Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 13, Issue 27
http://pec.gonbad.ac.ir

Investigating the Impact of Salt Dust on Morpho-Physiological Characteristics and the Air Pollution Tolerance Index in Several Halophyte Species

Mina Amiri[1], Asghar Mosleh Arani[2]*, Mahmood Najafi Zilaie[3]

[1]M.Sc. Graduate in Desert Region Management, Department of Arid Land and Desert Management. Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
[2]Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
[3]Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Received: 2025/08/25; Accepted: 2025/09/13

Abstract

A significant increase in salt-dust storms in recent years has caused extensive and sometimes irreversible damage to arid ecosystems. This research investigated the effects of saline dust on the morpho-physiology and Air Pollution Tolerance Index (APTI) of three halophyte species *Haloxylon ammodendron*, *Nitraria schoberi*, and *Halostachys belangeriana*. The aim was to uncover the plants' adaptive responses to the emerging stress of saline dust and ultimately provide practical outputs for the sustainable management of vulnerable ecosystems. For this purpose, one-year-old seedlings of these species were subjected to greenhouse dust treatments with salinity levels of 0 (control), 8, 24, 48, and 72 dS/m, applied every two weeks over a three-month period. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Physiological indices measured included chlorophyll a, b, and total chlorophyll, leaf Relative Water Content (RWC), ascorbic acid, nutritional elements (nitrogen, phosphorus, potassium), and the Air Pollution Tolerance Index (APTI). The results indicated that both plant species and salinity concentration had a significant effect on most of the measured traits. Data from the various indices were analyzed using a completely randomized design and Analysis of Variance (ANOVA). Duncan's test was used for mean comparisons. *Nitraria* showed the highest values for total chlorophyll (5.77 mg/g), RWC (82.25%), ascorbic acid (0.34 mg/g), and APTI (8.60), whereas *Haloxylon* had the lowest chlorophyll values and the highest potassium content (31.59 mg/g). Increasing salinity up to 48 dS/m led to a significant increase in chlorophyll (up to 49%), ascorbic acid (up to 0.59 mg/g) in *Nitraria*, and nutritional elements (phosphorus up to 1366 µg/g). *Nitraria* showed an increase in Potassium up to 48 dS/m (31.21 mg/g), while showing a significant decrease in *Haloxylon* at higher levels. *Nitraria* was identified as the most resistant species, with a high APTI and maintained physiological efficiency up to 48 dS/m, while *Haloxylon* was identified as the most sensitive species. The increase in indices such as chlorophyll and ascorbic acid up to moderate salinity levels indicates the presence of adaptive mechanisms in these plants. Utilizing *Nitraria schoberi,* due to its superior resistance to saline dust, is proposed as a biological and low-cost solution for the management of environmental crises in Iran's arid regions.

***Keywords*:**Arid ecosystems, Salt dust, Halophyte, Air pollution tolerance index, Physiological characteristics

*Corresponding author: amosleh@yazd.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره سیزدهم، شماره بیست و هفتم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر گرد و غبار نمکی بر ویژگی‌های مورفو–فیزیولوژیکی و شاخص تحمل به آلودگی هوا در برخی از گونه‌های گیاهی شورپسند

مینا امیری[1]، اصغر مصلح آرانی[2*]، محمود نجفی زیلایی[3]

[1] دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
[2] استاد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
[3] کارشناس تحقیقات، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

چکیده

افزایش چشمگیر طوفان‌های گرد و غبار حاوی نمک در سال‌های اخیر، خسارات گسترده و گاه جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌های مناطق خشک وارد کرده است. در این تحقیق، اثر ریزگردهای نمکی بر مورفو-فیزیولوژی و شاخص تحمل به آلودگی سه گونه‌ی گیاهی شورپسند تاغ (*Haloxylon ammodendron*)، قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) و مارونگ (*Halostachys belangerian*) به منظور کشف پاسخ تطبیقی گیاهان به تنش نوظهور ریزگرد نمکی و در نهایت، خروجی عملیاتی برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر، مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور نهال‌های یک‌ساله این گونه‌ها در شرایط گلخانه‌ای تحت تیمارهای ریزگرد با شوری شوری ۰ (شاهد)، ۸، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر به مدت سه ماه با فاصله زمانی دو هفته یکبار قرار گرفتند. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. شاخص‌های فیزیولوژیک شامل کلروفیل a، b، کل، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، و اسید آسکوربیک، همچنین عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) و شاخص تحمل آلودگی (APTI) اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که نوع گونه و غلظت شوری تأثیر معناداری بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده دارند. داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و با به کارگیری تجزیه واریانس (ANOVA) مورد تحلیل قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. قره‌داغ بالاترین مقادیر کلروفیل کل (۵/۷۷ mg/g)، RWC (۸۲٪/۲۵)، اسید آسکوربیک (۰/۳۴ mg/g) و APTI (۸/۶۰) را نشان داد، در حالی که تاغ کمترین مقادیر کلروفیل و بالاترین پتاسیم (۳۱/۵۹ mg/g) را داشت. افزایش شوری تا ۴۸ dS/m منجر به افزایش معنی‌دار کلروفیل (تا ۴۹٪)، اسید آسکوربیک (تا ۰/۵۹ mg/g) در قره‌داغ و عناصر غذایی (فسفر تا ۱۳۶۶ µg/g) گردید. پتاسیم در قره‌داغ تا ۴۸ dS/m افزایش یافت (۳۱/۲۱ mg/g)، در حالی که در تاغ در سطوح بالا کاهش معنی‌داری نشان داد. قره‌داغ به عنوان مقاوم‌ترین گونه با APTI بالا و حفظ کارایی فیزیولوژیک تا ۴۸ dS/m و تاغ به عنوان حساس‌ترین گونه شناسایی شد. افزایش شاخص‌هایی نظیر کلروفیل و اسید آسکوربیک تا سطوح متوسط شوری، نشان‌دهنده سازوکارهای تطبیقی در این گیاهان است. استفاده از گونه قره‌داغ به دلیل مقاومت برتر آن در برابر ریزگردهای نمکی، یک راهکار بیولوژیک و کم‌هزینه برای مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک ایران پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: اکوسیستم‌های خشک، ریزگردهای نمکی، گیاهان شورپسند، شاخص تحمل به آلودگی هوا، ویژگی‌های فیزیولوژیکی

[*] نویسنده مسئول: amosleh@yazd.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

مقدمه

افزایش چشمگیر طوفان‌های گرد و غبار در سال‌های اخیر، خسارات گسترده و گاه جبران ناپذیری به اکوسیستم‌های مناطق خشک وارد کرده است (Goudarzi et al., 2019; Khusfi et al., 2020). در این میان گرد و غبارهای حاوی نمک، پیامدهایی چون تخریب کیفیت خاک، تهدید سلامت عمومی، و اختلال در اکوسیستم‌های محلی را در پی داشته است (Boroughani et al., 2019; Moghim and Ramezanpoor, 2019). طوفان‌های گردوغبار نمکی که عمدتاً ناشی از فرسایش بادی رسوبات غنی از یون‌های نمکی در بستر دریاچه‌های خشک شده می‌باشند (Reynolds et al., 2007)، حاوی غلظت بالایی از ذرات شور مانند سولفات سدیم و کلرید سدیم هستند. این ذرات نه تنها خاک را شور می‌کنند، بلکه با رسوب بر روی پوشش گیاهی، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان را مختل کرده و امنیت زیستی مناطق خشک را تهدید می‌نمایند (Abuduwaili et al., 2015). همچنین، شوری ناشی از این ذرات با ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی، باعث کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Zhao et al., 2021; Abuduwaili et al., 2015). آلودگی گرد و غبار نمکی می‌تواند بر کیفیت خاک و مواد مغذی آن تأثیر بگذارد (Al-Farraj, 2008) و باعث تغییراتی در مورفولوژی ریشه، ساقه و برگ‌ها شود. وقوع مکرر این طوفان‌ها منجر به پراکندگی گسترده گرد و خاک شور در مناطق اطراف و آسیب به پوشش گیاهی و تسریع تشکیل بیابان‌های جدید می‌شود. ترکیب و اندازه ذرات ریزگردها از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر جوامع گیاهی هستند که با کاهش تشعشع فتوسنتزی و ایجاد تغییرات ریخت‌شناختی موجب اختلال در رشد گیاه می‌شوند (Zia-Khan et al., 2015). ریزگردها فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و تعرق را مختل کرده و با مسدود کردن روزنه‌ها، نهایتاً به کاهش عملکرد گیاه و حتی مرگ زودرس آن منجر می‌شوند (Zilaie et al., 2022). ریزگردهای نمکی نیز علاوه بر شورسازی خاک، با رسوب ذرات بر روی برگ‌ها، جذب نور و تبادلات گازی را محدود کرده و رشد گیاهان را کاهش می‌دهند (Luis et al., 2008).

مطالعات اندکی تأثیر ریزگردهای نمکی را بر گیاهان بررسی کرده‌اند که شامل چند گیاه زراعی مانند گندم و پنبه و یا باغی می‌باشد (Liu, 2010; Abuduwaili et al., 2015)، اما پژوهش‌ها در مورد گونه‌های مرتعی انجام نشده است. تورونگ و همکاران (Liu, 2010) تأثیر گرد و غبار نمکی را بر صفات فیزیولوژیکی گیاهان بررسی کردند. آنها دریافتند که مقادیر معینی از گرد و غبار نمک ظرفیت گیاهان برای جذب Na^+ را به میزان زیادی افزایش می‌دهد، در حالی که ظرفیت جذب $K+$ به میزان زیادی کاهش می‌یابد. عبدویلی و همکاران (Abuduwaili et al., 2015) اثرات مخرب رسوب گرد و غبار نمکی را بر فتوسنتز برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه پنبه را در حوزه Ebinur در شمالغرب چین بررسی و نتیجه گرفتند گرد و غبار نمکی می‌تواند بطور قابل توجهی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ‌های پنبه مانند کاهش کلروفیل و محتوای کاروتنوئید برگ و افزایش نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی و محتوای MDA تاثیر گذاشته که در نهایت باعث آسیب به گیاه و کاهش تولید پنبه و در نتیجه منجر به زیان اقتصادی کشاورزی می‌شود. فاریِری و همکاران (Farieri et al., 2016) در تحقیقی با عنوان شناسایی درختچه‌های زینتی مقاوم به ریزگردهای نمکی برای ساحل شهری به این نتیجه رسیدند که آسیب برگ با قرار گرفتن در معرض هوای آب دریا افزایش یافته و بیشترین آسیب در *V. tinus*، و در *P. myrtifolia* کاهش فلورسانس کلروفیل مشاهده گردید. همچنین تیمار اسپری نمک باعث افزایش همبستگی بین کلروفیل و فلورسانس و کارایی مصرف آب است.

از طرفی میزان حساسیت گونه‌های گیاهی به آلاینده‌های هوا (به‌ویژه گردوغبار) به‌طور معناداری متفاوت است (Rasool et al., 2025). برای سنجش تحمل گیاهان، شاخص تحمل به آلودگی هوا (APTI) مبتنی بر شاخص‌های فیزیولوژیک-بیوشیمیایی نظیر اسید آسکوربیک، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل و pH عصاره برگ توسعه یافته است (Sapkota & Shrestha, 2024; Najafi Zilaie et al., 2023a,b). گیاهان با APTI بالا به‌عنوان جاذب آلودگی و گونه‌های با APTI پایین به‌عنوان زیست‌نشانگر آلودگی کاربرد دارند (Kwon et al., 2020, 2021). این شاخص در انتخاب گونه‌ها برای توسعه فضای سبز به‌منظور کاهش آلودگی هوا مؤثر است (Molnár et al., 2020). گیاهانی نظیر تاغ (*Haloxylon ammodendron*) ، قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) و مارونگ (*Halostachys belangerian*) به‌دلیل سازگاری ذاتی با شوری و خشکی، نقش کلیدی در تثبیت خاک‌های

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

بیابانی و کاهش اثرات ریزگردها ایفا می‌کنند (Najafi Zilaie et al., 2022b; Khazaei, 2021). با این حال، مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل آنها در برابر ریزگردهای نمکی، از جمله تغییرات در توزیع یونی برگ، عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و شاخص‌های تحمل مانند محتوای نسبی آب (RWC) و اسید آسکوربیک بررسی نشده است. این در حالی است که شاخص‌هایی مانند APTI (شاخص تحمل به آلودگی هوا) می‌توانند معیاری علمی برای انتخاب گونه‌های مقاوم در برنامه‌های بیابانزدایی باشند (Amujiri et al., 2024; Molnár et al., 2020). با توجه به اهمیت گیاهان شورپسند در کنترل و کاهش اثرات زیست‌محیطی ریزگردها، این تحقیق با هدف بررسی اثر ریزگردهای نمکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی سه گونه گیاهی تاغ، قره‌داغ و مارونگ اجرا می‌شود. تمرکز اصلی بر درک پاسخ‌های این گیاهان به تنش ناشی از ذرات شور، از طریق ارزیابی شاخص‌های کلیدی مانند محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و تغییرات ساختاری برگ است. به طور خلاصه، نوآوری این تحقیق در پرداختن به یک مشکل ملموس با روشی علمی و کمّی، ارائه معیاری جامع برای سنجش تحمل، کشف پاسخ تطبیقی گیاهان به تنش نوظهور ریزگرد نمکی و در نهایت، خروجی عملیاتی برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر است. یافته‌های این مطالعه نه تنها گامی به سوی شناسایی گونه‌های مقاوم برای تثبیت کانون‌های ریزگرد است، بلکه راهکارهایی عملی برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های متأثر از شوری، مانند ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثر ریزگردهای نمکی بر خصوصیات فیزیولوژی گیاهان تاغ، قره‌داغ و مارونگ در گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشگاه یزد بررسی شد. ابتدا نهال‌های یک‌ساله و هم اندازه تاغ، قره‌داغ و مارونگ از نهالستان منابع طبیعی اشکذر یزد تهیه شد. نهال‌ها به گلدان‌های زهکش دار به ارتفاع ۱۸ سانتیمتر و دهانه ۲۰ سانتیمتر محتوی ۴ کیلوگرم خاک با دو واحد خاک زراعی و دو واحد ماسه بادی منتقل و در محل گلخانه با شرایط ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۲±۲۷ درجه سانتیگراد و رطوبت ۶۰ درصد نگهداری شدند.

اعمال تیمار گرد و غبار

یک ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار گرد و غبار اعمال شد. به منظور تهیه ریزگردهای نمکی نمونه‌برداری از خاک در چهار نقطه حدفاصل پلایای چاه افضل اردکان تا شهر اردکان انجام شد. فاصله هر نمونه برداری ۱/۵ کیلومتر و شروع آن از پلایای چاه افضل انجام شد. از آنجایی‌که اندازه ذرات گرد و غبار بین ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر می‌باشد، نمونه خاک‌های منتقل شده به آزمایشگاه داخل دستگاه الک ریخته شده و از ذرات زیر ۱۰ میکرومتر برای اعمال ریزگرد استفاده شد. سپس شوری آنها اندازه‌گیری و در چهار طبقه ریزگرد با شوری ۸، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند. بر اساس مطالعه‌ی میدانی انجام‌شده توسط قائم نیا و همکاران (Ghaeminia et al., 2022) در منطقه‌ی بیابانی چاه افضل اردکان، میزان رسوب گرد و غبار ریزشی در بازه‌ی زمانی اواسط فروردین تا اوایل تیر، ۴۳ گرم بر متر مربع گزارش شده است؛ که با توجه به اینکه دوره‌ی اجرای آزمایش حاضر نیز در همین بازه‌ی زمانی انجام شد، مقدار گرد و غبار اعمال‌شده بر پایه‌ی همین مقادیر منطقه‌ای تعیین گردید. غبارده‌ی گیاهان با دستگاه شبیه‌ساز (ساخت دانشگاه یزد) در محل گلخانه انجام شد. پس از ریختن غبار درون دریچه دستگاه شبیه ساز، مقدار غبار ریزشی بر حسب گرم بر متر مربع با استفاده از تله‌ای رسوبگیر کنترل شد (شکل ۱). غبارده‌ی به مدت سه ماه با فاصله زمانی دو هفته یکبار انجام شد. در هر بار اعمال گرد و غبار کلیه گیاهان شاهد از گلخانه خارج گردید تا غبار روی آنها قرار نگیرد. این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. در مرحله بعد خصوصیات بیوشیمیایی گیاهان که شامل کلروفیل و اسید آسکوربیک و قند محلول و پارامترهای فیزیولوژیک گیاهان شامل محتوی آب نسبی و pHعصاره اشباع و همچنین خصوصیات فیزیکی از قبیل وزن تر نهال‌ها و وزن تر وخشک اندام‌های مختلف گیاه اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

شکل ۱- نمایی از دستگاه شبیه‌ساز غباردهی

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

پس از اتمام مراحل تیماردهی نهال‌های مورد نظر برای انجام آزمایشات فیزیولوژیک و مورفولوژیک نمونه‌برداری شد. مقدار کلروفیل به روش (Arnon, 1967)، محتوی نسبی آب (Ritchie *et al.*, 1990)، اسید آسکوربیک (Smirnoff, 1996)، قندهای محلول (Kochert, 1978)، Ph عصاره برگ با Ph متر دیجیتالی مدل (Metrohm927)، نیتروژن از روش کجدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر (Waling *et al.*, 1989) و پتاسیم (Hamada and El-enamy, 1994) انجام شد. در این مرحله خصوصیات مورفولوژیکی (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع ساقه، تعداد برگ) نیز اندازه‌گیری شد.

شاخص تحمل به آلودگ هوا

برای محاسبه شاخص تحمل به آلودگی هوا از فرمول زیر استفاده شد.

رابطه ۱ $APTI = [A (T+P) + R] /10$

که در آن AA= اسید آسکوربیک، T= کلروفیل کل، R= رطوبت نسبی برگ و P=Ph عصاره برگ می‌باشد (Elloumi et al., 2018).

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SPSS24 استفاده و نمودارها در Excel رسم گردید. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها به صورت آنالیز داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس و در نهایت مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (α=۰/۰۵) بررسی گردید.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر نوع گونه گیاهی بر روی کلیه صفات مورد بررسی به جز قند محلول در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر غلظت تیمار شوری نیز بر صفات کلروفیل کل، کلروفیل b و کلروفیل a، اسید آسکوربیک، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح ۱درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. نتایج اثر متقابل نوع گونه گیاهی و تیمار شوری بر صفات کلروفیل کل، b و a، آسکوربیک اسید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات ریزگردهای نمکی بر روی صفات فیزیولوژیکی تاغ، قره‌داغ و مارونگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	اسیدیته	محتوای نسبی آب
نوع گیاه	۲	۳۸/۳۳**	۱/۱۳**	۱۷/۵۱**	۲/۶۵**	۱۷۵/۳۸**
تیمار شوری	۴	۱/۸۸**	۰/۱۱۸**	۱/۸۶**	۰/۱۳$^{n.s}$	۷/۵۴$^{n.s}$
گیاه*شوری	۸	۱/۰۵*	۰/۰۶**	۰/۹۵*	۰/۰۵$^{n.s}$	۷/۷۷$^{n.s}$
خطا	۳۰	۰/۴۰	۰/۰۰۶	۰/۲۷	۰/۰۷	۹/۲۶

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

ادامه جدول ۱

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسید آسکوربیک	قند محلول	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	شاخص آلودگی
نوع گیاه	۲	۰/۱۸**	۰/۰۰۱n.s	۱۲/۸۰**	۸۵۳۱۶۶/۶۷**	۹۳۴/۶۳**	۳/۱۳**
تیمار شوری	۴	۰/۱۱**	۰/۰۰۱n.s	۰/۲۳**	۷۳۲۱۳۸/۸۹**	۳۴۹/۳۳**	۰/۲۰n.s
گیاه*شوری	۸	۰/۰۳**	۰/۰۰۲n.s	۰/۹۳**	۱۸۳۹۳۰/۵۵۶**	۲۲۴/۰۴**	۰/۱۵n.s
خطا	۳۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۱۰۰۵۵/۵۵	۱۰/۰۶	۰/۱۲

** نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح۱٪، * نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح۵٪، n.s نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار

مطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق، مقادیر اندازه‌گیری شده صفات فیزیولوژیکی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین سه گونه مورد بررسی می‌باشد. به نحوی که گیاه قره‌داغ بیشترین مقادیر اندازه‌گیری را در صفات کلروفیل کل، a و b، محتوای نسبی آب، اسید آسکوربیک، نیتروژن، فسفر و شاخص تحمل به آلودگی هوا بود، اما در صفات اسیدیته عصاره برگ و پتاسیم کمترین مقادیر اندازه‌گیری را داشت و از این نظر تفاوت معنی‌داری با دو گونه گیاهی دیگر روی صفات مذکور را نشان داد. مقادیر مربوط به صفات اندازه‌گیری شده در گیاه تاغ نمایانگر کمترین مقادیر اندازه گیری در صفات کلروفیل کل، a و b، اسید آسکوربیک، نیتروژن و فسفر اما بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده پتاسیم و مقادیر متوسط اسیدیته عصاره برگ، محتوای نسبی آب و شاخص تحمل به آلودگی هوا نسبت به دو گونه دیگر بود. گیاه مارونگ در مقایسه با دو گونه دیگر مقادیر اندازه‌گیری شده حد واسطی را روی صفات کلروفیل کل، a و b، اسید آسکوربیک، نیتروژن، پتاسیم و همچنین بیشترین مقادیر مربوط به محتوای نسبی آب، اسیدیته عصاره برگ و شاخص تحمل به آلودگی هوا را نشان داد لذا دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به دو گونه دیگر بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیکی در گونه‌های گیاهی متفاوت

صفات فیزیولوژیکی	گیاه قره‌داغ	گیاه تاغ	گیاه مارونگ
کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۵/۷۷ a	۲/۵۸ C	۴/۰۲ b
کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۰/۹۱ a	۰/۳۷ C	۰/۷۵ b
کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۴/۸۶ a	۲/۸۲ C	۳/۲۳ b
اسیدیته عصاره برگ	۵/۱۳ C	۵/۷۲ b	۵/۹۴ a
محتوای نسبی آب (درصد)	۸۲/۲۵ a	۷۷/۰۲ b	۸۲/۴۵a
اسید آسکوربیک (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۰/۳۴a	۰/۱۲ C	۰/۲۲ b
نیتروژن (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۴/۱۸ a	۲/۴۴ C	۲/۷۹ b
فسفر (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۱۲۰۳/۳ a	۷۲۶C	۹۵۰ b
پتاسیم (میلی گرم بر گرم وزن تر)	۱۶/۵۴C	۳۱/۵۹ a	۱۹/۹۴ b
شاخص آلودگی گیاهی	۸/۶۰ a	۷/۷۹ b	۸/۵۷ a

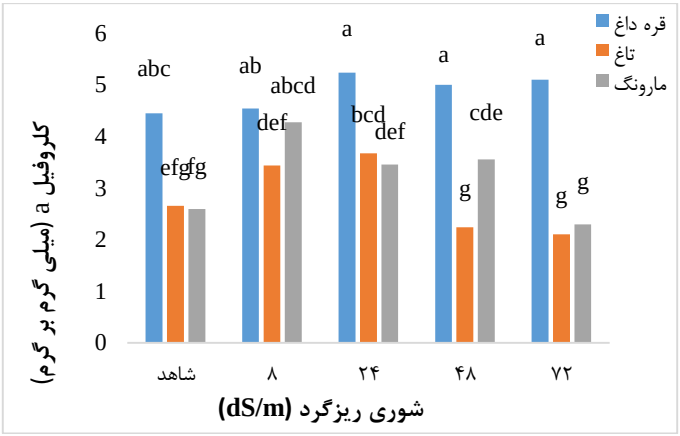
حروف متفاوت در ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن می‌باشد.

پارامترهای فیزیولوژیکی

محتوای کلروفیل

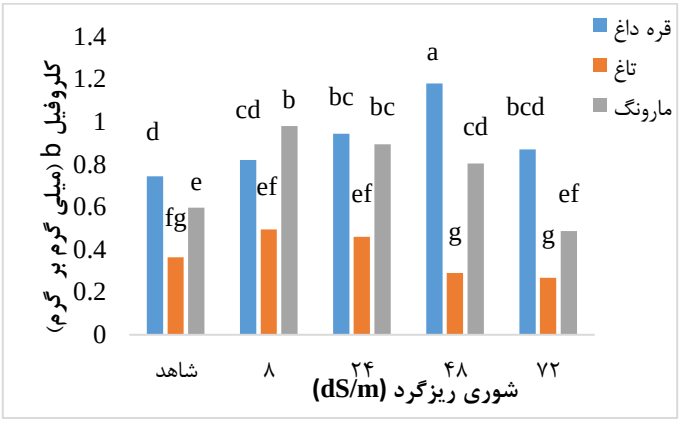
نتایج نشان داد که میزان کلروفیل کل و a در گیاهان قره‌داغ و تاغ اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارهای مختلف شوری نشان ندادند اما در گیاه مارونگ با افزایش شوری از ۸ تا ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر میزان کلروفیل کل و a به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش و در شوری ۷۲ مجددا کاهش یافت. میانگین مقدار کلروفیل b در گیاه قره‌داغ و مارونگ با افزایش شوری از ۸ تا ۴۸ دسی زیمنس بر متر افزایش و نسبت به شاهد معنی‌دار شد. نتایج همچنین نشان داد که تفاوت معنی‌دار بین مقدار کلروفیل b در مقادیر مختلف تیمار شوری ریزگرد در گیاه تاغ مشاهده نشد. مقدار کلروفیل b در قره‌داغ در شوری ریزگرد ۲۴ و ۴۸ افزایش و مجددا در شوری ریزگرد ۷۲ کاهش یافت. (شکل‌های ۴-۲).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]



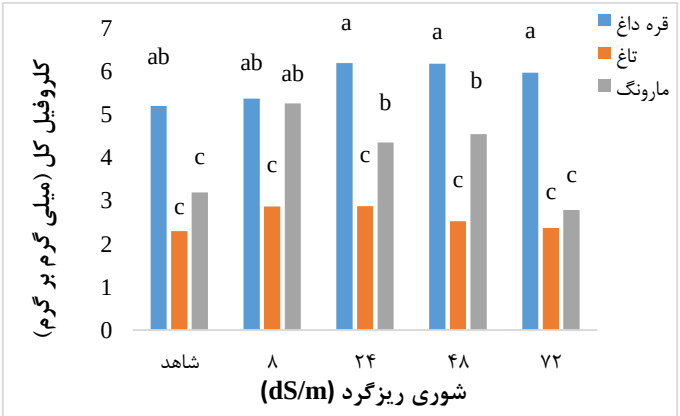
شکل ۲- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر میانگین کلروفیل a در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۳- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر میانگین کلروفیل b در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۴- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر میانگین کلروفیل کل در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

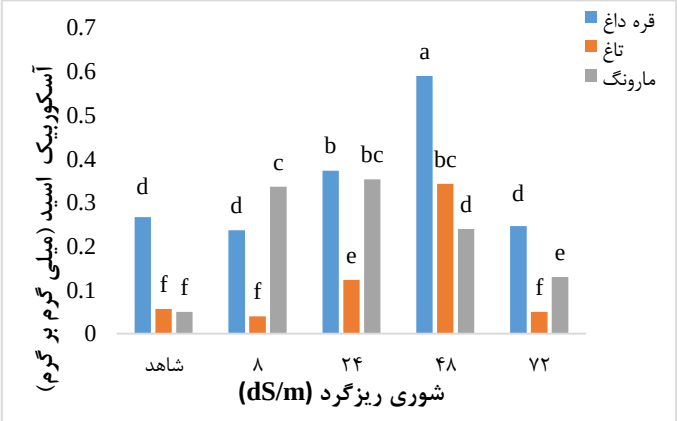
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

اسید آسکوربیک

نتایج نشان داد که با افزایش شوری از ۸ تا ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر میزان اسید آسکوربیک به طور معنی‌داری در هر سه گیاه مورد بررسی افزایش یافت که برای گونه قره‌داغ بیشترین مقدار در شوری ۴۸ دسی‌زیمنس و برابر با ۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم و کمترین آن در تیمار ۸ و برابر با ۰/۲۳ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد و تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای شاهد، ۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس مشاهده نشد. در گونه تاغ نیز بیشترین مقدار اسید آسکوربیک در شوری ۴۸ دسی زیمنس و برابر با ۰/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وکمترین آن در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

تیمار ۸ دسی‌زیمنس برابر با ۰/۰۴ بدست آمد و بین تیمارهای شاهد، ۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در گونه مارونگ با افزایش شوری مقدار اسید آسکوربیک افزایش یافت به‌طوری که بیشترین مقدار اسید آسکوربیک در تیمار ۲۴ دسی‌زیمنس برابر با ۰/۳۵ و کمترین آن در تیمار شاهد برابر با ۰/۰۵ میلی‌گرم برگرم مشاهده شد (شکل ۵).

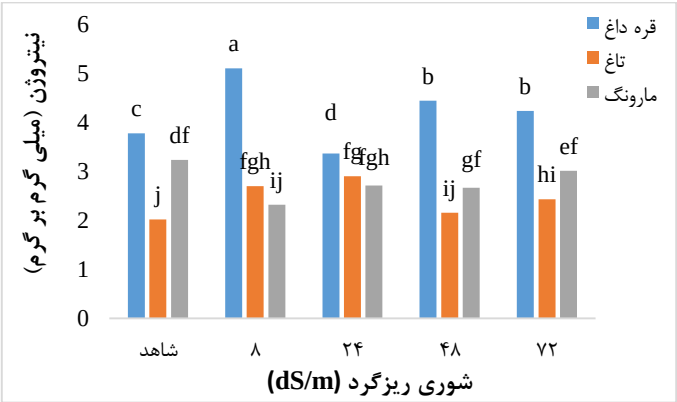


شکل ۵- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر میزان اسید آسکوربیک در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

نیتروژن

نتایج نشان داد که با افزایش شوری درصد نیتروژن به طور غیریکنواخت در سه گونه قره‌داغ، تاغ و مارونگ نسبت به شاهد تغییر نشان داد. به‌طوری در گونه قره‌داغ اگرچه در برخی سطوح (۸ و ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش نسبی نسبت به شاهد دیده می‌شود، اما این روند یکنواخت نبوده و در سطح ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش به ۳/۳۶ رسیده است. یافته‌ها نشان داد که در گونه تاغ نیز با افزایش شوری درصد نیتروژن افزایش یافت که بر عکس قره‌داغ بیشترین درصد آن در شوری ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۲/۹ درصد و کمترین آن در شاهد برابر با ۲ درصد مشاهده شد. درگیاه مارونگ به وضوح روند کاهشی محتوای نیتروژن را با افزایش شوری نشان می‌دهد و بیشترین درصد آن در تیمار شاهد برابر با ۳/۲۳ درصد مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۶- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر نیتروژن در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

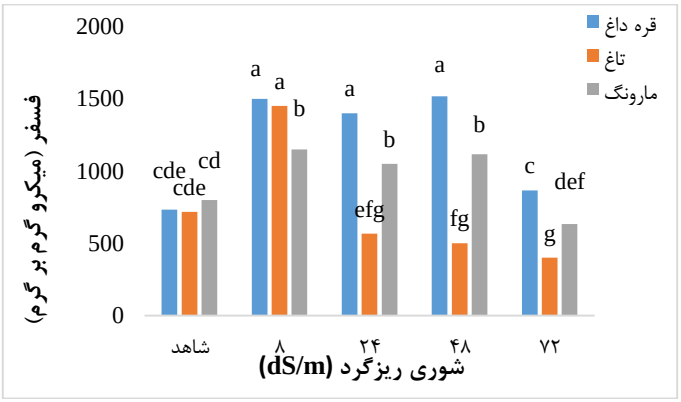
حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

فسفر

با توجه به نتایج، در گونه قره‌داغ میزان فسفر از مقدار پایه ۷۳۳/۳ میکروگرم بر گرم در تیمار شاهد، به طور معناداری در تیمارهای شوری ۸، ۲۴ و ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت و به ترتیب به مقادیر ۱۵۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۵۱۶/۶۶ میکروگرم بر گرم رسید که بیشترین افزایش مربوط به تیمار ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در گونه مارونگ، مقدار فسفر از ۸۰۰ میکروگرم بر گرم در شاهد به ۱۱۵۰ میکروگرم بر گرم در تیمار ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش معناداری نشان داد، اما در تیمار ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر به ۶۳۳/۳۳ میکروگرم بر گرم کاهش یافت. در گونه تاغ، اگرچه مقدار فسفر در تیمار ۸ دسی‌زیمنس بر متر از ۷۱۶/۶۶ به ۱۴۵۰ میکروگرم بر گرم افزایش یافت، ولی در تیمارهای ۴۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به ۵۸۰ و ۴۵۰ میکروگرم بر گرم کاهش معناداری مشاهده شد (شکل ۷).



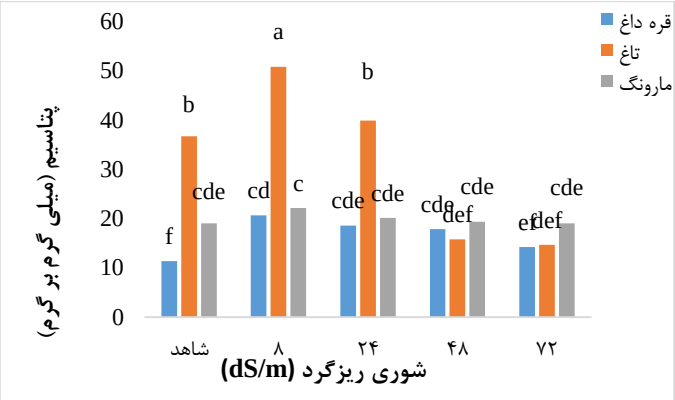
شکل ۷- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر فسفر در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

پتاسیم

در گونه قره داغ مقدار پتاسیم در تیمار شاهد۱۱/۳۹ میلی‌گرم بر گرم بود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ۲۰/۶۳، در تیمار ۲۴ به ۱۸/۶۱ و در تیمار ۴۸ به ۱۷/۸۶ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت که این افزایش در تمامی این سطوح در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بود. در تیمار ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پتاسیم (۱۴/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. در گونه تاغ نیز مقدار پتاسیم در تیمار شاهد ۳۶/۷۴ میلی‌گرم بر گرم بود. در تیمار ۸ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پتاسیم به ۵۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت که این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در مقابل، مقدار پتاسیم در تیمارهای ۴۸ (۱۵/۸۲ میلی‌گرم بر گرم) و ۷۲ (۱۴/۶۶ میلی‌گرم بر گرم) دسی‌زیمنس بر متر به طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود. میانگین کلی مقدار پتاسیم در تاغ (۳۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم) بود. در گونه مارونگ مقدار پتاسیم در تیمار شاهد ۱۹/۰۴ میلی‌گرم بر گرم بود. بر خلاف دو گونه دیگر، هیچ یک از تیمارهای شوری (۸، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیر معنی‌داری بر محتوای پتاسیم این گونه نداشتند و تمامی مقادیر از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۸).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]



شکل ۸- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر پتاسیم در گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

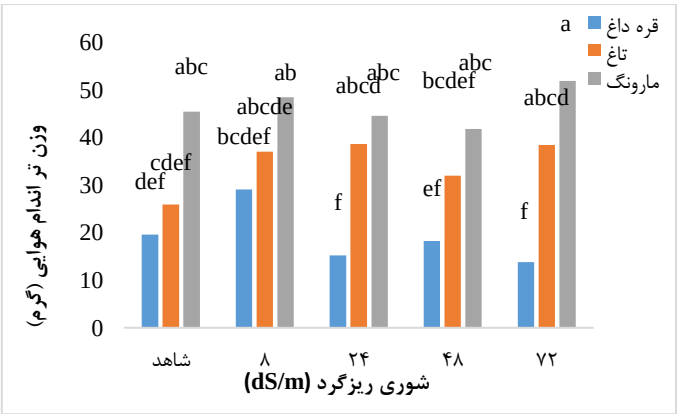
پارامترهای مورفولوژیکی

نتایج نشان داد که اثر نوع گیاه بر صفات مورفولوژیگی گیاهان از جمله وزن تر اندام هوایی و وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است در حالی که اثر تنش شوری و اثر متقابل نوع گیاه و تیمار شوری بر صفات مورفولوژیکی مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). یافته‌ها نشان داد که با افزایش شوری تفاوت معنی‌داری بین وزن تر و وزن خشک اندام هوایی وجود داشت ولی تفاوتی در وزن تر و خشک ریشه در گونه‌های قره‌داغ، تاغ و مارونگ مشاهده نشد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات ریزگردهای نمکی بر روی صفات مورفولوژیکی قره‌داغ، تاغ و مارونگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن تر خشک اندام هوایی
نوع گیاه	۲	۴۴/۱۹۴ n.s	۱۸/۴۹۲ n.s	۲۷۸۹/۱۱۲**	۳۲۹/۷۳۵**
تیمار شوری	۴	۱۲/۲۴۷ n.s	۵/۶۳۰ n.s	۹۴/۶۸ n.s	۸/۵۴۹ n.s
نوع گیاه * شوری	۸	۳۲/۲۴۷ ns	۶/۸۱۰ n.s	۷۳/۶۰۶ *	۱۲/۹۱۸*
خطا	۳۰	۳۰/۳۸۵	۷/۷۴۷	۱۰۳/۷۵۳	۲۳/۶۰۷

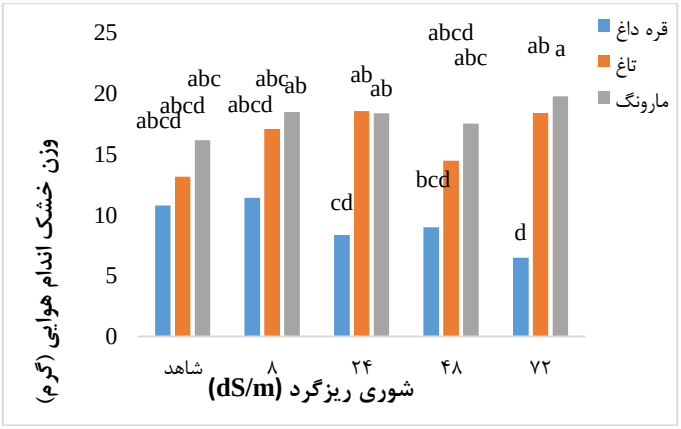
** نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح۱٪، * نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح۵٪، n.s نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۹- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]



شکل ۱۰- تاثیر تیمارهای مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی گیاهان قره‌داغ، تاغ و مارونگ

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر ریزگردهای نمکی بر خصوصیات فیزیولوژی و مورفولوژی گیاهان قره‌داغ ، تاغ و مارونگ در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش شوری ریزگرد به خصوص از ۸ تا ۴۸ دسی زیمنس بر متر به‌طور معناداری موجب افزایش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گونه‌های قره‌داغ و مارونگ شد، درحالی‌که در گونه تاغ از نظر آماری معنادار نبود. بالاترین مقادیر کلروفیل کل، a و b به‌ترتیب در قره‌داغ، مارونگ و تاغ ثبت شد، که بیانگر تفاوت‌های بین‌گونه‌ای در پاسخ به تنش شوری است. عدم افزایش معنادار کلروفیل در تاغ احتمالاً ناشی از سازوکارهای تحمل ذاتی این گونه به شوری، ازجمله تجمع ترکیبات اسمولیت و آنتی‌اکسیدانی است (Rajput et al., 2021). براساس یافته‌ها، بیشترین غلظت اسید آسکوربیک پس از قره‌داغ و مارونگ در تاغ مشاهده شد. این ترکیب با نقش محافظتی در حفظ یکپارچگی کلروفیل تحت تنش‌های اکسیداتیو، به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک کلیدی در مقاومت به شوری شناخته می‌شود (Akram, 2017). بطور کلی، در بسیاری از گیاهان، تنش شوری منجر به افزایش تولید اسید آسکوربیک به عنوان یک آنتی‌اکسیدان کلیدی می‌شود. با این حال، در گیاهان شورپسند سازگار شده مانند گونه‌های مورد مطالعه، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی قوی به صورت ذاتی و پایه‌ای وجود دارد تا آمادگی مقابله با تنش‌های متداول در محیط زیست خود را داشته باشند. بنابراین، ممکن است در سطوح پایین و حتی متوسط شوری (مانند ۸ دسی زیمنس بر متر)، این سیستم‌های دفاعی از قبل فعال و بهینه باشند و افزایش اضافی معنی‌داری در تولید اسید آسکوربیک در مقایسه با شاهد مشاهده نشود. تنها زمانی که شدت تنش از آستانه تحمل فیزیولوژیک گیاه فراتر رود (مانند شوری ۷۲ دسی زیمنس بر متر)، انتظار تغییرات معنی‌دار را داریم. در این مطالعه، احتمالاً سطوح شوری اعمال شده (به جز ۷۲ دسی زیمنس بر متر) در محدوده تحمل فیزیولوژیک این گونه‌های مقاوم قرار داشته و بنابراین پاسخ آنتی‌اکسیدانی بسیار شدیدی را برنیانگیخته است.

جالب توجه آنکه علیرغم گزارش‌های متداول درباره کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری، در این مطالعه افزایش غلظت کلروفیل در گونه‌های بررسی‌شده احتمالاً به دلیل استراتژی تطابقی گیاهان شورپسند (هالوفیت) برای حفظ کارایی فتوسیستم‌ها و ثبات فرایند فتوسنتز در شرایط تنش است. در گونه‌های شورپسند، کوچک‌شدن سلول‌ها تحت تنش ممکن است به افزایش غلظت کلروپلاست و در نتیجه افزایش کلروفیل در واحد سطح برگ منجر شود (Aghdam and Jalili, 2023; Aycan et al., 2021). در تاغ، ثبات کلروفیل احتمالاً به دلیل تجمع اسید آسکوربیک و مکانیسم‌های خاص مانند تغییرات در ساختار سلولی، تغییر در نسبت‌های یون‌ها و تولید متابولیت‌های ثانویه که نقش محافظتی در جلوگیری از تخریب کلروفیل دارد، ایجاد شده است (Meng et al., 2018). از منظر بیوشیمیایی، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ ممکن است با کاهش مساحت برگ (ناشی از اثرات سمیت یون سدیم) و درنتیجه تجمع متراکم کلروپلاست‌ها در سلول‌های کوچک‌شده مرتبط باشد (Asch et al., 2000). علاوه بر این، نقش عناصر ریزمغذی مانند آهن و منیزیم به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیم‌های کلیدی در مسیر بیوسنتز کلروفیل (مانند کیلاتاز و مگنزیوم کلاتاز) قابل توجه است. با این حال، در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

غلظت‌های بسیار بالای شوری، رقابت یونی (به‌ویژه بین سدیم و پتاسیم) و تغییرات pH ممکن است دسترسی به این عناصر را محدود کرده و اثرات بازدارنده بر سنتز کلروفیل ایجاد کند (Neocleous and Vasilakakis, 2007). یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین که افزایش غلظت کلروفیل را در گونه‌های مقاوم به شوری تحت سطوح متوسط شوری گزارش کرده‌اند، همسو است (Mansour et al., 2020). این پدیده نشان می‌دهد که پاسخ گیاهان به شوری نه تنها به شدت تنش، بلکه به ویژگی‌های ژنتیکی و اکوفیزیولوژیک هر گونه وابسته است (Alghamdi, 2024).

نتایج نشان داد که گیاه قره‌داغ افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در برگ‌ها با افزایش شوری تا ۴۸ دسی‌زیمنس بر متررا نشان داد. با این حال، در مقایسه تیمار شاهد و تیمار شوری ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر ، هیچ تفاوت معنی‌داری در محتوای پتاسیم برگ مشاهده نشد. از سوی دیگر، گیاه تاغ در سطوح شوری ۸ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر افزایش معنی‌داری در غلظت پتاسیم برگ را نسبت به شاهد نشان داد؛ ولی تیمارهای شوری ۴۸ و ۷۲ دسی‌زیمنس بر متر به کاهش معنی‌داری در محتوای پتاسیم برگ نسبت به تیمار شاهد منجر شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها برای گیاه مارونگ عدم وجود تفاوت معنی‌دار در غلظت پتاسیم برگ بین تیمار شاهد و هیچ‌یک از سطوح شوری را مشخص کرد. تجمع انتخابی یون‌های معدنی، به‌ویژه پتاسیم K^+، در سیتوپلاسم و واکوئل‌های گیاهان هالوفیت، به عنوان یک مکانیسم سازشی کلیدی برای بهبود پتانسیل اسمزی و تسهیل جذب آب از خاک‌های شور در نظر گرفته می‌شود (Gupta and Huang, 2014). در شرایط تنش شوری، حفظ جذب فعال پتاسیم و محدود کردن جذب و انتقال سدیم Na^+ به اندام‌های هوایی، در کنار حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در برگ‌ها، از شاخص‌های اصلی فیزیولوژیک تحمل به شوری به شمار می‌روند (Nadeem et al., 2013; Munns and James,2003). پتاسیم به عنوان یک اسمولیت غیرآلی ضروری، علاوه بر نقش کلیدی در تنظیم اسمزی طی توسعه سلولی و عملکرد روزنه‌ها، به عنوان کوفاکتور در فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین و فتوسنتز نیز عمل می‌کند (Amini Hajiabadi et al., 2021; Polash *et al.*, 2019). در عین حال، تجمع K^+ نسبت به سنتز اسمولیت‌های آلی از نظر انرژی مقرون‌به‌صرفه‌تر است (Veraplakorn et al., 2013). افزایش غلظت K^+ در برگ گیاهان متحمل به شوری (همانند الگوی مشاهده شده در قره‌داغ تا ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر و تاغ در سطوح پایین‌تر شوری) می‌تواند به عنوان یک پاسخ سازشی برای حفظ پتانسیل تورگر در سلول‌های نگهبان روزنه و عملکرد مناسب آن‌ها در نظر گرفته شود (Fallahifar, 2017). همچنین، مهار انتقال Na^+ به شاخساره و حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در برگ، برای جلوگیری از سمیت یونی و اختلال در فرآیندهای متابولیکی حیاتی ضروری است (Munns and James, 2003). کاهش K^+ در سطوح بالای شوری در گیاه تاغ (۴۸ و ۷۲ دسی زیمنس بر متر) احتمالاً نشان‌دهنده اختلال در این مکانیسم‌های تحمل و آغاز خسارت ناشی از شوری است. تفاوت‌های مشاهده شده در الگوی تجمع پتاسیم بین گونه‌های مورد مطالعه (قره‌داغ، تاغ، مارونگ) بر اهمیت تنوع در استراتژی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تحمل به شوری در گیاهان هالوفیت تأکید دارد. پاسخ خنثی مارونگ به شوری در زمینه پتاسیم، نشان‌دهنده وجود سازوکارهای متفاوت تحمل در این گونه می‌باشد. در نهایت، گزارش‌هایی مبنی بر افزایش غلظت هر دو یون K^+ و Na^+ تحت تنش شوری وجود دارد (Rad et al., 2014).

با استناد به یافته‌های پژوهش حاضر و مطالعات پیشین، نتایج مربوط به محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری و گردوغبار به‌وضوح قابل تبیین است. نخست، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که تفاوت آماری معناداری در RWC بین تیمارهای مختلف شوری وجود ندارد. اگرچه در گونه‌های قره‌داغ و مارونگ RWC اختلاف معناداری نداشت، اما هر دو گونه نسبت به گونه تاغ دارای RWC به‌طور معناداری بالاتری بودند. این سطوح بالاتر RWC در قره‌داغ و مارونگ ممکن است ناشی از سازوکارهای فیزیولوژیکی مؤثر در حفظ تعادل آبی باشد، مانند کاهش اتلاف آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها و یا افزایش جذب آب به واسطه توسعه سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر (Rashidi et al., 2012)، همچنین، ذرات گردوغبار با افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های گیاهی، موجب خروج آب و عناصر غذایی محلول از برگ‌ها شده و می‌تواند به پیری زودرس بافت‌های گیاهی بینجامد (Taheri Analojeh et al., 2016; Najafi Zilaie et al., 2022). در این راستا، گیاهان با RWC بالاتر، به‌دلیل ذخیره آبی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

بیشتر، از مقاومت بیشتری در برابر اثرات مضر آلاینده‌های محیطی همچون گردوغبار برخوردارند (Bahadoran et al., 2019). این یافته‌ها با مطالعاتی که نشان‌دهنده کاهش RWC تحت تیمار گردوغبار هستند، همخوانی دارد (Najafi Zilaie et al., 2023a,b). به‌علاوه، کاهش RWC در گونه‌های گیاهی تحت تنش، به‌دلیل محدودیت دسترسی به آب و افزایش تبخیر و تعرق، همراه با کمبود آب قابل جذب در خاک (Swami et al., 2004) و ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای (Kaya et al., 2006) مشاهده می‌شود. این کاهش در RWC نشان‌دهنده افت تورژسانس سلولی است که در شرایط شوری به دلیل منفی شدن پتانسیل آبی خاک، گیاهان برای مقابله با آن، پتانسیل اسمزی درون‌سلولی خود را از طریق تجمع مواد محلول کاهش می‌دهند (Najafi Zilaie et al., 2023b). در نهایت، RWC به‌عنوان معیاری اساسی در حفظ هموستازی فیزیولوژیکی گیاهان تحت تنش عمل کرده و افزایش آن به‌صورت مستقیم با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مرتبط است (Yadav and Pandey, 2020).

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که افزایش سطح شوری تا ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر، منجر به افزایش معنادار محتوای فسفر در گونه‌های قره‌داغ و مارونگ گردیده است؛ به‌طوری‌که حداکثر غلظت فسفر در این گیاهان به‌ترتیب در سطوح شوری ۴۸ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در مقابل، در گونه تاغ، افزایش محتوای فسفر تنها در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد (بدون شوری) ثبت گردید و در سطوح بالاتر شوری، کاهش معناداری نسبت به شاهد مشاهده شد. فسفر به‌عنوان یکی از عناصر ضروری ماکرو، نقش حیاتی در رشد و ترمیم گیاهان ایفا می‌کند و به‌دلیل مشارکت در ذخیره و انتقال انرژی، تقسیم سلولی و تشکیل اسیدهای نوکلئیک (RNA و DNA) ، به‌عنوان یک ماده انرژی‌زا شناخته می‌شود (Etesami, 2020). تغییرات در محتوای فسفر گیاهی می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد فتوسنتز (Frydenvang et al., 2015) و به‌طور غیرمستقیم بر سنتز پروتئین تأثیرگذار باشد. برهمکنش بین تنش شوری و تغذیه فسفر در گیاهان بسیار پیچیده است و به‌شدت تحت تأثیر عواملی نظیر گونه گیاهی، مرحله رشد، ترکیب یونی محلول خاک، سطوح شوری و غلظت فسفر قابل دسترس در محیط ریشه قرار دارد (Tang et al., 2019). بنابراین، بسته به شرایط آزمایش و ویژگی‌های گیاه، نتایج متفاوتی قابل انتظار است (Ilangumaran and Smith, 2017). همچنین، افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، به‌ویژه در اندام‌های هوایی، می‌تواند از طریق تعدیل تعادل یونی و کاهش تجمع یون‌های سدیم، به عنوان سازوکاری کلیدی برای تحمل شوری و رشد گیاه در محیط‌های شور و خشک عمل کند (Amini Hajiabadi et al., 2021). یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تنش شوری منجر به افزایش محتوای فسفر در برگ‌های گونه‌های مورد بررسی گردید؛ این افزایش می‌تواند به‌دلیل کاهش انتقال مجدد فسفر به سایر اندام‌ها یا دریافت فسفر از بخش‌های دیگر گیاه باشد (Gibson, 1988).

نتایج پژوهش نشان داد که غلظت نیتروژن در سه گونه گیاهی قره‌داغ، تاغ و مارونگ تحت تأثیر تنش شوری به‌صورت غیریکنواخت تغییر می‌کند؛ به‌طوری که در گونه قره‌داغ، با افزایش سطوح شوری، به‌جز در سطح ۲۴ دسی‌زیمنس، درصد نیتروژن افزایش یافت. در مقابل، گونه تاغ روند افزایشی مشابهی را نشان داد و حداکثر غلظت نیتروژن در بالاترین سطح شوری (۲۴ دسی‌زیمنس) مشاهده شد. برخلاف این دو گونه، در مارونگ، افزایش شوری منجر به کاهش معنی‌دار درصد نیتروژن گردید. نیتروژن به‌عنوان جزء اصلی پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل، نقش حیاتی در متابولیسم و رشد گیاه ایفا می‌کند (Wang et al., 2024; Ortigosa *et al.*, 2020; Shilev, 2020) و کمبود آن موجب زردی برگ‌ها، اختلال در فتوسنتز و نهایتاً توقف رشد می‌گردد (Wang et al., 2021). هرچند نیتروژن معدنی (نیترات) در ساقه تجمع می‌یابد، اما فرم آلی آن (پروتئین‌ها) بخش عمده نیتروژن گیاه را تشکیل می‌دهد (Moreau et al., 2019). افزایش جذب نیتروژن ممکن است ناشی از بهبود کارایی جذب عناصر کم‌مصرف مانند فسفر و پتاسیم تحت تنش شوری باشد، به‌طوری که این عناصر با تسهیل فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن، تجمع آن را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، تجمع ترکیبات نیتروژندار مانند پرولین به‌عنوان اسمولیت‌های سازگارکننده ممکن است سهمی در افزایش غلظت کل نیتروژن داشته باشد (Ashraf, 2004). برخی گیاهان نیز با حفظ جذب پتاسیم K^+ و کاهش ورود سدیم Na^+، تعادل یونی را حفظ می‌کنند و این مکانیسم با افزایش فعالیت ناقلین نیترات، جذب نیتروژن را تقویت

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

می‌نماید (Schachtman & Munns, 1992). از سوی دیگر، شوری با ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی، فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (مانند ریزوبیوم) را مهار کرده و این امر منجر به کاهش سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌گردد (Zahran, 1999). همچنین، شوری نفوذ اکسیژن به گره‌های ریشه را محدود کرده و فعالیت آنزیم نیتروژناز را مختل می‌کند که این آنزیم نقش کلیدی در تثبیت نیتروژن هوا دارد (Sunita et al., 2019). در شرایط تنش، گیاهان منابع را به سمت مکانیسم‌های دفاعی مانند سنتز پرولین هدایت می‌کنند که ممکن است به کاهش ذخیره نیتروژن در بافت‌های رویشی منجر شود (Ashraf & Harris, 2013).

با توجه به تبدیل پدیده گرد و غبار نمکی به چالشی جدی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و تأثیرات قابل توجه آن بر فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان، همچنین با توجه به گسترش مداوم پهنه‌های منابع آب و خاک شور در ایران، ضرورت انجام پژوهش‌های جامع‌تر در زمینه اثرات ریزگردهای نمکی بر گیاهان متحمل به شوری بیش از پیش آشکار می‌گردد. در این راستا، یکی از راهبردهای اساسی و ضروری در مدیریت پایدار و حفاظت از اکوسیستم‌های مناطق متأثر از ریزگردهای نمکی، به‌کارگیری گونه‌های شورپسند (هالوفیت) مقاوم است که لزوم انجام مطالعات تخصصی در این حوزه را پررنگ می‌سازد. بدین منظور، پیشنهاد می‌شود پس از مرحله شناسایی و ارزیابی گیاهان مقاوم به ریزگردهای نمکی، از تکنیک‌های کنترل بیولوژیکی، به‌ویژه کشت هدفمند این گونه‌ها در کانون‌ها و عرصه‌های مستعد تولید گرد و غبار نمکی، بهره گرفته شود. اجرای این راهکار ضمن ایجاد کمربند سبز حفاظتی (بادشکن زیستی)، به‌طور همزمان اهداف کنترل و کاهش پدیده ریزگردهای نمکی، کاهش خطر فرسایش بادی و کمک به بهبود کیفیت هوا از طریق تثبیت ذرات را محقق می‌سازد.

منابع

Abuduwaili, J., Zhaoyong, Z., Fengqing, J., Dongwei, L. 2015. The detrimental impacts of salt dust accumulation on cotton leaf photosynthesis and cellular physiological characteristics in the Ebinur Basin, Northwest China. PLOS ONE, 10(5): e0124546. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124546

Aghdam, M. Z., Jalili, F. 2023. Influence of salinity on chlorophyll concentrations in 20 wheat genotypes with varying sensitivity and tolerance. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 29(4): 669–674.

Akram, N. A., Shafiq, F., Ashraf, M. 2017. Ascorbic acid as a potential oxidant scavenger and its significance in plant growth and abiotic stress resilience. Frontiers in Plant Science, 8: 613. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613

Al-Farraj, A. 2008. Development of desert pavement along the shorelines of Lake Eyre (South), South Australia. Geomorphology, 100(1): 154–163. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.10.016

Alghamdi, S. A. 2024. Comprehensive review on the effects of drought and salinity on plant growth. SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 56(6): 2331-2340.

Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M. H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., Dolati, A. 2021. Exploring the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to enhance growth and yield of wheat under salinity stress. Plant Physiology and Biochemistry, 163: 139-153. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.059

Amujiri, A. N., Nweze, A. E., Ogboji, L. O., Ikegbunam, C. N., Umejiaku, C. M., Okwagbe, O. E., Ojua, E. O., Osayi, E. E. 2024. Assessment of Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Expected Performance Index (EPI) of plants along Nsukka, Enugu Road, Nigeria. Asian Journal of Biology, 20(1): 113–129. https://doi.org/10.9734/ajob/2024/v20i12465

Arnon, A. N. 1967. Procedure for chlorophyll extraction in plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.

Asch, F., Dingkuhn, M., Dörffling, K., Miezan, K. 2000. The leaf K/Na ratio as a predictor of salinity-induced yield loss in irrigated rice. Euphytica, 113(2): 109-118. https://doi.org/10.1023/A:1003981313160

Ashraf, M. 2004. Key physiological selection criteria for plant salt tolerance. Flora, 199(5): 361-376. https://doi.org/10.1078/0367-2530-00165

Ashraf, M., Harris, P. J. C. 2013. Overview of photosynthesis in stressful environments. Photosynthetica, 51(2): 163–190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6

Aycan, M., Baslam, M., Asiloglu, R., Mitsui, T., Yildiz, M. 2021. Development of new bread wheat (Triticum aestivum L.) genotypes with high salt tolerance and insights into their tolerance mechanisms. Plant Physiology and Biochemistry, 166: 314-327. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.042

Bahadoran, M., Mortazavi, S. N., Hajizadeh, Y. 2019. Assessment of anticipated performance index, biochemical, and physiological parameters of Cupressus arizonica Greene and Juniperus excelsa Bieb for urban greenbelt development and air pollution biomonitoring. International Journal of Phytoremediation, 21(5): 496–502. https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1537251

Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S. H., Pourhashemi, S., Berndtsson, R. 2019. The desiccation of Lake Urmia: A new source of regional

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

mineral content, and gas exchange in broad bean and pea plants. Biologia Plantarum, 36(1): 75-81. https://doi.org/10.1007/BF02921269

Ilangumaran, G., Smith, D. L. 2017. The role of plant growth-promoting rhizobacteria in mitigating salinity stress: A systems biology perspective. Frontiers in Plant Science, 8: 1768. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768

Kaya, C., Tuna, A. L., Higgs, D. 2006. The effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize under water stress. Journal of Plant Nutrition, 29(8): 1469-1480. https://doi.org/10.1080/01904160600837238

Khazaei, Z. 2021. Functional analysis of Seidlitzia rosmarinus, Nitraria schoberi L., Haloxylon aphyllum, Zygophyllum eurypterum, and Ephedra major desert species. In Proceedings of the 1st Scientific Research Conference on Urban Planning, Civil Engineering, Architecture and Environment (pp. 1-7). [Conference Paper]

Khusfi, Z. E., Khosroshahi, M., Roustaei, F., Mirakbari, M. 2020. Spatial and seasonal analysis of sand-dust events and their correlation with atmospheric conditions and vegetation cover in central Iran's semi-arid regions. Geoderma, 365: Article 114225. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114225

Kochert, G. 1978. Determination of carbohydrates using the phenol-sulfuric acid method. In J. A. Hellebust J. S. Craigie (Eds.), Handbook of phycological methods: Physiological and biochemical methods (pp. 95-97). Cambridge University Press.

Kwon, K. J., Odsuren, U., Kim, S. Y., Yang, J. C., Park, B. J. 2021. Comparison of particulate matter removal efficiency of 11 herbaceous landscape plants. Journal of People Plants and Environment, 24(3): 267–275. https://doi.org/10.11628/ksppe.2021.24.3.267

Kwon, K. J., Urrintuya, O., Kim, S. Y., Yang, J. C., Sung, J. W., Park, B. J. 2020. Assessment of the particulate matter removal potential of 12 woody plant species for landscape planting. Journal of People Plants and Environment, 23(6): 647–654. https://doi.org/10.11628/ksppe.2020.23.6.647

Liu, D.W. 2010. Impact of saline dust on the physiological properties of plants in the Ebinur Lake region. Arid Zone Research, 26(4): 533–542. https://doi.org/10.3724/SP.J.1148.2009.00533

Luis, M., Igreja, A., Casimiro, A. P., Joao, S. P. 2008. Carbon dioxide exchange above Mediterranean C3/C4 grasslands during two climatologically distinct years. Global Change Biology, 14(3): 539-555. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01507.x

Mansour, E., Moustafa, E. S. A., Desoky, E.-S. M., Ali, M. M. A., Yasin, M. A. T., Attia, A., Alsuhaibani, N., Tahir, M. U., El-Hendawy, S. 2020. Comprehensive evaluation for identifying salt tolerance in bread wheat genotypes under real saline field conditions. Plants, 9(10): 1324. https://doi.org/10.3390/plants9101324

dust. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2950342

Bremner, J. M., Mulvaney, C. S. 1982. Total nitrogen determination. In A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney (Eds.), Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties (2nd ed., pp. 595-624). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

Elloumi, N., Mezghani, I., Rouina, B. B., Ben Abdallah, F. 2018. A comparative analysis of the air pollution tolerance index (APTI) of various fruit plant species in the industrial area of Sfax, Tunisia. Pollution, 4(3): 439-446. https://doi.org/10.22059/poll.2018.245746.350

Etesami, H. 2020. Improving phosphorus fertilizer efficiency through microorganisms. In R. K. Meena (Ed.), Nutrient dynamics for sustainable crop production (pp. 215–245). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_8

Fallahifar, F., Mosleh Arani, A., Tabandeh Saravi, A., Dashti, H. 2017. Variability in pigments, proline, soluble sugars, and ion content across three populations of Haloxylon ammodendron. Desert Ecosystem Engineering Journal, 6(14): 1-10.

Farieri, E., Toscano, S., Ferrante, A., Romano, D. 2016. Identification of ornamental shrubs tolerant to saline aerosols for urban and peri-urban greening initiatives. Urban Forestry & Urban Greening, 18(3): 9–18. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.011

Frydenvang, J., van Maarschalkerweerd, M., Carstensen, A., Mundus, S., Schmidt, S. B., Pedas, P. R., Laursen, K. H., Schjoerring, J. K., Husted, S. 2015. Sensitive detection of phosphorus deficiency in plants using chlorophyll a fluorescence. Plant Physiology, 169(1): 353–361. https://doi.org/10.1104/pp.15.00823

Ghaeminia, A. M., Hakimzadeh Ardakani, M. A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Dehghani, F. 2022. Seasonal variations in salt deposition from dust in northern Yazd-Ardakan plain. Desert Ecosystem Engineering Journal, 7(20): 33-44. https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.20.11

Gibson, T. S. 1988. Carbohydrate metabolism and interactions between phosphorus and salinity in wheat (Triticum aestivum L.). Plant and Soil, 111(1): 25-35. https://doi.org/10.1007/BF02182033

Goudarzi, G., Shirmardi, M., Naimabadi, A., Ghadiri, A., Sajedifar, J. 2019. Chemical and organic characteristics of PM2.5 particles and them in vitro cytotoxic effects on lung cells: A study on Middle Eastern dust storms in Ahvaz, Iran. Science of the Total Environment, 655: 434–445. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.153

Gupta, B., Huang, B. 2014. Mechanisms underlying salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics, 2014: Article 701596. https://doi.org/10.1155/2014/701596

Hamada, A. M., El-Enany, A. E. 1994. The impact of NaCl salinity on growth, pigment composition,

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

282-289. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.033

Ortigosa, F., Valderrama-Martín, J. M., Urbano-Gámez, J. A., García-Martín, M. L., Ávila, C., Cánovas, F. M., Cañas, R. A. 2020. The form of inorganic nitrogen influences nutrient allocation and metabolic responses in maritime pine seedlings. Plants, 9(4): 481. https://doi.org/10.3390/plants9040481

Polash, M. A. S., Sakil, M. A., Hossain, M. A. 2019. Plant responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A comprehensive review. Tropical Plant Research, 6(2): 250–274. https://doi.org/10.22271/tpr.2019.v6.i2.033

Rad, M. H., Soltani, M., Zare, M., Tagamolian, M. 2014. The effects of drought stress on physiological and morphological traits in various populations of black saxaul (*Haloxylon aphyllum*). Iranian Journal of Range and Desert Research, 21(4): 720-733.

Rajput, V. D., Harish, Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., Meena, M., Gour, V. S., Minkina, T., Sushkova, S., Mandzhieva, S. 2021. Recent advances in enzymatic antioxidant defense mechanisms in plants, particularly regarding abiotic stress. Biology, 10(4): 267. https://doi.org/10.3390/biology10040267

Rashidi, Sh., Shirani Rad, A. H., Ayene Band, A., Javidfar, F., Lak, S. H. 2012. Investigating the relationship between drought stress tolerance and physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). Annals of Biological Research, 3(12): 564-569.

Rasool, A., Muhammad, S., Tayyab, M., et al. 2025. Ecological evaluation of dominant roadside plants through APTI and API for sustainable green belt development in cosmopolitan city (Lahore) of Pakistan. Scientific Reports, 15(1): 10496. https://doi.org/10.1038/s41598-024-76882-0

Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P. J., Downing, T. E., Dowlatabadi, H., Fernández, R. J., Herrick, J. E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F. T., Ayarza, M., Walker, B. 2007. Addressing global desertification: Establishing a scientific basis for dryland development. Science, 316(5826): 847–851. https://doi.org/10.1126/science.1131634

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two drought-resistant wheat genotypes. Crop Science, 30(1): 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Sapkota, S., Shrestha, S. M. 2024. Assessment of air pollution tolerance index and anticipated performance index of roadside plants used for greenbelt development in the Kathmandu Valley, Nepal. Environmental Challenges, 14: 100818.

Schachtman, D. P., Munns, R. 1992. Sodium accumulation in the leaves of Triticum species with

Meng, X., Zhou, J., Sui, N. 2018. Current understanding and recent advances in the mechanisms of salt tolerance in halophytes. Open Life Sciences, 13(1): 149–154. https://doi.org/10.1515/biol-2018-0020

Moghim, S., Ramezanpoor, S. 2019. Characterization of aerosol types over the Lake Urmia Basin. E3S Web of Conferences, 99: Article 01006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199901006

Molnár, V. É., Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., Szabó, S. 2020. Vegetation stress induced by air pollution – Utilizing the air pollution tolerance index as a rapid assessment tool for urban health. Ecological Indicators, 113: Article 106234. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106234

Moreau, D., Bardgett, R. D., Finlay, R. D., Jones, D. L., Philippot, L. 2019. A plant-centric view on nitrogen cycling within the rhizosphere. Functional Ecology, 33(4): 540–552. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303

Munns, R., James, R. A. 2003. Methods for screening salinity tolerance: A case study involving tetraploid wheat. Plant and Soil, 253(1): 201–218. https://doi.org/10.1023/A:1024553303144

Nadeem, S. M., Zahir, Z. A., Naveed, M., Nawaz, S. 2013. Alleviating the adverse effects of salinity on wheat growth and yield through plant growth-promoting rhizobacteria in naturally saline environments. Annals of Microbiology, 63(1): 225–232. https://doi.org/10.1007/s13213-012-0465-0

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H. 2023a. Assessment of air pollution (dust) tolerance index in three desert species: Seidlitzia rosmarinus, Haloxylon aphyllum, and Nitraria schoberi under salinity stress. Environmental Monitoring and Assessment, 195(7): 838. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11391-7

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H. 2023b. The significance of plant growth-promoting rhizobacteria in enhancing air pollution tolerance index (APTI) for greenbelt plants to mitigate dust-related issues. Frontiers in Plant Science, 14: Article 1098368. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1098368

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M. 2022a. Halotolerant rhizobacteria improve salinity and dust tolerance in the desert halophyte Nitraria schoberi, enhancing its physiological and nutritional status. Applied Soil Ecology, 179: Article 104578. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104578

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M. 2022b. Enhanced salinity and dust stress tolerance in the desert halophyte Haloxylon aphyllum through halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria. Frontiers in Plant Science, 13: Article 948260. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.948260

Neocleous, D., Vasilakakis, M. 2007. The impact of NaCl stress on red raspberry (Rubus idaeus L. 'Autumn Bliss'). Scientia Horticulturae, 112(3):

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]

Part 7: Plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University.

Wang, Q., Li, S., Li, J., Huang, D. 2024. The roles and utilization of nitrogen in plants. Forests, 15(7): 1191. https://doi.org/10.3390/f15071191

Wang, R., Wang, C., Feng, Q., Liou, R. M., Lin, Y. F. 2021. The application of a biological inoculant containing salt-tolerant bacteria to stimulate plant growth under various saline soil conditions. Journal of Microbiology and Biotechnology, 31(3): 398–407. https://doi.org/10.4014/jmb.2011.11006

Yadav, R., Pandey, P. 2020. Evaluation of air pollution tolerance index (APTI) and anticipated performance index (API) of roadside plants for developing greenbelts in urban Bathinda City, Punjab, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 105: 906–914. https://doi.org/10.1007/s00128-020-03034-1

Zahran, H. H. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under extreme conditions in arid climates. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 63(4): 968–989. https://doi.org/10.1128/MMBR.63.4.968-989.1999

Zhao, X., Guo, P., Yang, Y., Peng, H. 2021. The impact of air pollution on the physiological characteristics of Ligustrum lucidum Ait. leaves in Luoyang, China. Environmental Monitoring and Assessment, 193(8): 530. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09311-8

Zia-Khan, S., Spreer, W., Yang, P., Zhao, X., Othmanli, H., He, X., Müller, J. 2015. The effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in northwest China. Water, 7(1): 116-131. https://doi.org/10.3390/w7010116

Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M., Dolati, A. 2022. Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria mitigate salinity and dust stress, enhancing forage yield in the desert halophyte Seidlitzia rosmarinus. Environmental and Experimental Botany, 201: Article 104952. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104952

differing salt tolerance. Australian Journal of Plant Physiology, 19(3): 331–340. https://doi.org/10.1071/PP9920331

Shilev, S. 2020. Plant growth-promoting bacteria as mitigators of soil salinity stress in plants. Applied Sciences, 10(20): 7326. https://doi.org/10.3390/app10207326

Smirnoff, N. 1996. The role and metabolism of ascorbic acid in plants. Annals of Botany, 78(6): 661-669. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0175

Sunita, K., Srivastava, M., Abbasi, P., Muruganandam, M. 2019. The effect of salinity on growth and N2-fixation in Melilotus indicus. Journal of Plant Science and Research, 35(1): 109-119.

Swami, A., Bhatt, D., Joshi, P. C. 2004. Impact of vehicular pollution on Sal (Shorea robusta) and Rohini (Mallotus philippensis) in Asarori, Dehradun. Himalayan Journal of Environment Zoology, 18(1): 57-61.

Taheri Analojeh, A., Azimzadeh, H. R., Mosleh Arani, A., Sodaiezadeh, H. 2016. Comparative study of the short-term effects of dust on the physiological characteristics of three species: Pinus eldarica, Cupressus sempervirens, and Ligustrum ovalifolium. Arabian Journal of Geosciences, 9(4): 290. https://doi.org/10.1007/s12517-015-2290-9

Tang, H., Niu, L., Wei, J., Chen, X., Chen, Y. 2019. Phosphorus limitation enhances salt tolerance in maize by increasing tissue mass density, osmolyte accumulation, and inhibiting Na+ uptake. Frontiers in Plant Science, 10: 856. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00856

Veraplakorn, V., Nanakorn, M., Kaveeta, L., Suwanwong, S., Bennett, I. J. 2013. Ion accumulation variations as indicators of salt tolerance in seedlings and callus of Stylosanthes guianensis. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 25(2): 106-115. https://doi.org/10.1590/S2197-00252013000200005

Waling, I., van Vark, W., Houba, V. J. G., van der Lee, J. J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-14]