



The effect of salinity stress and different planting environments on morphological, phenological traits, and grain yield of *Galega officinalis*

Naser Samsami¹ | Jalal Jalilian² | Esmail Gholinezhad³ | Raheleh Tahmasebi⁴

1. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: n.samsami@urmia.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir
4. 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 21 March 2025
Received in revised form
7 September 2025
Accepted 29 November 2025
Published online 5 January 2026

Keywords:

Inflorescence length
Leaf dry weight
Number of branches
Plant height, Stress

ABSTRACT

Objective: Salinity stress poses a substantial environmental challenge that negatively impacts agricultural productivity, particularly in arid and semi-arid regions where soil salinity is prevalent. This study evaluates the effects of varying salinity levels on the morphological and phenological traits of *Galega officinalis* across three planting environments: greenhouse, open-air pots, and field.

Methods: A randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in three cultivation environments (greenhouse, open-air pots, and field) during the 2024 crop year at the Agricultural Faculty of Urmia University. Plants were subjected to three salinity levels (0.1, 5, and 10 dS m⁻¹) over a defined growth period. Traits assessed included seed yield; morphological traits (plant height, inflorescence length, number of leaves, number of main branches, number of secondary branches, leaf dry weight, stem dry weight, and aerial dry weight); and phenological traits (days to germination, days to flowering, days to physiological maturity, days to inflorescence formation, and days to 4 leaves).

Results: Analysis of variance indicated that salinity stress significantly affected several traits, including days to flowering, branch numbers, dry weights of plant organs, and grain yield. In the greenhouse, salinity at 10 and 5 dS m⁻¹ reduced days to flowering by 19% and 2%, main branches by 40% and 30%, secondary branches by 78% and 15%, and leaf dry weight by 49% and 10%, respectively, relative to the control (0.1 dS m⁻¹). In open-air pots, harvest maturity, inflorescence formation, plant height, inflorescence length, and aerial organ fresh and dry weights declined at higher salinities by 6% and 2%, 41% and 4%, 26% and 18%, 23% and 15%, 41% and 6%, and 32% and 9%, respectively, with grain yield decreasing by 29% and 4%. Field cultivation exhibited the greatest sensitivity, with grain yields dropping by 78% at 10 dS m⁻¹ and 67% at 5 dS m⁻¹. The highest plant height (71.66 cm) occurred in field conditions, while the lowest (31.64 cm) occurred in open-air pots. The maximum numbers of secondary and main branches were observed in greenhouse conditions (41.33 and 3.33, respectively), with the minimums in open-air pots (3.66 and 1.00). The longest inflorescence length was produced under no-salt conditions in the field (12 cm), while the shortest (5.28 cm) occurred at 10 dS m⁻¹ in open-air pots.

Conclusions: The findings indicated that field cultivation under control conditions (0.1 dS/m) yielded significantly higher grain compared to greenhouse and open-air pot methods. It is recommended that farmers favor field conditions for growing *Galega officinalis* and maintain salinity levels below 5 dS/m to mitigate adverse effects on both morphological and phenological traits. Field cultivation under control conditions (0.1 dS/m) yielded significantly higher grain compared to greenhouse and open-air pot methods.

Cite this article: Samsami, N., Jalilian, J., Gholinezhad, E., & Tahmasebi, R. (2026). The effect of salinity stress and different planting environments on morphological, phenological traits, and grain yield of *Galega officinalis*. *Journal of Crops Improvement*, 27 (4), 641-658. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.392430.2923>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.392430.2923>

Publisher: University of Tehran Press.



تأثیر تنش شوری و محیط‌های مختلف کاشت بر صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و عملکرد دانه گیاه گالگا (*Galega officinalis* L.)

ناصر صمصامی^۱ | جلال جلیلیان^۲ | اسماعیل قلی‌نژاد^۳ | راحله طهماسبی^۴

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: n.samsami@urmia.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.jalilian@urmia.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: e_gholinejad@pnu.ac.ir
۴. گروه شیمی تجزیه-کروماتوگرافی، جهاد دانشگاهی واحد آذربایجان غربی، رایانامه: r.tahmasebi@acecr.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

هدف: تنش شوری یک چالش زیست‌محیطی مهم است که بر بهره‌وری کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر منفی می‌گذارد. محیط‌های مختلف کشت، از جمله گلخانه، گلدان در هوای آزاد، و کشت مزرعه، می‌توانند بر رشد گیاه تأثیر بگذارند. هدف اصلی این پژوهش بررسی اثرات سطوح مختلف شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک گیاه گالگا در سه محیط کشت مختلف بود.

روش پژوهش: این مطالعه به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سه محیط (گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و مزرعه) در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. در هر یک از این شرایط، گیاهان در سه سطح مختلف تنش شوری (صفر، یک، پنج و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) برای یک دوره رشد مشخص (عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۲ و تاریخ برداشت گلدان‌های هوای آزاد و مزرعه در ۷ مهرماه و گلخانه در تاریخ ۷ آبان‌ماه انجام شد) قرار گرفتند و صفات عملکرد دانه، صفات مورفولوژیک و صفات فنولوژیک موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر صفات مختلف مورفولوژیک و فنولوژیک داشت. در شرایط گلخانه، تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب روز تا گلدهی، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و وزن خشک برگ زمان گلدهی را به میزان (۱۹ و ۲ درصد)، (۴۰ و ۳۰ درصد)، (۷۸ و ۱۵ درصد) و (۴۹ و ۱۰ درصد) کاهش داد. در شرایط کشت گلدان‌های هوای آزاد، تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی و وزن خشک اندام‌هایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک را به‌میزان (۶ و ۲ درصد)، (۴۱ و ۴ درصد)، (۲۶ و ۱۸ درصد)، (۲۳ و ۱۵ درصد)، (۴۱ و ۶ درصد) و (۳۲ و ۹ درصد) کاهش داد. در شرایط مزرعه، بیش‌ترین تأثیر منفی تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه مشاهده شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه به‌ترتیب ۷۸ و ۶۷ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که کشت مزرعه‌ای در شرایط بدون تنش شوری، به‌طور قابل‌توجهی بالاترین عملکرد دانه را نسبت به سایر شرایط کشت داشت. براساس نتایج این پژوهش، کشت مزرعه‌ای گیاه گالگا مناسب بوده، زیرا این شرایط بالاترین عملکرد دانه را داشته است و سطح شوری پایین‌تر (زیر ۵ دسی‌زیمنس بر متر) قابل‌توصیه است تا تأثیرات منفی بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک کاهش یابد.

کلیدواژه‌ها:

ارتفاع بوته
تعداد شاخه
تنش
طول گل‌آذین
وزن خشک برگ

استناد: صمصامی، ناصر؛ جلیلیان، جلال؛ قلی‌نژاد، اسماعیل و طهماسبی، راحله (۱۴۰۴). تأثیر تنش شوری و محیط‌های مختلف کاشت بر صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و عملکرد دانه گیاه گالگا (*Galega officinalis* L.). *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۴)، ۶۴۱-۶۵۸.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.392430.2923>



۱. مقدمه

گالگا^۱ دارای برخی از متابولیت‌های ثانویه مهم مانند مدیکارپین، ساتیوان، تری‌گلیکوزیدهای فلاونول، کامفرول، کوئرستین، چربی، اسیدها، گلیکوزیدها، فنل‌ها، رزین‌ها، ترین‌ها و استروئیدها، تانن‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، فنل‌ها و سایر ترکیبات آن پتانسیل ضد دیابتی را نشان داده‌اند (مینایی و همکاران، ۱۴۰۲). گالگا از تیره بقولات^۲ بوده و به‌عنوان یک گیاه دارویی شناخته می‌شود و در طب سنتی به‌دلیل خواص درمانی‌اش مورد استفاده قرار می‌گیرد. گالگا به‌ویژه به‌خاطر تأثیرات مثبتش بر کنترل قند خون و بهبود عملکرد متابولیک در بیماران دیابتی مشهور است (انگوتی^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). این گیاه به‌طور سنتی در درجه اول برای درمان علائمی که اکنون با دیابت نوع ۲ مرتبط هستند استفاده می‌شود. پتانسیل ضد دیابتی این گیاه مربوط به یک آلکالوئید گوانیدین معروف به گالژین است. در واقع، متفورمین، یک داروی شناخته‌شده، ایمن و ارزان، در سال ۱۹۵۰ از گالژین تولید شد (مینایی و همکاران، ۱۴۰۲). از آنجایی که متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان یکی از اجزای اصلی غذا و دارو برای سلامت انسان مفید هستند، گیاهان منابع مهمی برای کشف داروهای جدید هستند (امانی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). در مورد شرایط رشد، گالگا به‌طور کلی در خاک‌های با زه‌کشی خوب و غنی از مواد مغذی رشد می‌کند. این گیاه به شوری حساس است و در سطوح بالای شوری، عملکرد و صفات مورفولوژیک آن به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (صمصامی^۵ و همکاران، ۲۰۲۵). از آنجاکه تولید و تجمع این متابولیت‌های ثانویه ارزشمند می‌تواند تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند شوری قرار گیرد، بررسی پاسخ این گیاه به شوری از اهمیت دوچندانی برخوردار است.

دنیای کشاورزی به‌دلیل تنش‌های غیرزیستی مختلف ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی با بهره‌وری پایین‌تر و تلفات محصولات در حال ظهور مواجه است (سیسوانتی^۶ و اوماه^۷، ۲۰۲۱). 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 (سعادت و همکاران، ۱۴۰۳). تنش شوری همچنین تنوع میکروبیوتای خاک را در داخل و اطراف ناحیه ریشه کاهش می‌دهد و میکروبیوم گیاه را بیش‌تر تغییر می‌دهد (کوماوات^۸ و همکاران، ۲۰۲۲). قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض شوری منجر به ایجاد تنش یونی می‌شود که باعث تسریع در پیری برگ‌های مسن می‌گردد و علائم سمیت مانند کلروز و نکروز را به‌همراه دارد. این وضعیت به‌دلیل تأثیر منفی غلظت بالای یون سدیم Na^+ بر فرایندهای سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها بروز می‌کند. تحمل به نمک در بسیاری از گیاهان از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است و به‌عنوان هالوفیت و گلیکوفیت شناخته می‌شوند، گیاهانی که به شوری خاک و آب حساس هستند گلیکوفیت^۹ نامیده می‌شوند که نمی‌توانند در محدوده غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار $NaCl$ رشد کنند. درحالی که گیاهان هالوفیت توانایی مقاومت در برابر شوری بیش از ۲۵۰ میلی‌مولار $NaCl$ را دارند. هالوفیت‌ها اغلب سه مکانیسم دفع یون‌های سدیم، بخش‌بندی و کاهش ورودی را برای تحمل نمک نشان می‌دهند (محمودیه چم پیری و ابوطالبیان، ۱۴۰۰). گلیکوفیت‌ها ممکن است با حفظ سطوح کم سیتوزولی Na^+ در داخل سلول‌ها و غلظت کم Na^+ اندام هوایی در کل گیاه خود به‌طور مؤثری در برابر تنش شوری مقاومت کنند.

1. *Galega officinalis* L.
2. Fabaceae
3. Angouti
4. Amani
5. Samsami
6. Siswanti
7. Umah
8. Kumawat
9. Glycophyte

بروز تنش شوری از ابتدای رشد و مرحله جوانه‌زنی تا مراحل پایانی دوره رشد فعال گیاه می‌تواند بر صفات فیزیولوژیک گیاهان اثرات منفی داشته باشد. این تنش ابتدا از طریق اثر بر روابط آبی و برهم‌زدن تعادل اسمزی موجب بروز خسارت می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). با وجود این‌که اثرات منفی تنش شوری بر عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی به اثبات رسیده است، با این حال از لحاظ اثر بر ویژگی‌های کیفی و بیوشیمیایی گیاهان دارویی در برخی از موارد اثرات متفاوتی مشاهده شده است.

جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه حساس‌ترین مراحل رشد گیاه به نمک تحت تنش‌های محیطی است، زیرا ریشه گیاهچه در تماس مستقیم با خاک است و تحت تأثیر تغییرات زیادی خاک از جمله تنش شوری قرار می‌گیرد (سایما^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

از آنجاکه 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، برنامه‌ریزی مناسب برای حل مشکل شوری و تلاش برای یافتن و پرورش گیاهانی است که بتوانند در شرایط شوری محیط نیز عملکرد قابل‌قبولی داشته باشند. با وجود اهمیت اقتصادی و دارویی گیاه گالگا، مطالعات سیستماتیک محدودی در مورد پاسخ جامع این گیاه به تنش شوری، به‌ویژه در محیط‌های کشت مختلف (گلخانه، گلدان و مزرعه) انجام شده است. بیش‌تر مطالعات موجود بر روی گیاهان زراعی اصلی یا سایر گیاهان دارویی متمرکز بوده‌اند. بنابراین، این پژوهش با هدف پرکردن این شکاف دانشی و با درنظرگیری هم‌زمان فاکتورهای شوری و محیط کشت، بررسی واکنش‌های مورفولوژیک، فنولوژیک و عملکرد دانه گیاه دارویی گالگا انجام شد.

۲. پیشینه پژوهش

نتایج آزمایشی نشان داد بذرهای خارشتر قادر بودند تا ۲- مگاپاسکال پتانسیل خشکی و ۲۰۰ میلی‌مولار پتانسیل شوری جوانه بزنند. اما افزایش تنش خشکی و شوری، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن خشک گیاهچه، طول اندام هوایی، طول ریشه‌چه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه‌چه را بطور معنی‌داری کاهش داد (شمس‌الدین سعید، ۱۴۰۲). نتایج پژوهشی نشان داد با افزایش سطح شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، ضریب سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، درصد ماده خشک، طول ریشه‌چه و مقدار آنتوسیانین گیاه نیل به‌طور معنی‌داری کاهش و متوسط زمان جوانه‌زنی، مقدار قندهای محلول کل، رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مالون‌دی‌آلدئید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (بحرآسمانی و همکاران، ۱۴۰۱).

براساس نتایج آزمایشی، صفات طول برگ و ساقه، وزن تر سیر، تعداد و وزن سیرچه و عملکرد سیر در شرایط کشت گلخانه نسبت به فضای باز (مزرعه) به‌ترتیب ۳۴، ۱۰۰، ۲۵۶، ۱۰۹، ۲۹۶ و ۲۶۴ درصد افزایش پیدا کردند. عملکرد و اجزای عملکرد سیر در گلخانه نسبت به فضای باز بیش‌تر بود، به‌طوری‌که عملکرد در شرایط گلخانه نسبت به مزرعه ۲۶۴ درصد افزایش یافت. در آزمایش حاضر با وجود این‌که مصرف آب در گلخانه کم‌تر (۶ دور آبیاری) از مزرعه (۱۲ نوبت آبیاری) بود اما عملکرد سیر در گلخانه حدود پنج برابر مزرعه بود. براساس نتایج آزمایشی کشت گلخانه‌ای سیر نسبت به فضای باز علاوه بر کاهش مصرف آب، بازارپسندی و عملکرد آن را افزایش می‌دهد (ناصری، ۱۳۹۸). ایران به‌دلیل شرایط آب‌وهوایی و محدودیت‌های منابع آبی، از جمله کشورهایی است که نیازمند تجدیدنظر اساسی در ساختار نظام کشت بوده و در این راستا توسعه کشت‌های گلخانه‌ای می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب مطرح باشد (اسلامی، ۱۳۹۴). انسان در آینده مجبور به تولید غذای بیش‌تر با انرژی کم‌تری خواهد بود. زیرا براساس پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته،

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 (اسلامی، ۱۳۹۴).

شوری به‌طور مستقیم بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، امامی بیستگانی^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی خود نشان دادند که افزایش غلظت NaCl منجر به کاهش ارتفاع گیاه، تعداد برگ‌ها و وزن خشک گیاهان دارویی می‌شود. این کاهش در رشد به‌دلیل تنش یونی و اختلال در جذب آب و مواد مغذی است. حیدر^۲ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر شوری بر فعالیت‌های آن‌تی‌اکسیدانی و متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شوری می‌تواند منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدانی شود که به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش شوری عمل می‌کند. این افزایش فعالیت می‌تواند به بهبود کیفیت دارویی گیاهان کمک کند. قاسمی گلعدانی^۳ و عبدلی^۴ (۲۰۲۲) در بررسی خود نشان دادند که شوری می‌تواند تأثیرات مثبتی بر تولید متابولیت‌های ثانویه در برخی از گیاهان دارویی داشته باشد. این متابولیت‌ها معمولاً مسئول خواص دارویی گیاهان هستند و افزایش آن‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت دارویی گیاهان کمک کند. غفاری^۵ و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای نشان دادند که شوری می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر ترکیبات شیمیایی و اسانس‌های گیاهان دارویی داشته باشد. این تغییرات می‌تواند به‌دلیل تغییر در شرایط رشد و تنش‌های محیطی باشد که بر کیفیت و کمیت تولیدات دارویی تأثیر می‌گذارد. در پژوهشی گزارش شده است که با افزایش سطح تنش شوری، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه نعناع فلفلی^۶ کاهش یافته است (غلام‌نیا^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعه دیگری نشان داده شده است که با افزایش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ارتفاع بوته در گیاه شیرین بیان^۸ در هر دو روش کاشت (نشا و کشت مستقیم بذر) کاهش یافت. همچنین افزایش شوری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، منجر به کاهش ۸۴ درصد تعداد شاخه جانبی و ۸۸ درصد سطح برگ شد (حمیدیان و همکاران، ۱۴۰۲).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. محدوده مورد مطالعه

بخشی از 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. سایر محیط‌های کشت در این آزمایش شامل گلدان‌های قرار داده‌شده در داخل گلخانه و همچنین شرایط هوای آزاد بود. ارومیه از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. با توجه به آمار هواشناسی بلندمدت در ارومیه، متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۰ میلی‌متر، متوسط دما ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۵ درصد می‌باشد. طبق گزارش هواشناسی ارومیه دارای اقلیم معتدل سرد و مرطوب با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. برخی پارامترهای آب‌وهوایی سال زراعی ۱۴۰۲ در جدول (۱) آورده شده است.

1. Emami Bistgani
2. Haider
3. Ghassemi-Golezani
4. Abdoli
5. Ghaffari
6. *Mentha piperita* L.
7. Gholamnia
8. *Glycyrrhiza glabra* L.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی سال ۱۴۰۲ محل اجرای آزمایش

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
۹۷	۴۸/۸	۹	۱/۳	۰/۷	۰	۳/۱	۲۱/۶	۱
۷۰/۲	۱۶۸/۶	۲۱۷/۵	۲۷۲/۳	۲۸۳	۲۰۴/۹	۹۶/۶	۴۱/۷	۰
۲۲۳/۷	۲۶۸/۱	۲۸۷/۲	۳۵۹/۸	۳۴۱/۸	۳۲۹/۱	۲۳۰/۴	۱۹۳/۲	۱۹۲/۴
۴۸	۴۴	۴۱	۳۹	۳۱/۸	۳۸	۵۰	۵۴	۵۴
۱۲	۱۶	۲۲	۲۶	۲۷/۸	۳۳	۱۷	۱۳	۷

بارندگی ماهیانه (میلی‌متر)

تبخیر ماهیانه (میلی‌متر)

مجموع ساعات آفتابی ماهیانه

میانگین رطوبت نسبی (درصد)

میانگین دمای ماهیانه (درجه سانتی‌گراد)

۳.۲. صفات مورد اندازه‌گیری

صفات مختلف شامل عملکرد دانه، صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد برگ، تعداد شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک اندام‌های هوایی) و صفات فنولوژیک (روز تا جوانه‌زنی، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین و روز تا چهاربرگی) در گیاه گالگا در سه محیط مختلف کشت، گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و تشتک در مزرعه موردبررسی قرار گرفتند.

۳.۳. عملیات زراعی

عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. اولین آبیاری ۱۶ اردیبهشت‌ماه و اعمال تنش شوری برای هر سه محیط کشت در ۳۱ خردادماه انجام گرفت. در کشت‌های گلدانی (گلدان در گلخانه، گلدان در هوای آزاد)، آماده‌سازی گلدان‌ها در فروردین‌ماه صورت گرفت. ارتفاع و قطر هر گلدان به‌ترتیب، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر بود. از خاک مزرعه دانشکده کشاورزی جهت پرکردن 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 آبان‌ماه انجام شد. بذرها از گالگا از شرکت شفاپژوهان سبز تبریز تهیه شد. در موقع کاشت در هر چاله، سه 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. در گلخانه، دما روی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت روی ۷۰ درصد تنظیم گردید. وجین علف‌های هرز به‌صورت 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.

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت

بافت خاک	رسی (درصد)	لای (درصد)	شن (درصد)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد)	نقطه پژمردگی دائم (درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر) EC	اسیدیته	کربنات کلسیم (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) فسفر	(میلی‌گرم بر کیلوگرم) پتاسیم
رسی لومی	۳۹	۲۷/۵	۳۳/۵	۱/۳۵	۲۷	۱۳	۰/۵۹	۷/۸۴	۵/۶۴	۱/۴۵	۰/۲۱	۱۳/۲۰	۳۸۵

۴.۳. 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 سه 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 شش تشک بزرگ با ابعاد طول ۱ متر، عرض ۳۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر (هر دو تشک در کنار هم به‌عنوان یک کرت آزمایشی) در نظر گرفته شد. به‌منظور کاهش اثر حاشیه‌ای تشک‌ها با فاصله ۲ متر از هر طرف، در مزرعه مستقر شدند. با حفر چاله، کلیه تشک‌ها تا سطح رویی، در داخل خاک قرار گرفتند و برای هر تشک به‌صورت جداگانه شیر تخلیه زه‌آب تعبیه شد. خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر، در داخل آن‌ها افزوده شد. تعداد ۱۸ کرت مورد نیاز بود که در هر کرت سه پشته و شش خط کاشت وجود داشت. عرض کرت‌ها ۲ متر و طول کرت‌ها ۴ متر در نظر گرفته شد.

۵.۳. روش اعمال تیمارها

تا مرحله ۲-۴ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به‌طور یکسان (آبیاری با آب معمولی) اعمال شد و بعد از این مرحله، سطوح مختلف تنش شوری اعمال شد. زمان اعمال تنش شوری بعد از تنک‌کردن و استقرار کامل بوته‌ها شروع شد. برای اعمال تیمارهای شوری از سه تانکر آب استفاده شد بعد از اعمال آبیاری EC زه‌آب اندازه‌گیری شد، در صورت افزایش بیش از حد شوری، شست‌وشو با آب معمولی انجام شد تا EC موردنظر به تعادل برسد. برای تعیین زمان و حجم آبیاری از رابطه (۱) استفاده شد (علیزاده، ۱۳۸۹):

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

که در آن، RAW ، آب سهل‌الوصول^۱ (میلی‌متر)، FC ، ظرفیت زراعی^۲، PWP ، نقطه پژمردگی دایم^۳، ρ ، وزن مخصوص ظاهری، D ، عمق توسعه ریشه بر حسب میلی‌متر و MAD ، ضریب آب سهل‌الوصول^۴ می‌باشد. در خاک رسی لومی ظرفیت زراعی خاک ۲۷ و نقطه پژمردگی دایم ۱۳ است. وزن مخصوص ظاهری خاک $1/35$ می‌باشد. عمق توسعه ریشه در گالگا ۴۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ضریب آب سهل‌الوصول یا F یا MAD یا θ می‌باشد و $0/4$ در نظر گرفته شد. میزان تبخیر و تعرق روزانه از ایستگاه هواشناسی دانشگاه گرفته شد و براساس آن دور آبیاری محاسبه شد. میزان آب آبیاری با آب پاش و با حجم مشخص به هر گلدان داده شد.

دور آبیاری براساس میزان تبخیر و تعرق تنظیم شد که حدوداً پنج روز بود. تیمار شوری به‌صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگارشدن، گیاهان با شوری کم‌تر آبیاری شدند و سپس شوری‌های ذکرشده براساس تیمارها اعمال شدند. البته هر ۱۰ روز یک‌بار محیط ریشه گیاهان با آب معمولی به‌طور کامل شست‌وشو 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 تقریباً با تیمارهای سطوح شوری آزمایش مشابه بود (جدول ۳).

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

گلخانه			مزرعه			گلدان‌های هوای آزاد			تیمارهای شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
۰/۱	۵	۱۰	۰/۱	۵	۱۰	۰/۱	۵	۱۰	
۰/۳۹	۰/۶۴	۱/۲۵	۰/۴۰	۰/۷۵	۰/۹۷	۰/۴۱	۰/۷۴	۱/۰۶	Na (میلی‌اکی والان بر لیتر)
۵/۴	۲۱/۲	۵۶/۶	۴	۳۲/۲	۴۹/۸	۱۰/۴	۳۵/۶	۶۳/۲	Cl (میلی‌اکی والان بر لیتر)
۲/۵۴	۶/۸۲	۹/۵۱	۰/۶۶	۴/۹۵	۹/۲۱	۲/۳۴	۶/۲۱	۱۰/۴۸	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
۸/۰۹	۸/۲۱	۷/۹۲	۷/۹۱	۷/۸۸	۷/۸۱	۶/۹۴	۷/۹۹	۸/۲۱	pH

1. Readily available water
2. Field capacity
3. Permanent wilting point
4. Maximum allowable depletion

۳.۶. اندازه‌گیری صفات

گل‌آذین گالگا در هوای آزاد و بدون دستگاه خشک‌کن به‌طور 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 (سیدشریفی و قلی‌نژاد ۱۴۰۰).

۳.۷. تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

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

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. گلخانه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلخانه نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر روز تا گلدهی، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن خشک برگ زمان گلدهی، وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴. تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلخانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز تا تشکیل گل‌آذین	روز تا چهاربرگی	ارتفاع بوته	طول گل‌آذین	تعداد برگ در بوته
بلوک	۲	۰/۱۱ns	۱۴/۱۱ns	۰/۷۷ns	۲/۷۷ns	۰/۱۱ns	۸۳/۸۷ns	۲/۹۶ns	۱/۳۵ns
تنش شوری	۲	۰/۱۱ns	۲۰۶/۷۷**	۵/۴۴ns	۱۳/۴۴ns	۰/۴۴ns	۱۰/۷۲ns	۱/۴۳ns	۱/۱۱ns
خطای آزمایش	۴	۰/۲۷	۴/۱۱	۱/۷۷	۲/۲۷	۰/۴۴	۱۸/۳۷	۲/۳۳	۰/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۰۹	۲/۷۱	۱/۷۸	۲/۴۶	۴/۷۲	۶/۶۱	۱۷/۳۶	۷/۵۰

ادامه جدول ۴. تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلخانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه اصلی در بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	وزن خشک برگ تک‌بوته	وزن خشک ساقه تک‌بوته	وزن تر اندام‌های گلدهی	وزن خشک برگ زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک
بلوک	۲	۰/۰۳۸ns	۰/۲۱۶ns	۲۵/۸۴ns	۱/۶۳ns	۲۸۳/۰۳ns	۴۹/۷۲ns	۱/۱۱ns	۶۰/۶۳ns
تنش شوری	۲	۰/۱۳۵**	۱۰/۲۳**	۵۲/۵۲*	۱۸/۱۱ns	۴۱۷/۸۲ns	۴۷/۱۴ns	۴۸/۰۷**	۱۹۰/۲۲*
خطای آزمایش	۴	۰/۰۰۹۸	۰/۲۰۶	۴/۹۲	۴/۸۸	۴۷۰/۷۷	۸/۵۰	۱/۶۰	۱۵/۸۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۲۸	۸/۹۱	۱۷/۲۷	۲۵/۲۱	۲۰/۱۰	۱۹/۳۰	۱۰/۵۷	۱۴/۷۰

ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به ترتیب روز تا گلدهی، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و وزن خشک برگ زمان گلدهی را به میزان (۱۹ و ۲ درصد)، (۴۰ و ۳۰ درصد)، (۷۸ و ۱۵ درصد) و (۴۹ و ۱۰ درصد) در شرایط گلخانه کاهش داد (جدول ۵). بیش‌ترین وزن خشک ساقه و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد اما با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب ۴۲ و ۳۷ درصد کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلخانه

تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	روز تا گلدهی (روز)	تعداد شاخه اصلی	تعداد شاخه فرعی	وزن خشک برگ تک‌بوته زمان گلدهی (گرم بر بوته)	وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم بر بوته)	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم بر بوته)
۰/۱	۸/۰۰a	۳/۳۳a	۴۱/۳۳a	۱۶/۰۲a	۱۳/۱۱a	۲۹/۰۴ab
۵	۷۸/۶۶a	۲/۳۳a	۳۵/۰۰a	۱۴/۴۰ab	۱۵/۳۱a	۳۳/۹۱a
۱۰	۶۵/۰۰b	۲/۰۰b	۹/۰۰b	۸/۱۰b	۷/۵۴b	۱۸/۳۴b

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

۲.۴. گلدان‌های هوای آزاد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلدان‌های هوای آزاد نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، وزن خشک ساقه زمان گلدهی، وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی و وزن خشک اندام‌هایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک را به‌میزان (۶ و ۲ درصد)، (۴۱ و ۴ درصد)، (۲۶ و ۱۸ درصد)، (۲۳ و ۱۵ درصد)، (۴۱ و ۶ درصد) و (۳۲ و ۹ درصد) در شرایط گلخانه کاهش داد (جدول ۴). بیش‌ترین وزن خشک ساقه زمان گلدهی در شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد، اما با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک ساقه زمان گلدهی ۲۳ درصد کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۷).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد گیاه گالگا در شرایط گلدان‌های هوای آزاد نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۶). تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب عملکرد دانه را به‌میزان ۲۹ و ۴ درصد در شرایط گلدان‌های هوای آزاد کاهش داد (جدول ۷).

جدول ۶. تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک گلدان‌های هوای آزاد

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز تا تشکیل گل‌آذین	روز تا چهاربرگی
بلوک	۲	۰/۳۳ns	۳/۴۴ns	۵/۴۴ns	۳/۴۴ns	۰/۷۷ns
تنش شوری	۲	۰/۳۳ns	۳/۱۱ns	۶۲/۱۱*	۱۶/۴۴*	۰/۱۱ns
خطای آزمایش	۴	۰/۱۶	۱/۴۴	۱۰/۷۷	۱/۷۷	۰/۶۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۴۴	۲/۳۹	۲/۳۳	۲/۶۰	۳/۱۹
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول گل‌آذین	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه اصلی در بوته	تبدیل جذری شده
بلوک	۲	۲۴/۴۶ns	۰/۱۷ns	۱/۲۴ns	۰/۱۸ns	۰/۱۸ns
تنش شوری	۲	۹۵/۰۸**	۱/۸۶**	۱/۸۸ns	۰/۱۸ns	۰/۱۸ns
خطای آزمایش	۴	۷/۴۷	۰/۰۴۸	۰/۷۷	۰/۱۸	۰/۱۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۵۲	۳/۶۹	۱۲/۵۹	۱۳/۰۷	۱۳/۰۷
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی در بوته	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن تر اندام‌های	زمان گلدهی
بلوک	۲	۰/۱۰ns	۱/۰۳۸ns	۵/۳۲ns	۲۴/۱۷ns	۲۴/۱۷ns
تنش شوری	۲	۰/۴۸ns	۱/۴۷ns	۲۸/۸۶**	۴۶۳/۱۱*	۴۶۳/۱۱*
خطای آزمایش	۴	۰/۰۹	۰/۲۷	۱/۰۸	۵۶/۴۴	۵۶/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۳/۲۲	۹/۵۴	۷/۵۵	۱۵/۸۹	۱۵/۸۹
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک	عملکرد دانه	زمان گلدهی
بلوک	۲	۱۲/۹۵ns	۶/۱۶ns	۱۵/۷۵ns	۰/۰۴۶**	۰/۰۴۶**
تنش شوری	۲	۲۴/۶۵ns	۹/۱۳ns	۶۱/۳۸*	۰/۲۷**	۰/۲۷**
خطای آزمایش	۴	۴/۷۷	۲/۱۳	۷/۱۲	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۱۷	۱۲/۴۷	۱۱/۲۴	۲/۸۷	۲/۸۷

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط گلدان‌های هوای آزاد

تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (روز)	روز تا تشکیل گل‌آذین (روز)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول گل‌آذین (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان گلدهی (گرم بر بوته)	وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی (گرم بر بوته)	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
۰/۱	۱۴۴/۶۶a	۵۳/۳۳a	۴۲/۵۷a	۶/۸۳a	۱۳/۸۳a	۵۶/۱۹a	۲۷/۴۴a	۲/۳۵a
۵	۱۴۱/۳۳a	۵۱/۳۳ab	۳۴/۷۶ab	۵/۸۰b	۱۶/۸۵a	۵۲/۵۵ab	۲۵/۰۴ab	۲/۲۶a
۱۰	۱۳۵/۶۶a	۴۸/۶۶b	۳۱/۶۴b	۵/۲۸b	۱۰/۶۵b	۳۳/۰۸b	۱۸/۶۹b	۱/۷۹b

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

۳.۴. مزرعه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط مزرعه نشان داد

تأثیر اثرات تنش شوری بر روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن خشک برگ تک‌بوته، وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان گلدهی، وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی، وزن خشک برگ تک‌بوته زمان رسیدگی فیزیولوژیک، وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان رسیدگی فیزیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۸). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا تشکیل گل‌آذین، ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن خشک برگ تک‌بوته، وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان گلدهی، وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی، وزن خشک برگ تک‌بوته زمان رسیدگی فیزیولوژیک، وزن خشک ساقه تک‌بوته زمان رسیدگی فیزیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک را به‌میزان (۱۰ و صفر درصد)، (۳ و ۱ درصد)، (۱۰ و صفر درصد)، (۴۳ و ۲۹ درصد)، (۳۵ و ۷ درصد)، (۵۹ و ۱۲ درصد)، (۵۶ و ۴۵ درصد)، (۸۰ و ۷۲ درصد)، (۶۱ و ۲ درصد)، (۷۲ و ۳۷ درصد)، (۶۲ و ۱۶ درصد)، (۶۸ و ۳۳ درصد)، (۶۷ و ۴۷ درصد) و (۶۸ و ۴۰ درصد) در شرایط گلخانه کاهش داد (جدول ۹).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد در شرایط مزرعه نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۸). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۱۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب عملکرد دانه را به‌میزان ۷۸ و ۶۷ درصد در شرایط مزرعه کاهش داد (جدول ۹).

جدول ۸. تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط مزرعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	روز تا جوانه‌زنی	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	روز تا تشکیل گل‌آذین	روز تا چهاربرگی
بلوک	۲	۰/۱۱ns	۱/۳۳ns	۱/۰۰ns	۰/۳۳ns	۲/۳۳ns
تنش شوری	۲	۰/۴۴ns	۳۹/۰۰**	۲۱/۰۰*	۳۶/۳۳**	۴/۰۰ns
خطای آزمایش	۴	۰/۴۴	۱/۳۳	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۸۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۳۲	۲/۴۳	۱/۷۰	۱/۵۲	۳/۵۵
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول گل‌آذین	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه اصلی در بوته	تبدیل جذری شده
بلوک	۲	۵۳/۷۶ns	۰/۰۸۱ns	۰/۲۲ns	۰/۰۵۶ns	۰/۰۵۶ns
تنش شوری	۲	۷۵۰/۴۴**	۱۵/۱۷**	۱۱/۴۸**	۰/۲۸۹*	۰/۲۸۹*
خطای آزمایش	۴	۱۶/۷۱	۰/۵۲	۰/۰۶۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۵۲	۷/۰۲	۲/۹۲	۱۲/۱۲	۱۲/۱۲
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی در بوته	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن تر اندام‌های	زمان گلدهی
بلوک	۲	۰/۰۳۱ns	۲۵/۳۵*	۲۰۶/۷۵ns	۱۰۹۶/۸۳ns	۱۰۹۶/۸۳ns
تنش شوری	۲	۶/۳۶**	۲۱۹/۱۲**	۱۷۳۳/۹۳**	۱۰۸۰/۸۸**	۱۰۸۰/۸۸**
خطای آزمایش	۴	۰/۰۵۱	۴/۰۱	۹۳/۳۳	۴۳۸/۲۸	۴۳۸/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۱۲	۱۰/۳۰	۲۲/۶۴	۱۵/۰۵	۱۵/۰۵
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۴/۶۱ns	۲۳/۲۵ns	۴۸/۳۹ns	۰/۰۳۵ns	۰/۰۳۵ns
تنش شوری	۲	۴۱۰/۸۰**	۳۴۴/۴۵**	۱۴۸۸/۰۷**	۱۸/۲۷**	۱۸/۲۷**
خطای آزمایش	۴	۳/۴۳	۱۱/۳۶	۲۲/۷۸	۰/۰۷	۰/۰۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۱۱	۱۷/۶۳	۱۱/۳۷	۹/۴۰	۹/۴۰

ns و * به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک در شرایط مزرعه

تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	روز تا گلدهی (روز)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (روز)	روز تا تشکیل گل‌آذین (روز)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول گل‌آذین (سانتی‌متر)
۰/۱	۴۸/۳۳a	۱۴۴/۶۶a	۵۵/۳۳a	۷۱/۶۶a	۱۲/۰۰a
۵	۵۰/۳۰a	۱۴۳/۶۶a	۵۶/۰۰a	۵۰/۴۷b	۱۱/۱۰a
۱۰	۴۳/۳۳b	۱۳۹/۶۶b	۴۹/۶۶b	۴۰/۷۳b	۷/۷۳b
تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه اصلی در بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	وزن خشک برگ زمان گلدهی (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه زمان گلدهی (گرم در بوته)
۰/۱	۱۰۹/۰۶a	۳/۰۰a	۲۳/۶۶a	۲۴/۵۸a	۶۶/۹۱a
۵	۹۵/۶۶b	۱/۶۶b	۶/۶۶b	۲۴/۱۵a	۴۲/۰۹ab
۱۰	۴۶/۰۸c	۱/۳۳b	۴/۶۶b	۹/۵۶b	۱۸/۹۸b
تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	وزن تر اندام‌های هوایی زمان گلدهی (گرم در بوته)	وزن خشک برگ زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم در بوته)	وزن خشک ساقه زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم در بوته)		
۰/۱	۱۸۷/۳۰a	۳۴/۵۱a	۳۰/۹۳a		
۵	۱۵۸/۰۵a	۲۲/۹۳b	۱۶/۳۹b		
۱۰	۷۱/۸۴b	۱۱/۱۱c	۱۰/۰۳b		
تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	وزن خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم بر بوته)			
۰/۱	۶۵/۴۴a	۵/۸۱a			
۵	۳۹/۳۳b	۱/۸۹b			
۱۰	۲۱/۱۴c	۱/۲۵b			

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

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 به‌دست آمد و کم‌ترین تعداد شاخه فرعی (۳/۶۶) و اصلی (۱/۰۰) از کشت گلدانی هوای آزاد به‌دست آمد. بیش‌ترین طول گل‌آذین (۱۲ سانتی‌متر) از بدون تنش شوری در شرایط مزرعه و کم‌ترین مقدار آن (۵/۲۸ سانتی‌متر) از تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کشت گلدانی هوای آزاد به‌دست آمد. همچنین بیش‌ترین خشک اندام‌های هوایی زمان رسیدگی فیزیولوژیک (۶۵/۴۴ گرم) از بدون تنش شوری در شرایط مزرعه و کم‌ترین مقدار آن (۱۸/۳۴ گرم) از تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط گلخانه به‌دست آمد. مقایسه میانگین هر سه شرایط کشت نشان داد در شرایط گلخانه بوته‌ها وارد مرحله زایشی نشدند و بذر و عملکرد دانه تولید نکردند. به‌طور 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. به‌طور 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.

۵. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد تنش شوری در هر سه محیط کشت سبب کاهش صفات مورفولوژیک و فنولوژیک گیاه گالگا شد و برآیند آن‌ها سبب کاهش عملکرد دانه گردید. تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. شوری با ایجاد اختلال در جذب آب و مواد معدنی، تعادل یونی و فعالیت‌های متابولیکی، بر رشد و

عملکرد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد (ایساینکو^۱ و ماتیوس^۲، ۲۰۱۹). گیاهان در پاسخ به تنش شوری، تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی از خود نشان می‌دهند که شامل کاهش رشد، تغییر در توزیع مواد فتوسنتزی و تغییر در زمان گلدهی است (وان زلم^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). تنش شوری معمولاً باعث تأخیر در گلدهی گیاهان می‌شود. این تأخیر به دلیل کاهش جذب آب و مواد مغذی و اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و انتقال مواد است (جان^۴ و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که در برخی گیاهان، تنش شوری ممکن است باعث کاهش تعداد روز تا گلدهی شود، به این معنی که گیاهان سعی می‌کنند چرخه زندگی خود را سریع‌تر تکمیل کنند تا از شرایط سخت فرار کنند. این پدیده به عنوان "فرار از تنش" شناخته می‌شود (رحمان^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). در این مطالعه، کاهش تعداد روز تا گلدهی تحت تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در محیط گلخانه (از ۸۰ به ۶۵ روز) و مزرعه (از ۴۸ به ۴۳ روز) را می‌توان به عنوان یک استراتژی فرار از تنش در گیاه گالگا تفسیر کرد. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر روی گیاه گندم، تنش شوری باعث کاهش تعداد روز تا گلدهی شد، که نشان‌دهنده پاسخ فرار از تنش بود (راضا^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

تنش شوری معمولاً باعث کاهش تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی در گیاهان می‌شود. این کاهش به دلیل اختلال در تقسیم سلولی و رشد مریستم‌هاست (ابو شنباب^۷ و همکاران، ۲۰۲۵). در گیاه گالگا، احتمالاً تنش شوری باعث کاهش تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی می‌شود که این امر می‌تواند بر عملکرد نهایی گیاه تأثیر بگذارد.

در این پژوهش، تنش شوری سبب کاهش وزن خشک برگ، ساقه و اندام‌های هوایی گیاه گالگا شد. وزن خشک برگ، ساقه و اندام‌های هوایی شاخص‌های مهمی برای ارزیابی رشد گیاه هستند. تنش شوری معمولاً باعث کاهش وزن خشک این اندام‌ها می‌شود. این کاهش به دلیل کاهش فتوسنتز، اختلال در جذب مواد مغذی و تجمع سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر است (دی واسکون سلوس دیاس^۸ و همکاران، ۲۰۲۵). پژوهش‌گران دیگر، نیز نشان دادند با افزایش تنش شوری غلظت عنصر سدیم افزایش یافت، اما غلظت عنصر پتاسیم کاهش پیدا کرد همچنین با افزایش سطح تنش شوری، وزن خشک ساقه و ریشه در گیاه فلفل کاهش معنی‌داری یافت (باساک^۹ و همکاران، ۲۰۲۴).

در شرایط گلخانه، کنترل بیش‌تری بر عوامل محیطی مانند دما، رطوبت و نور وجود دارد. با این حال، تنش شوری در گلخانه نیز می‌تواند بر رشد گیاه تأثیر بگذارد، اما ممکن است اثرات آن کم‌تر از شرایط مزرعه باشد (زمان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۸).

در شرایط مزرعه، گیاهان در معرض تنش‌های طبیعی مانند شوری خاک، تغییرات آب‌وهوایی و رقابت با علف‌های هرز قرار دارند. تنش شوری در مزرعه معمولاً اثرات شدیدتری بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (فالوتی^{۱۱}، ۲۰۲۵).

مطالعات متعددی تأثیر تنش شوری بر گیاهان مختلف را بررسی کرده‌اند. به عنوان مثال، پژوهش‌ها روی گیاهانی مانند گندم، جو و کلزا نشان داده‌اند که تنش شوری باعث کاهش رشد، تأخیر در گلدهی و کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی می‌شود (لاشکاری^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۵).

در مورد گیاه گالگا پژوهش‌های کم‌تری انجام شده است، اما مطالعات مشابه روی گیاهان علوفه‌ای و دارویی نشان

1. Isayenkov
2. Maathuis
3. Van Zelm
4. Jan
5. Rahman
6. Raza
7. Abo Shanab
8. De Vasconcelos Dias
9. Basak
10. Zaman
11. Falouti
12. Lashkari

می‌دهند که این گیاهان نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال، پژوهش‌ها روی گیاهان علوفه‌ای مانند یونجه و شبدر نشان داده‌اند که تنش شوری باعث کاهش رشد و عملکرد این گیاهان می‌شود (زمان و همکاران، ۲۰۱۸). همسو با یافته‌های ما در این پژوهش، در آزمایشی، کاهش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ‌ها با افزایش سطح تنش شوری در گیاه شمعدانی عطری 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 (باباربیعی^۱ و همکاران، ۲۰۲۵). این منجر به تغییرات در مورفولوژی گیاه و اثرات نامطلوب بر متابولیسم گیاه و تجمع زیست‌توده می‌شود که منجر به توقف رشد گیاه در غلظت‌های بالای NaCl می‌شود (سوری^۲ و توحیدلو^۳، ۲۰۱۹). در آزمایشی، کاهش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ‌ها با افزایش سطح تنش شوری مشاهده شد. هنگامی که گیاهان در معرض سطح شوری ۲/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند، گیاهان رشد متوسطی را در ارتفاع بوته نشان دادند (ریبریو^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). در آزمایشی، اثر منفی کلی شوری بر تعداد برگ‌ها، ساقه‌های جانبی، طول کل شاخه‌های جانبی و ویژگی‌های بافت ریشه اصلی در گیاه زیتون مشاهده شد (رگنی^۵ و همکاران، ۲۰۲۴).

غلظت بالای نمک در آب آبیاری باعث ایجاد یک سری تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شود و رشدونمو ریشه را مختل می‌کند (زوی^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش سطح سدیم در ریشه‌ها، سرعت تقسیم سلولی و افزایش طول سلول را کاهش می‌دهد و بر جذب و انتقال مواد مغذی ضروری مانند کلسیم و منیزیم که برای رشد ریشه حیاتی هستند تأثیر منفی می‌گذارد (آبید^۷ و همکاران، ۲۰۲۳).

در این مطالعه، افزایش سطح شوری آب به‌طور قابل‌توجهی عملکرد دانه را کاهش داد. افزایش شوری آب خاک می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را مشابه تنش خشکی تحت تأثیر قرار دهد. مکانیسم اصلی در ایجاد اثر نامطلوب بستن روزنه است (فیروزه و همکاران، ۱۳۹۷). تنش شوری باعث افزایش فشار اسمزی، اختلال در جذب آب توسط ریشه، کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه می‌شود. در مطالعه دیگری، عملکرد دانه کینوا در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد (کبودخانی و همکاران، ۱۴۰۲). 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 دی‌اکسیدکربن به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و همچنین کاهش سطح برگ باشد (دهستانی اردکانی و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی بیان شده است که اعمال ۷۰ میلی‌متر عمق آب آبیاری در آب‌های با شوری کم‌تر از چهار دسی‌زیمنس بر متر امکان رسیدن به عملکرد دانه مطلوب کاملینا در گلخانه و در شرایط کاشت گلدانی را در شهرستان کاشمر فراهم می‌نماید (مکاری و همکاران، ۱۴۰۲).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد تنش شوری تأثیر منفی قابل‌توجهی بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک گیاه گالگا دارد، به‌طوری‌که با افزایش شوری، کلیه شاخص‌های رشدی و عملکردی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. شدیدترین اثرات مخرب در شرایط مزرعه مشاهده شد و عملکرد دانه تا ۷۸ درصد کاهش یافت. بر این اساس، کشت در شرایط مزرعه‌ای با سطوح شوری پایین‌تر

1. Babarabie
2. Sour
3. Tohidloo
4. Ribeiro
5. Regni
6. Zou
7. Abeed

به‌عنوان گزینه بهینه برای دستیابی به عملکرد بالاتر پیشنهاد می‌گردد. برای تعمیم نتایج، انجام مطالعات در اقلیم‌های مختلف و همچنین پژوهش‌های فیزیولوژیک و مولکولی برای درک سازوکارهای تحمل به شوری در این گیاه ضروری است.

۷. تشکر و قدردانی

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

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- اسلامی، محمدرضا (۱۳۹۴). بررسی مسائل بازاریابی محصولات گلخانه‌ای در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: خیارسبز و گوجه فرنگی استان یزد). خشک‌بوم، ۵(۱)، ۱۸-۳۰.
- بحرآسمانی، سمیه؛ سیدی، اعظم؛ فتحی، شهناز و جوکار، مهرانگیز (۱۴۰۱). بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهچه نیل تحت تنش شوری از طریق پرایمینگ بذرها با سرکه چوب پسته. علوم زیستی گیاهی، ۱۴(۲)، ۴۳-۶۴.
- حمیدیان، هانیه؛ سودایی‌زاده، حمید؛ یزدانی بیوکی، رستم؛ حکیم زاده اردکانی، محمد علی؛ سلطانی گرد فرامیزی، مهدی و خواجه حسینی، ساره (۱۴۰۲). اثر تنش شوری و روش کاشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شیرین‌بیان در گلخانه. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۷(۱)، ۳۵-۴۸.
- دهستانی اردکانی، مریم؛ قاطعی، پرینا؛ غلام‌نژاد، جلال؛ مومن‌پور، علی و فخاری پور چرخابی، زهرا (۱۴۰۰). بهبود خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک شاه‌پسند درختچه‌ای (*Lantana camara* Linn.) تحت تنش شوری با کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۴)، ۹۵-۱۱۵.
- رستمی، مجید؛ جوادی، احمد و حسینی‌زاده، سید مجید (۱۳۹۹). القای مقاومت به تنش شوری در بذرهای به‌دست‌آمده از بوته‌های گندم محلول پاشی شده با نانواکسید روی و آهن. نشریه پژوهش‌های گیاهی، ۳۳(۳)، ۵۵۳-۵۶۵.
- سعادت، سعید؛ اسماعیل‌نژاد، لیلا؛ رضایی، حامد و میرخانی، رسول (۱۴۰۳). تغییرات شوری آب در دشت اشتهارد؛ هشدار برای تخریب خاک. پنجمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، ۱-۴.
- سید شریفی، رئوف و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۴۰۰). ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۴۰۰ صفحه.
- شمس‌الدین سعید، محدثه (۱۴۰۲). مطالعه تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه خارشتر ایرانی توده استان خراسان رضوی (*Alhagi maurorum*). علوم و فناوری بذر/ایران، ۱۲(۱)، ۲۹-۴۰.
- علیزاده، امین (۱۳۸۹). رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع). ۴۸۴ صفحه.
- فیروزه، رعنا؛ خاوری‌نژاد، رمضانعلی؛ نجفی، فرزانه و سعادت‌مند، سارا (۱۳۹۷). اثرات جیبرلین بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، فنل و فلاونوئید در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی/ایران)، ۳۱(۴)، ۸۹۴-۹۰۸.
- کبودخانی، مجتبی؛ سالک معراجی، هادی؛ آقائی، کیوان و توکلی، افشین (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تنش شوری بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کینوا. به‌زراعی کشاورزی، ۲۵(۱)، ۲۲۱-۲۳۳.
- محمودیه‌چم پیری، رویا و ابوطالبیان، محمدعلی (۱۴۰۰). بررسی خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم گندم (*Triticum aestivum*) در پاسخ به تنش شوری و میکوریزا. علوم گیاهان زراعی/ایران، ۵۲(۴)، ۷۳-۸۶.

مکاری، مهدی؛ قادری، امیرحسین و علایی، جواد (۱۴۰۲). تعیین بهترین تابع تولید برای برآورد عملکرد دانه کاملینا در شرایط کم‌آبیاری و استفاده از آب شور تحت کاشت گلدانی. *مجله پژوهش آب*، ۱۷(۴)، ۱۱-۲۱.

مینایی، سمیرا؛ اصغری زکریا، رسول؛ زارع، زارع و خضری، مریم (۱۴۰۲). بررسی تأثیر نانومحرک‌ها بر رشد سلولی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی آن در کشت سوسپانسیون سلولی گیاه دارویی شیرین‌بیان سا (*Galega officinalis* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۶(۳)، ۳۱۶-۳۳۱.

ناصری، محبوبه (۱۳۹۸). مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد سیر (*Alluim sativum*) در شرایط گلخانه و مزرعه. *مجله ترویجی سبزیجات گلخانه‌ای*، ۲(۲)، ۴۵-۵۰.

References

- Abeed, A. H., Saleem, M. H., Asghar, M. A., Mumtaz, S., Ameer, A., Ali, B., & Elsharkawy, M. M. (2023). Ameliorative effects of exogenous potassium nitrate on antioxidant defense system and mineral nutrient uptake in radish (*Raphanus sativus* L.) under salinity stress. *ACS omega*, 8(25), 22575-22588.
- Abo-Shanab, W. A., Elshobary, M. E., Czubacka, A., & Diab, R. H. (2025). Improvement of salt tolerance in *Vicia faba* (L.) seedlings: a comprehensive investigation of the effects of exogenous calcium chloride. *BMC Plant Biology*, 25(1), 200.
- Alizadeh, A. (2000). The relationship between water, soil and plants. Mashhad: Astan Quds Publications. p. 484. (In Persian).
- Amani, S., Mohebodini, M., Khademvatan, S., Jafari, M., & Kumar, V. (2021). Piriformospora indica based elicitation for overproduction of phenolic compounds by hairy root cultures of *Ficus carica*. *Journal of Biotechnology*, 327, 43-53.
- Angouti, F., Nourafcan, H., Saeedi Sar, S., Assadi, A., & Ebrahimi, R. (2024). Optimizing antidiabetic properties of *Galega officinalis* extract: Investigating the effects of foliar application of chitosan and salicylic acid. *Food Science & Nutrition*, 12(8), 5844-5857.
- Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S., & Jowkar, M. (2022). Improvement of germination indices and growth and biochemical characteristics of indigo seedlings due to priming of seeds with pistachio wood vinegar under salinity stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 14(2), 43-64. (In Persian).
- Babarabie, M., Zolfaghary, P., Sardoei, A. S., Fotoohiyan, Z., Ghorbanzadeh, A., Danyaei, A., & Afsharipour, S. (2025). The effect of foliar application of silver nanoparticles synthesized by *Moringa oleifera* on improving the yield and quality of *Pelargonium hortorum* under drought stress. *Scientific Reports*, 15(1), 23239.
- Basak, H., Mesut Cimrin, K., & Turan, M. (2024). Effects of mycorrhiza on plant nutrition, enzyme activities, and lipid peroxidation in pepper grown under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 26(2), 359-369.
- De Vasconcelos Dias, M., Rodrigues, F. A., de Souza Ribeiro, M., Dambroz, C., Dória, J., & Pasqual, M. (2025). Physiological and morphological responses of *Selenicereus* species to salt stress in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 162(2), 26.
- Dehestani Ardakani, M., Ghatei, P., Gholamnezhad, J., Momenpour, A., & Fakharipour Charkhabi, Z. (2021). Improving growth and physiological characteristics in salt stressed lantana (*Lantana camara* Linn.) by application of exogenous salicylic acid. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 95-115. (In Persian)
- Emami Bistgani, Z., Barker, A. V., & Hashemi, M. (2023). Review on physiological and phytochemical responses of medicinal plants to salinity stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(18), 2475-2490.
- Eslami, M. R. (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).
- Falouti, M., Ellouzi, H., Amraoui, S., Hemissi, I., Bounaouara, F., Rabhi, M., & Slama, I. (2025). Silicon (Si) seed priming improves growth and photosynthetic efficiency of barley plants under salt stress in agricultural field conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44(5), 2405-2424.
- Firoozeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F., & Saadatmand, S. (2019). Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments, proline, phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(4), 894-908. (In Persian).

- Ghaffari Yaichi, Z., Hassanpouraghdam, M. B., Rasouli, F., Aazami, M. A., Vojodi Mehrabani, L., Jabbari, S. F., ..., & Jimenez-Becker, S. (2025). Zinc oxide nanoparticles foliar use and arbuscular mycorrhiza inoculation retrieved salinity tolerance in *Dracocephalum moldavica* L. by modulating growth responses and essential oil constituents. *Scientific Reports*, 15(1), 492.
- Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2022). Physiological and biochemical responses of medicinal plants to salt stress. In *Environmental Challenges and Medicinal Plants: Sustainable Production Solutions under Adverse Conditions* (pp. 153-181). Cham: Springer International Publishing.
- Haider, M. Z., Ashraf, M. A., Rasheed, R., Hussain, I., Riaz, M., Qureshi, F. F., & Hafeez, A. (2023). Impact of salinity stress on medicinal plants. In *Medicinal plants: their response to abiotic stress* (pp. 199-239). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Hamidian, H., Sodaiezhadeh, H., Yazdani-Biouki, R., Hakimzadeh Ardakani, M. A., Soltani, M., & Khajeh Hosseini, S. (2023). Effect of salinity stress and planting method on morphological and physiological characteristics of licorice in greenhouse. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(1), 35-48. (In Persian)
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 80.
- Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K., & Tavakoli, A. (2023). Investigation of the effect of salinity stress on physiological traits and grain yield of quinoa cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 221-233. (In Persian)
- Kumawat, K. C., Nagpal, S., & Sharma, P. (2022). Potential of plant growth-promoting rhizobacteria-plant interactions in mitigating salt stress for sustainable agriculture: A review. *Pedosphere*, 32(2), 223-245.
- Lashkari, A., Saadati, S., & Saffari, V. R. (2025). Methyl jasmonate and ascorbic acid enhance salinity tolerance in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) through improved morphophysiological and biochemical traits. *Scientific Reports*, 15(1), 30434.
- Mahmoudieh Champiri, R., & Aboutalebian, M. A. (2021). Physiological characteristics of two wheat cultivars (*Triticum aestivum*) in response to salinity stress and mycorrhiza. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(4), 73-86. (In Persian)
- Minaei, S., Asghari Zakaria, R., Zare, N., & Khezri, M. (2023). Evaluation of the effect of nanoelicitors on cell growth and some biochemical properties in cell suspension culture of *Galega officinalis* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 36(3), 316-331. (In Persian)
- 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).
- Munns, R., & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops—what is the cost? *New Phytologist*, 208(3), 668-673.
- Naseri, M. (2020). Comparing yield and yield components of garlic (*Allium sativum*) in greenhouse and field conditions. *Greenhouse Vegetables*, 2(2), 45-50. (In Persian).
- Rahman, M. M., Mostofa, M. G., Keya, S. S., Siddiqui, M. N., Ansary, M. M. U., Das, A. K., ... Tran, L. S.-P. (2021). Adaptive mechanisms of halophytes and their potential in improving salinity tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), 10733.
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34.
- 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.
- Ribeiro, J. E. d. S., Silva, A. G. d., Coêlho, E. d. S., Oliveira, P. H. d. A., Silva, E. F. d., Oliveira, A. K. d., ... Silveira, L. M. d. (2024). Melatonin mitigates salt stress effects on the growth and production aspects of radish. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28(4), e279006.
- Rostami, M., Javadi, A., & Hosseinzadeh, S. M. (2020). Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano-iron oxide. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3), 553-565. (In Persian).
- Saadat, S., Esmail Nejad, L., Rezaei, H., & Mirkhani, R. (2024). Changes in water salinity in the Eshtehard plain; a warning for soil degradation. Fifth National Conference on Farm Water Management, 1-4. (In Persian).

- Saima, S., Ghaffar, F., Yasin, G., Nawaz, M., & Ahmad, K. M. (2022). Effect of salt stress on germination and early seedling growth in Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Sarhad Journal of Agriculture*, 38, 388-397.
- Samsami, N., Jalilian, J., Gholinezhad, E., & Tahmasebi, R. (2025). Investigating the effects of different levels of salinity stress on yield, phenolic and flavonoid compounds of Galega (*Galega officinalis*) plants under different cultivation environments. *Journal of Plant Process and Function*, 14(66), 157-172. (In Persian).
- Seyed Sharifi, R., & Gholinezhad, E. (2022). Evaluation of agronomic and morphophysiological traits of crop plants. Mohaghegh Ardabili University: Mohaghegh Ardabili University. p. 400. (In Persian).
- Shamsaddin Saied, M. (2023). Study the effect of drought and salinity stresses on germination and early growth seedling of camelthorn native of Razavi Khorasan province (*Alhagi maurorum*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 12(1), 29-40. (In Persian).
- Siswanti, D., & Umah, N. (2021). Effect of biofertilizer and salinity on growth and chlorophyll content of *Amaranthus tricolor* L. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Souri, M. K., & Tohidloo, G. (2019). Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1), 1-7.
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71(1), 403-433.
- Zaman, M., Shahid, S. A., Heng, L., Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, 43-53.
- Zou, Y., Zhang, Y., & Testerink, C. (2022). Root dynamic growth strategies in response to salinity. *Plant, Cell & Environment*, 45(3), 695-704.