d۸۰	۰/a۰۶	۱۹/۵ a	۳/۲۶a
	۲۰۰ mM SA	۶۲/f۱۶	۱۶/fg۸	۴/ef۹۸	۰/f۸۹	۲/jkl۳۲	۰/cd۳۵	۷/۳۰ e	۱/۲۴ e
	۱۰۰ + ۰/۵ mM SA	۶۶/d۸۶	۱۹/de۵۶	۶/bc۶۵	۱/۲۴c	۲/fg۷	۰/c۵	۹/d۳۶	۱/۷۵c
	۲۰۰	۵۴/ij۱۶	۱۳/l۱	۲/kl۳۰	۰/۴۱m	۱/n۰۹	۰/ijk۲	۳/۴۰ lm	۰/۶۱ k
	۲۰۰ + ۰/۵ mM SA	۵۷/gh۴۳	۱۵/hij۱۳	۲/hi۹۷	۰/jk۵۴	۱/m۴۱	۰/fg۲۸	۴/ij۳۸	۰/i۸۲
فانسی- آنتپ	۰	۵۹/g۲	۱۸/e۷۶	۴/ef۹۶	۰/g۷۸	۱/b۱۶	۰/hi۲۸	۶/g۱۳	۱/f۰۶
	۱۰۰ mM SA	۶۳/e۲۳	۲۰/cd۳	۵/de۵۹	۰/ef۹۱	۲/a۲	۰/d۴۵	۷/e۷۹	۱/d۳۶
	۲۰۰ mM SA	j۵۲	۱۵/gh۹۶	۳/gh۳۸	۰/i۶۳	۱/cd۰۰۷	۰/jkl۲۱	۴/ij۳۸	۰/i۸۴
	۱۰۰ + ۰/۵ mM SA	۵۳/ij۷۶	۱۶/fg۸	۳/g۹۳	۰/h۶۹	۱/c۲۹	۰/fg۲۴	۵/h۳۳	۰/h۹۴
	۲۰۰	۴۵/lmn۵۶	۱۰/n۹۶	۲/kl۳۴	۰/kl۴۹	۰/ijk۷۴	۰/n۱۵	۳/mn۰۹	۰/k۶۵
	۲۰۰ + ۰/۵ mM SA	۴۷/lm۱۳	۱۳/l۳	۲/ij۸۶	۰/jk۵۳	۰/fg۹۲	۰/f۱۸	۳/kl۷۸	۰/j۷۱
همدان	۰	۵۵/hi۴	۱۷/f۱۳	۳/g۹۲	۰/gh۷۶	۱/f۴۴۳	۰/f۲۶	۵/h۳۶	۱/fg۰۲
	۱۰۰ mM SA	۶۰/efg۱۳	۱۹/cd۹۳	۴/f۶۷	۰/de۹۹	۱/e۷۷۳	۰/e۴۰	۶/fg۴۴	۱/d۴
	۲۰۰ mM SA	۴۸/kl۶	۱۵/hij۱	۲/ijk۶	۰/l۴۷	۰/kl۹۷۳	۰/kl۱۸	۳/kl۶۵	۰/k۶۵
	۱۰۰ + ۰/۵ mM SA	۵۱/jk۳	۱۵/gh۸۳	۲/hi۹۸	۰/ij۵۸	۱/hij۱۳	۰/hij۱۹	۴/k۱۱	۰/i۷۸
	۲۰۰	۴۲/nop۴۶	۱۳/kl۷	۲/lm۰۹	۰/m۳۹	۰/no۶۹۷	۰/no۱۴	۲/nov۸	۰/l۵۳
	۲۰۰ + ۰/۵ mM SA	۴۴/nop۴۶	۱۳/kl۷	۲/lm۰۹	۰/m۳۹	۰/no۶۹۷	۰/no۱۴	۲/nov۸	۰/l۵۳
مغان	۰	۵۴/ij۱۶	۱۷/f۲	۲/jk۴۸	۰/m۴۲	۱/ijk۰۵۷	۰/hi۱۹	۳/l۵۴	۰/k۶۲
	۱۰۰ mM SA	۵۷/gh۹	۲۰/cd۰۳	۳/gh۴۴	۰/j۵۶	۱/gh۲۴۳	۰/g۲۴	۴/i۶۸	۰/i۸۳
	۲۰۰ mM SA	۴۴/mno۱۳	۱۴/jk۴۳	۱/n۳۴	۰/۵۲۶	۰/n۷۱۳	۰/m۱۳	۲/p۰۵	۰/n۳۹
	۱۰۰ + ۰/۵ mM SA	۴۸/kl۲	۱۵/h۵۳	۱/m۹۲	۰/n۳۲	۰/m۸۳۷	۰/jk۱۶	۲/nov۶	۰/m۴۸
	۲۰۰	۳۴/q۱۳	۱۰/n۸۳	۰/p۷۸	۰/q۱۵	۰/p۴۹۷	۰/p۰۸	۱/t۲۸	۰/q۲۴
	۲۰۰ + ۰/۵ mM SA	۴۰/p۴۳	۱۳/l۱۳	۰/۵۹۵	۰/p۱۸	۰/۵۶۲۰	۰/n۱۱	۱/۵۵۷	۰/p۳
بناب	۰	۶۳/e۳	۲۰/c۸۶	۷/b۷۲	۱/d۰۷	۱/ijk۰۵۷	۰/i۱۸	۸/d۷۸	۱/e۲۵
	۱۰۰ mM SA	۷۷/b۱۶	۲۲/b۹۳	۱۱/a۰۷	۱/c۲۱	۱/۵۵۷ f	۰/fg۲۵	۱۲/c۶۳	۱/d۴۶
	۲۰۰ mM SA	۴۱/op۳۶	۱۴/jk۲۷	۴/g۰۴	۰/f۸۶	۰/no۶۸	۰/۵۱۵	۷/ef۱۱	۰/h۹۶
	۱۰۰ + ۰/۵ mM SA	۵۳/ij۷۶	۱۵/hi۲۶	۶/cd۱۲	۰/ef۹۳	۰/kl۷۸	۰/lm۱۴	۴/i۷۲	۱/f۰۷
	۲۰۰	۳۳/q۶	۹/۵۷	۱/n۴۹	۰/n۳	۰/q۲۹	۰/r۰۳	۱/r۷۸	۰/۵۳۴
	۲۰۰ + ۰/۵ mM SA	۳۵/q۹۶	۱۲/lm۸	۲/kl۲۷	۰/l۴۷	۰/p۴۵	۰/q۰۴	۲/۵۷۲	۰/l۵۲

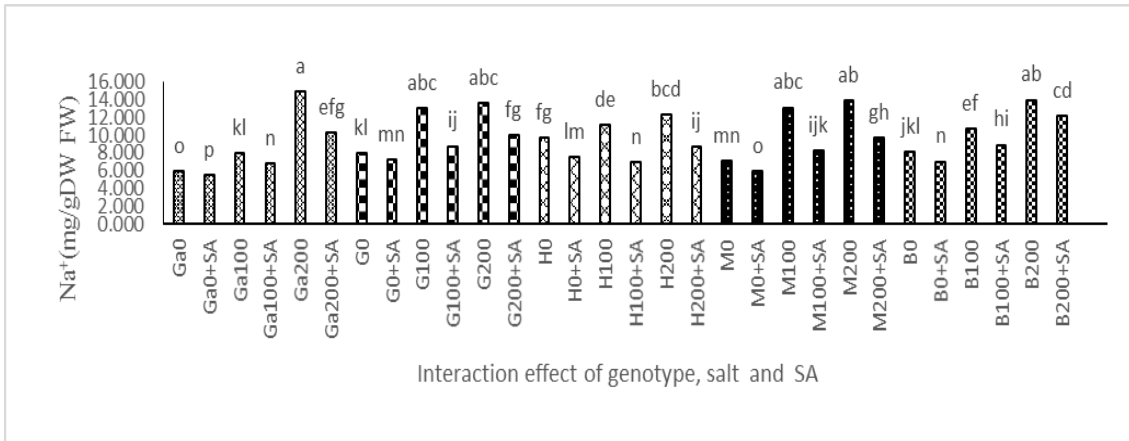


شکل ۱: اثرات پیش تیمار اسید سالیسیلیک در ژنوتیپ‌ها مختلف رازبانه در شرایط تنش شوری بر میزان محتوای کلروفیل a

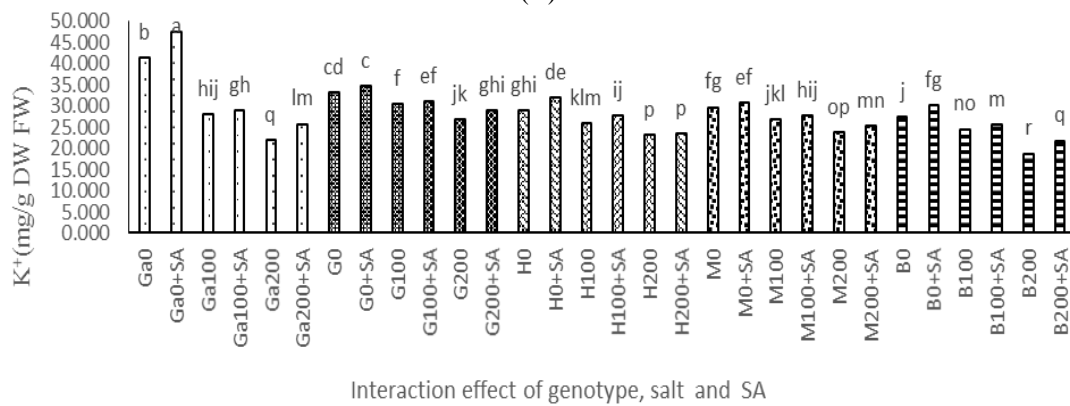
(A)، محتوای کلروفیل b (B)، کلروفیل کل (C) و محتوای کاروتنوئید (D)، (Ga=Gaziantep; G=German;)

(H=Hamedan; M=Moghan; B=Benab; SA=Salicylic acid; 0= control; 100= NaCl 200=NaCl

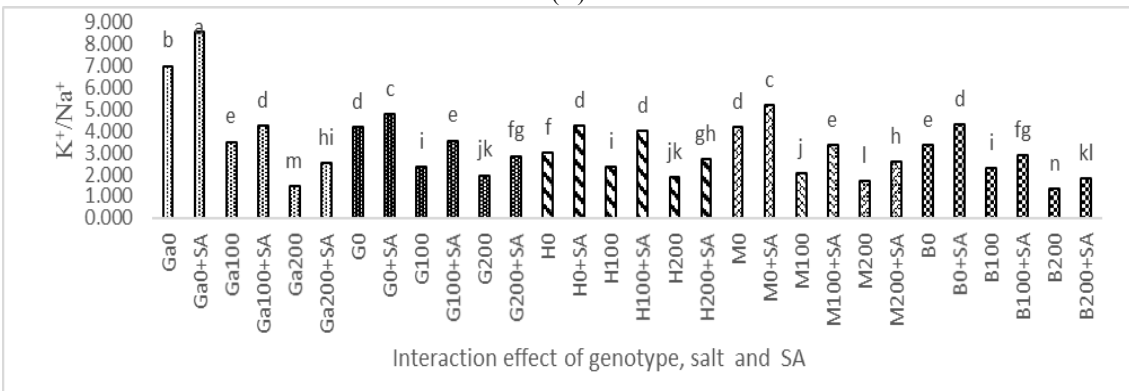
*حروف غیریکسان حاکی از وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال *** می باشد.



(A)



(B)



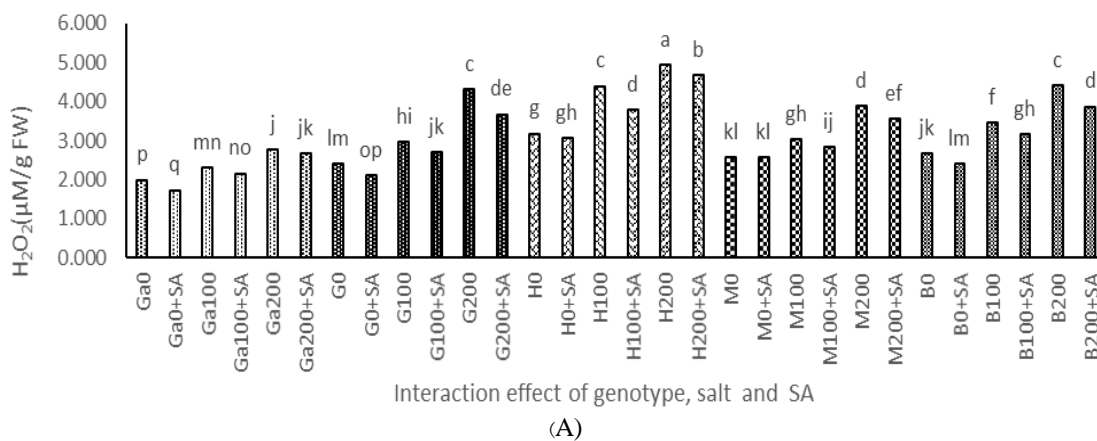
(C)

شکل ۲: اثرات پیش تیمار اسید سالیسیلیک در ژنوتیپ‌های مختلف رازیانه در شرایط تنش شوری بر میزان محتوای سدیم (A)،

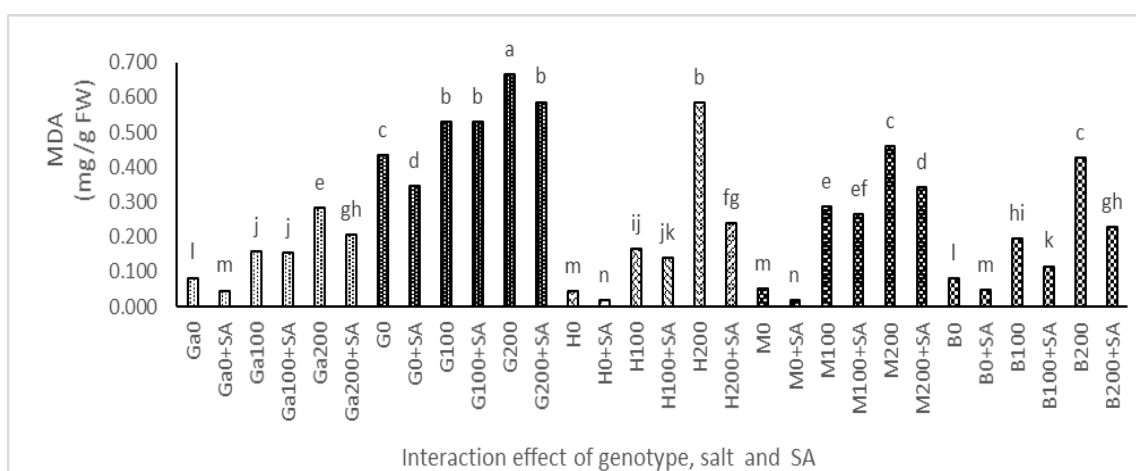
محتوای پتاسیم (B) و محتوای نسبت سدیم/پتاسیم (C)، (Ga=Gaziantep; G=German; H=Hamedan; M=Moghan;)

(B=Benab; SA=Salicylic acid; 0= control; 100= NaCl 200=NaCl

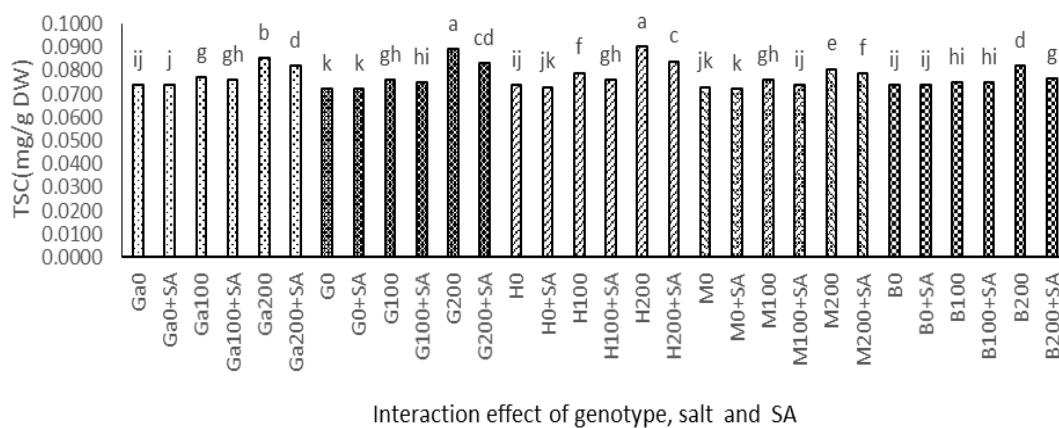
*حروف غیریکسان حاکی از وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال *** می‌باشد.



(A)



(B)



(C)

شکل ۳: اثرات پیش تیمار اسید سالسیلیک در ژنوتیپ‌های مختلف رازیانه در شرایط تنش شوری بر میزان محتوای پراکسید هیدروژن (A)، محتوای مالون دی آلدئید (B)، و محتوای قندهای محلول کل (C)، (Ga=Gaziantep; G=German; H=Hamedan; M=Moghan; B=Benab; SA=Salicylic acid; 0= control; 100= NaCl 200=NaCl

*حروف غیریکسان حاکی از وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال *** می‌باشد.

TSC نشان داد که شوری موجب افزایش در میزان TSC بخصوص در سطوح بالای تنش شوری گردید. پیش تیمار اسید سالیسیلیک در شرایط شاهد تاثیر در میزان TSC نداشت. در شرایط تنش شوری در سطح ۱۰۰ mM اسید سالیسیلیک موجب کاهش در میزان TSC تنها در ژنوتیپ‌های همدان و مغان گردید. از طرفی به کارگیری اسید سالیسیلیک موجب کاهش در میزان TSC در تمامی ژنوتیپ‌ها در سطح شوری ۲۰۰ mM شد (شکل ۳ (C)).

بحث

تحقیقات نشان داده است در اثر تنش شوری ارتفاع خیلی سریع‌تر از شاخص‌های مورفولوژیکی دیگر کاهش می‌یابد و ارقام مقاوم، گرایش به حفظ مقدار بیشتر از این متغیرها را دارند (Bandeigh et al., 2013; Hajiaghaei Kamrani et al., 2013). اثرات منفی تنش شوری بر روی صفات مورفولوژیک تعداد زیادی از گیاهان از جمله بابونه (Mallahi et al., 2018)، *Eglet viscosa* (Batista et al., 2019) و ریحان (Gohari et al., 2020)، مشاهده شده است. وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح شوری و شاهد در گیاه رازیانه در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019). مطالعات پیشین دانشمندان نیز کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن تر بخش هوایی را در اثر تنش شوری عنوان کرده‌اند (Ashraf and McNeilly, 2004).

اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول پیام‌رسان طبیعی درون‌زا به‌عنوان تعدیل‌کننده تنش‌های شوری (Palma et al., 2013) از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی عمل می‌کند (Yanik et al., 2018) در تحقیقی تیمار اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن خشک گیاهچه‌ها در گیاه *Nitraria tangutorum* در مقایسه با گیاهان تیمار

یون‌های سدیم Na^+ ، پتاسیم K^+ و نسبت K^+/Na^+ : تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار در میزان یون سدیم Na^+ در تمامی ژنوتیپ‌ها مورد مطالعه شد. در شرایط شاهد بالاترین میزان Na^+ در ژنوتیپ همدان و در شرایط تنش شوری در ژنوتیپ قاضی‌آنتپ در سطح شوری ۲۰۰ mM مشاهده شد (شکل ۲ (A)). میزان یون پتاسیم K^+ تحت تنش شوری بخصوص در سطح ۲۰۰ mM کاهش نشان داد (شکل ۲ (B)). در شرایط شاهد و تنش شوری پیش تیمار اسید سالیسیلیک در بیشتر موارد به ترتیب موجب کاهش و افزایش در مقدار Na^+ و K^+ گردید. همچنین شوری موجب کاهش نسبت K^+/Na^+ شد در حالیکه کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش این نسبت گردید. این افزایش در هر دو سطح تنش شوری مشاهده شد (شکل ۲ (C)).

پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، مالون دی‌آلدئید (MDA) و کربوهیدرات‌های محلول کل (TSC): افزایش در میزان پراکسید هیدروژن H_2O_2 و مالون دی‌آلدئید MDA پس از اعمال تنش شوری بخصوص سطح شوری ۲۰۰ mM مشاهده شد. در شرایط شاهد به کارگیری اسید سالیسیلیک موجب کاهش در میزان H_2O_2 شد و در برخی موارد تغییری ثبت نشد، در حالیکه میزان MDA در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش نشان داد. همچنین در شرایط تنش شوری (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) اسید سالیسیلیک موجب کاهش میزان H_2O_2 گردید که نشان‌دهنده تاثیرات مثبت آن در کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌باشد. به کارگیری اسید سالیسیلیک موجب کاهش میزان MDA تنها در ژنوتیپ بناب در سطح تنش ۱۰۰ mM شد. هرچند پیش تیمار اسید سالیسیلیک موجب کاهش میزان MDA در تمامی ژنوتیپ‌ها در سطح تنش ۲۰۰ mM گردید (شکل ۳ (A و B)). نتایج بدست آمده در مورد کربوهیدرات‌های محلول کل

اکسیداتیو موجب تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Hatami et al., 2018). Batista و همکاران (۲۰۱۹) افزایش در میزان کلروفیل b و کلروفیل کل و کاهش در کارتنوئیدها پس از اعمال اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش شوری را گزارش نمودند.

بر اساس مطالعات محققین هرچه K^+ در یک گیاه بیشتر باشد آن رقم متحمل‌تر و بر عکس هر چه Na^+ در بافت‌های یک رقم بیشتر باشد آن رقم حساس‌تر است (Ashraf and McNeilly, 2004). در رابطه با مقادیر یون‌های Na^+ و K^+ نیز گزارش‌های بسیاری حاکی از آن هستند که در ارقام حساس میزان یون Na^+ و در ارقام مقاوم مقدار یون K^+ در بافت‌ها بالا می‌باشد. یعنی هرچه میزان در غلظت بالای کلرور سدیم، افزایش ورود یون‌های Cl^- و Na^+ و خروج K^+ گزارش شده است (Bandehgh et al., 2013; Bennabi et al., 2013). در نتیجه، نسبت K^+/Na^+ در بخش هوایی و ریشه در گیاهان متحمل بیشتر و در گیاهان حساس کمتر است. گزارشات متعددی مبنی بر افزایش میزان سدیم در بخش هوایی و ریشه و همچنین نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه در اثر تنش شوری وجود دارد (Parida et al., 2005). در مطالعه‌ای دیگری در ژنوتیپ‌های حساس و نیمه مقاوم برنج، افزایش معنی‌داری در میزان نسبت Na^+/K^+ نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم، به دلیل تجمع بالای یون سدیم Na^+ ، نشان دادند (Gerona et al., 2019). ژنوتیپ‌های مقاوم ظرفیت دفع سدیم بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس داشته و توانایی جلوگیری از ورود نمک به داخل برگ‌ها را دارا هستند (Ismail and Horie, 2017; Saddiq et al., 2017). از سوی دیگر عنوان شده است به کارگیری اسید سالیسیلیک موجب افزایش جذب نیتروژن، آهن، منگنز، و مس شده در حالیکه مانع از جذب عناصر

نشده شد (Liu et al., 2016). افزایش وزن خشک گیاهان تیمار شده با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری، احتمالاً به دلیل القاء عملکرد آنتی‌اکسیدانی و فعالیت متابولیکی در گیاهان می‌باشد (Gautam et al., 2009). تیمار اسید سالیسیلیک موجب افزایش طول ریشه و بخش هوایی گیاه عدس گردید از طرفی به کارگیری این تیمار در شرایط تنش شوری، نتایج حدواسطی نسبت به شرایط شاهد بدون نمک نشان داد. همچنین تیمار اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک در هر دو شرایط تنش و فاقد تنش در گیاه فوق‌گردید (Misra and Saxena, 2009). اثر متقابل بین شوری و اسید سالیسیلیک احتمالاً موجب القا ژن‌های کدکننده مقاومت در برابر شوری گردید و با افزایش فعالیت فیزیولوژیکی و انتقال مواد ذخیره شده، شرایط لازم برای رشد را آماده می‌سازد (Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019). افزایش طول بخش هوایی، وزن تر و وزن خشک گیاه با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در مطالعه Hashmi و همکاران (۲۰۱۳) در رازیانه مشاهده گردید.

طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق در حالت کلی به کارگیری اسید سالیسیلیک میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را در شرایط شاهد و شوری بهبود می‌بخشد. در مطالعه‌ای که Shafeiee و Ehsanzadeh (۲۰۱۹) بر روی ارقام مختلف رازیانه تحت تنش شوری انجام دادند مشخص شد که سطوح متوسط تنش شوری موجب تاثیر منفی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید اما سطوح بالای تنش شوری موجب کاهش شدید در غلظت کلروفیل a, b و کارتنوئیدها گردید. کاهش در میزان کلروفیل برگ تحت تنش شوری بالا منجر به تخریب رنگدانه‌ها و ناپایداری مجموعه رنگدانه-پروتئین می‌گردد (Jaleel et al., 2009). تحقیقات نشان داده است افزایش در میزان یون‌های سمی در کلروپلاست، علاوه بر تنش

میزان تولید آن در رقم حساس بیش از رقم متحمل به شوری بود. میزان تجمع رادیکال آزاد اکسیژن، حساسیت رقم به تنش شوری را نشان می‌دهد و پایین بودن میزان هیدروژن پراکسید در ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس دلیل آن است (Sarvajeet and Narendra, 2010). به نظر می‌رسد دلیل اصلی خسارت شدید به غشای سلولی تولید رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسیل باشد که در نهایت منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی می‌گردد (Del Rio et al., 2006). پراکسید هیدروژن تنها یک رادیکال آزاد نمی‌باشد بلکه ملکولی واکنش‌پذیر با عمر طولانی است بنابراین این اندازه‌گیری آن در بافت‌ها راحت‌تر است. H_2O_2 ممکن است گروه‌های تیول در آنزیم‌های چرخه کالوین، سوپراکسید دیسموتاز مس/روی و سوپر اکسید دیسموتاز آهن را اکسید نماید (Garce and Manchanda, 2009). در شرایط تنش شوری تجمع هم‌زمان مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه و مقادیر بیشتر آن در ارقام حساس در مقایسه با ارقام متحمل به شوری مشاهده شده است (Bor et al., 2003). میزان تجمع رادیکال آزاد اکسیژن، حساسیت رقم به تنش شوری را نشان می‌دهد و پایین بودن میزان هیدروژن پراکسید در ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس دلیل آن است (Sarvajeet and Narendara, 2010).

تیمار اسید سالیسیلیک ممکن است موجب حفظ متابولیسم گیاهان تحت تنش شوری گشته که باعث جذب بهتر یون K^+ و مهار کاهش فتوستتزر گردد (Ma et al., 2018). نشت الکترولیتی و میزان MDA با افزایش غلظت NaCl در برگ‌ها، افزایش نشان داد. به کارگیری اسید سالیسیلیک با کاهش سدیم و افزایش پتاسیم اثرات مخرب شوری را کاهش می‌دهد. در مطالعات قبلی گزارش شد که تیمار اسید سالیسیلیک

سدیم و کلر در طول مدت شوری بالا در گیاه ذرت گردید (Gunes et al., 2007).

تحقیقات نشان داده است شوری موجب آسیب جدی به غشاء کلروپلاست گردیده و منجر به کاهش میزان کلروفیل و افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی یا تخریب تمامیت غشاء می‌گردد (Kaise and Heber, 1981). این عوامل می‌تواند دلیلی برای ارتباط متضاد بین کلروفیل و مالون دی‌آلدئید باشد. در این راستا عنوان شده است. به‌طور کلی میزان کلروپلاست تحت تنش شوری کم و به دنبال آن پروسه جذب کربن کاهش می‌یابد (Nieves-cordones et al., 2019). این فرایندها منجر به تولید ROS می‌گردد (Gondim et al., 2013)، که می‌تواند یکی از عوامل احتمالی افزایش میزان H_2O_2 و پراکسیداسیون لیپیدها (MDA) در مطالعه حال حاضر باشد. پراکسیداسیون لیپید احتمالاً منجر به نشت الکترولیت از طریق از بین رفتن غشاء سلولی تحت شرایط تنش شوری می‌گردد (Katsuhara et al., 2005). بررسی غلظت مالون‌دی‌آلدئید بافت گیاهی می‌تواند بیانگر میزان تخریب غشای سلولی باشد زیرا این ترکیب تحت تاثیر تخریب و پراکسید شدن غشاء سلولی آزاد می‌شود (Bhattacharjee and Mukherjee, 2002). تنش شوری با ایجاد اختلال در فرایند انتقال الکترون در میتوکندری و کلروپلاست و تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، موجب آسیب اکسیداتیو به غشای سلولی و در نتیجه افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (Ghassemi and Farhangi, 2018). افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدئید برگ تحت تنش شوری در گیاهچه سه رقم برنج گزارش شد (Bhattacharjee and Mukherjee, 2002). در این تحقیق عنوان شد که تخریب غشاهای سلولی تحت تاثیر تنش شوری و تولید مالون‌دی‌آلدئید برگ ناشی از تخریب و تجزیه لیپیدهای غشای سلولی است و

تسریع ترکیب قندهای محلول به پلی ساکاریدها گردد که این حالت در گیاه ذرت گزارش شد (Khodary, 2004). در مطالعه Mallahi و همکاران (۲۰۱۸) بر روی بابونه (*Tanacetum parthenium* L.) تحت تنش شوری و تیمار اسید سالیسیلیک، نتایج نشان داد که تنش شوری با میزان قند در ارتباط بود و افزایش سطح شوری موجب افزایش معنی داری در میزان قند گردید.

نتیجه گیری نهایی

اعمال اسید سالیسیلیک در ژنوتیپ‌های رازیانه در شرایط تنش شوری باعث بهبود صفات رشدی اندازه گیری شده در این پژوهش گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، ژنوتیپ‌های آلمان و مغان را می‌توان به ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در برابر تنش شوری در نظر گرفت. کاربرد اسید سالیسیلیک به عنوان پیش تیمار شیمیایی توانست اثرات تنش شوری در ژنوتیپ‌های رازیانه را کاهش دهد که نشان دهنده اثربخشی آن در این زمینه می‌باشد؛ که می‌تواند به‌عنوان یک راه حل بی‌خطر و امیدوارکننده برای کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاهان معرفی شود.

موجب افزایش K^+ و کاهش Na^+ در گیاهان مختلف تحت تنش شوری گردید (Khan et al., 2013). علاوه بر این تجمع K^+ از طریق تیمار اسید سالیسیلیک (Gharbi et al., 2017) موجب حفظ مکانیسم هموستازی و تحمل به تنش شوری گردید (Batista et al., 2019).

در مطالعه EShafeie و HEhsanzade (2019)، افزایش هفت برابری در میانگین پرولین و دو تا هفت برابری در مقدار TSC در گیاهان رازیانه *F.vulgare* تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد، گزارش شد که نشان‌دهنده نقش مهم این ترکیبات در تنظیم اسمزی در مواجهه با شرایط شوری می‌باشد.

قندهای محلول در تنظیم فشار اسمزی نقش کلیدی داشته و در حفظ تورم غشاء سلولی و افزایش زنده ماندن گیاه تحت شرایط تنش خشکی و شوری، کمک می‌نمایند (Dianat et al., 2016; Nazar et al., 2017). کربوهیدرات‌های محلول کل در شرایط تنش شوری در سیتوسول تجمع می‌یابند که می‌تواند به زنده ماندن گیاه کمک نماید (Rejiskova et al., 2007). اسید سالیسیلیک ممکن است فعالیت آنزیم هیدرولیزکننده پلی ساکاریدی را مهار و یا موجب

References

- Abreu, I.A., Farinha, A. P., Negrão, S., Gonçalves, N., Fonseca, C., Rodrigues, M., Batista, R., Saibo, N. M. J. and Oliveira, M.M. (2013). Coping with abiotic stress: proteome changes for crop improvement. *Journal of Proteomics*. 93: 145-168.
- Arunachalam, V. and Bandyopadhyay, A. (1984). A method to make decisions jointly on a number of dependent characters. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 44: 419-424.
- Ashraf, M. and McNeilly, T. (2004). Salinity Tolerance in Brassica Oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 23: 157-174.
- Ashraf, M. (2014). Stress-induced changes in wheat grain composition and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 54: 1576-1583.
- Bandehhagh, A., Uliiaie, E.D. and Salekdeh, G.H. (2013). Proteomic analysis of rapeseed (*Brassica napus* L.) seedling roots under salt stress. *Annals of Biological Research*. 4: 212-221.
- Batista, V.C.V., Costa Pereira, I.M., Paula-Marinhao, S.O., Canutob, K.M., Alves Pereirab, R.C., Rodrigues, T.H.S., Daloso, D.M., Gomes-Filho, E. and Carvalho, H.H.

- (2019). Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*. 167: 103870.
- Bennabi, F., Belkhodja, M., Boukraa, D., Bouhadda, Y. and Salmi, Z. (2013).** The attitude of a saharan variety tadalaghte (*Phaseolus vulgaris* L.) put under stress of salinity. *Advanced Studies in Biology*. 5: 347-362.
- Bhattacharjee, S. and A.K. Mukherjee. (2002).** Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Science and Technology*. 30: 279-287
- Bor, M., Zdemir, F. O. and Turkan, I. (2003).** The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*. 164: 77-84.
- Ceccanti, C., Landi, M., Benvenuti, S., Pardossi, A., Guidi, L. (2018).** Mediterranean wild edible plants: weeds or “new functional crops”? *Molecules*. 23: 2299.
- Chaparzadeh, N., Khavari-Nejad, R.A., Navari-Izzo, F. and Izzo, R. (2003).** Water relations and ionic balance in *Calendula officinalis* L. under salinity conditions. *Agrochimica*, 47: 69-7
- Chawla, S., Jain, S. and Jain, V. (2013).** Salinity induced oxidative stress and antioxidant system in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 22: 27-34.
- Chinnusamy, V., Zhu, J. and Zhu, J.K. (2006).** Salt stress signaling and mechanisms of plant salt tolerance. *Genetic Engineering*. 27: 141-177
- Del Rio, L.A., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Palma, J.M. and Barroso, J.B. (2006).** Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiology*, 141: 330-335.
- Dianat, M., Saharkhiz, M.J. and Tavasolian, I. (2016).** Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia Citriodora* L.: effects on biochemical traits and essential oil yield. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 8: 286–293.
- Garc, N. and Manchanda, G. (2009).** ROS generation in plants: Boon or bane? *Plant Biosystem*, 143: 81–96.
- Gautam, S. and Singh, P.K. (2009).** Salicylic acid induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. *Acta Physiologia Plantarum*. 31: 1185–1190
- Gerona, M.E.B., Deocampo, M.P., Egdan, J.A., Ismail, A.M., Dionisio, M.L. (2019).** Physiological Responses of Contrasting Rice Genotypes to Salt Stress at Reproductive Stage. *Rice Science*. 26(4): 207-219
- Gharbi, E., Martínez, J.P., Benahmed, H., Dailly, H., Quinet, M. and Lutts, S. (2017).** The salicylic acid analog 2,6-dichloroisonicotinic acid has specific impact on the response of the halophyte plant species *Solanum chilense* to salinity. *Plant Growth Regulation*. 82: 517–525.
- Ghassemi-Golezani K. and Farhangi-Abriz S. (2018).** Changes in oil accumulation and fatty acid composition of soybean seeds under salt stress in response to salicylic acid and jasmonic acid. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2: 229-236.
- Gohari, G., Safai, F., Panahirad, S., Akbari, A., Rasouli, F., Dadpour, M.Z. and Fotopoulos, V. (2020).** Modified multiwall carbon nanotubes display either phytotoxic or growth promoting and stress protecting activity in *Ocimum basilicum* L. in a concentration-dependent manner. *Chemosphere*, 249: 126171
- Gondim, F.A., Miranda, R.D.S., Gomes-Filho, E. and Prisco, J.T. (2013).** Enhanced salt tolerance in maize plants induced by H₂O₂ leaf spraying is associated with improved gas exchange rather than with non-enzymatic antioxidant system. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25: 251–260

- Gunes, A., Inal, A., Alpuslan, M., Fraslan, F., Guneri, E. and Cicek, N. (2007).** Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*. 164: 728-736.
- Gupta, B. and Huang, B. (2014).** Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*. 1-19.
- Hajiaghaei Kamrani, M., Hosseini, H., Azam, R. Chegeni. (2013).** Effect of salinity on the growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*. 3: 2327-2333.
- Hashmi, N., Masroor A., M., Moinuddin, K., Idrees, M. and Afta, T. (2012).** Exogenous salicylic acid stimulates physiological and biochemical changes to improve growth, yield and active constituents of fennel essential oil. *Plant Growth Regulation*. 68:281-291
- Hatami, E., Shokouhian, A.A., ghanbari, A.R. and Naseri, L.A. (2018).** Alleviating salt stress in almond rootstocks using of humic acid. *Scientia Horticulturae*. 237: 296-302
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. (1950).** The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station.
- Ismail, A.M. and Horie, T. (2017).** Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 68(1): 405-434.
- Jaleel, C.A., Sankar, B., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. (2009).** Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology*. 32(2): 79-83
- Kaiser, W.M. and Heber, U. (1981).** Photosynthesis under osmotic stress: effect of high solute concentrations on the permeability properties of the chloroplast envelope and on activity of stroma enzymes. *Planta*, 153: 423-429.
- Karuppanapandian, T., Moon, J. C., Kim, C., Manoharan, K. and Kim, W. (2011).** Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Australian Journal of Crop Sciences*. 5: 709-725.
- Katsuhara, M., Otsuka, T. and Ezaki, B. (2005).** Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in *Arabidopsis*. *Plant Science*. 169: 369-373.
- Khan, M.H. and Panda, S.K. (2008).** Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 81-89.
- Khan, M.I.R., Iqbal, N., Masood, A., Per, T.S. and Khan, N.A. (2013).** Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior*. 8: e26374.
- Khodary, S.E.A. (2004).** Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology*. 6: 5-8.
- Lichtenthaler, H.K. (1987).** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Method in Enzymology*. 148: 350-382.
- Liu, W., Zhang, Y., Yuan, X., Xuan, Y., Gao, Y. and Yan, Y. (2016).** Exogenous Salicylic Acid Improves Salinity Tolerance of *Nitraria tangutorum*. *Russian Journal of Plant Physiology*. 63(1):132-142.
- Loreto, F. and Velikova, V. (2001).** Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*. 127: 1781-1787.
- 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, M.J. and Javanmardi, J. (2018).** Salicylic acid changes morpho physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica*. 351-355.
- Misra, N. and Saxena, P. (2009).** Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Science*. 177: 181-189.
- Nazar, R., Iqbal, N. and Khan, N.A. (2017).** Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone. pp. 145-163. Springer Singapore.
- Nieves-cordones, M., Rodenas, R., Lara, A., Martínez, V. and Rubio, F. (2019).** The combination of K⁺ deficiency with other environmental stresses: what is the outcome? *Physiologia Plantarum*, 165: 264-276
- Palma, F., López-Gómez, M., Tejera, N.A. and Lluch, C. (2013).** Salicylic acid improves the salinity tolerance of *Medicago sativa* in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* by preventing nitrogen fixation inhibition. *Plant Science*. 208: 75-82
- Parida, A.K. and Das, A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
- Rather, M.A., Dar, B.A., Sofi, S.N., Bhat, B.A., and Qurishi, M.A. (2016).** *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology and safety. *Arabian Journal of Chemistry*. 9 (2): S1574-S1583.
- Rejiskova, A.B., Lenka, P., Eva, S. and Helena, L. (2007).** The effect of abiotic stresses on carbohydrate status of olive shoots (*Olea europaea* L.) under in vitro conditions. *Journal of Plant Physiology*. 164: 174-184.
- Saddiq, M.S., Afzal, I., Basra, S.M.A., Ali, Z. and Ibrahim, A.M.H. (2017).** Sodium exclusion is a reliable trait for the improvement of salinity tolerance in bread wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64(2): 272-284
- Sarvajeet, S.G. and Narendra, T. (2010).** Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *Annual Review. Plant Physiology and Biochemistry*. 3: 1-22.
- Shafeiee, M. and Ehsanzadeh, P. (2019).** Physiological and biochemical mechanisms of salinity tolerance in several fennel genotypes: Existence of clearly-expressed genotypic variations. *Industrial Crops & Products*. 132: 311-318.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O. (2006).** Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant, Soil and Environment*. 52: 186-191
- Yanik, F., Aytürk, Ö., Çetinbas-Genç, A. and Vardar, F. (2018).** Salicylic acid-induced germination, biochemical and developmental alterations in rye (*Secale cereale* L.). *Acta Botanica Croatica*. 77(1): 45-50
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbasi, F. (2011).** The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*. 6: 798-807.
- Yemm, W. and Willis, A.J. (1954).** The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*. 57: 508-514.