

## مطالعه اثر تنش شوری بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چند توده گیاهی سنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.)

پویا آروین<sup>۱\*</sup> و رعنا فیروزه<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیک: pooya.arvin@gmail.com

۲- دکترای فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۰

### چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌شود که عملکرد کمی و کیفی بسیاری از گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) یکی از شناخته شده‌ترین گیاهان دارویی است که به دلیل داشتن ترکیب‌های مؤثره متنوع از جمله تريگونلین در درمان بسیاری از بیماری‌ها کاربرد دارد. در این پژوهش اثر تنش شوری بر اجزای عملکردی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار توده سنبليله تحت شرایط گلخانه‌ای بررسی شد. آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل چهار توده (نیشابور، شیروان، شیراز و اردکان) و چهار سطح شوری (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار) بودند. در مراحل انتهایی رشد در گیاهان بالغ صفاتی شامل محتوای نسبی آب برگ (RWC)، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، محتوای قند محلول، پرولین و تريگونلین اندازه‌گیری شدند. تنش شوری منجر به کاهش صفات عملکردی از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه در همه توده‌های مورد بررسی شد. نتایج نشان داد تنش شوری همچنین موجب کاهش غلظت قند محلول و RWC و از طرفی باعث افزایش میزان محتوای پرولین و تريگونلین بذر شد. توده شیراز از لحاظ صفات مورد بررسی نسبت به سایر توده‌ها برتری داشت و سازوکارهای کارآمدتری را برای تحمل شرایط تنش از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: کلریدسدیم، تريگونلین، پرولین، عملکرد، اجزای عملکرد.

### مقدمه

با گل‌های منفرد و به‌رنگ روشن که میوه‌هایی زرد حنایی تا قهوه‌ای دارد (Hasanzadeh et al., 2010). این گیاه در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله دیابت، نقرس، سل، فشارخون و زخم معده مؤثر بوده و با توجه به درصد بالای آهن آن، مورد استفاده بیماران خونی قرار می‌گیرد (Niknam & Kiyani, 2004). بذرهای سنبليله حاوی

سنبليله یکی از گیاهان دارویی است که در طب سنتی سابقه مصرف دیرینه داشته و خواص درمانی فراوانی برای آن ذکر شده است. سنبليله با نام علمی (*Trigonella foenum graecum* L.) گیاهی است از تیره باقلائیان (Fabaceae)، علفی و یکساله، به ارتفاع ۱۳ تا ۵۳ سانتی‌متر

وزن هزاردانه و عملکرد دانه در گیاه شنبلیله شد. در آزمایشی دیگر که بر روی اثرهای شوری در گیاه رازیانه انجام شد ملاحظه گردید که با افزایش شوری تعداد چتر در هر بوته، وزن هزاردانه و محصول و عملکرد رازیانه به طور معنی‌داری کاهش یافت (Abd El-Wahab, 2006). البته گزارش کاهش محصول دانه و اجزای آن تحت تنش شوری در خارمریم (Ashraf & Orooj, 2006) و زنیان (Ghavami & Ramin, 2008) نیز مؤید این مطلب است.

طی مطالعاتی، Baatour و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده کردند که شنبلیله به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبتاً مقاوم است ولی به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حساس است که این مقاومت نسبی را می‌توان به فعالیت‌های بیوسنتزی، وضعیت نمک، غلظت‌های بالاتر فنول و فعالیت‌های بیشتر آنتی‌اکسیدانی آن نسبت داد. با مرور بر تحقیقات قبلی انتظار می‌رود که تأثیر شوری بر توده‌های مختلف گیاهی متفاوت باشد، به‌عنوان مثال Farhadi و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی هشت توده گیاه شنبلیله تحت تنش شوری بیان کردند که شوری باعث افزایش پرولین و کاهش ارتفاع بوته، تعداد انشعاب در بوته و وزن خشک اندام هوایی شد و توده‌های اصفهان، مشهد و چالوس به دلیل کسب مقادیر بالاتر در بیشتر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به‌عنوان توده‌های متحمل به شوری ارزیابی شدند.

همان‌طور که گفته شد شوری مسیرهای متابولیت‌های ثانویه متعددی را در گیاهان راه‌اندازی می‌کند که منجر به تولید طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه می‌شود و این اتفاق در گیاهان دارویی که ارزش و خواص درمانی آنها به میزان متابولیت‌های ثانویه‌ای که همراه دارند بستگی دارد، مهم و قابل توجه است (Mehrafarin et al., 2010). از این رو با توجه به تأثیرات ارزشمند دارویی شنبلیله و با در نظر گرفتن این نکته که امروزه در بیشتر مناطق ایران مشکلات کم‌آبی و یا شوری خاک وجود دارد بر آن شدیم تا تأثیر غلظت‌های مختلف شوری را بر یک مجموعه صفات و ترکیب‌های بیوشیمیایی مهم از جمله تریگونلین در چند توده متفاوت شنبلیله ارزیابی کنیم، زیرا انتظار می‌رود شوری بر

ترکیب‌های متنوعی مانند فلاونوئید، کومارین‌ها، ساپونین‌های استروئیدی و آلکالوئیدهایی مانند تریگونلین است (Moradi et al., 2010; Amuthaselvi & Ambrose, 2016). تریگونلین شناخته‌ترین و فراوان‌ترین متابولیت ثانویه آلکالوئیدی موجود در شنبلیله بوده و از آنجایی‌که ابتدا از گیاه شنبلیله استخراج شد به نام این جنس نام‌گذاری شده است و در بسیاری از گیاهان دیگر از جمله قهوه، سویا، ذرت، جو، نوعی تره، نخود و گوجه‌فرنگی نیز وجود دارد (Mehrafarin et al., 2012).

تریگونلین خواص درمانی متنوعی دارد، از جمله کاهش قند و چربی خون، آرام‌بخش، ضد میگرن، ضد باکتری، ضد ویروس و ضد تومور، همچنین این ترکیب در بهبود حافظه و کاهش تجمع پلاکت‌ها نیز نقش دارد. محققان نقش‌های فیزیولوژیکی متفاوتی را مانند عامل فعال در سازوکار بسته شدن برگ‌ها در شب در برخی از گیاهان (شب‌خسب) (Mehrafarin et al., 2012)، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و عامل حفظ فشار تورژسانس برگ در گیاه برای متابولیت تریگونلین گزارش کرده‌اند (Shimizu & Mazzafera, 2000). همچنین این ترکیب دارای نقش هورمونی در تنظیم چرخه سلولی در مرحله G<sub>2</sub> (توقف تقسیم سلولی بعد از دابل شدن مواد ژنتیکی) نیز می‌باشد (Mehrafarin et al., 2012).

تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است که بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده می‌شود. تبخیر زیاد و بارندگی کم و پراکنده، باعث تجمع املاح در سطح خاک و شور شدن خاک‌های کشاورزی می‌شود (Ahmad et al., 2019).

شوری بر عملکرد شنبلیله از دو جهت متفاوت می‌تواند تأثیرگذار باشد، از یکسو سبب افزایش متابولیت‌های ثانویه در بافت‌های گیاهی و افزایش اسانس گیاهی می‌شود و از سوی دیگر سبب کاهش بیوماس تولیدشده و کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Baatour et al., 2018). در تحقیقات Banakar و همکاران (۲۰۲۰) دیده شد که اعمال شوری موجب کاهش تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته،

اندازه‌گیری صفت تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه

برای اندازه‌گیری این صفات تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر گلدان انتخاب و تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه در آنها شمارش و گزارش شد.

#### اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)

محتوای نسبی آب گیاه با استفاده از روش Cameron و همکاران (۱۹۹۹) تعیین شد.

این روش معنی‌دارترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاهی است، به‌این‌ترتیب برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، وزن تر برگ‌ها بلافاصله بعد از برداشت ثبت شد و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر نگهداری شد و دوباره وزن آماس نمونه‌ها ثبت گردید و در آخر نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و نتیجه ثبت شد.

#### سنجش میزان پرولین و قند

در این پژوهش به‌منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین و تغییرات آن، از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و اندازه‌گیری محتوای قند نمونه‌ها از روش Somogyi (۱۹۵۲) استفاده شد.

#### استخراج و سنجش تریگونلین

برای استخراج تریگونلین از روش Rongjie و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. از هر گروه تیماری به مقدار مشخص بذر انتخاب شد. بذرها به‌خوبی با دستگاه گریندر پودر شدند. سپس به هر نمونه متانول (Romil 215, HPLC) اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط ورتکس گردید. در مرحله بعدی نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک در دمای محیط قرار گرفتند و بعد به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفوژ با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در

همه گونه‌های گیاهان اثرگذاری یکسانی نداشته باشد و پاسخ گیاهان با توجه به تنوع ژنتیکی و تفاوت‌های بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای متفاوت باشد (Parida & Das, 2005).

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشگاه پیام نور واحد بجنورد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با چهار سطح شوری حاصل از کلرید سدیم (NaCl) شامل صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار و چهار سطح توده بومی گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graecum* L.) شامل توده نیشابور، شیراز، شیروان و اردکان انجام شد.

در این تحقیق ابتدا بذرهای شنبلیله به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ قرار گرفتند، آنگاه بذرهای استریل شده در ظرفی که حاوی کاغذ صافی مرطوب بود، قرار داده شدند. زمانی که بذرها به مرحله جوانه‌زنی رسیدند، به گلدان‌های حاوی ماسه مرطوب منتقل گردیدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه، با درجه حرارت  $25 \pm 1$  سانتی‌گراد در روز و  $18 \pm 1$  سانتی‌گراد در شب قرار گرفتند و دوره نوری شامل ۱۷ ساعت روشنایی و هفت ساعت تاریکی بود. گیاهان شنبلیله تا رسیدن به مرحله چهار برگگی (۲۵ روزه) به‌طور منظم هر دو روز یک‌بار در حد ظرفیت زراعی با محلول هوگلند آبیاری شدند و پس از آن اعمال تنش شوری در سطوح صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (NaCl) به مدت دو ماه بر روی آنها انجام شد. برای جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از شوری آب آبیاری، تیمارهای شوری از کمترین مقدار (۳۰ میلی‌مولار) شروع شده و غلظت‌های بیشتر به‌تدریج در طی چند روز به گلدان‌ها افزوده شد، همچنین هر سه هفته یک‌بار گلدان‌ها با یک لیتر آب معمولی ( $EC=0.71 \text{ dS.m}^{-1}$ ) آبیاری شدند تا نمک‌های تجمع یافته احتمالی از گلدان‌ها خارج شوند. در مراحل پایانی مرحله زایشی برداشت از نمونه‌های کشت شده برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر آغاز شد.

## محاسبات آماری

نتایج حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTAT-C (نسخه ۶/۱) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین از LSD در سطح احتمال ۵٪ و برای رسم نمودار از نرم افزار Excel (۲۰۱۰) استفاده شد.

## نتایج

اثر تنش شوری بر صفات عملکردی و فیزیولوژیکی در توده های بومی گیاه شنبلله

نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر ساده شوری و اثر ساده توده روی تمام صفات مورد بررسی معنی دار بود. اثر متقابل تنش شوری در توده نیز بر همه صفات بجز تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه و محتوای پروتئین تأثیر معنی داری داشت.

دقیقه قرار گرفتند و فاز بالایی به یک ویال منتقل شد. سپس دوباره تمام مراحل قبلی تکرار شد و مرحله رویی به ویال قبلی اضافه شد. ویال ها در دستگاه کانسنتریتور قرار داده شدند تا آب ویال ها تبخیر شود و بعد تا انجام مرحله HPLC در یخچال در دمای منفی ۲۰ درجه نگهداری شدند.

## شناسایی و کمیّت سنجی تریگونلین

روش کروماتوگرافی با کارایی بالا برای تعیین میزان تریگونلین مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام این فرایند از دستگاه HPLC، شرکت Agilent مدل ( 1260 Infinity II LC, USA) و ستون Aminex استفاده شد. فاز متحرک به نسبت ۹۵:۵ متانول به آب در نظر گرفته شد. روند شدت جریان (Flow rate) شش دقیقه و یک میلی لیتر بر دقیقه و پیک در طول موج ۲۶۳ نانومتر ردیابی شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات در توده های بومی شنبلله تحت شرایط تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
محتوای تریگونلین	محتوای پروتئین	محتوای قند محلول	محتوای RWC	وزن هزاردانه	تعداد غلاف در گیاه	تعداد دانه در غلاف		
۰/۱۹۰*	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۵**	۷۲/۵۴۶**	۰/۰۴۴**	۳/۸۲۷**	۰/۰۷۲**	۳	تنش شوری
۰/۷۵۶**	۰/۰۳۶**	۰/۰۰۶**	۱۳۸/۴۲۴**	۰/۰۳۱**	۰/۷۴۸*	۰/۰۱۲**	۳	توده
۱/۳۴۰**	۰/۰۱۹ns	۰/۰۰۳**	۳۲/۱۸۲**	۰/۰۰۲ ns	۱/۰۱۳**	۰/۰۰۶ns	۹	تنش شوری × توده
۰/۰۶۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۵/۲۲۳	۰/۰۰۲	۰/۲۰۹	۰/۰۰۱	۳۲	خطا
۱۷/۲۴	۱۹/۷۳	۱۸/۹۵	۳/۰۷	۱۹/۲۴	۱۹/۶۰	۱۸/۸۰		ضریب تغییرات (%)

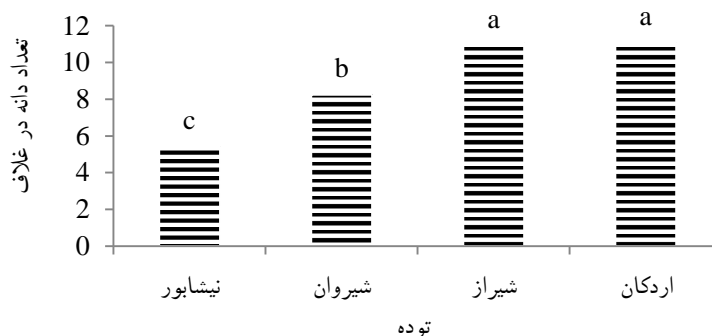
ns، \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

## بررسی صفت تعداد دانه در غلاف

در غلاف نسبت به سایرین داشتند. مقایسه اثر شوری بر تعداد دانه در غلاف (شکل ۲) نشان داد که این صفت در پاسخ به سطوح ملایم تا شدید شوری

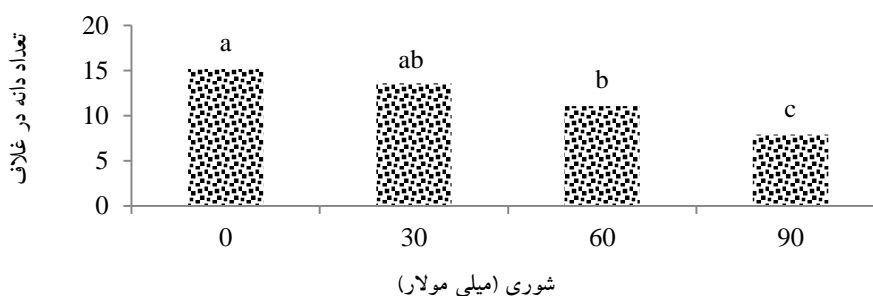
مقایسه اثر توده بر تعداد دانه در غلاف (شکل ۱) نشان داد که توده شیراز و اردکان با ۱۱/۰۸ دانه بیشترین و توده نیشابور با ۵/۴ دانه به صورت میانگین کمترین تعداد دانه را

روند نزولی دارد، به طوری که بیشترین دانه مربوط به شوری صفر با ۱۵ عدد و کمترین دانه در سطح شوری ۹۰ میلی مولار با ۷/۹ دانه بود.



شکل ۱- اثر توده بر تعداد دانه در غلاف

حروف یکسان عدم تفاوت معنی دار را نشان می دهند.



شکل ۲- اثر شوری بر تعداد دانه در غلاف

حروف یکسان عدم تفاوت معنی دار را نشان می دهند.

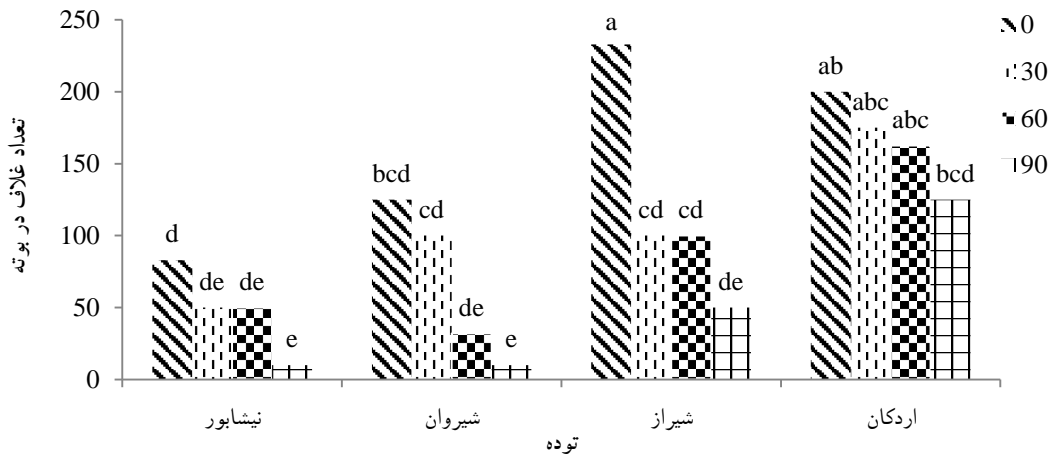
#### بررسی صفت تعداد غلاف در بوته

نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر متقابل توده و شوری بر تعداد غلاف در بوته (جدول ۱) در سطح ۱٪ معنی دار شد و توده شیراز در سطح شوری صفر با ۲۳۳ غلاف بیشترین و توده نیشابور و شیروان با ۱۰ غلاف در شوری ۹۰ میلی مولار کمترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

#### بررسی صفت وزن هزاردانه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر توده بر وزن هزاردانه در سطح ۱٪ معنی دار شد (جدول ۱) و توده شیراز با ۰/۲۰۶ گرم بیشترین و توده شیروان با ۰/۱۴۲ گرم کمترین وزن هزاردانه را نسبت به سایرین به خود اختصاص دادند (شکل ۴). همچنین مقایسه اثر ساده شوری برای این صفت نیز نشان داد که تمامی سطوح

نسبت به شوری صفر (شاهد) کاهش معنی‌دار داشتند، کمترین و شوری صفر با ۰/۲۰ بیشترین مقدار دیده شد به طوری که در غلظت ۹۰ میلی‌مولار با ۰/۰۸ گرم (شکل ۵).



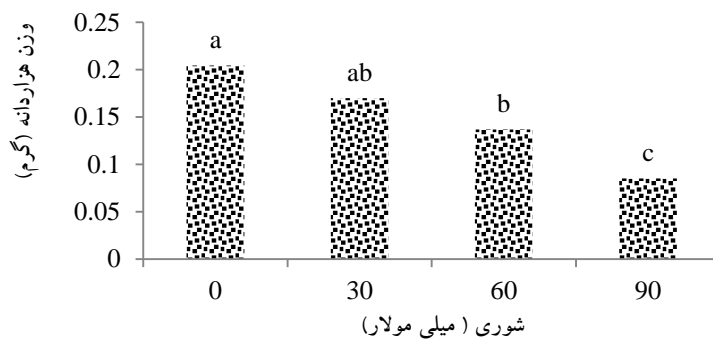
شکل ۳- مقایسه اثر شوری و توده بر تعداد غلاف در بوته

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.



شکل ۴- اثر توده بر وزن هزاردانه

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.



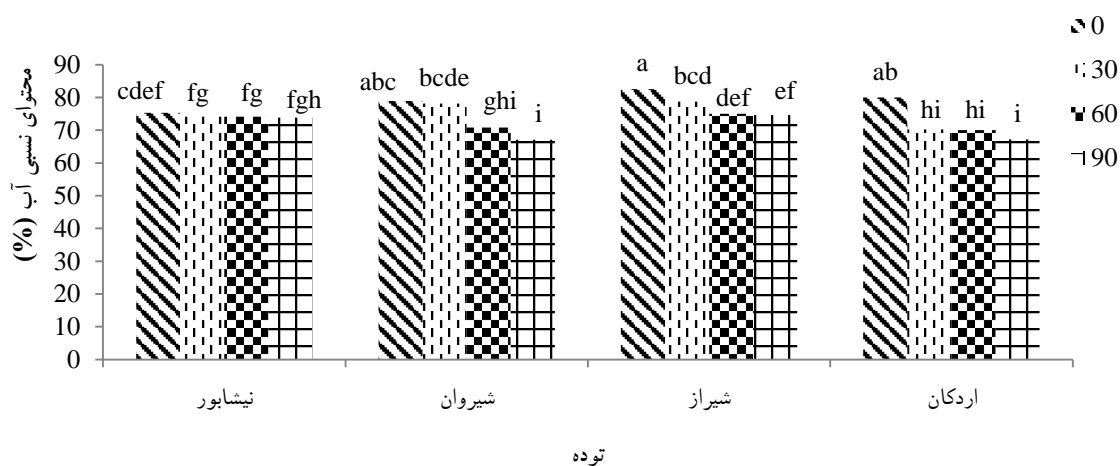
شکل ۵- اثر شوری بر وزن هزاردانه

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.

متقابل توده و شوری در صفت محتوای نسبی آب در سطح ۱٪ معنی دار شد (جدول ۱) و توده شیراز در سطح شوری صفر با ۸۲/۵٪ بیشترین و توده شیروان در سطح شوری ۹۰ میلی مولار با ۶۷٪ کمترین محتوای نسبی آب را به خود اختصاص دادند (شکل ۶).

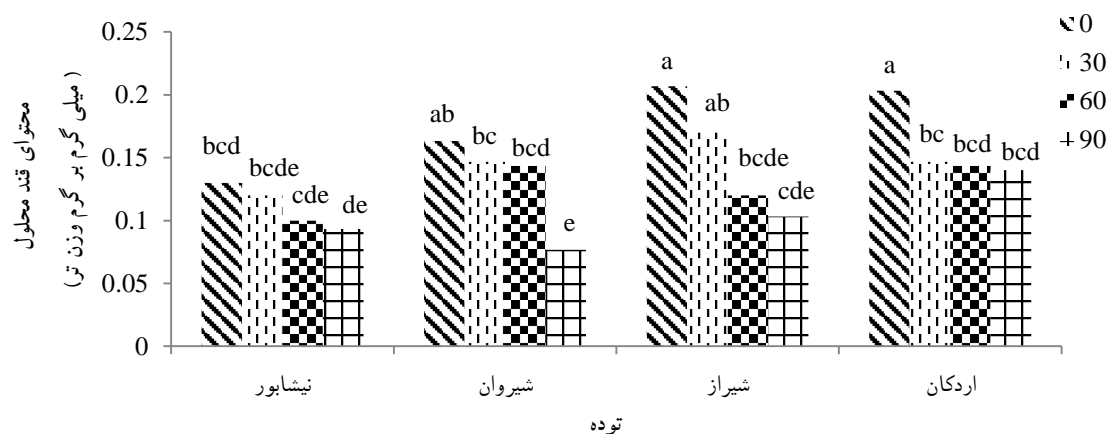
بررسی صفت محتوای نسبی آب (RWC)

درصد رطوبت نسبی بافت‌ها (Relative Water Content: RWC) و قابلیت آب گیاه از مهمترین مؤلفه‌هایی است که نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه هستند (Heydari, 2001).  
نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر



شکل ۶- مقایسه اثرهای شوری و توده بر محتوای نسبی آب

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.



شکل ۷- مقایسه اثرهای شوری و توده بر محتوای قند محلول

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.

## بررسی محتوای قند محلول

نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر ساده توده، اثر ساده شوری و اثر متقابل توده در شوری بر محتوای قند محلول در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج پژوهش نشان داد که در همه گروه‌ها با افزایش شوری، روند کاهشی در محتوای قند محلول اتفاق افتاد، به طوری که توده شیراز و اردکان در سطح شوری صفر بیشترین و توده شیروان در سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار کمترین میزان محتوای قند محلول را داشتند (شکل ۷).

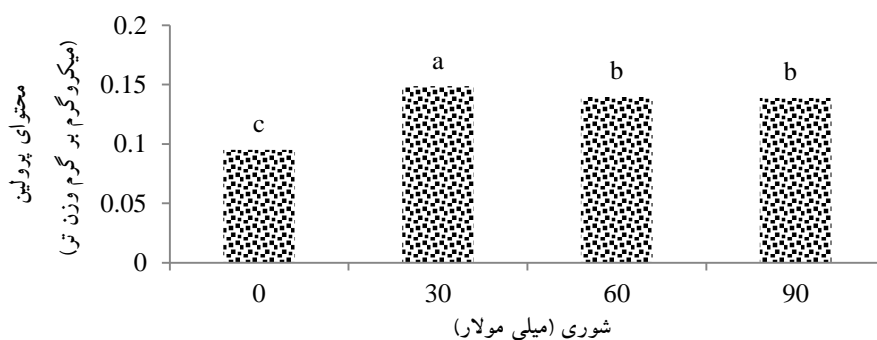
## بررسی میزان پرولین

در این تحقیق مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر ساده توده و اثر ساده شوری بر محتوای پرولین در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج بدست‌آمده از اثر توده بر فاکتور پرولین نشان داد (شکل ۸) که توده اردکان بیشترین محتوای پرولین را به خود اختصاص داد. اثر شوری بر محتوای پرولین نیز نشان داد (شکل ۹) که گیاهان در سطح شوری ۳۰ میلی‌مولار بیشترین و شوری صفر (شاهد) کمترین محتوای پرولین را نسبت به سایر تیمارها داشتند.



شکل ۸- اثر توده بر محتوای پرولین

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.



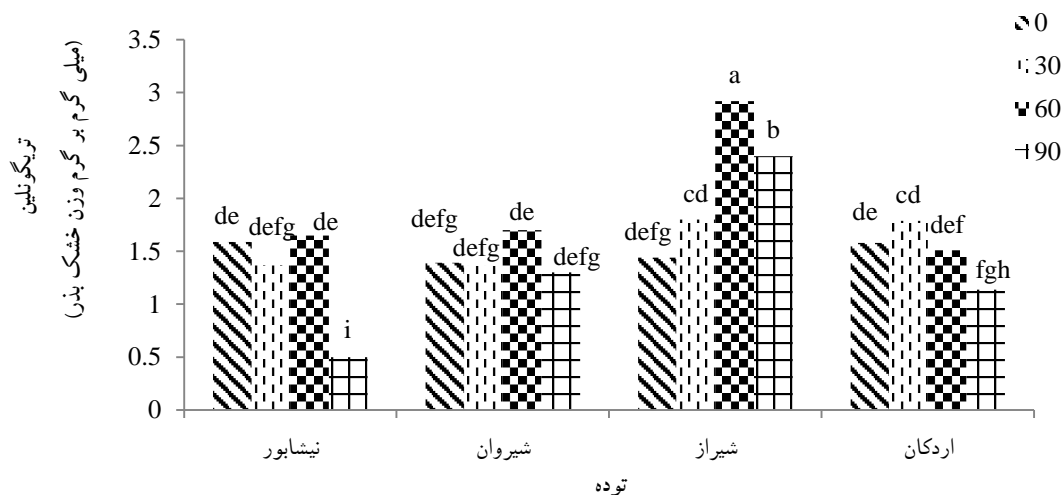
شکل ۹- اثر شوری بر محتوای پرولین

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.



## بررسی محتوای تریگونلین بذر

بررسی داده‌های جدول مقایسه میانگین نشان داد که اثر متقابل توده و شوری بر محتوای تریگونلین بذر در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱) و توده شیراز بیشترین افزایش میزان تریگونلین بذر را در پاسخ به تنش شوری در سطح ۶۰



شکل ۱۰- مقایسه اثرهای شوری و توده تریگونلین بذر

حروف یکسان عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.

## بحث

## محتوای نسبی آب

به علت تضعیف سیستم ریشه‌ای در شرایط تنش و کاهش سطح جذب باشد که به دنبال آن گیاه قادر به جبران آب از دست رفته توسط تعرق نیست (Farkhondeh *et al.*, 2012). در مجموع کاهش محتوای نسبی آب برگ یک پاسخ عمومی به شرایط تنش اسمزی می‌باشد. به تعبیری دیگر کاهش در محتوای نسبی آب برگ نشانگر یک کاهش فشار تورگر است که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی می‌شود (Cicek & Cakirlar, 2002).

براساس مطالعات انجام شده گروهی از محققان میزان RWC تحت تنش شوری براساس میزان تحمل اکوتیپ‌ها تغییر می‌کند و کاهش مقدار آن در اکوتیپ‌های حساس به شوری بیشتر از اکوتیپ‌های متحمل به شوری است. اکوتیپ‌های حساس در مقابل تنش شوری، نسبت به گیاهان

محتوای نسبی آب به‌عنوان معیاری قابل اعتماد برای اندازه‌گیری وضعیت آب در بافت‌های گیاهی محسوب شده و از این نظر نسبت به قابلیت آب سلول برتری دارد. زیرا محتوای آب نسبی برگ از طریق ارتباط مستقیم با حجم سلول می‌تواند تعادل بین آب گیاه و سرعت تعرق را بهتر نشان دهد (Munns *et al.*, 2006). نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش شوری محتوای نسبی آب در برگ‌ها کاهش یافت. علت این امر، کاهش جذب آب از خاک به علت محدودیت آب ناشی از شوری خاک است که باعث بهم خوردن تعادل بین دو فرایند جذب آب و تعرق می‌شود و در نتیجه محتوای آب گیاه کاهش می‌یابد (Fallah *et al.*, 2015). کاهش در محتوای نسبی آب همچنین می‌تواند

مقاوم مقدار بیشتری آب از دست می‌دهند. در نتیجه، هنگامی که برگ آنها را جدا کرده و در آب قرار می‌دهیم، آب بیشتری جذب کرده و وزن آماس بیشتری نیز خواهند داشت؛ بنابراین مقدار بیشتر آماس مبین حساسیت بیشتر نسبت به تنش شوری و بالا بودن مقدار آب ازدست‌رفته است (Yarniya et al., 2001).

نتایج این تحقیق نیز نشان داد که با افزایش تنش شوری در توده‌های مختلف، درصد محتوای آب نسبی در برگ‌ها کاهش یافته که این کاهش در توده‌های مختلف مورد آزمایش متفاوت بود و دیده شد که توده شیراز بیشترین محتوای آب نسبی را به خود اختصاص داد که این حکایت از مقاومت بیشتر توده شیراز نسبت به سایر توده داشت.

#### عملکرد گیاه

شوری خاک بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر گذاشته (Shahid et al., 2018) و موجب بروز تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن تخریب غشاء سلول، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، عدم توازن تغذیه‌ای، اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و در نهایت کاهش بازده فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌گردد (Hasanuzzaman et al., 2013). عملکرد گیاه به‌عنوان پیچیده‌ترین خصوصیت گیاه، تحت تأثیر تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی است. نتایج بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شنبليله نشان داد که با افزایش شوری، عملکرد دانه که شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد بذر در غلاف و وزن هزاردانه می‌باشد، کاهش یافت. البته کاهش عملکرد دانه و علوفه شنبليله در این شرایط مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه می‌باشد. برای بوجود آمدن دانه، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی دارد؛ به‌نحوی که تأثیر شوری بر هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌تواند در نهایت منجر به تغییر و کاهش در عملکرد دانه شود

#### قند محلول

نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت شوری محتوای قند محلول در نمونه‌های تحت تیمار روند کاهشی داشت. عامل مؤثر در کاهش محتوای قند محلول در تیمارهای مورد آزمایش، مربوط به کمبود یا نبود آب قابل دسترس برای گیاهان است. کاهش محتوای نسبی آب برگ که به دنبال تنش شوری در گیاهان اتفاق می‌افتد خود می‌تواند مسبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از قبیل طویل شدن سلولی، فعالیت روزنه‌ها و فرایندهای وابسته به فتوسنتز باشد (Chinnusamy et al., 2005). کاهش محتوای نسبی آب برگ باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای برای ورود دی‌اکسیدکربن به مزوفیل برگ شده و در نهایت بازدهی فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد، علاوه بر این ثابت شده است که در بیشتر گونه‌های گیاهی، هنگامی که محتوای

نیز مانند آبسیزیک اسید و اتیلن موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شوند و در شرایط تنش غلظت آنها افزایش می‌یابد که این اتفاق باعث کاهش کلروفیل و ناکارآمدی هر چه بیشتر برگ می‌شود. در پژوهشی دیگر Shannon (۱۹۸۵) بیان کرد که کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن و استفاده بیشتر از گلوتامات (ماده اولیه سنتز پرولین و کلروفیل) در مسیر سنتز پرولین باشد که در تنظیم اسمزی در گیاهان تحت تنش بکار می‌رود.

شایان ذکر است که تنوع ژنتیکی بین گیاهان سبب اختلاف در میزان فتوسنتز و محتوای فرآورده فتوسنتزی گونه‌های مختلف و حتی ارقام درون یک گونه می‌گردد (Bongi & Loreto, 1989) که با نتایج بدست‌آمده در این پژوهش همخوانی دارد و توده شیراز و اردکان مقادیر بالاتری از این صفت را نشان دادند.

#### پرولین

محتوای اسیدآمینو پرولین در بسیاری از استرس‌های محیطی مانند استرس فلزات سنگین، امواج فرابنفش، دما، شوری و خشکی در گیاهان افزایش می‌یابد (Ashraf & Foolad, 2007). در این تحقیق نیز اثر غلظت‌های مختلف کلریدسديم بر محتوای پرولین به‌طور معنی‌داری آشکار شد و شوری میزان پرولین را نسبت به نمونه شاهد افزایش داد که این تغییرات افزایشی می‌تواند به‌عنوان شاخص تحمل به تنش شوری و کم‌آبی تلقی شود، زیرا تجمع پرولین یک پاسخ دفاعی اولیه برای حفظ فشار اسمزی در سلول است. گزارش‌های متعددی نیز مبنی بر نقش پرولین در این رابطه بیان شده است، به‌عنوان مثال Tavangar و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی دو توده اردستان و برازجان شنبليله در تنش شوری گزارش کردند که سطوح کلریدسديم باعث افزایش محتوای پرولین شد. تجمع املاح سازگار در سیتوپلاسم از جمله پرولین به گیاه کمک می‌کند تا تعادل اسمزی را حفظ کند و آسیب غشاء را کاهش دهد. توده اردستان نسبت به توده برازجان محتوای پرولین بیشتری را کسب کرد و

نسبی آب برگ به ۶۰٪ تا ۷۰٪ برسد، فتوسنتز و ماده‌سازی به‌طور برگشت‌ناپذیری کاهش می‌یابد (Lawlor & Cornic, 2002).

تنش شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل، کاهش انتقال الکترون‌های فتوسنتزی و کاهش کارایی فتوسیستم II در گیاه به‌وسیله تجمع یون‌های سمی در پروتوپلاست نیز می‌گردد (Lopez-Climent *et al.*, 2008). شوری ناشی از نمک کلریدسديم باعث کاهش کربوهیدرات‌هایی می‌شود که برای رشد سلول‌ها و مراحل اصلی فرایند فتوسنتز و سرعت آن ضروریست. کربوهیدرات‌ها مراحل اصلی فرایند فتوسنتز و سرعت فتوسنتز را حمایت می‌کنند و معمولاً پایین‌ترین سرعت‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری به‌ویژه شوری با کلریدسديم مشاهده شده است (Parida & Das, 2005). در این آزمایش نیز کمترین آهنگ رشدی و کمترین میزان فتوسنتز در سطوح افزایش یافته کلریدسديم مشاهده گردید. توده شیراز و اردکان تحمل نسبی بهتری نسبت به افزایش سطوح کلریدسديم نشان دادند.

کاهش رشد طولی، ارتفاع گیاه و سطح پهنک برگ‌ها (سطح فتوسنتزکننده) که متعاقب تنش شوری اتفاق می‌افتد نیز می‌تواند شدت فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داده و به دنبال آن میزان قندهای محلول در اندام هوایی که محصول مستقیم فتوسنتز هستند کاهش پیدا کند، از سوی دیگر طی تنش شوری تجمع یون‌های سدیم و کلر در اطراف ریشه، تعادل یونی خاک را بر هم زده و از جذب و انتقال عناصر ضروری که در ساختار کلروفیل و یا آنزیم‌های فتوسنتزی نقش دارند جلوگیری می‌کند (Ibrahim, 2016). مقدار کلروفیل و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از مهمترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید قند گیاهی مؤثر هستند (Heydari sharif abad, Mudgal *et al.*, 2009). گزارشی مبنی بر اینکه در شرایط شوری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل به دلیل فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز کاهش می‌یابد ارائه داده است (Heydari sharif abad, 2001). برخی از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی

تنش فراهم کند (Sato et al., 2002)؛ بنابراین افزایش شدت تنش و افزایش غلظت نمک از یک میزان به بعد می‌تواند موجب کاهش محتوای پرولین در گیاه شود که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت و در غلظت نمک ۳۰ میلی‌مولار، بالاترین سطح پرولین کسب شد و با افزایش سطوح کلریدسدیم مقدار آن کاهش یافت.

#### تریگونلین

در پاسخ به تنش شوری، سنتز و انباشتگی اسمولیت‌های سازگار در گیاهان افزایش می‌یابد. این اسمولیت‌ها در داخل سلول‌های گیاهی به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی دخالت داشته و در زمان تنش بر محتوای آنها افزوده می‌شود. این مواد محلول سازگار، با واکنش‌های آنزیمی در داخل سلول تداخل نداشته و به‌عنوان محافظان اسمزی طی تنش عمل می‌کنند تا قابلیت اسمزی را کاهش داده و از این طریق با تنش شوری مقابله کنند (Kerepesi & Galiba, 2000). تریگونلین یا N-متیل نیکوتینیک اسید، متابولیت ثانویه مشتق شده از نوکلئوتیدهای پیریمیدین است. تحقیقات متعدد نشان داده که این ترکیب به‌عنوان یک متابولیت ثانویه آلکالوئیدی قادر است در شرایط تنش به تنظیم اسمزی سلول کمک کرده و تجمع آن در شرایط تنش، به سلول امکان برقراری دوباره آماس و دریافت آب بیشتر از خاک شور را بدهد (Shimizu & Mazzafera, 2000). در تحقیقی دیگر Cho و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تنش خشکی در بادام‌زمینی سبب افزایش غلظت تریگونلین در ژنوتیپ‌های مختلف بادام‌زمینی در آبیاری کم در مقایسه با شرایط آبیاری کامل می‌شود.

در این پژوهش نیز نتایج نشان داد که محتوای تریگونلین در پاسخ به تنش شوری افزایش یافت و تیمار ۶۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بالاترین میزان را به خود اختصاص داد. البته این مقدار در تنش ۹۰ میلی‌مولار کاهش یافت که خود نشان‌دهنده ایجاد شرایط غیرقابل تحمل توسط گیاه است. وقوع تنش شدید و یا ادامه آن برای مدت طولانی، ممکن است منجر به ایجاد وضعیت غیر قابل تحمل

توانست مقاومت به شوری نسبی بیشتری را نسبت توده برازجان نشان دهد.

در آزمایشی دیگر Noori و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که با افزایش شوری محتوای ترکیب‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول در گیاه بایونه افزایش یافت. Matysik و همکاران (۲۰۰۲) نیز اعلام کردند که پرولین به‌عنوان مخزن کربن و نیتروژن در سلول نقش دارد و از سوی حفاظت گیاه در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد را انجام می‌دهد.

سازوکار تأثیر شوری بر محتوای پرولین به‌این ترتیب است که کلریدسدیم موجب تحریک ژن‌های سنتزکننده آنزیم گلوتامین کیناز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز پرولین به‌صورت خود به خودی) مسیر بیوسنتز پرولین می‌شوند. افزایش غلظت این اسیدآمین در زمان شوری می‌تواند ناشی از چند اتفاق مهم دیگر از جمله ممانعت از تجزیه پرولین، جلوگیری از ورود پرولین به ساختار پروتئین‌ها و یا افزایش تجزیه پروتئین‌ها که خود با کاهش رشد همراه است نیز باشد (Stewart & Voetberg, 1985).

البته شدت ساخت پرولین به‌سرعت و میزان توسعه تنش، نوع و سن اندام و تنوع ژنتیکی درون و بین‌گونه‌ای بستگی دارد (Bajji et al., 2001). نکته قابل توجه دیگر این است که روند افزایش غلظت پرولین در پاسخ به تنش شوری به‌صورت خطی نیست و با افزایش شدت تنش به‌تدریج واکنش تدافعی گیاه کاهش یافته است که این امر ممکن است به‌دلیل این باشد که اعمال تنش شوری شدید به‌صورت یکباره باعث می‌شود متابولیسم گیاه به‌سرعت دچار اختلال شود و گیاه نتواند سازوکار دفاعی مناسبی از خود نشان دهد. هر گونه گیاهی با توجه به توان تحملی که نسبت به یک تنش دارد تا سطح مشخصی پاسخ‌های مقاومت ایجاد می‌کند و چنانچه شدت تنش از سطح مشخصی بالاتر رفت، پاسخ‌های مقاومتی گیاه نیز ضعیف‌تر می‌شود. از دلایل دیگر این موضوع می‌تواند این باشد که پرولین بعد از تنش به‌سرعت شکسته می‌شود تا عامل‌هایی را فراهم کند که باعث حمایت از چرخه فسفوریلاسیون اکسیداتیو در میتوکندری شود و انرژی لازم را برای برگشت از حالت

- vulgare* under north Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2: 571-579.
- Ahmad, P., Ahanger, M.A., Alam, P., Alyemeni, M.N., Wijaya, L. and Ali, S., 2019. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. Journal of Plant Growth Regulation, 38: 70-82.
  - Amuthaselvi, G. and Ambrose, D.C.P., 2016. Fenugreek: 133-138. In: Ambrose, D.C.P., Manickavasagan, A. and Naik, R., (Eds.). Leafy Medicinal Herbs: Botany, Chemistry, Postharvest Technology and Uses. CABI Press, India, 312p.
  - Ashraf, M. and Orooj, A., 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* L. Sprague). Journal of Arid Environments, 64: 209-220.
  - Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Role of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Journal of Environmental and Experimental Botany, 59(2): 206-216.
  - Baatour, O., Zaghdoudi, M., Bensalem, N. and Ouerghi Abidi, Z., 2018. Effects of NaCl on plant growth and antioxidant activities in Fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.). Bioscience Journal, 34(3): 683-696.
  - Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, 160: 669-681.
  - Banakar, M., Amiri, H., Ranjbar, G.H. and Sarafraz Ardakani, M.R., 2020. Determination of salt tolerance threshold and effects of using saline water on grain yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*). Journal of Plant Process and Function, 9(39): 289-309.
  - Bates, L.S., Waldran, R.P. and Tcare, L.D., 1973. Rapid determination of free proline for water studies. Journal of Plant and Soil, 39: 205-208.
  - Bonghi, F. and Loreto, F., 1989. Gas-exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves. Plant Physiology, 90: 1408-1416.
  - Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S. and Scott, M.A., 1999. The use of controlled water stress to manipulate growth of container grown *Rhododendron* cv. Hoppy. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 74(2): 161-169.
  - Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J.K., 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science, 45: 437-448.
- متابولیک در سلول‌های گیاهی شود و از آنجا که در گیاهان مختلف میزان تحمل متفاوت است، این تغییرات موجب کاهش رشد و در شرایط ویژه منجر به مرگ گیاه می‌گردد (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). در ارتباط با اثر توده بر محتوای تریگونلین نیز توده شیراز بیشترین مقدار را نشان داد، نمونه‌های گیاهی از یک گونه که در شرایط مختلف محیطی رشد می‌کنند، تفاوت‌هایی را در میزان تولید و تجمع متابولیت‌های خود نشان می‌دهند. برهم‌کنش شیمیایی بین گیاه و محیط به وسیله تولید متابولیت‌های ثانویه رخ می‌دهد و در واقع این متابولیت‌ها به عنوان عوامل بیولوژیکی در سازگاری گیاه به محیط ایفای نقش می‌کنند (Sampaio *et al.*, 2016). بنابراین مطالعه تغییرات متابولیت‌های ثانویه در شرایط و مناطق با آب‌وهوای متفاوت می‌تواند ما را در کشف چگونگی این برهم‌کنش بین محیط و گیاه یاری کند.
- به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که با توجه به سابقه طولانی کشت گیاه شنبلیله در ایران احتمالاً توده‌های متنوعی پدید آمده که به دلیل سازشی که در طی زمان کسب نموده‌اند، حاوی ژنهای مطلوبی مانند ژنهای مقاومت به خشکی، شوری و مقاومت به آفات و بیماری‌ها شده‌اند. در این مطالعه توده شیراز و اردکان برتری خود را در صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه و همچنین عملکرد نهایی و درصد تریگونلین طی تنش شوری نشان دادند. در کشت گیاه دارویی شنبلیله علاوه بر عملکرد باید به میزان تریگونلین بذر به‌عنوان یک ماده دارویی ارزشمند نیز توجه کرد. بنابراین محل تلاقی بالاترین عملکرد نهایی در بالاترین میزان تریگونلین بذر باید مورد توجه قرار گیرد و سطوح کم تنش (شوری یا خشکی) برای افزایش تریگونلین به گونه‌ای که کمترین درصد کاهش عملکرد را داشته باشیم توصیه می‌شود.

#### منابع مورد استفاده

- Abd El-Wahab, M.A., 2006. The efficiency of using saline and fresh water irrigation as alternating methods of irrigation on the productivity of *Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* var.

- tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, 62: 176-184.
- Matysik, J., Alia Balu, B. and Mohanty, P., 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Sciences*, 82: 525-531.
  - Mehrafarin, A., Qaderi, A., Rezazadeh, Sh., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, Gh. and Zand, E., 2010. Bioengineering of important secondary metabolites and metabolic pathways in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Medicinal Plant*, 9(35): 1-18.
  - Mehrafarin, A., Qavami, N., Naghdi Badi, H. and Qaderi, A., 2012. Trigonelline alkaloid, a valuable medicinal metabolite plant. *Journal of Medicinal Plants*, 1(41S8): 12-29.
  - Moradi, B., Sarahi Noobar, M. and Niknam, V., 2010. Effect of NaCl salinity on protein, pigments, sugars and phenolic compounds contents in calli of some *Trigonella* species. *Science Journal of Tehran University*, 33: 53-59.
  - Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A. and Mishra, S., 2009. Changes in growth and metabolic profile of Chickpea under salt stress. *Journal of Applied Bioscience*, 23: 1436-1446.
  - Munns, R., James, R.A. and Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57: 1025-1043.
  - Niknam, V. and Kiyani, A., 2004. Study of salt stress and drought on some biochemical parameters of *Trigonella* in glass condition. Second Congress of Medicinal Plants, Tehran, Iran, 27-28 January.
  - Noori, K., Amiri, H., Naghdi Badi, H., Torabi, H. and Fotookian, M., 2012. Effects of soil and water salinity on flower yield, soluble components, minerals amount and essence quality of *Matricaria recutita* L. *Journal of Water Research in Agriculture*, 4: 367-378.
  - Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
  - Rongjie, Z., Li, W., Longxing, W., Hongbin, X. and Shaoqing, C., 2010. Determination of trigonelline in *Trigonella foenum-graecum* L. by hydrophilic interaction chromatography. *Chinese Journal of Chromatography*, 28: 379-382.
  - Sampaio, L.B., Edrada-Ebel, R. and Costa, F., 2016. Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants. *Scientific Reports*, 6: 1-11.
  - Satoh, R., Nakashima, K., Seki, M., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2002. ACTCAT, a novel cis-acting element for proline and hypo osmolarity-
  - Cho, Y., Kodjoe, E., Puppala, N. and Wood, A.J., 2011. Reduced trigonelline accumulation due to rhizobial activity improves grain yield in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Soil and Plant Science*, 61: 395-403.
  - Cicek, N. and Cakirlar, H., 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgican Journal Plant Physiology*, 28: 66-74.
  - Fallah, A., Farahmandfar, E. and Moradi, F., 2015. Effect of salt stress on some morphological characters of two rice cultivars during different growth stage at green house. *Agronomy Journal (Pajooresh va Sazandegi)*, 28: 175-182.
  - Farhadi, H., Azizi, M. and Nemati, H., 2014. Effect of salinity stress on morphological and proline content of eight landraces fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 13(2): 411-419.
  - Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. and Jalil Nezhad, N., 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relation in two sugar beet cultivars. *International Journal of Agricultural Science*, 2: 385-392.
  - Ghavami, A. and Ramin, A., 2008. Grain yield and active substances of milk thistle as affected by soil salinity. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, 39: 2608-2618.
  - Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M., 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages: 25-87. In: Ahmad, P., Azooz, M.M. and Prasad, M.N.V., (Eds.). *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. Springer, 512p.
  - Hasanzadeh, E., Rezazadeh, S., Shamsa, S., Dolatabadi, R. and Zarringhalam, J., 2010. Review on phytochemistry and therapeutic properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Journal of Medicinal Plants*, 9(34): 1-18.
  - Heydari sharif abad, H., 2001. *Plant and Salinity*. Publication of Forest and Rangeland Research Institute, Tehran, Iran, 199p.
  - Ibrahim, H.I.M., 2016. Tolerance of two pomegranates cultivars (*Punica granatum* L.) to salinity stress under hydroponic culture conditions. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 6: 38-46.
  - Kerepesi, I. and Galiba, G., 2000. Osmotic and salt stress induced alternation in soluble carbohydrate content in wheat seedling. *Crop Science*, 40: 482-487.
  - Lawlor, D.W. and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25: 275-294.
  - Lopez-Climent, M.F., Rosa, M.V.A. and Gomez-Cadenas, P.C.A., 2008. Relationship between salt

- the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science*, 22: 356-358.
- Stewart, C.R. and Voetberg, G., 1985. Relationship between stress-induced ABA and proline accumulations in Excised barley leaves. *Plant Physiology*, 79: 24-27.
  - Tavangar, A., Karami, L., Hedayat, M. and Abdi, G., 2021. Effect of salinity and drought stress on morphological and biochemical properties of two Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) populations. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2): 1-12.
  - Yarniya, M., Heydari Sharif Abad, H., Hashemi Dezfooli, A., Rahimzade Khoee, F. and Ghalavand, A., 2001. Evaluation of Alfalfa (*Medicago Sativa*) lines to salinity tolerance. *Iranian Journal of Crop Science*, 2: 12-26.
  - responsive expression of the ProDHgene encoding proline dehydrogenase in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 130: 709-719.
  - Shahid, S.A., Zaman, M. and Heng, L., 2018. Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem: 43-53. In: Zaman, M., Shahid, S.A. and Heng, L., (Eds.). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, 164p.
  - Shannon, M.C., 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant and Soil*, 89: 227-241.
  - Shimizu, M.M. and Mazzafera, P., 2000. A role for trigonelline during imbibitions and germination of coffee seeds. *Plant Biology*, 2: 605-611.
  - Somogyi, M., 1952. Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 195: 19-23.
  - Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R.S. and Kulkarni, R.N., 2001. Preliminary observations on

## Effects of salinity stress on physiological and biochemical traits of some fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) populations

P. Arvin<sup>1\*</sup> and R. Firouzeh<sup>2</sup>

1\*- Corresponding author, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran  
E-mail: pooya.arvin@gmail.com

2- Ph.D. of plant physiology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: July 2021

Revised: October 2021

Accepted: October 2021

### Abstract

Salinity is one of the most important and common environmental stresses that affects the quantitative and qualitative yield of many plants. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) is one of the most well-known medicinal plants, which is used in the cure of many diseases due to its various effective compounds such as trigonelline. This study was aimed at investigating the effects of salinity stress on the yield components and some physiological and biochemical characteristics of four fenugreek populations under the greenhouse conditions. The pot factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experimental factors included four populations (Neishabour, Shirvan, Shiraz, and Ardakan) and four salinity levels (0, 30, 60, and 90 mM). At the final stages of growth, the traits including the relative water content (RWC), number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, and content of soluble sugars, proline, and trigonelline were measured in the mature plants. The salinity stress decreased the yield traits such as the number of pods per plant, number of seeds per pod, and 1000-seed weight in the all populations studied. The results showed that the salinity stress also decreased the concentration of soluble sugars and RWC, but increased the content of proline and trigonelline in the seeds. The population Shiraz was superior to the others in terms of the traits studied and showed more efficient mechanisms to tolerate the stress conditions.

**Keywords:** Sodium chloride, trigonelline, proline, yield, yield components.