Kharazmi University

Nova Biologica Reperta

Print ISSN: 2423-6330
Online ISSN: 2476-7115

Homepage: https://nbr.khu.ac.ir/

Evaluation of the effect of salinity stress and different planting methods on root characteristics, allometric coefficient and grain yield of *Galega officinalis*

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

1. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: n.samsami@urmia.ac.ir
2. Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir
3. Corresponding Author: Associate professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir
4. Assistant professor, Department of Analytical chemistry-Chromatography, Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Urmia, Iran. E-mail: r.tahmasebi@acecr.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 23 March 2025
Received in revised form 10 June 2025
Accepted 9 August 2025
Available online 15 September 2025

Keywords:
Agronomic Traits,
Environmental Stress,
Greenhouse Conditions,
Medicinal Plants,
Pot Cultivation,

ABSTRACT

Objective: This research was conducted to investigate the effects of salt stress and different planting methods on the root characteristics and yield of the medicinal plant Galega (goat's rue). Given that addressing soil salinity requires long-term and costly planning, identifying and cultivating salt-tolerant plants is of particular importance. Considering the economic value of Galega and the scarcity of research in this area, this study examined the morpho-physiological responses of the plant to varying levels of salt stress and different planting methods. The aim was to foster a better understanding of the plant's adaptation and to improve its cultivation practices.

Method: This study was conducted in a randomized complete block design with three replications aimed to investigate the effects of different levels of salinity stress (0.1, 5, and 10 dS/m) on root traits, allometric coefficient, and grain yield of Galega in three cultivation conditions (greenhouse, outdoor pots, and field) in the 2024 cropping year.

Results: The analysis of variance in greenhouse conditions showed that salinity stress had a significant effect on root diameter, root dry weight, and leaf dry weight. Specifically, salinity stress of 10 and 5 dS/m caused a 49 and 16 percent reduction in root diameter, 27 and 8 percent in root dry weight, and 49 and 10 percent in leaf dry weight, respectively, compared to conditions without salinity stress. In outdoor pots, salinity stress had a significant effect on stem length, root volume, root diameter, root dry weight, stem dry weight and grain yield, and significant reductions were observed in these traits, reaching a maximum of 69% in stem dry weight.

Conclusions: These results indicate the high sensitivity of Galega to salinity stress in all cultivation conditions and indicate that increased salinity levels can have significant negative effects on the growth and development of this plant. Therefore, field cultivation conditions and lower salinity stress levels (below 5 dS/m) were superior for planting Galega.

Cite this article: Samsami, Naser., Jalilian, Jalal., Gholinezhad, Esmaeil., & Tahmasebi, Raheleh. (2025). Evaluation of the effect of salinity stress and different planting methods on root characteristics, allometric coefficient and grain yield of *Galega officinalis*. ***Nova Biologica Reperta*, *12* (3), 1-18. http//doi.org/10.22034/NBR.12.3.1**

© The Author(s).

Publisher: Kharazmi University.

DOI: http//doi.org/10.22034/NBR.12.3.1

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

Introduction

Soil salinity is a major abiotic stressor, threatening global agricultural productivity and food security. Addressing salinity requires long-term strategies, including the identification and cultivation of salt-tolerant plant species. *Galega officinalis* (goat's rue) is a perennial medicinal and forage legume of significant economic value, historically used in traditional medicine and as the botanical source for the diabetes drug metformin. Despite its importance, there is a notable research gap regarding its morpho-physiological responses to salinity stress under different cultivation systems. This study aimed to investigate the impact of varying salinity levels and planting methods on the root architecture, allometric partitioning, and grain yield of *G. officinalis*. The objectives were to (a) quantify the sensitivity of key growth and yield parameters to salinity, (b) compare plant performance across controlled (greenhouse), semi-controlled (outdoor pot), and open-field conditions, and (c) identify optimal cultivation practices for this species in marginal, salt-affected environments. The target audience includes agronomists, plant physiologists, and stakeholders in medicinal plant cultivation. The research employs a quantitative, comparative approach grounded in stress physiology to build an empirical understanding of *G. officinalis's* adaptability.

Method

The experiment was conducted during the 2023-2024 cropping year at the research farm of the Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran (37°32'N, 45°05'E; 1320 m altitude). A randomized complete block design (RCBD) with three replications was implemented. The treatments consisted of three salinity levels (0.1 dS/m as control, 5 dS/m, and 10 dS/m) applied through irrigation water in three distinct cultivation environments: greenhouse pots, outdoor pots, and field plots (using large containers). Soil physicochemical properties were analyzed before planting and after harvest (Tables 2 & 3). *G. officinalis* seeds were sown, and salinity stress was applied after seedling establishment (at the 2-4 leaf stage). Irrigation scheduling was based on daily evapotranspiration data and soil water balance. To prevent salt accumulation, root zones were periodically leached with fresh water.

Data were collected on morphological traits (stem length, root length, root diameter, root volume, leaf count), biomass parameters (root, stem, and leaf dry weight), the allometric coefficient (stem-to-root dry weight ratio), and grain yield per plant. Root volume was measured via water displacement. Dry weights were determined after oven-drying at 72°C for 48 hours. Statistical analysis was performed using SAS (v9.1) and SPSS (v16) software. Analysis of variance (ANOVA) was conducted, and mean comparisons were made using Tukey's test at the 5% probability level. Data from counted parameters were subjected to square root transformation prior to analysis.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

Results

Salinity stress significantly impaired the growth and yield of *G. officinalis* across all cultivation environments, with severity increasing at higher salinity levels (10 dS/m).

Greenhouse: Salinity significantly reduced root diameter, root dry weight, and leaf dry weight (Table 4). The 10 dS/m treatment caused reductions of 49%, 27%, and 49% in these traits, respectively, compared to the control (Table 5).

Outdoor Pots: Significant negative effects were observed on stem length, root volume, root diameter, root dry weight, stem dry weight, allometric coefficient, and grain yield (Table 6). The most severe reduction was in stem dry weight (69% at 10 dS/m). Grain yield decreased by 29% at the highest salinity level (Table 7).

Field Conditions: Salinity significantly affected all measured traits except root length and stem-to-root length ratio (Table 8). The most dramatic impact was on grain yield, which plummeted by 78% and 67% under 10 and 5 dS/m stress, respectively (Table 9). Interestingly, root volume and root dry weight were highest at 5 dS/m in the field but declined sharply at 10 dS/m.

The results consistently demonstrated that *G. officinalis* is highly sensitive to salinity, with the field environment showing the most substantial yield penalties. The allometric coefficient decreased under salinity, indicating a shift in biomass allocation away from stems and towards roots at lower stress levels, a strategy that failed at 10 dS/m.

Conclusions

The findings confirm the high susceptibility of *G. officinalis* to salinity stress, aligning with known physiological mechanisms where salt disrupts water uptake, causes ionic imbalance, and induces oxidative stress, leading to inhibited cell expansion and reduced photosynthetic capacity. The progressive reduction in root diameter, volume, and biomass under increasing salinity directly compromises the plant's anchor and nutrient/water foraging efficiency, ultimately cascading into severe yield loss. The differential response across environments highlights the interaction between abiotic stress and growing conditions; field plants faced compounded stresses (e.g., fluctuating temperature, light intensity), exacerbating salinity's negative effects.

The initial increase in some root parameters at 5 dS/m in the field may suggest a transient, plastic acclimation response, but this was insufficient to sustain reproductive output. The drastic yield reduction at 5 dS/m (67%) and 10 dS/m (78%) underscores that *G. officinalis* is a glycophyte with low salt tolerance. Therefore, its commercial cultivation should be restricted to soils with salinity levels consistently below 5 dS/m. For cultivation in prone areas, field conditions with careful irrigation management are preferable to pot systems, provided salinity is controlled.

This study provides crucial baseline data for breeders and agronomists. The theoretical implication is a clearer model of stress response in medicinal legumes. Practically, it warns against cultivating *G. officinalis* in saline areas without amelioration and directs future

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

research towards screening for more tolerant genotypes or developing agronomic practices (e.g., seed priming, biostimulant application) to enhance its resilience. Future work should explore the physiological and molecular mechanisms underlying this sensitivity and investigate integrated soil-water management strategies to enable the sustainable cultivation of this valuable medicinal species in challenging environments.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

یافته‌های نوین در علوم زیستی
Homepage: https://nbr.khu.ac.ir/
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۶۳۳۰
شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۷۱۱۵
دانشگاه خوارزمی

ارزیابی اثر تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت بر ویژگی‌های ریشه، ضریب آلومتری و عملکرد دانه گیاه گالگا (*Galega officinalis*)

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

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: n.samsami@urmia.ac.ir
۲. 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. رایانامه: r.tahmasebi@acecr.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

کلیدواژه‌ها:
تنش محیطی،
شرایط گلخانه‌ای،
صفات زراعی،
کشت گلدانی،
گیاهان دارویی،

چکیده

مقدمه: این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد گیاه دارویی گالگا انجام شد. از آنجا که مقابله با شوری خاک نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت و پر هزینه است، شناسایی و کشت گیاهان متحمل به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به ارزش اقتصادی گیاه گالگا و کمبود تحقیقات در این زمینه، این مطالعه به بررسی واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی این گیاه به سطوح مختلف شوری و روش‌های کاشت پرداخت تا زمینه‌ساز درک بهتر سازگاری گیاه و بهبود روش‌های کشت آن شود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف تنش شوری (۰/۱، ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) بر صفات ریشه، ضریب آلومتری و عملکرد دانه گیاه گالگا در سه شرایط کشت (گلخانه، کشت گلدانی در هوای آزاد و مزرعه) در سال زراعی ۱۴۰۲ انجام شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس در شرایط گلخانه نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر قطر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ داشت. به‌طور خاص، تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب موجب کاهش ۴۹ و ۱۶ درصدی قطر ریشه، ۲۷ و ۸ درصدی وزن خشک ریشه و ۴۹ و ۱۰ درصدی وزن خشک برگ در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری شد. در گلدان‌های هوای آزاد، تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و عملکرد دانه داشت و کاهش‌های قابل توجهی در این صفات مشاهده شد که به حداکثر ۶۹ درصد در وزن خشک ساقه رسید. در شرایط مزرعه، نتایج مشابهی به‌دست آمد و تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب موجب کاهش ۷۸ و ۶۷ درصدی در عملکرد دانه و تغییرات قابل توجهی در سایر صفات گردید.

نتیجه‌گیری: این نتایج حاکی از حساسیت بالای گیاه گالگا به تنش شوری در تمامی شرایط کشت است و نشان می‌دهد که افزایش سطوح شوری می‌تواند تأثیرات منفی قابل توجهی بر رشد و نمو این گیاه داشته باشد. لذا شرایط کشت مزرعه‌ای و سطوح تنش شوری پایین‌تر (زیر ۵ دسی‌زیمنس بر متر) برای گیاه گالگا قابل توصیه است.

استناد: صمصامی، ناصر؛ جلیلیان، جلال؛ قلی نژاد، اسماعیل؛ و طهماسبی، راحله (۱۴۰۴). ارزیابی اثر تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت بر ویژگی‌های ریشه، ضریب آلومتری و عملکرد دانه گیاه گالگا (*Galega officinalis*). *یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۱۲ (۳)، ۱۸-۱.

http//doi.org/10.22034/NBR.12.3.1

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

مقدمه

گیاه گالگا (*Galega officinalis*) به عنوان یک گیاه دارویی و علوفه‌ای با قابلیت‌های خاص، توجه محققان را به خود جلب کرده است. این گیاه به عنوان یک منبع غذایی ارزشمند و همچنین به دلیل خواص دارویی‌اش در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گالگا به عنوان یک گیاه چندساله، دارای توانایی بالایی در تثبیت نیتروژن و بهبود کیفیت خاک است و به همین دلیل در کشاورزی پایدار و بهبود سیستم‌های زراعی نقش مهمی ایفا می‌کند (Sharma, 2018). گالگا در طب سنتی برای درمان علائم مرتبط با دیابت نوع ۲ استفاده می‌شود (Bailey & Day, 2004). متفورمین، یک داروی آشنا، ایمن و ارزان، در سال ۱۹۵۰ از گیاه گالگا تهیه شد (Kasznicki, 2014). گالژین یک مشتق گوانیدین است که برای سنتز بیگوانیدها، متفورمین و فنفورمین استفاده می شود (Mooney et al., 2008). گالگا همچنین شامل برخی از متابولیت‌های ثانویه مهم مانند مدیکارپین، ساتیوان، تری گلیکوزیدهای فلاونول، کامفرول، کوئرستین، چربی، اسیدها، گلیکوزیدها، فنل‌ها، رزین‌ها، ترپن‌ها و استروئیدها، تانن‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، فنل‌ها و سایر ترکیبات آن پتانسیل ضد دیابتی را می‌باشد (Jung et al., 2006). علاوه بر این، مطالعات متعددی به بررسی خواص مختلف گیاه گالگا پرداخته و اثراتی همچون ادرارآوری، ضدباکتریایی، ضد دیابت، ضدالتهاب، کاهش وزن، ضد سرطان، مهار جهش، ضد ویروسی و افزایش ترشح لاکتات را برای آن گزارش کرده‌اند (Karakaş et al., 2012).

تنش شوری یکی از چالش‌های عمده در کشاورزی مدرن است که تأثیرات منفی قابل توجهی بر رشد و توسعه گیاهان دارد. این نوع تنش به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب محدود است، بیشتر مشاهده می‌شود و می‌تواند منجر به کاهش عملکرد گیاهان و کیفیت محصولات زراعی گردد (Munns & Tester, 2008). دنیای کشاورزی به دلیل تنش‌های غیرزیستی مختلف ناشی از تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی با بهره‌وری پایین‌تر و تلفات محصولات در حال ظهور مواجه است (Siswanti & Umah, 2021). در میان تنش‌های غیرزیستی مختلف، شوری زیاد در خاک، وضعیت‌های هشداردهنده‌ای را برای امنیت غذایی ایجاد می‌کند. بیش از ۴۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی آبی و ۹۵۰ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت تحت تأثیر شوری متوسط تا شدید قرار دارند (Munns & Tester, 2008). تنش شوری همچنین تنوع میکروبیوتای خاک را در داخل و اطراف ناحیه ریشه کاهش می‌دهد و میکروبیوم گیاه را بیشتر تغییر می‌دهد (Kumawat et al., 2022). قرار گرفتن طولانی مدت در معرض شوری منجر به تنش یونی می‌شود که باعث پیری زودرس برگ‌های مسن می‌شود و علائم سمیت مانند کلروز و نکروز را نشان می‌دهد زیرا محتوای بالای Na^+ بر سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم تأثیر می‌گذارد. تحمل به نمک در بسیاری از گیاهان از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است و به عنوان هالوفیت و گلیکوفیت شناخته می‌شوند، گیاهانی که به تنش شوری حساس هستند گلیکوفیت نامیده می‌شوند که نمی‌توانند در محدوده غلظت ۱۰۰ میلی مولار NaCl رشد کنند. در حالی که گیاهان هالوفیت توانایی مقاومت در برابر شوری بیش از ۲۵۰ میلی مولار NaCl را دارند. هالوفیت‌ها اغلب سه مکانیسم دفع یون‌های سدیم، بخش بندی و کاهش ورودی را برای تحمل نمک نشان می‌دهند (Flowers & Colmer, 2008). گلیکوفیت‌ها ممکن است با حفظ سطوح کم سیتوزولی Na^+ در داخل سلول‌ها و غلظت کم Na^+ اندام هوایی در کل گیاه خود به طور مؤثری در برابر تنش شوری مقاومت کنند.

شوری به شدت بهره‌وری محصول را مختل می‌کند، زیرا اثرات مضر آن می‌تواند باعث تغییرات مختلف فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی شود (Lucini et al., 2015). به طور خاص، تنش شوری می‌تواند بر استقرار گیاه تأثیر بگذارد، باعث توقف رشد شود و منجر به اختلالات اکسیداتیو شود، که مانع از فرآیندهای متابولیک محوری مانند فتوسنتز و به نوبه خود تولید زیست توده شود (Colantoni et al., 2017). علاوه بر این، اغلب گزارش شده است که شوری گیاهان را با تحریک تغییرات اسمزی و یونی (Johnson et al., 2024) تحت تأثیر قرار می‌دهد، تأثیر منفی بر جذب و جابجایی مواد مغذی، و تداخل با فعالیت آنزیم‌ها دارد (Colantoni et al., 2017). شوری همچنین می‌تواند باعث مرگ برگ‌ها به دلیل تجمع نمک در دیواره سلولی یا سیتوپلاسم شود زیرا واکوئل نمی‌تواند مقادیر زیادی نمک را جدا کند (Munns, 1992). تحت تنش شوری، گیاهان معمولاً گسترش ریشه محدود، نسبت ریشه به ساقه بیشتر و همچنین مورفولوژی ریشه تغییر یافته را نشان می

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

دهند (Acosta-Motos et al., 2015). علاوه بر این، کاهش سطح برگ به‌صورت معنی‌دار ثبت شده که به کاهش میزان فتوسنتز می‌انجامد. این امر احتمالاً نشان‌دهنده سازوکار گیاه برای به حداقل رساندن هدررفت آب از طریق تعرق است یا می‌تواند حاصل اختلال در تغذیه و جذب عناصر گیاهی باشد (Ruiz-Sánchez et al., 2000).

روش‌های مختلف کاشت می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر ویژگی‌های ریشه، ضریب آلومتری و عملکرد دانه گیاهان داشته باشند. انتخاب روش کاشت مناسب می‌تواند به بهبود مقاومت گیاه به تنش‌ها و بهینه‌سازی استفاده از منابع آب کمک کند (Zhang et al., 2019).

در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر تنش شوری بر گیاهان انجام شده است. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که تنش شوری می‌تواند باعث کاهش رشد ریشه و عملکرد دانه در گیاهان مختلف شود (Liu et al., 2024). همچنین، نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که برخی از گیاهان به روش‌های خاص کاشت و مدیریت آب در شرایط شوری واکنش مثبت نشان می‌دهند (Negrão et al., 2017b).

در مورد گیاه گالگا، چندین مطالعه به بررسی ویژگی‌های آن در شرایط مختلف پرداخته‌اند. یک تحقیق نشان داد که گالگا توانایی خوبی در تحمل تنش‌های محیطی، از جمله شوری، دارد و می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای کشت در مناطق با آب و هوای خشک مورد استفاده قرار گیرد (Egamberdieva et al., 2013). همچنین، بررسی‌های صورت‌گرفته در زمینه ضریب آلومتری نشان می‌دهد که این گیاه می‌تواند به‌طور مؤثری با روش‌های مختلف کاشت سازگار شود و بهینه‌سازی عملکرد آن تحت شرایط تنش شوری ممکن است با انتخاب روش‌های مناسب کاشت امکان‌پذیر باشد (Mamedov & Husiyev, 2022).

تنش شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تأثیرات گسترده‌ای بر فرآیندهای فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان دارد. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که افزایش شوری خاک معمولاً منجر به کاهش شاخص‌های رشدی همچون ارتفاع بوته، طول و حجم ریشه، وزن بیوماس و سطح برگ می‌گردد (Hosseini et al., 2017). این کاهش رشد می‌تواند ناشی از اختلال در جذب آب و مواد معدنی، ایجاد تنش اسمزی و نیز برهم خوردن تعادل یونی درون بافت‌های گیاهی باشد.

از سوی دیگر، گیاهان در پاسخ به تنش شوری، سازوکارهای تطابقی مختلفی از خود بروز می‌دهند. برای نمونه، برخی گزارش‌ها حاکی از افزایش تجمع ترکیبات اسمزتنظیم‌کننده مانند پرولین و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز تحت شرایط شوری است (Talei et al., 2018). با این حال، پاسخ گیاهان به شوری کاملاً وابسته به گونه، ژنوتیپ و غلظت نمک است. به‌عنوان مثال، در گیاه کینوا، سطوح بالای شوری (۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش قابل‌توجهی در صفاتی مانند وزن خشک ریشه و وزن هزار دانه ایجاد کرد (Heidari et al., 2020)، در حالی که در گیاه آویشن باغی، غلظت‌های متوسط شوری (تا ۱۰۰ میلی‌مولار) حتی باعث افزایش برخی متابولیت‌های ثانویه مانند تیمول و کارواکرول شد (Hosseini et al., 2017).

در این راستا، ارزیابی اثر تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد گیاه گالگا می‌تواند به درک بهتری از سازگاری این گیاه با شرایط محیطی و بهبود روش‌های کشت منجر شود. از آنجا که حل مسئله شوری و غلبه کردن بر آن مستلزم صرف تلاشی دراز مدت و هزینه هنگفت است، بنابراین آنچه که امروزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، برنامه ریزی مناسب برای حل مشکل شوری و تلاش برای یافتن و پرورش گیاهانی است که بتوانند در شرایط شوری محیط نیز عملکرد قابل قبولی داشته باشند. 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 واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه گالگا به تیمار تنش شوری و روش‌های مختلف کاشت انجام شد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

این آزمایش 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 ۳۲ ثانیه، و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ ثانیه اجرا شد.

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**

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
بارندگی ماهیانه (میلی‌متر)	۹۷	۴۸/۸	۹	۱/۳	۰/۷	۰	۳/۱	۲۱/۶	۱
تبخیر ماهیانه (میلی‌متر)	۷۰/۲	۱۶۸/۶	۲۱۷/۵	۲۷۲/۳	۲۸۳	۲۰۴/۹	۹۶/۶	۴۱/۷	۰
مجموع ساعات آفتابی ماهیانه	۲۲۳/۷	۲۶۸/۱	۲۸۷/۲	۳۵۹/۸	۳۴۱/۸	۳۲۹/۱	۲۳۰/۴	۱۹۳/۲	۱۹۲/۴
میانگین رطوبت نسبی (٪)	۴۸	۴۴	۴۱	۳۹	۳۱/۸	۳۸	۵۰	۵۴	۵۴
میانگین دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۲	۱۶	۲۲	۲۶	۲۷/۸	۲۳	۱۷	۱۳	۷

روش تحقیق

این تحقیق به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا شد.

متغیرهای مورد اندازه‌گیری

این تحقیق برای بررسی اثر تنش شوری بر عملکرد دانه، صفات مورفولوژیک و صفات فنولوژیک در گیاه گالگا در سه محیط مختلف کشت، گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و تشتک در مزرعه (شکل ۱) اجرا شد.



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

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

عملیات زراعی

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 خاک مزرعه دانشکده کشاورزی جهت پر کردن گلدان‌ها استفاده شد، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک گلدان‌ها در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). تاریخ برداشت گلدان‌های هوای آزاد و مزرعه در ۷ مهرماه و گلخانه در تاریخ ۷ آبان ماه انجام شد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت

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

بافت خاک	رس (٪)	لای (٪)	شن (٪)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	ظرفیت زراعی (٪)	نقطه پژمردگی دائم (٪)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	$CaCo_3$ (٪)	کربن آلی (٪)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
رسی لومی	۳۹	۲۷/۵	۳۳/۵	۱/۳۵	۲۷	۱۳	۰/۵۹	۷/۸۴	۵/۶۴	۱/۴۵	۱۳/۲۰	۳۸۵

طرح آزمایشی مورد استفاده

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 (EC=0.1 dS/m)، آبیاری با آب با EC=5 dS/m و آبیاری با آب با EC=10 dS/m بود و برای هر تیمار ۶ تشتک بزرگ با ابعاد طول ۱ متر، عرض ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر (هر دو تشتک در کنار هم به عنوان یک کرت آزمایشی) در نظر گرفته شد. به منظور کاهش اثر حاشیه‌ای تشتک‌ها با فاصله ۲ متر از هر طرف، در مزرعه مستقر شدند. با حفر چاله، کلیه تشتک‌ها تا سطح رویی، در داخل خاک قرار گرفتند و برای هر تشتک به صورت جداگانه شیر تخلیه زه آب تعبیه شد. خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر، در داخل آنها افزوده شد. بذرهای گالگا از شرکت شفاپژوهان سبز تبریز تهیه شد. در موقع کاشت در هر چاله، ۳ عدد بذر با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، قرار داده شد که در مرحله ۲-۴ برگی بوته‌های اضافی تنک شدند.

روش اعمال تیمارها

تا مرحله ۲-۴ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به طور یکسان (آبیاری با آب معمولی) اعمال شد و بعد از این مرحله، سطوح مختلف تنش شوری اعمال شد. زمان اعمال تنش شوری بعد از تنک کردن و استقرار کامل بوته‌ها شروع شد. برای اعمال تیمارهای شوری از سه تانکر آب استفاده شد بعد از اعمال آبیاری EC زه آب اندازه‌گیری شد، در صورت افزایش بیش از حد شوری، شستشو با آب معمولی انجام شد تا EC مورد نظر به تعادل برسد.

ارومیه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود. با توجه به آمار هواشناسی بلند مدت در ارومیه، متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۰ میلی‌متر، متوسط دما ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۵٪ می‌باشد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله، ۲۰ و ۴۰ روز بعد از کاشت صورت پذیرفت. برای حذف اثر حاشیه، ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف حذف گردید.

تنش شوری بعد از استقرار گیاه و از مرحله ۲-۴ برگی اعمال شد. برای تعیین زمان و حجم آبیاری از رابطه ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2000):

$$RAW = \frac{FC-PWP}{100} \times \rho \times D \times MAD$$ رابطه ۱)

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 خاک رسی لومی ظرفیت زراعی خاک ۲۷ و نقطه پژمردگی دایم ۱۳ است. وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ می‌باشد. عمق توسعه ریشه در گالگا ۴۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ضریب آب سهل الوصول یا F یا MAD یا θ می‌باشد و ۰/۴ در نظر گرفته شد. میزان تبخیر و تعرق روزانه از ایستگاه هواشناسی دانشگاه گرفته شد و بر اساس آن دور آبیاری محاسبه شد. میزان آب آبیاری با آب پاش و با حجم مشخص به هر گلدان داده شد. دور آبیاری بر اساس میزان تبخیر و تعرق تنظیم شد که حدودا ۵ روز بود. تیمار شوری به صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگار شدن، گیاهان با شوری کمتر آبیاری شدند و سپس

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

شوری‌های ذکر شده بر اساس تیمارها اعمال شدند. البته هر ۱۰ روز یکبار محیط ریشه گیاهان با آب معمولی به‌طور کامل شستشو داده می‌شد تا تغییرات pH و EC ناشی از تجمع نمک‌ها در بستر کاشت به حداقل 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

	گلخانه			مزرعه		گلدان‌های هوای آزاد		
تیمارهای شوری (دسی زیمنس بر متر)	۰/۱	۵	۱۰	۰/۱	۵	۱۰	۰/۱	۵	۱۰
Na (Meq L^{-1})	۰/۳۹	۰/۶۴	۱/۲۵	۰/۴۰	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۴۱	۰/۷۴	۱/۰۶
Cl (Meq L^{-1})	۵/۴	۲۱/۲	۵۶/۶	۴	۳۲/۲	۴۹/۸	۱۰/۴	۳۵/۶	۶۳/۲
EC (dS m^{-1})	۲/۵۴	۶/۸۲	۹/۵۱	۰/۶۶	۴/۹۵	۹/۲۱	۲/۳۴	۶/۲۱	۱۰/۴۸
pH	۸/۰۹	۸/۲۱	۷/۹۲	۷/۹۱	۷/۸۸	۷/۸۱	۶/۹۴	۷/۹۹	۸/۲۱

اندازه‌گیری صفات

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 (Seyed Sharifi and Gholinezhad, 2022).

برای محاسبه وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و عملکرد دانه در پایان آزمایش جداگانه و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آنها از هر تکرار با ترازوی Shimatzu توزین گردید.

ضریب آلومتریک از تقسیم وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه به‌دست آمد (Hoseini et al., 2011).

حجم ریشه: بعد از اتمام فصل رشد و خارج کردن ریشه از گلدان، برای اندازه‌گیری حجم، ریشه داخل استوانه مدرج پر از آب مقطر قرار گرفت و بر اساس میزان آب جابجا شده در استوانه، حجم ریشه بر حسب سانتی‌متر مکعب در بوته گزارش گردید (Kesahvarznia et al., 2014).

طول ریشه اصلی: بعد از اتمام فصل رشد و خارج کردن ریشه از گلدان، ریشه‌ها بعد از استخراج از خاک و تمیز شدن از ابتدا تا انتهای ریشه با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری به عمل آمد.

قطر ریشه: بعد از اتمام فصل رشد و خارج کردن ریشه از گلدان از قسمت وسط هر ریشه توسط کولیس با دقت یک میلی‌متر اندازه گیری و ثبت شد.

وزن خشک ریشه: ریشه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه در آون قرار داده، سپس توسط ترازوی دقیق توزین شدند.

طول ساقه: در انتهای فصل رشد گیاه گالگا برای اندازه گیری ارتفاع، با استفاده از متر از محل یقه تا انتهای ساقه اصلی، با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری به عمل آمد.

تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MATATC انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح احتمال خطای 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.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

نتایج

گلخانه

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مرتبط با ریشه در شرایط گلخانه نشان داد تاثیر اثرات تنش شوری بر قطر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب قطر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ را به میزان (۴۹ و ۱۶ درصد)، (۲۷ و ۸ درصد) و (۴۹ و ۱۰ درصد) در شرایط گلخانه کاهش داد (جدول ۵). بیشترین طول ریشه (۴۳/۲۶ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۶۶/۶۵ سانتی‌مترمکعب) و ضریب آلومتریک یا نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه بیولوژیک (۱/۰۴) در شرایط بدون تنش شوری بدست آمد (جدول ۵). بیشترین نسبت طول ساقه به طول ریشه (۱/۶۴) در شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۵).

جدول ۴- تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه در شرایط گلخانه

Table 4. Effect of different levels of salinity stress on root characteristics and grain yield under greenhouse conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	حجم ریشه	قطر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد برگ در بوته تبدیل جذری شده	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۸۳/۸۷^{ns}	۲۳/۸۲^{ns}	۳۵۹/۹۱^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۱۵/۲۱**	۱/۳۵^{ns}	۱/۶۳^{ns}	۲۵/۸۴^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۰/۰۹۱^{ns}	-
تنش شوری	۲	۱۰/۷۲^{ns}	۱۲/۰۲^{ns}	۳۳۳/۵۴^{ns}	۰/۳۳**	۷/۱۴*	۱/۱۱^{ns}	۱۸/۱۱^{ns}	۵۲/۵۲*	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۴۰^{ns}	-
خطای آزمایش	۴	۱۸/۳۷	۵۱/۱۸	۱۹۳/۱۴	۰/۰۱۸	۱/۰۷۱	۰/۲۸	۴/۸۸	۴/۹۲	۰/۰۶۶	۰/۰۴۱	-
ضریب تغییرات	-	۶/۶۱	۱۷/۲۴	۲۵/۱۷	۱۳/۰۵	۱۰/۵۹	۷/۵۰	۲۵/۲۱	۱۷/۲۷	۱۶/۲۷	۲۲/۴۱	-

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه گیاه گالگا در شرایط گلخانه

Table 5. Mean omparison of effects of salinity stress on root characteristics and grain yield of Galega plant under greenhouse conditions

تیمار تنش شوری (دسی زیمنس بر متر)	طول ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm^3)	قطر ریشه (cm)	وزن خشک ریشه (گرم بر بوته)	تعداد برگ در بوته	وزن خشک ساقه (گرم بر بوته)	وزن خشک برگ (گرم بر بوته)	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
۰/۱	۶۴/۱۱ a	۴۳/۲۶ a	۶۶/۶۵ a	۱/۳۴ a	۱۱/۰۸ a	۶۰/۸۸ a	۱۱/۴۵ a	۱۶/۰۲ a	۱/۵۰ a	۱/۰۴ a	-
۵	۶۷/۰۰	۴۱/۸۷	۵۳/۱۱	۱/۱۳	۱۰/۱۷	۴۶/۱۰	۸/۲۰ a	۱۴/۴۰	۱/۶۴ a	۰/۸۲ a	-

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

			ab		a	a	a	a	a	a		
-	۰/۸۷ a	۱/۶۲ a	۸/۱۰ b	۶/۶۴ a	۴۵/۳۲ a	۸/۰۷ a	۰/۶۸ b	۴۵/۸۸ a	۳۹/۳۲ a	۶۳/۴۴ a	۱۰	

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

گلدان‌های هوای آزاد

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مرتبط با ریشه در شرایط گلدان‌های هوای آزاد نشان داد تاثیر اثرات تنش شوری بر طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه در مرحله گلدهی، وزن خشک ساقه، ضریب آلومتریک و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه در مرحله گلدهی، وزن خشک ساقه، ضریب آلومتریک و عملکرد دانه را به‌میزان (۲۶ و ۱۸ درصد)، (۴۸ و ۳۳ درصد)، (۳۱ و ۱۵ درصد)، (۳۹ و ۱۴ درصد)، (۶۹ و ۴۶ درصد)، (۴۷ و ۳۸ درصد) و (۲۹ و ۴ درصد) در شرایط گلدان‌های هوای آزاد کاهش داد (جدول ۷).

جدول ۶- تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه گیاه گالگا در شرایط گلدانی هوای آزاد

Table 6. Effect of different levels of salinity stress on root characteristics and grain yield under outdoor pot conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	حجم ریشه	قطر ریشه	وزن خشک ریشه در مرحله گلدهی	تعداد برگ در بوته تبدیل جذری شده	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۲۲/۴۶^{ns}	۴۳/۴۵^{ns}	۳/۰۱^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۱/۷۰^{ns}	۱/۲۴^{ns}	۲/۴۱^{ns}	۱/۰۳^{ns}	۰/۰۳۱^{ns}	۰/۰۴۳^{ns}	۰/۰۴۶**
تنش شوری	۲	۹۵/۰۸**	۳۶/۸۴^{ns}	۴۰۳/۱۶**	۰/۱۳**	۸/۲۷*	۱/۸۸^{ns}	۲۱/۱۳**	۱/۴۷^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۱۵۸**	۰/۲۷**
خطای آزمایش	۴	۷/۴۷	۳۵/۵۱	۲/۷۸	۰/۰۰۸۳	۱/۲۴	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۲۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۳۷
ضریب تغییرات	-	۷/۵۲	۱۶/۴۷	۴/۸۲	۷/۸۵	۱۶/۲۹	۱۲/۵۹	۱۹/۲۲	۹/۵۴	۱۸/۵۰	۱۳/۸۳	۲/۸۷

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

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه گیاه گالگا در شرایط گلدانی هوای آزاد

Table 7. Mean omparison of effects of salinity stress on root characteristics and grain yield of Galega plant under outdoor pot conditions

تیمار تنش شوری (دسی زیمنس بر متر)	طول ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm^3)	قطر ریشه (cm)	وزن خشک ریشه (گرم بر بوته)	تعداد برگ در بوته	وزن خشک ساقه (گرم بر بوته)	وزن خشک برگ (گرم بر بوته)	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
۰/۱	۴۲/۵۷ a	۳۳/۴۱ a	۴۷/۳۳ a	۱/۳۷ a	۸/۳۲ a	۳۷/۶۷ a	۷/۵۶ a	۵/۷۲ a	۱/۳۱ a	۰/۹۱ a	۲/۳۵ a
۵	۳۴/۷۶ ab	۳۴/۹۷ a	۳۱/۷۷ b	۱/۱۶ ab	۷/۱۷ ab	۵۹/۰۰ a	۴/۰۵ b	۶/۰۸ a	۰/۹۹ a	۰/۵۶ b	۲/۲۶ a
۱۰	۳۱/۶۴ b	۴۰/۱۱ a	۲۴/۶۶ c	۰/۹۵ b	۵/۰۵ b	۵۴/۰۰ a	۲/۳۶ b	۴/۷۲ a	۰/۸۰ a	۰/۴۸ b	۱/۷۹ b

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

مزرعه

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مرتبط با ریشه در شرایط مزرعه نشان داد تاثیر اثرات تنش شوری بر طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه در مرحله گلدهی، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، ضریب آلومتریک و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۸). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی-زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب طول ساقه، قطر ریشه، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، ضریب آلومتریک و عملکرد دانه را به‌میزان (۴۳ و ۲۹ درصد)، (۳۴ و ۱۰ درصد)، (۵۸ و ۱۲ درصد)، (۷۷ و ۴۱ درصد)، (۶۱ و ۲ درصد)، (۶۰ و ۵۸ درصد) و (۷۸ و ۶۷ درصد) در شرایط مزرعه کاهش داد (جدول ۹). بیشترین حجم ریشه (۶۹/۴۲ سانتی‌متر مکعب) و وزن خشک ریشه (۱۳/۵۲ گرم در بوته) از تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد ولی با افزایش تنش شوری تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری میزان حجم ریشه و وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۲۹ و ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۹).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

جدول ۸- تاثیر سطوح مختلف تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه گیاه گالگا در شرایط مزرعه

Table 6. Effect of different levels of salinity stress on root characteristics and grain yield under field conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول ریشه	حجم ریشه	قطر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد برگ در بوته تبدیل جذری شده	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۵۳/۷۶^{ns}	۱۱/۸۳^{ns}	۲۳۸/۴۲^{ns}	۰/۰۰۳۴^{ns}	۸/۲۶*	۰/۲۲^{ns}	۱/۱۶^{ns}	۲۵/۳۵*	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۸۶^{ns}	۰/۰۳۵^{ns}
تنش شوری	۲	۷۵۰/۴۴**	۴۷/۵۸^{ns}	۱۱۰۵/۲۹*	۰/۱۶۵*	۴۵/۸۹**	۱۱/۴۸**	۱۳۳/۵۷**	۲۱۹/۱۲**	۰/۲۳^{ns}	۱/۰۷**	۱۸/۲۷**
خطای آزمایش	۴	۱۶/۷۱	۲۴/۴۵	۱۶۲/۷۱	۰/۰۲۰	۰/۹۴	۰/۰۶۹	۱/۶۱	۴/۰۱	۰/۰۵۷	۰/۰۲۵	۰/۰۷
ضریب تغییرات	-	۷/۵۲	۱۴/۳۵	۲۶/۲۸	۱۲/۴۹	۱۰/۰۰	۲/۹۲	۱۲/۱۵	۱۰/۳۰	۱۵/۱۳	۱۴/۸۴	۹/۴۰

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

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه گیاه گالگا در شرایط مزرعه

Table 9. Mean omparison of effects of salinity stress on root characteristics and grain yield of Galega plant under field conditions

تیمار تنش شوری (دسی زیمنس بر متر)	طول ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm^3)	قطر ریشه (cm)	وزن خشک ریشه (گرم بر بوته)	تعداد برگ در بوته	وزن خشک ساقه (گرم بر بوته)	وزن خشک برگ (گرم بر بوته)	نسبت طول ساقه به طول ریشه	ضریب آلومتریک نسبت وزن خشک ساقه به وزن خشک ریشه	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
۰/۱	۷۱/۶۶ a	۳۹/۰۲ a	۴۴/۵۰ ab	۱/۳۴ a	۹/۹۵ b	۱۰۹/۰۶ a	۱۷/۲۱ a	۲۴/۵۸ a	۱/۸۴ a	۱/۷۷ a	۵/۸۱ a
۵	۵۰/۴۷ b	۳۲/۵۸ a	۶۹/۴۲ a	۱/۲۰ ab	۱۳/۵۲ a	۹۵/۶۶ b	۱۰/۲۱ b	۲۴/۱۵ a	۱/۶۰ a	۰/۷۵ b	۱/۸۹ b
۱۰	۴۰/۷۳ b	۳۱/۷۵ a	۳۱/۶۷ b	۰/۸۸ b	۵/۷۱ c	۴۶/۰۸ c	۳/۸۷ c	۹/۵۶ b	۱/۲۸ a	۰/۷۱ b	۱/۲۵ b

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشند.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های ریشه و سایر صفات مرتبط با گیاه گالگا در شرایط گلخانه، گلدان‌های هوای آزاد و مزرعه داشت. تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف شوری تأثیر معنی‌داری بر صفات مختلف مانند قطر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ساقه و عملکرد دانه داشت (جدول‌های ۴، ۶ و ۸). این نتایج با

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

یافته‌های گذشته که نشان دادند تنش شوری می‌تواند به‌طور منفی بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر بگذارد، هم‌راستا بود (Flowers & Yeo, 1995; Munns, 2002).

در شرایط گلخانه، مشاهده شد که تنش شوری، به‌ویژه در سطوح ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، به‌طور معنی‌داری قطر ریشه، وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ را کاهش داد (جدول ۵). کاهش این صفات می‌تواند ناشی از اختلال در جذب آب و مواد مغذی به دلیل افزایش غلظت نمک در محیط ریشه باشد. به‌علاوه، کاهش وزن خشک ریشه و برگ در نتیجه تنش شوری ممکن است منجر به کاهش توانایی گیاه در تأمین نیازهای متابولیکی و فیزیولوژیکی خود شود. این یافته‌ها به‌ویژه در مقایسه با نتایج تحقیقاتی که نشان دادند شوری می‌تواند موجب کاهش رشد ریشه و عملکرد در گیاهان مختلف شود، تأیید می‌شود (Zhang et al., 2019).

در شرایط گلدان‌های هوای آزاد، نتایج نشان‌دهنده تأثیرات مشابهی بود. در این مطالعه، طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه و سایر ویژگی‌ها تحت تأثیر تنش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۷). به‌طور خاص، عملکرد دانه تحت تأثیر شدید تنش شوری قرار گرفت، به‌طوری که در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه تا ۲۹ درصد کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های دیگر که تأثیر منفی شوری بر عملکرد دانه را گزارش کردند، هم‌خوانی داشت (Qadir et al., 2014). کاهش عملکرد دانه به‌دلیل کاهش توانایی گیاه در تولید و انتقال مواد غذایی می‌توانست به‌طور مستقیم ناشی از اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی نظیر فتوسنتز و تنفس باشد.

در شرایط مزرعه، نتایج نشان دادند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری بر طول ساقه، حجم ریشه، قطر ریشه و وزن خشک ریشه تأثیر گذاشت (جدول ۹). کاهش ۷۸ درصدی در عملکرد دانه در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، نشان‌دهنده حساسیت بالای گیاه گالگا به تنش شوری در شرایط واقعی مزرعه است. همچنین، حجم ریشه و وزن خشک ریشه در شرایط شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به حداکثر خود رسید، اما با افزایش تنش شوری به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، این صفات کاهش یافتند. این کاهش در حجم و وزن خشک ریشه ممکن است بر کارایی جذب آب و مواد مغذی تأثیر گذاشته و در نتیجه به کاهش رشد و عملکرد گیاه منجر شود.

به‌طور کلی، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که گیاه گالگا در مواجهه با تنش شوری تا حدی قادر به بروز سازوکارهای سازگاری است؛ با این وجود، افزایش سطح شوری به‌طور معناداری موجب کاهش عملکرد و مختل شدن ویژگی‌های رشدی این گیاه شد. این یافته‌ها به اهمیت مدیریت شوری در کشاورزی و انتخاب روش‌های مناسب کشت تأکید کردند. به‌ویژه، انتخاب ارقام مقاوم به شوری و بهینه‌سازی شرایط کشت می‌تواند به بهبود عملکرد این گیاه در مناطق تحت تنش شوری کمک کند (Khan et al., 2021). این موضوع به‌ویژه برای کشاورزان و محققان مهم است، چراکه با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش شوری خاک‌ها، نیاز به توسعه روش‌های کشت پایدار و مقاوم به شوری روز به روز بیشتر احساس می‌شود.

در مطالعه‌ای مشاهده شد که تیمارهای شوری نیز به طور قابل‌توجهی رشد ریشه را مهار کرده و سطح ریشه را کاهش می‌دهند. در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار NaCl، آسیب بیشتری به صورت سوختگی مشاهده شد که نواحی مختلف ریشه مانند کلاهک ریشه، مریستم آپیکال، کشیدگی و نواحی موی ریشه را به خطر انداخت (Zuzunaga-Rosas et al., 2024). مطالعات قبلی نشان داد که ۶۰ میلی مولار نمک طعام به شدت بر رشد ریشه اسفناج و کاهو و رشد رویشی تأثیر می گذارد (Kaya et al., 2002). غلظت‌های مشابه، ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl، همچنین بر *Medicago sativa* و *Vicia faba*، عمدتاً نازک‌ترین ریشه‌ها و موهای ریشه، که در جذب مواد مغذی ضروری هستند، تأثیر گذاشت. مهار رشد ریشه یک پاسخ معمولی به عوامل محدود کننده مانند کمبود آب یا مواد مغذی، ترکیبات سمی، متراکم شدن محیط گیاه (بستر یا خاک) یا شوری است (Neumann & Römheld, 2002). این محدودیت‌ها حتی در ارقام باغبانی مدرن که معمولاً سیستم‌های ریشه‌ای کاهش‌یافته‌تر و کم‌عمق‌تری نسبت به اجداد وحشی خود دارند، آشکارتر است (Kerbiriou et al., 2013).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

گیاهان از طریق سیستم‌های ریشه خود در معرض شوری قرار دارند. حتی در شرایط شوری ملایم محیط ریشه، یون‌هایی مانند سدیم و کلر قادرند به سلول‌های ریشه وارد و باعث کاهش شیب جذب آب و عناصر شوند. بقا و موفقیت گیاهان تحت شرایط شوری، مستلزم انتقال آب از طریق ریشه، دارا بودن سیستم آوندی مناسب و سازوکارهای ترشح و انتقال عناصر غذایی به قسمت‌های هوایی گیاه و نیز تحمل به پلاسمولیز شدن است (Negrão et al., 2017). یکی از اثرات تنش شوری، کاهش سرعت ازدیاد طول سلول است، که به موجب آن مناطق رشد ریشه در حضور نمک‌ها منقبض می‌شوند و جذب آب و مواد مغذی را محدود می‌کنند (Byrt et al., 2018). مطالعات قبلی نشان داد که افزایش شوری در کشت هیدروپونیک گندم، وزن خشک ریشه، تعداد ریشه، طول کلی ریشه، متوسط قطر ریشه و حجم کل ریشه را کاهش داد (Shafi et al., 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه به‌روشنی نشان داد که تنش شوری تأثیرات منفی قابل توجهی بر رشد و توسعه گیاه گالگا در شرایط مختلف کشت از جمله گلخانه، گلدان‌های هوای آزاد و مزرعه دارد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که افزایش سطوح شوری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش در صفات کلیدی مانند طول ساقه، قطر ریشه، وزن خشک ریشه و عملکرد دانه می‌شود. این کاهش، به‌ویژه در سطوح بالای شوری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) به وضوح مشهود بود، که نشان‌دهنده حساسیت بالای این گیاه به تنش شوری است. علاوه بر این، نتایج نشان دادند که گیاه گالگا در شرایط شوری می‌تواند تا حدودی به سازگاری بپردازد، اما در سطوح بالاتر شوری، این سازگاری به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به‌ویژه در شرایط مزرعه، کاهش قابل توجهی در عملکرد دانه و دیگر ویژگی‌های رشد مشاهده شد که این موضوع نیاز به مدیریت مؤثر و انتخاب روش‌های کشت مناسب را تأکید می‌کند. با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش شوری خاک‌ها، اهمیت انتخاب ارقام مقاوم به شوری و بهینه‌سازی شرایط کشت برای بهبود عملکرد گیاهان در مناطق تحت تنش شوری روز به روز بیشتر احساس می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه مکانیسم‌های سازگاری گیاهان به تنش شوری و روش‌های مدیریت بهینه شوری در کشاورزی انجام شود تا بتوان به راهکارهای عملی و مؤثری در این زمینه دست یافت. این اقدامات نه تنها به بهبود عملکرد گیاه گالگا کمک خواهد کرد، بلکه می‌تواند به توسعه کشاورزی پایدار و مقاوم در برابر تنش‌های محیطی نیز منجر شود.

سپاسگزاری

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

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: ناصر صمصامی؛ تهیه گزارش پژوهش: ناصر صمصامی؛ تحلیل داده‌ها: جلال جلیلیان، اسماعیل قلی‌نژاد و راحله طهماسبی

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان‌نامه تقریبا به شکل زیر باشد:

ناصر صمصامی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

جلال جلیلیان: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

اسماعیل قلی نژاد: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

راحله طهماسبی: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه انجام شد.

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی در قالب پژوهانهٔ پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانهٔ برای سایر نویسندگان انجام شده است.

References

Acosta-Motos JR, Diaz-Vivancos P, Álvarez S, Fernández-García N, Sánchez-Blanco MJ, Hernández JA. NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanisms in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. Journal of Plant Physiology. 2015;183:41-51. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.005

Bailey CJ, Day C. Metformin: its botanical background. Practical Diabetes International. 2004;21(3):115-117. https://doi.org/10.1002/pdi.606

Byrt CS, Munns R, Burton RA, Gilliham M, Wege S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. Plant Science. 2018;269:47-55. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.12.012

Colantoni A, Recchia L, Bernabei G, Cardarelli M, Rouphael Y, Colla G. Analyzing the environmental impact of chemically-produced protein hydrolysate from leather waste vs. enzymatically-produced protein hydrolysate from legume grain. Agriculture. 2017;7(8):62. https://doi.org/10.3390/agriculture7080062

Egamberdieva D, Berg G, Lindström K, Räsänen LA. Alleviation of salt stress of symbiotic *Galega officinalis* L. (goat's rue) by co-inoculation of Rhizobium with root-colonizing Pseudomonas. Plant and Soil. 2013;369:453-465. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1586-3

Flowers TJ, Yeo AR. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? Australian Journal of Plant Physiology. 1995;22(6):875-884. https://doi.org/10.1071/PP9950875

Flowers TJ, Colmer TD. Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist. 2008;179(4):945-963. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x

Heidari F, Jalilian J, Gholinezhad E. The roll of foliar application nano-fertilizers in modulating the negative effects of salt stress in quinoa. Journal of Crops Improvement. 2020;22(4):587-600.

Hoseini F, Siadat S, Bakhshandeh A, Chab AN. Evaluate the effect of oxygen tension on germination and seedling growth of five components of wheat. Journal of Crop Production and Processing. 2011;9(4):631-638. https://doi.org/10.22067/GSC.V9I4.13242

Hosseini H, Mousavi-Fard S, Fatehi F, Qaderi A. Changes in phytochemical and morpho-physiological traits of thyme (*Thymus vulgaris* cv varico 3) under different salinity levels. Journal of Medicinal Plants. 2017;16(61):22-33.

Johnson R, Joel JM, Puthur JT. Biostimulants: The futuristic sustainable approach for alleviating crop productivity and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Growth Regulation. 2024;43(3):659-674. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11144-3

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

Jung M, Park M, Lee HC, Kang YH, Kang ES, Kim SK. Antidiabetic agents from medicinal plants. Current Medicinal Chemistry. 2006;13(10):1203-1218. https://doi.org/10.2174/092986706776360860

Karakaş FP, Yildirim A, Türker A. Biological screening of various medicinal plant extracts for antibacterial and antitumor activities. Turkish Journal of Biology. 2012;36(6):641-652. https://doi.org/10.3906/biy-1203-16

Kasznicki J, Sliwinska A, Drzewoski J. Metformin in cancer prevention and therapy. Annals of Translational Medicine. 2014;2(6):57. https://doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2014.06.01

Kaya C, Higgs D, Sakar E. Response of two leafy vegetables grown at high salinity to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. Journal of Plant Nutrition. 2002;25(12):2663-2676. https://doi.org/10.1081/PLN-120015530

Kerbiriou PJ, Stomph TJ, Lammerts Van Bueren ET, Struik PC. Influence of transplant size on the above-and below-ground performance of four contrasting field-grown lettuce cultivars. Frontiers in Plant Science. 2013;4:379. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00379

Kesahvarznia R, Shahbazi M, Mohammadi V, Hosseini Salekdeh G, Ahmadi A, Mohseni-Fard E. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. Iranian Journal of Field Crop Science. 2014;45(4):553-563. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.53565

Kumawat KC, Nagpal S, Sharma P. Potential of plant growth-promoting rhizobacteria-plant interactions in mitigating salt stress for sustainable agriculture—A review. Pedosphere. 2022;32(2):223-245. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60070-X

Liu C, Jiang X, Yuan Z. Plant responses and adaptations to salt stress: A review. Horticulturae. 2024;10(11):1221. https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221

Lucini L, Rouphael Y, Cardarelli M, Canaguier R, Kumar P, Colla G. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. Scientia Horticulturae. 2015;182:124-133. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.022

Mamedov AI, Husiyev EK. Allometric model for predicting root biomass of field crops in the salt-affected clay soil: Novel approach. Environmental Sciences Proceedings. 2022;16(1):11. https://doi.org/10.3390/environsciproc2022016011

Mooney M, Fogarty S, Stevenson C, Gallagher A, Palit P, Hawley S, Tate R. Mechanisms underlying the metabolic actions of galegine that contribute to weight loss in mice. British Journal of Pharmacology. 2008;153(8):1669-1677. https://doi.org/10.1038/bjp.2008.37

Munns R. A leaf elongation assay detects an unknown growth inhibitor in xylem sap from wheat and barley. Australian Journal of Plant Physiology. 1992;19(2):127-135. https://doi.org/10.1071/PP9920127

Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment. 2002;25(2):239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 2008;59:651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Negrão S, Schmöckel S, Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany. 2017;119(1):1-11. https://doi.org/10.1093/aob/mcw191

Neumann G, Römheld V. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, editors. Plant Roots: The Hidden Half. 3rd ed. Marcel Dekker; 2002. p. 617-649.

Ruiz-Sánchez MC, Domingo R, Torrecillas A, Pérez-Pastor A. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. Plant Science. 2000;156(2):245-251. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00262-4

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]

Shafi M, Zhang G, Bakht J, Khan MA, Islam U, Khan MD, Raziuddin G. Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. Pakistan Journal of Botany. 2010;42(4):2747-2754.

Sharma A. Gene expression analysis in medicinal plants under abiotic stress conditions. In: Ahmad P, Ahanger MA, Singh VP, Tripathi DK, Alam P, Alyemeni MN, editors. Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress. Academic Press; 2018. p. 407-414. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00023-6

Siswanti D, Umah N. Effect of biofertilizer and salinity on growth and chlorophyll content of *Amaranthus tricolor* L. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; [Volume and page numbers required for completed reference].

Talei D, Sharifi R, Pirsalehi M. Study of morpho-physiological responses of Purslane to methyl jasmonate under salinity stress conditions. Journal of Crops Improvement. 2018;20(3):667-678. https://doi.org/10.22059/jci.2018.257674.2028

Zuzunaga-Rosas J, Calone R, Mircea DM, Shakya R, Ibáñez-Asensio S, Boscaiu M, Vicente O. Mitigation of salt stress in lettuce by a biostimulant that protects the root absorption zone and improves biochemical responses. Frontiers in Plant Science. 2024;15:1341714. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1341714

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: https://doi.org/10.22034/NBR.12.3.1]