



Evaluation of the sensitivity of date plum seedlings (*Diospyros lotus* L.) to sodium chloride salinity stress

Orang Khademi^{1*} | Hassan Taheri² | Mostafa Ghasemi³
| Mahsa Azmoude⁴ | Ayatollah Rezaei^{5*}

1. Faculty member of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
2. Former MS student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
3. Former MS student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
4. Former MS student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
5. Faculty member of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author Email: o.khademi@shahed.ac.ir

* Corresponding Author Email: arezaei@shahed.ac.ir

Article Info

EXTENDED ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 24/10/2024

Accepted: 28/12/2024

Keywords:

Germination,
Lotus seedlings,
Sodium chloride salinity,
Chlorophyll fluorescence,
Environmental stress sensitivity

Introduction: Salinity stress, mainly from sodium chloride (NaCl), limits plant growth, development, and distribution in arid and semi-arid regions by causing osmotic and ionic toxicity, disrupting processes like germination, seedling establishment, and photosynthesis. *Diospyros lotus* L., known as lotus persimmon or date-plum, is a key rootstock for commercial persimmon cultivars (*D. kaki*) due to its soil adaptability, branched roots, and natural presence in northern Iranian forests. Yet, its early-stage sensitivity to salinity challenges cultivation in saline areas. Prior studies identify ion accumulation, osmotic imbalance, and reduced photosynthetic efficiency as damage mechanisms. Salinity accumulates Na⁺ and Cl⁻ ions, restricting growth, affecting fruit quality, and disrupting carbon fixation and Na⁺/K⁺ ratios, leading to lower growth rates. Deep seed dormancy in *D. lotus* worsens under salinity, impeding germination. Transcriptomic studies reveal tolerance via ion transport regulation (e.g., chloride), H⁺/ATPase gene overexpression for proton gradients, and root architecture changes through thermospermine synthesis. This study evaluated *D. lotus* seed resistance and vigor under varying NaCl levels, focusing on germination, growth, physiological indices (chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage), and establishment, to inform breeding for salt-tolerant rootstocks and saline soil management.

Cite this article: Khademi, Orang; Taheri, Hassan; Ghasemi, Mostafa; Azmoude, Mahsa & Rezaei, Ayatollah (2024-25). Evaluation of germination and sensitivity of lotus seedlings (*Diospyros lotus* L.) to sodium chloride salinity stress. *Journal of Phytoalexines*, 1(2).





Materials and Methods: Conducted in 2023 at Shahed University's Horticulture Laboratory, Tehran, Iran, the experiment used mature *D. lotus* seeds from Taleghan, sterilized with 1% sodium hypochlorite for 10 minutes, and rinsed. Treatments: 0 mM (control), 25 mM, 50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl. Seeds (20/replicate) in 15-cm Petri dishes with Whatman No. 1 filter paper, moistened with 10 mL solution, incubated at $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ RH, 16/8-hour light/dark for 21 days. Solutions refreshed bi-daily. Completely randomized design, three replicates.

Parameters: Germination percentage (14 days, radicle emergence); growth traits (leaf, stem, root lengths on 10 seedlings via digital caliper); seedling fresh/dry weights (dried 70°C , 48 hours); electrolyte leakage (conductivity pre/post 95°C heat, $(C1/C2) \times 100$); chlorophyll content (SPAD-502 on three leaves); chlorophyll fluorescence (F_0 , F_m , F_v/F_m via PAM-2500 after 20-min dark adaptation).

Data normalized, ANOVA via SAS 9.3; means compared by Duncan's test ($P \leq 0.05$); graphs in Excel 2021.

Results and Discussion: Germination percentage remained unaffected at 25 mM NaCl (100% similar to control) but declined significantly at 50 mM and above, reaching 51% at 200 mM, indicating osmotic and ionic inhibition. This sharp drop at higher concentrations suggests that combined effects of sodium and chloride ion toxicity, along with reduced water potential, exceed the physiological tolerance threshold, impairing water uptake and embryonic growth initiation. Growth parameters exhibited a sharp decline with increasing salinity: Leaf length decreased from ~ 26 mm (control) to near zero at 200 mM, with a critical threshold between 50-100 mM. Stem length reduced from ~ 100 mm (control) to < 5 mm at 200 mM, with sensitivity evident from 25-50 mM. Root length, the most sensitive trait, dropped over 55% at 50 mM and was severely inhibited at higher levels, highlighting roots as the primary target of ionic toxicity and osmotic stress.

Chlorophyll content decreased progressively, from 30 SPAD units (control) to near zero at 200 mM, with significant reductions ($> 26\%$) starting at 50 mM, reflecting damage to chloroplasts and pigment biosynthesis. This decline is attributed to chloroplast structure degradation, inhibition of biosynthetic pathways, and increased reactive oxygen species (ROS) leading to pigment oxidation. Chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) declined from 0.82 (control) to 0.05 at 200 mM, with a notable drop at 50 mM (0.55), indicating impaired PSII efficiency; an unexpected increase to 0.73 at 100 mM suggested transient defensive mechanisms like osmolyte accumulation, carotenoid synthesis, or improved osmotic regulation. Electrolyte leakage remained stable ($\sim 0.1\%$) across treatments, suggesting membrane integrity was preserved despite other damages, possibly due to effective ion sequestration into vacuoles or apoplast.

Seedling fresh weight and establishment percentage (seedlings with leaves) were stable up to 50 mM but plummeted at 100 mM (25% reduction in weight; 35% establishment) and reached zero at 200 mM, underscoring complete physiological collapse under severe salinity. This indicates that while low to moderate salinity allows for water retention and basic cellular maintenance, higher levels disrupt metabolism, leading to halted biomass accumulation and failed aerial organ development.



The results demonstrate high sensitivity of *D. lotus* seedlings to NaCl salinity, particularly beyond 50 mM, where osmotic stress and ion toxicity (Na⁺ and Cl⁻) disrupt germination, growth, and photosynthetic processes. Roots showed the greatest vulnerability, likely due to direct exposure, while leaves exhibited relative resilience up to moderate salinity, possibly through osmoregulation, osmolyte accumulation (e.g., proline and soluble sugars), and selective ion exclusion. The stability of electrolyte leakage implies that damages are primarily metabolic rather than structural, possibly mitigated by ion compartmentalization mechanisms (e.g., NHX and SOS1 transporters). These findings align with prior research on persimmons and other species, emphasizing salinity's role in reducing amylase activity, ROS accumulation, and hormonal imbalances, such as auxin and cytokinin disruptions that affect cell division and elongation.

Comparative analysis reveals that *D. lotus* response mirrors that in sensitive crops like tomato and pomegranate, where roots suffer earliest due to direct contact, leading to overall growth inhibition. The transient Fv/Fm recovery at 100 mM hints at adaptive responses, but ultimate collapse at 200 mM confirms limited tolerance. Overall, *D. lotus* exhibits limited initial resistance to salinity, highlighting its vulnerability in early growth stages. This study provides foundational data for genetic improvement, such as breeding salt-tolerant rootstocks through marker-assisted selection or CRISPR editing of ion transport genes, and management practices like gradual salinity exposure or exogenous amendments (e.g., putrescine or chitosan) to alleviate stress. Future research should explore transcriptomic responses, proteome changes, and long-term field trials under combined stresses to further enhance salinity tolerance in this economically important rootstock, ensuring sustainable cultivation in salinized agricultural lands.

ارزیابی جوانه زنی و درجه حساسیت دانه‌های خرمندی (*Diospyros lotus* L.) به تنش شوری کلرید سدیمی

اورنگ خادمی^{*۱} | حسن طاهری^۲ | مصطفی قاسمی^۳ | مهسا آزموده^۴ | آیت اله رضایی^{۵*}

۱. عضو هیات علمی گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران.
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران.
۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران.
۴. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران.
۵. عضو هیات علمی گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران.

* ایمیل نویسنده مسئول: o.khademi@shahed.ac.ir

* ایمیل نویسنده مسئول: arezaei@shahed.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

شوری، به عنوان یک عامل محدودکننده رشد و نمو و پراکنش گیاهان، نقش کلیدی در تعیین سطح مقاومت یا حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سطح حساسیت و مقاومت اولیه گونه خرمندی (*Diospyros lotus* L.) به تنش شوری ناشی از کلرید سدیم صورت گرفت. تیمارهای شوری شامل صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار NaCl بودند. نتایج نشان داد که در غلظت پایین شوری (۲۵ میلی مولار)، درصد جوانه‌زنی تغییر معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد نداشت. ولی با افزایش غلظت شوری به ۵۰ میلی مولار و بالاتر، کاهش قابل توجهی در درصد جوانه‌زنی و درصد گیاهچه‌های دارای برگ مشاهده شد. در مقابل، تعداد گیاهچه‌های بدون برگ به طور معنی‌داری در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار افزایش پیدا نمود. شاخصهای رشدی نظیر طول برگ، طول ساقه و طول ریشه نیز تحت تأثیر تنش ناشی از سطوح مختلف شوری قرار گرفتند و با افزایش غلظت نمک، روند نزولی شدیدی نشان دادند. بیشترین کاهش در پارامترهای مذکور در تیمار شوری ۲۰۰ میلی مولار مشاهده گردید. مقدار کلروفیل و فلورسانس کلروفیل در تیمارهای دارای شوری بالا کاهش چشمگیری نشان داد، که بیانگر آسیب شدید به سیستم فتوسنتزی بود. با این حال، نشأت الکترولیت در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد. به طور کلی، نتایج بیانگر حساسیت شدید دانه‌های خرمندی به تنش شوری در مراحل اولیه رشد است که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری این گونه در برابر استرس‌های اسمزی و سمیت یونی است. این نتایج می‌تواند مبنایی برای ارزیابی حساسیت و مدیریت کشت گونه خرمندی در شرایط شوری فراهم کرده و با توجه به کاربرد آن به‌عنوان پایه برای خرمالوی تجاری (*D. kaki* L.)، راهنمایی موثری برای انتخاب پایه‌های مقاوم به شوری ارائه کند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸

واژه‌های کلیدی:

جوانه‌زنی،
دانه‌های خرمندی،
شوری کلرید سدیم،
کلروفیل فلورسانس،
حساسیت به تنش محیطی

استناد: خادمی، اورنگ؛ طاهری، حسن؛ قاسمی، مصطفی؛ آزموده، مهسا؛ رضایی، آیت‌اله (۱۴۰۳). ارزیابی جوانه زنی و درجه حساسیت دانه‌های

خرمندی (*Diospyros lotus* L.) به تنش شوری کلرید سدیمی. *دوفصلنامه گیاه‌پاد*، ۱ (۲)، ۶۴-۵۱.



حق مؤلف © نویسندگان

ناشر: دانشگاه شاهد

مقدمه

خرمندی (*Diospyros lotus* L.) متعلق به خانواده آبنوس می‌باشد که به عنوان پایه برای خرمالوی خوراکی مطرح است (Yonemori et al., 2000). در چین و ژاپن از خرمندی به عنوان پایه برای خرمالوی خوراکی استفاده می‌شود. در ایران نیز استفاده از این پایه عمومیت بیشتری دارد، زیرا دارای ریشه‌های منشعب بوده و جابجایی و استقرار درختان بهتر انجام می‌گیرد و علاوه بر آن به طور طبیعی در جنگل‌های شمال ایران گسترش دارد و تهیه بذر آن آسان می‌باشد (خدیوی، ۱۳۹۰). خرمندی، گونه‌ای از جنس خرمالو، به‌عنوان پایه‌ای مهم برای خرمالوهای تجاری در مناطق مدیترانه‌ای شناخته می‌شود و به دلیل سازگاری نسبی با شرایط محیطی مورد توجه قرار گرفته است.

تخمین‌های جهانی حاکی از آن است که سهم قابل توجهی از اراضی کشاورزی یا به‌طور ذاتی شور هستند یا در اثر مدیریت نامناسب منابع آب و آبیاری با آب‌های شور، دچار شورشدگی ثانویه شده‌اند. این بحران نه تنها سطح زیر کشت را کاهش می‌دهد، بلکه کیفیت و کمیت محصولات را نیز به شدت متأثر می‌سازد (Munns & Tester, 2008). در مقادیر کم، نمک‌های محلول برای رشد و توسعه طبیعی گیاه ضروری هستند، اما در سطوح بالا مضر بوده و اغلب باعث مرگ گیاهان می‌شوند (González Nebauer et al., 2013). کلرید سدیم شایع‌ترین نمک موجود در خاک‌ها و آب‌های شور است (González Nebauer et al., 2013; Riaz et al., 2019). شوری از طریق اثرات اسمزی و سمیت یونی، فرایندهای فیزیولوژیکی نظیر جوانه‌زنی، رشد، و فتوسنتز را مختل می‌کند و تولید گونه‌های حساس را به‌شدت کاهش می‌دهد (Munns & Tester, 2008). قرار گرفتن گیاهان تحت تنش شوری اثرات منفی بر رشد و توسعه آن‌ها دارد و حتی ممکن است به مرگ گیاهان منجر شود. اولین علامت قابل مشاهده از تنش شوری در گیاهان معمولاً رشد کند است (Zahra et al., 2020). تنش شوری، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از موانع اصلی برای تولید پایدار این گونه محسوب می‌شود (Gil-Muñoz et al., 2020). در خرمندی، تجمع یون‌هایی مانند Na^+ و Cl^- نه تنها رشد را محدود می‌کند، بلکه کیفیت میوه و عمر پس از برداشت را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، مطالعات نشان داده‌اند که شوری می‌تواند با افزایش نسبت Na^+/K^+ و کاهش نرخ تثبیت کربن، به‌طور قابل توجهی رشد نسبی گیاه را کاهش دهد (Gil-Muñoz et al., 2020).

گونه خرمندی با قدمت دیرینه در باغبانی به عنوان پایه اصلی برای ارقام تجاری و خوراکی خرمالو مانند (*D. kaki*) کاربرد فراوان دارد و به دلیل سازگاری با شرایط نامساعد خاک، اهمیت ژنتیکی و اقتصادی بالایی دارد. با وجود قابلیت سازگاری نسبی، مناطق بومی این گونه عمدتاً شامل اقلیم‌های مستعد شوری هستند. از آنجا که انتخاب پایه‌های با تحمل شوری کافی برای اطمینان از استقرار موفق باغات پیوندی ضروری است، ارزیابی سطح تحمل دقیق دانه‌های آن در مراحل اولیه رشد، یک نیاز پژوهشی اساسی است. یکی از چالش‌های اصلی خرمندی در مراحل اولیه رشد، خواب عمیق بذر است که تحت تنش شوری تشدید می‌شود و جوانه‌زنی را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در شرایط شوری بالا، درصد جوانه‌زنی خرمندی به‌شدت کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند به دلیل اثرات سمیت یونی و اختلال در تعادل اسمزی باشد (Wei et al., 2016). از سوی دیگر، تحلیل‌های ترانسکریپتومیکیس مکانیسم‌های تحمل به شوری در خرمندی را شناسایی کرده‌اند که شامل تنظیم انتقال یون‌ها، به‌ویژه کلراید، و بیش‌بیلان ژن‌های $H^+/ATPase$ برای حفظ گرادیان پروتون است، همچنین، تغییر در معماری ریشه از طریق سنتز ترموسپرین می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر شوری عمل کند (Gil-Muñoz et al., 2020). مطالعه حاضر با هدف تعیین سطح مقاومت اولیه و میزان آسیب‌پذیری دانه‌های خرمندی به غلظت‌های مختلف تنش شوری کلرید سدیم طراحی و اجرا شد. علاوه بر شاخص‌های رشد و بنیه بذر، به‌طور ویژه به ارزیابی پارامترهای کلیدی فیزیولوژیک مانند فلورسانس و نشت الکترولیت پرداخته شد تا درک جامعی از واکنش این گونه به تنش شیمیایی محیط به دست آید. نتایج این تحقیق نه تنها دانش ما را در مورد تحمل به تنش در جنس *Diospyros* گسترش می‌دهد، بلکه راهکارهای عملی و اطلاعات پایه‌ای برای برنامه‌های به‌نژادی جهت تولید پایه‌های مقاوم به شوری و مدیریت بهینه کشت در اراضی شور را فراهم می‌آورد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری بر جوانه‌زنی، رشد اولیه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی بذر خرمندی در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، انجام شد.

آماده‌سازی بذرها

بذرهای رسیده از میوه‌های سالم خرمالوی خرمندی از منطقه طالقان جمع‌آوری شدند. پس از جداسازی و شست‌وشو با آب مقطر، بذرها در دمای محیط خشک شدند. برای ضدعفونی سطحی، بذرها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد قرار داده شدند و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شسته شدند تا آثار مواد ضدعفونی‌کننده حذف گردد.

اعمال تنش شوری

برای اعمال تنش شوری، از محلول کلرید سدیم در پنج سطح ۰ (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار استفاده شد. بذرهای ضدعفونی‌شده در پتری‌دیش‌های ۱۵ سانتی‌متری حاوی دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار داده شدند و با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های شوری مربوطه مرطوب گردیدند. پتری‌دیش‌ها با پارافیلیم پوشانده شدند تا از تبخیر جلوگیری شود. نمونه‌ها به مدت ۲۱ روز در ژرمیناتور با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 70 درصد و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. محلول‌های شوری هر دو روز یک‌بار تازه‌سازی شدند تا غلظت نمک ثابت بماند.

صفات اندازه‌گیری‌شده

درصد جوانه‌زنی

تعداد بذرهای جوانه‌زده هر پتری‌دیش در فواصل منظم شمارش شد و درصد جوانه‌زنی پس از ۱۴ روز بر اساس نسبت بذرهای جوانه‌زده به کل بذرها محاسبه گردید.

طول برگ، ریشه‌چه و ساقه‌چه

در پایان دوره جوانه‌زنی (۲۱ روز پس از کاشت)، از هر تکرار ۱۰ گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب شد تا اندازه‌گیری‌های مورفولوژیکی انجام شود. طول برگ، ریشه‌چه و ساقه‌چه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۱/۰ میلی‌متر ثبت شد. برای هر گیاهچه، طول ریشه‌چه از نوک ریشه تا محل اتصال به ساقه‌چه، طول ساقه‌چه از محل اتصال ریشه تا نوک آن و طول برگ‌ها از قاعده پهنک تا نوک برگ اندازه‌گیری شد.

وزن تر و خشک گیاهچه

وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه بلافاصله پس از برداشت اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید.

نشبت الکترولیت

برای بررسی پایداری غشای سلولی، ۰/۵ گرم از بافت گیاهچه در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد و هدایت الکتریکی اولیه (C_1) پس از ۲۴ ساعت در دمای اتاق با هدایت‌سنج اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده و پس از سرد شدن، هدایت نهایی (C_2) ثبت شد. درصد نشبت الکترولیت با استفاده از رابطه‌ی $100 \times (C_1/C_2)$ محاسبه گردید.

اندازه‌گیری کلروفیل

مقدار نسبی کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر قابل حمل SPAD-502 (Konica Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در ساعات ثابت روز (بین ۱۰ تا ۱۲ صبح) و بر روی بخش میانی برگ‌های کاملاً باز انجام گرفت تا اثر تغییرات نوری و موقعیت برگ کاهش یابد. از هر تکرار سه برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین عدد SPAD آن‌ها به‌عنوان شاخص محتوای کلروفیل در نظر گرفته شد.

فلورسانس کلروفیل

فلورسانس کلروفیل به‌عنوان شاخصی از کارایی فتوسیستم II با استفاده از دستگاه فلورومتر قابل حمل (PAM-2500, Heinz Walz, Germany) اندازه‌گیری شد. برگ‌های نمونه‌ها پیش از اندازه‌گیری به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شدند. سپس پارامترهای فلورسانس شامل فلورسانس حداقل (F_0)، فلورسانس بیشینه (F_m) و نسبت بازده کوانتومی فتوسیستم II ($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$) تعیین گردیدند.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح شوری و سه تکرار انجام شد. هر تکرار شامل ۲۰ بذر بود. داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ مورد تجزیه قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Excel 2021 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

جوانه‌زنی

نتایج حاصل از ارزیابی درصد جوانه‌زنی بذر خرمندی تحت تنش شوری ناشی از NaCl نشان داد که این بذرها از توان بالایی در تحمل شوری تا غلظت‌های متوسط برخوردارند. در تیمارهای شاهد (0 mM) و غلظت پایین (25 mM) درصد جوانه‌زنی به‌طور کامل (۱۰۰٪) حفظ شد و حتی در غلظت ۱۰۰ mM تنها اندکی کاهش یافت و به حدود ۸۹٪ رسید، به‌گونه‌ای که از نظر آماری با تیمارهای قبلی در یک گروه قرار گرفت. این پایداری در جوانه‌زنی بیانگر توانایی بذر در مقابله با تنش‌های اسمزی و یونی خفیف از طریق حفظ تعادل آب و تنظیم اسمزی است. با این حال، افزایش غلظت NaCl به ۲۰۰ mM موجب کاهش قابل‌توجهی در جوانه‌زنی شد؛ به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی به حدود ۵۱٪ رسید و از نظر آماری در گروهی جدا قرار گرفت (شکل ۱). این افت شدید، که تقریباً معادل نصف شدن درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد است، نشان می‌دهد که در این سطح از شوری، اثرات ترکیبی سمیت یون‌های سدیم و کلراید به همراه کاهش شدید پتانسیل آب محیط، فراتر از حد تحمل فیزیولوژیکی بذر عمل کرده و فرآیندهای مرتبط با جذب آب و آغاز رشد جنین را به‌شدت مختل کرده است. مطالعات پیشین، مانند پژوهش رضایی آدریانی و همکاران (۱۳۹۵)، این نتایج را تایید می‌کنند؛ آن‌ها گزارش کردند که گیاه خرمندی در مراحل اولیه‌ی رشد، به‌شدت به تنش شوری حساس است. حکم علیپور و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که افزایش غلظت‌های نمک در گیاهان رازیانه و زیره سبز به‌طور معنی‌داری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر گردید. همچنین اثرات اسمزی و سمیت یون‌های Na^+ و Cl^- سبب اختلال در متابولیسم بذر و کاهش فعالیت آنزیم آلفا‌آمیلاز می‌شوند (Liu et al., 2018)؛ امری که با کاهش بهره‌برداری از ذخایر غذایی، جوانه‌زنی و استقرار گیاه خرمندی را در شرایط شوری محدود می‌کند.

رشد طولی اندام‌های گیاهچه

نتایج حاصل از اندازه‌گیری طول برگ در پاسخ به غلظت‌های مختلف کلرید سدیم نشان داد که این اندام تا سطوح شوری متوسط مقاومت نسبی دارد. در محدوده‌ی ۰ تا ۵۰ میلی‌مولار NaCl، طول برگ در سطح نسبتاً بالایی حفظ شد (بین ۲۰ تا ۲۶/۵ میلی‌متر و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. با این حال، افزایش غلظت به ۱۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌دار طول برگ به حدود ۱۰/۵ میلی‌متر گردید، که معادل افتی در حدود ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. در بالاترین سطح شوری، یعنی ۲۰۰ میلی‌مولار، رشد طولی برگ تقریباً به‌طور کامل متوقف شد (نزدیک به صفر). بنابراین، آستانه بحرانی برای محدودیت رشد برگ در بازه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار شوری قرار دارد، که نشانگر پایداری نسبی برگ‌ها در برابر تنش شوری خفیف تا متوسط است (شکل ۲).

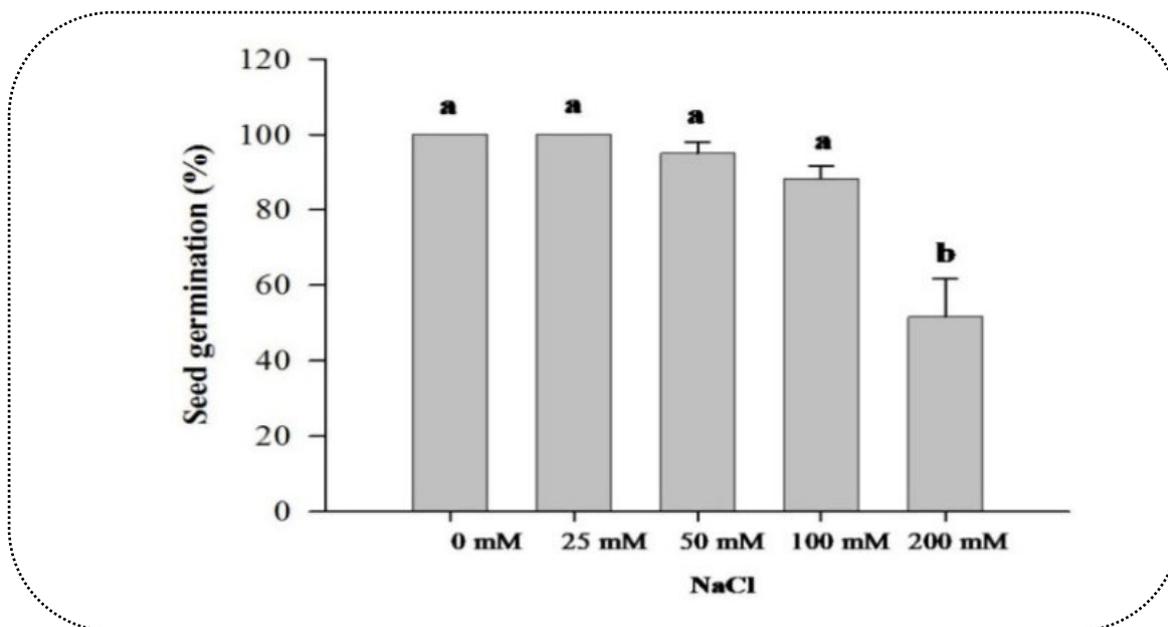
نتایج نشان داد که افزایش غلظت NaCl موجب کاهش تدریجی و معنی‌دار رشد طولی ساقه گردید. در تیمارهای ۰ و ۲۵ میلی‌مولار، میانگین طول ساقه‌ها تقریباً برابر و به‌ترتیب حدود ۱۰۰ و ۹۵ میلی‌متر بود. افزایش غلظت به ۵۰ میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌داری در رشد ساقه شد که بیانگر عبور از آستانه تحمل فیزیولوژیکی گیاه است. در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار، طول ساقه به حدود ۴۶ میلی‌متر (معادل افتی بیش از ۵۰ درصد نسبت به شاهد) کاهش یافت. در بالاترین غلظت یعنی ۲۰۰ میلی‌مولار رشد ساقه تقریباً متوقف گردید (کمتر از ۵ میلی‌متر). در نتیجه، آستانه بحرانی مهار رشد ساقه در بازه‌ی ۲۵ تا ۵۰ میلی‌مولار NaCl تعیین می‌شود (شکل ۲).

ریشه به‌عنوان حساس‌ترین اندام گیاهچه نسبت به تنش شوری شناسایی شد. در تیمارهای ۰ و ۲۵ میلی‌مولار، طول ریشه در بیشترین مقدار خود قرار داشت. با افزایش غلظت به ۵۰ میلی‌مولار، کاهش شدیدی در رشد ریشه مشاهده گردید که معادل افتی بیش از ۵۵ درصد نسبت به شاهد بود. در غلظت‌های بالاتر، یعنی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، رشد ریشه به‌شدت مهار شد (شکل ۲). این نتایج نشان داد که ریشه نخستین اندام هدف اثرات سمیت یونی و تنش اسمزی است و عملکرد آن می‌تواند شاخصی حساس برای ارزیابی تحمل گیاه در برابر شوری باشد.

مقایسه‌ی سه اندام گیاه (ریشه، ساقه و برگ) نشان داد که حساسیت آن‌ها به تنش شوری متفاوت است؛ به‌طوری‌که ریشه بیشترین حساسیت و برگ بالاترین مقاومت را نشان داد. در غلظت ۵۰ میلی‌مولار NaCl، رشد ریشه بیش از ۵۵٪ و رشد ساقه حدود ۲۵٪ کاهش یافت، در حالی‌که برگ‌ها تا همین سطح شوری افت معنی‌داری نداشتند. این امر بیانگر نقش سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، تجمع اسمولیت‌ها (پرولین و قندهای محلول) و دفع انتخابی یون‌های Na^+ و Cl^- در حفظ رشد اندام‌های هوایی است. در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl، رشد تمامی اندام‌ها تقریباً متوقف شد که نشان‌دهنده‌ی تنش اسمزی شدید، سمیت یونی و ناتوانی گیاه در تنظیم یونی است. به‌طور کلی، آستانه‌ی بحرانی مهار رشد برای ریشه و ساقه حدود ۲۵ تا ۵۰ میلی‌مولار و برای برگ ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار برآورد شد.

کاهش رشد طولی در گیاهچه‌ی خرمالوی خرمالوی احتمالاً ناشی از اختلال در تقسیم و طویل شدن سلول‌ها، کاهش جذب آب و تجمع یون‌های سمی است؛ یافته‌ای که با نتایج پژوهش‌های رضایی آدریانی و همکاران (۱۳۹۵)، Gil-Muñoz و همکاران (2020) و Munns & Tester (2008) هم‌خوانی دارد. آنان نیز گزارش کردند که شوری ابتدا تنش اسمزی و سپس سمیت یونی ایجاد کرده و رشد را مهار می‌کند.

مطالعات El-Mahdy et al. (2022) بر انار و Gong et al. (2023) بر گوجه‌فرنگی نیز نشان دادند که ریشه به دلیل تماس مستقیم با محیط شور، زودتر از سایر اندام‌ها دچار آسیب می‌شود. همچنین کاهش رشد برگ‌ها علاوه بر اثرات اسمزی، به کاهش سنتز پروتئین و اختلال در تنظیم هورمون‌هایی چون اکسین و سیتوکینین نیز مرتبط است (Bielach et al., 2017). در مجموع، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که شوری رشد رویشی خرمالوی خرمالوی را به‌شدت محدود کرده و حساسیت بالاتر ریشه می‌تواند به‌عنوان شاخص مناسبی برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به شوری به‌کار رود.



شکل ۱. اثرات شوری کلرید سدیم بر جوانه زنی. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌دار نسبت به هم بر اساس آزمون دانکن (۵٪) ندارند.

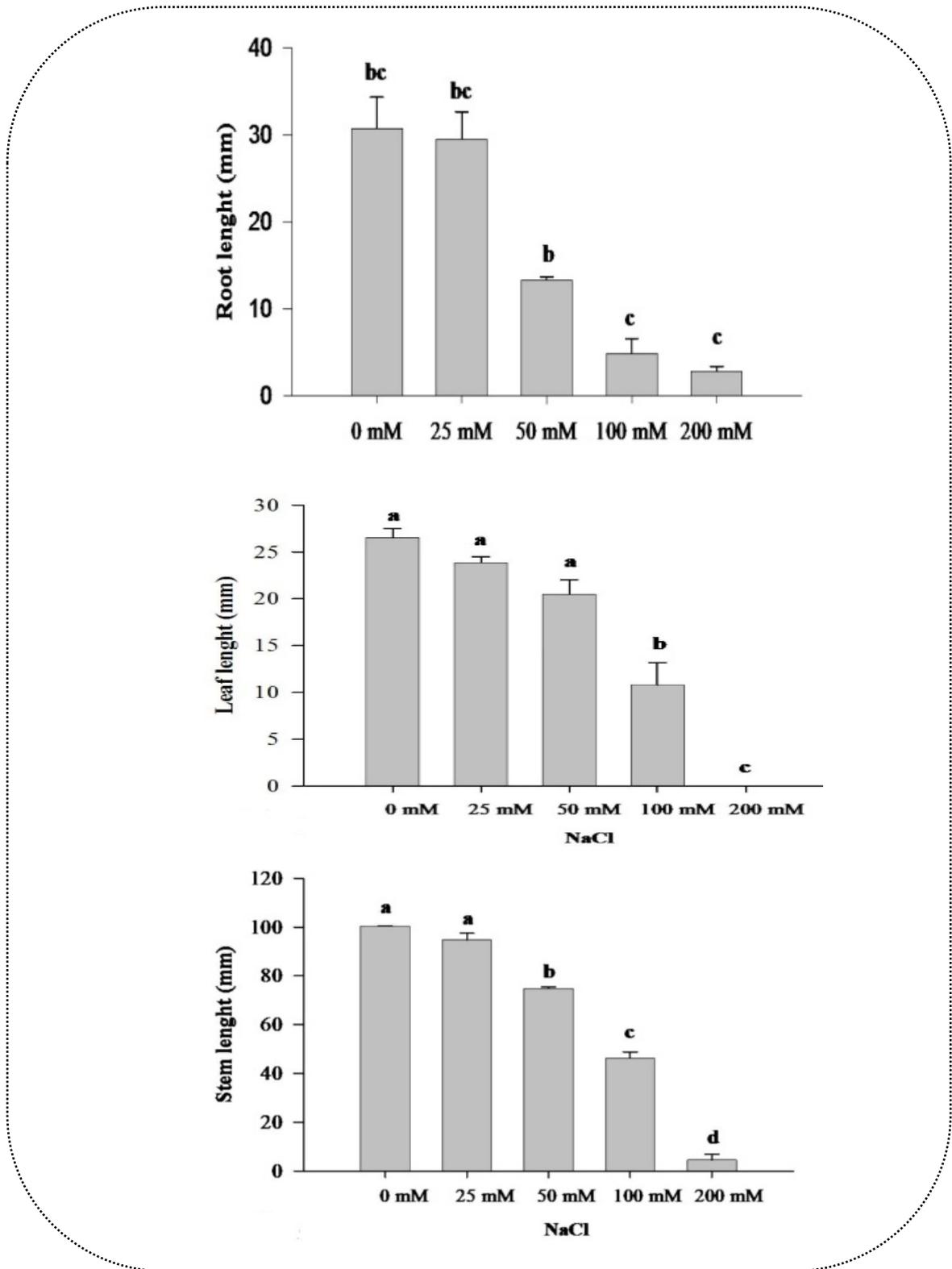
Figure 1. The effects of sodium chloride salinity on germination. Means with same letters do not have a significant difference according to Duncan's test (5%).

محتوای کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کمی محتوای کلروفیل کل نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم اثر منفی و معنی‌داری بر میزان این رنگیزه دارد، به طوری که در غلظت‌های بالاتر از ۲۵ میلی‌مولار، کاهش محسوسی مشاهده شد. در تیمار کنترل، مقدار کلروفیل برابر با ۳۰ واحد بود. با افزایش شوری به ۲۵ میلی‌مولار، محتوای کلروفیل با افتی حدود ۱۶/۷ درصد کاهش یافت و در غلظت ۵۰ میلی‌مولار، کاهش معنی‌داری به میزان ۲۶/۷ درصد نسبت به شاهد مشاهده گردید. در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان کلروفیل کاهش ۵۶/۷ درصدی داشت و در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) مقدار کلروفیل تقریباً به صفر رسید که بیانگر توقف کامل سنتز و تخریب رنگیزه‌ها در اثر سمیت یونی و تنش اسمزی شدید است (شکل ۳).

کاهش محتوای کلروفیل در اثر شوری را می‌توان ناشی از تخریب ساختار کلروپلاست، مهار مسیرهای بیوسنتز کلروفیل و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) دانست که در مجموع موجب اکسیداسیون رنگیزه‌ها و تخریب غشاهای تیلاکوئیدی می‌شوند. تجمع یون‌های سدیم و کلر در سلول‌های مزوفیل برگ، جذب منیزیم را مختل کرده و فعالیت آنزیم δ -آمینولولونیک‌اسید سنتتاز را کاهش می‌دهد؛ عاملی که نهایتاً مانع از تشکیل کلروفیل می‌شود (Xu et al., 2025).

نتایج این پژوهش با یافته‌های Alharbi و همکاران (۲۰۲۲) و Hussain و همکاران (۲۰۲۱) هم‌خوانی دارد؛ به طوری که هر دو مطالعه نشان دادند که افت محتوای کلروفیل بیانگر نقش هم‌زمان تنش اسمزی و سمیت یونی در تخریب دستگاه فتوسنتزی است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که شوری بالا موجب آسیب جدی به سیستم فتوسنتزی خرمالوی خرمندی می‌شود و آستانه‌ی بحرانی مهار معنی‌دار کلروفیل در بازه‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl قرار دارد. این کاهش چشمگیر در رنگیزه‌های فتوسنتزی، با محدودیت جذب نور، کاهش نرخ تثبیت کربن و افت رشد گیاه همبستگی مستقیم دارد و نشان‌دهنده‌ی حساسیت بالای گیاه به تنش شوری است.



شکل ۲. اثر تنش شوری کلرید سدیم بر طول ساقه، ریشه و برگ. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌دار نسبت به هم بر اساس آزمون دانکن (۰/۰۵) ندارند.

Figure 2. The effect of sodium chloride salinity stress on stem, root, and leaf length. Means with same letters do not have a significant difference according to Duncan's test (5%)

بازده کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

نتایج حاصل از اندازه‌گیری بازده کوانتومی حداکثر فتوسیستم II (Fv/Fm) نشان داد که افزایش شوری به صورت معنی‌داری موجب کاهش کارایی فتوشیمیایی گیاه شد. در تیمار شاهد مقدار Fv/Fm در حدود ۰/۸۲ بود که بیانگر وضعیت طبیعی و سلامت کامل سیستم فتوستتزی است. با افزایش شوری به ۲۵ میلی‌مولار، مقدار این شاخص اندکی کاهش یافت (حدود ۰/۶۹) که نشان‌دهنده تأثیر اولیه و خفیف تنش نمک بر مراکز واکنش PSII است. در غلظت ۵۰ میلی‌مولار، افت قابل توجهی در Fv/Fm مشاهده شد (۰/۵۵) و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت که بیانگر آغاز آسیب جدی به مراکز واکنشی فتوسیستم II و افزایش سهم واکنش‌های غیرفلورسنسی در اتلاف انرژی است. جالب آن‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار، مقدار Fv/Fm به حدود ۰/۷۳ افزایش یافت که می‌تواند ناشی از فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی مانند افزایش سنتز کاروتنوئیدها، تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین و بهبود تنظیم اسمزی در گیاه باشد. با این حال، در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، مقدار Fv/Fm تقریباً به صفر (۰/۰۵) کاهش یافت و از کار افتادگی کامل سیستم فتوستتزی را نشان داد (شکل ۳). این نتیجه هم‌راستا با کاهش کامل کلروفیل کل و توقف رشد طولی اندام‌ها در همان سطح شوری است و بیانگر فروپاشی کامل ساختارهای فتوشیمیایی در شرایط تنش شدید یونی و اسمزی می‌باشد.

بر اساس گزارش (Tomaškinová (2025)، مقادیر Fv/Fm بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ معرف سلامت کامل فتوسیستم II بوده و مقادیر کمتر از ۰/۶ بیانگر وقوع آسیب فتوشیمیایی و تنش شدید هستند. کاهش مشاهده‌شده در این پژوهش در غلظت‌های بالاتر از ۵۰ میلی‌مولار NaCl نشان می‌دهد که خرمالوی خرمندی در این محدوده شوری دچار اختلال شدید در انتقال انرژی نوری و آسیب برگشت‌ناپذیر به مراکز واکنشی PSII می‌شود.

مطالعات مشابه نیز الگوهای مشابهی را گزارش کرده‌اند؛ Akhter و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که کاهش Fv/Fm تحت تنش شوری مستقیماً ناشی از اختلال در بازگشت الکترون‌ها بین فتوسیستم II و I است. همچنین، Maryum و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که گیاهان حساس به شوری، به‌ویژه در غلظت‌های بالای NaCl، دچار افت شدید در پارامترهای فلورسانس کلروفیل می‌شوند که هم‌زمان با کاهش کلروفیل و افزایش ROS است. در مجموع، نتایج حاضر نشان می‌دهد که شوری بالاتر از ۵۰ میلی‌مولار منجر به افت معنی‌دار کارایی فتوسیستم II می‌شود و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، دستگاه فتوستتزی به‌طور کامل از کار می‌افتد. بنابراین، شاخص Fv/Fm می‌تواند به‌عنوان یکی از حساس‌ترین پارامترهای فیزیولوژیک در ارزیابی اثرات تنش شوری بر سلامت فتوسیستم II در خرمالوی خرمندی معرفی شود.

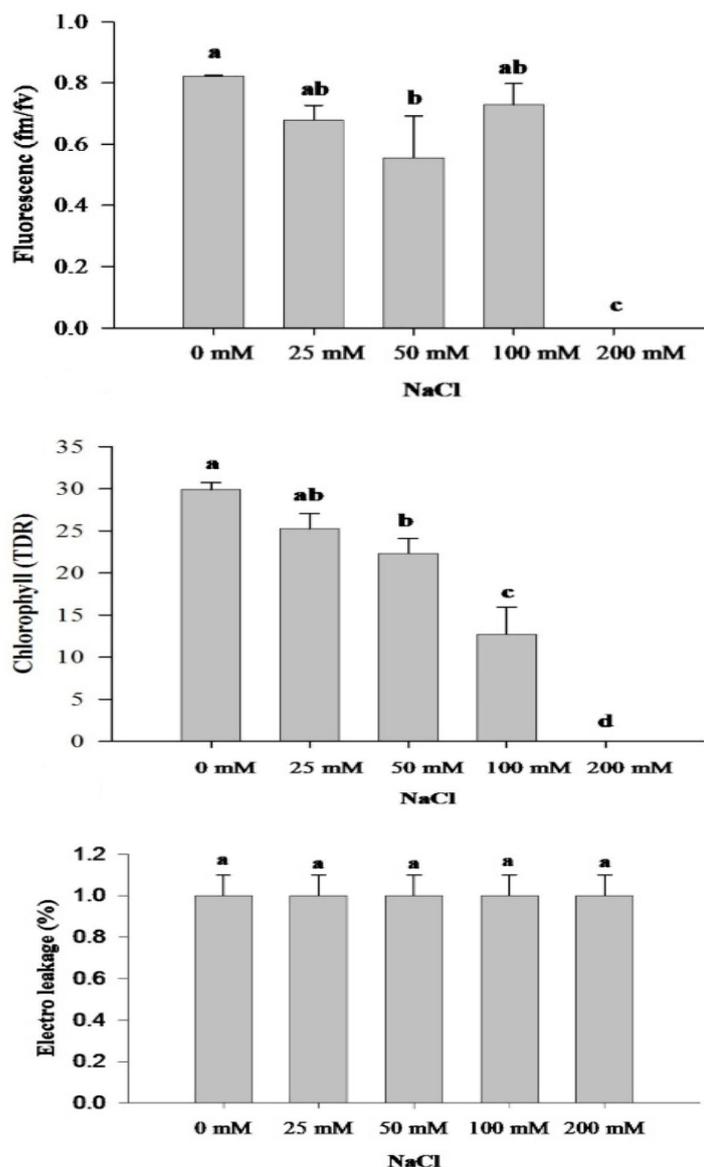
نشت الکتروولیت

نتایج حاصل از اندازه‌گیری درصد نشت الکتروولیت نشان داد که افزایش شوری تأثیر معنی‌داری بر یکپارچگی غشاهای سلولی گیاهچه نداشت. درصد نشت در تمام تیمارها، از ۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl، تقریباً ثابت و در محدوده‌ای بسیار پایین (حدود ۱/۰٪) باقی ماند و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (شکل ۳). این ثبات در میزان نشت الکتروولیت بیانگر مقاومت بالای غشای پلاسمایی در برابر تنش شوری و نبود آسیب فیزیکی جدی به ساختارهای غشایی است. برخلاف مهار شدید رشد و تخریب دستگاه فتوستتزی در غلظت‌های بالای شوری، ثبات درصد نشت الکتروولیت نشان می‌دهد که سمیت ناشی از NaCl در گیاه خرمالوی خرمندی بیشتر از نوع فیزیولوژیکی و متابولیکی بوده تا ساختاری. به‌عبارتی، فروپاشی بیولوژیکی در سطوح بالای شوری (به‌ویژه ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار) احتمالاً ناشی از اختلال در تعادل یونی، مهار مسیرهای متابولیکی حیاتی، و آسیب به اندامک‌های حساس نظیر کلروپلاست‌ها و سلول‌های مریستمی بوده است، نه پارگی یا نشت مستقیم از غشای سلول.

مطالعات پیشین در برخی گونه‌های متحمل به شوری نشان داده است مکانیسم‌های تنظیم یونی و انتقال انتخابی یون‌ها به درون واکوتل یا آپوپلاست، موجب حفظ پایداری غشای پلاسمایی و جلوگیری از افزایش نشت الکتروولیت می‌شود (Joshi et al., 2022; Malakar et al., 2021). بیان کردند همچنین، گزارش شده است که گیاهان مقاوم به شوری

با افزایش بیان ژن‌های مرتبط با پروتئین‌های انتقال‌دهنده یون نظیر NHX و SOS1 قادر به حفظ تعادل یونی و کاهش آسیب غشایی هستند (Amin et al., 2021; Gupta et al., 2021).

بر این اساس، به نظر می‌رسد که خرما لوی خرمن‌دی دارای کارایی بالایی در تفکیک مکانی یون‌های سمی و محافظت از غشای سلولی است، اما در سطح متابولیسم و فتوسنتزی (کلروفیل و PSII) آسیب‌پذیری بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین، نشت الکترولیت به‌عنوان شاخصی از پایداری غشا، در این گونه شاخص مناسبی برای ارزیابی شدت تنش شوری نیست و باید همراه با پارامترهای فیزیولوژیکی دیگر مانند کلروفیل، فلورسانس و رشد مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۳. اثر تنش شوری کلرید سدیم بر محتوای کلروفیل، فلورسانس، و نشت الکترولیت خرمن‌دی. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌دار نسبت به هم بر اساس آزمون دانکن (۵٪) ندارند.

Figure 3. The effect of sodium chloride salinity stress on chlorophyll content, fluorescence, and electrolyte leakage in date palm seedlings. Means with same letters do not have a significant difference according to Duncan's test (5%).

رشد و استقرار گیاهچه‌ها تحت تنش شوری

نتایج اندازه‌گیری وزن تر گیاهچه نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم موجب کاهش معنی‌دار تجمع زیست‌توده و رشد کلی گیاهچه می‌شود. در غلظت‌های پایین تا متوسط شوری (۰ تا ۵۰ میلی‌مولار)، وزن تر گیاهچه در محدوده ۰/۳۰ تا ۰/۳۲ گرم حفظ شد و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد. این پایداری نشان‌دهنده توانایی گیاهچه در حفظ جذب آب، حفظ سلول‌های زنده و تجمع مواد اولیه حتی در مواجهه با شوری خفیف تا متوسط است. با افزایش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار، وزن تر گیاهچه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به حدود ۰/۲۴ گرم رسید که معادل افت حدود ۲۵٪ نسبت به شاهد بود. این کاهش نشان‌دهنده رسیدن به آستانه بحرانی اثر شوری بر رشد و تجمع زیست‌توده است و ناشی از اختلال در متابولیسم سلولی، کاهش جذب آب و آسیب به اندامک‌های حیاتی مانند کلروپلاست‌ها و مریستم‌های فعال می‌باشد. در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار)، وزن تر گیاهچه تقریباً به صفر رسید و مهار ۱۰۰٪ مشاهده شد که این فروپاشی کامل با توقف مطلق رشد طولی، استقرار موفق گیاهچه و تخریب دستگاه فتوسنتزی همسو است (شکل ۴). این یافته نشان می‌دهد که سمیت شدید یونی و تنش اسمزی در این سطح شوری عملکرد تمام اندام‌ها و تجمع زیست‌توده را به‌طور کامل مختل می‌کند.

مطالعات پیشین نشان می‌دهند که کاهش وزن تر گیاهان تحت تنش شوری به دلیل کاهش جذب آب، اختلال در تعادل یونی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و مهار مسیرهای بیوسنتزی است (Hasanuzzaman et al., 2021; Kesawat et al., 2023). علاوه بر این، حفظ وزن تر در غلظت‌های پایین نشان می‌دهد که گیاهچه خرما لوی خرمندی دارای مکانیسم‌های دفاعی مؤثری است که به‌ویژه در حفاظت از آب و مواد اولیه سلولی نقش دارند.

در مجموع، وزن تر گیاهچه به‌عنوان شاخصی جامع برای ارزیابی رشد و تجمع زیست‌توده تحت تنش شوری عمل می‌کند و نتایج حاضر نشان داد که آستانه بحرانی کاهش وزن تر در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار قرار دارد، در حالی که شوری بالاتر از ۲۰۰ میلی‌مولار موجب فروپاشی کامل زیست‌توده می‌شود.

نتایج حاصل از بررسی درصد استقرار گیاهچه‌های دارای برگ نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم تأثیر معنی‌داری بر توانایی گیاهچه‌ها برای نمو موفق اندام‌های هوایی دارد. در تیمار شاهد (۰ میلی‌مولار)، بیش از ۹۲٪ گیاهچه‌ها قادر به استقرار موفق بودند. با افزایش شوری به ۲۵ میلی‌مولار، درصد استقرار تقریباً ثابت ماند (حدود ۹۱٪) و تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد، که نشان‌دهنده تحمل بالا در برابر تنش شوری خفیف است.

با افزایش غلظت به ۵۰ میلی‌مولار، درصد استقرار به حدود ۷۰٪ کاهش یافت و این سطح به‌عنوان آستانه بحرانی استقرار گیاهچه‌ها شناسایی شد. در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار، افت استقرار تشدید شد و تنها حدود ۳۵٪ از گیاهچه‌ها قادر به رشد و نمو موفق بودند (کاهش ۶۲٪ نسبت به شاهد). در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار)، استقرار موفق گیاهچه‌ها به‌طور کامل متوقف شد و درصد زنده‌مانی به صفر رسید، که هم‌راستا با توقف کامل رشد طولی اندام‌ها و تخریب ۱۰۰٪ دستگاه فتوسنتزی در همان غلظت است و نشان‌دهنده مرگ کامل فیزیولوژیکی گیاهچه‌ها تحت تنش شدید شوری است (شکل ۴).

این کاهش معنی‌دار در استقرار گیاهچه‌ها می‌تواند ناشی از اثرات ترکیبی تنش اسمزی و سمیت یونی باشد که موجب اختلال در تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌های مریستمی، مهار سنتز پروتئین و اختلال در توسعه اندام‌های هوایی می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهند که ریشه و اندام‌های هوایی به ترتیب حساس‌ترین و مقاوم‌ترین بخش‌ها به شوری هستند و کاهش زنده‌مانی به‌ویژه با آسیب شدید به ریشه‌ها آغاز می‌شود.

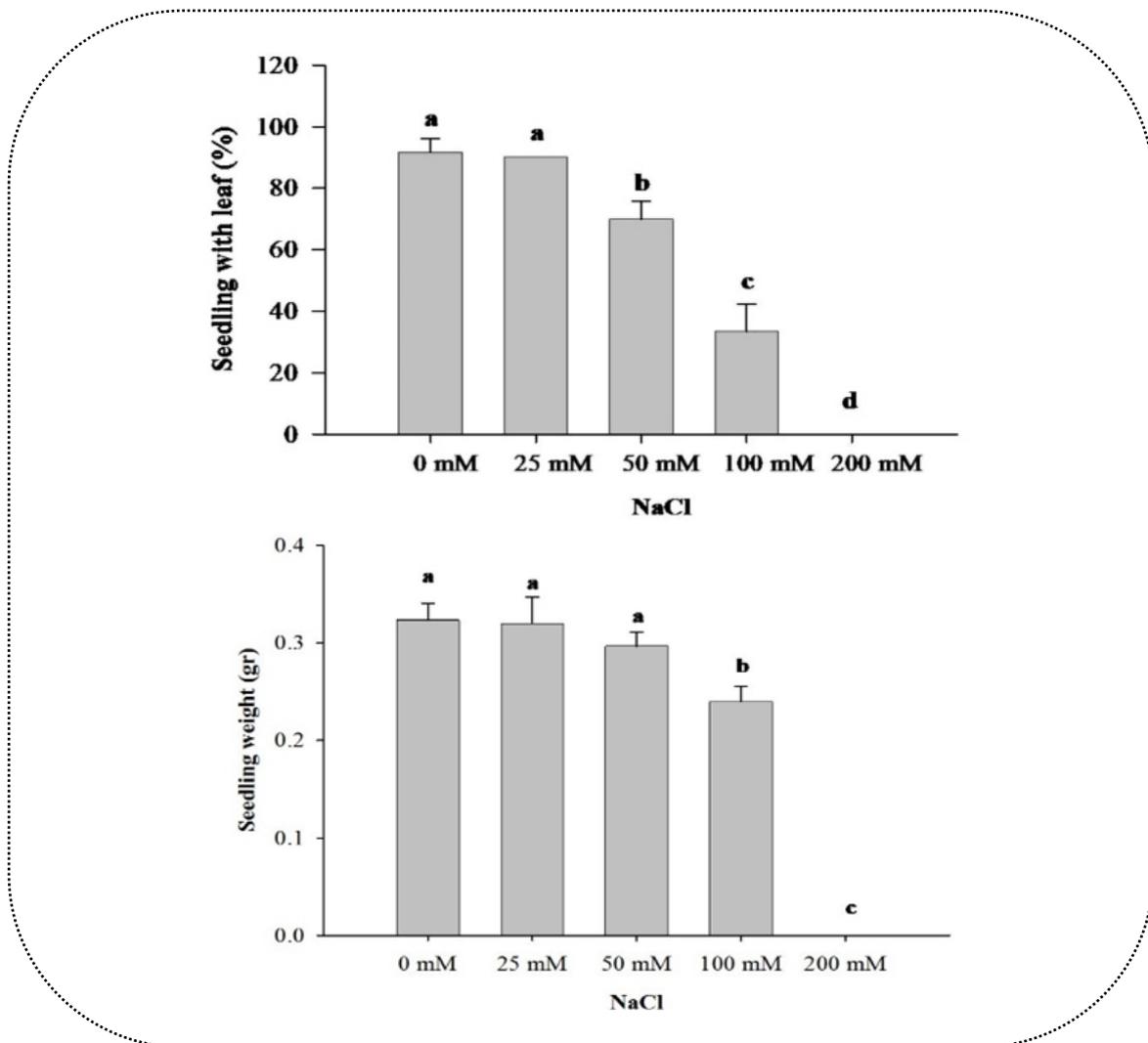
مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند که کاهش استقرار و زنده‌مانی تحت شوری با محدودیت جذب آب، اختلال در تعادل یونی و آسیب به کلروپلاست‌ها و مریستم‌های فعال مرتبط است (Hameed et al., 2021; Sarkar et al., 2023).

Gil-Muñoz و همکاران (۲۰۲۰) هم گزارش کردند که شوری رشد رویشی خرمندی را کاهش داده و این کاهش را به تجمع یون‌های سمی و اختلال در فتوسنتز نسبت دادند. این نتایج نشان می‌دهد که خرمندی برای تشکیل برگ و رشد

رویشی به شرایط سطح شوری وابسته است. علاوه بر این، توانایی حفظ درصد استقرار در غلظت‌های پایین نشان می‌دهد که گیاهچه خرمالوی خرمندی دارای مکانیسم‌های دفاعی مؤثری است، از جمله تنظیم اسمزی و دفع انتخابی یون‌های سدیم به واکوئل، که موجب حفاظت از سلول‌های زنده و ادامه نمو در شرایط شوری خفیف می‌شود. در مجموع، نتایج حاضر نشان می‌دهد که درصد استقرار گیاهچه‌ها یکی از شاخص‌های کلیدی حساسیت به شوری است و آستانه بحرانی کاهش موفقیت استقرار گیاهچه‌های خرمالوی خرمندی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl قرار دارد. این شاخص می‌تواند برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری و ارزیابی تحمل اولیه گیاهچه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تنش شوری یکی از عوامل محدودکننده اصلی در جوانه‌زنی و رشد اولیه دانه‌های



شکل ۴. اثر تنش شوری کلرید سدیم بر وزن تر و استقرار دانه‌های خرمندی. میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌دار نسبت به هم بر اساس آزمون دانکن (۵٪) ندارند.

Figure 4. The effect of sodium chloride salinity stress on fresh weight and seedling establishment of date palm. Means with same letters do not have a significant difference according to Duncan's test (5%).

خرمندی است. افزایش غلظت شوری در تیمارهای مختلف باعث کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، طول ساقه، ریشه و برگ شد و به دنبال آن محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتزی (Fv/Fm) نیز کاهش معنی‌داری یافت. با این حال، نشت الکترولیت تحت شرایط شوری تغییر معنی‌داری نداشت که نشان از پایداری نسبی غشاهای سلولی و مقاومت در مقابل تنش شوری است. این نتایج نشان‌دهنده حساسیت شدید خرمندی بخصوص در مراحل اولیه رشد به استرس‌های اسمزی و سمیت یونی ناشی از تجمع یون‌های Na^+ و Cl^- است. با توجه به حساسیت بالای بذرهای خرمندی به تنش شوری، به نظر می‌رسد که موفقیت در کشت و استقرار خرمندی در اراضی شور نیازمند به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی موثر است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آتی با تمرکز بر روی بهبود شرایط فیزیولوژی بذر، مهندسی متابولیک و اعمال تنش‌های تدریجی شوری جهت افزایش تحمل به شوری در این گونه مهم صورت گیرد. توسعه و اصلاح ارقام خرمندی مقاوم به تنش شوری می‌تواند نقش بسزایی در این زمینه ایفا کند.

منابع

خدییوی ع. (۱۳۹۰). میوه کاری (عمومی و خصوصی). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۴۶۸ صفحه.

رضایی آدریانی، ف.، رضایی، آ.، خادمی، ا.، شرفی، ی. (۱۳۹۵). بررسی بهبود صدمات تنش شوری در دانه‌های خرمندی با پوتریسین و کیتوزان. به زراعی کشاورزی، ۱۹(۳)، ۶۷۱-۶۸۶.

References

Akhter, M. S., Noreen, S., Mahmood, S., Athar, H. U. R., Ashraf, M., Alsahli, A. A., & Ahmad, P. (2021). Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence. *Journal of King Saud University-Science*, 33(1), 101239.

Alharbi, K., Al-Osaimi, A. A., & Alghamdi, B. A. (2022). Sodium chloride (NaCl)-induced physiological alteration and oxidative stress generation in *Pisum sativum* (L.): A toxicity assessment. *ACS omega*, 7(24), 20819-20832.

Amin, I., Rasool, S., Mir, M. A., Wani, W., Masoodi, K. Z., & Ahmad, P. (2021). Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 578-594.

Bielach, A., Hrtyan, M., & Tognetti, V. B. (2017). Plants under stress: involvement of auxin and cytokinin. *International journal of molecular sciences*, 18(7), 1427.

El-Mahdy, M. T., Youssef, M., & Elazab, D. S. (2022). In vitro screening for salinity tolerance in pomegranate (*Punica granatum* L.) by morphological and molecular characterization. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(2), 27.

Gil-Muñoz, F., Delhomme, N., Quiñones, A., Naval, M. D. M., Badenes, M. L., & García-Gil, M. R. (2020). Transcriptomic analysis reveals salt tolerance mechanisms present in date-plum persimmon rootstock (*Diospyros lotus* L.). *Agronomy*, 10(11), 1703.

Gong, Y., Wang, W., Tian, D., Cheng, B., & Yang, T. (2023). Salinity distribution pattern and its induced adaptability of tomato roots. *Scientia Horticulturae*, 313, 111905.

González Nebauer, S., Sánchez Perales, M., Martínez, L., Lluch Gomez, Y. P., Renau Morata, B., & Molina Romero, R. V. (2013). Differences in the photosynthetic response of three tomato cultivars to different salinity sources and their effect on vegetative growth parameters. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 61-69.

Gupta, A., Shaw, B. P., Sahu, B. B., & Munns, R. (2021). Post-translational regulation of the membrane transporters contributing to salt tolerance in plants. *Functional Plant Biology*, 48(12), 1199-1212.

Hameed, A., Ahmed, M. Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B., & Nielsen, B. L. (2021). Effects of salinity stress on chloroplast structure and function. *Cells*, 10(8), 2023.

Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., ... & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9326.

Hokmalipour, S. (2015). Effect of salinity and temperature on seed germination and seed vigor index of chicory (*Chichorium tynus* L.), cumin (*Cuminum cyminum* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare*). *Indian Journal of Science and Technology*, 8(35), 2-9.

Hussain, T., Li, J., Feng, X., Asrar, H., Gul, B., & Liu, X. (2021). Salinity induced alterations in photosynthetic and oxidative regulation are ameliorated as a function of salt secretion. *Journal of plant research*, 134(4), 779-796.

Joshi, S., Nath, J., Singh, A. K., Pareek, A., & Joshi, R. (2022). Ion transporters and their regulatory signal transduction mechanisms for salinity tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, 174(3), e13702.

Kesawat, M. S., Satheesh, N., Kherawat, B. S., Kumar, A., Kim, H. U., Chung, S. M., & Kumar, M. (2023). Regulation of reactive oxygen species during salt stress in plants and their crosstalk with other signaling molecules—Current perspectives and future directions. *Plants*, 12(4), 864.

Liu, L., Xia, W., Li, H., Zeng, H., Wei, B., Han, S., & Yin, C. (2018). Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. *Frontiers in Plant Science*, 9, 275.

Malakar, P., & Chattopadhyay, D. (2021). Adaptation of plants to salt stress: the role of the ion transporters. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 30(4), 668-683.

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

Maryum, Z., Luqman, T., Nadeem, S., Khan, S. M. U. D., Wang, B., Ditta, A., & Khan, M. K. R. (2022). An overview of salinity stress, mechanism of salinity tolerance and strategies for its management in cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13, 907937.

Riaz, M., Arif, M. S., Ashraf, M. A., Mahmood, R., Yasmeen, T., Shakoor, M. B., ... & Fahad, S. (2019). A comprehensive review on rice responses and tolerance to salt stress. *Advances in rice research for abiotic stress tolerance*, 133-158.

Yonemori K, Sugiera A and Yamada M (2000), Persimmon genetics and breeding. *Plant Breeding Reviews*. 19: 191-225.

Sarkar, A. K., & Sadhukhan, S. (2023). Impact of salinity on growth and development of plants with the central focus on glycophytes: an overview. *Bull. Env Pharmacol. Life Sci*, 12, 235-266.

Wei, P., Yang, Y., Fang, M., Wang, F., & Chen, H. (2016). Physiological response of young seedlings from five accessions of *Diospyros* L. under salinity stress. *Horticultural Science and Technology*, 34(4), 564-577.

Xu, N., Chen, Z., Niu, J., Niu, K., & Khan, Z. (2025). Effects of exogenous 5-aminolevulinic acid (5-ALA) on alfalfa (*Medicago sativa* L.) under NaCl-induced salinity stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(1), 478-494.

Zahra, N., Raza, Z. A., & Mahmood, S. (2020). Effect of salinity stress on various growth and physiological attributes of two contrasting maize genotypes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20200072.