DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2026.4308

مقایسه خصوصیات فیزیولوژیک-اکولوژیک چندین گونه درختی در فضای سبز شهر زاهدان (مقالۀ پژوهشی)

۱ - محمدرضا وظیفه‌شناس*، عضو هیات علمی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.
Asman2000@gmail.com
۲ - مهدی خیاط، عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳ - فرحناز گرگیج، دانشجوی گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۴
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۰

چکیده

انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط محیطی از مهم‌ترین عوامل موفقیت در توسعه و پایداری فضای سبز شهری محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی توان اکوفیزیولوژیکی گونه‌های مختلف در شرایط فضای سبز زاهدان، تبادلات گازی، فلورسانس کلروفیل، وضعیت تغذیه معدنی و دیگر شاخص‌های فیزیولوژیکی در چهار گونه درختی شامل انار، اقاقیا، نارون و زبان‌گنجشک طی سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انار و زبان‌گنجشک به‌طور معنی‌داری دارای بیشترین نرخ فتوسنتز، غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه‌ای و مقادیر بالاتر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ بودند که بیانگر کارایی بیشتر دستگاه فتوسنتزی و تحمل بالاتر این گونه‌ها به شرایط محیطی است. در مقابل، نارون کمترین میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و شاخص کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ را دارد که نشان از حساسیت بیشتر آن به تنش‌های محیطی بود. بررسی عناصر غذایی برگ نشان داد که انار و زبان‌گنجشک دارای بیشترین غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم و کمترین تجمع سدیم و کلر بودند، درحالی‌که نارون بیشترین تجمع یون‌های سدیم و کلر و کمترین نسبت پتاسیم به سدیم را داشت. این نتایج بیانگر توانایی بیشتر انار و زبان‌گنجشک در حفظ تعادل یونی و مقابله با تنش‌های ناشی از شوری و شرایط نامساعد شهری است. همچنین، این دو گونه بالاترین محتوای نسبی آب برگ و کمترین دمای برگ را نشان دادند، در حالی‌که نارون دارای کمترین محتوای آب برگ، بیشترین نشت الکترولیت و بالاترین دمای برگ بود. در مجموع، نتایج پژوهش نشان داد که انار و زبان‌گنجشک از نظر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی، وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی دارای سازگاری بیشتری با شرایط فضای سبز شهری زاهدان هستند و می‌توانند به‌عنوان گونه‌های مناسب‌تر برای توسعه پایدار فضای سبز معرفی شوند.

واژگان کلیدی: دمای برگ، عناصر مغذی، فتوسنتز، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

فضاهای سبز شهری نقش مهمی در بهبود کیفیت محیط زیست، کاهش اثر جزیره حرارتی شهری، جذب آلاینده‌ها و ارتقای سلامت شهروندان ایفا می‌کنند. موفقیت این فضاها تا حد زیادی به انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط محیطی و تنش‌های رایج شهری وابسته است [۲۰]. در راستای حفظ درختان در شرایط کاشت در کشور و با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور و کاهش نزولات آسمانی در سال‌های اخیر، بهینه‌سازی و صرفه‌جویی هر چه بیشتر مصرف آب باید مدنظر قرار گیرد [۲۴]. در محیط‌های شهری، گیاهان به‌طور هم‌زمان در معرض تنش‌هایی نظیر کمبود آب، شوری خاک، دمای بالا و آلودگی هوا قرار دارند که می‌تواند بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد آن‌ها تأثیر قابل توجهی بگذارد [۱۰].

بررسی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی گیاهان از جمله تبادلات گازی، هدایت روزنه‌ای، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲[1]، محتوای نسبی آب برگ و وضعیت تغذیه‌ای، اطلاعات ارزشمندی درباره سازوکارهای سازگاری گیاهان با شرایط محیطی فراهم می‌کند [۱۵]. نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی عملکرد گیاه تحت تنش‌های محیطی است و کاهش آنها معمولاً نشان‌دهنده محدودیت در جذب دی‌اکسیدکربن و تولید ماده خشک است [۹]. همچنین نسبت پتاسیم به سدیم[2] به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم تحمل شوری شناخته شده و توانایی گیاه در حفظ این نسبت با پایداری عملکرد فیزیولوژیکی ارتباط مستقیم دارد [۱۷]. محتوای نسبی آب برگ و میزان نشت الکترولیت به‌ترتیب به‌عنوان شاخص‌های وضعیت آبی و یکپارچگی غشاهای سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرند و تغییرات آنها می‌تواند بیانگر شدت آسیب ناشی از تنش‌های محیطی باشد [۴]. در میان گونه‌های مورد استفاده در فضای سبز شهر زاهدان، درختان انار (*Punica granatum* L.)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.)، نارون (*Ulmus minor* L.) و زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.) اهمیت ویژه‌ای، دارند، اما اطلاعات مقایسه‌ای درباره‌ی پاسخ‌های اکوفیزیولوژیکی این گونه‌ها در شرایط فضای سبز شهری محدود است. گیاه انار جزو درختان میوه مناطق معتدل تا نیمه‌گرمسیری به‌حساب می‌آید و با اقلیم‌های دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم سازگار است. این گیاه در نواحی سرد، خزان‌پذیر و در مناطقی که زمستان ملایم دارند، همیشه سبز است [۲۳]. سایر درختان انتخابی نیز از گونه‌های فضای سبز از مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف مقایسه ویژگی‌های تبادلات گازی، کارایی فتوسنتزی، وضعیت تغذیه‌ای و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل تنش در این چهار گونه در شرایط فضای سبز شهری زاهدان انجام شد تا گونه‌های مناسب‌تر برای توسعه پایدار فضای سبز معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر روی درختان انار، اقاقیا، زبان‌گنجشک و نارون با سن بین ۱۰ تا ۱۵ سال، که در شرایط فضای باز و فضای سبز شهر زاهدان (شکل ۱)، با مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۸۵ دقیقه طول شرقی کشت شده‌بودند (پارک خانواده در بلوار معلم زاهدان، تقاطع بلوار معلم، معلم ۱۰)، طی فصل‌های رشد سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد.

شهر زاهدان دارای اقلیم بیابانی گرم است که با تابستان‌های بسیار گرم مشخص می‌شود؛ به‌طوری‌که به‌طور میانگین در هر سال ۸۴/۷ روز، دمای بیشینه بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس، معادل ۹۵ درجه فارنهایت، دارد که از این تعداد، حدود ۷ روز دمای بیشینه از ۴۰ درجه سلسیوس، معادل ۱۰۴ درجه فارنهایت، فراتر می‌رود. زمستان‌ها نسبتاً سرد هستند، به‌گونه‌ای که دمای کمینه در حدود ۴۳/۷ روز در سال به کمتر از صفر درجه سلسیوس، معادل ۳۲ درجه فارنهایت، می‌رسد. این منطقه همچنین در حدود ۸۱/۳ روز در سال با پدیده غبار یا مه‌دود مواجه است.

خاک منطقه لومی شنی با هدایت الکتریکی عصاره اشباع[3] برابر با ۴/۵۵ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر با ۸/۶۲، ماده آلی[4] معادل ۰/۵ درصد، نیتروژن کل ۰/۱۶ درصد، فسفر ۰/۱۰ درصد، پتاسیم ۰/۴۲ درصد، کلسیم ۰/۳۲درصد، منیزیم ۰/۷۱درصد، بی‌کربنات ۰/۶۴ درصد، سدیم ۰/۵۸ درصد و کلر ۰/۶۱ بود. آب شیرین آبیاری دارای هدایت الکتریکی عصاره اشباع برابر با ۱/۱۳ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر با ۷/۸۶، نیتروژن کل ۴/۵ قسمت در میلیون، فسفر ۳/۱ قسمت در میلیون، کلسیم ۹۸۲ قسمت در

1. Fv/Fm :Fv مخفف Variable Fluorescence (فلورسانس متغیر) Fm مخفف Maximum Fluorescence (حداکثر فلورسانس) است و در حالت تاریکی مطلق است.
2. K/Na
3. ECe
4. OM

میلیون، منیزیم ۱۵۲۰ قسمت در میلیون، سولفات ۲ قسمت در میلیون، بور ۵ قسمت در میلیون، روی ۵/۱ قسمت در میلیون، بی‌کربنات ۱۱۷ قسمت در میلیون، سدیم ۱۸۰ قسمت در میلیون و کلر ۱۱۰ قسمت در میلیون بود. زمان‌بندی آبیاری براساس داده‌های واسنجی به‌دست آمده با استفاده از روش خشک‌کردن در آون [۳] و دستگاه صفحه فشاری [۲۱] انجام شد تا از بروز تنش آبی در گیاهان جلوگیری شود. در این مطالعه، برخی ویژگی‌های شیمیایی منتخب خمیر اشباع خاک[1] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

انتخاب درختان براساس یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد که شامل ۵ تکرار بود؛ هر تکرار شامل ۵ درخت در نظر گرفته شد. قطعات بزرگ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و بریده شدند و برای حذف آلودگی‌های سطحی، سه بار به‌طور کامل با آب مقطر شست‌وشو داده شدند، سپس قطعات در ویال‌های درب‌دار حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند و به‌منظور تعیین هدایت الکتریکی اولیه محلول[2]، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق، یعنی ۲۵ درجه سلسیوس، روی شیکر تنظیم شده در نیرویی معادل ۱۰۰ برابر شتاب جاذبه زمین انکوبه شدند. پس از انکوباسیون، ویال‌های حاوی نمونه‌های برگ به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها تا دمای اتاق، اندازه‌گیری دوم هدایت الکتریکی[3]، انجام شد. سپس درصد نشت یونی[4] براساس روش توصیف شده [۱۳] محاسبه شد.

برای تعیین محتوای نسبی آب[5]، دیسک‌های برگی با مساحت ۱/۵ سانتی‌متر مربع جدا شدند و بلافاصله برای به‌دست آوردن وزن تر یا جرم تازه[6]، توزین گردیدند. سپس دیسک‌ها به مدت ۴ ساعت در آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند تا وزن آماس یافته یا جرم تورژسانس تعیین شود؛ پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند تا وزن خشک یا جرم خشک[7]، به‌دست آید. درصد محتوای نسبی آب با استفاده از معادله ارائه شده [۲] محاسبه شد.

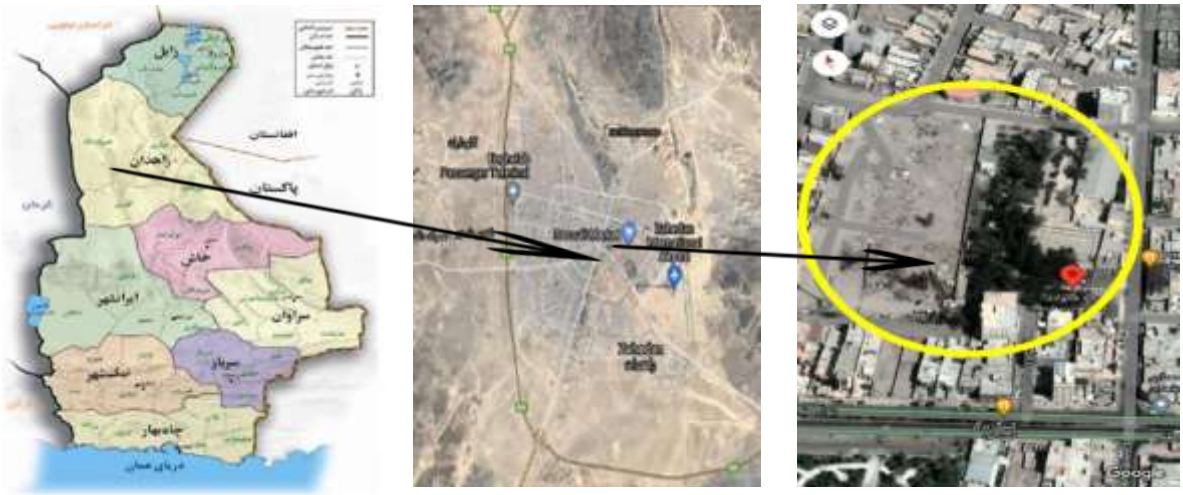
مقدار کربوهیدرات‌های محلول‌کل در برگ‌ها و ریشه‌ها تعیین شد و برای واسنجی، از گلوکز با غلظت ۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ساخت شرکت Merck آلمان، به‌عنوان استاندارد استفاده گردید. دمای برگ در خرداد، با استفاده از یک دماسنج مادون‌قرمز فشرده مجهز به نشانگر لیزری (Extech Instruments, Model 42500, Mini IR Thermometer, USA)، روی جدیدترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد [۱۲].

برای هر درخت، ۱۰ برگ به‌صورت تصادفی انتخاب شد و برای ثبت دما، دماسنج در فاصله ۵ سانتی‌متری از سطح برگ نگه‌داشته شد. اندازه‌گیری‌ها در ۵ روز نماینده با آسمان صاف در هر ماه، در فاصله زمانی بین ساعت ۱۰:۳۰ تا ۱۴:۰۰ انجام‌شد و مقادیر گزارش شده بیانگر میانگین این مشاهدات هستند. پارامترهای تبادل گازی، شامل نرخ فتوسنتز خالص[8]، نرخ تعرق[9]، هدایت روزنه‌ای[10] و غلظت دی‌اکسید کربن بین‌سلولی[11]، در زمان ظهر با استفاده از دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری فتوسنتز (LCi, ADC BioScience Ltd., Great Amwell, England) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری‌ها طی دوره آزمایش، سه بار انجام شد و مقادیر میانگین گزارش گردید. شاخص کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ طی دوره آزمایش با استفاده از دستگاه فلورسانس‌سنج برگ (فلورومتر MINI PAM- Walz; Mess-und Regeltechnik) و در دو شرایط تاریکی و روشنایی اندازه‌گیری شد.

1. Soil Saturated Paste: SSP
2. EC_1
3. EC_2
4. Ion leakage
5. RWS: Relative Water Content
6. Fresh Mass
7. DM :Dry Weight
8. Pn : Net Photosynthesis
9. E :Evaporation / Transpiration
10. gs: Stomatal Conductance
11. Ci: Co2 Concentration Intercellular

عبارت Fv/Fm در فیزیولوژی گیاهی و به‌ویژه در مطالعات تنش‌های گیاهی، شاخصی برای اندازه‌گیری حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم۲ است. کاهش این مقدار از عدد استاندارد، نشان دهنده آسیب به فتوسیستم۲ و در واقع نشانی از آغاز تنش اکسیداتیو یا تخریب دستگاه فتوسنتزی در برگ‌ها پیش از ظهور علائم ظاهری (مانند زردی یا نکروز) است.

نمونه بافت‌های خشک شده برگ از نظر پتاسیم، سدیم، کلر، کلسیم و منیزیم مورد تجزیه قرار گرفتند. نمونه‌ها آسیاب شدند و سپس در بوته چینی، در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه خاکستر گردیدند. خاکستر حاصل در اسید کلریدریک داغ ۲ مولار حل شد، سپس صاف گردید و با آب مقطر تا حجم ۵۰ میلی‌لیتر رقیق شد. غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم‌فتومتر مدل (Corning 405, Cambridge, UK) تعیین شد، درحالی‌که کلرید با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری گردید. سایر عناصر مانند کلسیم و منیزیم با استفاده از اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل (Shimadzu AA-6300, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan) تجزیه شدند. داده‌ها با استفاده از روش تجزیه واریانس و نرم‌افزار GENSTAT از نظر آماری تجزیه و تحلیل شدند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مکان مورد پژوهش شهر زاهدان با مقیاس ۱:۳۰۰۰ (مساحت ۱۴۰۰ متر مربع)

نتایج

نتایج نشان داد که گونه‌های انار و زبان‌گنجشک در طی سه سال مطالعه، بالاترین نرخ فتوسنتز را در مقایسه با اقاقیا و نارون داشتند (جدول ۱). به‌طور میانگین، میزان فتوسنتز در انار و زبان‌گنجشک حدود دو برابر نارون بود که بیانگر ظرفیت بیشتر تثبیت کربن و عملکرد فتوسنتزی بالاتر این دو گونه در شرایط فضای سبز شهری است. فتوسنتز یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی به تنش‌های محیطی بوده و کاهش آن معمولاً ناشی از محدودیت‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای در جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن است [۹]. مقادیر بالاتر دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه‌ای در انار و زبان‌گنجشک نسبت‌به اقاقیا و نارون نشان می‌دهد که محدودیت انتشار دی‌اکسید کربن در این دو گونه کمتر بوده و ظرفیت بیوشیمیایی چرخه کالوین برای تثبیت کربن در سطح مطلوب‌تری حفظ شده‌است. براساس گزارش [۹]، حفظ غلظت بالاتر دی‌اکسید کربن در فضای بین‌سلولی برگ معمولاً با کارایی بیشتر فتوسنتز و کاهش آسیب ناشی از تنش‌های محیطی همراه است.

هدایت روزنه‌ای در انار، اقاقیا و زبان‌گنجشک در اغلب سال‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت، اما نارون به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای کمتری نشان داد. کاهش هدایت روزنه‌ای در نارون احتمالاً به‌عنوان یک راهبرد حفاظتی برای محدود کردن اتلاف آب رخ داده است، اما این سازوکار باعث محدود شدن ورود دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش فتوسنتز شده است. مطابق نتایج [۶] بسته شدن روزنه‌ها یکی از نخستین پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی است که اگرچه موجب حفظ آب می‌شود، اما به کاهش تثبیت کربن نیز منجر خواهد شد. الگوی تعرق نیز تا حد زیادی با تغییرات هدایت روزنه‌ای همخوانی داشت. انار در هر سه سال بیشترین میزان تعرق را نشان داد که همراه با فتوسنتز بالا بود. این وضعیت نشان می‌دهد که انار از راهبرد مصرف بیشتر آب برای حفظ جذب کربن استفاده می‌کند. در مقابل، نارون دارای کمترین میزان تعرق بود که احتمالاً ناشی از محدودیت شدید فعالیت روزنه‌ای و کاهش سطح تبادلات گازی است. ارتباط مثبت بین تعرق و فتوسنتز در گونه‌های درختی شهری قبلاً توسط دیگر محققان [۱۶] نیز گزارش شده است.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی سلامت دستگاه فتوسنتزی، نسبت کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ است که‌در گیاهان سالم معمولاً در محدوده ۰/۷۸ تا ۰.۸۵ قرار دارد [۱۵]. در پژوهش حاضر، زبان‌گنجشک در هر سه سال دارای بیشترین مقدار کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ (۰/۷۴۴ تا ۰/۸۱۹) بود که نشان‌دهنده سلامت مناسب فتوسیستم ۲ و تحمل بیشتر این گونه به شرایط محیطی فضای سبز شهری است. انار نیز مقادیر نسبتاً بالایی از این شاخص را نشان داد. در مقابل، مقادیر بسیار پایین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ در نارون (۰/۲۱۷ تا ۰/۲۵۶) و اقاقیا (۰/۳۲۹ تا ۰/۴۷۵) بیانگر وقوع تنش فتوشیمیایی و کاهش کارایی فتوسیستم ۲ در این گونه‌ها است. کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ معمولاً نشانه آسیب به مراکز واکنش فتوسیستم ۲ و افزایش فشار اکسیداتیو در برگ‌ها است [۱]. همزمانی مقادیر پایین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ با کاهش فتوسنتز در نارون نشان می‌دهد که محدودیت‌های غیرروزنه‌ای نیز در کاهش عملکرد این گونه نقش داشته‌اند. به عبارت دیگر، علاوه‌بر محدودیت ورود دی‌اکسید کربن، بخشی از افت فتوسنتز احتمالاً ناشی از آسیب به دستگاه فتوسنتزی و کاهش ظرفیت انتقال الکترون بوده‌است. این موضوع با نتایج دیگر محققان [۱،۱۹] مطابقت دارد که کاهش عملکرد فتوسیستم ۲ را یکی از مهم‌ترین عوامل افت فتوسنتز تحت شرایط تنش معرفی کرده‌اند. در مجموع، نتایج تبادلات گازی و فلورسانس کلروفیل نشان داد که زبان‌گنجشک و انار دارای توانایی بیشتری در حفظ عملکرد فتوسنتزی، تبادلات گازی و کارایی فتوشیمیایی تحت شرایط فضای سبز شهری هستند. در مقابل، نارون بیشترین حساسیت را نشان داد و اقاقیا در وضعیت حد واسط قرار گرفت. بنابراین به‌نظر می‌رسد انار و زبان‌گنجشک از دیدگاه اکوفیزیولوژیکی گزینه‌های مناسب‌تری برای توسعه فضای سبز در شرایط محیطی مشابه باشند.

جدول ۱- تبادلات گازی و شاخص Fv/Fm در درختان انار، اقاقیا، نارون و زبان گنجشک تحت شرایط فضای سبز

گونه گیاهی	فتوسنتز ($\mu mol/m^2/s^1$)	تعرق ($mmol/m2/s1$)	CO_2 اتاقک زیر روزنه ($\mu mol/mol^1$)	هدایت‌روزنه ($mol/m^2/s^1$)	Fv/Fm
سال			۱۴۰۰		
انار	۷/۳۸a	۶/۳۱a	۶۱۲/۸۴a	۰/۸۱۹a	۰/۷۰۸b
اقاقیا	۴/۵۲a	۳/۵۸b	۴۳۵/۹۵b	۰/۸۵۵a	۰/۴۷۵c
نارون	۳/۳۱c	۲/۲۸c	۲۵۱/۱۳c	۰/۳۴۱b	۰/۲۵۶d
زبان‌گنجشک	۷/۶۵a	۴/۱۸b	۶۱۷/۱۴a	۰/۷۹۲a	۰/۸۱۹a

سال			۱۴۰۱		
انار	۸/۶۷a	۶/۰۹a	۶۵۵/۸۴a	۰/۷۷۴a	۰/۶۵۲a
اقاقیا	۴/۹۵c	۳/۱۵b	۵۰۸/۳۱b	۰/۷۴۶a	۰/۴۱۹b
نارون	۴/۰۹c	۲/۱۰c	۲۱۰/۰۹c	۰/۴۰۸c	۰/۲۴۹c
زبان‌گنجشک	۶/۵۵b	۵/۰۹a	۶۱۹/۳۸a	۰/۶۱۹b	۰/۷۴۴a
سال			۱۴۰۲		
انار	۷/۱۴a	۷/۱۰a	۶۷۲/۱۴a	۰/۸۱۹a	۰/۷۱۹a
اقاقیا	۳/۲۸b	۴/۱۶b	۴۶۶/۳۸b	۰/۷۳۳a	۰/۳۲۹b
نارون	۳/۵۲b	۲/۱۹c	۲۸۶/۳۴c	۰/۴۰۹b	۰/۲۱۷c
زبان‌گنجشک	۶/۹۱a	۴/۵۵b	۵۹۸/۲۵a	۰/۷۱۹a	۰/۷۶۶a

در هر ستون از هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح یک درصد معنادار نمی‌باشند.

جدول ۲- مقایسه غلظت عناصر غذایی موجود در برگ درختان انار، اقاقیا، نارون و زبان گنجشک

گونه گیاهی	پتاسیم	کلسیم	منیزیوم	سدیم	کلر	نسبت پتاسیم به سدیم
			میلی اکی والان بر لیتر			
سال			۱۴۰۰			
انار	۵/۳۴a	۱/۲۸a	۰/۲۸b	۳/۲۴c	۵/۷۴c	۱/۶۵a
اقاقیا	۳/۰۸b	۰/۲۸b	۰/۴۷a	۵/۸۸b	۹/۱۵b	۰/۵۲b
نارون	۱/۵۸c	۰/۴۶b	۰/۵۸a	۸/۶۲a	۱۷/۴۵a	۰/۱۸c
زبان‌گنجشک	۴/۹۹a	۰/۸۵a	۰/۲۹b	۴/۰۸b	۶/۳۳c	۱/۲۲a
سال			۱۴۰۱			
انار	۶/۴۱a	۱/۸۴a	۰/۳۵b	۵/۶۱b	۷/۱۹c	۱/۱۴a
اقاقیا	۲/۶۸b	۰/۶۱b	۰/۶۶a	۶/۰۹b	۱۰/۳۸b	۰/۴۴b
نارون	۲/۰۹b	۰/۳۹b	۰/۵۱a	۹/۵۸a	۱۳/۶۸a	۰/۲۲b
زبان‌گنجشک	۵/۱۷a	۰/۸۴b	۰/۶۴a	۴/۹۱c	۵/۸۸d	۱/۰۵a
سال			۱۴۰۲			
انار	۵/۶۸a	۱/۰۹a	۰/۲۲b	۳/۵۸c	۵/۸۴d	۱/۵۹a
اقاقیا	۲/۹۹b	۰/۳۵b	۰/۷۸a	۶/۱۴b	۹/۳۵b	۰/۴۹b
نارون	۲/۲۸b	۰/۴۹b	۰/۸۵a	۸/۳۴a	۱۶/۸۱a	۰/۲۷c
زبان‌گنجشک	۴/۳۸a	۰/۶۱b	۰/۳۷b	۵/۹۱b	۷/۰۹c	۰/۷۴b

در هر ستون از هر سال، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح یک درصد معنادار نمی باشند.

میانگین های سدیم و کلر و پتاسیم بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و میانگین های کلسیم و منیزیوم بر حسب درصد می‌باشند.

جدول ۳- عناصر غذایی موجود در برگ درختان انار، اقاقیا، نارون و زبان گنجشک تحت شرایط فضای سبز

گونه گیاهی	محتوای نسبی آب برگ (٪)	نشت الکترولیت (٪)	دمای برگ (درجه سلسیوس)
سال		۱۴۰۰	

انار	۶۹/۲۴a	۱۷/۴۷c	۳۳/۵c
اقاقیا	۷۱/۲۴a	۱۳/۲۸c	۴۱/۷a
نارون	۴۳/۶۶b	۳۹/۶۱a	۴۲/۱a
زبان‌گنجشک	۷۵/۶۸a	۲۰/۹۵a	۳۴/۵۸b
سال		۱۴۰۱	
انار	۶۰/۶۸a	۱۳/۸۴b	۳۰/۶d
اقاقیا	۶۵/۳۸a	۱۴/۹۹b	۴۰/۱b
نارون	۳۲/۸۸b	۴۹/۳۴a	۴۳/۶a
زبان‌گنجشک	۶۰/۸۵a	۱۴/۵۲b	۳۳/۵c
سال		۱۴۰۲	
انار	۷۵/۳۳a	۱۶/۹۴b	۳۴/۸b
اقاقیا	۴۰/۲۲b	۱۸/۶۵b	۴۲/۳a
نارون	۳۹/۵۲b	۳۵/۶۸a	۴۱/۸a
زبان‌گنجشک	۷۴/۱۹a	۲۱/۳۸b	۳۳/۷c

در هر ستون از هر سال، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح یک درصد معنادار نمی‌باشند.

نتایج مربوط به مقایسه عناصر غذایی برگ نشان داد که بین گونه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت عناصر معدنی وجود دارد و این اختلافات در طول سه سال مطالعه الگوی نسبتاً پایداری را نشان داد (جدول ۲). به‌طورکلی، انار و زبان‌گنجشک دارای بیشترین غلظت پتاسیم و کمترین تجمع یون‌های سمی سدیم و کلر بودند، درحالی‌که نارون بیشترین میزان سدیم و کلر و کمترین غلظت پتاسیم را به خود اختصاص داد.

پتاسیم به‌عنوان مهم‌ترین کاتیون تنظیم‌کننده اسمزی در گیاهان شناخته می‌شود و نقش اساسی در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، حفظ تورژسانس سلولی، انتقال مواد فتوسنتزی و فعال‌سازی آنزیم‌های متعدد دارد [۱۴]. در این پژوهش، انار و زبان‌گنجشک در هر سه سال مطالعه بالاترین غلظت پتاسیم را نشان دادند. این ویژگی احتمالاً یکی از دلایل اصلی حفظ نرخ بالاتر فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در این دو گونه بوده است. ارتباط مثبت بین غلظت پتاسیم و عملکرد فتوسنتزی در بسیاری از مطالعات گزارش شده است، زیرا پتاسیم نقش کلیدی در تنظیم هدایت روزنه‌ای و انتقال دی‌اکسیدکربن به بافت‌های فتوسنتزی دارد [۲۵]. در مقابل، نارون کمترین غلظت پتاسیم را در تمامی سال‌های آزمایش نشان داد. کاهش پتاسیم برگ می‌تواند منجر به اختلال در تنظیم اسمزی، کاهش بازشدگی روزنه‌ها و افت فعالیت فتوسنتزی شود. این موضوع با نتایج جدول تبادلات گازی همخوانی‌دارد که در آن نارون کمترین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را نشان داد. براساس پژوهشی [۵] کمبود پتاسیم یکی از عوامل اصلی کاهش کارایی فتوسنتز و افزایش حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود. غلظت کلسیم در انار به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گونه‌ها بود. کلسیم علاوه‌بر نقش ساختاری در دیواره سلولی، به‌عنوان یک پیام‌رسان ثانویه در پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی عمل

می‌کند و موجب افزایش پایداری غشاهای سلولی می‌شود [۲۶].

تجمع بیشتر کلسیم در برگ‌های انار می‌تواند در افزایش مقاومت این گونه به شرایط نامساعد محیطی و حفظ یکپارچگی سلولی نقش داشته باشد. زبان‌گنجشک نیز در برخی سال‌ها مقادیر نسبتاً بالایی از کلسیم را حفظ کرد که نشان‌دهنده ظرفیت مناسب این‌گونه برای تنظیم تعادل یونی است. برخلاف پتاسیم و کلسیم، بیشترین غلظت منیزیوم در نارون و اقاقیا مشاهده شد. منیزیوم عنصر مرکزی مولکول کلروفیل است و در انتقال انرژی فتوسنتزی نقش مهمی دارد [۱۴]. با این حال، بالا بودن غلظت منیزیوم در نارون نتوانست موجب بهبود عملکرد فتوسنتزی شود. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط تنش، سایر عوامل محدود کننده نظیر تجمع سدیم و کلر و آسیب‌های فیزیولوژیکی، تأثیر بیشتری بر عملکرد گیاه داشته‌اند. یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، تفاوت چشم‌گیر گونه‌ها در تجمع سدیم و کلر بود. نارون در هر سه سال دارای بیشترین غلظت سدیم و کلر برگ بود، درحالی‌که انار کمترین مقادیر این یون‌ها را نشان داد. تجمع بیش از حد سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی از مهم‌ترین عوامل ایجاد سمیت‌یونی است که موجب اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری، کاهش رشد و آسیب به سیستم فتوسنتزی می‌شود [۱۴]. مقادیر بالای سدیم و کلر در نارون احتمالاً یکی از عوامل اصلی کاهش فتوسنتز، هدایت‌روزنه‌ای و شاخص Fv/Fm در این گونه بوده است. در شرایط شوری، گیاهان متحمل معمولاً از طریق محدود کردن ورود سدیم به اندام‌های هوایی یا حفظ جذب پتاسیم، تعادل یونی خود را حفظ می‌کنند [۲۲]. نتایج این پژوهش نشان داد که انار و تا حدودی زبان‌گنجشک از چنین مکانیسمی برخوردار بوده‌اند، زیرا علی‌رغم حضور سدیم در محیط، توانسته‌اند غلظت پتاسیم برگ را در سطح نسبتاً بالایی حفظ کنند.

نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های تحمل شوری شناخته می‌شود و توانایی گیاه در حفظ این نسبت با مقاومت به تنش‌های یونی ارتباط مستقیم دارد [۱۸]. در مطالعه‌حاضر، بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم در انار (۱/۱۴ تا ۱/۶۵) و زبان‌گنجشک (۰/۷۴ تا ۱/۲۲) مشاهده شد، درحالی‌که نارون کمترین مقدار این نسبت را در تمام سال‌ها داشت. بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم در انار و زبان‌گنجشک نشان می‌دهد که این گونه‌ها توانایی بیشتری در جذب انتخابی پتاسیم و محدود کردن تجمع سدیم دارند. این ویژگی احتمالاً یکی از عوامل اصلی حفظ فعالیت فتوسنتزی و سلامت دستگاه فتوسنتز در این دو گونه بوده است. در مقابل، نسبت بسیار پایین پتاسیم به سدیم در نارون بیانگر برهم‌خوردن تعادل یونی و حساسیت بیشتر این گونه به شرایط تنش‌زای محیط شهری است. در مجموع، نتایج عناصر غذایی برگ نشان داد که انار و زبان‌گنجشک از توانایی بیشتری در حفظ تعادل یونی، جذب پتاسیم و محدود کردن تجمع سدیم و کلر برخوردار هستند. این ویژگی‌ها با عملکرد بهتر فتوسنتزی و شاخص‌های فیزیولوژیکی مشاهده شده در (جدول ۱) مطابقت دارد. در مقابل، تجمع زیاد سدیم و کلر همراه با کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در نارون، بیانگر حساسیت بیشتر این گونه به تنش‌های محیطی و کارایی کمتر آن در شرایط فضای سبز شهری است. بنابراین، از دیدگاه تغذیه معدنی و تنظیم یونی، انار و زبان‌گنجشک مناسب‌ترین‌گونه‌ها و نارون حساس‌ترین گونه در شرایط این پژوهش ارزیابی می‌شوند.

نتایج جدول ۳ نشان داد که بین گونه‌ها از نظر محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و دمای برگ تفاوت‌های‌معنی‌داری وجود داشت. این شاخص‌ها از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی وضعیت آبی، سلامت غشاهای سلولی و میزان تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی محسوب می‌شوند و می‌توانند توان سازگاری گونه‌های مختلف را در شرایط فضای سبز شهری نشان دهند [۴]. محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخصی از وضعیت هیدراتاسیون گیاه، بیانگر توانایی گیاه در حفظ آب و تورژسانس سلولی تحت شرایط

تنش است [۲]. در این پژوهش، زبان‌گنجشک و انار در اغلب سال‌ها بیشترین مقادیر محتوای نسبی آب را نشان دادند. به‌ویژه در سال ۱۴۰۲، محتوای نسبی آب برگ در انار و زبان‌گنجشک به‌ترتیب به ۷۵/۳۳ و ۷۴/۱۹ درصد، رسید که به‌طور معنی‌داری بیشتر از اقاقیا و نارون بود. حفظ محتوای آب بالا در برگ‌ها نشان می‌دهد که این دو گونه دارای توانایی بیشتری در جذب آب، تنظیم اسمزی و کاهش اثرات تنش‌های محیطی هستند. مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان متحمل به تنش معمولاً قادرند محتوای نسبی آب را در سطوح بالاتر حفظ کنند و از این طریق عملکرد فتوسنتزی خود را پایدار نگه دارند [۴]. در مقابل، نارون در هر سه سال کمترین مقدار محتوای نسبی آب برگ را داشت و در سال ۱۴۰۱ این مقدار به ۳۲/۸۸ درصد کاهش یافت. چنین کاهش شدیدی در وضعیت آبی برگ نشان‌دهنده اختلال در جذب یا انتقال آب و ناتوانی گیاه در حفظ تورژسانس سلولی است. این نتایج با داده‌های جدول ۱ نیز مطابقت دارد، زیرا همین‌گونه کمترین میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و شاخص Fv/Fm را نشان داد. براساس گزارش [۸] کاهش محتوای نسبی آب برگ یکی از نخستین نشانه‌های بروز تنش‌های محیطی بوده و معمولاً با افت شدید فتوسنتز و رشد گیاه همراه است. نشت الکترولیت یکی از معتبرترین شاخص‌های ارزیابی سلامت و پایداری غشاهای سلولی محسوب می‌شود. افزایش نشت الکترولیت نشان‌دهنده آسیب غشایی، تخریب ساختارهای سلولی و افزایش نفوذپذیری غشاها در اثر تنش‌های محیطی است [۱۳]. در این پژوهش، نارون در تمامی سال‌های مطالعه بیشترین میزان نشت الکترولیت را نشان داد و مقدار آن در سال ۱۴۰۱ به ۴۹/۳۴ درصد رسید. این میزان تقریباً سه برابر مقادیر مشاهده شده در انار و اقاقیا بود و بیانگر آسیب شدید غشاهای سلولی در این گونه است. در مقابل، انار و اقاقیا کمترین میزان نشت الکترولیت را نشان دادند که بیانگر پایداری بیشتر غشاهای سلولی و توانایی بالاتر این گونه‌ها در مقابله با تنش‌های محیطی است. زبان‌گنجشک نیز اگرچه در برخی سال‌ها نشت الکترولیت بیشتری نسبت‌به انار داشت، اما مقادیر آن همچنان به‌طور قابل توجهی کمتر از نارون بود.

بحث و نتیجه‌گیری

براساس یافته‌ها [۷] گیاهانی که قادر به حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی هستند معمولاً تحمل بیشتری نسبت‌به تنش‌های محیطی از خود نشان می‌دهند. دمای برگ یکی دیگر از شاخص‌های مهم وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است و ارتباط مستقیمی با تعرق، وضعیت آبی و کارایی خنک‌کنندگی گیاه دارد [۱۱]. نتایج نشان داد که نارون و اقاقیا در تمامی سال‌ها دارای بیشترین دمای برگ بودند، درحالی‌که انار و زبان‌گنجشک کمترین دمای برگ را نشان دادند. در سال ۱۴۰۳، دمای برگ نارون به ۴۳/۶ درجه سلسیوس رسید که بالاترین مقدار ثبت شده در بین گونه‌ها بود. افزایش دمای برگ معمولاً نشان‌دهنده کاهش تعرق و محدود شدن انتقال گرمای نهان از سطح برگ است [۱]. جالب توجه است که گونه‌هایی مانند انار و زبان‌گنجشک که دارای محتوای نسبی آب بالاتر بودند، دمای برگ پایین‌تری نیز نشان دادند. این موضوع بیانگر آن است که حفظ وضعیت آبی مناسب موجب تداوم تعرق و در نتیجه خنک شدن سطح برگ شده‌است. از سوی دیگر، دمای بالای برگ در نارون احتمالاً ناشی از کاهش هدایت روزنه‌ای، محدود شدن تعرق و اختلال در وضعیت آبی گیاه بوده است. این نتایج با یافته‌های جدول ۱ کاملاً همسو است؛ زیرا نارون کمترین میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای را نیز نشان داد. بررسی همزمان سه شاخص محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و دمای برگ نشان می‌دهد که انار و زبان گنجشک از توانایی بیشتری برای حفظ وضعیت آبی، پایداری غشایی و تنظیم دمای برگ برخوردار هستند. این ویژگی‌ها احتمالاً نقش مهمی در حفظ فتوسنتز و کارایی فتوسیستم۲ در این دو گونه داشته‌است. در مقابل، نارون به‌دلیل کاهش شدید محتوای آب برگ، افزایش آسیب‌غشایی و دمای بالای برگ، بیشترین حساسیت را به شرایط

محیطی فضای سبز شهری نشان داد. اقاقیا نیز از نظر این صفات در وضعیت حد واسط قرار گرفت، هرچند دمای نسبتاً بالای برگ در این گونه نشان می‌دهد که ساز وکارهای خنک‌کنندگی آن به اندازه انار و زبان‌گنجشک کارآمد نبوده است.

نتایج جدول ۳ تأیید می‌کند که انار و زبان‌گنجشک از دیدگاه روابط آبی، پایداری غشاهای سلولی و تنظیم حرارتی دارای سازگاری بیشتری با شرایط فضای سبز شهری هستند. این یافته‌ها با نتایج تبادلات گازی و تعادل یونی مشاهده شده در جداول ۱ و ۲ مطابقت داشته و بر برتری اکوفیزیولوژیکی این دو گونه نسبت به نارون و تا حدودی اقاقیا تأکید دارد.

References

[1]. Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 89–113. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.132759

[2]. Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413–428. https://doi.org/10.1071/BI9620413

[3]. Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., & Clark, F. E. (Eds.). (1965). *Methods of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling* (Agronomy Monograph No. 9). American Society of Agronomy.

[4]. Blum, A. (2011). *Plant breeding for water-limited environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4

[5]. Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *168*(4), 521–530. https://doi.org/10.1002/jpln.200420485

[6]. Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, *103*(4), 551–560. https://doi.org/10.1093/aob/mcn125

[7]. Dionisio-Sese, M. L., & Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, *135*(1), 1–9. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00025-9

[8]. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(1), 185–212.https://doi.org/10.1051/agro:2008021

[9]. Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, *6*(3), 269–279. https://doi.org/10.1055/s-2004-820867

[10]. Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., & Roloff, A. (2017). Role of street trees in mitigating effects of climate change in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, *21*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ufug.

[11]. Jones, H. G. (2014). *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology* (3rd ed.). Cambridge University Press.

[12]. Khayyat, M., Vazifeshenas, M. R., & Akbari, M. (2024). Leaf temperature and peroxidase activity of bearing pistachio cultivars. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, *7*(3), 237–248. https://doi.org/10.22077/jhpr.2024.7197.1358

[13]. Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*(3), 389–398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

[14]. Marschner, P. (Ed.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.

[15]. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, *51*(345), 659–668. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659

[16]. Medrano, H., Tomás, M., & Martorell, S. (2015). Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. *Plant Science*, *238*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.

[17]. Munns, R., Passioura, J. B., Colmer, T. D., & Byrt, C. S. (2020). Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. *New Phytologist*, *225*(3), 1091–1096. https://doi.org/10.1111/nph.15862

[18]. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

[19]. Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding. *Journal of Experimental Botany*, *64*(13), 3983–3998. https://doi.org/10.1093/jxb/ert208

[20]. Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, *193*, 119–129. https://doi.org/10.1016/j.envpol.

[21]. Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., Agronomy Monograph No. 9, pp. 167–179). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c10

[22]. Shabala, S., & Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions. *Physiologia Plantarum*, *151*(3), 257–279. https://doi.org/10.1111/ppl.12165

[23]. Vazifeshenas, M. R., & Khayyat, M. (2009). Effects of different scion-rootstock combinations on vigor, tree size, yield and fruit quality of three Iranian cultivars of pomegranate. *Fruits*, *64*(1), 47–51. https://doi.org/10.1051/fruits/2008058

[24]. Vazifeshenas, M. R., Moravej, B., & Alihory, M. (2024). *Water efficiency in pomegranate and strategies for improving it* (Publication No. 54). Horticultural Sciences Research Institute. [in Farsi]

[25]. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(4), 7370–7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370

[26]. White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. Annals of Botany, 92(4),487–511. https://doi.org/10.1093/aob/mcg164

Comparative Assessment of Physiological and Ecological Characteristics of Selected Tree Species in Urban Green Spaces of Zahedan city (Research Paper)

1- Mohammad Reza Vazifeshenas*, Assistant Professor Improvement Plant and Seed Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research, AREEO, Yazd, Iran.
Asman2000@gmail.com
2- Mehdi Khyyat, Associate Professor Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
3- Farahnaz Gorgij, Student Department of Horticultural Science and Engineering, University of Birjand, Iran

Received: 14 Jun. 2026
Accepted: 12 Oct. 2026

Abstract

The selection of plant species adapted to local environmental conditions is one of the most critical factors determining the success and sustainability of urban green spaces. To evaluate the eco-physiological performance of different tree species under the environmental conditions of Zahedan, gas exchange, chlorophyll fluorescence, mineral nutrition, and other physiological traits were assessed in four tree species, pomegranate (*Punica granatum* L.), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), elm (*Ulmus minor* L.), and ash (*Fraxinus* excelsior L.), during 2023–2025. The results demonstrated that pomegranate and ash exhibited significantly higher net photosynthetic rate, intercellular CO_2 concentration, and Fv/Fm values, indicated greater photosynthetic efficiency and superior tolerance to urban environmental conditions. In contrast, elm showed the lowest photosynthetic rate, stomatal conductance, and Fv/Fm, suggested greater sensitivity to environmental stress. Leaf nutrient analysis further revealed that pomegranate and ash had the highest potassium concentration and K/Na ratio, together with the lowest accumulation of sodium and chloride. Conversely, elm accumulated the greatest amounts of sodium and chloride while exhibiting the lowest K/Na ratio. These findings indicated that pomegranate and ash possess a greater capacity to maintain ionic homeostasis and withstand salinity-related stress and other adverse urban conditions. Similarly, pomegranate and ash maintained the highest relative water content (RWC) and the lowest leaf temperature, whereas elm exhibited the lowest RWC, the highest electrolyte leakage, and the highest leaf temperature, reflecting greater physiological damage and reduced water status under urban stress. In conclusion, the results demonstrated that pomegranate and ash are better adapted to the environmental conditions of Zahedan's urban green spaces than black locust and elm. Their superior eco-physiological performance, nutrient status, and water relations highlighted their potential as resilient species for sustainable urban greening in arid and semi-arid regions.

Keyword: Photosynthesis, Stomatal Conductance, Mineral Nutrients, Relative Water Content, Leaf Temperature.