فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۱۵۷-۱۷۱
https://doi.org/10.22034/14.66.157

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا (*Galega officinalis*) در محیط‌های مختلف کشت

ناصر صمصامی[۱]، جلال جلیلیان[۱]، اسماعیل قلی‌نژاد[۲*] و راحله طهماسبی[۳]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۲] گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

[۳] گروه شیمی تجزیه-کروماتوگرافی، جهاد دانشگاهی واحد آذربایجان غربی، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا به‌صورت طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سه محیط‌کشت (گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و مزرعه) در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. تنش شوری در سه سطح ۰/۱، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. تنش شوری در هر سه محیط‌کشت سبب کاهش عملکرد دانه گالگا نسبت به شاهد شد. به طور متوسط، کشت مزرعه‌ای گالگا بالاترین عملکرد دانه (۲/۹۸ گرم در هر بوته) و کشت گلدانی هوای آزاد (۲/۱۳ گرم در هر بوته) پایین‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد. در شرایط گلخانه، تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید کافئیک (۴۴ و ۶۲ درصد) و اسید کلروژنیک (۴۱ و ۲۷ درصد) را افزایش داد. همچنین درشرایط گلدان‌های هوای آزاد، تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید کافئیک (۵۱ درصد)، اسید کلروژنیک (۹ درصد)، اسید کوماریک (۳۰ درصد)، اسید رزماریک (۵۳ درصد)، کوآرستین (۸۶ درصد) و اسید سینامیک (۱۷ درصد) را افزایش داد. در شرایط کشت مزرعه‌ای، تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب محتوای اسید کلروژنیک (۱۱ و ۵۸ درصد)، اسید کوماریک (۱۹ و ۴۸ درصد)، اسید رزماریک (۴۲ و ۶۱ درصد)، کوآرستین (۵۳ و ۷۷ درصد) و اسید سینامیک (۱۸ و ۴۲ درصد) را افزایش داد. بیشترین محتوای اسید کلروژنیک (۴۷/۰۶)، روتین (۱۵)، اسید سینامیک (۰/۹۲) و آپیژنین (۴/۲۶) از تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط مزرعه بدست آمد. این تغییرات احتمالاً راهکاری برای تعدیل اثرات تنش شوری است. پیشنهاد می‌شود تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند به عنوان القاکننده سنتز ترکیبات مهم صنعتی و دارویی در گیاهان گالگا مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه، داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که تنش شوری عملکرد گالگا را در هر سه محیط‌کشت به‌طور معنی‌داری کاهش داد، در حالی‌که محتوای فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان را بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: اسید رزماریک، اسید گالیک، شوری، روتین، گالگا، گلخانه

مقدمه

گالگا (*Galega officinalis*) دارای برخی از متابولیت‌های

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: e_gholinejad@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

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 ضددیابتی را نشان داده‌اند (Jung *et al.*, 2006). علاوه بر این، مطالعات مختلفی در مورد خواص مختلف گالگا وجود دارد اثراتی مانند ادرارآور، ضدباکتری و ضددیابت، ضدالتهاب، کاهش وزن، ضدسرطان، مهارکننده جهش، اثرات ضدویروسی و لاکتات شناخته شده است (Karakas *et al.*, 2012).

شوری خاک یک تنش غیرزنده قابل توجه است که از طریق تغییرات در مورفولوژی گیاه و فرآیندهای فیزیو بیوشیمیایی و مولکولی بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (Zorb *et al.*, 2019; Imran *et al.*, 2022; Najmol Hoque *et al.*, 2022). هر ساله ۱ تا ۲ درصد از زمین‌های قابل کشت به دلیل شوری خاک از بین می‌رود و در سطح جهان تقریباً ۸۰۰ میلیون هکتار (۲۳ درصد از کل زمین‌های قابل کشت) تحت تأثیر این موضوع قرار می‌گیرد (Alqahtani *et al.*, 2019). تا سال ۲۰۵۰، تقریباً نیمی از زمین‌های قابل کشت جهان تحت تأثیر سطوح بالای شوری قرار می‌گیرد که تهدیدی قابل توجه برای کشاورزان است (Mustafa *et al.*, 2019). آب‌های زیرزمینی با محتوای نمک زیاد، سیستم‌های زهکشی و آبیاری ناکارآمد و استفاده بیش از حد از کودها باعث شوری خاک می‌شود (Shahid *et al.*, 2018). تنش شوری باعث ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی در گیاهان می شود که عمدتاً منجر به آسیب اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Karimi *et al.*, 2020). برای کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌توان از تکنیک‌های مختلف زراعی استفاده کرد. اینها شامل روش‌های سنتی مانند شستشو، کاشت گونه‌های مقاوم به نمک، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک و شیوه‌های کشاورزی پایدار است (Minhas *et al.*, 2020).

مکانیسم‌های متعددی برای افزایش متابولیت‌های ثانویه تحت تنش‌های غیرزیستی مانند شوری پیشنهاد شده است. با توجه به فرضیه سازش بین رشد و دفاع، انرژی و کربن جذب شده توسط فتوسنتز در درجه اول برای نگهداری سلول و رشد گیاه مصرف می‌شود و باقیمانده برای سنتز مواد شیمیایی دفاعی استفاده می‌شود. تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، رشد را بیشتر از فتوسنتز محدود می‌کند، در نتیجه کربن منحرف از رشد، می‌تواند به مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات ثانویه مبتنی بر کربن مانند فنیل پروپانوئیدها، ترپنوئیدها و تانن‌های قابل هیدرولیز اختصاص داده شود که به حذف ROS و مبارزه با القای نمک کمک می‌کند (Caretto *et al.*, 2015).

اسیدهای فنولیک از جمله اسید هیدروکسی بنزوئیک و مشتقات اسید هیدروکسی سینامیک ترکیبات شیمیایی با حداقل یک حلقه معطر حاوی یک یا چند گروه هیدروکسیل هستند (Hounsome *et al.*, 2008). فنولیک‌ها در محافظت در برابر تنش شوری مهم هستند. گروه‌های هیدروکسیل فنولیک آنتی‌اکسیدان‌های خوب اهداکننده هیدروژن هستند که گونه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برند و چرخه تولید رادیکال‌های جدید را می‌شکنند. آنتی‌اکسیدان‌های مهارکننده رادیکال، اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA را با واسطه رادیکال‌های آزاد مهار می‌کنند. فنولیک‌ها با مهار آنزیم‌های دخیل در تولید رادیکال‌ها به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند (Castellano *et al.*, 2012). از سوی دیگر، باید توجه داشت که تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از نمک عمدتاً در کلروپلاست‌ها به دلیل اختلال در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی رخ می‌دهد (Tounekti *et al.*, 2011). از آنجایی که ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در واکوئل قرار دارند، نقش ترکیبات فنلی در تحمل شوری ممکن است بیشتر به نقش آنها در جلوگیری از تشکیل ROS مرتبط باشد تا تأثیری بر مهار ROS داشته باشند (Vafadar *et al.*, 2020). گزارش شده است که تنش شوری در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla*) باعث افزایش بیوسنتز ترکیبات فنلی و برخی ترکیبات مهم دارویی از جمله کامازولن شده و اکثر پلی‌فنل‌ها در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش نشان دادند. درحالی‌که رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمار شوری ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، غلظت‌های زیاد کلرید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

سدیم مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داد (Rasekh *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای تنش همزمان شوری و گرمایی از طریق کاهش جذب پتاسیم و کلسیم، افزایش جذب سدیم، تجزیه کلروفیل و کارتنوئیدها باعث کاهش فتوسنتز و کاهش قندهای محلول و در نهایت کاهش رشد گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) شد. در عوض تنش همزمان شوری و گرما باعث افزایش مقدار فنل شد و این می‌تواند باعث کیفیت نعناع فلفلی گردد (Jahanbakhsh Godehkahriz *et al.*, 2017). افزایش محتوای اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند ویتامین C، ویتامین E، کاروتنوئیدها، لیپوئیک اسید در حفاظت از گیاه بر علیه تنش‌های اکسیداتیو گزارش شده است (Perveen *et al.*, 2010). پژوهش‌های انجام‌شده بر روی گیاهان بومادران (*Achillea fragratissima*) و نعناع سبز (*Mentha spicata*) نشان می‌دهد (Akram and Ashraf, 2011; Ali *et al.*, 1999). محتوای فنل‌ها با افزایش تنش شوری افزایش یابد. در گیاه بابونه (*M. chamomilla*) تجمع اسیدهای فنلی مانند پروتوکاته کین، اسید کلروژنیک و اسید کافئیک با زیادشدن شوری افزایش می‌یابند (Cik *et al.*, 2009). در گیاه *Nigella sativa* تنش شوری بیوسنتز برخی ترکیبات فنلی ویژه از جمله کوئرستین، آپیژنین و ترنس سینامیک اسید را افزایش می‌دهد (Bourgou *et al.*, 2010).

یکی از مهمترین زمینه‌های پژوهش در مورد گیاهان دارویی، بررسی شرایط مختلف محیطی تأثیرگذار بر میزان عملکرد کمی و کیفی این گیاهان است. شاید بتوان گفت یکی از مهمترین دغدغه‌های تولیدکنندگان گیاهان دارویی علاوه بر میزان کمی محصول، تولید با کیفیت بالا است. از آنجا که هدف نهایی از کشت گیاهان دارویی استفاده از مواد مؤثره موجود در آنهاست، مسلماً هر چه مقدار این مواد مؤثره و متابولیت‌های ثانویه در واحد وزن گیاه بیشتر باشد از نظر اقتصادی سود بیشتری حاصل خواهد شد. گیاهان دارویی به دلیل داشتن ترکیبات با ارزش به عنوان منبعی برای درمان بیماری‌ها شناخته شده‌اند (Farnsworth *et al.*, 1985). همچنین امروزه گیاهان دارویی سهم بزرگی را در کشف داروهای جدید در اختیار قرار داده‌اند. بررسی تعدادی از عوامل درمانی و منابع آنها نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد داروهای تأییدشده دارای ترکیبات حاصل از گیاهان دارویی هستند (Cragg *et al.*, 1999).

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد دانه، محتوای پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها در گیاه گالگا در سه محیط مختلف کشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش برای بررسی اثر تنش شوری بر عملکرد دانه، محتوای پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها در گیاه گالگا در سه محیط مختلف کشت، گلخانه، گلدانی در هوای آزاد و تشتک در مزرعه (شکل ۱) به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غرب ارومیه، با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و 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 در جدول ۱ آورده شده است.

عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. اولین آبیاری ۱۶ اردیبهشت‌ماه و اعمال تنش شوری برای هرسه محیط‌کشت 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 به ترتیب، 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.

طرح آزمایشی مورد استفاده در شرایط مزرعه، بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تیمار و تکرار بود، تیمارها شامل استفاده از سه سطح تنش شوری شاهد (EC=0.1 dS/m)، آبیاری با آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

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

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی سال ۱۴۰۲ محل اجرای آزمایش

	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 (°C)	۱۲	۱۶	۲۲	۲۶	۲۷/۸	۲۳	۱۷	۱۳	۷

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

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

با EC=5 dS/m و آبیاری با آب با EC=10 dS/m بود و برای هر تیمار شش 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 زه‌آب 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، 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. 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. برای اعمال تیمارهای شوری از سه تانکر آب استفاده شد. بعد از اعمال آبیاری EC زه‌آب اندازه‌گیری شد و در صورت افزایش بیش از حد شوری، شستشو با آب معمولی انجام شد تا EC مورد نظر به تعادل برسد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی 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
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

تا مرحله ۲-۴ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله سطوح مختلف تنش شوری اعمال 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. فاصله دو کرت ۲ متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. زمان اعمال تنش شوری بعد از تنک‌کردن و استقرار کامل بوته‌ها شروع شد. برای تهیه تیمارهای شوری از تانکرهای مختلف استفاده شد و زمان آبیاری با شیلنک و آب تانکر که دارای تیمار شوری مورد نظر است انجام شد. ارومیه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. 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٪ است. 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 زیر استفاده شد (Alizadeh, 2000):

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

که در آن RAW: آب سهل‌الوصول (میلی‌متر)، F: ظرفیت زراعی، PWP: نقطه پژمردگی دایم، ρ: وزن مخصوص ظاهری، D: عمق توسعه ریشه بر حسب میلی‌متر و MAD: ضریب آب سهل‌الوصول است. در خاک رسی لومی ظرفیت زراعی خاک ۲۷ و نقطه پژمردگی دایم ۱۳ است. وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ است. عمق توسعه ریشه در گالگا ۴۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. ضریب آب سهل‌الوصول یا F یا MAD یا θ است 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 آب‌پاش و با حجم مشخص به هر گلدان داده شد.

دور آبیاری بر اساس میزان تبخیر و تعرق تنظیم شد که حدوداً پنج روز بود. تیمار شوری به صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگارشدن، گیاهان با شوری کمتر آبیاری شدند و سپس شوری‌های ذکرشده 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 تقریباً با تیمارهای سطوح شوری آزمایش مشابه بود (جدول ۳).

گل آذین گالگا در هوای آزاد و بدون دستگاه خشک‌کن به طور طبیعی خشک و سپس توسط ترازوی دقیق توزین شدند. برای محاسبه وزن خشک کل، تمامی اجزای گالگا را خشک کرده سپس توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد (Seyed Sharifi and Gholinezhad, 2022). مقدار و نوع ترکیبات پلی‌فنلی با دستگاه HPLC اندازه‌گیری شد. بر اساس کروماتوگرام به دست آمده از آنالیز عصاره، مهمترین ترکیبات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

شامل اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، روتین، اسید کوماریک، اسید رزماریک، کوآرستین، اسید سینامیک و آپیژنین بودند.

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 نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) تبدیل جذری به عمل آمد و سپس مقایسه میانگین انجام شد.

نتایج و بحث

گلخانه: نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد، ترکیبات فنلی و مواد مؤثره گیاه گالگا در شرایط گلخانه نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، روتین، اسید کوماریک، اسید رزماریک، کوآرستین، اسید سینامیک، آپیژنین و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید گالیک (۲۶ و ۳۳ درصد)، روتین (۳۱ و ۶۷ درصد)، اسید کوماریک (۵۱ و ۴۸ درصد)، اسید رزماریک (۳۸ و ۷۲ درصد)، کوآرستین (۵۱ و ۳۶ درصد) و اسید سینامیک (۵۷ و ۲۸ درصد) را در شرایط گلخانه کاهش داد. همچنین در این شرایط، تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید کافئیک (۴۴ و ۶۲ درصد) و اسید کلروژنیک (۴۱ و ۲۷ درصد) را افزایش داد (جدول ۴).

گلدان‌های هوای آزاد: نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد، ترکیبات فنلی و مواد مؤثره گیاه گالگا در شرایط گلدان‌های هوای آزاد نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، روتین، اسید کوماریک، اسید رزماریک، کوآرستین، اسید سینامیک، آپیژنین و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). 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 ۶). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید گالیک (۷۴ و ۸۰ درصد)، آپیژنین (۱۸ و ۴۱ درصد) و عملکرد دانه (۴ و ۲۹ درصد) را در شرایط گلدان‌های هوای آزاد کاهش داد. همچنین در این شرایط، تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به ترتیب محتوای اسید کافئیک (۵۱ درصد)، اسید کلروژنیک (۹ درصد)، اسید کوماریک (۳۰ درصد)، اسید رزماریک (۵۳ درصد)، کوآرستین (۸۶ درصد) و اسید سینامیک (۱۷ درصد) را افزایش داد (جدول ۶). در شرایط گلدان‌های هوای آزاد، تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید کافئیک (۵۱ درصد)، اسید کلروژنیک (۴۷ درصد)، اسید کوماریک (۳۸ درصد) و اسید رزماریک (۹ درصد) را کاهش داد (جدول ۶). در شرایط گلدان‌های هوای آزاد، تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای روتین (۵۰ و ۳۴ درصد) را افزایش داد (جدول ۶).

مزرعه: نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد، ترکیبات فنلی و مواد مؤثره گیاه گالگا در شرایط مزرعه نشان داد تأثیر اثرات تنش شوری بر اسید گالیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، روتین، اسید کوماریک، اسید رزماریک، کوآرستین، اسید سینامیک، آپیژنین و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۷). 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 ۸). مقایسه میانگین نشان داد تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، به‌ترتیب محتوای اسید گالیک (۴۲ درصد)، اسید کافئیک (۲۳ درصد) و آپیژنین (۴۴ درصد) را در شرایط مزرعه کاهش داد. همچنین در شرایط کشت مزرعه، تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

جدول ۴- تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط گلخانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه
بلوک	۲	۵/۲۹ns	۰/۶۹ns	۱/۸۴ns	۰/۰۰۷ns	۴/۱۵ns	۰/۰۷ns	۱/۴۷ns	۰/۰۱ns	۰	۰
تنش شوری	۲	۶۰۹/۲۴*	۳۷/۴۵*	۲۰۰/۱۹**	۰/۱۱*	۱۱۲/۴۸**	۳/۵۲**	۳۳/۲۰*	۰/۱۲*	۰	۰
خطای آزمایش	۴	۵۹/۱۴	۳/۱۱	۱۰/۲۸	۰/۰۰۹	۸/۸۶	۰/۱۷	۴/۶۴	۰/۰۱	۰	۰
ضریب تغییرات	-	۱۱/۶۳	۲۱/۹۵	۱۰/۱۰	۲۵/۴۰	۲۰/۹۵	۲۱/۸۰	۲۴/۲۱	۲۰/۰۰	۰	۰

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط گلخانه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
	(پی‌پی‌ام)									
۰/۱	۸۲/۳۰ a	۴/۵۰ b	۲۳/۴۶ b	۰/۵۸ a	۲۱/۲۶ a	۳/۰۱ a	۱۲/۵۸ a	۰/۷۰ a	۰	۰
۵	۶۰/۵۰ ab	۸/۰۶ ab	۳۹/۸۰ a	۰/۴۰ ab	۱۰/۲۹ b	۱/۸۶ ab	۶/۱۰ b	۰/۳۰ b	۰	۰
۱۰	۵۵/۵۰ b	۱۱/۵۶ a	۳۱/۹۶ ab	۰/۱۹ b	۱۱/۰۶ b	۰/۸۵ b	۸/۰۳ ab	۰/۵۰ ab	۰	۰

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

جدول ۶- تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط گلدانی هوای آزاد

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه
بلوک	۲	۲۱۳/۳۶ns	۰/۳۸ns	۳/۳۶ns	۰/۰۰۱۲ns	۱/۶۶ns	۰/۰۱۷ns	۰/۴۸ns	۰/۰۲۱ns	۰/۰۱۰ns	۲۸۴/۰۴ns
تنش شوری	۲	۴۶۰۶۲/۵۲**	۶۲/۶۰**	۱۴۸/۳۶**	۰/۱۴**	۴۵/۳۰**	۰/۵۹**	۷۴/۳۷**	۰/۰۲۸ns	۰/۰۹۲ns	۸۹۱/۲۰*
خطای آزمایش	۴	۱۷۸/۶۹	۱/۲۳	۱/۹۸	۰/۰۰۹۳	۱/۱۵	۰/۰۳۷	۰/۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۲۰	۷۴/۴۵
ضریب تغییرات	-	۹/۹۱	۱۶/۳۲	۶/۹۰	۱۴/۸۴	۱۱/۰۴	۲۱/۸۶	۹/۱۶	۱۴/۲۳	۲۱/۱۲	۱۴/۷۱

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

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط گلدانی هوای آزاد

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
	(پی‌پی‌ام)									
۰/۱	۲۷۷/۶۳ a	۵/۸۰ b	۲۳/۲۳ a	۰/۴۳ b	۹/۵۶ b	۰/۶۶ b	۱/۵۶ c	۰/۷۳ a	۰/۸۵ a	۵۲/۳۶ a
۵	۷۱/۳۷ b	۱۱/۸۰ a	۲۵/۵۳ a	۰/۸۷ a	۱۳/۷۰ a	۱/۴۰ a	۱۱/۳۳ a	۰/۸۸ a	۰/۷۰ a	۴۸/۶۶ ab
۱۰	۵۵/۵۳ b	۲/۸۳ b	۱۲/۳۶ b	۰/۶۵ ab	۵/۹۳ c	۰/۶۰ b	۴/۷۶ b	۰/۹۱ a	۰/۵۰ a	۳۶/۶۳ b

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

شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مقدار عملکرد دانه را به ترتیب به‌میزان (۶۷ و ۷۸ درصد) کاهش داد. شوری ۱۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

جدول ۸- تأثیر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط مزرعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه
بلوک	۲	۷۶/۱۳ns	۰/۰۴۳ns	۱/۹۴ns	۱/۱۹ns	۰/۱۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۸۶ns	۰/۰۱۹ns	۱/۱۷ns	۱۱/۸۱ns
تنش شوری	۲	۱۲۲۲۲/۶۷**	۵/۰۵**	۶۷۶/۳۶**	۲۰۹/۲۸**	۴۵/۶۴**	۰/۵۶**	۳۹/۰۰**	۰/۱۲**	۸/۰۳**	۴۶۹/۸۰**
خطای آزمایش	۴	۸۸/۲۱	۰/۳۸	۹/۳۶	۱/۲۵	۰/۴۵	۰/۰۲۷	۱/۳۰	۰/۰۰۶	۰/۳۹	۵/۴۶
ضریب تغییرات	-	۹/۳۱	۲۰/۸۱	۱۰/۲۷	۲۰/۹۲	۵/۹۴	۱۶/۸۵	۲۲/۰۱	۱۱/۱۴	۲۵/۷۴	۱۰/۴۲

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

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری بر عملکرد و ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا در شرایط مزرعه

تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسید گالیک	اسید کافئیک	اسید کلروژنیک	روتین	اسید کوماریک	اسید رزماریک	کوآرستین	اسید سینامیک	آپیژنین	عملکرد دانه (گرم بر بوته)
	(پی‌پی‌ام)									
۰/۱	۸۲/۵۳ b	۲/۵۳ b	۱۹/۹۰ b	۰/۵۳ b	۸/۱۵ b	۰/۵۶ b	۲/۰۶ b	۰/۵۳ b	۱/۹۶ b	۳۵/۹۱ a
۵	۴۸/۱۳ c	۱/۹۵ b	۲۲/۴۰ b	۰/۵۳ b	۱۰/۱۰ b	۰/۹۶ ab	۴/۳۶ b	۰/۶۵ b	۱/۱۰ b	۲۰/۲۱ b
۱۰	۱۷۱/۸۰ a	۴/۴۳ a	۴۷/۰۶ a	۱۵/۰۰ a	۱۵/۶۶ a	۱/۵۳ a	۹/۱۳ a	۰/۹۲ a	۴/۲۶ a	۱۱/۱۸ c

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

دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب محتوای اسید گالیک (۵۲ درصد)، اسید کافئیک (۴۳ درصد)، روتین (۹۶ درصد) و آپیژنین (۵۴ درصد) را افزایش داد. در شرایط کشت مزرعه‌ای، تنش شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب محتوای اسید کلروژنیک (۱۱ و ۵۸ درصد)، اسید کوماریک (۱۹ و ۴۸ درصد)، اسید رزماریک (۴۲ و ۶۱ درصد)، کوآرستین (۵۳ و ۷۷ درصد) و اسید سینامیک (۱۸ و ۴۲ درصد) را افزایش داد (جدول ۸).

مقایسه میانگین هر سه شرایط کشت نشان داد در شرایط گلخانه بوته‌ها وارد مرحله زایشی نشدند و بذر و عملکرد دانه تولید نکردند. به طور متوسط، کشت مزرعه‌ای گالگا بالاترین عملکرد دانه (۲/۹۸ گرم در هر بوته) و کشت گلدانی هوای آزاد (۲/۱۳ گرم در هر بوته) پایین‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد. بیشترین محتوای اسید گالیک (۲۷۷/۶۳) و اسید کافئیک (۱۱/۸۰) از شرایط گلدان‌های هوای آزاد حاصل شد. بیشترین محتوای اسید کلروژنیک (۴۷/۰۶)، روتین (۱۵)، اسید سینامیک (۰/۹۲) و آپیژنین (۴/۲۶) از تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط مزرعه بدست آمد. بیشترین محتوای اسید کوماریک (۲۱/۲۶)، اسید رزماریک (۳/۰۱) و کوآرستین (۱۲/۵۸) از شرایط بدون تنش شوری و کشت گلخانه حاصل شد. به طور متوسط، کشت مزرعه‌ای گالگا بالاترین عملکرد دانه (۲/۹۸ گرم در هر بوته) و کشت گلدانی هوای آزاد (۲/۱۳ گرم در هر بوته) پایین‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد.

نتایج این تحقیق نشان داد در هر سه محیط‌کشت مختلف تنش شوری باعث افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاه گالگا شد ولی میزان عملکرد دانه را کاهش داد. همانطور که انتظار می‌رفت، به نظر می‌رسد که تنش اکسیداتیو ناشی از شرایط شوری باعث ایجاد سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نماینده در گیاهان کاهو، مانند ترکیبات فنلی کل (TPC) و فلاونوئیدهای کل (TF) می‌شود. میانگین محتوای این متابولیت‌ها به موازات غلظت NaCl در محلول آبیاری به تدریج افزایش یافت (Zuzunaga-Rosas *et al*., 2024).

تجزیه و تحلیل HPLC به شناسایی ۹ جزء، یعنی ۶ اسید فنولیک (گالیک، کافئیک، کلروژنیک، رزمارینیک، سینامیک و کوماریک)، ۳ فلاونوئید (کوارستین، آپیژنین، روتین) اجازه داد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

در تحقیقی گزارش شده است که گونه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) در مقایسه با ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و پونه کوهی (*Oreganum vulgare*)، حاوی مقادیر بیشتری از ترکیبات فنلی مانند رزمارینیک اسید، کورستین، لوتئولین، آپیژنین، کافئیک، فرولیک و اسیدهای کارنوزیک است (Bistgani *et al*., 2019). همچنین بیان شده است که با افزایش سطح تنش شوری محتوای فلاونوئیدها مانند روتین و کوارستین و ترکیبات فنولی مانند اسید گالیک، اسید رزماریک و اسید سینامیک در گیاه آویشن افزایش یافت (Bistgani *et al*., 2019) که با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت داشت. در تحقیق دیگری کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا نشان داد که محتویات رزمارینیک اسید، لوتئولین و آپیژنین با تشدید تنش شوری افزایش می‌یابد. بالاترین محتویات فنول و فلاونوئید کل و محتویات رزمارینیک اسید، لوتئولین و آپیژنین در ۷۵ میلی‌مولار NaCl حاصل شد در مقابل، تمام این ویژگی‌ها در زیر ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl کاهش یافت (Vafadar *et al*., 2020). در این پژوهش، در شرایط محیط‌کشت گلدان‌های هوای آزاد با افزایش تنش شوری متوسط تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر محتوای ترکیبات فنلی مانند اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، اسید کوماریک و اسید رزماریک و محتوای فلاونوئیدها مانند روتین و کوارستین را افزایش داد ولی تنش شوری شدید ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش محتوای فنل‌ها و فلاونوئیدها شد. این احتمال وجود دارد که تولید بیش از حد ROS در ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، پروتئین‌های آنزیمی را از بین می‌برد و فتوسنتز را به شدت کاهش می‌دهد، در نتیجه دسترسی پیش سازهای مبتنی بر کربن و فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات فنلی را محدود می‌کند (Rouphael *et al*., 2019).

در تحقیقی در مورد تأثیر مراحل رشد بر محتوای فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شاخساره در مرزنجوش شیرین (*Origanum majorana* L.) تحت تنش شوری گزارش شده است که تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد محتوای اسیدهای فنولیک مانند اسید گالیک و اسید کافئیک را افزایش و محتوای اسید کوماریک، اسید سینامیک را کاهش داد و روی محتوای اسید کلروژنیک تأثیری نداشت همچنین تنش شوری فوق محتوای فلاونوئیدها مانند آپیژنین و کوآرستین را افزایش داد ولی محتوای روتین را کاهش داد (Baâtour *et al*., 2012). در آزمایش دیگری حداکثر محتوای کل ترکیبات فنلی در ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، فلاونوئیدها ۷۵ تا ۴۰۰ میلی‌مولار و اسیدهای هیدروکسی سینامیک ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، و همچنین فنولیک‌های منفرد (پروتوکاتچوئیک اسید، کاتچین، استراگالین، هیپروسید، روتین، ایزوکورسیترین، و مشتق آپیژنین) در ۱۰۰–۳۰۰ میلی‌مولار NaCl در گیاه هالوفیت *Glaux maritima* مشاهده شد (Pungin *et al*., 2023).

گیاهان از مکانیسم‌های مختلفی برای دفاع از خود در برابر تنش اکسیداتیو استفاده می‌کنند که شامل فعال‌شدن چندین سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی، از جمله سنتز و تجمع، به عنوان مثال، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها یا کاروتنوئیدها است (Sachdev *et al*., 2021). نتایج ما نشان داد که تیمارهای NaCl غلظت کل ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها را در گیاهان گالگا افزایش داد، همانطور که قبلاً توسط سایر نویسندگان گزارش شده است (Mahmoudi *et al*., 2010; Carillo *et al*., 2020). به خوبی شناخته شده است که گیاهان در غیاب تنش، ترکیبات فنلی، از جمله فلاونوئیدها را سنتز می‌کنند، زیرا این ترکیبات نقش‌های بیولوژیکی متعددی دارند (Flores *et al*., 2022; Santander *et al*., 2022)، اما در شرایط تنش شوری، این آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است به سطوح بالاتر انباشته شود تا افزایش ROS ناشی از نمک در سلول‌های گیاهی را کاهش دهد (Neocleous *et al*., 2014). تعدادی از محققان اظهار کردند مسیر فنیل پروپانوئید مسئول سنتز طیف متفاوتی از متابولیت‌های فنولیک است که اغلب آنها در اثر تنش تولید می‌شوند و دارای پیش‌سازها و مواد حد واسط مشترکی‌اند (Hernandez *et al*., 2004). افزایش ترکیبات فنلی تحت تنش‌های غیرزیستی در فلفل (*Capsicum annuum*) نیز گزارش شده است (Koc *et al*., 2010).

در اثر بروز تنش شوری گیاه در معرض آسیب قرار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

می‌گیرد و برای ادامه حیات خود ترکیباتی که عمدتاً جز متابولیت‌های ثانویه هستند، از خود رها می‌کند. یکی از این ترکیبات که قادر به کاستن صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد است، ترکیبات فنولی هستند. ترکیبات فنلی نقش‌های مهم اکولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه مانند نقش دفاعی و آنتی‌اکسیدانتی را به‌عهده دارند (Andre *et al*., 2009). در گیاه نعناع سبز (*M. spicata*) تنش خشکی باعث افزایش ترکیبات فنلی شد (Rostami *et al*., 2017) که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. محققان دیگر نیز نشان دادند تنش خشکی ملایم و شدید باعث افزایش فنل کل در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) شد (Khaleghnezhad *et al*., 2022). ترکیبات فنلی نقش‌های زیستی متفاوتی را در گیاه ایفا می‌کنند، به‌عنوان مثال، حضور پلی فنول‌ها برای رشد مطلوب، توسعه و تولیدمثل گیاه ضروری است. همچنین فنول‌ها به‌عنوان سیستم‌های دفاعی از گیاهان در برابر حمالت پاتوژن‌ها محافظت می‌کنند (Asensi *et al*., 2011). محتوای ترکیبات ثانویه گیاه، تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، مورفولوژیک، آنتاگونیستی و ژنتیکی قرار می‌گیرد که در این بین، اثر عوامل محیطی بسیار مهم‌تر است (Verma and Shukla, 2015).

همان گونه که نشان داده شده است افزایش تنش شوری منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پلی‌فنل‌ها گردیده است. این نتایج پیشنهاد می‌کند افزایش ترکیبات فنلی در گیاه گالگا تنش دیده می‌تواند به عنوان یکی از مکانیسم‌های مقاومت به تنش اکسیداتیو محسوب شود. نتایج تحقیقات گذشته نیز افزایش در مقدار ترکیبات فنلی را همزمان با افزایش قدرت پاد اکسایشی گیاهان فلفل (*Pennisetum typhoides*) قرار گرفته تحت تنش شوری نشان داده‌اند (Reddy and Vora, 1986).

همچنین در گزارشی دیگر که بر روی گونه دیگر از مریم‌گلی (*Salvia miltiorrhiza*) انجام شد نشان دادکه تنش خشکی سبب افزایش رزماریک اسید شده است (Liu *et al*., 2011). رزماریک اسید نیز یک ترکیب فنولی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی است که در گیاهان تیره‌های گاوزبان و نعناعیان یافت می‌شود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنولی به طرق مختلف صورت می‌گیرد که از جمله آنها می‌توان به جاروب کردن رادیکال‌های آزاد، دادن هیدروژن و جمع‌آوری اکسیژن یکتایی اشاره کرد. در تحقیقات بیشماری وجود یک ارتباط مستقیم بین میزان ترکیبات فنولی عصاره‌های گیاهی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها اثبات شده است (کیارستمی و مصفا، ۱۳۹۴).

در مطالعه‌ای گزارش شده است که با افزایش سطح تنش شوری، محتوای اسید کافئیک و اسید کوماریک در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) مشاهده شد (Jamalian *et al*., 2013) که با نتایج ما در این تحقیق مطابقت داشت. افزایش قابل‌توجهی در تجمع اسید کافئیک و اسید p-کوماریک به کاهش فشار اکسیداتیو کمک می‌کند، زیرا کافئیک اسید و اسید p-کوماریک به دلیل ماهیت هیدروکسیل خود، فعالیت مهارکنندگی رادیکال بالایی از خود نشان می‌دهند (Rezazadeh *et al*., 2012). مشتقات اسید هیدروکسی سینامیک آنتی‌اکسیدان‌های قوی‌تری نسبت به همتایان هیدروکسی بنزوئیک اسید خود دارند. این به دلیل افزایش احتمال جابجایی رادیکال فنوکسیل توسط مشتقات هیدروکسی سینامیک اسید است. آنها همچنین قادر به اهدای هیدروژن و الکترون برای تثبیت سایر رادیکال‌های آزاد هستند (Steenkamp *et al*., 2013). تولید ترکیبات فنلی به میزان کربن برگ بستگی دارد. هر زمان که تولید کربن بیشتر از نیاز متابولیک برای رشد باشد، تجمع پلی‌فنول‌ها آغاز می‌شود (Hichem *et al*., 2009).

مواد فنلی، برجسته‌ترین متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان، نقش مهمی در تشکیل مولکول‌های زیستی مختلف دارند که از گیاهان در برابر تنش‌ها محافظت می‌کنند (Saxena *et al*., 2015). افزایش محتوای فنولیک ممکن است به تنظیم اسمزی، حفاظت از ROS یا سیستم‌های دفاعی کلی گیاهان تحت تنش نمک کمک کند (Alqarawi *et al*., 2014). تنش غیرزیستی یکی از محرک‌های قوی تولید متابولیت ثانویه بسیاری از گیاهان دارویی است (Bistgani *et al*., 2019; Behdad *et al*., 2020; Boughalleb *et al*., 2020).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

در اینجا، بسته به محیط‌کشت و شدت تنش، هر دو روند (افزایش و کاهش) را در ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش شوری مشاهده شد. ممکن است به این دلیل باشد که مسیرهای متابولیک ثانویه و تنظیم آنها به طور باورنکردنی به عوامل محیطی و مراحل رشد حساس هستند زیرا بیان ژن‌های دخیل در مسیرهای آنها یا فعالیت‌های پروتئین کدگذاری‌شده آنها در سنین مختلف گیاه در حضور تنش‌های مختلف تغییر می‌کند (Sanchita Sharma, 2018; Li *et al*., 2020).

علاوه بر این، افزایش اسیدهای فنولیک در پاسخ به شوری نیز در عصاره‌های بافت‌های مختلف گیاهان دیگر گزارش شده است (Colla *et al*., 2013). این افزایش از این نظریه حمایت می‌کند که اسیدهای فنولیک از گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری محافظت می‌کنند و متابولیت‌های ثانویه ممکن است در تحمل گیاه به شوری نقش داشته باشند. به عنوان یک جز فلاونول، روتین نقش محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدی غشا را از طریق برهمکنش با سر قطبی فسفولیپیدها ایفا می‌کند (Erlejman *et al*., 2004). این مطالعه نشان می‌دهد که انتخاب محیط‌کشت مناسب چقدر برای به دست آوردن ترکیب بهینه ترکیبات فنلی برای اهداف خاص (مانند صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی) اهمیت دارد. علاوه بر این، تنش شوری را می‌توان برای دستکاری الگوی تولید پلی‌فنل فردی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد تنش شوری عملکرد دانه گیاه گالگا را در هر سه شرایط کشت کاهش داد ولی باعث افزایش ترکیبات فنلی شد. کشت مزرعه‌ای گیاه گالگا در مقایسه با کشت در داخل گلخانه و گلدانی هوای آزاد بیشترین عملکرد دانه و ترکیبات فنلی را تولید کرد. با توجه به نتایج این تحقیق، کشت گیاه گالگا داخل گلخانه و گلدان‌های هوای آزاد، تحمل به شوری تا ۵ دسی‌زیمنس را دارد اما در شرایط مزرعه با افزایش شوری، عملکرد دانه کاهش معنی‌داری یافت. بنابراین در شرایط نرمال و بدون تنش شوری جهت حصول حداکثر عملکرد دانه کشت گیاه گالگا در شرایط مزرعه مناسب به‌نظر می‌رسد. اما در شرایط آبیاری با آب شور ۵ دسی‌زیمنس بر متر، کشت گلدانی هوای آزاد حداکثر عملکرد دانه گیاه گالگا را تولید کرده و این روش کشت پیشنهاد می‌گردد. همچنین اگر هدف از کشت گالگا استخراج ترکیبات مؤثره و فنلی باشد روش کاشت مزرعه‌ای و اعمال تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر قابل توصیه است. پیشنهاد می‌شود تنش شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند به عنوان القاکننده سنتز ترکیبات مهم صنعتی و دارویی در گیاهان گالگا مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه، داده‌های به‌دست آمده نشان داد که تنش شوری عملکرد گالگا را در هر سه محیط‌کشت به‌طور معنی‌داری کاهش داد، در حالی‌که محتوای فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان را بهبود بخشید.

منابع

کیارستمی، خدیجه، و مصفا، نسیم (۱۳۹۴). بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی گیاه اسطوخودوس در شرایط کشت درون شیشه‌ای. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۴، ۸۳۵-۸۴۳.

Akram, N. A, & Ashraf, M. (2011). Improvement in growth, chlorophyll pigments and photosynthetic performance in salt-stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by foliar application of 5-aminolevulinic acid. *Agrochimica*, *55*, 94-104.

Ali, G., Srivastava, P. S., & Iqbal, M. (1999). Proline accumulation, protein pattern and photosynthesis in *Bacopa monniera* regenerants growth under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, *42*, 89-95.

Alizadeh, A. (2000). The Relationship Between Water, Soil and Plants. Astan Quds Publications, Mashhad.

Alqahtani, M., Roy, S. T., & Tester, M. (2019). Increasing salinity tolerance of crops. In: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. (ed. Meyers, R. A.) Pp. 5315-5331. Springer, New York, NY, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4939- 2493-6_429-3

Alqarawi, A. A., Abd Allah, E., & Hashem, A. (2014). Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in *Ephedra aphylla* Forssk. *Journal of Plant Interactions*, *9*, 802-810. doi: 10.1080/17429145.2014.949886

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

Andre, C. M., Schafleitner, R., Legay, S., & Lefevre, I. (2009). Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry, 70*(90), 1107-1116.

Asensi, M., Ortega, A., Mena, S., Feddi, F., & Estrela, J. M. (2011). Natural polyphenols in cancer therapy. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 48*, 197-216.

Baâtour, O., Tarchoun, I., Nasri, N., Kaddour, R., Harrathi, J., Drawi, E., & Lachaal, M. (2012). Effect of growth stages on phenolics content and antioxidant activities of shoots in sweet marjoram (*Origanum majorana* L.) varieties under salt stress. *African Journal of Biotechnology, 11*(99), 16486-16493.

Behdad, A., Mohsenzadeh, S., Azizib, M., & Moshtaghi, N. (2020). Salinity effects on physiological and phytochemical characteristics and gene expression of two *Glycyrrhiza glabra* L. populations. *Phytochemistry, 171*, 112236. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112236

Bistgani, Z. E., Hashemib, M., DaCostab, M., Crakerb, L., Maggic, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products, 135*, 311-320. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.055

Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Mahmoudi, M., & Bakhshandeh, E. (2020). Changes in phenolic profile, soluble sugar, proline, and antioxidant enzyme activities of *Polygonum equisetiforme* in response to salinity. *Turkish Journal of Botany, 44*, 25-35. doi: 10.3906/bot-1908-2

Bourgou, S., Kchouk, M. E., Bellila, A., & Marzouk, B. (2010). Effect of salinity on phenolic composition and biological activity of *Nigella sativa*. *Acta Horticulture, 853*, 57-60.

Caretto, S., Linsalata, V., Colella, G., Mita, G., & Lattanzio, V. (2015). Carbon fluxes between primary metabolism and phenolic pathway in plant tissues under stress. *International Journal of Molecular Sciences, 16*, 26378-26394.

Carillo, P., Giordano, M., Raimondi, G., Napolitano, F., Di Stasio, E., & Kyriacou, M. C., et al. (2020). Physiological and nutraceutical quality of green and red pigmented lettuce in response to NaCl concentration in two successive harvests. *Agronomy, 10*, 1358. doi: 10.3390/agronomy10091358

Castellano, G., Tena, J., & Torrens, F. (2012). Classification of phenolic compounds by chemical structural indicators and its relation to antioxidant properties of *Posidonia oceanic* (L.) Delile. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry, 67*, 231-250.

Cik, J. K., Klejdus, B., Hedbavny, J., & Backor, M. (2009). Salicylic acid alleviates NaCl-induced changes in the metabolism of *Matricaria chamomilla* plants. *Ecotoxicology, 18*(5), 544-554.

Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Svecova, E., Rea, E., & Lucini, L. (2013). Effects of saline stress on mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon genotypes grown in floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 93*(5), 1119-1127.

Cragg, G. M., Boyd, M. R., Khanna, R., Newman, D. J., & Sausville, E. A. (1999). Natural product drug discovery and development. In: Phytochemicals in Human Health Protection, Nutrition, and Plant Defense. (ed. Romeo, J. T.) Pp. 1-29. Springer US, Boston, MA.

Erlejman, A., Verstraeten, S., Fraga, C., & Oteiza, P. (2004). The interaction of flavonoids with membranes: Potential determinant of flavonoid antioxidant effects. *Free Radicals Research, 38*, 1311-1320. http://doi.org.10.1080/10715760400016105

Farnsworth, N. R., Akerele, O., Bingel, A. S., Soejarto, D. D., & Guo, Z. (1985). Medicinal plants in therapy. *Bull World Health Organ, 63*(6), 965-981.

Flores, M., Amoros, A., & Escalona, V. H. (2022). Effect of NaCl and harvest time on antioxidant compounds and morphological cell changes in Lollo Bionda and Lollo Rosso lettuces. *Chilean Journal of Agricultural Research, 82*, 537-551. doi: 10.4067/S0718-58392022000400537

Hernandez, I., Alegre, L., & Munne-Bosch, S. (2004). Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. *Tree Physiology, 24*, 1303-1311.

Hichem, H., Mounir, D., & Naceur, E. A. (2009). Differential response of two maize (*Zea mays* L.) varieties to salt stress: Changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. *Industrial Crops and Products, 30*, 144-151.

Hounsome, N., Hounsome, B., Tomas, D., & Edwards-Jones, G. (2008). Plant metabolites and nutritional quality of vegetables. *Journal of Food Science, 73*, 48-65.

Imran, S., Sarker, P., Hoque, M. N., Paul, N. C., Mahamud, M. A., Chakrobortty, J., Tahjib-Ul-Arif, M., Latef, A. A., Hasanuzzaman, M., & Rhaman, M. S. (2022). Biochar actions for the mitigation of plant abiotic stress. *Crop and Pasture Science, 74*, 6-20. https:// doi.org/10.1071/CP21486

Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Khadem Sedighi, S., Ebadi, A., Tavakoli, N., & Davari, M. (2017). Effect of calcium on salt tolerance protein expression and activity of antioxidants in borage under salinity condition. *Genetic Engineering and Biosafety Journal, 6*(1), 117-129.

Jamalian, S., Gholami, M., & Esna-Ashari, M. (2013). Abscisic acid-mediated leaf phenolic compounds, plant growth and yield is strawberry under different salt stress regimes. *Theoretical and Experimental Plant Physiology, 25*, 291-299.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

Jung, M., Park, M., Lee, H. C., Kang, Y. H., Kang, E. S., & Kim, S. K. (2006). Antidiabetic agents from medicinal plants. *Current Medicinal Chemistry*, *13*(10), 1203-1218.

Karakas, F. P., Yildirim, A., & Turker, A. (2012). Biological screening of various medicinal plant extracts for antibacterial and antitumor activities. *Turkish Journal of Biology*, *36*(6), 641-652.

Karimi, Z., Khara, J., & Habibi, Gh. (2020). Combined hydrogen peroxide and nitric oxide priming modulate salt stress tolerance in acclimated and non-acclimated oilseed rape (*Brassica napus* L.) plants. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *10*(2), 27-43.

Khaleghnezhad, V., Yousefi, A., Tavakoli, A., & Farajmand, B. (2022). Changes in total phenol content, photosynthetic pigments and gas exchange of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in response to different concentrations of abscisic acid and three moisture regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 201-217.

Koc, E., Islek, C., & Ustun, A. S. (2010). Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, *23*, 1-6.

Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussmand, M. R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *148*, 80-89. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.01.006

Liu, H., Wang, X., Wang, D., Zou, Z., & Liang, Z. (2011). Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, *33*(1), 84-88.

Mahmoudi, H., Huang, J., Gruber, M. Y., Kaddour, R., Lachaal, M., & Ouerghi, Z., et al. (2010). The impact of genotype and salinity on physiological function, secondary metabolite accumulation, and antioxidative responses in lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*, 5122-5130. doi: 10.1021/jf904274v

Minhas, P. S., Ramos, T. B., Ben-Gal, A., & Pereira, L. S. (2020). Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, *227*, 105832. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832

Mustafa, G., Akhtar, M. S., & Abdullah, R. (2019). Global concern for salinity on various agro-ecosystems. In: Salt Stress, Microbes, and Plant Interactions: Causes and Solution. (ed. Aktar, M. S.) Pp. 1-19. Springer, Singapore. https://link.springer.com/ chapter/10.1007/978-981-13-8801-9_1

Najmol Hoque, Md., Imran, S., Hannan, A., Chandra Paul, N., Asif Mahamud, Md., Chakrobortty, J., Sarker, P., Jahan Irin, I., Brestic, M., & Saidur Rhaman, M. (2022). Organic amendments for mitigation of salinity stress in plants: A review. *Life*, *12*, 1632. https://doi.org/10.3390/life12101632

Neocleous, D., Koukounaras, A., Siomos, A. S., & Vasilakakis, M. (2014). Assessing the salinity effects on mineral composition and nutritional quality of green and red "baby" lettuce. *Journal of Food Quality*, *37*, 1-8. doi: 10.1111/jfq.12066

Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2010). Regulation in gas exchange and quantum yield of photosystem II (PSII) in salt stressed and non-stressed wheat plants raised from seed treated with triacontanol. *Pakistan Journal of Botany*, *42*, 3073-3081.

Pungin, A., Lartseva, L., Loskutnikova, V., Shakhov, V., Popova, E., Skrypnik, L., & Krol, O. (2023). Effect of salinity stress on phenolic compounds and antioxidant activity in halophytes *Spergularia marina* (L.) griseb and *Glaux maritima* L. cultured in vitro. *Plants*, *12*(9), 1905.

Rasekh, F., Rowshan, V., Vaziri, A., & kholdebarin, B. (2019). Effects of salinity on biochemical and physiological characteristics of *Matricaria chamomilla*. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *32*(3), 583-595.

Reddy, M. P, & Vora, A. B. (1986). Changes in pigment composition, hill reaction activity and saccharides metabolism in bajra (*Pennisetum typhoides* S & H) leaves under NaCl salinity. *Photosynthica*, *20*, 50-55.

Rezazadeh, A., Ghasemzadeh, A., Brani, M., & Telmadarrehei, T. (2012). Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. *Research Journal of Medicinal Plant*, *6*, 245-252.

Rostami, Gh., Moghaddam, M., Ghasemi Pirbalooti, A., & Tehranifar, A. (2017). Effect of foliar application of iron and zinc to sulfate and nanoparticle forms on morphological and biochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *ESCS*, *11*(3), 707-720.

Rouphael, Y., Kyriacou, M., Carillo, P., Pizzolongo, F., Romano, R., & Sifola, M. (2019). Chemical eustress elicits tailored responses and enhances the functional quality of novel food Perilla frutescens. *Molecules*, *24*, 185.

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, *10*, 277. doi: 10.3390/antiox10020277

Sanchita Sharma, A. (2018). Gene expression analysis in medicinal plants under abiotic stress conditions. In: Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress. (eds. Ahmad, P., Ahanger, M. A., Singh, V. P., Tripathi, D. K., Alam, P., and Alyemeni, M. N.) Pp. 407-414. Academic Press, Cambridge, MA. doi: 10.1016/B978-0-12-812689-9.00023-6

Santander, C., Vidal, G., Ruiz, A., Vidal, C., & Cornejo, P. (2022). Salinity eustress increases the biosynthesis and accumulation of phenolic compounds that improve the functional and antioxidant quality of red lettuce. *Agronomy*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

12, 598. doi: 10.3390/agronomy12030598

Saxena, A., Raghuwanshi, R., & Singh, H. B. (2015). Trichoderma species mediated differential tolerance against biotic stress of phytopathogens in *Cicer arietinum* L. *Journal of Basic Microbiology*, *55*, 195-206. doi: 10.1002/jobm.201400317

Seyed Sharifi, R, & Gholinezhad, E. (2022). Evaluation Agronomic and Morphophysiological Traits of Crop Plants. Press University of Mohaghegh Ardabili.

Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques. In: Guideline For Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. (eds. Zaman, M., Shahid, S. A., and Heng, L.) Pp. 1-42. Springer, Cham. Switzerland, https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-96190-3

Steenkamp, V., Nkwane, O., Van Tonder, J., Dinsmore, A., & Gulumian, M. (2013). Evaluation of the phenolic and flavonoid contents and radical scavenging activity of three southern African medicinal plants. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, *7*, 703-709.

Tounekti, T., Hernandez, I., Muller, M., Khemira, H., & Munne-Bosch, S. (2011). Kinetin applications alleviate salt stress and improve the antioxidant composition of leaf extracts in *Salvia officinalis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *49*, 1165-1176.

Vafadar, F., Amooaghaie, R., Ehsanzadeh, P., & Ghanadian, M. (2020). Salinity stress alters ion homeostasis, antioxidant activities and the production of rosmarinic acid, luteolin and apigenin in *Dracocephalum kotschyi* Boiss. *Biologia*, *75*, 2147-2158.

Verma, N, & Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *2*, 105-113.

Zorb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, *21*, 31-38. https://doi.org/10.1111/plb.12884

Zuzunaga-Rosas, J., Calone, R., Mircea, D. M., Shakya, R., Ibanez-Asensio, S., Boscaiu, M., Fita, A., Moreno-Ramon, H., & Vicente, O. (2024). Mitigation of salt stress in lettuce by a biostimulant that protects the root absorption zone and improves biochemical responses. *Frontiers in Plant Science*, *16*(15), 1341714. doi: 10.3389/fpls.2024.1341714

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]

Investigating the effects of different levels of salinity stress on yield, phenolic and flavonoid compounds of Galega (*Galega officinalis*) plants under different cultivation environments

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

[1] Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
[2] Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
[3] Department of Analytical Chemistry-Chromatography, Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Urmia, Iran
(Received: 2024/10/25, Accepted: 2024/12/24)

Abstract

This research was carried out with the aim of examining the effects of different levels of salinity stress on yield, phenolic and flavonoid compounds of Galega plant as a completely randomized block design with three replications in three cultivation environments (greenhouse, open-air pot, and field) in the crop year 2023 in the research farm of the Faculty of Agriculture of Urmia University. The salinity stress was at three levels, 0.1, 5 and 10 ds/m. Salinity stress in all three culture environments caused a decrease in Galega seed yield compared to the control. On average, Galega field cultivation produced the highest seed yield (2.98 g per plant), and open air pot cultivation (2.13 g per plant) produced the lowest seed yield. Mild and severe salinity stress led to changes in the ratio of polyphenols and flavonoids. In greenhouse conditions, salinity stress of 5 and 10 ds/m increased the content of caffeic acid (44 and 62%) and chlorogenic acid (41 and 27%), respectively, compared to the conditions without salinity stress. Also, in open air pots, the salinity stress of 5 ds/m compared to the conditions without salinity stress, increased the content of caffeic acid (51%), chlorogenic acid (9%), coumaric acid (30%), acid rosmaric (53%), quercetin (86%) and cinnamic acid (17%). Under field cultivation conditions, the salinity stress was 5 and 10 ds/m, respectively, the content of chlorogenic acid (11 and 58%), coumaric acid (19 and 48%), rosmaric acid (42 and 61%), quercetin (53 and 77 percent), and cinnamic acid (18 and 42 percent). The highest content of chlorogenic acid (47.06), rutin (15), cinnamic acid (0.92) and apigenin (4.26) was obtained from the salinity stress of 10 dS/m under field conditions. These changes are probably a solution to adjust the effects of salinity stress. It is suggested that the salinity stress of 10 ds/m can be used as an inducer for the synthesis of important industrial and medicinal compounds in Galega plants. In conclusion, the data obtained showed that salinity stress significantly reduced the yield of Galega in all three culture environments, while it improved the phenolic content and antioxidant capacity of the plants.

Keywords: Galega, Gallic acid, Greenhouse, Rosmaric acid, Rutin, Salinity

Corresponding author, Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-08-11]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.157]