تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4024.1954

مقاله پژوهشی

بررسی برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه لگجی (*Capparis spinosa* L.) تحت تأثیر تنش شوری

راضیه بلدی[۱]، مجید نبی‌پور[۲*]، معصومه فرزانه[۳]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنتی‌اکسیدان
پراکسیداز
تاریخ کاشت
سوپراکسیددیسموتاز
کاتالاز

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۱/۰۶

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱
۱۵(۳): ۷۴۱-۷۵۰

چکیده

لگجی (*Capparis spinosa* L.) یک گیاه سازگار و چندمنظوره است که می‌تواند فرصتی ارزشمند برای افزایش سطح سبز و جلوگیری از فرسایش خاک در مناطقی با آب‌وهوای گرم و خشک فراهم کند. به‌منظور ارزیابی مقاومت به شوری و تعیین تاریخ کاشت مناسب گیاه لگجی برای ازدیاد موفقیت‌آمیز و تقویت پوشش گیاهی در کانون‌های بحرانی ریزگرد آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده با ۳ تکرار در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارها شامل چهار تاریخ کاشت به‌عنوان فاکتور اصلی (۱۵ مهر، ۱۵ آبان، ۱۵ آذر، ۱۵ دی) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح شوری (شاهد (آب شهری)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ $dS\ m^{-1}$) بود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافتند. مقایسه میانگین ترکیب تاریخ کاشت و شوری نشان داد که در همه تاریخ کاشت‌ها، افزایش شوری سبب کاهش محتوای کلروفیل می‌شود. محتوای کاروتنوئید نیز تحت تأثیر تنش شوری کاهش یافت. کاشت گیاه لگجی در تاریخ ۱۵ مهر و ۱۵ آبان تأثیر مثبتی بر میزان فتوسنتز خالص دارد و اثر شوری در این تاریخ کاشت‌ها بر میزان فتوسنتز کمتر است. با افزایش تنش شوری محتوای پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی محتوای مالون‌دی آلدهید و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) افزایش نشان دادند. مشاهدات ما در مورد محتوای یونی در اندام-هوایی نشان داد که محتوای یون سدیم (Na^+) با زیادشدن میزان شوری افزایش یافت و محتوای یون پتاسیم (K^+) کاهش نشان داد، اما در هر سطح شوری مقدار سدیم کمتر از پتاسیم بود. نتایج خصوصیات فیزیولوژیکی و نسبت Na^+/K^+ نشان داد که گیاه لگجی یک گونه تقریباً متحمل به شوری (تا $15\ dS\ m^{-1}$) است و به نظر می‌رسد که می‌تواند یک گزینه مناسب برای ازدیاد موفقیت‌آمیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک و شور ایران و جلوگیری از فرسایش خاک در این مناطق باشد.

مقدمه

گیاه چندساله لگجی یک بوته بومی مناطق مدیترانه‌ای و مناطق گرمسیری است که به‌صورت وحشی در ترک و شکاف سنگ‌ها و دیوارهای سنگی و مناطق ساحلی صخره‌ای و یا درون مواد مغذی بسیار ضعیف رشد می‌کند (Legua et al., 2013). این گیاه دارای یک سیستم ریشه‌ای عمیق است که مقاوم به شرایط خشکی بوده و می‌تواند درجه حرارت بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند (Suleiman et al., 2012). همچنین متحمل به شوری است و در امتداد ساحل دریاها نیز رشد و شکوفایی دارد (Legua et al., 2013).

با توجه به خشک‌سالی شدید اخیر در ایران و بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کشاورزان تلاش به کشت گیاهان مقاوم به خشکی و شوری (مانند لگجی) به‌جای گیاهان با نیاز آبی بالا نموده‌اند (Sadeghi and Rostami, 2016). کاشت یک محصول جایگزین (مانند لگجی) می‌تواند

* نگارنده پاسخگو: مجید نبی‌پور. پست الکترونیک: m.nabipour@scu.ac.ir

درآمد حاصل از زمین‌های فقیر و حاشیه‌ای را افزایش داده و از مهاجرت روستاییان به شهرها جلوگیری کند. این گیاه به‌صورت وحشی در بخش‌های مختلف ایران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک رشد می‌کند و انواع مختلف استفاده اقتصادی، زیست‌محیطی و دارویی در ایران دارد. بیشتر به‌عنوان دیواری در مقابل باد و تثبیت خاک ماسه‌ای مناسب است و معرفی آن در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک می‌تواند به جلوگیری از اختلال در تعادل اکوسیستم‌های شکننده کمک کند (Sozzi, 2001). به‌تازگی کشت این گیاه برای کاهش اثرات منفی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب غربی ایران آغاز شده است (Sadeghi and Rostami, 2017). با توجه به شرایط آب و هوایی سخت و خشن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرسایش خاک یک مشکل بزرگ این مناطق است. گیاه لگجی به دلیل کانوپی رویشی وسیعی که دارد، سطح خاک را به‌صورت فوق‌العاده‌ای می‌پوشاند، درنتیجه آب خاک را برای یک دوره طولانی‌مدت حفظ کرده و به پایداری سیستم‌های زراعی کمک می‌کند (Rostami et al., 2016). بوته‌های لگجی به دلیل پوشانندگی بالا، خاک را از نور خورشید محافظت کرده و سبب محدودیت در بالا رفتن دمای خاک شده، بنابراین میکروکلیمای خاک را تنظیم می‌کنند (Gan et al., 2013). این گیاه در طیف گسترده‌ای از شرایط خاک رشد می‌کند و با استفاده از سیستم ریشه‌ای عمیق و مقاومت بالایی که در شرایط سخت دارد، می‌توان از آن برای جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کرد (Mussalam et al.,2012). جدا از نقش‌های آن در حفاظت از خاک، اقتصاد قابل‌توجهی از طریق استفاده از ریشه‌ها، جوانه‌ها و میوه‌های آن در صنایع غذایی و دارویی دارد. قسمت‌های مختلف این گیاه در طب سنتی ایران به‌عنوان یک عامل تحریک‌کننده کبد، درمان چروک‌های رگ و ضدرماتیسم است (Ramazani et al., 2009) طبق مطالعات اخیر برای درمان هیستری و اضطراب نیز استفاده می‌شود (Jankju and Tavakoli, 2008). قسمت‌های مختلف این گیاه ازجمله میوه و جوانه‌های گل (کاپر) در سرکه و یا آب‌نمک ذخیره‌شده و به‌عنوان ترشی مصرف می‌شود (Sakcali et al., 2008). در سطح زراعی، این‌گونه منجر به بازده مالی عالی از کشت آن به دلیل مقاومت به تنش‌های محیطی و اهمیت دارویی و ارزش غذایی بالا و اثربخشی زیاد آن در تولید دارو و لوازم‌آرایشی می‌شود (Chedraoui et al., 2017). گیاه لگجی دارای خصوصیات سازگاری قوی به مناطقی با نوسانات آب و هوایی است و پتانسیل‌های زیادی از خود نشان می‌دهد؛ بنابراین به نظر می‌رسد این گونه گزینه مناسبی برای اهلی شدن و حفظ و ترویج در مناطقی که تغییرات آب و هوایی شدید است و تحت تأثیر خشک‌سالی و شوری و فرسایش قرار دارند، است. بااین‌حال مطالعات کمی به بررسی گیاه لگجی پرداخته است.

شوری یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیرزنده در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که سبب کاهش قابل‌توجه در فتوسنتز می‌شود، به‌طوری‌که صفات کلی رشد در گیاهان کاهش می‌یابد. همچنین این تنش باعث افزایش تولید گونه های اکسیژن واکنشگر (ROS) می‌گردد (Saed-Moocheshi et al., 2014). شوری از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک و یا با اثر یون‌های نمکی خاص، به‌ویژه Na+ و Cl- بر رشد گیاه تأثیرگذار است. افزایش فشار اسمزی ناشی از افزایش محتوای نمک بوده و توانایی گیاه در جذب آب را توسط پتانسیل پایین آب برگ کاهش می‌دهد. تحت تنش اسمزی گیاهان نیاز به حفظ پتانسیل آب پایین‌تر از خاک و حفظ فشار اسمزی و جذب آب برای رشد دارند. این نیاز به افزایش در تنظیم‌کننده-های اسمزی یا تجمع محلول های غیر آلی (مانند K^+، Na^+ و Cl^-) و یا با سنتز محلول‌های آلی مانند پرولین، گلیسین و بتائین دارد (Lee et al., 2014). نتایج صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami, 2017) نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در لگجی در پاسخ به شوری افزایش می‌یابد. در این مطالعه همچنین محتوای Na+ تحت تنش شوری در برگ‌های لگجی افزایش یافت درحالی‌که محتوای K^+ کاهش یافت. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که محتوای پرولین آزاد و پروتئین گیاه لگجی تحت هر دو تنش خشکی و شوری افزایش یافت (Sadeghi and Rostami, 2017).

تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه بسیار بااهمیت بوده و از عوامل مهم جهت رسیدن به حداکثر عملکرد بالقوه در گیاهان است. تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فیزیولوژیکی گیاه باعث می-شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در یک منطقه بسته به اختلاف ژنتیکی میان ارقام، فرق کند (Hadley et al., 1983; Sundhu,1984). لگجی یکی از چندگونه‌ای است که به‌صورت وحشی در تابستان در مناطق خشک رشد می‌کند و گل می‌دهد (Rhizopoulos,1990)؛ اما در مورد انتخاب زمان مناسب کشت این گیاه اطلاعاتی در دسترس نیست، لذا

به‌منظور دستیابی به تاریخ کاشت مناسب هر منطقه می‌بایست بررسی‌های لازم صورت گیرد. آزمایش حاضر با هدف تعیین تغییرات در خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و همچنین نسبت یون‌های سدیم به پتاسیم تحت تنش شوری جهت ارزیابی مقاومت به شوری و تعیین بهترین تاریخ کاشت گیاه لگجی انجام شد. همچنین با کسب نتایج حاصل از این تحقیق، استعداد، توانمندی، جایگاه توسعه و ترویج این گیاه در اراضی فرسایش‌پذیر و شور که تبدیل به کانون ریزگردها شده‌اند معلوم شود.

مواد و روش‌ها

بذرهای مورداستفاده (*Capparis spinosa* L.) در این تحقیق در فصل تابستان ۱۳۹۷ از بیابان‌های اطراف شهرستان اهواز جمع‌آوری شد و پس از جدا کردن از میوه و شستشو به مدت ۵ دقیقه با آب مقطر و اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. این پژوهش در سال ۹۸-۱۳۹۷، به‌صورت گلدانی در شرایط طبیعی مزرعه آزمایشی شماره یک گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی) اجرا شد. در این پژوهش برای رفع خواب بذرها از روش خراش‌دهی مکانیکی با استفاده از کاغذ سمباده و سپس قرار دادن بذرها به مدت ۶ دقیقه در محلول اسید جیبرلیک با غلظت $1500\ mg\ l^{-1}$ استفاده گردید. طرح اجرای آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار بود. تیمارها شامل چهار تاریخ کاشت به‌عنوان فاکتور اصلی (۱۵ مهر، ۱۵ آبان، ۱۵ آذر، ۱۵ دی) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح شوری (شاهد (آب شهری)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ $dS\ m^{-1}$) بود.

در این پژوهش برای هر واحد آزمایشی ۱۰ گلدان (پلاستیکی با قطر ۳۰ و عمق ۴۰ سانتی‌متر) پرشده با خاک ماسه‌ای و کود دامی پوسیده‌شده (به نسبت ۱:۳) در نظر گرفته شد. تعداد ۴۰ بذر پرایم شده در تاریخ کاشت‌های موردنظر در هر گلدان کاشته شد و آبیاری گلدان‌ها به میزان کافی با آب لوله شهری انجام می‌گرفت. پس از جوانه‌زنی بذرها و استقرار گیاهچه‌ها، میزان بوته به ۵ عدد در هر گلدان کاهش یافت. به‌منظور تأمین نیازهای غذایی لگجی از کود NPK 20:20:20 (تقریباً ۲ گرم در هر بوته) استفاده شد. در مرحله ۸ برگی آزمایش شوری آغاز گردید و برای تهیه تیمارهای شوری از نمک کلرید سدیم استفاده شد (Sadeghi Rostami, 2017). برای جلوگیری از شوک ناگهانی به گیاهان، تیمارهای شوری به‌صورت پلکانی اعمال شد (Noroozi et al, 2015). بدین‌صورت که در روز نخست اعمال تنش شوری به‌غیراز تیمار شاهد بقیه تیمارها با آب‌شور دارای غلظت ۵ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند و در روزهای بعد تا رسیدن به شوری نهایی موردنظر در هر دوره آبیاری ۵ دسی‌زیمنس بر شوری آب افزوده گردید تا تیمارها ثابت شدند. در انتها از آب خروجی از ته گلدان‌ها برای اندازه‌گیری EC خاک استفاده شد و گلدان‌هایی که شوری آن‌ها بیش‌ازاندازه موردنظر بود آبشویی انجام شد تا به میزان موردنظر برسند.

اندازه‌گیری صفات

اندازه‌گیری‌ها برای این آزمایش ده روز پس از اعمال بالاترین سطح تنش شوری آغاز شد. بدین‌صورت که برگ گیاهان جدا شد و در مخزن یخ برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل گردید. به‌منظور سنجش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیلها و کاروتنوئیدها) از روش لیچتنتالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. قرائت در طول‌موج‌های ۶۶۳ (کلروفیل a)، ۶۴۶ (کلروفیل b) و ۴۷۰ نانومتر (کارتنوئیدها) به‌وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل unic ساخت آلمان) صورت گرفت. درنهایت با استفاده از فرمول‌های زیر غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$Chlorophyll\ a\ (\mu g\ l^{-1}) = 12.25A_{663} - 2.79A_{646} \quad [1]$$

$$Chlorophyll\ a\ (mg\ g^{-1}) = Chl.\ a\ (\mu g\ l^{-1})(V)/1000W \quad [2]$$

$$Chlorophyll\ b\ (\mu g\ l^{-1}) = 21.50A_{646} - 5.10\ A_{663} \quad [3]$$

$$Chlorophyll\ b(mg\ g^{-1}) = Chl.\ B\ (\mu g\ l^{-1})(V)/1000W \quad [4]$$

$$Carotenoides\ (\mu g\ l^{-1}) = 1000A470 - 1.82\ chl.\ a - 85.02\ chl.\ b)/198 \quad [5]$$

$$Carotenoides\ (mg\ g^{-1}) = Car\ (\mu g\ l^{-1})(V)/1000W \quad [6]$$

در اینجا V حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A جذب نور در طول‌موج‌های ذکرشده و W وزن تر نمونه برحسب گرم است. به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم

کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز برگ از روش کک‌مک و مارچنر (Cakmak and Marschner,1992) استفاده شد. درنهایت قرائت توسط اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر برای کاتالاز، ۲۹۰ نانومتر برای آسکوربات پراکسیداز و ۴۷۰ نانومتر برای پراکسیداز صورت گرفت. به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ با استفاده از روش بیوچامپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971). قرائت توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر صورت گرفت. قرائت شاهد یک‌بار در تاریکی و یک‌بار در روشنایی صورت می‌گیرد. جهت سنجش غلظت مالون‌دی-آلدهید از روش استوارت و بولی (Stewart and Beweley, 1980) و جهت سنجش غلظت پروتئین‌های محلول از روش لوری (Lowry et al., 1995) استفاده گردید. با استفاده از استانداردها، غلظت پروتئین برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و درنهایت برحسب میلی‌گرم در یک گرم وزن تر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم اندام هوایی با استفاده از روش هامادا و ال‌انانی (Hammada and EL-Enany, 1994) با دستگاه فلوم فتومتر تعیین شد.

برای تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS 9.3 استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

در مورد واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی لگجی به تنش شناخت کمی وجود دارد و مطالعات اندکی به بررسی گیاه لگجی پرداخته است.

محتوای کلروفیل a، b کل و کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که شوری اثر معنی‌داری بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی دارد. اثر متقابل تاریخ کاشت و شوری فقط بر محتوای کلروفیل a و b و کل اثر معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). مقایسه میانگین ترکیب تاریخ کاشت و شوری نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل a و b و کل مربوط به تیمار شاهد شوری در تاریخ کاشت ۱۵ آبان و سپس ۱۵ مهر است و کمترین میزان این صفات در شوری ۴۵ $dS\ m^{-1}$ در همین دو تاریخ کاشت به دست آمد. در دو تاریخ کاشت ۱۵ آذر و ۱۵ دی نیز شوری سبب کاهش محتوای کلروفیل شده است (جدول ۲). میزان کاهش در محتوای کلروفیل a نسبت به کلروفیل b بیشتر است. نتایج نشان داد که محتوای کارتنوئید تحت تنش شوری کاهش یافت (شکل ۱). آزوز و همکاران (Azooz et al., 2011) استدلال کرده‌اند که کاهش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری مربوط به تخریب رنگ‌دانه و بی‌ثباتی کمپلکس رنگ‌دانه است. این اتفاق احتمالاً مربوط به دخالت یون‌های نمکی با محتوای ساختاری کلروفیل و سنتز پروتئین به‌جای تعلیق کلروفیل است (Jaleel et al., 2008). نتایج آزمایش صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami, 2017) نیز نشان داد شوری اثر منفی بر محتوای کلروفیل گیاه لگجی دارد. متوقف شدن بیوسنتز رنگ‌دانه‌ها احتمالاً از سرکوب دلتاآمینولولینیک‌اسید و پروتوکلروفیلیدرردکتاز توسط شوری منجر شود. غلظت بالای سدیم تحت شرایط شور جذب منیزیم را کاهش می‌دهد و ازآنجاکه منیزیم عنصر کلیدی برای بیوسنتز کلروفیل است، محتوای آن کاهش می‌یابد (Parida and das, 2005). در آزمایشی دیگر شوری میزان کلروفیل a را کاهش داد و کمترین میزان کلروفیل a برای تنش شوری شدید ثبت شد (Pirasteh et al,. 2011).

فتوسنتز خالص

نتایج تجزیه واریانس برای صفت فتوسنتز (جدول ۱) نشان داد که هم تاریخ کاشت و هم شوری اثر معنی‌داری بر این صفت دارند. مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و شوری بر فتوسنتز خالص نشان داد که کاشت گیاه لگجی در تاریخ ۱۵ مهر و ۱۵ آبان تأثیر مثبتی بر میزان فتوسنتز خالص دارد و اثر شوری در این تاریخ کاشت‌ها بر میزان فتوسنتز کمتر است. بیشترین فتوسنتز خالص مربوط به تیمار شاهد شوری در تاریخ کاشت آبان و سپس مهر است و کمترین میزان فتوسنتز خالص مربوط به شوری ۴۵ $dS\ m^{-1}$ در تاریخ کاشت ۱۵ دی است (جدول ۲). احتمالاً بالا بودن دما در انتهای فصل رشد برای تاریخ کاشت‌های ۱۵ آذر و ۱۵ دی نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ مهر و ۱۵ آبان سبب تأثیر بیشتر شوری به‌واسطه تبخیر و تعرق بیشتر و افزایش تنفس نوری و درنهایت کاهش فتوسنتز خالص شده است. اولین اثر شوری بر گیاه، اثر اسمزی است بنابراین گیاه با بستن روزنه‌های خود برای کاهش تعرق با این اثر مقابله می‌کند. همچنین برگ‌های گیاه در معرض شوری لایه‌های بیشتری از سلول‌های مزوفیل را توسعه می‌دهد و مقاومت مزوفیلی برای دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. افزایش مقاومت روزنه‌ای به همراه مقاومت

مزوفیلی سبب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن بین سلولی شده و واکنش اکسیژنازی رابیسکو را تقویت می‌کند که این امر سبب افزایش تنفس نوری و کاهش فتوسنتز خالص می‌شود (Geissler et al., 1988).

پروتئین

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که محتوای پروتئین محلول تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت و با افزایش شوری محتوای پروتئین محلول کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین میزان پروتئین محلول در تیمار شاهد مشاهده شد و کمترین میزان پروتئین محلول در سطوح شوری ۳۰ و ۴۵ dS m^{-1} مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). در آزمایش صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami,2017) محتوای پروتئین گیاه لگجی تحت تنش شوری افزایش یافت. کاهش در محتوای پروتئین در غلظت‌های بالای NaCl ممکن است به دلیل هیدرولیز و یا کاهش سنتز پروتئین‌ها باشد (Hall and Flowers, 1973)

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده

Table1. Analaysis of variance (Mean square) for measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فتوسنتز Photosynthesis	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	پروتئین Protein
بلوک Block	2	0.50^{ns}	0.015^{ns}	0.012^{ns}	0.009^{ns}	0.017^{ns}	0.09^{ns}
تاریخ کاشت Planting date	3	34.23**	0.013^{ns}	0.002^{ns}	0.001^{ns}	0.018^{ns}	1.08^{ns}
خطای الف Error a	6	1.03	0.065	0.009	0.010	0.113	1.60
شوری Salinity	3	92.75**	0.985**	0.085**	0.112**	1.647**	27.70**
تاریخ کاشت×شوری PD*S	9	3.25*	0.066*	0.008*	0.006^{ns}	0.118*	0.60^{ns}
خطا Error	24	0.92	0.015	0.002	0.004	0.026	0.48
ضریب تغییرات (٪) C.V(%)		*12.83*	*22.35*	*15.96*	*23.43*	*18.25*	*9.57*

جدول ۱. ادامه

Table1.Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مالون دی‌آلدهید MDA	محتوای سدیم Sodium content	محتوای پتاسیم Potassium content	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	پراکسیداز peroxidase
بلوک Block	2	0.45^{ns}	11.52^{ns}	17.31^{ns}	3.75^{ns}	360.30^{ns}	1.97^{ns}	86.71^{ns}
تاریخ کاشت Planting date	3	2.64^{ns}	16.26*	37.93*	15.59^{ns}	4.45^{ns}	19.89^{ns}	303.62**
خطای الف Error a	6	1.73	2.91	3.04	8.36	144.98	9.40	24.22
شوری Salinity	3	35.04**	122.97**	487.66**	668.99**	2447.78**	224.15**	1187.77**
تاریخ کاشت×شوری PD*S	9	1.19^{ns}	3.01^{ns}	22.85^{ns}	10.88^{ns}	83.42^{ns}	3.84^{ns}	54.55^{ns}
خطا Error	24	0.34	1.57	10.09	1.93	38.76	5.78	20.89
ضریب تغییرات (٪) C.V(%)		*19.15*	*10.45*	*12.13*	*8.43*	*15.33*	*28.97*	*19.30*

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, **,ns respectively at a probability level of 5,1% and not meaningful.

جدول ۲. مقایسه میانگین سرعت فتوسنتز و محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی گیاه لگجی در ترکیب تاریخ کاشت و شوری

Table2. mean comparisons of photosynthesis and pigment content of caper plant at Planting date× salinity treatment

تاریخ کاشت Planting date	سطوح شوری Salinity levels	فتوسنتز Photosynthesis	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll
	$ds.m^{-1}$	$\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$	----------	$mg.g^{-1}fw$	----------
	شاهد (Control)	12.37^{ab}	0.88^{b}	0.41^{b}	1.29^{b}
۱۵ مهر	15	10.72^{c}	0.75^{bcd}	0.34^{bcd}	1.10^{bcd}
(7 October)	30	7.01^{edf}	0.54^{efg}	0.33^{bcde}	0.87^{de}
	45	5.77^{fg}	0.20^{ij}	0.22^{g}	0.42^{g}
	شاهد (Control)	13.65^{a}	1.18^{a}	0.53^{a}	1.72^{a}
۱۵ آبان	15	8.16^{d}	0.67^{cdef}	0.39^{bc}	1.06^{bcd}
(6 November)	30	7.17^{def}	0.31^{hij}	0.24^{fg}	0.55^{fg}
	45	6.25^{ef}	0.16^{j}	0.20^{g}	0.36^{g}
	شاهد (Control)	11.24^{bc}	0.73^{bcde}	0.37^{bc}	1.10^{bcd}
۱۵ آذر	15	7.05^{def}	0.64^{def}	0.37^{bc}	1.01^{cd}
(6 December)	30	4.30^{gh}	0.39^{ghi}	0.32^{cdef}	0.71^{ef}
	45	4.42^{gh}	0.31^{hij}	0.24^{fg}	0.56^{fg}
	شاهد (Control)	7.78^{de}	0.87^{bc}	0.39^{bc}	1.26^{bc}
۱۵ دی	15	5.71^{fg}	0.60^{def}	0.32^{bcdef}	0.93^{de}
(5 January)	30	4.39^{gh}	0.31^{hij}	0.25^{efg}	0.56^{fg}
	45	3.99^{h}	0.46^{fgh}	0.26^{defg}	0.72^{ef}

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر برخی صفات اندازه‌گیری شده

Table3. mean comparisons of effects of planting date on some measured traits

تاریخ کاشت Planting date	محتوای سدیم Sodium content	محتوای پتاسیم Potassium content	پراکسیداز Peroxidase
	---------- $mg.g^{-1}fw$ ----------		u/mg protein
۱۵ مهر (7 October)	12.12^{ab}	26.13^{b}	21.21^{cb}
۱۵ آبان (6 November)	13.56^{a}	28.67^{a}	18.11^{c}
۱۵ آذر (6 December)	10.89^{b}	25.25^{b}	25.89^{ab}
۱۵ دی (5 January)	11.38^{b}	24.63^{b}	29.50^{a}

اعداد با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

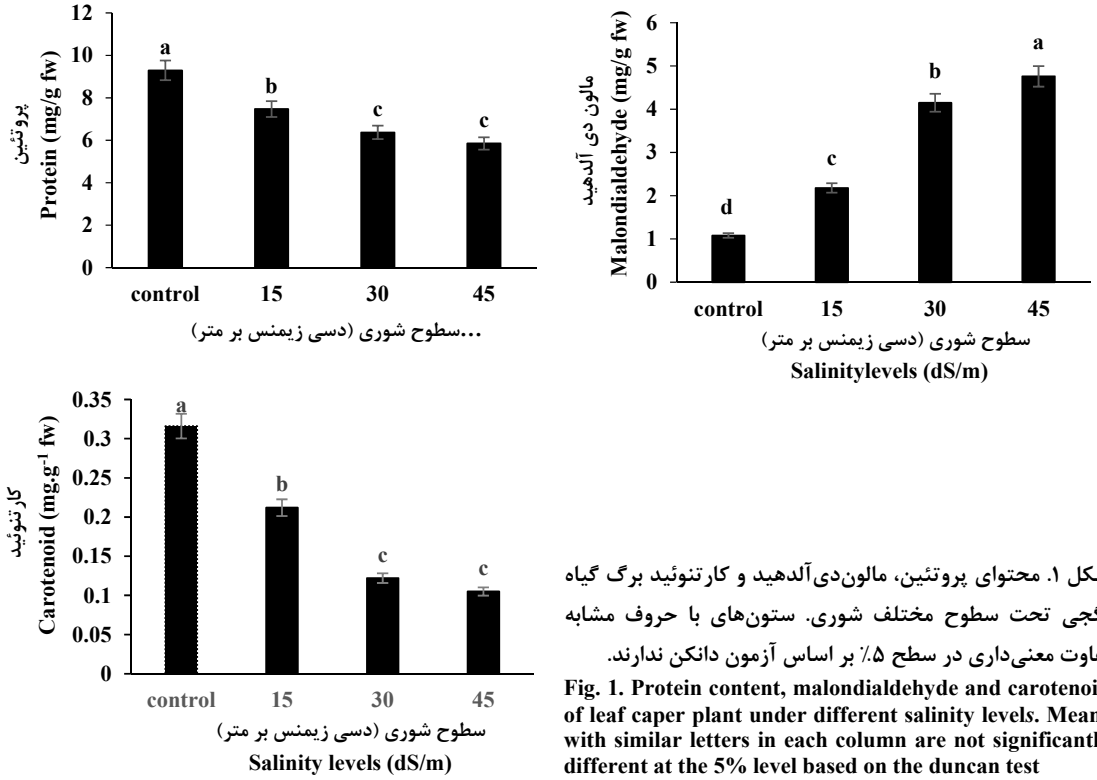
Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level based on the duncan test

مالون‌دی‌آلدهید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ لگجی تحت تأثیر شوری قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر شوری بر غلظت مالون‌دی‌آلدهید نشان داد که با افزایش شوری غلظت مالون‌دی‌آلدهید برگ لگجی افزایش می یابد (شکل ۱). کمترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در تیمار شاهد و بیشترین میزان آن در شوری ۴۵ $dS\ m^{-1}$ مشاهده شد که بیانگر تخریب و تجزیه شدید غشاء سلولی تحت تأثیر شوری است.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

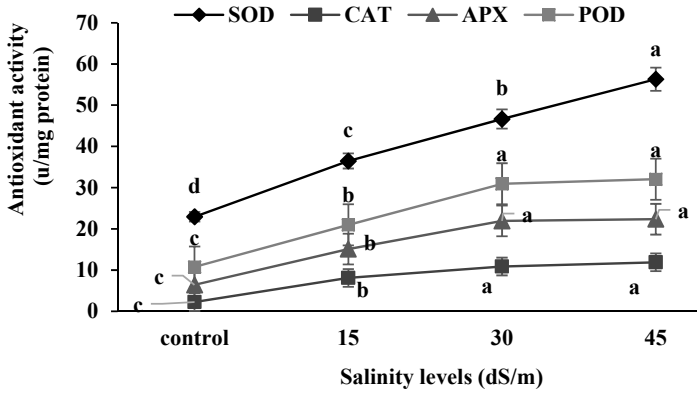
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) تحت تأثیر شوری قرار گرفت (جدول ۱) و با افزایش شوری فعالیت هر چهار آنزیم افزایش یافت (شکل ۲). تنها آنزیمی که تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت آنزیم پراکسیداز بود (جدول ۱) و بیشترین مقدار این آنزیم مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ دی و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ آبان است. بیشترین مقدار واکنش به شوری مربوط به آنزیم سوپراکسیددیسموتاز است و سه آنزیم دیگر واکنش کمتری به شوری نشان دادند به‌طوری‌که برای سطوح ۳۰ و ۴۵ $dS\ m^{-1}$ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ولی بیشترین مقدار فعالیت آن‌ها مربوط به همین سطوح ۳۰ و ۴۵ $dS\ m^{-1}$ است و کمترین میزان فعالیت مربوط به تیمار شاهد است.



شکل ۱. محتوای پروتئین، مالون‌دی‌آلدهید و کارتنوئید برگ گیاه لگجی تحت سطوح مختلف شوری. ستون‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig. 1. Protein content, malondialdehyde and carotenoid of leaf caper plant under different salinity levels. Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level based on the duncan test

.



شکل ۲. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت سطوح مختلف شوری. میانگین‌های با حروف مشابه در هر خط تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig. 2. Antioxidant enzymes' activity under different salinity levels. Means with similar letters in each line are not significantly different at the 5% level based on the duncan test. SOD: Superoxide dismutase, CAT: catalase, POD: peroxidase, and APX: ascorbate peroxidase.

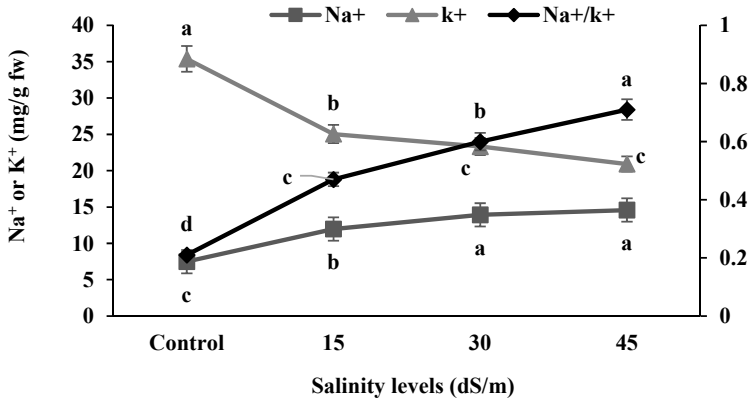
وقتی گیاه در معرض تنش‌های محیطی مختلف ازجمله شوری قرار می‌گیرد تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (ROS) افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند منجر به آسیب سلول‌ها و اجزای سلولی شود. در گیاهان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی هر دو در از بین بردن اثرات سوء گونه های اکسیژن واکنشگر نقش دارند (Munns and Tester, 2008). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز با کاهش میزان

H_2O_2 و تبدیل آن به آب، نقش اساسی در دفع مسمومیت حاصل از گونه‌های اکسیژن واکنشگر ایفا می‌کنند (Munns and Tester, 2008). در آزمایش صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami, 2017) نیز میزان فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدانی در لگجی در پاسخ به شوری افزایش یافت.

محتوای یون‌های سدیم و پتاسیم و نسبت Na^+/K^+

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای یون‌های سدیم و پتاسیم تحت تأثیر شوری قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین اثر تاریخ کاشت بر محتوای یون‌های سدیم و پتاسیم در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. بیشترین میزان این یون‌ها مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ آبان و کمترین مربوط به سه تاریخ کاشت دیگر بود که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۲). با افزایش شوری محتوای یون سدیم برگ گیاه لگجی افزایش یافت درحالی‌که محتوای یون پتاسیم کاهش پیدا کرد (شکل ۳). کمترین محتوای یون سدیم مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان آن مربوط به سطوح ۳۰ و ۴۵ $dS\ m^{-1}$ بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۳). کمترین میزان یون پتاسیم مربوط به سطح شوری ۴۵ $dS\ m^{-1}$ و بیشترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد بوده است (شکل ۳).

بیشترین میزان نسبت Na^+/K^+ نیز مربوط به سطح شوری ۴۵ $dS\ m^{-1}$ و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بوده است و با افزایش شوری میزان این نسبت افزایش یافت. با توجه به شکل ۳ در هر سطح شوری مقدار پتاسیم بیشتر از سدیم برگ بوده است ولی با افزایش مقدار شوری روند پتاسیم در عین بزرگ‌تر بودن از سدیم کاهشی است و نسبت Na^+/K^+ در هر سطح شوری به دلیل کمتر بودن مقدار سدیم نسبت به پتاسیم، کمتر از یک است. به دلیل افزایش تجمع سدیم و کلر در شرایط شوری، تعادل یونی در سلول‌ها به‌هم‌خورده و درنتیجه باعث کاهش جذب عناصر ضروری مثل پتاسیم می‌شود (Abdeshahian et al., 2014). در مطالعه‌ای که توسط صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami, 2017) انجام گرفت نتایج نشان داد که محتوای یون سدیم در برگ های گیاه لگجی تحت تنش شوری افزایش یافت درحالی‌که محتوای یون پتاسیم کاهش یافته است. شوری معمولاً توسط سدیم کلرید در خاک باعث عدم بالانس در تعادل یونی در محلول خاک می‌شود و درنتیجه جذب عناصر معدنی و همچنین پتاسیم در گیاه کاهش می‌یابد (Aroka et al., 2007). در مطالعه صادقی و رستمی (Sadeghi and Rostami, 2017) گیاه لگجی افزایش معنی‌داری در مقدار یون سدیم در پاسخ به شوری ۴ و ۸ $dS\ m^{-1}$ نشان نداد بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان یک گیاه تقریباً مقاوم به شوری نظر گرفت.



شکل ۳. محتوای یون‌های سدیم و پتاسیم و نسبت Na+/K+ تحت سطوح مختلف شوری. میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر خط تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Fig3. Sodium and potassium content in additon to their ration (Na+ /K+) under different salinity levels. Means with similar letters in each line are not significantly different at the 5% level based on the duncan test.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی لگجی در پاسخ به شوری افزایش می‌یابد. شوری اثر منفی بر محتوای کلروفیل و محتوای پروتئین گیاه لگجی داشت. با بررسی استقرار گیاهان باقی‌مانده در ادامه فصل رشد، گیاهان تیمار شده با سطوح شوری ۳۰ و ۴۵ dS m^{-1} بعد از دو هفته آبیاری با آب‌شور از بین رفتند درحالی‌که گیاهان مربوط به تیمار شاهد و سطح شوری ۱۵ dS m^{-1} تا آخر فصل رشد باقی ماندند؛ بنابراین می‌توان گیاه لگجی را یک گونه تقریباً متحمل به شوری (تا 15 dS m^{-1}) در نظر گرفت که می‌تواند یک گزینه مناسب برای ازدیاد موفقیت‌آمیز در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک و شور و جلوگیری از فرسایش خاک در این مناطق باشد؛ بنابراین استفاده از این گیاه به دلیل انعطاف‌پذیری به شوری و خشکی می‌تواند علاوه بر به حداقل رساندن از دست رفتن محصول و درآمد حاصل از آن در مناطقی با بارش نامشخص و زمین‌هایی با خاک شور، فرصتی ارزشمند برای افزایش سطح سبز و جلوگیری از فرسایش خاک فراهم کند و اثرات منفی پدیده گردوغبار را به‌ویژه در مناطق جنوب و جنوب غربی کاهش دهد.

منابع

Abdeshahian, M., Nabipour, M., Meskarbashi, M., Rahdarian, S., 2014. Effect of salinity stress on photosynthesis, stomatal conductance and chlorophyll content of wheat leaf (*Triticum aestivum*). 13th Iranian Conference on Agriculture and Plant Breeding and 3rd Iran Seed Science and Technology Conference. Karaj. 5p. [In Persian]. https://civilica.com/doc/313439

Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2007. How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in Phaseolus vulgaris under drought, cold or salinity stresses? New Phytologist. 173, 808–816.

Azooz, M.M., Youssef, A.M., Ahmad, P., 2011. Evaluation of salicylic acid (SA) application on growth, osmotic solutes and antioxidant enzyme activities on broad bean seedlings grown under diluted seawater. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry. 3, 253–264.

Beauchamp, C., Fridovich, I., 1971. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acryl amide gels. Analytical Biochemistry. 44, 276- 286.

Cakmak, I., Marschner, H., 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiology. 98, 1222-1227.

Chedraoui, S., Abi-Rizk, A., Beyrouthy, M., Chalak, L., Ouaini, N., Rajjou, L., 2017. *Capparis spinosa* L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities. Frontiers in Plant science. 8, 18-45.

Gan, L., Zhang, C., Yin, Y., Lin, Z., Huang, Y., Xiang, J., 2013. Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, Capparis spinosa, to drought conditions. Horticulture, Environment and Biotechnology. 54, 156–161.

Geissler, N., Hussin, S., Wkoyro, H., 1988. Elevated atmospheric CO_2 concentration ameliorates effects of NaCl salinity on photosynthesis and leaf structure of *Aster tripolium* L. Exprimental Botony. 60, 137-151.

Hadley, P., Summerfield, R.J., Roberts, E.H., 1983. Effect of temperature and photoperiod on reproductive development of selected grain legume crops. In: Jones, D.G., Davis, D.R. (eds), Temperate Legumes. London: Pitman Books, 19-41.

Hall, J.L., Flowers, T.J., 1973. The effect of salt on protein synth esis in halophyte Suaeda maritime. Planta.110, 361-368.

Hamada, A.M., EL-Enany, A.E., 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Biologia Plantarum. 36, 75-81.

Jaleel, C.A., Kishorekumar, A., Manivannan, P., Saankar, B., Gomathinayagam, M., Panneerselvam, R., 2008. Salt stress mitigation by calcium chloride in *Phyllanthus amarus*. Acta Botanica Croatica. 67, 53–62.

Jankju-Borzelabad, M., Tavakkoli, M., 2008. Investigating seed germination of 10 arid-land plantspecies. Iranian Journal of Range and Desert Research. 15(2), 215-226.

Lee, S.Y., 2014. Influence of salicylic acid on rubisco and rubisco activase in tobacco plant grown under sodium chloridein vitro. Saudi Jornal of Biological Sciences. 21(5), 417-426.

Legua, P., Martínez, J., Melgarejo, P., Martínez, R., Hernández, F., 2013. Phenological growth stages of caper plant (*Capparis spinosa* L.) according to the Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical scale. Annals of Applied Biology. 163, 135–141.

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

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J., 1995. Protein measurement with the folin phenol reagent. Biology Chemistry. 193, 265- 276.

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanism of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59, 651-681.

Mussalam, I., Duwayri, M., Shibi, R., Alali, F., 2012. Investigation of rutin content in different plant parts of wild caper (*Capparis spinosa* L.) populations from Jordan. Research Journal of Medicinal Plants. 6, 27-36.

Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology Environmental Safety. 60(3), 324-349.

Pirasteh Anosheh, H., Sadeghi, H., Emam, Y., 2011. Chemical priming with urea and KNO_3 enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. Crop Science and Biotechnology. 14. 289–295.

Ramazani, M., Taghvaei, M.M., Masoudi, M., Riahi, A., Behbahani, N., 2009. The evaluation of drought and salinity effects on germination and seedling growth of Caper (*Capparis spinosa* L.). Iranian Journal of Rangeland. 2(4), 411-42. [In Persian with English summary].

Rhizopoulou, S., 1990. Physiological responses of *Capparis spinosa* L. to drought. Plant Physiology. 136(3), 341-348.

Rostami, L., Sadeghi, H., Hosseini, S., 2016. Response of caper plant to drought and different ratios of calcium and sodium chloride. Planta Daninha. 34, 259–266.

Sadeghi, H., Rostami, L., 2016. Evaluating the physiological and hormonal responses of caper plant (*Capparis spinosa*) subjected to drought and salinity. Desert. 21, 49–55.

Sadeghi, H., Rostami, L., 2017. Changes in biochemical characteristics and Na and K content of caper (*Capparis spinosa* L.) seedlings under water and salt stress. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS). 118(2), 199-206.

Saed-Moocheshi, A., Shekoofa, A., Pessarakli, M., 2014. Reactive oxygen species (ROS) generation and detoxifying in plants. Plant Nutrition. 37, 1573–1585.

Sakcali, M.S., Bahadir, H., Ozturk, M., 2008. Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant suitable for combating desertification. Pakistan Journal of Botany. 40(4), 1481-1486.

Sandhu, P., 1984. Effect of sowing dates, phosphorus, levels and herbicides on the response of rhizobium inoculation in Lentil. Lens Newsletter. 11, 35.

Sozzi, G.O., 2001. Caper bush: Botany and Horticulture. Horticultural Reviews. 27, 125–128.

Stewart, R.C., Beweley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology. 65, 245-248.

Suleiman, M. K., Bhat, N. R., Jacob, S., Thomas, R. R., 2012. Effect of rooting hormones (IBA and NAA) on rooting of semi hardwood cuttings of *Capparis spinosa*. Agriculture and Biodiversity Research. 1, 135–139.