آماده انتشار

اثر تنش شوری بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکردی گالگا (*Galega officinalis*) در محیط‌های کشت متنوع

ناصر صمصامی[۱]، جلال جلیلیان*[۲]، اسماعیل قلی نژاد[۳]، راحله طهماسبی[۴]

[۱]دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: n.samsami@urmia.ac.ir

[*۲]نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.jalilian@urmia.ac.ir

[۳] دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: e_gholinejad@pnu.ac.ir

[۴]استادیار گروه شیمی تجزیه-کروماتوگرافی، جهاد دانشگاهی واحد آذربایجان غربی، ارومیه. ایران. رایانامه: r.t.tahmasebi@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف: تنش شوری یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی است که به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌طور فزاینده‌ای احساس می‌شود. گیاهان مختلف نسبت به شوری واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند و درک این واکنش‌ها می‌تواند به بهبود روش‌های کشاورزی و افزایش تاب‌آوری گیاهان کمک کند. گالگا (*Galega officinalis* L.) گیاهی علفی و چند ساله متعلق به تیره پروانه‌آسا می‌باشد. قسمت هوایی آن حاوی مجموعه‌ای از مواد کاهنده قند خون می‌باشد و از این گیاه به عنوان ضد دیابت استفاده می‌شود. علاوه بر کاربردهای زراعی، گالگا دارای خواص دارویی نیز است. در طب سنتی، از آن برای درمان بیماری‌های مختلف از جمله دیابت، مشکلات گوارشی و التهابات استفاده می‌شود. گیاه گالگا به عنوان یک منبع ارزشمند پروتئین و علوفه، به خاطر ویژگی‌های مرفولوژیک و عملکردی‌اش در شرایط نامساعد محیطی مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی واکنش‌های محصول و اجزای عملکرد گیاه گالگا به تیمار تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت انجام شد.

مواد وروش‌ها: این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه محیط کشت (گلخانه، گلدان معمولی در هوای آزاد و گلدان بزرگ در مزرعه) در سال زراعی ۱۴۰۲ در دانشگاه ارومیه اجرا شد. تنش شوری در سه سطح، ۰/۱ (شاهد)، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. صفات مختلف زراعی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه اصلی، عملکرد بیولوژیک، کارآیی مصرف آب بیوماس، عملکرد دانه، کارآیی مصرف اب عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن خشک بذر با غلاف، تلاش بازآوری، شاخص برداشت، سدیم، پتاسیم و پرولین اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها: تنش شوری در هر سه محیط کشت سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه اصلی، بیوماس، عملکرد، اجزای عملکرد دانه پتاسیم برگ گالگا و افزایش میزان پرولین و سدیم نسبت به شاهد شد. در شرایط گلخانه بوته‌ها وارد مرحله زایشی نشدند. بیشترین ارتفاع بوته (۷۱/۶۶ سانتی‌متر) و وزن ۱۰۰۰ دانه (۵/۳۷ گرم) در تیمار شاهد و کشت مزرعه‌ای و کمترین ارتفاع (۳۱/۶۴ سانتی‌متر) و وزن هزار دانه (۴/۳۳ گرم) در تنش شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و در شرایط کشت گلدانی هوای آزاد بدست آمد. در شرایط بدون شوری (شاهد)، بیشترین و کمترین عملکرد دانه (۵/۸۲ و ۲/۳۵ گرم در بوته) به ترتیب در شرایط مزرعه و گلدانی هوای آزاد بدست آمد.

نتیجه‌گیری: کشت گلدانی گالگا در هوای آزاد در شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، حداکثر عملکرد را تولید کرد و همچنین به دلیل برتری کارآیی مصرف آب براساس عملکرد دانه، این روش کشت برای شرایط شور پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، کارآیی مصرف آب، کشت گلدانی، گالگا، شوری

The effect of salinity stress on some morpho-physiological and yield characteristics of Galega (*Galega officinalis)* in various cultivation environments

Naser Samsami[1], Jalal Jalilian*[2] , Esmaeil Gholinezhad[3] , Raheleh Tahmasebi[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: n.samsami@urmia.ac.ir

[2*]Corresponding author, Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir

[3]Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: e_gholinejad@pnu.ac.ir

[4]Associate Professor, Research and Department of Chromatography, Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Urmia, Iran. E-mail: r.t.tahmasebi@gmail.com

Abstract

Introduction: Salinity stress is one of the most important environmental challenges that is increasingly felt, especially in arid and semi-arid regions of the world. Different plants respond differently to salinity, and understanding these responses can help improve agricultural practices and increase plant resilience. Galega (*Galega officinalis* L.) is an herbaceous perennial plant belonging to the family Lepidaceae. Its aerial part contains a set of substances that lower blood sugar and this plant is used as an antidiabetic. In addition to agricultural applications, Galega also has medicinal properties. In traditional medicine, it is used to treat various diseases including diabetes, digestive problems, and inflammation. Galega, as a valuable source of protein and fodder, has been considered due to its morphological and functional characteristics under adverse environmental conditions. This study was conducted to investigate the responses of the yield and yield components of Galega to salinity stress treatment and different planting methods.

Materials and methods: This experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in three cultivation environments (greenhouse, regular pot in the open air and large pot in the field) in 2023 crop year at Urmia University. Salinity stress was at three levels, 0.1 (control), 5 and 10 dS/m. Various agronomic traits such as grain yield, morphological traits, sodium, potassium and proline were measured. Statistical analysis of the data was performed using SAS software (version 9.1) and MATATC and comparison of means was also performed using the LSD test at a 5% error probability level. For data obtained through counting (number of secondary and main branches), square root transformation was performed using SPSS software (version 16) and then mean comparison was performed.

Results: Salinity stress in all three cultivation conditions caused a reduction in plant height, number of secondary and main branches, biomass, yield, yield components and leaf potassium and an increase in proline and sodium content compared to the control. In the greenhouse conditions, the plants did not enter the reproductive stage. The highest plant height (71.66 cm) and weight of 1000 seeds (5.37 g) were obtained in field at control plants and the lowest plant height (31.64 cm) and weight of 1000 seeds (4.33 g) were obtained in outdoor pot at the salinity of 10 dS/m. Galga field cultivation produced the highest seed yield (5.82 g per plant) and outdoor pot cultivation produced the lowest seed yield (2.35 g per plant) in no-salt conditions.

Conclusion: The comparison between salinity stress treatments showed that Galga pot cultivation in outdoor at salinity of 5 and 10 dS/m produced the maximum yield and also due to the superiority of water consumption efficiency based on seed yield, this cultivation method is recommended for saline conditions.

Keywords: Galega, Pot culture, Salinity, Water use efficiency, Yield components.

مقدمه

گالگا (*Galega officinalis* L.) گیاهی علفی و چند ساله متعلق به تیره پروانه‌آسا[1] می‌باشد (۱). قسمت هوایی آن حاوی مجموعه‌ای از مواد کاهنده قند خون می‌باشد و از این گیاه به عنوان ضد دیابت استفاده می‌شود. مواد موثره موجود در پیکر رویشی گالگا شامل گوانیدین، ترکیب‌هایی با منشا گوانیدین، مانند گالگین، هیدروکسی گالگین، همچنین حاوی مقادیر کمی فلاونویید، ساپونین و استروییدهایی مانند کلسترول، بتا سیسترول و استیگماسترول می‌باشد (۱). امروزه گیاهان دارویی از جایگاه اقتصادی مهمی برخوردارند و به صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و صنعت داروسازی مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه آمار دقیقی از سطح زیر کشت وسیع این گیاه در دسترس نیست، گزارش‌ها حاکی از کشت پراکنده آن در مناطقی از اروپای شرقی، قفقاز و آسیای میانه است. در ایران نیز، گالگا به عنوان یک گیاه بومی و سازگار با شرایط اقلیمی کشور به‌ویژه در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب شمال و شمال غرب شناسایی شده است. با این حال، هنوز سطح زیر کشت تجاری قابل توجهی ندارد و پتانسیل عظیم اقتصادی و دارویی آن به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. مطالعات اولیه روی گیاه گالگا حاکی از آن است که این گیاه از درجه تحمل نسبی به شوری برخوردار است. به عنوان مثال، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که گالگا می‌تواند سطح شوری تا حدود ۴ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر را با کمترین کاهش محسوس در رشد و عملکرد تحمل کند (۲). در سطوح بالاتر شوری، اگرچه کاهش عملکرد اجتناب‌ناپذیر است، اما مکانیسم‌های فیزیولوژیک متعددی از جمله تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین و تنظیم فعال یون‌های سدیم و پتاسیم در بافت‌های برگ، به عنوان شاخص‌های تاب‌آوری و مقاومت در این گیاه گزارش شده‌اند (۲, ۳). این سازوکارها به گیاه امکان می‌دهند ضمن حفظ تعادل اسمزی، از ساختارهای سلولی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از شوری محافظت نماید.

یکی از موانع مهم توسعه و کشت گیاهان داروئی در کشور استقرار ضعیف و غیریکنواخت آن در خاک‌های مناطق خشک خصوصاً در شرایط تحت تنش‌های محیطی غیرزنده از جمله تنش شوری است (۴). گیاهان زراعی همواره در معرض تنش‌های محیطی متفاوتی قرار دارند که باعث کاهش عملکرد و کیفیت آنها می‌شود. تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است

[1] - Leguminosae

که تأثیر قابل توجه بر بسیاری از ویژگی‌های ظاهری و همچنین صفات فیزیولوژیک اکثر گیاهان دارد و با تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان، عملکرد و کیفیت نهایی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵).

تنش شوری علاوه بر سمیت یونی خاص (Na^+)، باعث ایجاد تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو نیز می‌شود و همچنین مکانیسم جذب آب را در گیاهان مختل می‌کند (۶). در تحقیقی در مورد اثرات سطوح مختلف تنش شوری روی گیاه کینوا گزارش شد که تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب صفات ارتفاع بوته (۲۰ و ۱۷ درصد)، تعداد گل آذین (۴۸ و ۳۶)، حجم ریشه (۴۴ و ۴۰ درصد)، طول ریشه اصلی (۴۱ و ۲۳ درصد)، وزن خشک ریشه (۶۸ و ۳۰ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۲۶ و ۱۳ درصد)، شاخص کلروفیل (۱۵ و ۷ درصد) و وزن ۱۰۰۰ دانه (۳۱ و ۲۳ درصد) را کاهش داد ولی باعث افزایش نشت یونی به میزان ۱۴ و ۶ درصد شد (۷). نتایج تحقیقی نشان داد که با افزایش سطح شوری، وزن خشک ریشه و ساقه در هر دو گونه مریم گلی کاهش یافت. با افزایش شوری میزان قندهای محلول و پرولین در هر دو گونه افزایش یافت که این افزایش در گونه Salvia spinosa بیشتر از گونه دیگر بود. همچنین میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و ساقه هردو گونه کاهش یافت که در گونه S. spinosa کاهش کمتری مشاهده شد. شوری موجب افزایش برخی از ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مانند Pinene، Carene و Linalool درگونه S. viridis در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. بطور کلی حساسیت کمتر گونه S. spinosaبه تنش شوری در این آزمایش را می‌توان به تجمع بیشتر پرولین و قندهای محلول و جلوگیری از کاهش میزان پتاسیم در شرایط تنش در این گونه نسبت داد (۸). در مطالعه‌ای تنش همزمان شوری و گرمایی از طریق کاهش جذب پتاسیم و کلسیم، افزایش جذب سدیم، تجزیه کلروفیل و کارتنوییدها باعث کاهش فتوسنتز و کاهش قندهای محلول و در نهایت کاهش رشد گیاه نعناع فلفلی شد (۹).

نتایج تحقیقی نشان داد که میزان سدیم، پتاسیم، کلر و مواد موثره گیاه شاهدانه تحت تاثیر تیمارهای مختلف شوری قرار گرفتند و با افزایش سطح شوری، میزان یون‌های سدیم و کلر در برگ و ریشه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و میزان پتاسیم برگ و ریشه گیاه کاهش یافت (۱۰).

تنش شوری موجب افزایش پرولین (۲۴۲/۰۸ میلی‌گرم بر گرم)، قدرت آنتی‌اکسدان (۳۹/۱۳ درصد) برگ گیاه دارویی بالنگوی شیرازی شد و با افزایش تنش شوری از صفر به ۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش صفات عملکرد دانه (۱۰۹/۰۳ گرم) و عناصر

معدنی نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد (۱۱). در آزمایشی تنش شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی، تعداد کاپیتول و عملکرد گل گیاه دارویی همیشه بهار شد (۱۲). در مناطقی کـه مشـکل شـوری آب و خـاک زراعـی مطرح است شوری موجب کاهش ۱۰ تا ۶۰ درصد در عملکرد محصولات گیاهان زراعی می‌گردد (۱۳).

ایران به دلیل شرایط آب و هوایی و محدودیت‌های منابع آبی، از جمله کشورهایی است که نیازمند تجدید نظر اساسی در ساختار نظام کشت بوده و در این راستا توسعه کشت‌های گلخانه‌ای می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب مطرح باشد (۱۴). انسان در آینده مجبور به تولید غذای بیشتر با انرژی کمتری خواهد بود. زیرا بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، جمعیت جهان تا سال ۲۰۴۰ حداقل به ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید. در این رابطه استفاده از کشت به‌شیوه گلخانه می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی برای دستیابی به امنیت غذایی و یکی از روش‌های نوین و مناسب در رابطه با افزایش تولیدات کشاورزی متناسب با آهنگ رشد جمعیت باشد (۱۵). در محیط‌های کنترل شده ماننـد گلخانه‌ها، کلیه عوامل در رشد و نمو گیاه و تولید محصول تحت کنترل هستند. امکان کنترل تابش آفتاب و کاهش میزان تبخیر از سطح، عدم وجود بادهای گرم و خشک در مجاورت گیاه و استفاده از روش‌های نوین آبیاری، میزان مصرف آب را در گلخانه‌ها کاهش داده، به طوری که میزان کـارایی مصـرف آب در گلخانه حدود ۵ تا ۱۰ برابر کشت‌های فضای باز است (۵).

از آنجا که مسئله شوری و کاهش مشکلات آن، مستلزم صرف تلاشی دراز مدت و هزینه هنگفت است، لذا تلاش برای یافتن و پرورش گیاهانی که بتوانند در شرایط شوری محیط نیز عملکرد قابل قبولی داشته باشند از جمله راهکارهای موثر می‌باشد، با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی گیاه دارویی گالگا در صنایع دارویی و از آنجایی که تحقیقات قابل توجهی در رابطه با تاثیر تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت روی صفات مختلف گیاه گالگا انجام نشده است، لذا این تحقیق با هدف بررسی واکنش-های عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه گالگا به تیمار تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سه محیط کشت مختلف، گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و گلدان‌های بزرگ در مزرعه (شکل ۱) به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در ۱۱ کیلومتری

شمال غرب ارومیه، با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۰۲ دقیقه شرقی اجرا شد.

شکل ۱- کاشت گیاه گالگا در سه محیط کشت مختلف، گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و گلدان بزرگ در مزرعه

Figure 1- Planting Galega in three different growing environments: greenhouse, outdoor pot, and field pot

طبق گزارش هواشناسی، ارومیه دارای اقلیم معتدل سرد و مرطوب با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. برخی پارامترهای آب و هوایی سال زراعی ۱۴۰۲ درجدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی سال ۱۴۰۲ محل اجرای آزمایش

Table 1- Meteorological information for the year 2024 at the location of the experiment

	April	May	June	July	August	September	October	November	December
بارندگی ماهیانه (میلی‌متر) Precipitation (mm)	97	48.8	9	1.3	0.7	0	3.1	21.6	1
تبخیر ماهیانه (میلی‌متر) Monthly Evaporation (mm)	70.2	168.6	217.5	272.3	283	204.9	96.6	41.7	2
مجموع ساعات آفتابی ماهیانه Monthly Total Sunshine Hours	223.7	268.1	287.2	359.8	341.8	329.1	230.4	193.2	192.4
میانگین رطوبت نسبی (٪) Average Relative Humidity (%)	48	44	41	39	31.8	38	50	54	54
میانگین دمای ماهیانه (سانتی‌گراد) Average Monthly Temperature (^{0}C)	12	16	22	26	27.8	23	17	13	7

عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. اولین آبیاری ۱۶ اردیبهشت ماه و اعمال تنش شوری برای هرسه محیط کشت در ۳۱ خردادماه انجام گرفت. در کشت‌های گلدانی (گلدان در گلخانه، گلدان در هوای آزاد)، آماده سازی گلدان‌ها در فروردین ماه صورت گرفت. ارتفاع و قطر هر گلدان به ترتیب، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر بود. از نمونه خاک یکنواخت مزرعه دانشکده کشاورزی جهت پر کردن گلدان‌ها استفاده شد (۲۰ کیلوگرم خاک در هر گلدان)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک گلدان‌ها در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). میزان روی و آهن خاک به روش عصاره-گیری با TEA , DTPA ۰/۰۰۵ مولار انجام شد و غلظت آنها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۱۶). میزان فسفر به روش وطن آبه و اولسن (17) و پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیری از خاک توسط استات آمونیوم نرمال در pH هفت به روش لین و واتسون (۱۸) اندازه‌گیری شدند. همچنین بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۹) و درصد کربن آلی خاک با روش نلسون و سومرز (۲۰) اندازه‌گیری گردید.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش قبل از کاشت

Table 2- Some physicochemical properties of the soil at the test site before planting

Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	OC (%)	$CaCo_3$ (%)	pH	EC (ds/m)	PWP (%)	FC (%)	Bulk density (g/cm^3)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	Soil texture
0.76	1.52	385	13.20	1.45	5.64	7.84	0.59	13	27	1.35	33.5	27.5	39	Loamy clay

طرح آزمایشی مورد استفاده در شرایط مزرعه، بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار بود، تیمارها شامل استفاده از ۳ سطح تنش شوری شاهد، آبیاری با آب غیر شور با هدایت الکتریکی ۰/۱ دسی زیمنس بر متر و آبیاری با شورهای ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. برای هر تیمار ۶ گلدان بزرگ با ابعاد طول ۱ متر، عرض ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر (هر دو گلدان بزرگ در کنار هم به عنوان یک کرت آزمایشی) در نظر گرفته شد. به منظور کاهش اثر حاشیه‌ای گلدان‌ها با فاصله ۲ متر از هر طرف، در مزرعه مستقر شدند. با حفر چاله، کلیه گلدان‌ها تا سطح رویی، در داخل خاک قرار گرفتند و برای هر گلدان به صورت جداگانه شیر تخلیه زه آب تعبیه شد. خاک یکنواخت مزرعه، در داخل آنها افزوده شد.

بذرهای گالگا از شرکت شفاپژوهان سبز تبریز تهیه شد. بذر این رقم از گالگا از گونه آفیسینالیس در دمای ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد جوانه می‌زند. ولی دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد مانع سبز شدن بذر می‌گردد. گالگا در خاک‌های عمیق و مرطوب به خوبی می‌روید. این گیاه مناسب کاشت در خاک‌های سنگین نیست و باعث افت عملکرد و اندام‌های رویشی آن می‌شود. بهترین

ومطلوبترین درجه حرارت روزانه و شبانه برای این رقم از گالگا به ترتیب ۲۵ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۲۱). در موقع کاشت در هر چاله، ۳ عدد بذر با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، در داخل گلدان‌های بزرگ قرار داده شد که در مرحله ۲-۴ برگی بوته‌های اضافی تنک شدند. تا مرحله ۲-۴ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به طور یکسان (آبیاری با آب غیر شور) اعمال شد و بعد از این مرحله، سطوح مختلف تنش شوری اعمال شد. برای اعمال تیمارهای شوری از سه تانکر آب استفاده شد بعد از اعمال آبیاری EC زه آب اندازه‌گیری شد.

برای تعیین زمان و حجم آبیاری از رابطه زیر استفاده شد (۲۲) و آبیاری زمانی انجام می شد که در نزدیک غروب آفتاب برگ‌های گیاهان تا حدودی حالت پژمردگی اولیه را نشان می دادند.

رابطه ۱

$$RAW = \frac{FC-PWP}{100} \times \rho \times D \times MAD$$

که در آن RAW، آب سهل الوصول (میلی‌متر)، F، ظرفیت زراعی، PWP، نقطه پژمردگی دایم، ρ ، وزن مخصوص ظاهری، D ، عمق توسعه ریشه بر حسب میلی‌متر و MAD، ضریب آب سهل الوصول می‌باشد. در این تحقیق، ظرفیت زراعی خاک ۲۷ ، نقطه پژمردگی دایم ۱۳ و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ بود (جدول ۲). عمق توسعه ریشه در گالگا ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. MAD، ضریب آب سهل الوصول می‌باشد و ۰/۴ در نظر گرفته شد.

تیمار شوری به صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگار شدن، گیاهان با شوری کمتر آبیاری شدند و پس از مرحله ۴ تا ۶ برگی شوری‌های ذکر شده بر اساس تیمارها اعمال شدند. در صورتی که EC زهکش گلدان‌ها بیشتر از ۱۰ دسی زیمنس بر متر می‌شد، محیط ریشه گیاهان با آب معمولی شستشو داده می‌شد تا تغییرات EC ناشی از تجمع نمک‌ها در بستر کاشت به کمتر از ۱۰ دسی زیمنس بر متر برسد. همچنین در پایان آزمایش میزان شوری تجمعی در خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد که EC آب خروجی یا زهکش گلدان‌ها تقریبا با تیمارهای سطوح شوری آزمایش مشابه بود (جدول ۳).

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش بعد از برداشت

Table 3- Some physicochemical properties of the soil at the test site after harvesting

Outdoor pot			Field			Greenhouse			
10	5	0.1	10	5	0.1	10	5	0.1	Salinity
1.06	0.74	0.41	0.97	0.75	0.40	1.25	0.64	0.39	Na (Meq L^{-1})
63.2	35.6	10.4	49.8	32.2	4	56.6	21.2	5.4	Cl (Meq L^{-1})
10.48	6.21	2.34	9.21	4.95	0.66	9.51	6.82	2.54	EC (dS m^{-1})

8.21	7.99	6.94	7.81	7.88	7.91	7.92	8.21	8.09	pH

در انتهای فصل رشد (دهه اول مهر ماه) گیاه گالگا برای اندازه‌گیری ارتفاع، با استفاده از متر از محل یقه تا انتهای ساقه اصلی، با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه، بعد از برداشت گیاه گالگا و بوجاری کردن بذور، هشت تکرار ۱۰۰تایی بذر شمارش سپس وزن آن‌ها با ترازوی دقیق با دقت یک هزارم محاسبه شد سپس میانگین آن‌ها را ضرب در ۱۰ و وزن ۱۰۰۰ دانه گزارش شد. بعد از برداشت گالگا که سه بوته در هر گلدان و ۱۰ بوته در هر گلدان بزرگ بود تمامی برگ‌ها، تعداد شاخه فرعی و گل آذین‌های موجود در گیاه در آزمایشگاه شمارش و یادداشت برداری گردید.تاریخ برداشت گلدان‌های هوای آزاد و مزرعه در ۷ مهرماه و گلخانه در تاریخ ۷ آبان ماه انجام شد. گل آذین گالگا در هوای آزاد و بدون دستگاه خشک‌کن به طور طبیعی خشک و سپس توسط ترازوی دقیق توزین گردیدند. برای محاسبه وزن خشک کل، تمامی اجزای گالگا را خشک کرده سپس توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. برای محاسبه کارآیی مصرف براساس بیوماس و عملکرد دانه، به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بر میزان آب بکار برده شده از کاشت تا برداشت تقسیم گردید (۲۳). تلاش بازآوری به عنوان یک معیار فیزیولوژیک، از تقسیم وزن خشک کل اندام زایشی بر وزن خشک کل گیاه حاصل شد (۱۵). اندازه‌گیری پرولین از برگ‌های تازه گیاهی در زمان ۵۰ درصد گلدهی به روش بیتس و همکاران (۳) و عناصر سدیم و پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به وسیله دستگاه فلیم فتومتر به روش همدا و ال–انانی (۲۴) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای داده‌هایی که از طریق شمارش به‌دست آمده بودند (تعداد شاخه فرعی و اصلی) با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) تبدیل جذری به‌عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد.

نتایج و بحث

۱-کاشت در گلخانه

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط گلخانه نشان داد تاثیر تنش شوری بر تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه اصلی، عملکرد بیولوژیک، پرولین و میزان سدیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه

اصلی را به میزان (۷۸ و ۱۵ درصد) و (۴۰ و ۳۰ درصد) در شرایط گلخانه کاهش داد (جدول ۵). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۳۳/۹۱ گرم در هر بوته) در شرایط تنش شوری ۵ درسی‌زیمنس بر متر بدست آمد ولی با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰ دسی-زیمنس بر متر، عملکرد بیولوژیک ۳۷ درصد کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گالگا در شرایط گلخانه

Table 4- Variance Analysis and mean comparison, the effect of different levels of salinity stress on some morpho-physiological traits of Galega in greenhouse conditions

منابع تغییرات S.O. V		درجه آزادی df	ارتفاع بوته (سانتی-متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی تبدیل جذری شده Number of branches square root transformation	تعداد شاخه اصلی تبدیل جذری شده Number of main branches square root transformation	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) Biological yield (g plant^{-1})	کارآیی مصرف آب بیوماس (گرم بر مترمکعب) Biomass water use efficiency (g m^{-3})	پرولین (پی پی ام) Proline (ppm)	سدیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) Na (mg/kg dry weight)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) K (mg/kg dry weight)
بلوک	Block	2	83.87 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.038 ^{ns}	60.63 ^{ns}	284.04 ^{ns}	7.54 ^{ns}	399.00 ^{ns}	13564.68 ^{ns}
تنش شوری	Salinity stress	2	10.72 ^{ns}	10.23 **	0.13 **	190.22 *	891.20 *	36215.61 **	10186.40 **	16241.84 ^{ns}
خطای آزمایش	Experimental error	4	18.37	0.206	0.0098	15.88	74.45	7.57	559.35	3776.33
ضریب تغییرات	CV (%)		6.61	8.91	6.28	14.70	14.71	2.25	15.02	11.50
Salinity stress										
0.1			64.11 a	41.33 a	3.33 a	29.04 ab	62.85 ab	36.8 c	94.5 b	519.9 a
5			67.00 a	35.00 a	2.33 b	33.91 a	73.39 a	82 b	168.2 a	614 a
10			63.44 a	9.00 b	2.00 b	18.34 b	39.70 b	245.9 a	209.5 a	469 a

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively. Means that have at least one letter in common in each column do not have significant differences based on LSD test at the 5% level.

بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس بیوماس (۷۳/۳۹ گرم بر مترمکعب) در شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد، کمترین مقدار آن (۳۹/۷۰ گرم بر مترمکعب) در شرایط تنش شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بدست آمد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد پتاسیم برگ تحت تاثیر تیمارهای شوری قرار نگرفت، اما در شوری ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر میزان پرولین، نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲/۲۲ و ۶/۶۸ برابر افزایش یافت، همچنین نتایج نشان داد که هرچند میزان سدیم برگ در شرایط شوری ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب افزایش ۱/۷۷ و ۲/۲۱ برابری نشان داد اما در یک گروه آماری بودند (جدول ۴).

بر اساس نتایج این پژوهش، در شرایط کشت گیاه گالگا در داخل گلخانه، گیاه به مرحله زایشی (گلدهی کامل) رسید اما با توجه به دمای ثابت و رطوبت گلخانه عمل تلقیح بخوبی انجام نگرفت و به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نرسید فقط در تنش شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر چند گیاه در هرگیاه نهایت یک یا دو نیام بصورت ناقص بذر داشتند. گزارش شده است که در شرایط شوری صفات مورفولوژیکی مانند طول ساقه، طول ریشه، طول برگ، عرض برگ و سطح برگ در گیاه مرزه، کاهش یافت (۲۵). در اثر کاهش سطح برگ و کوچک شدن برگها، جذب نور کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد که باعث کاهش مواد پرورده لازم برای رشد می‌گردد (۲۶). در شرایط تنش، تجمع مواد محلول سازگار در حفظ تعادل اسمزی سلولی نقش مهمی را ایفا می‌کند (۲۷). تنش شوری از طریق مکانیسم‌های مختلفی باعث افزایش پرولین و سدیم و کاهش پتاسیم در گیاهان می‌شود، در واقع تنش شوری موجب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که به سلول آسیب می‌زنند. گیاهان برای مقابله با این تنش، سنتز پرولین را افزایش می‌دهند. پرولین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار عمل می‌کند که تعادل اسمزی سلول‌ها را حفظ می‌کند و از پروتئین‌ها و غشاها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند و به تنظیم غلظت یون‌ها و جلوگیری از تجمع بیش از حد سدیم کمک می‌کند (۲۸). در آزمایشی، کاهش قابل توجهی در ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ‌ها با افزایش سطح تنش شوری در گیاه تربچه مشاهده شد. نمک حاصل از تنش شوری در بستر در تماس مستقیم با ریشه است و باعث کاهش پتانسیل اسمزی و مانع از جذب آب و مواد مغذی می‌شود (۲). لذا نمک، منجر به تغییرات در مورفولوژی گیاه و اثرات نامطلوب بر متابولیسم گیاه و زیست توده می‌شود که منجر به توقف رشد گیاه در غلظت‌های بالای NaCl می‌شود (۲۹). در آزمایشی، اثر منفی شوری بر کاهش تعداد برگ‌ها، ساقه‌های جانبی، طول کل شاخه‌های جانبی و ویژگی‌های بافت ریشه اصلی در گیاه زیتون مشاهده شد (۳۰).

۲- کاشت در گلدان‌های معمولی و هوای آزاد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش شوری بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب، پرولین، سدیم و پتاسیم برگ گیاهان کاشته شده در گلدان‌های معمولی در هوای آزاد تاثیر معنی‌دار داشت (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گالگا در کشت گلدانی هوای آزاد

Table 5- Variance Analysis and mean comparison, the effect of different levels of salinity stress on some morpho-physiological traits of Galega in ordinary pot in outdoor

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height	تعداد شاخه فرعی تبدیل جذری شده Number of branches	تعداد شاخه اصلی تبدیل جذری شده Number of main branches	وزن خشک بذر با غلاف (گرم) Dry	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) Thousand-seeds weight	عملکرد دانه (گرم در بوته) Seed	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) Biological

			(cm)	square root transformation	square root transformation	weight of seed with pod (g)	(g)	yield (g plant^{-1})	yield (g plant^{-1})
بلوک	Block	2	24.46 ^{ns}	0.104 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.096 ^{ns}	0.046 **	15.27 ^{ns}
تنش شوری	Salinity stress	2	95.08 **	0.48 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.27 **	67.34 **
خطای آزمایش	Experimental error	4	7.47	0.09	0.018	0.14	0.32	0.0037	6.78
ضریب تغییرات	CV (%)		7.52	13.22	13.07	14.13	11.97	2.87	9.85
Salinity stress									
0.1			42.57 a	7.33 a	1.33 a	2.72 a	4.90 a	2.35 a	30.16 a
5			34.76 ab	5.00 a	1.00 a	2.98 a	4.94 a	2.26 a	28.02 ab
10			31.64 b	3.66 a	1.00 a	2.41 a	4.33 a	1.79 b	21.10 b

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively. Means that have at least one letter in common in each column do not have significant differences based on LSD test at the 5% level.

ادامه جدول ۵-

Continuous Table 5-

	منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)	تلاش بازآوری (٪) Productivity effort (%)	کارآیی مصرف آب بیوماس (گرم بر مترمکعب) Biomass water use efficiency (g m^{-3})	کارآیی مصرف آب عملکرد دانه (گرم بر مترمکعب) Seed yield water use efficiency (g m^{-3})	پرولین (پی پی ام) Proline (ppm)	سدیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) Na (mg/kg dry weight)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) K (mg/kg dry weight)
بلوک	Block	2	3.47 ^{ns}	5.11 ^{ns}	46.02 ^{ns}	0.14 **	225.37 **	2531.56 ^{ns}	58855.34 ^{ns}
تنش شوری	Salinity stress	2	0.30 ^{ns}	4.47 ^{ns}	203.05 *	0.82 **	32685.66 **	26245.29 **	105897.71 *
خطای آزمایش	Experimental error	4	0.65	3.62	20.47	0.010	3.59	2962.46	15044.25
ضریب تغییرات	CV (%)		9.83	18.21	9.86	2.79	1.24	12.07	16.39
Salinity stress									
0.1			7.88 a	9.08 a	52.36 a	4.08 a	53.6 c	146 c	897 a
5			8.23 a	10.84 a	48.66 ab	3.93 a	141 b	468 b	810 ab
10			8.52 a	11.43 a	36.63 b	3.11 b	261.6 a	737 a	537 b

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively. Means that have at least one letter in common in each column do not have significant differences based on LSD test at the 5% level.

مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارآیی مصرف آب بر اساس بیوماس و کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه را به میزان (۲۶ و ۱۸ درصد)، (۲۹ و ۴ درصد)، (۳۰ و ۷ درصد)، (۳۰ و ۷ درصد) و (۲۴ و ۴ درصد) کاهش داد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان پرولین و سدیم برگ و کمترین میزان پتاسیم در تیمار شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بدست آمد (جدول ۵). نتایج مقایسه چهار گونه عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.) تحت شرایط گلخانه و مزرعه نشان داد که کارایی مصرف آب در گلخانه بیشتر از مزرعه بوده است. در همه ارقام تعداد میوه و عملکرد به طور معنی‌دار تحت شرایط گلخانه بیشتر بود (۳۱). کاهش رشد گیاه به دلیل اثر سوء تنش شوری بر فرایند تقسیم سلولی است. تنش اسمزی در اثر تنش شوری فرایند تقسیم و بزرگ شدن سلول را کاهش می-دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شده که سمیت یونی، اختلال در تنظیم اسمزی، تغییر در تعادل مواد و عناصر غذایی

قابل دسترس برای گیاه، از عوامل دخیل در کاهش رشد گیاه می‌باشند (۳۲). در ارزیابی شش لاین عروسک پشت پرده (*Physalis ixocarpa* L.) از دو گونه مختلف پرووایانا و ایگزوکارپا طی دو سال در شرایط گلخانه و مزرعه برای عملکرد و برخی خصوصیات میوه (قطر و ارتفاع میوه، وزن متوسط میوه، میزان مواد جامد محلول و میزان اسید اسکوربیک)، نتایج نشان داد که در سال اول عملکرد در شرایط مزرعه (۲/۷۶۴ کیلوگرم در مترمربع) بیشتر از گلخانه (۱/۹۵۷ کیلوگرم در مترمربع) بود، اما در سال دوم تفاوت معنی‌داری بین عملکرد در دو شرایط مشاهده نشد (۳۳). سایر محققان نیز کاهش عملکرد دانه در اثر تنش شوری را گزارش و بیان کردند که علت این کاهش، تلفیق آثار تنش اسمزی با اثر سمیت یونی و تغییر غلظت عناصر غذایی ناشی از شوری موجود در محلول خاک است (۳۴). تنش شوری منجر به تجمع نمک در خاک می‌شود. این شرایط، جذب سدیم را از طریق کانال‌های غیرانتخابی کاتیونی در غشاهای ریشه افزایش می‌دهد و باعث ورود بیش از حد سدیم به سلول‌ها و کاهش پتاسیم می‌شود. سدیم بیش از حد می‌تواند تعادل یونی و اسمزی سلول‌ها را مختل کند. تجمع سدیم در برگ‌ها برای ایجاد تعادل اسمزی ضروری است اما در گیاهان حساس، این تجمع منجر به سمیت سدیم می‌شود (۳۵).

۳-کاشت در مزرعه

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط مزرعه نشان داد تاثیر تنش شوری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه اصلی، وزن خشک بذر با غلاف، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تلاش بازآوری، پرولین، سدیم و پتاسیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۶).

مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه اصلی، وزن خشک بذر با غلاف، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تلاش بازآوری، کارآیی مصرف آب بر اساس بیوماس و کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه را به‌میزان (۴۳ و ۲۹ درصد)، (۸۰ و ۷۲ درصد)، (۵۶ و ۴۵ درصد)، (۷۹ و ۷۶ درصد)، (۱۶ و ۹ درصد)، (۷۸ و ۶۷ درصد)، (۶۹ و ۴۴ درصد)، (۳۱ و ۴۲ درصد)، (۳۱ و ۵۶ درصد)، (۶۹ و ۴۴ درصد) و (۷۸ و ۶۷ درصد) در شرایط مزرعه کاهش داد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در شرایط مزرعه، بیشترین میزان پرولین (۱۱۶/۴ ppm) و سدیم برگ (۵۴۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان پتاسیم (۵۸۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بدست آمد (جدول ۵).

در این مطالعه، افزایش سطح شوری آب به طور قابل توجهی عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه را کاهش داد. افزایش شوری آب خاک می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را مشابه تنش خشکی تحت تاثیر قرار دهد. مکانیسم اصلی در ایجاد اثر نامطلوب بستن روزنه است (۳۶). تنش شوری باعث افزایش فشار اسمزی، اختلال در جذب آب توسط ریشه، کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه می‌شود. در آزمایشی گزارش شده است که عملکرد کینوا در شوری بالای ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش یافت (۳۷). همچنین گزارش شده که کاهش ارتفاع گیاه به واسطه شوری را می‌توان به اثر سمی یون‌های سدیم یا کلر روی متابولیسم گیاه، تعادل مواد غذایی یا کاهش پتانسیل اسمزی در محیط رشد نسبت داد (۳۸).

گزارش شده که تنش شوری تأثیرات گسترده‌ای بر متابولیسم گیاهان دارد و منجر به تغییراتی در تجمع پرولین، سدیم و پتاسیم در برگ‌ها می‌شود، به عنوان مثال مطالعه‌ای بر روی آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) نشان داده است که با افزایش سطح شوری، غلظت سدیم در برگ‌های آویشن دنایی افزایش و غلظت پتاسیم کاهش می‌یابد. این تغییرات می‌تواند منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه در شرایط شور شود (۳۹). در مطالعه‌ای بر روی آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش شد که افزایش شوری منجر به افزایش معنی‌دار سدیم و کاهش پتاسیم در برگ‌ها شد. همچنین، تولید پرولین با افزایش سطوح شوری افزایش معنی‌داری نشان داد که به‌عنوان مکانیزمی برای مقابله با استرس شوری عمل می‌کند (۴۰). این مثال‌ها نشان می‌دهند که گیاهان در مواجهه با تنش شوری، با تغییر در متابولیسم خود، به‌ویژه از طریق تنظیم سطوح پرولین، سدیم و پتاسیم، سعی در حفظ تعادل یونی و اسمزی دارند تا بتوانند در شرایط نامساعد به بقای خود ادامه دهند.

مقایسه میانگین هر سه شرایط کشت نشان داد در شرایط گلخانه بوته‌ها وارد مرحله زایشی نشدند و بذر و عملکرد دانه تولید نکردند. بیشترین ارتفاع بوته (۷۱/۶۶ سانتی‌متر) از شرایط مزرعه و کمترین (۳۱/۶۴ سانتی‌متر) مقدار آن از کشت گلدانی هوای آزاد حاصل شد. بیشترین تعداد شاخه فرعی (۴۱/۳۳) و اصلی (۳/۳۳) از شرایط کشت گلخانه بدست آمد و کمترین تعداد شاخه فرعی (۳/۶۶) و اصلی (۱/۰) از کشت گلدانی هوای آزاد بدست آمد (جداول ۵ و ۶). بیشترین وزن خشک بذر با غلاف (۷/۸۱ گرم) از تیمار شاهد در شرایط مزرعه و کمترین مقدار آن (۱/۶۶ گرم) از تنش شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر در شرایط مزرعه بدست آمد. همچنین بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه (۵/۳۷ گرم) از تیمار شاهد در شرایط مزرعه و کمترین مقدار آن (۴/۳۳ گرم) از تنش شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر در شرایط کشت گلدانی هوای آزاد بدست آمد. به طور متوسط، کشت مزرعه‌ای گالگا بالاترین عملکرد دانه (۲/۹۸ گرم در هر بوته) و کشت گلدانی هوای آزاد (۲/۱۳ گرم در هر بوته) پایین‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد (جداول ۵ و ۶). حداکثر میانگین عملکرد بیولوژیک در هر سه سطح شوری (۴۵/۷۶ گرم در هر بوته) در شرایط کشت مزرعه و حداقل میانگین عملکرد بیولوژیک در هر سه سطح شوری (۲۶/۴۲ گرم در هر بوته) در شرایط کشت گلدانی هوای آزاد مشاهده شد. شرایط کشت گلدانی هوای آزاد در مقایسه با کشت مزرعه‌ای گالگا بیشترین شاخص برداشت و تلاش بازآوری را نشان داد (جداول ۵ و ۶). کشت داخل گلخانه در مقایسه با کشت در هوای آزاد و شرایط مزرعه بخصوص در تنش شوری ۵ دسی زیمنس بر متر بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس بیوماس را تولید کرد. همچنین بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه از کشت گلدانی هوای آزاد در شرایط تیمار شاهد به‌دست آمد.

جدول ۶- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر برخی صفات مرفولوژیک گالگا در شرایط مزرعه

Table 6- Variance Analysis and mean comparison, the effect of different levels of salinity stress on some morphological traits of Galega in large pot in the field

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی df	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی تبدیل جذری شده Number of branches square root transformation	تعداد شاخه اصلی تبدیل جذری شده Number of main branches square root transformation	وزن خشک بذر با غلاف (گرم) Dry weight of seed with pod (g)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) Thousand-seeds weight (g)	عملکرد دانه (گرم در بوته) Seed yield (g plant^{-1})	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) Biological yield (g plant^{-1})
بلوک	Block	2	53.76 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.056 ^{ns}	0.191 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.035 ^{ns}	49.11 ^{ns}
تنش شوری	Salinity stress	2	750.44 **	6.36 **	0.28 *	36.40 **	0.57 *	18.27 **	1955.71 **
خطای آزمایش	Experimental error	4	16.71	0.051	0.028	0.22	0.089	0.07	22.77
ضریب تغییرات	CV (%)		7.52	7.12	12.12	12.58	6.07	9.40	10.42
Salinity stress									
0.1			71.66 a	23.66 a	3.00 a	7.81 a	5.37 a	5.81 a	73.26 a
5			50.47 b	6.66 b	1.66 b	1.90 b	4.86 ab	1.89 b	41.22 b
10			40.72 b	4.66 b	1.33 b	1.66 b	4.50 b	1.25 b	22.80 c

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively. Means that have at least one letter in common in each column do not have

significant differences based on LSD test at the 5% level.

ادامه جدول ۶-

Continuous Table 6-

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی df	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)	تلاش بازآوری (٪) Productivity effort (%)	کارآیی مصرف آب بیوماس (گرم بر مترمکعب) Biomass water use efficiency ($g\ m^{-3}$)	کارآیی مصرف آب عملکرد دانه (گرم بر مترمکعب) Seed yield water use efficiency ($g\ m^{-3}$)	پرولین (پی پی ام) Proline (ppm)	سدیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) Na (mg/kg dry weight)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) K (mg/kg dry weight)
بلوک	Block	2	0.36 ^{ns}	0.57 ^{ns}	11.81 ^{ns}	0.008 ^{ns}	50.98 **	227.10 ^{ns}	1330.95 ^{ns}
تنش شوری	Salinity stress	2	8.93 **	27.30 **	469.80 **	4.38 **	49.22 **	166177.85 **	226673.58 **
خطای آزمایش	Experimental error	4	0.64	1.68	5.46	0.018	2.13	720.96	3598.45
ضریب تغییرات	CV (%)		13.25	17.08	10.42	9.30	1.78	9.67	6.83
Salinity stress									
0.1			7.97 a	10.71 a	35.91 a	2.84 a	37.2 c	89.1 c	1136 a
5			4.64 b	4.69 b	20.21 b	0.93 b	91.7 b	202 b	906 b
10			5.53 b	7.40 ab	11.18 c	0.61 b	116.4 a	541.4 a	589.7 c

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار. میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively. Means that have at least one letter in common in each column do not have significant differences based on LSD test at the 5% level.

یکی از دلایل کاهش عملکرد در شرایط تنش شوری را می‌توان کاهش فتوسنتز در نتیجه تنش ناشی از تجمع نمک در ناحیه ریشه دانست که می‌تواند ناشی از کاهش ورود دی اکسید کربن به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و همچنین کاهش سطح برگ باشد (۴۱). در تحقیقی بیان شده است که که اعمال ۷۰ میلی‌متر عمق آب آبیاری در آب‌های با شوری کم‌تر از چهار دسی زیمنس بر متر امکان رسیدن به عملکرد دانه مطلوب کاملینا در گلخانه و در شرایط کاشت گلدانی را در شهرستان کاشمر فراهم می‌نماید (۴۲). در مطالعه دیگری، گزارش شد که عملکرد دانه کینوا در شرایط استفاده از آب دریا کاهش یافت (۴۳). نتایج آزمایش گلخانه ای گندم نشان داد نتایج آزمایش مزرعه‌ای و گلخانه‌ایی بر روی گندم نشان داد که تنش شوری ۱۴ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و طول و وزن خشک ریشه در همه ژنوتیپ‌ها شد. همچنین گزارش شد تنش شوری، بسته به شدت آن، با کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلک بارور در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در گیاه گندم همراه بود و از این رو کاهش قابل توجه عملکرد دانه و زیست توده را به‌همراه داشت (۴۴). همچنین گزارش شده که تأثیر شوری بر رشد گیاه ممکن است از تخریب فراهمی آسیمیلات‌های فتوسنتزی حاصل شود، به طوری

که با افزایش شوری ممکن است از توسعه سلولی در برگ‌ها جلوگیری شود و هر کدام از این پارامترها می‌تواند باعث کـاهش در عملکرد بیولوژیک شوند (۴۵).

شوری زیاد ناشی از کلرید سدیم می‌تواند فشار اسمزی محلول خاک را از فشار اسمزی سلول‌های گیاهی بیشتر کند و در نتیجه جذب آب و عناصر کاهش یابد. همچنین برداشت و انتقال یون‌های غذایی مثل یون‌های پتاسیم و کلسیم توسط سدیم اضافی دچار اختلال می‌شود علاوه بر آن، سطوح بالای سدیم و کلر ، آثار سمی مستقیمی بر سیستم‌های غشایی و آنزیمی ایجاد می‌کند (۴۶).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش به وضوح نشان داد که تنش شوری، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه دارویی گالگا (*Galega officinalis*) را در هر سه محیط کشت مورد مطالعه (گلخانه، گلدان در هوای آزاد و گلدان بزرگ در مزرعه) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. این کاهش با مکانیسم‌های فیزیولوژیک از قبیل تجمع سدیم و پرولین در برگ‌ها و کاهش محتوای پتاسیم همراه بود. در شرایط بدون تنش شوری (شاهد)، کشت مزرعه‌ای (با استفاده از گلدان‌های بزرگ) به دلیل فراهم آوردن فضای ریشه‌دانی بیشتر و شرایط محیطی پایدارتر، برترین روش برای دستیابی به حداکثر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه شناخته شد. با این وجود، پاسخ گیاه به شوری به شدت تحت تأثیر نوع محیط کشت قرار گرفت. یافته‌های کلیدی نشان داد که کشت گلدانی در هوای آزاد در سطوح شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، علی‌رغم کاهش عملکرد، عملکرد نسبی بالاتر و پایداری بیشتریرا در مقایسه با کشت مزرعه از خود نشان داد. مهم‌تر آنکه، در این شرایط، کارایی مصرف آب (WUE) بر اساس عملکرد دانه در کشت گلدانی هوای آزاد به‌طور معنی‌داری برتر بود. برای مناطق با آب‌های باکیفیت (فاقد شوری)، کشت مزرعه‌ای گالگا برای دستیابی به حداکثر کمیت محصول پیشنهاد می‌شود. برای مناطق با محدودیت منابع آبی و یا دسترسی به آب‌های شور تا ۵ دسی زیمنس بر متر، کشت گلدانی در هوای آزاد به عنوان یک راهبرد مدیریتی برتر توصیه می‌گردد. این روش با وجود عملکرد کلی پایین‌تر، به دلیل برتری در کارایی مصرف آب و تحمل بهتر به شرایط شوری، می‌تواند منجر به پایداری بیشتر تولید در این شرایط نامساعد شود. کشت گلخانه‌ای گالگا به دلیل عدم تشکیل دانه کافی در این تحقیق، برای اهداف تولید بذر توصیه نمی‌شود و کاربرد آن نیاز

به مطالعات بیشتر درباره مدیریت گرده‌افشانی و تنظیم شرایط محیطی دارد. این نتایج بر اهمیت انتخاب روش کشت متناسب با کیفیت آب و منابع در دسترس برای دستیابی به تولید پایدار گیاه دارویی گالگا تأکید می‌نماید.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت دانشگاه ارومیه و همکاران گرامی دانشکده کشاورزی در اجرا و اتمام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Omidbeigi, R. (2012). Production and processing of medicinal plants. 6, editor. Mashhad: Astan Quds Razavi Publications. [In Persian].
2. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P. & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science Pollution Research*, *22*, 4056-75.
3. Bates, L.S., Waldren, R. & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-7.
4. Jia, J., Huang, C., Bai, J., Zhang, G., Zhao, Q. & Wen, X. (2018). Effects of drought and salt stresses on growth characteristics of euhalophyte *Suaeda salsa* in coastal wetlands. *Physics Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *103*, 68-74.
5. Rostami, M. (2018). Effect of salinity stress and salicylic acid on physiological characteristics of *Lallemantia royleana*. *Journal of Plant Research*, *31*(2), 208-20. [In Persian].
6. Al-Farsi, S.M., Nawaz, A., Nadaf, S.K., Al-Sadi, A.M., Siddique, K.H. & Farooq, M. (2020). Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in lucerne (*Medicago sativa*). *Crop Pasture Science*, *71*(5), 411-28.
7. Heidari, F., Jalilian, J. & Gholinezhad, E. (2020). The roll of foliar application nano-fertilizers in modulating the negative effects of salt stress in quinoa. *Journal of Crops Improvement*, *22*(4), 587-600. [In Persian].
8. Aghaei Joubani, K., Taei, N., Kanani, M.R. & Yazdani, M. (2015). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. *Journal of Plant Process and Function*, *3*(9), 85-96. [In Persian].
9. Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Khadem Sedighi, S., Ebadi, A., Tavakoli, N. & Davari, M. (2017). Effect of calcium on salt tolerance protein expression and activity of antioxidants in borage under salinity condition. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, *6*(1), 117-29. [In Persian].
10. Rabbani, A., Ardakani, M.R., Naghdi Badi, H., Rezazadeh, S. & Sarajooghi, M. (2021). Study on phytochemical changes of *Cannabis sativa* L. extract at vegetative growth stage under salinity stress. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *9*(3), 82-93. [In Persian].
11. Nabizadeh, E., Haghshenas, M. & Ahmadi, K. (2023). Evaluation of some quantitative and qualitative traits of Shirazi balangu (*Lallemantia royleana*) medicinal plant in response to salinity stress and mycorrhizal fung. *Journal of Horticultural Science*, *37*(4), 1043-1058. [In Persian].
12. Veisi, Z., Ghorbanpour, M. & Akramian, M. (2023). The effects of silicon nanoparticles on morpho-physiological and biochemical parameters of *Calendula officinalis* L. plants under salinity stress in hydroponic culture conditions. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(47), 211-29. [In Persian].

13. Karimi, N. (2012). Isolation and identification of plant symbiosis (Azospirillum) of saline area and investigate the interference of wheat-weed in response to endophytic fungus P. indica under salinity stress. Thesis. Ilam University. [In Persian].
14. Eslami, M. (2015). Evaluation of marketing problems of greenhouse products in desert area (Case study: Greenhouse cucumber and tomato, Yazd province). *Journal of Arid Biome*, *5*(1), 18-30. [In Persian].
15. Aslani, M., Gholamreza, S. & Ebrahimi, M.S. (2015). Prioritizing training needs of greenhouse owners: Case of Najaf-Abad County. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *6*(2), 175-85. [In Persian].
16. Lindsay, W.L. & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science Society of America Journal*, *42*(3), 421-8.
17. Watanabe, F. & Olsen, S. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. *Soil Science Society of America Journal*, *29*(6), 677-8.
18. Mc Lean, E. & Watson, M. (1985). Soil measurements of plant-available potassium. *Potassium in Agriculture*, 277-308.
19. Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical mineralogical methods*, *5*, 383-411.
20. Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, *5*, 961-1010.
21. Darbyshire, S.J., Francis, A., Bromfield, E.S. & Mechanda, S. (2021). The biology of Canadian weeds: 158. *Galega officinalis* L. *Canadian Journal of Plant Science*, *102*(1), 160-85.
22. Alizadeh, A. (2011). The relationship between water, soil and plants. Mashhad: Astan Quds Razavi Publications. [In Persian].
23. Seyed Sharifi, R. & Gholinezhad, E. (2022). Evaluation of agronomic and morphophysiological traits of crop plants. Mohaghegh Ardabili University Press. Pp, 400. [In Persian].
24. Hamada, A. & El-Enany, A. (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.
25. Fanaiee, S. & Nejatzadeh, F. (2017). Assessment of seed priming effect in adjustment of salinity stress in *Satureja sahendica*. *New Cellular Molecular Biotechnology Journal*, *7*(28), 41-8. [In Persian].
26. Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J. & Hernandez, J.A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, *7*(1), 18.
27. Valliyodan, B. & Nguyen, H.T. (2006). Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, *9*(2), 189-95.
28. Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., Ali, S., Ahmad, R., Malik, Z., et al. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, *103*(2), 229-38.
29. Souri, M. K. & Tohidloo, G. (2019). Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical Biological Technologies in Agriculture*, *6*(1), 1-7.
30. Regni, L., Tolisano, C., Del Buono, D., Priolo, D. & Proietti, P. (2024). Role of an aqueous extract of duckweed (*Lemna minor* L.) in increasing salt tolerance in *Olea europaea* L. *Agriculture*, *14*(3), 375.
31. Ramos-López, B.I., Ortiz-Hernández, Y.D., Morales, I. & Aquino-Bolaños, T. (2021). Plant density on yield of Husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) in field and greenhouse. *Ciência Rural*, Sanat Maria, *51*:1.
32. Zamani, S., Nezami, M., HABIBI, D. & Baybordi, A. (2010). Study of yield and yield components of winter rapeseed under salt stress conditions. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 1(2), 109-21. [In Persian].
33. Abak, K., Guler, H., Sari, N., & Paksoy, M. (1993). Earliness and yield of Physalis (*P. ixocarpa Brot.* and *P. peruviana* L.) in greenhouse, low tunnel and open field. In Acta Horticulturae (No. 366, pp. 301–306). International Society for Horticultural Science.
34. Munns, R. (2002). Salinity, growth and phytohormones. In A. Läuchli & U. Lüttge (Eds.), Salinity: Environment – plants – molecules (pp. 271–290). Kluwer Academic Publishers.

35. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), 651-81.
36. Afzal, I., Basra, S. M., Farooq, M. & Nawaz, A. (2006). Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *International Journal of Agriculture and Biology*, *8*(1), 23-8.
37. Algosaibi, A.M., El-Garawany, M.M., Badran, A. & Almadini, A.M. (2015). Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. *Journal of Agricultural Science*, *7*(8), 205.
38. Greenway, H. & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, *31*(1), 149-90.
39. Golestani, M. (2020). Salt stress effect on some agronomical and physiological traits in Thymus daenensis subsp. daenensis ecotypes. *Journal of Plant Process Function*, 9(38), 459-77. [In Persian].
40. Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Murali, P., Somasundaram, R., et al. (2008). Mineral uptake and biochemical changes in *Helianthus annuus* under treatment with different sodium salts. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces*, *62*(1), 58-63.
41. Netondo, G.W., Onyango, J.C. & Beck, E. (2004). Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science*, *44*(3), 797-805.
42. Mokari, M., Ghaderi, A. & Alaei, J. (2024). Determining of optimum crop production function for estimating of *Camelina* grain yield under deficit irrigation and saline water use in Kashmar weather conditions. *Iranian Water Researches Journal* 17(4), 11-21. [In Persian].
43. Koyro, H.W. & Eisa, S.S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa Willd. *Plant Soil Science Society of America Journal*, *302*, 79-90.
44. Shiran Tafti, M., Pirasteh-Anosheh, H. & Amini, A. (2019). Determining threshold salinity tolerance of wheat promising lines under greenhouse and field conditions *Cereal Research*, *9*(3), 235-48. [In Persian].
45. Ashraf, M. & Harris, P.J. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, *166*(1), 3-16.
46. Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H., & Emam, Y. (2016). Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants: An overview. In N. Iqbal, M. A. Anjum, & S. A. Hassan (Eds.), *Plant-environment interaction: Responses and approaches to mitigate stress* (pp. 141–160). Wiley-Blackwell.