Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Quantification of changes in morphophysiological and biochemical criteria of *Satureja rechingeri* Jamzad under salinity stress using nonlinear models

Ali Alemardan[1], Leila Tabrizi[*2], Majid Shokrpour[3]

1. Ph.D. Student, Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. E-mail: alemardan@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. E-mail: l.tabrizi@ut.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. E-mail: shokrpour@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.28.2020
Revised: 02.28.2021
Accepted: 04.10.2021

Keywords:
Antioxidant enzymes,
Growth characteristics,
Medicinal plants,
Sodium chloride

ABSTRACT

Background and Objectives: *Satureja rechingeri* Jamzad, a member of the Lamiaceae family, is a species endemic to Iran, which has a wide distribution in southern Iran (mainly Khuzestan and Ilam). This plant has many medicinal properties, and the main composition of its essential oil is carvacrol (48 to 95%). Carvacrol is mainly involved in biological activities and used in the production of substances such as antibiotics and antioxidants. Drought and salinity stress are the main limiting factors for successful production of crops in Iran and the world. Salinity alters metabolic processes and the activity of enzymes. One of the biochemical changes that occur in plants when exposed to saline environments is the increase in the production of oxygen free radicals. Little is known about the tolerance of this plant to salinity stress. Therefore, this study was performed to quantify the morphophysiological and biochemical responses of *Satureja rechingeri* to salinity stress using nonlinear models.

Materials and Methods: This experiment was conducted in a completely randomized design with four replications under greenhouse conditions during 2016-2017. Rooted cuttings were prepared from Khorman Pharmaceutical Company located in Khorramabad (Lorestan) and transferred to the research greenhouse for the Department of Horticulture and Landscape Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, located in Karaj (Alborz). Rooted cuttings were kept under favorable conditions for about a month and then transplanted into pots. Six weeks after full establishment, the plants were exposed to different concentrations of sodium chloride (0, 2, 4, 8, and 16 dS / m). Parameters including membrane stability, malondialdehyde level, activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase, proline content, total phenol, plant height, leaf length and width, stem diameter, herbal fresh and dry weight, and percentage and yield of essential oil were measured. Logistic, sigmoid, and peak models were used to quantify these parameters.

Results: The effect of salinity stress on most of the parameters was significant (except for stem diameter and essential oil percentage). With increasing NaCl salt concentration, in plants under salinity stress, membrane leakage (250%), proline content (430%), catalase (360%), ascorbate peroxidase (550%), superoxide dismutase (320%), total phenol

(350%), and malondialdehyde (280%) increased. Salinity decreased plant height (14%), leaf length and width (21% and 23%), fresh weight of shoot (35%), dry weight of shoot (15%), and essential oil yield (15%). Moreover, changes in morphological characteristics under salinity stress were logistic and in biochemical properties (except those in ascorbate peroxidase, which was peak) were sigmoid.

Conclusion: *Satureja rechingeri* tolerated salinity up to 4 dS/m, but at higher salinities, herbal fresh and dry weight and plant height significantly reduced.

Cite this article: Alemardan, Ali, Tabrizi, Leila, Shokrpour, Majid. 2022. Quantification of changes in morphophysiological and biochemical criteria of *Satureja rechingeri* Jamzad under salinity stress using nonlinear models. *Journal of Plant Production Research*, 29 (1), 39-59.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.18662.2754
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

کمی‌سازی تغییرات شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و زیست شیمیایی مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) در شرایط تنش شوری با استفاده از مدل‌های غیرخطی

علی آل مردان[۱]، لیلا تبریزی*[۲]، مجید شکرپور[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: alemardan@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: l.tabrizi@ut.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: shokrpour@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

واژه‌های کلیدی:
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان،
خصوصیات رشدی،
کلرید سدیم،
گیاهان دارویی

چکیده

سابقه و هدف: مرزه رشینگری گونه‌ای منحصر به ایران است که در جنوب می‌روید. این گیاه خواص دارویی بسیاری دارد و ترکیب اصلی اسانس آن کارواکرول (۴۸ تا ۹۵ درصد) است. تنش خشکی و شوری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در صنعت کشاورزی هستند. شوری فرایندهای متابولیسمی و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر و باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. درباره تحمل مرزه رشینگری به تنش شوری اطلاعات کمی وجود دارد. بنابراین، این مطالعه به‌منظور کمی‌سازی پاسخ‌های مرفوفیزیولوژی و زیست شیمیایی مرزه رشینگری به تنش شوری با استفاده از مدل‌های غیرخطی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۵ صورت گرفت. قلمه‌های ریشه‌دار از شرکت دارویی خرمان واقع در خرم‌آباد (لرستان) تهیه و به گلخانه پژوهشی گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران واقع در کرج (البرز) انتقال داده شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده به مدت حدود یک ماه در شرایط مناسب نگه‌داری شده و سپس به گلدان انتقال داده شدند. شش هفته بعد از استقرار کامل، گیاهان در معرض غلظت‌های مختلفی از کلرید سدیم (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) قرار گرفتند. پارامترهایی شامل پایداری غشاء، فعالیت مالون‌دی‌آلدهید، سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، میزان پرولین، فنول کل، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، قطر ساقه و وزن تر و خشک شاخه و میزان و عملکرد اسانس اندازه‌گیری شد و از مدل‌های لجستیک، سیگموئیدی و پیک برای کمی‌سازی این پارامترهای استفاده شد.

یافته‌ها: اثر تنش شوری بر بیش‌تر خصوصیات معنی‌دار (به‌جز قطر ساقه و درصد اسانس) بود. با افزایش غلظت نمک NaCl، در گیاهان تحت تنش شوری، نشت غشاء (۲۵۰ درصد)، میزان پرولین (۴۳۰ درصد)، کاتالاز (۳۶۰ درصد)، آسکوربات پراکسیداز (۵۵۰ درصد)، سوپراکسیددیسموتاز (۳۲۰ درصد)، فنل کل (۳۵۰ درصد) و مالون‌دی‌آلدهید (۲۸۰ درصد) افزایش یافتند. شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه (۱۴ درصد)، طول و عرض برگ (۲۱ و ۲۳ درصد)، وزن تر شاخه (۳۵ درصد) و وزن خشک شاخه (۱۵ درصد) و عملکرد اسانس (۱۵ درصد) شد. هم‌چنین تغییرات خصوصیات ریخت‌شناختی در شرایط تنش شوری به‌صورت لجستیک و خصوصیات زیست شیمیایی (به‌جز آسکوربات پراکسیداز که به‌صورت پیک بود) به‌صورت سیگموئیدی بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، مرزه رشینگری تا غلظت ۴ دسی‌زیمنس بر متر شوری را تحمل کرد، ولی در شوری‌های بالاتر، وزن تر و خشک و ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند.

استناد: آل مردان، علی، تبریزی، لیلا، شکرپور، مجید (۱۴۰۱). کمی‌سازی تغییرات شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و زیست شیمیایی مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) در شرایط تنش شوری با استفاده از مدل‌های غیرخطی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۱)، ۵۹-۳۹.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.18662.2754

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه به دلیل اثبات اثربخشی گیاهان دارویی و هم‌چنین عوارض داروهای شیمیایی و محدودیت‌های استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها، مصرف گیاهان دارویی و داروهای گیاهی در کشورهای مختلف افزایش یافته است (۱). مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) متعلق به تیره Lamiaceae، از گونه‌های انحصاری ایران است که پراکنش گسترده‌ای در جنوب ایران (عمدتاً خوزستان و ایلام) دارد. ترکیب اصلی اسانس این گیاه کارواکرول (۴۸ تا ۹۵ درصد) است (۲). کارواکرول عمدتاً در فعالیت‌های زیستی و تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها نقش دارد و دارای خواص ضد دیابتی، ضد فشار خون، ضدعفونی‌کننده و آرام‌بخش است (۳). افزایش تقاضا برای مرزه رشینگری از یک طرف و پراکنش عمده این گیاه در نواحی خشک و نیمه‌خشک رویش، موجب مواجه این گیاه با تنش‌های محیطی متعددی از جمله شوری شده است (۲).

تنش‌های محیطی به ویژه خشکی و شوری از عوامل اصلی کاهنده رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی و تهدیدکننده امنیت غذایی شناخته می‌شود (۴). افزایش جمعیت جهان، روند کاهش منابع آب شیرین و شور شدن زمین‌های زراعی، بررسی و ارزیابی درزمینه گزینش گیاهان متحمل در شرایط نامناسب محیطی را ضروری ساخته است (۵). شوری فرایندهای متابولیسمی و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهد. یکی از تغییرات زیست شیمیایی که در گیاه هنگام تنش شوری رخ می‌دهد، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن[1] است (۶). تنش شوری با خسارت اکسیدی ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، اکسیداسیون پروتئین‌ها، بازدارندگی فعالیت آنزیم‌ها و خسارت به اسیدهای نوکلئیک، می‌تواند در سوخت‌وساز سلول اختلال ایجاد کند (۷). ازجمله این اثرات منفی می‌توان به آسیب به غشاء، عدم تعادل مواد غذایی، مهار آنزیمی و اختلال سوخت‌وسازی اشاره کرد که درنهایت می‌تواند منجر به مرگ گیاه شود (۸).

گیاهان برای کاهش آثار زیان‌بار تنش، سازوکارهای مختلفی را ایجاد کرده‌اند که نمونه‌ای از آن‌ها تولید آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیدازهایی مانند آسکوربات پراکسیداز) است (۹). ترکیبات فنولی و فلانوئیدها از مؤثرترین و گسترده‌ترین متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که بیوسنتز آن‌ها در گیاهان موجب انگیزش پاسخ به محرک‌های زنده و غیرزنده می‌شود (۱۰). نتایج پژوهش جهانبخش گده‌کهریز و همکاران (۱۱) در گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) نشان داد که با افزایش شوری مقدار بیوماس و فعالیت کاتالاز کاهش یافت و در سطوح شوری بالا، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز افزایش، اما میزان پرولین کاهش یافت. در آزمایشی روی گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.)، غلظت پایین شوری در مقایسه با شاهد بر عملکرد، تعداد، طول و مساحت برگ‌ها، پرولین و ترکیبات فنلی اثر معنی‌داری داشت (۱۲). شوری باعث کاهش وزن خشک شاخه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای پتاسیم شاخساره مرزه باغی (*Satureja hortensis* L.) شد. با این‌حال، میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن شاخساره افزایش یافت (۱۳). قربانی و همکاران (۱۴) گزارش کردند که میزان اسانس و بسیاری از ترکیبات اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) با افزایش شدت تنش شوری کاهش یافتند، درحالی‌که میزان منتون با افزایش تنش افزایش یافت. در پژوهشی روی پاسخ مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) به تنش شوری، مشاهده گردید که رشد و وزن خشک

1- Reactive oxygen species (ROS)

اندام هوایی این گیاه کاهش یافت، ولی عملکرد اسانس گیاهان در تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار افزایش یافت (۱۵).

کمی‌سازی و یافتن روابط منطقی در سامانه با استفاده از روابط ریاضی می‌تواند در پیش‌بینی تحمل گیاهان به تنش سودمند باشد. کاربرد مدل‌های غیرخطی در تجزیه و تحلیل داده‌ها روشی قدرتمند برای پیش‌بینی و درک تغییرات داده‌ها در شرایط مختلف است (۱۶). از مدل‌های غیرخطی با توجه به ماهیت داده استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، مدل لجستیک یک رگرسیون غیرخطی بوده که برای مدل‌های سیگموئید ایجاد شده و در واقع مدلی متقارن است، ولی در مقابل مدل گومپرتز مدلی نامتقارن می‌باشد (۱۶). بنابراین این مطالعه با هدف کمی‌سازی پاسخ‌های دفاعی و تغییرات ریخت‌شناختی و زیست شیمیایی گیاه مرزه رشینگری در تنش شوری با استفاده از معادلات غیرخطی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز دانشگاه تهران واقع در کرج طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۵ با مختصات عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح شوری، شاهد (آب شهری با هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر)، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در چهار تکرار اجرا شد.

نشاهای ریشه‌دار مرزه رشینگری از شرکت دارویی خرمان تهیه و یک ماه بعد از سازگاری به شرایط گلخانه‌ای کرج، نشاهای یکنواخت انتخاب و در بستر کشت شامل خاک زراعی، ورمی‌کمپوست/ پیس‌ماس و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ درون گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر دهانه حدود ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. در هر گلدان یک گیاه وجود داشت و چهار گلدان به عنوان واحد آزمایشی در هر تکرار در نظر گرفته شد. پیش از انجام آزمایش ویژگی‌های بستر مورد استفاده آزمایش شد (جدول ۱). شش هفته بعد از استقرار کامل گیاهان، تیمارهای شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم در آب آبیاری اعمال گردید. هر گلدان بسته به نیاز هر هفته دو بار از محلول مورد نظر به مقدار ۴۰۰ میلی‌لیتر، با توجه به ظرفیت گلدانی که به روش وزنی و پس از اشباع شدن خاک گلدان و گذشت ۲۴ ساعت و توزین گلدان به‌دست آمده بود، دریافت کرد. طی مدت اعمال تیمار، به‌منظور جلوگیری از اثرات نامطلوب کمبود مواد غذایی، گیاهان هر هفته یک بار با محلول غذایی تهیه شده از کود کامل NPK: 20-20-20 مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده، تغذیه شدند. هم‌چنین برای جلوگیری از انباشته شدن بیش از حد نمک، هر هفته شوری خاک گلدان‌ها کنترل شد و در گلدان‌هایی که شوری از محدوده تعیین شده بالاتر رفته بود، آبشویی انجام شد. شش هفته پس از آغاز اعمال تنش شوری (در مرحله اوج گلدهی) صفات ریخت‌شناختی و زیست شیمیایی اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- تجزیه خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Analysis of the soil used in this experiment.

SAR	Mg^{++}	Ca^{++}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	OM	PWP	FC	EC	pH
–			(ppm)			(%)	(%)	(%)	(dS/m)	–
2.7	6.3	15.2	8.9	0.41	8.4	1.84	12.5	22.2	2.33	8.2

صفات ریخت‌شناختی: شامل ارتفاع بوته (از پایین‌ترین قسمت ساقه تا جوانه انتهایی بلندترین شاخه و برحسب سانتی‌متر)، طول و عرض برگ (از هر شاخه، ۲۰ برگ بالغ به‌صورت تصادفی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت شد و برگ‌های جوان نزدیک نوک شاخه در اندازه‌گیری‌ها وارد نشدند)، قطر ساقه (پایین‌ترین و ضخیم‌ترین قسمت ساقه با استفاده از کولیس) و وزن تر و خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

نشت یونی: برای این منظور، ۰/۳ گرم از برگ‌های توسعه یافته در لوله‌های آزمایش حاوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (شاهد) و ۲۵ میلی‌لیتر پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ (PEG_{6000}) به‌مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور و در دمای ۱۰ درجه سلسیوس، قرار داده شدند. سپس، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت درون ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. پس از آن، هدایت الکتریکی اندازه‌گیری و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر اتوکلاو شدند. بعد از آن، هدایت الکتریکی برای بار دوم اندازه‌گیری شد. برای محاسبه نشت یونی از رابطه ۱ استفاده شد:

$$CMS\ (\%) = 1- (T_1/T_2)] / (1-(C_1/C_2)] \times 100 \quad (1)$$

که در آن، CMS نشت یونی، C و T به‌ترتیب هدایت الکتریکی تیمار پلی‌اتیلن گلایکول و شاهد، زیرنویس ۱ و ۲ به‌ترتیب هدایت الکتریکی اولیه و نهایی می‌باشد.

میزان پرولین: استخراج پرولین از برگ‌های بالغ و سالم با استفاده از روش بیتز و همکاران (۱۷) صورت گرفت. مقدار یک گرم بافت برگ در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد ساییده و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه به دو میلی‌لیتر از عصاره حاصل، دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال خالص اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری قرار گرفته و پس از اضافه کردن چهار میلی‌لیتر تولوئن، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس و پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی (روشناور)، مقدار جذب آن‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: به ۰/۵ گرم بافت آسیاب‌شده برگ تازه یک میلی‌متر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (اسیدیته = ۷) حاوی EDTA[1] ۰/۵ مولار و PVPP[2] دو درصد اضافه گردید. محلول حاصل در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس، محلول رویی برای بررسی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با روش رائو و سرستی (۲۰۰۰) انجام شد (۱۸). محلول واکنش آنزیمی شامل ۹۳۵ میکرومتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار و NBT[3] ۷۵ میکرومولار و ۱۵ میکرولیتر ریبوفلاوین ۰/۱۲ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر ثبت و فعالیت آنزیمی محاسبه شد. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش ککمک و مارشنر (۱۹۹۲) استفاده شد (۱۹). ۲۰ میکرولیتر

1- Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)
2- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)
3- Nitroblue tetrazolium (NBT)

عصاره آنزیمی با ۹۸۰ میکرولیتر از بافر فسفات حاوی پراکسید هیدروژن دو میلی‌مولار مخلوط شد و تغییرات جذب آن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیمی برحسب میکرومول پراکسید هیدروژن بر گرم بافت تازه در دقیقه محاسبه شد. برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز ۷۷۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته هفت با ۱۰۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر اسید آسکوربیک پنج میلی‌مولار و ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. سپس، با افزودن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، تغییرات جذب در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. فعالیت آنزیمی برحسب میکرومول اسید آسکوربیک بر گرم در دقیقه محاسبه شد (۲۰).

غلظت مالون‌دی‌آلدهید: برای اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدهید از روش هیس و پکر (۱۹۶۸) استفاده شد (۲۱). بر اساس این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه‌ی برگ توزین و با پنج میلی‌لیتر TCA[1] ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت پنج دقیقه با ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد. سپس به یک میلی‌لیتر از محلول رویی، چهار میلی‌لیتر محلول TCA ۴۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد TBA[2] بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حمام آب گرم حرارت داده و بلافاصله سرد شد. میزان جذب این محلول به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب وزن تر (میکرومول بر گرم برگ تر) محاسبه گردید.

میزان فنل کل: اندازه‌گیری میزان فنل کل بر اساس روش Folin-Ciocalteu به‌صورت زیر انجام شد. ۰/۱ گرم از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد عصاره‌گیری و عصاره حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس به محلول حاصل یک میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۵ میلی‌لیتر فولین ۵۰ درصد و یک میلی‌لیتر کربنات سدیم پنج درصد اضافه شد. شدت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر پس از یک ساعت نگهداری در تاریکی خوانده شد. برای محاسبه میزان فنل کل از منحنی استاندارد اسید گالیک استفاده شد (۲۲).

میزان و عملکرد اسانس: به‌منظور تعیین میزان اسانس، ۵۰ گرم از بخش‌های هوایی نمونه‌هایی جمع‌آوری شد و پس از خشک شدن در سایه با روش تقطیر با آب (Hydrodistillation) مورد اسانس‌گیری قرار گرفت و از ضرب میزان اسانس در وزن خشک اندام هوایی عملکرد اسانس نیز محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و میانگین‌ها با روش چنددامنه‌ای دانکن مقایسه گردیدند. برای برازش مدل‌ها نیز از سه مدل زیر با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات نسخه ۱۴ استفاده شد.

مدل لجستیک (۲)

$$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$$

مدل سیگموئیدی (۳)

$$Y= a/1+(x/x_0)^b$$

مدل پیک (۴)

$$Y = a*\exp(-.5*((x-x_0)/b)^{\wedge 2})$$

1- Trichloro acetic acid (TCA)
2- Thiobarbituric acid (TBA)

در مدل‌های لجستیک و سیگموئیدی، پارامتر a نشان‌دهنده بالاترین مقدار متغیر، b شیب تغییرات و X_0 نیز مقداری از متغیر X که ۵۰ درصد پارامتر a حاصل می‌شود. در مدل پیک نیز پارامتر a نشان‌دهنده بالاترین مقدار متغیر، b شیب تغییرات و X_0 نشان‌دهنده مقداری از متغیر X که به پارامتر a می‌رسد (۲۳).

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار تنش شوری بر ارتفاع بوته مرزه رشینگری بود ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد، شوری موجب کاهش ارتفاع بوته شد، اما تا شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر تغییرات ارتفاع بوته با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین ارتفاع بوته نیز در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۳۸/۸ سانتی‌متر به دست آمد که در مقایسه با شاهد ۱۴/۶ درصد کم‌تر بود (جدول ۳). نتایج برازش مدل به‌منظور کمی‌سازی روند تغییرات ارتفاع بوته با استفاده از مدل‌های غیره خطی نیز نشان داد، مدل لجستیک مدلی مناسب برای پیش‌بینی ارتفاع بوته در شرایط شوری است (ضریب تبیین ۰/۹۷۹). شیب تغییرات این صفت در اثر شوری ۰/۸۶ بود و طبق پارامتر (X_{50}) مدل در شوری ۱۰۸ دسی‌زیمنس بر متر ارتفاع بوته به ۵۰ درصد مقدار اولیه می‌رسد (جدول ۳). نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر رابطه مستقیم بین افزایش سطح شوری و کاهش ارتفاع بوته است. گزارش‌های متعددی مبنی بر کاهش پارامترهای رشد در گیاهان تحت تنش شوری وجود دارد. در پژوهش دیگری، کاهش معنی‌داری در رشد گیاهچه‌های آویشن (*Thymus maroccanus*) تحت تنش شوری گزارش شده است (۲۴). با توجه به نتایج مدل نیز مشخص شد که ارتفاع بوته متحمل‌ترین صفت ریخت‌شناسی به تنش بود و حتی در بالاترین شوری نیز آن‌چنان متأثر نشد و تا شوری ۱۰۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز تنها ۵۰ درصد افت نشان می‌دهد (جدول ۳).

اثرات تنش شوری در جلوگیری از رشد گیاهچه‌ها به‌دلیل کاهش تحرک مواد غذایی ذخیره شده، به تعویق افتادن تقسیم سلولی، رشد سلول‌ها و آسیب محور زیر لپه گزارش شده است. کاهش در رشد گیاهچه‌ها در گیاه دارویی مرزنگوش (*Origanum majorana*) (۲۵) نیز گزارش شده است. کاهش رشد یکی از مهم‌ترین اثرهای تنش شوری است که به دلیل خاصیت آسیب رسانی یون سدیم (به‌علت کاهش فعالیت کانال پتاسیمی) می‌باشد (۲۶). یکی دیگر از دلایل کاهش ارتفاع بوته در شرایط شور ممکن است مسمومیت به کلر باشد که از جذب نیترات جلوگیری می‌کند، زیرا هر دو یون به‌وسیله یک نوع حمل‌کننده از عرض غشاء پلاسمایی انتقال می‌یابند و نیترات نیز در رشد رویشی گیاهان نقش مهمی دارد (۲۶). به علاوه، کاهش قابل‌توجه طول ساقه در اثر تنش شوری می‌تواند به دلیل تأثیر منفی شوری بر میزان فتوسنتز، تغییرات در فعالیت آنزیم (که متعاقباً بر سنتز پروتئین تأثیر می‌گذارد) باشد. کاهش سطح کربوهیدرات‌ها و کاهش هورمون‌های رشد نیز از دلایلی هستند که رشد را کاهش می‌دهند (۱۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات ریخت‌شناختی مرزه رشینگری تحت‌تأثیر تنش شوری.

Table 2. Variance analysis of morphological traits of *Satureja rechingeri* grown under salinity stress.

منابع تغییر S.V.O.	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares							
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Leaf diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	وزن تر اندام هوایی Herbal fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Herbal dry weight	درصد اسانس Oil content	عملکرد اسانس Oil yield
شوری Salinity	4	33.07*	0.229ns	11.31**	2.611**	2122.6**	120.3**	0.205ns	0.238*
خطا Error	15	7.75	0.250	1.58	0.372	154.5	41.86	0.162	0.071
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.5	9.0	7.7	8.4	10.4	9.9	9.1	9.9

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار (P≤۰/۰۵) و بسیار معنی‌دار (P≤۰/۰۱)

ns, *, and ** indicate statistical insignificance, significance (P≤0.05), and high significance (P≤0.01), respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین و تغییرات پیش‌بینی‌شده در خصوصیات ریخت‌شناختی مرزه رشینگری تحت‌تأثیر تنش شوری.

Table 3. Mean comparisons and estimated change of morphological traits of *Satureja rechingeri* influenced by salinity stress.

	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds m^{-1})					مدل Models	پارامترهای پیش‌بینی‌شده Estimated parameters			
	0	2	4	8	16		a	b	X_0	R^2
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	45.86^{a}	45.32^{ab}	43.21^{abc}	41.47^{bc}	38.86^{c}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	46.1	0.861	108.7	0.979
طول برگ (میلی‌متر) Leaf length (mm)	17.68^{a}	18.05^{a}	16.21^{ab}	15.6^{bc}	13.88^{c}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	17.9	1.042	51.2	0.923
عرض برگ (میلی‌متر) Leaf width (mm)	7.88^{a}	8.00^{a}	7.63^{a}	6.84^{b}	6.09^{b}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	8.1	1.241	39.2	0.963
وزن تر اندام هوایی (گرم) Herbal fresh weight (g)	139.0^{a}	142.8^{a}	120.8^{b}	107.5^{b}	87.0^{c}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	142.3	1.163	22.6	0.947
وزن خشک اندام هوایی (گرم) Herbal dry weight (g)	69.91^{ab}	72.01^{a}	64.69^{bc}	61.20^{c}	59.23^{c}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	71.1	0.834	97.6	0.812
عملکرد اسانس در گیاه Oil yield per plant (g)	3.08^{ab}	3.17^{a}	2.85^{abc}	2.69^{bc}	2.61^{c}	$Y= a/1+(x/x_0)^b$	3.12	0.833	97.7	0.812

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

Different letters in each row indicate a significant difference (P≤0.05) based on Duncan's multiple range tests

خصوصیات برگ: نتایج نشان داد که تنش شوری تنها بر طول و عرض برگ تأثیر معنی‌داری اعمال کرد ($P\leq$۰/۰۱) ولی قطر ساقه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار نگرفت ($P>$۰/۰۵) (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر تغییر معنی‌داری بر طول و عرض برگ‌های مرزه رشینگری نداشته و شوری ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار در آن‌ها شد. شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۱ درصد طول برگ و ۲۳ درصد عرض برگ شد (جدول ۳). نتایج مربوط به برازش مدل نیز نشان داد، مدل لجستیک مدل مناسبی برای تغییرات این صفات بود و توانست به‌خوبی تغییرات آن‌ها را در شرایط تنش شوری پیش‌بینی کند (ضریب تبیین ۰/۹۲۳ و ۰/۹۶۳). شیب تغییرات طول و عرض برگ در این مدل‌ها به ترتیب ۱/۰۴ و ۱/۲۴ بود و این صفات در شوری ۵۱/۲ و ۳۹/۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد اولیه خود رسیدند (جدول ۵).

گزارش‌های متعددی مبنی بر کاهش رشد گیاهان دارویی در مواجهه با تنش شوری ارائه شده است. در آزمایشی کاهش معنی‌داری در تعداد، مساحت و بیوماس برگ‌های گیاهان دارویی نعناع فلفلی و به‌لیمو (*Lipia citriodora*) در اثر تنش شوری مشاهده شد (۲۷). هم‌چنین گزارش‌هایی در مورد تأثیر تنش شوری بر کاهش پارامترهای رشد در گیاه دارویی پروانش (۲۸) ارائه شده است. در این مطالعه نیز مشخص شد که سطح برگ نسبت به ارتفاع بوته به تنش حساس‌تر و نسبت به وزن خشک اندام هوایی متحمل‌تر است و در شوری بالاتری ۵۰ درصد افت نشان می‌دهد (جدول ۳). کاهش سطح برگ (طول و عرض برگ) را می‌توان در نتیجه‌ی کاهش سرعت رشد سلول‌ها یا کاهش سرعت تقسیم سلولی به علت کم شدن آماس سلولی در شرایط تنش بیان کرد (۲۹). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش تعداد برگ در اثر تنش شوری به تجمع کلرید سدیم در دیواره سلولی و سیتوپلاسم برگ‌های قدیمی منجر می‌شود و هم‌زمان پتانسیل واکوئل در انباشتن نمک در خود کاهش می‌یابد. این رویدادها سرانجام مرگ و ریزش برگ‌ها را به همراه دارند (۳۰).

وزن تر و خشک اندام هوایی: همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شد، وزن تر و خشک اندام هوایی مرزه تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفت ($P\leq$۰/۰۱). شوری موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی شد. شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری در مورد این صفات با یکدیگر نداشته، ولی در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر اختلاف بین میانگین‌ها معنی‌دار بود. کم‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد که موجب کاهش ۳۵ درصد وزن تر و ۱۵ درصد وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۳). کمی سازی این دو صفت با استفاده از مدل‌های غیره خطی نیز نشان داد، روند تغییرات وزن تر و خشک اندام هوایی نیز به‌صورت لجستیک (ضریب تبیین ۰/۹۴۷ و ۰/۸۱۲) و شیب تغییرات این دو صفت نیز به ترتیب ۱/۱۶ و ۰/۸۳ بود و با توجه به پارامتر مدل در شوری ۲۲/۶ و ۹۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار اولیه خود خواهند رسید. این نشان می‌دهد که وزن تر حساس‌ترین پارامتر به تنش شوری است و نسبت به ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ، در مقادیر خیلی کم‌تری ۵۰ درصد افت نشان می‌دهد (جدول ۳).

کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه در شرایط تنش شوری همراه با کاهش سطح برگ و فتوسنتز است. این کاهش احتمالاً به‌علت اثرات زیان‌بار تنش شوری بر میزان رشد و کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه است که می‌تواند کل ماده خشک گیاه را کاهش دهد. در ضمن، بخشی از مواد تولید شده جهت تأمین شرایط اسمزی مورد نیاز گیاه استفاده می‌شود. غلظت

زیاد نمک رشد ریشه را کند یا متوقف نموده و تکامل گیاه را به تأخیر می‌اندازد. کاهش رشد اندام هوایی در شرایط شوری ممکن است به علت تجمع زیاد یون Na^+ در گیاه و در نتیجه آن اختلال در فرایندهای آنزیمی و سنتز پروتئین باشد (۳۱). در بررسی اثر شوری بر خصوصیات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیک گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) نیز گزارش شد که خصوصیاتی مانند وزن ریشه، وزن برگ، وزن شاخه و سطح برگ در اثر تنش شوری کاهش یافتند (۳۲).

درصد و عملکرد اسانس: نتایج مربوط به عملکرد و درصد اسانس اندام هوایی گیاه مرزه رشینگری نیز مشخص نمود که درصد اسانس در این گیاه تحت‌تأثیر تنش شوری قرار نگرفت، ولی عملکرد آن به‌طور معنی‌دار کاهش یافت ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۲). روند تغییرات عملکرد اسانس مشابه وزن خشک اندام هوایی در این گیاه بود و مدل سیگموئیدی توانست تغییرات آن را به‌خوبی پیش‌بینی نماید (ضریب تبیین ۰/۸۱۲). بالاترین عملکرد اسانس ۳/۱ گرم در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد و تا شوری ۴ دسی‌زیمنس تغییرات عملکرد اسانس به طور معنی‌دار تغییر نکرد، ولی شوری‌های ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری را موجب شدند. شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۱۵ درصد عملکرد اسانس گیاه مرزه شد و طبق پارامترهای مدل در شوری ۹۷ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد اسانس ۵۰ درصد نسبت به مقدار اولیه خود افت خواهد کرد (جدول ۳).

امیری و قاسمی رمضان‌آباد (۲۰۱۸) در مطالعه خود بر مرزه رشینگری برخلاف نتایج ما گزارش کردند که شوری موجب افزایش درصد اسانس شد، ولی ترکیبات اصلی این گیاه به ویژه کارواکرول روند تغییرات مشخصی در طی تنش نداشتند (۳۳). هم‌چنین مشخص شد همانند نتایج ما، شوری عملکرد اسانس را در گیاهان خانواده نعناع کاهش می‌دهد و این احتمالاً به‌دلیل محدود شدن عرضه سیتوکینین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و درنتیجه تغییر نسبت بین سیتوکینین و اسیدآبسیزیک برگ است (۳۱). تنش شوری، درصد اسانس اکثر گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد چون در هنگام تنش، متابولیت‌های بیش‌تری تولید شده و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول می‌شوند (۳۴). یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان، تنش‌های محیطی اعمال شده بر آن‌ها است. در حقیقت، یکی از مهم‌ترین وظایف متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، نقش محافظتی آن‌ها در شرایط تنش است. این ترکیبات به گیاهان کمک می‌کنند تا بتوانند در مقابل عوامل و شرایط نامساعد محیطی، مقاومت کنند و به حیات خود ادامه دهند. البته برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این رویداد همیشگی نیست و در مواردی حتی کاهش میزان متابولیت‌های ثانویه تحت شرایط تنش محیطی دیده می‌شود که علت آن دخیل بودن سازوکارهای دفاعی دیگر مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و متابولیت‌های سازگاری مانند پرولین می‌باشد (۳۵).

نشت یونی و میزان مالوندی‌آلدهید: نتایج تجزیه واریانس مربوط به میزان نشت یونی برگ‌های مرزه رشینگری نشان داد که تنش شوری بر این پارامتر به‌طور معنی‌داری اثرگذار بود ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد، نشت یونی در اثر تنش شوری افزایش یافت، اما شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر نشت یونی نداشت. بالاترین میزان نشت یونی (۴۰ درصد) نیز در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که در مقایسه با شاهد ۲/۵ برابر بود (جدول ۵). نتایج برازش مدل نیز نشان داد که روند تغییرات این صفت به‌صورت سیگموئید بود (ضریب تبیین ۰/۹۹۱). با توجه به پارامترهای برآورد شده، شیب تغییرات این

صفت در اثر شوری ۴/۵۷ بود که در شوری ۶/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار نهایی خود رسید (جدول ۵).

بر اساس نتایج موجود، تنش شوری بر میزان مالون‌دی‌آلدهید اثرگذار بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۴). تنش شوری موجب افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاه مرزه رشینگری شد. با توجه به نتایج جدول ۵، شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر مالون‌دی‌آلدهید نداشت و با شاهد در یک کلاس آماری قرار گرفت؛ این در حالی بود که شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر موجب افزایش ۲/۸ برابری مقدار این پارامتر شد و مقدار آن به ۱۳/۵ میکرومول بر گرم رسید. با توجه به نتایج برازش مدل، مشخص شد که روند این صفت نیز همانند نشت یونی به‌صورت سیگموئیدی بود (ضریب تبیین ۰/۹۹۷). شیب تغییرات این صفت نیز در اثر شوری ۵/۹۴ بود و در شوری ۵/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد نهایی خود رسید (جدول ۵).

نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که گیاه مرزه (*Satureja hortensis*) تحت تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، میزان نشت یونی افزایش پیدا کرد (۳۲). هم‌چنین، احمد و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان نمودند که رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در اثر تنش شوری، از طریق اکسید کردن پروتئین‌ها و لیپیدها، موجب از بین رفتن انسجام غشاهای سلولی می‌شوند (۳۶) که نتایج مربوط به افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید نیز تأییدکننده این مطلب است و افزایش نشت یونی نشانه‌ای از آسیب و کاهش پایداری غشاء می‌باشد که نتیجه تنش اکسیداتیو حاصل از شوری است (۳۷). مالون‌دی‌آلدهید محصولی از پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع‌نشده در فسفولیپیدها است. از میزان پراکسیداسیون لیپید به‌عنوان نشانه‌ای از وجود رادیکال‌های آزاد (مضر برای غشای سلولی) استفاده شده است؛ بنابراین، مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان یک معرف برای بررسی میزان آسیب به غشاء در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. مالون‌دی‌آلدهید شاخصی مناسب برای بررسی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء به شمار می‌رود (۳۸). در زمینه افزایش مالون‌دی‌آلدهید با افزایش تنش شوری گزارش‌های متعددی وجود دارد. در این پژوهش، با افزایش سطح شوری میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت. این افزایش ممکن است توسط رادیکال‌های سوپراکسید تولید شده در حین تنش شوری رخ داده باشد. رادیکال‌های سوپراکسید از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای موجود در غشا، میزان مالون‌دی‌آلدهید را در گیاه افزایش می‌دهند (۳۸).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی مرزه رشینگری تحت‌تأثیر تنش شوری.

Table 4. Variance analysis of physiological and biochemical traits of *Satureja rechingeri* under salinity stress.

منابع تغییر S.V.O	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		نشت یونی Electrolyte leakage	مالون‌دی‌آلدهید MDA	سوپراکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT	آسکوربات پراکسیداز APX	فنل کل Total phenols	پرولین Proline
شوری Salinity	4	637.85**	1.47**	26.60**	142.32**	2.86**	0.779**	23145.5**
خطا Error	15	9.2	0.082	0.168	0.89	0.058	0.060	136.2
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.5	10.28	8.4	9.0	11.0	15.0	9.5

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار (P≤۰/۰۵) و بسیار معنی‌دار (P≤۰/۰۱)

ns, *, and ** indicate statistical insignificance, significance (P≤0.05), and high significance (P≤0.01), respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین و تغییرات پیش‌بینی‌شده در خصوصیات فیزیولوژیک و زیست شیمیایی مرزه رشینگری تحت‌تأثیر تنش شوری.

Table 5. Mean comparisons and estimated change of physiological and biochemical traits of *Satureja rechingeri* affected by salinity stress.

صفات	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds m^{-1})					مدل Models	پارامترهای تخمین زده شده Estimated parameters			
	0	2	4	8	16		a	b	X_0	R^2
نشت یونی (درصد) Electrolyte leakage (%)	10.47^{d}	11.31^{d}	15.54^{c}	27.2^{b}	40.1^{a}	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	45.3	4.57	6.49	0.991
مالون‌دی‌آلدهید (میکرومول در گرم وزن تر) MDA (µmol $gr^{-1}fw$)	4.82^{d}	5.43^{d}	7.14^{c}	9.71^{b}	13.53^{a}	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	15.7	5.94	5.27	0.997
سوپراکسید دیسموتاز (واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین) SOD (U mg^{-1} prot.)	2.84^{d}	2.92^{d}	3.93c	5.65^{b}	9.02a	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	13.1	7.29	10.20	0.994
کاتالاز (واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین) Cat (U mg^{-1} prot.)	5.49^{d}	5.63^{d}	8.13^{c}	13.48^{b}	19.39^{a}	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	21.8	4.641	6.10	0.989
آسکوربات پراکسیداز (واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین) APX (U mg^{-1} prot.)	2.06^{d}	2.2^{d}	3.85^{c}	11.39^{a}	7.68^{b}	$Y = a\times\exp(-.5\times((x-x0)/b)^{\wedge 2})$	13.7	4.67	10.9	0.971
فنل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Total phenols ($mg^{-1}gfw$)	1.39^{d}	1.53^{d}	2.79^{c}	3.71^{b}	4.87^{a}	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	5.1	3.61	3.95	0.978
پرولین Proline (µg $gr^{-1}fw$)	53.0^{d}	58.7^{d}	100.1^{c}	168.0^{b}	230.5^{a}	$Y= a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	242.1	3.50	5.27	0.992

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

Different letters in each row indicate a significant difference ($P\leq 0.05$) based on Duncan's multiple range tests

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفتند ($P\leq$۰/۰۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد. بالاترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (۳/۲ برابر شاهد) و کاتالاز (۳/۶ برابر شاهد) در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر و بالاترین فعالیت آسکوربات پراکسیداز (۵/۵ برابر شاهد) در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش ۲۰ درصد در مقایسه با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد. هم‌چنین شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر این آنزیم‌ها نداشته و در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج برازش مدل نیز مشخص کرد که روند کاتالاز (ضریب تبیین ۰/۹۸۹) و سوپراکسیددیسموتاز (ضریب تبیین ۰/۹۹۴) به‌صورت سیگموئیدی و روند آسکوربات پراکسیداز به‌صورت پیک یا زنگوله‌ای (ضریب تبیین ۰/۹۷۸) بود. شیب تغییرات سوپراکسیددیسموتاز در اثر شوری ۷/۲۹ بود که در شوری ۱۰/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار نهایی رسید، این در حالی بود که شیب تغییرات کاتالاز ۴/۶۴ بوده و در شوری ۶/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار نهایی خود رسید. بالاترین فعالیت آسکوربات پراکسیداز نیز با توجه به پارامترهای مدل در شوری ۱۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر با مقدار ۱۳/۷ واحد استاندارد در میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد (جدول ۵).

در این پژوهش، فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز که وظیفه از بین بردن پراکسید هیدروژن را بر عهده دارند، موازی با فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز که به‌عنوان اولین سد دفاعی در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد، افزایش یافت تا بدین طریق ترکیبات مضر گیاه را از بین برده و مقاومت گیاه به شوری بالا را افزایش دهند (۳۹). اما تغییرات آسکوربات پراکسیداز در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر افت نشان داد که چنین روندی توسط شهبازی و گلکار (۲۰۱۷) نیز در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نیز مشاهده شد (۴۰). کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شوری شدید احتمالاً ناشی از آسیب‌پذیری اندام‌های درگیر در فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در اثر شوری بالا می‌باشد (۴۱). هم‌چنین، سوپراکسید دیسموتاز در مقایسه با کاتالاز پاسخ کندتری به تنش شوری نشان داد و در شوری ۱۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر ۵۰ درصد افزایش یافت، این در حالی بود که کاتالاز در شوری ۶/۱ دسی‌زیمنس بر متر این تغییرات را نشان داد (جدول ۵). در این زمینه که افزایش شوری باعث افزایش آنزیم‌های آتتی‌اکسیدانت می‌شود، گزارش‌های متعددی وجود دارد. قربانلی و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه زیره سبز مشاهده کردند که با افزایش غلظت کلرید سدیم، میزان پرولین، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت (۴۲). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز باعث تبدیل رادیکال آزاد اکسیژن به پراکسید هیدروژن می‌شوند و سپس آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز قادراند پراکسید هیدروژن تولید شده در اندامک‌ها و سیتوسول را به آب و اکسیژن تبدیل کنند و اثرات مخرب آن را کاهش دهند (۴۳). هم‌چنین، آسکاروبات پراکسیداز در شوری بالای ۱۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر از فعالیت باز ایستاد و نقش آن در واکنش به تنش کم‌رنگ‌تر شد. این یافته می‌تواند به نقش مؤثرتر آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در پاسخ به تنش در مرزه رشینگری اشاره نماید. مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، در پژوهشی روی گیاه مرزه (*Satureja*

hortensis L.)، فعالیت کاتالاز در اثر تنش شوری افزایش یافت (۴۴).

میزان فنول کل: تنش شوری میزان فنول کل مرزه رشینگری را به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار داد (P≤۰/۰۱) (جدول ۴). تنش شوری موجب افزایش میزان فنول کل در برگ‌ها شد، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش میزان فنول کل در برگ‌ها ۱/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود که در اثر تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش ۳/۵ برابر به ۴/۸۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر رسید. روند تغییرات این پارامتر نیز به‌صورت سیگموئیدی و این مدل توانست ۹۷/۸ درصد تغییرات در شرایط تنش شوری را توجیه نماید. در این مدل شیب تغییرات آن ۳/۶۱ بود و در شوری ۳/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار نهایی خود رسید (جدول ۵).

گیاهان در پاسخ به شوری، برای مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن و محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو، مجموعه‌ای از ترکیبات غیرآنزیمی مانند فنل‌ها و فلانوئیدها و سایر ترکیبات سم‌زدا را ایجاد می‌کنند (۴۵). در این مطالعه، فنول کل بیش‌ترین حساسیت به تنش را نشان دادند و در شوری ۳/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۰ درصد افزایش یافتند. این افزایش می‌تواند سرعت پاسخ گیاه را افزایش دهد (جدول ۵). فنول کل هم‌چنین نقش‌های گوناگونی را در گیاهان (از جمله شرکت در اجزای ساختاری دیواره‌های سلولی، تنظیم مراحل رشد و نمو و مکانیسم‌های دفاعی در برابر تنش زنده و غیرزنده) ایفا می‌کنند (۴۶). پژوهش‌های انجام شده روی بومادران (*Achillea fragratissima*) (۴۷) گزارش دادند که فنول کل با افزایش تنش شوری افزایش یافتند. در بررسی پاسخ گیاه مریم‌گلی به شرایط شور مشاهده شد که فنول کل برگ در اثر شوری کاهش ولی فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ افزایش یافت (۴۸).

میزان پرولین: میزان پرولین برگ‌های مرزه رشینگری نیز تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفت (P≤۰/۰۱) (جدول ۴). شوری موجب افزایش تجمع پرولین در برگ‌ها شد. میزان پرولین در اثر شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر تغییر معنی‌داری پیدا نکرد، ولی در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، میزان پرولین ۴/۳ برابر شد و به ۲۳۰/۵ میکروگرم بر گرم رسید. روند تغییرات پرولین نیز به‌صورت سیگموئیدی و این مدل ۹۹ درصد تغییرات این صفت را توجیه نمود. طبق پارامترهای مدل، شیب تغییرات ۳/۵ بود و در شوری ۵/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۰ درصد مقدار نهایی خود رسید (جدول ۵).

با افزایش غلظت شوری، خواص زیست شیمیایی مانند پرولین و محتوای پروتئین در کاهو (*Lactuca sativa*) به طرز چشمگیری افزایش یافت و محتوای فنل با افزایش غلظت شوری به‌تدریج کاهش یافت (۳۲). طی پژوهشی روی گیاه مرزه (*Satureja hortensis*)، محتوای پرولین نمونه‌ها تحت تنش شوری افزایش یافت (۳۲). در این مطالعه، پرولین بعد از فنول کل بالاترین پاسخ به تنش را داشت و در شوری ۵/۲۷ دسی‌زیمنس به اندازه ۵۰ درصد بیش‌تر تولید شد (جدول ۵). افزایش پرولین ناشی از افزایش مقدار کلرید سدیم را می‌توان چنین توجیه کرد که آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحت تنش کلرید سدیم فعال شده و در نتیجه سنتز پرولین افزایش می‌یابد، زیرا کلرید سدیم ژن‌های سنتزکننده این آنزیم‌ها را تحریک می‌کند (۴۹).

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، در پی ایجاد تنش اکسیداتیو در اثر تنش شوری، گیاهان برای افزایش سطح تحمل خود، مجموعه‌ای از فرآیندها را آغاز می‌کنند که منجر به کاهش اثر تنش و افزایش

تحمل گیاه می‌شوند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش غلظت شوری میزان مالون‌دی‌آلدهید و نشت یونی که از آثار مخرب تنش شوری هستند، افزایش یافتند. در این شرایط گیاه با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و هم‌چنین میزان فنول کل و پرولین در مرزه رشینگری به این تنش پاسخ می‌دهد. تغییرات خصوصیات ریخت‌شناسی در شرایط تنش به‌صورت لجستیک و خصوصیات زیست شیمیایی (به‌جز آسکوربات پراکسیداز که به‌صورت پیک بود) به‌صورت سیگموئیدی بود. با توجه به پارامترهای مدل‌های استفاده شده مشخص شد که تولید پرولین و فنول کل در این گیاه، نسبت به آنزیم‌ها حساسیت بالاتری به تنش نشان دادند به‌طوری که در شوری ۳/۶ و ۵/۳ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۵۰ درصد تغییر نشان دادند، ولی در مورد آنزیم‌ها این مقادیر بالاتر بود. هم‌چنین پاسخ گیاه به تنش همواره با تحمیل هزینه بر گیاه همراه است. این هزینه محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاه بوده و در نتیجه کاهش رشد گیاه را به همراه دارد. وزن تر، زودهنگام‌ترین (X_0=۲۲/۶) و ارتفاع بوته، دیرهنگام‌ترین پاسخ (X_0=۱۰۸/۷) را به تنش نشان دادند. هم‌چنین مشخص شد که در مرزه رشینگری، شوری دو دسی‌زیمنس بر متر بر پارامترهای فیزیولوژیک و زیست شیمیایی تأثیر معنی‌داری نداشته و تا چهار دسی‌زیمنس بر متر عملکرد اسانس را به طور معنی‌دار کاهش نداده است. به علاوه، حد تحمل مرزه رشینگری در مورد صفات مورفولوژیک تا شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان‌دهنده آستانه تحمل گیاه در این سطوح شوری می‌باشد و در شوری ۹۷ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد آن ۵۰ درصد افت می‌کند.

منابع

1.Tresch, M., Mevissen, M., Ayrle, H., Melzig, M., Roosje, P. and Walkenhorst, M. 2019. Medicinal plants as therapeutic options for topical treatment in canine dermatology. A systematic review. *BMC* Veterinary Res. 15: 1. 174-182.

2.Jamzad, Z. 1994. A new species of the genus *Satureja* (Labiatae) from Iran. The Iranian J. Bot. 6: 2. 215-218.

3.Adorjan, B. and Buchbauer, G. 2010. Biological properties of essential oils: an updated review. Flavour Fragr J. 25: 407-426.

4.Bartls, D. and Sourer, E. 2004. Molecular responses of higher plants to dehydration. In: Plant Responses to Abiotic Stress, Spring Verlag Berlin, Heidelberg. pp. 9-38.

5.Joshi, R., Pareek, S.L. and Pareek, A. 2018. Engineering abiotic stress response in plants for biomass production. J. Biol. Chem. 293: 14. 5035-5043.

6.Wang, W.X., Vinocur, B. and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures towards genetic engineering for stress tolerance. Planta. 218: 1-14.

7.Turkan, I. and Demiral, T. 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. Environ. Exp. Bot. 67: 2-9.

8.Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita, M. 2010. Exogenous selenium pretreatment protects rapeseed seedlings from cadmium-induced oxidative stress by up regulating the antioxidant defense and methylglyoxal detoxi fication systems. Biol. Trace Element Res. 149: 2. 248-261.

9.Tanou, G., Molassiotis, A. and Diamantidis, G. 2009. Induction of reactive oxygen species and necrotic death-like destruction in strawberry leaves by salinity. Environ. Exp. Bot. 65: 270-281.

10.Facchini, P.J., and Park, S.U. 2003. Developmental and inducible accumulation of gene transcripts involved in alkaloid biosynthesis in opium poppy. Photochem. 64: 1. 177-186.

11.Jahanbakhsh, Godeh Kahriz, S., Khadem Sediqi, S., Ebadi, A., Tavakoli, N. and Davari, M. 2017. The effect of salinity stress on the expression of salinity resistance proteins and antioxidant activity in bovine using calcium. Genetic Engin. Biosafety. 6: 1. 117-129. (In Persian)
12.Mzabri, I., Legsayer, M., Kouddane, N., Boukroute, A. and Berrichi, A. 2017. Salt stress effects on some morphological, physiological and biochemical parameters of saffron plant (*Crocus sativus* L.) in Eastern Morocco. J. Mater. Environ. Sci. 8: 4894-4901.
13.Mohammadi, H., Hazrati, S. and Parviz, L. 2019. Morphophysiological and biochemical response of savory medicinal plant using silicon under salt stress. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio C–Biologia. 72: 2. 29-40.
14.Ghorbani, M., Movahedi, Z., Kheiri, A.A. and Rostami, M. 2018. The effect of salinity stress on some morphophysiological traits, quantity, and quality of peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.). Environ. stresses Agric. Sci. pp. 420-413. (In Persian)
15.Taarit, M.B., Msaada, K., Hosni, K., Hammami, M., Elyes, Kchouk, M. and Marzouk, B. 2009. Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. Ind. Crops Prod. 30: 333-337.
16.Tjørve, K.M. and Tjørve, E. 2017. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. PloS one, 12: 1-17.
17.Bates, I.S., Waldern, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free Proline for water stress studies. Plant. Soil. 39: 205-207.
18.Rao, K.V.M. and Sresty, T.V.S. 2000. Antioxidant parameters in the seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Sci. 157: 113-128.
19.Cakmak, I. and Marschner, H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiol. 98: 1222-1227.
20.Aono, M., Saji, H., Fujiyama, K., Sugita, M., Kondo, N. and Tanaka, K. 1995. Decrease in activity of glutathione reductase enhances paraquat sensitivity in transgenic *Nicotiana tabacum*. Plant Physiol. 107: 645-648.
21.Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys. 125: 1. 189-198.
22.Ronald, S.F. and Laima, S.K. 1999. Phenolic and cold tolerance of *Brassica napus*. Plant Agric. 1: 1-5.
23.Parmoon, G., Moosavi, S.A. and Siadat, S.A. 2019. Descriptions of okra seed longevity loss behavior using nonlinear regression models. Adv. Hort. Sci. 33: 3. 301-312.
24.Belaqziz, R., Romane, A. and Abbad, A. 2009. Salt stress effects on germination, growth and essential oil content of an endemic thyme species in Morocco (*Thymus maroccanus* Ball.). J. Appl. Sci. Res. 5: 7. 858-863.
25.Baatour, O.R., Kaddour, W., Wannes, A., Lachaal, M. and Marzouk, B. 2010. Salt effects on the growth, mineral nutrition, essential oil yield and composition of marjoram (*Origanum majorana*). Acta Physiol. Plant. 32: 45-51.
26.Momenpour, A., Bakhshi, D., Imani, A. and Rezaie, H. 2015. Effect of salinity stress on growth characteristics and concentrations of nutrition elements in almond'Shahrood 12','Touno'cultivars and'1-16'genotype budded on GF677 rootstock. J. Crops Impro. 17: 1. 137-152.
27.Tabatabaie, S.J. and Nazari, J. 2007. Influence of nutrient concentration and NaCl salinity on growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. Turkish J. Agric. 31: 245-53.
28.Askary, M., Amini, F. and Hosseinpour, L. 2016. Study of variability in growth, antioxidant defense system and protein content by zinc element application in periwinkle (*Catharanthus roseus* L.) under salinity stress. Iranian J. Med. Arom. Plant. 32: 35-46.

29.Wang, Y. and Nil, N. 2000. Changes in chlorophyll, ribu- lose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine Beta-ine content, photosynthesis and transpiration in Amar-anthus tricolor leaves during salt stress. J. Hort. Sci Biotechnol. 75: 623-627.
30.Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell Environ. 25: 2. 239-250.
31.Dow, A.I., Cline, T.A. and Horning, E.V. 1981. Salt tolerance studies on irrigated mint. Bulletin of Agricultural Research Center, Washington State University, Pullman, 906p.
32.Akbari, S., Kordi, S., Fatahi, S. and Ghanbari, F. 2013. Physiological responses of Summer Savory under salinity stress. Inter. J. Agric. Crop Sci. 5: 2. 1702-1708.
33.Amiri, H. and Ghasemi, R.Z. 2018. The effects of salinity on chemical composition of essential oil of Satureja rechingeri. J. Plant. Res. 31: 2. 248-257. (In Persian)
34.Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W.A., Kchouk, M.E. and Marzouk, B. 2008. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Sci. Hort. 120: 2. 271-274.
35.Ramakrishna, A. and Ravishankar, GA. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signal. Behav. 6: 1720-1731.
36.Ahmed, S., Ahmed, Sh., Kumar, Roy S., Woo, S.H., Sonawane, K.D. and Shohael, A.M. 2019. Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. Open Agric. 4: 361-373.
37.Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Ann. Rev. Plant Biol. 51: 463-99.
38.Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E.G. and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J. Plant Physiol. 164: 6. 728-736.
39.Caverzan, A., Casassola, A. and Brammer, S.P. 2016. Antioxidant responses of wheat plants under stress. Genet. Mol. Biol. 39: 1. 16-25.
40.Shahbazi, A. and Golkar, P. 2017. Effects of Salt Stress on antioxidants activity and seedling traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes. J. Plant Prod. Sci. 7: 1. 10-21.
41.Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolive concentration. Plant Sci. 163: 1037-1046.
42.Ghorbanli, M., Ahmadi, F., Fard, A. and Bakhsh Khanaki, G.H. 2012. The effect of salinity stress and its interaction with ascorbate on the activity of catalase, ascorbate peroxidase, proline and malondialdehyde in *Cumin cyminum* L., four weeks after germination. Iranian J. Med. Arom. Plant. Res. 28: 1. 27-14. (In Persian)
43.Michalak, A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Polish J. Environ. Stud. 15: 4. 523-530.
44.Firuzeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F. and Saadatmand, S. 2016. Effect of gibberellin on the activity of antioxidant enzymes in savory plant (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. J. Plant Proc. Func. 5: 16. 45-56.
45.Sairam, R.K. and Tyagi, A. 2004. Physiological and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Sci. 86: 407-420.
46.Cheynier, V., Comte, G., Davies, K.M., Lattanzio, V. and Martens, S. 2013. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. Plant Physiol. Biochem. 72: 1-20.
47.Abd EL-Azim, W.M. and Ahmed, S.T.H. 2009. Effect of salinity and cutting date on growth and chemical constituents of *Achillea fragratissima* Forssk, under Ras Sudr conditions. Res. J. Agric. Biol. 5: 6. 1121-1129.

48.Valifard, M., Mohsenzadeh, S. and Kholdebarin, B. 2015. Sodium chloride induced changes in photosynthetic performance and biochemical components of *Salvia macrosiphon*. Indian J. Plant Physiol. 20: 1. 79-85.

49.Ashrafi, A. and Razmjou, K.H. 2010. Evaluation of hydropriming effect on safflower physiological and biochemical characteristics under drought stress. J. Crop Ecol. Physiol. 1: 34-44.