



Effects of salinity stress on morphological and physiological traits of three ecotypes of *Mentha longifolia* L.

Heydar Mohammed Khudhair Al jazea¹, Bahram Abedy^{2*} and Seyyed Hossein Nemati¹

1. Ph.D. Student, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Ferdowsi University of Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran
- 2*. Corresponding author, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Ferdowsi University of Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran, Email: abedy@um.ac.ir
3. Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Ferdowsi University of Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran

Received: April 2024

Revised: May 2025

Accepted: May 2025

Abstract

Background and objectives: *Mentha longifolia* L. belongs to the *Mentha* genus and the mint family (*Lamiaceae*). This plant naturally grows in moist environments, such as riverbanks, and its cultivation in fields and greenhouses requires high-quality water. Water and soil salinity are among the most critical agricultural challenges in hot and arid regions. In such areas, soil salinity and water scarcity are the primary factors that reduce the growth and yield of crops. Identifying and utilizing ecotypes and cultivars resistant to salinity stress can help prevent production losses. This study aims to investigate the effects of different water salinity levels on the morphological and physiological traits of three wild brookmint ecotypes to identify the most salt-tolerant ecotype.

Materials and Methods: This study was conducted using a completely randomized design in factorial form with two factors at Ferdowsi University of Mashhad. The first factor was ecotype, with three levels (E1: South Khorasan, E2: Lorestan, E3: Fars), and the second factor was salinity stress, with four levels (0, 75, 100, and 150 mM sodium chloride). Salt stress treatments were applied beginning at the four-leaf stage, and at the eight-leaf stage, morphological traits were measured, including plant height, number of leaves, number of flowers, flower length, fresh and dry leaf weights, and fresh and dry root weights. Physiological traits assessed included chlorophyll a, chlorophyll b, total carotenoids, electrolyte leakage, total phenol content, total flavonoid content, proline content, and total carbohydrate content. Data was analyzed using Minitab 19 software.

Results: The results showed that the main effects of ecotype and salinity stress and their interaction significantly influenced morphological traits such as plant height, root weight, and root dry weight. The main effects of ecotype and salinity stress on leaf weight and leaf dry weight were also significant. However, the main and interaction effects on traits such as number of leaves, number of flowers, and flower length were not significant. Salinity stress significantly reduced morphological traits in all ecotypes compared to the control, including plant height, leaf weight, dry weight, root weight, and dry weight. Regarding physiological traits, the main effects of ecotype and salinity stress, along with their interaction, significantly affected chlorophyll a,



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijmapr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, electrolyte leakage, total flavonoid content, and proline content. The main effects of ecotype and salinity stress on total phenol content were significant, while their effects and interactions on carbohydrate content were not significant. Salinity stress led to a reduction in chlorophyll a, b, total chlorophyll, and carotenoids. Conversely, this stress increased proline content, electrolyte leakage, and the levels of total phenol and flavonoid compounds in the leaves compared to the control.

Conclusion: Based on the evaluation of the measured traits in the three wild brookmint ecotypes, it was evident that these ecotypes responded differently to salinity stress. The results indicated that the E1 ecotype (South Khorasan) was superior to the others in terms of the traits studied and exhibited greater tolerance to salinity stress conditions.

Keywords: Flavonoid, proline, phenol, Leakage, Lamiaceae

بررسی اثر تنش شوری بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه اکوتیپ *Mentha longifolia* L.

حیدر محمد خضیر ال جازع^۱، بهرام عابدی^{۲*} و سیدحسین نعمتی^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد، استان خراسان رضوی، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد، استان خراسان رضوی، ایران

پست الکترونیک: abedy@um.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد، استان خراسان رضوی، ایران

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: گونه (*Mentha longifolia* L.) از خانواده نعناع (Lamiaceae) به صورت خودرو در مناطق مرطوب مثل حاشیه رودخانه‌ها رشد می‌کند و کشت آن در مزارع و گلخانه‌ها نیاز به آب با کیفیت دارد. شوری آب و خاک یکی از بزرگترین معضلات و مشکلات کشاورزی در مناطق گرم و خشک است. در چنین مناطقی شوری خاک و کمبود آب عامل اصلی کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. شناسایی و استفاده از اکوتیپ‌ها و ارقام مقاوم به تنش شوری می‌تواند به شکل مناسبی از افت تولید جلوگیری نماید. هدف این مطالعه بررسی تاثیر سطوح مختلف شوری آب بر عملکرد صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سه اکوتیپ گیاه پونه وحشی، جهت شناسایی اکوتیپ مقاوم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با دو عامل به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عامل اول شامل اکوتیپ با سه سطح (E1: خراسان جنوبی، E2: لرستان، E3: فارس) و عامل دوم تنش شوری با چهار سطح (صفر، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم) بود. اعمال تیمار تنش شوری در مرحله ۴ برگی آغاز شد و در مرحله ۸ برگی اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد گل، طول گل، وزن تر و خشک برگ و وزن تر و خشک ریشه و همچنین خصوصیات فیزیولوژیکی شامل کلروفیل a، b، کل و میزان کارتنوئید، میزان نشت الکترولیت، محتوی فنول کل، محتوی فلاونوئید کل، میزان پرولین و محتوی کربوهیدرات کل انجام شد. داده‌های حاصل توسط نرم افزار Minitab 19 مورد آنالیز قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ × تنش شوری روی صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار بود، اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری روی وزن تر و خشک برگ گیاهان اثر معنی‌دار نشان داد، همچنین اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ × تنش شوری روی صفات تعداد برگ، تعداد گل و طول گل معنی‌دار نبود. تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیکی در اکوتیپ‌های مختلف که شامل ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ریشه نسبت به شاهد گردید. اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ × تنش شوری بر روی صفات فیزیولوژیکی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، کارتنوئید، میزان نشت الکترولیت، و محتوی کل فلاونوئید و میزان پرولین معنی‌دار شد. اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری روی میزان فنول کل معنی‌دار بود. در صورتی که اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ × تنش شوری روی میزان محتوی کربوهیدرات معنی‌دار نشد. تنش شوری باعث کاهش میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید شد، از طرفی این تنش با تأثیر بر گیاه، باعث افزایش میزان محتوی پرولین، نشت الکترولیت، محتوی فنول کل و فلاونوئید برگ گیاه نسبت به گیاه شاهد شد.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج حاصل از صفات اندازه‌گیری شده سه اکوتیپ پونه وحشی، مشاهده گردید که این اکوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی را نسبت به تنش شوری نشان دادند. با توجه به نتایج و داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری صفات ذکر شده، اکوتیپ (خراسان جنوبی) E1 از لحاظ صفات مورد بررسی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها برتری داشت و در برابر شرایط تنش شوری مقاومت

بیشتری از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: فلاونوئید، پرولین، فنل، نشت، نعنایان

مقدمه

نعناعیان یکی از بزرگترین خانواده‌های گیاهی است که دارای پراکنش جهانی می‌باشد. این گیاه در بیشتر مناطق دارای خاک‌های مرطوب به راحتی رشد می‌کند و نیاز نوری آن با توجه به نوع آن بین آفتاب کامل تا نیم سایه متغیر است. حدود ۲۰۰ جنس و بیش از ۴۰۰۰ گونه دارد که عموماً بوته‌های معطر و درختچه‌های کوتاه هستند (Hosseini et al., 2019). گیاه پونه (*Mentha longifolia* L) از خانواده نعناعیان و زیر تیره *Nepetoideae* و قبیله *Mentheae* گیاهی علفی، چند ساله، معطر و دارای ریزوم است. ساقه کرک‌دار بوده و تقریباً ۱/۵ میلی‌متر طول دارد. برگ‌ها ساده و متقابل و به‌طور میانگین در حدود ۹ سانتیمتر طول و ۲/۲ سانتیمتر عرض دارد. اندازه برگ‌ها، شکل و پوشش کرک بسیار متنوع است. اندام‌های جوان و شاخساره آن بیشتر به عنوان عطر و طعم‌دهنده در سالاد و غذاهای طبخ شده استفاده می‌شود (Vining et al., 2005). گل‌های این گیاه کوچک و صورتی متمایل به سفید می‌باشد. گل‌آذین پونه از نوع سنبله و دارای اندام‌های نر و ماده می‌باشد و در این مرحله از زندگی دارای بیشترین میزان اسانس و طعم است (Zouari-Bouassida et al., 2018). از عصاره برخی از گونه‌های جنس پونه به منظور خواص ضد میکروبی، ضد اکسیدانی، ضد انقباض و تشنج، سرماخوردگی، فعالیت‌های سیتوتوکسیک، محرک و ضد درد استفاده می‌گردد. به علت دارا بودن اسانس از برگ‌های آن به منظور دمنوش و ادویه‌جات استفاده می‌شود، همچنین در بیشتر موارد اسانس استخراج شده از پونه را نیز به عنوان دارو به‌کار می‌برند (Saber et al., 2008; Moshrefi et al., 2019). این گیاه در طب سنتی برای درمان تهوع، برونشیت، نفخ و بی‌اشتهایی استفاده می‌شود. برای ارزیابی

فعالیت ضد میکروبی اسانس گیاه پونه تحقیقات زیادی انجام شده است (Pajohi et al., 2010) که اثرهای ضد میکروبی این گیاه را تأیید نموده‌اند.

تنش شوری بعد از تنش آبی دومین عامل مؤثر محیطی و محدود کننده تولید محصولات کشاورزی بوده که سطح زیادی از زمین‌های کشاورزی ایران و جهان را تحت تأثیر خود قرار داده است (Rezaloo et al., 2023). بیشتر گیاهان باغی و زراعی به تنش شوری حساس هستند و نمی‌توانند در شرایط شوری شدید زنده بمانند و در صورت زنده ماندن، میزان عملکرد آنها کاهش خواهد یافت (Ullah et al., 2020). شوری مهمترین تنش محیطی است که با تأثیر بر مورفولوژی، فیزیولوژی و مشخصات بیوشیمیایی، رشد گیاهان را محدود می‌کند (Alam et al., 2021). بیشتر گیاهان از طریق فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و سلولی و مولکولی به تنش شوری پاسخ داده و خود را با شرایط محیطی و خارجی سازگار و وفق می‌دهند (Fokkema et al., 2016). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش بسیار مؤثری را در پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال ایفا می‌کنند، این آنزیم‌ها باعث افزایش توانایی تحمل به تنش در گیاه می‌شوند و پیری را به تأخیر می‌اندازند (Khalvandi et al., 2019; Khalvandi et al., 2017). از جمله خسارت‌های تنش اکسیداتیو آسیب به اجزای سلولی می‌باشد که توسط گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد می‌شود، در برابر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث جلوگیری از این خسارت‌ها می‌شوند. با توجه به کمبود منابع آب شیرین، استفاده از آب‌هایی که میزان نمک آنها بالاست برای تولید گیاهان باغی و زراعی غیر قابل اجتناب است. شوری با کاهش میزان فعالیت‌ها و متابولیسم‌های گیاه موجب کاهش رشد و نمو گیاهان و منجر به میلیاردها دلار خسارت در هر سال به محصولات کشاورزی در سطح

اول شامل اکوتیپ با سه سطح (خراسان جنوبی: E1، لرستان: E2، فارس: E3) و عامل دوم تنش شوری با چهار سطح (صفر، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی مولار نمک کلرید سدیم) بود. یادآوری می‌شود که اکوتیپ‌های مورد اشاره، در آزمایشی مستقل از این پژوهش، به دلیل نشان دادن مقاومت بیشتر نسبت به دیگر اکوتیپ‌های بومی ایران انتخاب شدند.

برای اجرای آزمایش، گلدان‌هایی با قطر و عمق ۳۰ سانتی‌متر با خاک دست‌ساز (با نسبت برابر ماسه، خاک زراعی، خاک برگ) پر شد. برای کشت مواد گیاهی، از هر اکوتیپ سه عدد ریزوم فعال با طول ۱۵ و قطر ۰/۳ سانتیمتر در گلدان‌ها کشت شد. بعد از کاشت، بوته‌های رشد کرده تا مرحله ۴ برگه آبیاری و مراحل داشت به صورت معمول انجام گردید. در مرحله ۴ برگه تیمارهای مربوط به تنش شوری اعمال گردید. برای تیمار شاهد، آبیاری با آب مقطر انجام شد. در مرحله ۸ برگه که مصادف با ظهور اولیه گل‌آذین‌های پونه بود، اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد گل، طول گل، وزن تر و خشک برگ و وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری گردید. همچنین میزان رنگدانه‌ها، شامل کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید کل در پایان آزمایش انجام شد (Dere et al., 1998). اندازه‌گیری مقدار پرولین با روش (Bates et al., 1973) و نشت الکترولیت طبق روش (Beltrano & Ronco, 2008) به دست آمد. کربوهیدرات محلول براساس روش (Irigoyen et al., 1992)، مقدار فلاونوئید با دستورالعمل (Menichini et al., 2009) و میزان محتوی فنول کل براساس (Ebrahimzadeh et al., 2008) با استفاده از معرف فولین سیکالتو (Folin-Ciocaltu) انجام شد.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Minitab 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها و جدول‌ها نیز توسط نرم‌افزار Excel 2016 طراحی و رسم شد.

جهان می‌شود (Khan et al., 2022). به همین دلیل محققان همواره به دنبال یافتن راه‌هایی برای کاهش افت عملکرد محصولات در شرایط تنش شوری هستند. یکی از مهمترین راه‌های مقابله با تنش شوری، شناسایی ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مقاوم است. ارقام مقاوم در برابر تنش شوری، رویکردی جذاب و مقرون به صرفه برای حل این مشکل است (Gharib et al., 2014) که نسبت به دیگر راه‌ها می‌تواند هزینه‌های کمتر و بازده بالاتری داشته باشد (Egea et al., 2023). هنگامی که گیاه مقاوم، با تنش شوری مواجه می‌شود، براساس خصوصیات وراثتی خود راهبردهای متفاوتی را نشان می‌دهد که شامل تغییر فرایندهای متابولیکی، تغییر ساختار غشایی، بیان متفاوتی از برخی از ژن‌ها و تولید برخی از متابولیت‌ها می‌باشد (Balasubramaniam et al., 2023). افزایش میزان فعالیت‌های متابولیت‌های ثانویه نه تنها مقاومت گیاهان به تنش‌ها را افزایش می‌دهد بلکه از نظر تجاری نیز افزایش این متابولیت‌ها ارزش اقتصادی خواهد داشت (Patel et al., 2020). بیشتر گیاهان باغی و زراعی با افزایش یا کاهش میزان فعالیت‌های متابولیت‌های ثانویه به سرعت به تنش پاسخ می‌دهند، ولی این میزان القاء شده برای زمان طولانی باقی نمی‌ماند (Krasensky & Jonak, 2020). بنابراین بسیار حائز اهمیت است که واکنش گیاه در یک زمان معین مطالعه شود (Jafari et al., 2020).

از این رو، در این تحقیق پاسخ سه اکوتیپ از گیاه پونه را به تنش شوری بررسی کرده و خصوصیات کمی و کیفی این گیاه را در این شرایط مورد آزمایش قرار داده تا اکوتیپ مقاوم شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش شوری روی خصوصیات کمی و کیفی سه اکوتیپ گیاه پونه در شرایط گلخانه‌ای، پژوهشی در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. طرح آزمایشی این پژوهش با دو عامل به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع گیاه، وزن تر و وزن خشک ریشه در اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری معنی دار شد و وزن تر و وزن خشک اندام هوایی فقط در اثر ساده هر دو عامل اکوتیپ و تنش شوری معنی دار گردید (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر ساده اکوتیپ و تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر صفات تعداد برگ، تعداد گل و طول گل معنی دار شد (جدول ۱). همچنین نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع پونه در اکوتیپ E2 در صفر میلی مولار به میزان ۶۳/۶۷ سانتی متر و کمترین ارتفاع پونه در اکوتیپ E3 در سطح ۱۵۰ میلی مولار تنش شوری به میزان ۱۸/۶۷ سانتیمتر حاصل شد (جدول ۳).

وزن تر برگ تحت تأثیر ساده اکوتیپ در سطح ($P \leq 0.05$) نتایج معنی داری نشان داد که بیشترین وزن تر برگ در اکوتیپ E1 به میزان (۱۳۹/۵۵) سانتیمتر و کمترین آن در اکوتیپ E2 به میزان (۱۰۷/۷۷) سانتیمتر به دست آمد (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد که اثر ساده تنش شوری روی وزن تر برگ در سطح ($P \leq 0.01$) معنی دار شد که بیشترین وزن تر برگ در تیمار صفر میلی مولار تنش شوری به میزان (۲۱۱/۹۹) سانتیمتر و کمترین آن در تیمار ۱۵۰ میلی مولار تنش شوری به میزان (۶۶/۶۹) سانتیمتر بود و اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر روی وزن تر برگ تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۱).

وزن خشک اندام هوایی در اثر ساده اکوتیپ، در سطح ($P \leq 0.01$) معنی دار شد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در اکوتیپ E1 به میزان (۵۹/۹۱) گرم و کمترین آن در اکوتیپ E2 به میزان (۴۰/۲۱) گرم بدست آمد (شکل ۳). اثر ساده تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی دارای معنی داری در سطح ($P \leq 0.01$) بود که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار صفر میلی مولار به میزان (۷۶/۸۰) گرم و کمترین وزن خشک اندام هوایی در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار به میزان (۳۴/۹۸) گرم اندازه گیری شد (شکل ۴).

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر متقابل اکوتیپ و تنش شوری بر وزن تر ریشه در سطح ($P \leq 0.01$) معنی دار بود و اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر وزن تر ریشه معنی داری در سطح ($P \leq 0.05$) نشان داد (جدول ۱). بیشترین وزن تر ریشه در اکوتیپ E2 به میزان ۱۳۶/۷۱ گرم در سطح شوری صفر میلی مولار و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 به میزان ۴۵/۴۵ گرم در سطح ۱۵۰ میلی مولار بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر متقابل اکوتیپ و تنش شوری بر وزن خشک ریشه دارای معنی داری در سطح ($P \leq 0.01$) بود و اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر وزن خشک ریشه در سطح ($P \leq 0.05$) معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن خشک ریشه در اکوتیپ E1 به میزان ۱۰۳/۵۵ گرم در سطح شوری صفر میلی مولار و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 به میزان ۱۶/۴۵ گرم در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار اندازه گیری شد (جدول ۳).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری روی میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح ($P \leq 0.05$) و اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری روی میزان کلروفیل b در سطح ($P \leq 0.01$) معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل a در اکوتیپ E2 و سطح شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱۰/۷۸) میکروگرم بر میلی لیتر و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۰/۳۷) میکروگرم بر میلی لیتر (جدول ۴) مشاهده شد. همچنین اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری روی میزان کلروفیل b در سطح ($P \leq 0.01$) معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱۰/۹۸) میکروگرم بر میلی لیتر و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱/۹۷) میکروگرم بر میلی لیتر (جدول ۴). اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر میزان کلروفیل کل در سطح ($P \leq 0.05$) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری بر برخی صفات مورفولوژیکی پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Table 1. ANOVA of salinity stress effects on some *Mentha longifolia* morphological traits

S.O.V.	d.f.	M.S.							
		Plant height	Number of leaves	Number of flowers	Length of flowers	Shootfresh weight	Shoot weight	Root fresh weight	Root dry weight
Ecotype (E)	2	176.083**	1015.444 ^{ns}	85.027 ^{ns}	0.084 ^{ns}	3040.19*	1217.1**	1953.455**	1994.685**
Salinity (S)	3	1668.102**	4793.065 ^{ns}	87.583 ^{ns}	0.416 ^{ns}	37419.07**	3242.774**	9488.753**	7714.417**
E×S	6	42.602**	1359.926 ^{ns}	15.472 ^{ns}	0.192 ^{ns}	223.72 ^{ns}	57.652 ^{ns}	391.982*	183.283*
Experimental error	24	5.444	1999.19	36.333	0.621	659.9	29.37	152.2	53.54
C.V. (%)		23.33	15.07	21.28	20.47	25.5	19.78	26.6	20.71

^{ns}, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری بر برخی صفات فیزیولوژیکی پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Table 2. ANOVA of salinity stress effects on some *Mentha longifolia* physiological traits

S.O.V.	df	M.S.								
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoids	Electrolyte leakage	Total phenolics content	Total flavonoids content	Proline concentration	Carbohydrate
Ecotype (E)	2	32.839**	35.838**	85.006**	197552.7**	741.173**	0.054*	660.579**	15.750*	0.006 ^{ns}
Salinity (S)	3	67.805**	37.001**	204.601**	1552474.1**	7392.783**	0.345**	3395.123**	87.007**	0.019 ^{ns}
E×S	6	3.898*	9.737**	9.892*	161644.6*	233.941*	0.011 ^{ns}	284.146*	9.726*	0.018 ^{ns}
Experimental error	24	1.331	2.277	3.498	9383	92.55	0.014	104.23	3.812	0.021
C.V. (%)		11.47	9.64	13.98	8.94	18.94	9.98	12.21	10.86	16.80

^{ns}, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

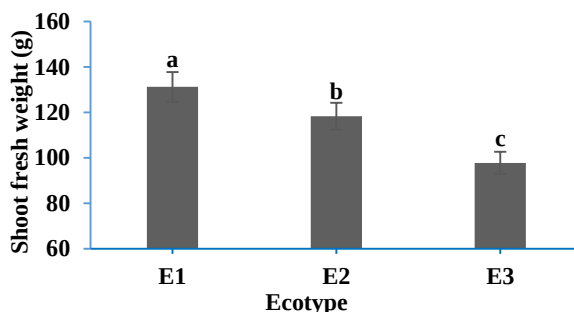
جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری × اکوتیپ بر برخی صفات مورفولوژیکی پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Table 3. Means comparison of salinity stress × ecotype effects on some *Mentha longifolia* morphological traits

Ecotype	Salinity stress (mM)	Plant height (cm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
E1	Control	53.33 ^b	135.23 ^a	103.57 ^a
	75	45 ^{cd}	122.7 ^{ab}	84.03 ^a
	100	35 ^{efg}	87.13 ^{bc}	55.13 ^b
	150	30 ^{gh}	74.48 ^{cd}	45.82 ^{bc}
E2	Control	63.67 ^a	136.71 ^a	90.37 ^a
	75	41 ^{de}	76.76 ^{cd}	48.09 ^{bc}
	100	32 ^{fgh}	71.86 ^{cd}	36.19 ^{bcd}
	150	25 ^{hi}	58.12 ^{cd}	27.46 ^{cd}
E3	Control	51 ^{bc}	133.15 ^a	98.15 ^a
	75	38.33 ^{def}	74.83 ^{cd}	45.17 ^{bc}
	100	28 ^{gh}	69.14 ^{cd}	36.8 ^{bcd}
	150	18.67 ⁱ	45.46 ^d	16.46 ^d

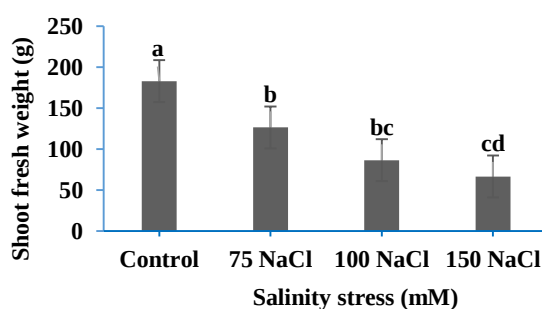
In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

Ecotypes included Southern Khorasan (E1), Lorestan (E2), and Fars (E3).



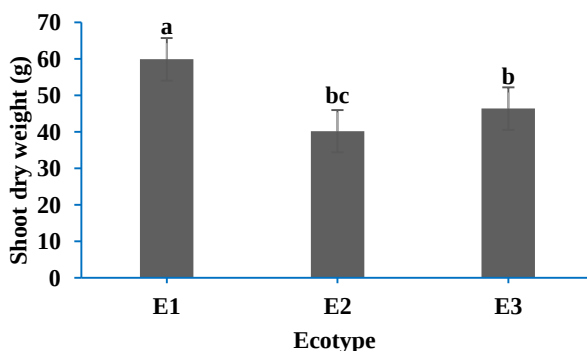
شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر اکوتیپ بر وزن تر شاخساره پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Figure 1. Means comparison of ecotype effects on *Mentha longifolia* shoot fresh weight
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
Ecotypes included Southern Khorasan (E1), Lorestan (E2), and Fars (E3).



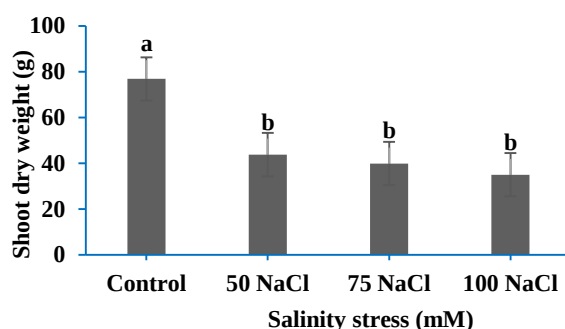
شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر شوری بر وزن تر شاخساره پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Figure2. Means comparison of salinity effects on *Mentha longifolia* shoot fresh weight
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر اکوتیپ بر وزن خشک شاخساره پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Figure 1. Means comparison of ecotype effects on *Mentha longifolia* shoot dry weight
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
Ecotypes included Southern Khorasan (E1), Lorestan (E2), and Fars (E3).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر شوری بر وزن خشک شاخساره پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Figure 2. Means comparison of salinity effects on *Mentha longifolia* shoot dry weight
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری × اکوتیپ بر برخی صفات فیزیولوژیکی پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Table 3. Means comparison of salinity stress × ecotype effects on some *Mentha longifolia* physiological traits

Ecotype	Salinity Stress (mM)	Chlorophyll a ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	Chlorophyll b ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	Total Chlorophyll ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	Carotenoid ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	Electrolyte Leakage (%)	Total Flavonoid content (mg.g^{-1} DW)	Proline Concentration ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW)
E1	Control	9.26 ^{ab}	8.48 ^{ab}	17.75 ^a	750.70 ^{ab}	65.34 ^{fg}	33.91 ^{cd}	2.67 ^{bc}
	75	7.06 ^{bc}	8.05 ^{abc}	15.11 ^{ab}	689.89 ^{abc}	94.90 ^{c-f}	47.55 ^{bc}	4.23 ^{bc}
	100	6.01 ^{bcd}	7.42 ^{a-d}	13.43 ^{ab}	491.55 ^{bcd}	117.58 ^{abc}	63.06 ^{abc}	8.14 ^{ab}
	150	2.89	6.91 ^{a-e}	9.80	386.77 ^{c-f}	145.25 ^a	58.72 ^{abc}	13.84 ^a
E2	Control	10.87 ^a	4.28 ^{b-e}	15.15 ^{ab}	739.65 ^{ab}	68.41 ^{efg}	38.25 ^{cd}	3.58 ^{bc}
	75	5.95 ^{bcd}	3.90 ^{b-e}	9.85 ^{bcd}	478.59 ^{b-e}	78.66 ^{d-g}	48.79 ^{bc}	5.16 ^{bc}
	100	3.18 ^{de}	3.29 ^{cde}	6.47 ^{cde}	278.84 ^{def}	94.09 ^{c-f}	81.98 ^a	6.47 ^{bc}
	150	1.54 ^e	2.24 ^{de}	3.78 ^{de}	176.43 ^{ef}	119.14 ^{abc}	77.64 ^{ab}	8.21 ^{ab}
E3	Control	5.86 ^{bcd}	10.98 ^a	16.84 ^a	875.79 ^a	54.10 ^g	14.06 ^d	1.36 ^c
	75	3.73 ^{cde}	6.64 ^{a-e}	10.36 ^{bc}	416.51 ^{c-f}	98.32 ^{cde}	50.34 ^{abc}	4.73 ^{bc}
	100	1.07 ^e	1.98 ^e	3.05 ^e	231.89 ^{def}	107.65 ^{bcd}	78.26 ^{ab}	6.39 ^{bc}
	150	0.37 ^e	1.97 ^e	2.34 ^e	134.23 ^f	128.53 ^{ab}	47.24 ^{bc}	7.31 ^{bc}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
Ecotypes included Southern Khorasan (E1), Lorestan (E2), and Fars (E3).

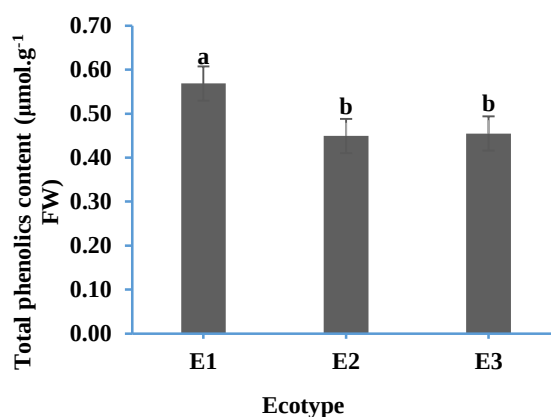
نشت الکترولیت در سطح ($P \leq 0.05$) معنی دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین میزان آن در اکوتیپ E1 و تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱۴۵/۲۴) و کمترین آن در اکوتیپ E3 و تنش شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۵۴/۱۰) به دست آمد (جدول ۴).

بررسی داده‌های حاصل از پژوهش نشان داد که اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری در سطح ($P \leq 0.05$) بر روی محتوی فلاونوئید معنی دار شد که بیشترین آن در اکوتیپ E1 و سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۸۱/۹۷) میلی گرم بر گرم وزن خشک و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱۴/۰۵) میلی گرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در اکوتیپ E1 و سطح شوری صفر میلی مولار و کمترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۲/۳۴) میکروگرم بر میلی لیتر بود (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر میزان کاروتنوئید در سطح ($P \leq 0.05$) معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۸۷۵/۷۹) میکروگرم بر میلی لیتر به دست آمد (جدول ۴).

کمترین میزان کاروتنوئید در اکوتیپ E3 و سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱۳۴/۲۳) میکروگرم بر میلی لیتر بود (جدول ۴).

نتایج نشان داد اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر میزان



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر اکوتیپ بر محتوی فنول کل پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

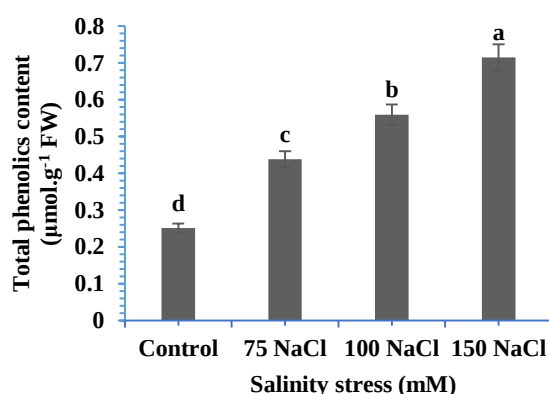
Figure 5. Means comparison of ecotype effects on *Mentha longifolia* total phenolics content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

Ecotypes included Southern Khorasan (E1), Lorestan (E2), and Fars (E3).

میزان (۱۳/۸۴) میکرومول بر گرم وزن تر) (جدول ۴) بود و کمترین آن در اکوتیپ E3 و سطح شوری صفر میلی مولار کلرید سدیم به میزان (۱/۳۵) میکرومول بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۴).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل اکوتیپ $\times$ تنش شوری بر میزان پرولین در سطح ($P \leq 0.05$) معنی دار شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پرولین در اکوتیپ E1 و سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم به



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر شوری بر محتوی فنول کل پونه وحشی (*Mentha longifolia*)

Figure 6. Means comparison of salinity effects on *Mentha longifolia* total phenolics content
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

دارویی رشد کاهش می‌یابد و تولید متابولیت‌های ثانویه ممکن است به‌طور قابل توجهی بر خواص دارویی گیاه تأثیر بگذارد (Miransari *et al.*, 2021). نتایج این تحقیق نشان داد اثر تنش شوری روی خصوصیات مورفولوژیکی مانند ارتفاع گیاه، وزن تر برگ و ریشه و وزن خشک برگ و ریشه معنی‌دار بود که در این مورد گزارش‌های متعددی توسط دیگر محققان در مورد گیاهان خانواده نعنائیان ثبت شده است (Roodbari *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2015; Ghorbani *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2023). با افزایش تنش شوری روی اکوتیپ‌های مختلف، خصوصیات و صفات مورفولوژیکی نسبت به گیاهان شاهد کاهش پیدا کرد. مهمترین دلایل کاهش رشد در گیاهان تحت تنش، برهم خوردن تعادل یونی و کاهش فعالیت فتوسنتزی است. همچنین تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) از طریق اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Ghorbani *et al.*, 2018).

هنگامی که گیاهان در معرض نمک قرار می‌گیرند، گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه در میتوکندری‌ها و کلروپلاست‌ها تولید می‌شوند (Mansoor *et al.*, 2022). گونه‌های فعال اکسیژن بسیار مضر بوده و باعث آسیب سلولی، پراکسیداسیون لیپیدی، اکسیداسیون پروتئین و تخریب اسید نوکلئیک می‌شود (Sachdev *et al.*, 2021; Juan *et al.*, 2021).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده اکوتیپ و اثر ساده تنش شوری و اثر متقابل اکوتیپ × تنش شوری بر میزان کربوهیدرات معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر ساده اکوتیپ روی محتوی فنول کل در سطح ($P \leq 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان فنول کل در اکوتیپ E1 به میزان ۰/۵۶ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین آن در اکوتیپ E2 به میزان ۰/۴۴ میکرومول بر گرم وزن تر) بود (شکل ۴). همچنین اثر ساده تنش شوری بر میزان فنول کل در سطح ($P \leq 0.05$) معنی‌دار بود. بیشترین میزان فنول کل در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۰/۷۱ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن (۰/۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در سطح شوری صفر میلی‌مولار به دست آمد (شکل ۵). اثر متقابل اکوتیپ و تنش شوری معنی‌دار نشد (جدول ۲).

بحث

تنش شوری باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان دارویی می‌شود. شوری عامل اصلی محدودکننده رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان، به‌ویژه گیاهان دارویی است. در شرایط تنش از جمله تنش شوری، فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان تغییر می‌یابد و فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپیدها مختل می‌شود. در گیاهان

نتایج نشان داده است تجمع پرولین در سیتوسل انجام می‌شود که موجب افزایش تنظیم اسمزی در سیتوسل تحت تنش شوری می‌شود (Ashraf et al., 2008). پرولین یک اسمولیت سازگار است که اجزای درون سلولی را در شرایط استرس حفظ می‌کند. همچنین پرولین می‌تواند تولید و فعالیت آنزیم‌های سم‌زدا را القا کند و مسیرهای متابولیسمی پاکسازی سموم را راه‌اندازی کند (Liang et al., 2013). در این تحقیق، تجمع پرولین با افزایش سطح NaCl در اکوتیپ‌های E1 بیشتر از اکوتیپ‌های دیگر ایجاد شد و بیشترین مقدار در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار شناسایی شد. تحمل گیاهان به شوری ممکن است به دلیل افزایش ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی برای از بین بردن ROS باشد. بنابراین در این گیاهان سطح پراکسیداسیون لیپیدی کمتر بوده و باعث تجمع پرولین برای حفظ تعادل اسمزی در شرایط شور می‌شود (Hnilickov et al., 2021).

در این بررسی برگ‌های اکوتیپ گیاهان مختلف پونه وحشی قادر به حفظ ثبات غشاء سلولی تحت سطوح تنش شوری پایین بود. با این حال، نشت الکترولیت (EL) سلولی برگ پونه وحشی با افزایش سطوح بالای شوری به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. سطح نشت الکتریکی با افزایش تنش شوری افزایش یافت (Ors et al., 2020). تجمع یون‌های مضر در محیط درون سلولی و بین بافتی و درون اندام‌های مختلف گیاهان در شرایط تنش شوری، اثر سمیت بر نفوذپذیری غشاء داشته و نشت الکترولیت را افزایش می‌دهند. افزایش غلظت Na^+ در گیاهان، منجر به بالا رفتن سطوح پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب غشاء می‌شود (Zahedi et al., 2022).

گزارش شده است که فنول به عنوان ماده بیوشیمیایی در هنگام افزایش سطوح تنش می‌تواند گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در طی تنش‌های غیر زیستی را از بین ببرد (Khan et al., 2020). افزایش تولید ترکیب‌های فنولی تحت تأثیر تنش شوری، در مطالعات مختلف گزارش شده است که در این مورد نیز توسط سایر محققان بر اثرهای شوری در افزایش فعالیت متابولیسم فنول تأکید شده است (Sarahi Nobar et

2021). همچنین تنش اکسیداسیون می‌تواند غشاء لیپیدها را تخریب کند، این موضوع باعث کاهش صفات مورفولوژیکی می‌شود (Kohli et al., 2019). دلیل این موضوع می‌تواند تأثیر تنش شوری بر کاهش جذب آب و مواد معدنی باشد (Ulfat et al., 2020) که باعث ایجاد اختلال در سیستم فتوسنتز گیاه پونه وحشی شده و سیستم هورمونی و آنزیمی این گیاه نامتعادل شود که این موضوع موجب کاهش رشد اندام هوایی و وزن تر و خشک اندام این گیاه شد.

شوری به‌طور قابل توجهی باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ گیاهان پونه وحشی شد که ممکن است به دلیل اثر مضر تنش شوری در غلظت‌های بالاتر باشد که باعث القای زودرسی برگ‌ها و کاهش رنگدانه‌های کلروفیل شود که در نهایت باعث کاهش محتوای کلروفیل می‌شود. رنگدانه‌های فتوسنتزی در این مطالعه تحت تنش شوری کاهش یافت که می‌تواند به دلیل تجمع یون‌ها در کلروپلاست باشد (Ullah et al., 2020). با افزایش سطح شوری، کلروفیل و کاروتنوئیدها به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است که با نتایج به دست آمده توسط دیگر محققان مطابقت دارد (Sorkhi, 2021). این کاهش ممکن است به دلیل بازدارندگی مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل باشد (Zhao et al., 2019). همچنین کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز باشد. گزارش شده است که با اعمال تنش شوری فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز افزایش یافته است (Trifunović-Momčilov et al., 2021). کاروتنوئیدها به عنوان آنتی اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش مهمی در محافظت از بافت گیاه دارند. گزارش شده است که شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئیدها داشته است و مقدار کاروتنوئیدها تحت تنش شوری کاهش یافته است (Taibi et al., 2016).

پرولین یک اسید آمینه با ساختاری استثنایی است و برای متابولیسم ضروریست (Szabados & Savoury e, 2010). پرولین در غلظت زیاد در بسیاری از گونه‌های گیاهی تنش‌های غیر زنده تجمع می‌یابد، میزان تجمع پرولین در گونه‌های مقاوم به شوری بیشتر از گونه‌های حساس بود.

(Alizadeh et al., 2021) که با نتایج حاصل از این پژوهش مشابهت دارد.

تجمع یونها در بافت گیاهان در شرایط تنش شوری باعث عدم تعادل تغذیه می‌شود و این باعث کاهش ارتفاع گیاه و سطح برگ گیاه و وزن خشک و تر برگ و ریشه می‌شود. اثرهای تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های مختلف پونه وحشی قابل توجه بود. با افزایش سطوح شوری اختلال در خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مشاهده شد که منجر به کاهش رشد گیاه پونه گردید. ممکن است که این مسئله به دلیل تجمع غلظت بالای کلرید سدیم در دیواره سلولی و سیتوپلاسم باشد. همچنین تنش شوری باعث کاهش جذب آب و مواد مغذی گیاه می‌شود که متعاقباً منجر به اثرهای منفی بر سرعت فتوسنتز، کربوهیدرات و مواد تنظیم‌کننده رشد می‌شود. تنش شوری تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد و باعث آسیب به غشاهای سلولی و کلروپلاست می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل و مقایسه رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی سه اکوتیپ مورد بررسی، مشخص گردید که اکوتیپ خراسان جنوبی (E1) دارای مقاومت و تحمل بیشتری نسبت به دیگر اکوتیپ‌ها می‌باشد که باعث برتری این اکوتیپ در کشت‌هایی است که در معرض آب یا خاک‌های شور می‌باشد.

(al., 2010) و محتوای فنولی گیاه با افزایش شوری افزایش یافته است (Forouzi et al., 2020; Valifard et al., 2014). اثرهای شوری بر میزان تجمع فلاونوئیدها مشابه ترکیب‌های فنولی است و این می‌تواند به دلیل تغییر مسیر تولید از کربوهیدرات‌ها به سمت تولید متابولیت‌هایی مانند فنول و فلاونوئید باشد (Rezazadeh et al., 2012). هرچند مقادیر و نسبت‌های تولید شده فنول و فلاونوئید در گیاهان مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Zhou et al., 2018). در این پژوهش با افزایش سطوح شوری افزایش میزان فلاونوئیدها مشاهده شد و این نتایج با گزارش‌های پیشین مطابقت دارد (Arora et al., 2020). افزایش ترکیب‌های فلاونوئیدی نقش مهمی در کاهش اثرهای تنش دارد. تنش شوری باعث تحریک تجمع ترکیب‌های فنولی در گیاهان به عنوان سازوکارهای دفاعی در برابر تنش می‌شود (Santander et al., 2022). بنابراین تنش شوری یکی از محرک‌های قوی برای تولید متابولیت‌های ثانوی محسوب شده که باعث افزایش تجمع فلاونوئیدها می‌گردد (Arora et al., 2020). ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی معمولاً به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های ثانویه و حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد تحت تنش شوری عمل می‌کنند (Kiani et al., 2021). افزایش محتوای فنل و فلاونوئید در گیاه بادرشبوپه تحت تنش شوری ممکن است نشان‌دهنده سازوکار دفاعی برای مقابله با اثرهای مخرب شوری باشد

References

- Alam, M.S., Tester, M., Fiene, G. and Mousa, M.A.A., 2021. Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. *Plants*, 10:712. <https://doi.org/10.3390/plants10040712>
- Alizadeh, S., Fallahi Gharagoz, S., Pourakbar, L., Siavash Moghaddam, S. and Jamalomid, M., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate salinity stress and alter phenolic compounds of Moldavian balm. *Journal homepage Rhizosphere*, 19: 100417. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100417>
- Arora, M., Saxena, P., Abidin, M.Z. and Varma, A., 2020. Interaction between *Piriformospora indica* and *Azotobacter chroococcum* diminishes the effect of salt stress in *Artemisia annua* L. by enhancing enzymatic and non-enzymatic antioxidants. *Symbiosis*, 80:61–73. <https://doi.org/10.1007/s13199-019-00656-w>
- Ashraf, M., Athar, H., Harris, P. and Kwon, T.R., 2008. Some Prospective Strategies for Improving Crop Salt Tolerance. *Advances in Agronomy*, 97: 45-110. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8)
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N. and Zhang, H., 2023. Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, 12(12): 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1): 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Beltrano, J. and Ronco, M.G., 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal

- fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology, 20(1):29-37. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000100004>
- Dere, S., Güneş, T. and Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany, 22(1): 13-18.
 - Ebrahimzadeh, M.A., Hosseini-mehr, S.J., Hamidinia, A. and Jafari, M., 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa salicoides fruit peel and leaves. Pharmacology online, 1: 7-14. <https://www.researchgate.net/publication/286282080>
 - Egea, I., Estrada, Y., Faura, C., Egea-Fernández, J.M., Bolarin, M.C. and Flores, F.B., 2023. Salt-tolerant alternative crops as sources of quality food to mitigate the negative impact of salinity on agricultural production. Frontiers in Plant Science, 14:1092885. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1092885>
 - Fokkema, W., Boer, W.F., Jeugd, H.P., Dokter, A.M., Nolet, B.A., Kok, L.J., Elzenga, J.T. and Olff, H., 2016. The nature of plant adaptations to salinity stress has trophic consequences. Oikos, 125, 804-811. <https://doi.org/10.1111/oik.02757>
 - Forouzi, A., Ghasemzadeh, A. and Ghorbani Nasrabadi, R., 2020. Phytochemical response of Stevia plant to growth promoting microorganisms under salinity stress. South African Journal of Botany, 134:109-118. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.04.001>
 - Gharib, F.A.L., Mohamed Zeid, I., El-Hameed Salem, Abd, Zakaria, O.M. and Ahmed, E., 2014. Effects of *Sargassum latifolium* extract on growth, oil content and enzymatic activities of rosemary plants under salinity stress. Life Science Journal, 11: 933-945.
 - Ghorbani, M., Movahedi, Z., Azizollah Kheiri, A. and Rostami, M., 2018. Effect of salinity stress on some morpho-physiological traits and quantity and quality of essential oils in Peppermint (*Mentha piperita* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(2): 413-420. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.953.1188>
 - Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F., 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. MDPI Plants, 10(5): 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
 - Hosseini, Z., Feizi, H., Vatandoost Jertodeh, S. and Alipanah, M., 2019. Evaluation of ecological and morphological traits and essential oil productivity of *Mentha longifolia* L. in Fars and Khorasan Razavi provinces. Journal of Agroecology, 11(1): 335-347.
 - Irigoyen, J., Einerich, D. and Sánchez - Díaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84(1): 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
 - Jafari, T., Iranbakhsh, A., Kamali, K., Daneshmand F. and Seifati, S.E., 2021. Effect of salinity stress levels on some Growth parameters, Mineral ion concentration, Osmolytes, Non-enzymatic antioxidants and phenylalanine ammonia-lyase activity in three genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 12(45):63-85. <https://doi.org/10.1007/s12228-021-1400-12.45.3.2>
 - Juan, C.A., Pérez de la Lastra, J.M., Plou, F.J. and Pérez-Lebeña, E., 2021. The chemistry of reactive oxygen species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. International Journal of Molecular Sciences, 22(9): 4642. <https://doi.org/10.3390/ijms22094642>
 - Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Baradaran Firouzabadi, M. and Gholami, A., 2017. Effects of *Piriformospora indica* fungi symbiotic on the quantity of essential oil and some physiological parameters of peppermint in saline conditions. Iranian Journal of Plant Biology, 9(32): 1-19. <https://doi.org/10.22108/IJPB.2017.94775>
 - Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Keramati, S. and Hosseini, J., 2019. Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline conditions. Industrial Crops and Products, 127: 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072>
 - Khan, I., Muhammad, A., Chattha, M.U., Skalicky, M., Bilal Chattha, M., Ahsin Ayub, M., Rizwan Anwar, M., Soufan, W., Hassan, M.U., Rahman, M.A., Brestic, M., Zivcak, M. and El Sabagh, A., 2022. Mitigation of salinity-induced oxidative damage, growth, and yield reduction in fine rice by sugarcane press mud application. Frontiers in Plant Science, 13:840900. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.840900>
 - Khan, N., Bano, A., Ali, S. and Babar, M.A., 2020. Crosstalk amongst phytohormones from planta and PGPR under biotic and abiotic stresses. Plant Growth Regulation, 90:189-203. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00571-x>
 - Kiani, R., Arzani, A. and Mirmohammady Maibody, S.A.M., 2021. Polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity involved in salt tolerance in wheat, *Aegilops cylindrica* and their amphidiploids. Frontiers in Plant Science, 12: 646221. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646221>

- Kohli, S.K., Khanna, K., Bhardwaj, R., Abd Allah, E.F., Ahmad, P. and Corpas, F.J., 2019. Assessment of subcellular ROS and NO metabolism in higher plants: multifunctional signaling molecules. *Antioxidants*, 8(12), 641. <https://doi.org/10.3390/antiox8120641>
- Krasensky, J. and Jonak, C., 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 63(4):1593-608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K. and Becker, D.F., 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants & Redox Signaling*, 19(9): 998-1011. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
- Mansoor, S., Wani, O.A., Lone, J.F., Manhas, S., Kour, N., Alam, P. and Ahmad, P., 2022. Reactive oxygen species in plants: from source to sink. *Antioxidants*, 11(2): 225. <https://doi.org/10.3390/antiox11020225>
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P. and Menichini, F., 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food chemistry*, 114(2): 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086>
- Miransari, M., Mahdavi, S. and Smith, D., 2021. The biological approaches of altering the growth and biochemical properties of medicinal plants under salinity stress. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105:7201-7213. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11552-z>
- Moshrefi Araghi, A., Nemati, H., Shoor, M., Azizi, M. and Moshtaghi, N., 2019. Investigation of morphological, biochemical and genetic diversity among Iranian genotypes of *Mentha longifolia*. Ph.D. thesis, Department of Horticulture Science, Ferdowsi University of Mashhad.
- Ors, S., Ekinici, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M. and Dursun, A., 2021. Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137: 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.031>
- Pajohi, M.R., Tajik, H., Akhondzade, A., Gandomi, H., Ehsani, A. and Shokohi Sabet Jalali, F., 2010. Evaluation of chemical composition and antibacterial efficacy of *Cuminum cyminum* L. and *Mentha longifolia* alone and comined with nisin. *Studies in Medical Sciences*, 21(4):324-331. <http://umj.umsu.ac.ir/article-1-785-en.html>
- Patel, M.K., Kumar, M., Li, W., Luo, Y., Burritt, D.J., Alkan, N. and Tran, L.P., 2020. Enhancing salt tolerance of plants: from metabolic reprogramming to exogenous chemical treatments and molecular approaches. *Cells*, 9(11): 2492. <https://doi.org/10.3390/cells9112492>
- Rezaloo, Z., Shahbazi, S., Aliloo, A.A. and Sarajuoghi, M., 2023. Impact of mutants of *Trichoderma* species in modulating salinity stress of Beans (*Phaseolus vulgaris* L. CV. Khomein). *Journal of Nuclear Research and Applications*, 3: 47-58. <https://doi.org/10.24200/jon.2023.1075>
- Rezazadeh, A., Ghasemnezhad, A., Barani, M. and 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. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2012.245.252>
- Roodbari, N., Roodbari, S., Ganjali, A., Sabeghi nejad, F. and Ansarifar, M., 2013. The effect of salinity stress on growth parameters and essential oil percentage of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 1009-1015.
- Saber Amoli, S., Noroozi, S., Shekarchian, A., Akbarzadeh, M. and Kodoori, M., 2008. Investigation of ecological factors of essential oil of Labiatae species in Kerman province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23(4): 532-543.
- Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M. and Hasanuzzaman, M., 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2): 277. <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>
- Santander, C., Vidal, G., Ruiz, A., Vidal, C. and Cornejo, P., 2022. Salinity eustress increases the biosynthesis and accumulation of phenolic compounds that improve the functional and antioxidant quality of red lettuce. *Agronomy*, 12(3): 598. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030598>
- Sarahi Nobar, M., Niknam, M. and Moradi, B., 2010. Effect of salinity stress on protein content, colorants, sugars and phenolic compounds in tissue culture of several species of Iranian fenugreek. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 36 (2): 53-59.
- Singh, R., Ahmed, S., Luxmi, S., Rai, G., Gupta, A.P., Bhanwaria, R. and Gandhi, S.G., 2023. An assessment of the physicochemical characteristics and essential oil composition of *Mentha longifolia* (L.) Huds. exposed to different salt stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 14:1165687. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1165687>
- Sorkhi, F., 2021. Effect of vermicompost fertilizer on antioxidant enzymes and chlorophyll contents of *Borago officinalis* under salinity stress. *Iranian*

- Journal of Plant Physiology, 11(2): 3589-3598. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2021.681087>
- Szabados, L. and Savouré, A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science, 15(2),89-97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
 - Taibi, K., Taibi, F., Abderrahim, L.A., Ennajah, A., Belkhdja, M. and Mulet, J.M., 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. South African Journal of Botany, 105:306-312. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>
 - Trifunović-Momčilov, M., Milošević, S., Marković, M., Đurić, M., Jevremović, S., Dragičević, I.Č. and Subotić, A.R., 2021. Changes in photosynthetic pigments content in non-transformed and AtCKX transgenic centaury (*Centaurea erythraea* Rafn) shoots grown under salt stress in vitro. Agronomy, 11(10):2056. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102056>
 - Ulfat, M., Athar, H.-u.-R., Khan, Z.-d. and Kalaji, H. M., 2020. RNAseq Analysis reveals altered expression of key ion transporters causing differential uptake of selective ions in Canola (*Brassica napus* L.) grown under NaCl stress. Plants, 9(7), 891. <https://doi.org/10.3390/plants9070891>
 - Ullah, N., Basit, A., Ahmad, I., Ullah, I., Shah, S., Mohamed, H. and Javed, S., 2020. Mitigation the adverse effects of salinity stress on the performance of the tomato crop by exogenous application of chitosan. Bulletin of the National Research Centre, 44, 181. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00435-4>
 - Valifard, M., Mohsen zadeha, S., Kholdebarina, B. and Rowshan, V., 2014. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. South African Journal of Botany, 93:92-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.002>
 - Vining, K., Zhang, Q., Tucker, A., Smith, C. and Davis, T., 2005. *Mentha longifolia* (L.) L.: A model species for mint genetic research. HortScience, 40(5): 1225-1229. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.5.1225>
 - Yu, X., Liang, C., Chen, J., Qi, X., Liu, Y. and Li, W., 2015. The effects of salinity stress on morphological characteristics, mineral nutrient accumulation and essential oil yield and composition in *Mentha canadensis* L. Scientia Horticulturae, 197: 579-583. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.023>
 - Zahedi, S., Abolhassani, M., Hadian Deljou, M., Feyzi, H., Akbari, A., Rasouli, F., Zeki Koçak, M., Kulak, M. and Gohari, G., 2022. Proline-functionalized graphene oxide nanoparticles (GO-Pro NPs): A new engineered nanoparticle to ameliorate salinity stress on grapes (*Vitis vinifera* L. cv Sultana). Plant Stress, 7:100128. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100128>
 - Zhao, H., Liang, H., Chu, Y., Sun, C., Wei, N., Yang, M. and Zheng, C., 2019. Effects of salt stress on chlorophyll fluorescence and the antioxidant system in *Ginkgo biloba* L. seedlings. HortScience, 54(12), 2125-2133. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14432-19>
 - Zhou, Y., Tang, N., Huang, L., Zhao, Y., Tang, X. and Wang, K., 2018. Effects of salt stress on plant growth, Antioxidant capacity, glandular trichome density, and volatile exudates of *Schizonepeta tenuifolia* Briq. International Journal of Molecular Sciences, 19(1): 252. <https://doi.org/10.3390/ijms19010252>
 - Zouari-Bouassida, K., Trigui, M., Makni, S., Jaiel, L. and Tounsi, S., 2018. Seasonal variation in essential oils composition and the biological and pharmaceutical protective effects of *Mentha longifolia* leaves grown in Tunisia. BioMed Research International, 9:7856517. <https://doi.org/10.1155/2018/7856517>