نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران
دوره۳- شماره ۲- پیاپند ۵- پاییز و زمستان ۱۳۹۹

بررسی تغییرات فیتوشیمیایی و صفات مورفولوژی گیاه اسپند (*Peganum harmala* L.) تحت تنش شوری

Evaluating the changes of phytochemical and morphological parameters of *Peganum harmala* L. under salinity stress

سودابه نظرپور[۱]، اعظم سلیمی[۲*]، مریم چاوشی[۲]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران ، (نگارنده مسئول).
۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱ - شناسانهٔ برنمود رقمی:10.22092/mpt.2021.354626.1080

چکیده

نظرپور، س.، سلیمی، ا.، چاوشی، م.، . بررسی تغییرات فیتوشیمیایی و صفات مورفولوژی گیاه اسپند (*Peganum harmala* L.) تحت تنش شوری
نشریه علمی ترویجی فناوری گیاهان دارویی ایران، دوره ۳ - شماره ۲- پیاپند ۵-پائیز و زمستان ۱۳۹۹ صفحه: ۵۷-۴۳

این مطالعه به منظور ارزیابی تنش شوری بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی در گیاه اسپند انجام شد. بدین منظور اثر نمک های NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$ با سه غلظت ۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار بر گیاه اسپند در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که مقدار سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تیمار هر ۴ نوع نمک کاهش یافت. محتوای نسبی آب در غلظت ۲۵۰ میلی‌مولار NaCl، ۲۷٪ و در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار Na_2SO_4، ۳۲٪ و در سه غلظت ۲۵۰،۲۰۰ و ۳۰۰ $MgSO_4$، به ترتیب ۲۰٪، ۱۹٪ و ۱۶٪ افزایش معنی‌داری داشته است. محتوای فنلی تحت تیمار سه غلظت NaCl، ۱۳٪، ۱۸٪ و ۲۳٪ و غلظت‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار Na_2SO_4، ۰/۲٪ افزایش داشته است. آلکالوئید کل در تیمار چهار نوع نمک از ۴٪ تا ۴۹٪ افزایش یافت و فعالیت آنزیم PAL تحت تیمار سه غلظت نمک NaCl، ۹۱٪، ۷۴٪ و ۴۸٪ و در غلظت‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار Na_2SO_4، ۷۲٪ و ۳۰٪ و غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار $MgCl_2$، ۲۰٪ افزایش داشته است. نسبت کلروفیل *a* به *b* در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار از چهار نمک NaCl، Na_2SO_4 و $MgSO_4$، ۸۰٪، ۲۵۰٪، ۲۴۰٪ افزایش معنی‌داری داشته است. تنش شوری باعث افزایش مقدار آلکالوئید، نسبت کلروفیل *a* به *b* و ترکیبات فنلی اسپند شده و از این طریق توانسته شرایط تنش شوری را تحمل کند.

واژه های کلیدی:آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز، تنش غیر زیستی، گیاهان دارویی، متابولیت‌های ثانویه

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Email: Salimi@khu.ac.ir

مقدمه:

گیاه دارویی اسپند از تیره قره‌داغیان (Nitrariaceae) گیاهی علفی پایا چندساله می‌باشد (Aslam et al., 2014). باارزش‌ترین فرآورده‌های بدست آمده از این گیاه آلکالوئیدها و ترکیبات فنلی می باشد که در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله سرطان، بیماری صرع، بیماری قلبی، بیماری‌های روانی، از دست دادن حافظه، سردردهای مزمن و سنگ کلیه کاربرد دارد (Li et al., 2017). شوری یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد و نمو و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به شمار می رود(Parvaiz and Satyawati, 2008). شایع‌ترین نمک محلول در خاک‌های شور NaCl می‌باشد اما طیف دیگری از نمک‌های قابل حل همانند (Na_2SO_4، $MgSO_4$، $CaSO_4$، $MgCl_2$، KCl و Na_2CO_3 می‌توانند باعث شوری خاک شود (Forni et al., 2017). اثر زیان‌بار شوری بر رشد گیاه به پتانسیل اسمزی پایین در خاک، تغذیه غیر متعادل، اثرات یونی و یا مخلوطی از این عوامل بستگی دارد. آثار مخرب شوری بر رشد گیاه می‌تواند به دلیل سمیت یونی (به‌طور عمده به دلیل Na^+،Cl^- و SO_4^{2-}) و تنش اسمزی باشد (Parida and Das, 2005). کاهش رشد در اندام هوایی و ریشه، عملکرد گیاهانی چون گوجه، کاهو و کلم(Patel et al., 2020) و تاج‌خروس (Mishra et al., 2019) گزارش شده است آلکالوئیدها گروهی از متابولیت‌های ثانویه هستند که به دلیل فعالیت بیولوژیکی آن‌ها، به ویژه در پیشگیری از سرطان حائز اهمیت می‌باشند. از آنجایی که ساخت شیمیایی آلکالوئیدها در صنایع داروسازی پرهزینه بوده و مقرون به‌صرفه نمی باشد، لذا استفاده از منابع طبیعی گیاهی حاوی این ترکیبات و استخراج آن‌ها بسیار ارزشمند است (Khichi et al., 2018). تغییر مقدار آلکالوئید کل در *Catharanthus roseus* (Aghaei and Komatsu, 2013) و فنل در گیاه *Prosopis strombulifera* (Llanes et al., 2010) در اثر تنش شوری گزارش شده است. از طرفی سولفات منیزیم می‌تواند بر عملکرد و بهبود کیفیت گندم دیم (Ghadrei, 2000) و پسته (Bahram pour, 2009) اثرات قابل‌توجهی داشته باشد. با توجه به اینکه کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، اثرات تنش شوری بر محصولات زراعی تحقیقات وسیعی انجام گرفته است، اما متأسفانه رفتار گیاهان دارویی تحت شرایط شوری به خوبی مطالعه نشده است. همچنین در تحقیقات صورت گرفته عموماً تنها تأثیر نمک کلرید سدیم روی پارامترهای مورفولوژیکی و ترکیبات دارویی گیاهان بررسی شده است و نمک‌های دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی سولفات منیزیم یکی از عناصر ضروری پرمصرف برای رشد گیاه است که تغییر در غلظت آن می‌تواند گیاه را با تنش افزایش این نمک مواجه کند و در نتیجه اثرات جدی بر روند زندگی گیاه داشته یا در غلظت مناسب به رشد گیاه کمک کند. با توجه به این موضوع، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش شوری حاصل از چهار نمک NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$ بر پارامترهای مورفولوژی و آنزیم PAL و ترکیبات فنلی و آلکالوئید کل گیاه

دارویی اسپند انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

شرایط کاشت:

ابتدا بذور اسپند از شهرستان بافت در استان کرمان با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۶ دقیقه شمالی، در شهریورماه جمع آوری و از بین آن‌ها تعدادی بذر یکنواخت برای کاشت انتخاب شد. بذرها در عمق ۱ سانتی‌متری از سطح خاک گلدان‌ها کاشته شد. آبیاری گلدان‌ها دو روز یک‌بار بر اساس ظرفیت زراعی صورت گرفت. تیمارهای نمک شامل NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$ به طور جداگانه در سه سطح ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار مطابق جدول زیر تهیه شد.

برای کاشت بذر از گلدان‌های با قطر ۲۰ دهانه و طول ۱۵سانتی‌متر استفاده شد. در هر گلدان ۲۵ عدد بذر به عمق ۱ سانتی‌متر قرار گرفت. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها ۷ بوته در هر گلدان حفظ و بقیه حذف شدند. خاک گلدان‌ها حاوی شن و مقداری خاک باغچه به نسبت (۲ به ۱) بود. برای هر تیمار سه گلدان در نظر گرفته شد. برای تعیین نوع نمک‌های مورد استفاده برای تیمار شوری، سه نوع خاک معمولی، نیمه شور و شور از منطقه بافت استان کرمان تهیه شد و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه تهران واحد کرج منتقل شد. نمونه برداری خاک‌ها از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت و صفات شیمیایی، میزان املاح نمکی سه نوع خاک اندازه‌گیری گردید. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز خاک نوع نمک NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$ برای تیمار شوری انتخاب شد. صفات فیزیکی شامل بافت خاک و صفات بیوشیمیایی شامل هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک و غلظت‌های عناصر مختلف که برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می باشد و توسط دستگاه ICP جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

بعد از گذشت ۴۵ روز از کشت گیاه، زمانی

جدول ۱: تیمارهای نمک شامل NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$

تیمار (میلی‌مولار)	$MgSO_4$ میلی گرم در لیتر	NaCl میلی گرم در لیتر	$MgCl_2$ میلی گرم در لیتر	$NaSO_4$ میلی گرم در لیتر
۲۰۰	۴۹/۲۹	۱۱/۶۸	۴۰/۶۶	۲۸/۴۰
۲۵۰	۶۱/۶۱	۱۴/۶۱	۵۰/۸۲	۳۵/۵۱
۳۰۰	۷۳/۹۴	۱۷/۵۳	۶۰/۹۹	۴۲/۶۱

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	$SO4^{2-}$	Cl^{-1}	HCO^{3-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	EC^{1} (dsm^{-1})	pH
	me L^{-1}								
شنی-ماسه ای	۰/۱۴	۱/۹۹	۰/۶۱	۱/۵۶	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۳۵	۰/۴۸	۷/۲

که گیاه در فاز رویشی با ۸ برگ بود به مدت دو هفته گلدان‌های تحت تیمار به صورت یک روز در میان، با غلظت‌های تهیه شده از هر نمک آبیاری شد و جهت جلوگیری از تجمع نمک، گلدان‌ها هفته‌ای یک‌بار با آب مقطر آبشویی شده و طی اعمال تنش به گیاه به طور مرتب، هدایت الکتریکی (EC) آب خارج شده گلدان‌ها با دستگاه هدایت‌سنج‌الکتریکی مدل consort c1010T اندازه‌گیری شد. برای جلوگیری از شوک اسمزی به گیاه، ابتدا تیمار با غلظت‌های رقیق‌تر نمک‌ها (محلول ۱/۶، ۱/۴ و ۱/۲) به صورت روزانه شروع و سپس غلظت کامل از هر نمک به تدریج به گیاه اعمال شد. بعد از گذشت یک دوره‌ی رویشی مناسب (۶۰ روزه)، ساقه و ریشه برداشت و با ترازوی دیجیتال دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. به منظور محاسبه وزن خشک، نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل Sartorinus Laboratory L220P با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری سطح برگ در گیاه، برگ‌های انتخاب‌شده از گیاه جدا گردید و بر روی کاغذ شطرنجی قرار داده و سطح برگ محاسبه گردید.

محتوای نسبی آب (RWC)

گیاهان برداشت شده بلافاصله برای تعیین وزن تر(FW) وزن گردیدند، سپس در آب مقطر درون پتری دیش در بسته شناور شدند و به مدت شش ساعت در تاریکی برای ایجاد تورژسانس کامل قرار داده شدند. سپس رطوبت سطح آن ها توسط کاغذ صافی گرفته شد و پس از تعیین وزن در تورژسانس کامل(TW) ، نمونه ها ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای حصول وزن خشک (DW) قرار گرفتند (Chavoushi et al., 2018).

RWC از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$RWC\ (\%)=[(FW-DW)/(TW-DW)]\times 100$$

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی:

۰/۲ گرم بافت تازه برگی در هاون چینی حاوی ۵ سی‌سی استون ۸۰ درصد خوب سائیده شد. محتوای هاون توسط کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف گردید سپس ۵ میلی‌لیتر استون دیگر به آن اضافه شد و حجم محلول به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. شدت جذب آن در طول‌موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Visible خوانده شد. برای تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد استفاده شد. غلظت این رنگیزه‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chl } a\ (\text{g L}^{-1}) = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8} \quad (1)$$

$$\text{Chl } b\ (\text{g L}^{-1}) = 21.51 A_{646.8} - 5.10\ A_{663.2} \quad (2)$$

سنجش ترکیبات فنلی:

۰/۵ گرم بافت تر برگ با ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۵٪ مخلوط شد. ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره حاصل با ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین رقیق شده (نسبت ۱ به ۱۰) ترکیب شد. پس از ۵ دقیقه، ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن اضافه شد و پس از ۹۰ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکترفتومتر در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقایسه با منحنی استاندارد

گالیک اسید محتوای ترکیبات فنلی بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم وزن تر گیاه بیان گردید (Chavoushi et al., 2020).

سنجش آلکالوئید کل:

۱۰۰ گرم ماده گیاهی خشک را با متانول به مدت ۲۴ ساعت با دستگاه استخراج سوکسله (Soxhlet extractor) استخراج شد. عصاره با استفاده از کاغذ صافی (شماره۲) فیلتر شد و متانول با دستگاه روتاری تحت خلأ (rotary evaporator) در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در تاریکی تبخیر شد. بخشی از عصاره باقی‌مانده را در اسیدکلریدریک ۲ نرمال (۲N HCl) حل و سپس فیلتر شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از این محلول را به فونل‌های جداکننده انتقال داده و با ۱۰ میلی لیتر کلروفرم سه بار شستشو گردید. pH محلول با NaOH 0/1 نرمال به حالت خنثی رسانده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر BGC و ۵ میلی لیتر بافر فسفات به محلول اضافه و خوب هم زده شد. ترکیب شکل گرفته با ۱، ۲، ۳ و ۴ میلی‌لیتر کلروفرم استخراج گردید. عصاره در فلاسک های با حجم ۱۰ میلی‌لیتر ریخته شد و با کلروفرم به حجم رسانده شد. جذب ترکیب در کلروفرم در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار آلکالوئید کل با استفاده از منحنی استاندارد ($y= 0.6989x+0.103$) بر حسب میلی گرم بر گرم وزن خشک ($mg\ g^{-1}.dw$) محاسبه گردید (Shamsa et al., 2008).

سنجش آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز:

(**PAL:** 1/0) گرم بافت تازه برگ با ۲ میلی لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی مولار بافر تریس-کلریدریک اسید با اسیدیته ۸/۸) گردید و بعد از همگن سازی به مدت ۱۲ دقیقه با نیروی g15000 در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. در نهایت برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم PAL از محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی استفاده شد. برای تخمین فعالیت آنزیم ۱ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل بافر واکنش (۶۰۰ میکرولیتر بافر تریس با اسیدیته ۸/۸)، ۹۰۰ میکرولیتر فنیل‌آلانین و ۸۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۱ میلی‌لیتر تهیه شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در درجه حرارت اتاق قرار گرفت. در نهایت به این محلول مقدار ۱۰۰ میکرولیتر اسیدکلریدریک با غلظت ۲ نرمال اضافه شد تا واکنش تولید سینامیک‌اسید از فنیل آلانین متوقف شود. در پایان، فعالیت آنزیم در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده از ضریب خاموشی معادل ۹۵۰۰ $M^{-1}cm^{-1}$ بدست آمد. فعالیت این آنزیم بر اساس سرعت تبدیل فنیل‌آلانین به ترانس سینامیک‌اسید تعیین شد (Wang et al., 2006).

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. برای تجزیه آماری از نرم‌افزارهای Excel و SPSS ویرایش ۲۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

پارامترهای رشد:

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از NaCl به ترتیب باعث کاهش ۶۳٪، ۴۲٪ و ۳۹٪ وزن تر اندام هوایی نسبت به شاهد شده است. غلظت های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از تیمار Na_2SO_4، ۴۲٪ و ۴۹٪ و ۴۷٪ وزن تر اندام هوایی را کاهش و غلظت‌های مختلف $MgCl_2$ نیز ۲۸٪، ۲۶٪ و ۵۶٪ وزن تر اندام هوایی را نسبت به شاهد کاهش داده است. نمک $MgSO_4$

۲۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش ۷۲٪ وزن تر اندام هوایی شده، غلظت ۲۵۰ بر وزن تر اندام هوایی بی‌اثر و در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۱۶٪ کاهش معنی‌داری داشته است (جدول ۴).

وزن تر ریشه در غلظت های ۲۰۰ ، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار NaCl، نسبت به شاهد به ترتیب ۴۷٪، ۳۱٪ و ۱۳٪ کاهش داشته غلظت‌های ۲۰۰ ، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار Na_2SO_4 به ترتیب ۲۷٪، ۲۲٪ و ۲۷٪ کاهش داشته است. $MgCl_2$ در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر وزن تر ریشه نداشته ولی غلظت‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار از آن به ترتیب ۲۵٪ و ۲۹٪ کاهش داشته است. وزن تر ریشه در تیمار ۲۰۰ و۲۵۰ میلی مولار $MgSO_4$ ۵۹٪ و ۲۰٪ افزایش داشته ولی در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشته است.

دو غلظت ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار از NaCl باعث کاهش ۳۷٪ و ۴۹٪ و $MgCl_2$ باعث کاهش ۳۱٪ و ۵۶٪ وزن خشک ریشه شده است. این در حالی است که غلظت ۳۰۰ میلی مولار از تیمارهای نامبرده بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری نداشته است. با افزایش غلظت Na_2SO_4 وزن خشک ریشه نسبت به شاهد به ترتیب کاهش ۴۹٪، ۳۱٪ و ۴۳٪ داشته است. وزن خشک ریشه در غلظت‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی مولار $MgSO_4$ افزایش ۵۰٪ و ۷۰٪ داشته ولی در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشته است.

وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از نمک NaCl به ترتیب ۵۰٪، ۴۶٪ و ۳۴٪ کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته و غلظت های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از Na_2SO_4، ۴۶٪ و ۴۶٪ و ۳۴٪ نسبت به شاهد کاهش داشته است. وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از نمک $MgCl_2$ به ترتیب ۲۳٪، ۳۸٪ و ۴۸٪ کاهش داشته است. وزن خشک اندام هوایی در تیمار $MgSO_4$ با غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد کاهش ۲۳٪ و ۳۸٪ یافته و غلظت ۲۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشته است.

طول اندام هوایی نسبت به گیاه شاهد در غلظت های ۲۰۰ ، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار NaCl به ترتیب ۲۵٪، ۳۵٪ و ۳۸٪ کاهش داشته غلظت‌های ۲۰۰ ، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار Na_2SO_4 به ترتیب ۱۵٪، ۱۹٪ و ۲۵٪ کاهش داشته است. $MgCl_2$ در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر طول اندام هوایی نداشته ولی غلظت‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی مولار از آن به ترتیب ۹٪ و ۲۸٪ کاهش داشته است. طول اندام هوایی در تیمار ۲۰۰ و۲۵۰ میلی‌مولار $MgSO_4$ تغییر معنی‌داری نداشته ولی در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار کاهش ۱۹٪ داشته است.

غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تیمار NaCl به ترتیب ۳۰٪، ۳۹٪ و ۴۳٪ طول ریشه را کاهش داده است. غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تیمار Na_2SO_4 به ترتیب ۲۶٪، ۳۰٪ و ۴۳٪ طول ریشه را کاهش داده و به ترتیب ۳۰٪، ۳۹٪ و ۴۳٪ طول ریشه را کاهش داده است. غلظت‌های ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تیمار $MgCl_2$ به ترتیب ۳۴٪، ۳۰٪ و ۲۶٪ طول ریشه را کاهش داده و غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار $MgSO_4$ بر طول ریشه تأثیر معنی‌داری نداشته ولی غلظت‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار از تیمار

نامبرده به ترتیب ۲۶٪ و ۳۰٪ طول ریشه را کاهش داده است.

ریشه‌ها نقش کلیدی در تحمل به شور گیاهان دارند، ریشه‌ها اولین اندامی هستند که جذب و انتقال مواد مغذی و نمک را در سراسر گیاه کنترل می‌کنند. علی‌رغم قرار گرفتن مستقیم این اندام با محیط نمکی، رشد آن‌ها نسبت به نمک نسبت به ساقه از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار است (Rahneshan et al., 2018). علاوه بر این، تجمع Na^+ در ریشه‌ها یک واکنش تطبیقی است که توسط گونه‌های چوبی مختلف برای جلوگیری از سمیت آن در شاخه‌ها استفاده می‌شود (Acosta-Motos et al., 2015). در نتیجه، کنترل انتقال نمک از ریشه به ساقه می‌تواند به عنوان یک معیار تحمل گیاه محسوب شود. کاهش وزن تر و وزن خشک گیاه تحت تنش شوری به کاهش مصرف آب بستگی دارد که به دلیل محدود شدن هیدرولیز ذخایر غذایی از بافت ذخیره‌ای و همچنین به دلیل اختلال در انتقال ذخایر غذایی از بافت ذخیره‌ای به محور جنین رشد کاهش می‌یابد (Misra and Gupta, 2006). در شرایط شوری، با کاهش آماس و مهار طویل شدن سلول، کاهش رشد اتفاق می‌افتد. علاوه بر این کاهش رشد می‌تواند ناشی از اثرهای سمی یون‌های سدیم، منیزیم، کلر و سولفات یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه باشد(Bae et al., 2006). گیاهان جوان در مواجه با شوری در معرض آسیب بیشتری هستند زیرا ریشه‌های آن‌ها در لایه‌های فوقانی خاک که حاوی غلظت‌های بیشتری از نمک است رشد می کند. وزن‌تر اندام هوایی و وزن تر ریشه تحت تنش شوری نمک کلرید سدیم کاهش یافت (Khan and Panda, 2008) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر در تیمار $MgSO_4$ وزن تر و خشک ریشه و ساقه افزایش داشته است. افزایش ماده خشک در تیمار منیزیم در پسته نیز گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد که علت آن افزایش محتوای نسبی آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی است (Salehi, 2011).

با افزایش غلظت‌های نمک‌های NaCl، Na_2SO_4، $MgCl_2$ و $MgSO_4$ سطح برگ کاهش معنی‌داری یافت. اولین پاسخ گیاهی به تنش شوری، کاهش میزان گسترش سطح برگ است. رشد برگ به‌عنوان یک عامل کلیدی در درک مکانیسم آسیب ناشی از شوری است (Rahneshan et al., 2018). پاسخ به شوری اغلب همراه با نشانه‌های مختلفی از قبیل کاهش سطح برگ، افزایش ضخامت برگ و گوشتی شدن، ریزش برگ، نکروزه شدن (بافت مردگی) ریشه و ساقه و کاهش طول میانگره می‌باشد (Flowers and Colmer, 2015). کاهش سطح برگ تحت تنش شوری در سویا (Amirjani, 2010) گزارش شده که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

محتوای نسبی آب اندام هوایی:

محتوای نسبی آب اندام هوایی با افزایش غلظت‌های نمک NaCl در غلظت ۲۰۰ میلی مولار بدون تغییر و در غلظت ۲۵۰ میلی مولار ۲۷٪ افزایش و سپس در غلظت ۳۰۰ میلی مولار ۱۵٪ کاهش معنی دار یافته است. در ارتباط با نمک Na_2SO_4 با افزایش غلظت نمک محتوای نسبی آب اندام هوایی ابتدا در غلظت‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار بدون تغییر و سپس در غلظت

۳۰۰ میلی‌مولار ۳۲٪ افزایش یافت؛ و با افزایش غلظت $MgCl_2$ در هر سه غلظت بدون تغییر بوده است. با افزایش غلظت $MgSO_4$ محتوای نسبی آب اندام هوایی نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۰٪، ۱۹٪ و ۱۶٪ افزایش یافته است.

در تنش شوری، گیاه با کاهش پتانسیل آبی، کارایی مصرف آب و محتوای نسبی آب بافت ها را در پاسخ به تنش‌های شوری افزایش می‌دهد و آب کمتری را از طریق تبخیر و تعرق از برگ‌های خود خارج می‌کند (Ahmed and Khan, 2010). بالا بودن محتوای نسبی آب برگ کارایی مصرف آب و پتانسیل آبی در گیاه نشان دهنده حفظ و نگهداری تورگر (Negrão et al., 2017) و در نتیجه افزایش رشد و تولید در سطح شوری تا ۲۰۰ میلی مولار بود. مطالعات انجام شده کاهش محتوای نسبی آب تحت تنش شوری نمک کلرید سدیم در برنج را نشان داد (Khan and Panda, 2008). کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها می‌تواند به دلیل تجمع یون‌های سدیم و کلر باشد (Rahneshan et al., 2018)

در پژوهش حاضر غلظت‌های مختلف $MgSO_4$ و غلظت‌های بالای سولفات سدیم باعث افزایش محتوای نسبی آب شده که در این راستا می‌توان به تأثیر سولفات منیزیم و سدیم بر پتانسیل آب برگ و حفظ آب سلول اشاره کرد.

نسبت کلروفیل *a* به *b*:

تحت تیمار نمک‌های NaCl، Na_2SO_4 و $MgCl_2$ در غلظت ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی مولار بدون تغییر بوده و در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار از تیمارهای NaCl، Na_2SO_4 به ترتیب ۸۰٪ و ۲۵۰٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. غلظت ۳۰۰ میلی مولار از $MgCl_2$ بر نسبت کلروفیل *a* به *b* اثر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشته است. نسبت کلروفیل *a* به *b* در تیمار با سه غلظت $MgSO_4$ به ترتیب ۸۸٪، ۸۳٪ و ۲۴۶٪ افزایش یافته است (جدول ۴).

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا به طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند. کاهش محتوای کلروفیل برگ در تنش شوری به عواملی مانند تخریب رنگیزه‌های برگ، بی‌ثباتی کمپلکس پروتئینی رنگیزه‌ها و تداخل یون‌های نمک با سنتز دوباره پروتئین‌ها و سنتز دوباره اجزای ساختاری کلروفیل نسبت داده می‌شود (Jaleel et al., 2008). Llanes و همکاران (۲۰۱۰) افزایش رنگیزه کلروفیل *a*، کلروفیل *b* را تحت تنش شوری نمک سولفات سدیم را در گیاه *Prosopis strombulifera* گزارش کردند.

ترکیبات فنلی:

محتوای فنل کل نسبت به نمونه شاهد در غلظت های مختلف نمک NaCl به ترتیب ۰/۱۳٪، ۰/۱۸٪ و ۰/۲۳٪، افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشته است. محتوای فنل در تیمار Na_2SO_4 با غلظت ۲۰۰ میلی مولار ۰/۱۱٪ کاهش و در غلظت های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار نسبت به نمونه شاهد ۰/۲٪ افزایش یافت. در نتیجه تیمار نمک $MgSO_4$ و $MgCl_2$ مقدار فنل کل در غلظت های ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی مولار به ترتیب ۰/۱۶٪ ، ۰/۰۶٪، ۰/۰۹٪ و ۰/۰۱٪ کاهش یافته ولی در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد را نداشته است

(جدول ۴).

ترکیبات فنلی به عنوان آنتی‌اکسیدان های مهم گیاهی تحت شرایط تنش می‌باشند و این خاصیت آنها به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک ترکیبات فنلی است که با فروکشی اکسیژن یکتایی و کلاته کردن فلز از طریق باند شدن با یون‌های سمی، آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از یون‌ها را کم کرده و به این ترتیب ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاستی را از تأثیرات منفی شوری محافظت می‌کنند و همچنین با جلوگیری از عمل لیپواکسیژناز از اکسیداسیون لیپید جلوگیری کنند (Lim et al., 2012).

در پژوهش حاضر روند افزایشی یا کاهش ترکیبات فنلی بسته به غلظت و نوع نمک متفاوت بوده است که این مسئله مربوط به فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز و پلی‌فنل‌اکسیداز می‌باشد افزایش میزان ترکیبات فنلی در نتیجه تیمار شوری حاصل از نمک NaCl را در *Coleus species* گزارش کردند (Kotagiri et al., 2017)؛ که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. تغییر در محتوای فنل در تیمار با سایر نمک‌ها گزارش نشده است.

آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز:

فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز در غلظتهای مختلف نمک NaCl به طور معنی‌داری به ترتیب ۹۱٪، ۷۴٪ و ۴۸٪ افزایش یافته است. فعالیت آنزیم با افزایش غلظت‌های نمک Na_2SO_4 ابتدا در غلظت‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار افزایش ۷۲٪ و ۳۰٪ و سپس در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار ۵۷٪ کاهش یافت. دو غلظت ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی مولار از $MgCl_2$ باعث کاهش ۵۷٪ و ۳۳٪ فعالیت آنزیم شده و غلظت ۳۰۰ میلی مولار از آن باعث افزایش ۲۰٪ فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز شده است. با افزایش غلظت‌های نمک $MgSO_4$ مقدار فعالیت آنزیم به طور معنی داری ابتدا در غلظت ۲۰۰ میلی مولار ۶٪ افزایش و در غلظت‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۷٪ و ۳۰٪ کاهش داشته است (جدول ۴).

آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آغازگر مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در سلول است که سبب تولید متابولیت هایی نظیر کومارین، اسانس‌ها، فلاونوئیدها، لیگنین، تانن و سایر ترکیبات فنلی می‌شود (Borges et al., 2017). در شرایط تنش گیاه برای مقاومت و کاهش اثرات تنش، سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی خود را فعال می‌کند؛ که نتیجه آن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دفاعی نظیر فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز و ترکیبات غیرآنزیمی نظیر فنیل پروپانوئیدها می‌باشد که در *Gloriosa Superba* گزارش شده است (Khichi et al., 2018). افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و ترکیبات فنلی در نتیجه شوری حاصل از نمک کلرید سدیم در زنجبیل گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Dehghani and Mostajeran, 2010). تغییر در فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در تیمار با سایر نمک‌ها گزارش نشده است. رفتار آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز در گیاه از یک مدل نمودار خطی پیروی نمی‌کند و رفتار آنزیم به صورت یک نمودار هذلولی می‌باشد. از طرفی بیان آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در سطح نسخه‌برداری در

تنش شوری افزایش می‌یابد ولی میزان پروتئین آن می‌تواند تحت تأثیر تغییرات پس از ترجمه قرار گرفته و سطح آن کاهش یا افزایش می‌یابد (Pawlak-Sprada et al., 2011).

آلکالوئید کل برگ:

مقدار آلکالوئید کل در برگ گیاه اسپند نسبت به نمونه شاهد تحت تأثیر هر چهار نوع نمک NaCl، $MgSO_4$، $MgCl_2$، Na_2SO_4 به طور معنی‌داری (از ۴٪ تا ۴۹٪) افزایش یافته است (جدول ۴).

افزایش مقدار آلکالوئید کل تحت تنش شوری نمک کلرید سدیم در *Coleus species* گزارش شده است (Kotagiri et al., 2017) آلکالوئیدها دارای فعالیت‌های بیولوژیکی قابل‌توجهی بوده و به عنوان مواد اولیه فعال در گیاهان دارویی محسوب می‌شوند (Li et al., 2017). همچنین تنش شوری می‌تواند سبب تولید بیشتر مواد دارویی شود (Yang et al., 2018). تحقیقات نشان داده است که یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان، تنش‌های محیطی اعمال‌شده بر آن‌هاست (Kotagiri et al., 2017).

همچنین مقدار آلکالوئید در گیاهان *Solanum nigrum* (solasodine) و *Achillea fragratissima* با افزایش شوری خاک افزایش یافت (Aghaei and Komatsu 2013).

یافته‌های ترویجی

به طور کل گیاه اسپند به تنش شوری حاصل از ۴ نمک تا غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار (با EC معادل با ۲۶ دسی زیمنس بر متر) مقاوم بوده و تحت تیمار چهار نمک رشد و زنده‌مانی خوبی دارد. همچنین تحت تیمار ۴ نمک مواد مؤثره دارویی گیاه افزایش می‌یابد. به دلیل افزایش روزافزون استفاده از گیاهان دارویی در طب سنتی و صنایع داروسازی، کاشت و تولید گیاهان دارویی مهم در مقیاس تجاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. گیاه دارویی اسپند (*Peganum harmala* L.) از جمله گیاهان دارویی ایران محسوب می شود که به دلیل حضور مواد مؤثره دارویی در اندام های زایشی و رویشی آن، طیف وسیعی از ویژگی های فیزیولوژیکی و درمان بسیاری از بیماری ها را به خود اختصاص داده است. به دلیل اهمیت این گونه در طب سنتی و صنایع دارویی تولید آن از نظر اقتصادی مهم به نظر می‌رسد. با این وجود شوری خاک و حضور دیگر آلودگی‌های محیطی تهدیدی برای رسیدن به این اهداف محسوب می‌شود. ازاین‌رو تعیین آستانه تحمل نمک در گیاهان دارویی به منظور تولید بهتر ضروری می‌باشد. مرتعی بودن گیاه اسپند به عنوان پوشش گیاهی با ارزش، ایفای نقش مهم در بازسازی اکوسیستم محلی همین‌طور وجود ترکیبات دارویی مهم همانند هارمالین و هارمان دلیل مهمی بر گسترش کاشت گیاه است. البته بهتر است که مقدار این ترکیبات نیز تحت تنش‌های مذکور و به‌کارگیری چهار نمک، همچنین میزان ترکیبات دارویی در بذر گیاه مورد مطالعه قرار گیرد.

جدول ۳: تجزیه واریانس پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه اسپند در تیمار شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	سطح برگ	محتوای نسبی آب	طول ساقه	طول ریشه	نسبت کلروفیل a/b	آنزیم PAL	فنل	آلکالوئید
بلوک	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۸ ns	۶/۶ ns	۰/۱۷ ns	۱/۰ *	۰/۶۴ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۲/۴۱ ns	۱/۱۷ *
تیمار	۱۲	۰/۰۷۶ ***	۰/۰۰۵ ***	۰/۰۰۱ ***	۰/۰۰۱ ***	۰/۰۰۸ ***	۰/۰۰۱ ***	۴/۳۳ ***	۲/۴۷ ***	۲۷/۷۳ ***	۰/۰۰۱ ***	۳۴۰ ***	۳۸/۷۸ ***
خطای آزمایش	۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۹۷	۰/۰۰۰۰۰۴	۱/۸۷	۰/۳۹
ضریب تغییرات		۴/۷	۲/۴	۱/۴	۳/۰	۲/۶	۲/۲	۱/۸	۴/۸	۲/۵	۱/۴	۶/۲	۲/۵

جدول ۴: اثر غلظت‌های مختلف شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای نسبی آب، طول ریشه و ساقه، نسبت کلروفیل *a* به *b* ، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، محتوای فنل و آلکالوئید برگ

تیمار (میلی‌مولار)	وزن تر ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	محتوای نسبی آب (درصد)	طول ساقه (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی متر)	نسبت کلروفیل a/b	فنیل آلانین آمونولیاز (واحد آنزیم بر میلی‌گرم پروتئین)	فنل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	آلکالوئید برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
شاهد	۰/۴۴ b	۰/۱۴ c	۰/۰۸۷ a	۰/۰۵۳ c	۰/۳۲ a	۷۲ a	۱۰/۳ a	۷/۶ a	۳/۰۶۴ cd	۰/۰۱۹۲ e	۷۷/۲ de	۲۰/۳ i
کلرید سدیم ۲۰۰	۰/۱۶ g	۰/۰۷ g	۰/۰۴۳ ab	۰/۰۳۳ de	۰/۱۸ def	۵۸/۸ d	۷/۶ def	۵/۳ c	۲/۶۸ d	۰/۰۳۶۷ a	۸۷/۷ c	۲۵/۷ d
کلرید سدیم ۲۵۰	۰/۲۵ e	۰/۱۰ f	۰/۰۴۷ de	۰/۰۲۷ e	۰/۲۰ cd	۷۳/۹ a	۶/۶ fg	۴/۶ c	۳/۴۷۱ cd	۰/۰۳۳ a	۹۱/۸ b	۲۴/۲ e
کلرید سدیم ۳۰۰	۰/۲۶ e	۰/۱۲ de	۰/۰۵۷ cd	۰/۰۴۷ cd	۰/۱۴ f	۴۶/۸ f	۶/۳ g	۴/۳ d	۵/۷۰۲ b	۰/۰۲۸۵ b	۹۵/۶ a	۲۱/۹ gh
سولفات سدیم ۲۰۰	۰/۱۶ g	۰/۱۰ f	۰/۰۴۷ de	۰/۰۲۷ e	۰/۱۸ def	۴۹/۶ e	۸/۶ bcd	۵/۶ b	۲/۲۴۳ d	۰/۰۳۳۲ a	۶۸/۰ g	۲۴/۲ e
سولفات سدیم ۲۵۰	۰/۲۵ e	۰/۱۱ ef	۰/۰۴۷ de	۰/۰۳۷ de	۰/۱۷ def	۵۱/۹ de	۸/۳ cde	۵/۳ c	۴/۶۸۷ bc	۰/۰۲۵۱ bc	۹۳/۲ b	۳۰/۲ b
سولفات سدیم ۳۰۰	۰/۲۶ e	۰/۱۰ f	۰/۰۵۷ cd	۰/۰۳۰ de	۰/۱۴ f	۷۲/۲ a	۷/۶ def	۴/۳ d	۱۱/۶۲۱ a	۰/۰۰۸۰ g	۹۲/۹ b	۲۸/۱ c
کلرید منیزیم ۲۰۰	۰/۳۱ d	۰/۱۴ c	۰/۰۶۷ bc	۰/۰۳۷ de	۰/۲۲ bc	۶۰/۵ c	۹/۶ ab	۵/۰ c	۱/۶۶۵ d	۰/۰۰۸۱ g	۶۴/۵ h	۲۳/۰ fg
کلرید منیزیم ۲۵۰	۰/۳۲ b	۰/۱۱ ef	۰/۰۵۳ de	۰/۰۲۳ e	۰/۲۱ cd	۵۶/۵ d	۸/۳ cde	۵/۳ c	۳/۲۰۹ cd	۰/۰۱۲۸ f	۷۲/۵ f	۲۳/۶ ef
کلرید منیزیم ۳۰۰	۰/۱۹ cd	۰/۱۰ f	۰/۰۴۷ de	۰/۰۴۷ cd	۰/۱۶ ef	۵۳/۷ de	۷/۳ efg	۵/۶ b	۳/۵۴۲ cd	۰/۰۲۳۲ cd	۷۶/۹ de	۲۷/۱ c
سولفات منیزیم ۲۰۰	۰/۷۶ a	۰/۲۳ a	۰/۰۶۷ bc	۰/۰۸۰ b	۰/۲۵ b	۶۹/۵ ab	۹/۶ ab	۶/۶ ab	۵/۷۵۵ b	۰/۰۲۰۴ de	۷۰/۰ g	۳۲/۱ a
سولفات منیزیم ۲۵۰	۰/۴۷ b	۰/۱۷ b	۰/۰۷۷ ab	۰/۰۹۳ a	۰/۲۳ bc	۷۳/۸ a	۹/۳ abc	۵/۶ b	۵/۶۲۴ b	۰/۰۰۸۲ g	۷۵/۶ e	۲۱/۸ h
سولفات منیزیم ۳۰۰	۰/۳۶ c	۰/۱۳ cd	۰/۰۵۳ de	۰/۰۵۳ c	۰/۱۸ def	۶۴/۴ bc	۸/۳ cde	۵/۳ c	۱۰/۵۸۹ a	۰/۰۱۳۲ f	۷۸/۷ d	۲۱/۸ h

داده‌ها مقادیر میانگین با سه تکرار است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

منابع مورد استفاده

Acosta-Motos, J.-R., Diaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sanchez-Blanco, M.J., Hernández, J.A., 2015. Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. Planta, 242: 829-846.

Aghaei, K., Komatsu, S., 2013. Crop and medicinal plants proteomics in response to salt stress. Frontiers in Plant Science, 4: 8-17.

Ahmed, M.Z., Khan, M.A., 2010. Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 205: 764-771.

Amirjani, M., 2010. Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. American Journal of Plant Physiology, 5: 350-360.

Aslam, N., Wani, A.A., Nawchoo, I.A., Bhat, M.A., 2014. Distribution and medicinal importance of *Peganum harmala*. A review. International Journal of Advanced Research, 2: 751-755.

Bae, D., D'Addabbo, T., Yong, K., Chun, S., 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of Central European Agriculture, 7: 273-283.

Bahrampour, M. , Ahmadi Moghadam, A. Mahmoudi, S., 2009. The effect of soil magnesium sulfate on the content of calcium, magnesium, potassium and the intensity of endomycorosis in almond cultivar pistachio. Journal of Science of Kharazmi University. 9: 463-472.

Borges, C.V., Minatel, I.O., Gomez-Gomez, H.A., Lima, G.P.P., 2017. Medicinal plants: Influence of environmental factors on the content of secondary metabolites, Medicinal Plants and Environmental Challenges, Springer, pp. 259-277.

Chavoushi M., Salimi, A., Najafi, F and Angaji, S.A., 2018. Application of nitric oxide to reduce effects of drought stress on safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Plant Biology, 32(3):1-11.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S.A., 2020. Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. Scientia Horticulturae, 259: 108823-108829.

Dehghani, I., Mostajeran, A., 2010. Effect of salinity on vegetative growth, antioxidant and defensive enzymes in ginger (*Zingber officinale* Roscoe.). Journal of Herbal Drugs. An International Journal on Medicinal Herbs, 1: 1-8.

Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2015. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. Annals of Botany 115:327-331.

Forni, C., Duca, D., Glick, B.R., 2017. Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria. Plant and Soil, 410: 335-356.

Ghaderi, J, Malakouti, M. J., 2000. The effect of method and time of application of magnesium sulfate and fertilizers containing trace elements on yield and quality improvement of dryland wheat. Soil and water sciences, 14: 26-35.

Jaleel, C.A., Sankar, B., Sridharan, R., Panneerselvam, R., 2008. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*.

Turkish Journal of Biology, 32: 79-83.

Khan, M., Panda, S., 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. Acta Physiologiae Plantarum, 30: 81-89.

Khichi, D.S., Mishra, M., Yadav, A., 2018. Effect of abiotic stresses on the adaptation of metabolites like total phenols, flavonoids and alkaloids in tissue cultured plant of gloriosa superba. Journal of Biotechnology and Bioengineering, 2: 24-30.

Kotagiri, D., Beebi, S.K., Chaitanya, K.V., 2017. Secondary metabolites and the antimicrobial potential of five different Coleus species in response to salinity stress. biorxiv, 220368.

Li, S., Cheng, X., Wang, C., 2017. A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus Peganum. Ethnopharmacology, 203: 127-162.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.

Lim, J.-H., Park, K.-J., Kim, B.-K., Jeong, J.-W., Kim, H.-J., 2012. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. Food chemistry, 135: 1065-1070.

Llanes, A., Reginato, M., Palacio, G., Luna, V., 2010. Biochemical indicators of salinity tolerance in the halophyte *Prosopis strombulifera* are differentially affected by NaCl and Na 2 SO 4. Urbanisation, Land Use, Land Degradation and Environment, 81-91.

Mishra, M.R., Srivastava, R.K., Akhtar, N., 2019. Abiotic stresses of salinity and water to enhance alkaloids production in cell suspension culture of *Catharanthus roseus*. Global Journal of Bio-Science and Biotechnology, 9: 7-14.

Misra, N., Gupta, A.K., 2006. Effect of salinity and different nitrogen sources on the activity of antioxidant enzymes and indole alkaloid content in *Catharanthus roseus* seedlings. Plant Physiology, 163: 11-18.

Negrão, S., Schmöckel, S., Tester, M., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany, 119: 1-11.

Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349.

Parvaiz, A., Satyawati, S., 2008. Salt stress and phytobiochemical responses of plants-a review. Plant Soil and Environment, 54: 89-99.

Patel, D., Swati J, Hitesh S., Bharat, M., 2020. Effect of salinity on different vegetable crops. nternational Journal of Recent Scientific Research, 11(2): 37418-37422.

Pawlak-Sprada S, Arasimowicz-Jelonek M, Podgórska M, Deckert J. 2011. Activation of phenylpropanoid pathway in legume plants exposed to heavy metals. Part I. Effects of cadmium and lead on phenylalanine ammonia-lyase gene expression, enzyme activity and lignin content. Acta Biochimica Polonica, 58:211-216.

Rahneshan, Z., Nasibi, F., Moghadam, A.A., 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. Journal of Plant Interactions, 13: 73-82.

Salehi, F. Mozaffari, and. Tajabadipour, A. Hikmabadi, H., 2011. The effect of sodium and

magnesium on some growth characteristics and pistachio chlorophyll content in perlite medium. Science and technology of greenhouse crops, 6: 23-35.

Shamsa, F., Monsef, H., Ghamooshi, R., Verdian-rizi, M., 2008. Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences, 32: 17-20.

Wang, J.W., Zheng, L.P., Wu, J.Y., Tan, R.X., 2006. Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonia-lyase activation and Taxol production induced by low-energy ultrasound in Taxus yunnanensis cell suspension cultures. Nitric Oxide, 15: 351-358.

Yang, L., Wen, K.-S., Ruan, X., Zhao, Y.-X., Wei, F., Wang, Q., 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. Molecules, 23: 762-788.

Evaluating the changes of phytochemical and morphological parameters of Peganum harmala L. under salinity stress

Sodabeh Nazarpoor[1], Azam Salimi[2*], Maryam Chavoushi[3]

1. Master of Science Graduated, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran , Iran .
2. Associate professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran , Iran.(Corresponding author)
3. PhD Graduated, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran , Iran.

Received: May 2021 Accepted: July 2021 - DOI: 10.22092/mpt.2021.354626.1080

Abstract

Nazarpoor, S., Salimi, A., Chavoushi, M., Evaluating the changes of phytochemical and morphological parameters of *Peganum harmala* L. under salinity stress

Iranian Medicinal Plants Technology, Vol 3, No. 2, 2020-21 7-8: 43-57(in Persian)

Abstract:

Agriculture is one of the essential sectors for the development of each province. This sector is very important in Khorasan Razavi province due to its significant share of production in the country's products. The agricultural sector of Khorasan Razavi province, as well as other provinces of the country, faces various problems, including the existence of additional intermediaries in the marketing process of their products. Due to the need to pay attention to this, the research seeks to feasibility and provides solutions to reduce Intermediation, strengthening and promoting the role of the market maker. Accordingly, garden products, saffron, pistachio, and apple are selected because of the importance of production and the role that mediators play in the marketing process of these products. The marketing paths of each product were identified, and the most efficient route was selected using the combined index of Sabbarao. The results of the Sabbarao index showed that in the product of saffron and pistachio, the export routes, and the apple, the internal

Email address of the corresponding author: Email: Salimi@khu.ac.ir

routes are more effective than other paths. Also, identifying and enhancing export-led export channels and expanding the cooperation of exporters with the beneficiaries using the AHP method was introduced as the most important strategy to reduce the intermediation and strengthen the producer role in the saffron product.

Kew words: dealer, Sabbarao Combined Indicator, saffron