



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تجمع زیستی سرب و کادمیوم و ارزیابی شاخص تحمل تعدادی از گونه‌های درختی، درختچه‌ای و بوته‌ای به آلودگی هوا در نواحی پرترافیک شهر یزد

بهنام نظری علمدارلو^{*}، اصغر مصلح آرانی، سعید شجاعی برجوئی، حمیدرضا عظیم زاده، بهمن کیانی
گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

اطلاعات مقاله:	چکیده
تاریخ دریافت:	زمینه و هدف: ترافیک شهری ضمن تاثیر بر سلامتی انسان باعث تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌گردد. این مطالعه با هدف بررسی تجمع زیستی Pb و Cd و نیز ارزیابی شاخص تحمل آلودگی هوا (Air Pollution Tolerance Index (APT)) تعدادی از گیاهان رویش یافته در دو منطقه شاهد و پرترافیک شهر یزد است.
تاریخ ویرایش:	روش بررسی: این مطالعه مقطعی، توصیفی - تحلیلی در دو منطقه شاهد و پرترافیک شهر یزد با نمونه‌برداری تصادفی از ۱۰ گونه درختی، درختچه‌ای و بوته‌ای انجام شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد میزان محتوای آب نسبی، pH عصاره برگ، کلروفیل کل و اسید آسکوربیک اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت Pb و Cd جهت بررسی همبستگی آنها با شاخص APTI در گیاهان اندازه‌گیری شد. کلیه آنالیزهای آماری از جمله آزمون نرمالیته کلموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test)، آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA)، آزمون تعقیبی دانکن (Duncan) و ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) بین پارامترهای مورد بررسی در نرم افزار SPSS ۲۲ نسخه صورت گرفت.
تاریخ پذیرش:	یافته‌ها: بیشترین محتوای آب نسبی (۸۴/۷۳ درصد) و اسید آسکوربیک (۵/۹۸ mg/g.FW) به ترتیب در منطقه پرترافیک برای گونه‌های اختر گلی و گل رز اندازه‌گیری شد. همچنین بیشترین pH عصاره برگ (۷/۰۱) و کلروفیل کل (۱/۴۸ mg/g.FW) در منطقه شاهد به ترتیب برای شاه پسند و برگ نو اندازه‌گیری شد. بیشترین شاخص تحمل به آلودگی هوا در گیاه گل رز و برگ نو اندازه‌گیری شد. همچنین نتایج نشان داد همبستگی شاخص APTI با Pb، اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی مثبت و معنی‌دار بود.
تاریخ انتشار:	نتیجه‌گیری: براساس طبقه‌بندی شاخص تحمل آلودگی هوا دو گونه‌ای گل رز و برگ نو مقاومت متوسطی در برابر آلاینده‌ها در نواحی پرترافیک دارند. بنابراین با توجه به شرایط اکولوژیکی مورد نیاز این دو گونه، می‌توان از آنها جهت توسعه فضاهای سبز در نواحی پرترافیک شهر یزد استفاده نمود. این تحقیق نشان داد که Pb باعث افزایش واکنش فیزیولوژیک گیاهان مورد مطالعه می‌گردد، درحالی‌که گیاهان واکنش فیزیولوژیک معنی‌داری به عنصر Cd موجود در گیاهان مورد مطالعه نشان ندادند. از طرف دیگر نتایج این همبستگی نشان داد که محتوای آب نسبی و اسید آسکوربیک نسبت به سایر عوامل تعیین‌کننده، از اهمیت بیشتری برای شاخص تحمل به آلودگی برخوردار هستند.

واژگان کلیدی: شاخص تحمل به آلودگی هوا، مناطق شاهد و پرترافیک، گل رز و برگ نو، سرب و کادمیوم، شهر یزد

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
b.nazari371@gmail.com

مقدمه

بر طبق گزارشات سالانه ۳ میلیون نفر در اثر مواجهه با آلاینده‌های هوا جان خود را از دست می‌دهند که ۹۰ درصد آنها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند (۱، ۲). با توجه به روند رو به رشد شهرها، توسعه صنعتی، ازدیاد رشد جمعیت و افزایش روزافزون استفاده از خودروهای شخصی مهمترین مسئله گریبان‌گیر شهرها، افزایش آلودگی‌های ناشی از حمل و نقل است (۳، ۴). امروزه حمل و نقل یکی از مهمترین عناصر ساختاری است که بر توسعه شهرها تاثیرگذار است و از سوی دیگر گسترش شهرها نیز بر شبکه‌ها و سامانه‌های ترابری تاثیر می‌گذارد. مطالعه بر روی گیاهان رشد یافته در فضای شهری که نقش مهمی در پالایش هوای شهر دارند، جهت داشتن اطلاعات کمی و پایه در انجام مدیریت مناسب فضاهای سبز شهری لازم و ضروری است (۵). وسایل نقلیه شهری و جاده‌ای مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌های گازی، ذرات و فلزات سنگین را در هوا، آب و خاک آزاد می‌کنند. بنابراین انتشار آلاینده‌های گازی، ذرات و فلزات سنگین از وسایل نقلیه یکی از منابع اصلی آلودگی در محیط‌های شهری حاصل از حجم بالای ترافیک است. فلزات سنگین تولید شده توسط آگزوز خودروها و سایش تایر اتومبیل‌ها می‌توانند در گرد و غبارها و خاک‌های شهری ترسیب شده و وارد پوشش گیاهی شوند (۶). بنابراین استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان نمونه‌بردار ساکن در شاخص زیستی با دقت مکانی و زمانی زیاد به‌دلیل در دسترس بودن گیاه و هزینه‌های پایین نمونه‌برداری اهمیت فراوانی دارد (۷). براساس گزارشات، Pb و Cd از جمله آلاینده‌های مهم در محیط زیست هستند. آلودگی آب، خاک و هوا به Pb و Cd تولید شده توسط خودروها یک مسئله محیط زیستی جدی است. Pb در نتیجه استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار و Cd موجود در تایر خودروها از طریق استهلاک خودروها و ترافیک به محیط وارد می‌شوند (۸). برخلاف تصور درباره حذف Pb از سوخت‌های بنزینی و گازوئیلی،

تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر نشان داده‌اند همبستگی مستقیمی بین افزایش حجم ترافیک در منطقه با افزایش غلظت Pb و Cd در خاک و گیاه وجود دارد. به طوری که Baghaie و همکار در بررسی غلظت Pb و Cd در ۱۲ نقطه از خاک‌های شهر اراک، بیشترین غلظت Pb و Cd در خاک‌های مناطق پرتردد خودروهای سنگین و سبک اندازه گیری نمودند (۹). همچنین Ghanavati و همکاران در تحقیقی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی کنار جاده‌ای تقاطع‌های شهر اهواز بررسی نمودند و نتایج آنها نشان داد، انتشارات ناشی از ترافیک خودروها و انتشارات صنعتی مهمترین منابع Pb در منطقه هستند (۱۰). در پژوهش Salimi و همکاران تغییرات Pb و Cd در خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه - همدان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد، مقادیر Pb در خاک و گیاه با افزایش فاصله از جاده کاهش می‌یابد (۱۱). نتایج تحقیقات Tabibian و همکاران نشان داد درخت چنار پتانسیل بسیار زیادی در جذب Pb ناشی از ترافیک در حاشیه خیابان‌ها دارد (۱۲). Pb جز فلزات غیرضروری برای گیاهان است که عملکرد زیستی شناخته شده‌ای ندارد اما با توجه به انحلال‌پذیری این عنصر در آب به راحتی توسط ریشه جذب گیاه می‌شود. افزایش این فلز در محیط باعث اثراتی از قبیل اختلال در جوانه‌زنی دانه، اختلال در میتوز، القای کلروز و نکروز در برگ، کاهش فتوسنتز و تنفس، عدم توازن آبی و تغییر در تعادل هورمونی گیاه می‌شود. Pb همچنین منجر به توقف فعالیت‌های آنزیمی، اختلال در تغذیه معدنی و تغییر در نفوذپذیری غشا می‌گردد (۱۳). Cd یک فلز آلاینده محیطی دیگر است که در طبیعت منتشر می‌شود. اگرچه این فلز برای رشد گیاهان ضروری نیست اما این فلز به‌راحتی از طریق پوست و ریشه جذب می‌شود و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌گردد. Cd بر تقسیم و رشد سلول‌ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و تنظیم رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارد که تاثیر آن بر حسب نوع گیاه متغیر است (۱۴).

جهت انتخاب گونه‌های متحمل به آلودگی هوا و پایشگر آلاینده‌های محیطی معرفی شده است (۱۹). همچنین Ghafari و همکاران توانستند با استفاده از شاخص APTI درخت (*Yucca*) و درخچه زرشک (*Berberis*) را به عنوان گونه متحمل جهت توسعه فضای سبز در مناطق پرتراфик شهر رشت معرفی نمایند (۲۰). Shojaee و Barjoei همکاران با استفاده از APTI گونه‌ای درختی انار (*Punica granatum*) به عنوان گونه متحمل و گونه درمنه به عنوان گونه (*Artemisia*) پایشگر زیستی جهت توسعه فضای سبز اطراف صنایع شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان انتخاب نمودند (۱۶). در چند دهه اخیر با افزایش رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی در شهر یزد و به دنبال آن افزایش تعداد بزرگراه‌ها، جاده‌ها و خودروهای شخصی سبب افزایش جریان ترافیک و نیز باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها در محیط شهر شده است. جریان ترافیک یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های زیست محیطی است که برای سلامتی انسان زیان‌آور بوده و اثرات زیست محیطی بسیاری بر گیاهان دارد. در چنین شرایطی، انتخاب گونه‌های گیاهی متحمل به آلودگی هوا می‌تواند راهکاری مناسب در راستای کاهش آلاینده‌های محیطی باشد. گیاهانی که بتوانند بین ساختارهای درونی و محیط آلوده بیرون تعادل ایجاد نمایند، می‌توانند در این شرایط دوام آورده و در فراهم آوردن کیفیت و پالایش بهتر هوای شهر یزد موثر واقع شوند. لذا از اهداف این تحقیق بررسی تجمع زیستی Pb و Cd و ارزیابی شاخص تحمل به آلودگی هوا (APTI) در تعدادی از گونه‌های بوته‌ای، درختی و درختچه‌ای رویش یافته در دو منطقه شاهد پرتراфик شهر یزد است. از دیگر اهداف مهم این تحقیق بررسی همبستگی بین شاخص تحمل به آلودگی هوا با تجمع عناصر Pb و Cd در گیاهان است. قطعا نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند معیاری در راستای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت توسعه فضای سبز شهری در اختیار طراحان فضای سبز شهر و شهرداری گزارد.

اگرچه گیاهان تا حدودی در کاهش آلاینده‌ها موثر هستند، اما ممکن است تحت تاثیر آلاینده‌ها نیز قرار گرفته و آسیب ببینند. گیاهان به دو طریق کاهش مستقیم از هوا (جذب مستقیم) و کاهش غیرمستقیم از طریق جلوگیری از انتشار آلاینده‌های هوا می‌توانند آلاینده‌های هوا را کاهش دهند. در کاهش مستقیم، درختان آلاینده‌های گازی از قبیل دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و ازن (O_3) را از طریق روزنه‌هایشان جذب می‌کنند و همچنین می‌توانند آلاینده‌های محلول در آب را در رطوبت سطوح برگ‌هایشان حل نمایند. تاج پوشش درختان نیز می‌تواند ذرات ریز موجود در هوا را جذب کند (۱۵). با این وجود، درخت به عنوان یک موجود زنده با طول عمر طولانی و عنصر اصلی فضای سبز شهری می‌تواند علاوه بر کاهش آلودگی هوا، مقدار و شدت تجمع آلاینده‌ها را نشان دهد (۱۶). در واقع درختان به آلودگی حساس بوده و به‌وسیله تغییر در فرایندهای حیاتی خود مانند رشد و یا میزان فتوسنتز به استرس محیطی واکنش نشان می‌دهند. بسیاری از این تغییرات، پاسخ‌های جبرانی زیستی به تنش‌های محیطی هستند که عکس‌العملی برای کم کردن آسیب‌های حاصل از تنش و انطباق با شرایط نامناسب مانند آلودگی هوا است (۱۷). به این لحاظ گیاهان به ویژه درختان و درختچه‌ها به‌طور موثری به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی محیط شهری استفاده می‌شوند (۱۸). امروزه محققین با استفاده از تعدادی پارامتر فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نظیر محتوای آب نسبی، pH عصاره برگ، اسید آسکوربیک و کلروفیل کل توانسته‌اند با تعریف شاخصی به نام شاخص تحمل به آلودگی هوا (Air Pollution Tolerance Index (APTI)) درجه حساسیت و مقاومت گونه‌های گیاهی در برابر آلاینده‌های محیطی را مورد ارزیابی قرار دهند. در واقع شاخص تحمل به آلودگی هوا به عنوان یکی از معیارهای انتخاب گیاهان به منظور توسعه فضای سبز شهری در نظر گرفته شده است. در مقاله مروری Panda و همکاران APTI به عنوان شاخصی

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری از گیاهان

این مطالعه توصیفی - تحلیلی و مقطعی در سال ۱۳۹۷ در شهر یزد صورت گرفت. برای اجرای پژوهش حاضر ابتدا داده‌های کیفیت هوای شهر یزد که با استفاده از دستگاه‌های پایش آنلاین اداره کل حفاظت محیط زیست در ایستگاه‌های بلوار دانشجو و میدان ابودر اندازه گیری شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). موقعیت ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در میدان ابودر به صورت $31^{\circ}50'31''$ عرض شمالی و $23^{\circ}54'19''$ طول شرقی و در بلوار دانشجو $31^{\circ}51'32''$ عرض شمالی و $54^{\circ}21'39''$ طول شرقی تعیین گردید.

در ادامه، مناطقی از شهر یزد که بیشترین ترافیک را در اکثر زمان‌ها داشتند به‌عنوان منطقه آلوده و مناطقی که تحت تاثیر شدید آلودگی هوا ناشی از ترافیک و توسعه صنعتی نبودند به‌عنوان منطقه شاهد مشخص گردید. برای این منظور از داده‌های کارشناسان محیط زیست یزد استفاده شد. براساس داده‌های ترافیک، نواحی مرکزی شهر در طول سه میدان باهنر، آزادی و شهید بهشتی به‌عنوان منطقه پرترافیک و نواحی محوطه دانشگاه یزد به‌عنوان منطقه شاهد تعیین گردیدند. فاصله نزدیک‌ترین ایستگاه پایش آنلاین اداره محیط زیست به میادین باهنر، آزادی و شهید بهشتی ۳ km (ایستگاه بلوار دانشجو) و به دانشگاه یزد ۳ km (ایستگاه میدان ابودر) بود. بعد از انتخاب مناطق آلوده و شاهد برای نمونه‌برداری از گیاهان دو منطقه، ابتدا

با یک بررسی جامع، گونه‌های درختی، درختچه‌ای و بوته‌ای مشترک دو منطقه آلوده و شاهد تعیین گردید (شکل ۱). گونه‌های گیاهی شناسایی شده در دو منطقه پرترافیک و شاهد شامل چهار گونه درختی اقاچیا (*Robinia* *Pseudoacacia*)، نارون (*Ulmus minor*)، سروناز (*Cupressus sempervirens L.*) و کاج موگو (*Pinus Mugo*)، سه گونه درختچه‌ای شامل برگ نو (*Ligustrum latifolium*)، پیراکانتا (*Pyracantha coccinea*) و خرزهره (*Nerium Oleander*) و سه گونه بوته‌ای شامل اخترگلی (*Canna indica*)، گل سرخ (*Rosa damascena*) و شاه پسند (*Verbena hybrida*) بود. از هر گونه گیاهی ۳ نمونه در مناطق آلوده و شاهد برداشت گردید. کل نمونه‌های برداشته شده از دو منطقه پرترافیک و شاهد ۶۰ عدد تعیین شد. برای نمونه‌برداری از برگ گیاهان از قیچی فولادی ضد زنگ استفاده گردید. برای جلوگیری از پژمردگی برگ گیاهان، نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در یخ خشک قرار داده شد و بعد از ۳۰ min به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی منتقل گردید.

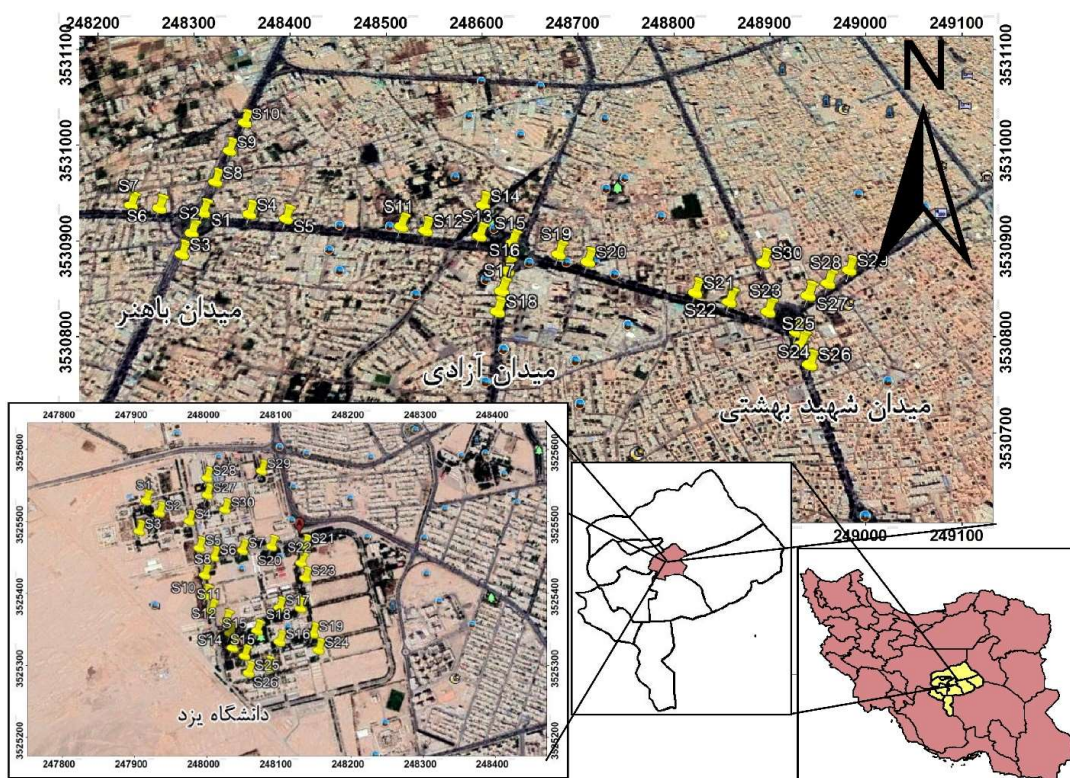
- اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی APTI

برای تعیین شاخص تحمل گیاهان به آلودگی هوا مطابق معادله ۱، از دو پارامتر فیزیولوژیکی pH عصاره برگ و محتوای آب نسبی و دو پارامتر بیوشیمیایی اسید آسکوربیک و کلروفیل کل استفاده شد.

$$APTI = (AA(TChl + pH) + RWC) / 10 \quad (1)$$

جدول ۱- میانگین غلظت آلاینده‌های اندازه گیری شده توسط دستگاه پایش آنلاین اداره کل محیط زیست واقع در ایستگاه‌های میدان ابودر و بلوار دانشجو

ایستگاه	آلاینده	Co (ppm)	O ₃ (ppb)	NO (ppb)	NO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM ₁₀ (μg/m ³)
میدان ابودر	۰/۸۹	۳۳/۱۱	۴۳/۷۸	۲۵/۹۸	۶۹/۷۲	۲۵/۹۱	۹۲/۱۵	
بلوار دانشجو	۳/۳۶	۱۶/۴۷	۱۷/۹۰	۲۴/۸۲	۳۶/۶۳	۷/۸۳	۱۱۳/۷۱	



شکل ۱- موقعیت مکان‌های نمونه برداری از گیاهان در نواحی پرتراфик (میدان باهنر، آزادی و شهید بهشتی) و شاهد (دانشگاه یزد) شهر یزد

برای اندازه گیری pH عصاره برگ ابتدا ۲ g از وزن تازه برگ گیاه را توزین و به مدت ۲۰ min در هاون چینی ساییده شد. با افزودن ۲۰ mL آب دوبار تقطیر به نمونه‌های ساییده شده، نمونه‌های محلول به فالکون‌های ۵۰ mL انتقال داده شد تا با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ min با دور ۴۰۰۰ rpm عصاره خالص آن به دست آید. بعد از عصاره گیری، به منظور جلوگیری از ورود باقیمانده‌های گیاهی به ظرف جدید، نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد و به دورن بشر انتقال یافت. در نهایت pH عصاره گرفته شده از نمونه‌ها با استفاده از pH متر دیجیتالی کالیبره شده قرائت شد (۲۳).

برای اندازه‌گیری کلروفیل کل نمونه‌های گیاهی ۰/۵g از وزن تر هر نمونه برگ با ۱۰ mL استون ۸۰ درصد در هاون چینی به خوبی ساییده شد. سپس عصاره حاصله بعد از ۱۰ min سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به درون

در این معادله منظور از AA اسید آسکوربیک، TChl کلروفیل کل، pH عصاره برگ و RWC محتوای آب نسبی است (۲۱).

برای اندازه گیری محتوای آب نسبی (RWC) ابتدا وزن تر نمونه برگ گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۰۱ اندازه گیری شد سپس با ثبت مشخصات، آنها را در پاکت گذاشته و در آون در دمای ۷۰°C به مدت ۲۴ h قرار داده شد. بعد از هوادهی، وزن خشک نمونه‌های اندازه گیری شد و با استفاده از معادله ۲ محتوای آب نسبی نمونه‌ها تعیین گردید.

$$RWC\% = ((Wt - Wd) / Wt) \times 100 \quad (2)$$

در این معادله Wt وزن تر و Wd وزن خشک نمونه‌های مورد بررسی است (۲۲).

- اندازه گیری تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان رویش یافته در دو منطقه شاهد و پر ترافیک شهر یزد

برای اندازه‌گیری تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان مورد بررسی، از روش هضم خشک استفاده شد. به این صورت نمونه‌های گیاهی به مدت ۲۴ h در آن قرار داده شد تا کاملاً خشک گردند. سپس نمونه‌ها با استفاده از آسیاب برقی استریل کاملاً پودر شدند. در مرحله بعد، ۱ g از پودر هر نمونه گیاهی به درون بوتله چینی ریخته و در دمای ۵۵۰ °C به مدت ۴ h در کوره قرار داده شد. سپس به نمونه‌های خاکستر، ۱۰ mL اسید کلریک ۲ M افزوده شد و در دمای ۸۰ °C روی هیتر برقی حرارت داده شد تا دو سوم اسید به صورت بخار از محلول‌ها خارج شود. بعد از حرارت دهی، نمونه‌ها به مدت چند دقیقه ساکن ماندند تا به آرامی سرد شوند. سپس نمونه‌های سرد همراه با مقداری آب مقطر از کاغذ صافی عبور داده شد تا به بالن‌های ۵۰ mL انتقال و به حجم رسانیده شوند. در نهایت غلظت Pb و Cd در نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل NOVA 300 بر حسب mg/kg اندازه‌گیری شد (۲۶).

داده‌های به‌دست آمده در نرم افزار SPSS 22 تجزیه و تحلیل شدند. ابتدا با استفاده از آزمون نرمالیتت کلموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. همچنین برای بررسی وجود اختلافات معنی‌دار بین گیاهان مورد بررسی از نظر فاکتورهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شاخص تحمل به آلودگی هوا و همچنین غلظت فلزات سنگین از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی دانکن (Duncan) استفاده شد. برای بررسی روابط همبستگی بین فاکتورهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی با فلزات سنگین موجود در گیاهان، در صورت نرمال بودن از آزمون ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) و در غیر این صورت از آزمون اسپیرمن (Spearman)

کوت‌های مخصوص توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۶۴۵ nm و ۶۶۳ nm قرائت گردید. پس از قرائت نمونه‌ها، میزان جذب در دو طول موج مورد نظر در معادلات زیر جایگذاری و مقادیر کلروفیل a (معادله ۳)، کلروفیل b (معادله ۴) و کلروفیل کل (معادله ۵) بر حسب mg/g.FW محاسبه گردید.

$$a = \frac{V}{100 W} (19.3 \times A_{663}) - (0.086 \times A_{645}) \quad (3)$$

$$b = \frac{V}{100 W} (19.3 \times A_{645}) - (3.6 \times A_{663}) \quad (4)$$

$$\text{کلروفیل کل} = a + \text{کلروفیل b} \quad (5)$$

در معادلات فوق پارامترهای V و W به ترتیب بیانگر حجم نهایی نمونه استخراج شده و وزن تر نمونه است (۲۴). برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک ۱ g از برگ تازه گیاه توزین و در ۲۰ mL محلول ۵ درصد اسید متافسفریک ساییده شد و محلول حاصل به مدت ۲۰ min با دور ۸۰۰۰ rpm و در دمای ۴ °C سانتریفیوژ گردید. سپس ۱ mL از محلول رویی صاف شده برداشته شده و به آن ۰.۵ mL DCIP، ۳ M اضافه گردید. در مرحله بعد ۱ mL تیواوره ۱ درصد به نمونه‌ها اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۲۰ min ساکن ماندند. سپس ۱ mL محلول ۱۰ M DNPH به نمونه‌ها اضافه گردید تا مشتق ۲، ۴- دی نیتروفنیل هیدرازین از اسید دهیدروآسکوربیک تشکیل شود. بعد از طی مراحل فوق، نمونه‌ها به مدت ۱ h در حمام آب ۵۰ °C و سپس به مدت ۲۰ min در حمام یخ قرار داده شدند. در زمان ماندگاری نمونه‌ها در حمام یخ به تدریج ۲/۵ mL اسید سولفوریک ۸۵ درصد به نمونه‌ها افزوده شد. سپس به هر نمونه ۱ mL اسید سولفوریک ۲۰ درصد به آرامی افزوده شد. هم‌زمان با تهیه محلول‌ها جهت قرائت اسید آسکوربیک، نمونه‌های شاهد جهت کالیبراسیون دستگاه اسپکتروفتومتر تهیه شدند. در مرحله بعد اقدام به اندازه‌گیری اسید آسکوربیک نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ nm گردید (۲۵).

شاهد و پرترافیک تفاوت معنی‌داری وجود دارد اما در سایر گونه‌ها این تفاوت معنی‌دار نبود. نتایج آزمون دانکن برای گونه‌های گیاهی رویش یافته در منطقه پرترافیک نشان داد، بیشترین محتوای آب نسبی مربوط به گونه اختر کلی (۸۴/۷۳ درصد) و کمترین آن مربوط به گونه کاج موگو (۵۴/۱۱ درصد) است. محتوای آب نسبی در گونه‌های پیراکانتا، کاج، سرو و نارون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. بعد از اختر کلی به ترتیب گونه‌های برگ نو (۷۶/۶۷ درصد)، شاه پسند (۶۵/۴۷ درصد) و خرزهره (۶۲/۰۷ درصد) بیشترین محتوای آب نسبی را دارا بودند. در منطقه شاهد مشابه منطقه پرترافیک، بیشترین محتوای آب نسبی مربوط به اختر کلی (۸۱/۰۵ درصد) بود که تفاوت معنی‌داری با گونه برگ نو نداشت. کمترین محتوای آب نسبی برای گیاه پیراکانتا (۵۱/۸۵ درصد) به‌دست آمد. تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای آب نسبی در گیاهان شاهد اخترگلی و برگ نو، شاه پسند و گل رز، کاج، سروناز، پیراکانتا و نارون مشاهده نشد (نمودار ۱). نتایج آنالیز واریانس برای پارامتر pH عصاره برگ گیاهان نشان داد، اختلاف pH عصاره برگ گیاهان منطقه پرترافیک و شاهد در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (p = ۰/۰۲). به طوری که محتوای pH عصاره برگ گیاهان در مناطق پرترافیک کمتر از منطقه شاهد بود. نتایج نشان داد بیشترین مقادیر pH عصاره برگ مربوط به گیاه شاه پسند (۷/۰۱) در منطقه شاهد و کمترین آن مربوط به کاج موگو (۵/۰۳) در منطقه پرترافیک شهر یزد است. در منطقه

(Correlation) استفاده گردید. کلیه ترسیم نمودارها در نرم افزار اکسل انجام شد.

یافته‌ها

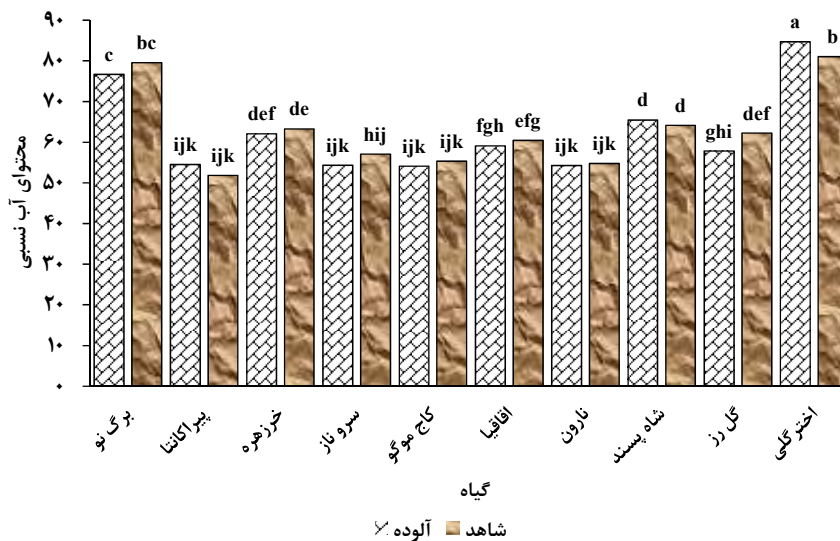
نتایج ارزیابی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان در دو منطقه شاهد و پرترافیک شهر یزد

نتایج آنالیز واریانس نشان داد، بین گونه‌های گیاهی از لحاظ محتوای آب نسبی، pH عصاره برگ، کلروفیل کل، اسید آسکوربیک و شاخص تحمل به آلودگی هوا اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (p = ۰/۰۰). همچنین بررسی نتایج نشان داد که اختلاف پارامترهای بررسی شده در دو منطقه مورد نظر، برای پارامترهای pH عصاره برگ (p = ۰/۰۲)، کلروفیل کل (p = ۰/۰۰)، اسید آسکوربیک (p = ۰/۰۰) و شاخص تحمل به آلودگی هوا (p = ۰/۰۰) معنی‌دار است (جدول ۲). از طرف دیگر نتایج آنالیز واریانس برای پارامتر محتوای آب نسبی نشان داد که اختلاف محتوای آب نسبی در دو منطقه پرترافیک و شاهد معنی‌دار نیست (p = ۰/۱۸). نتایج دیگر نشان داد در هر یک از مناطق شاهد و پرترافیک گونه‌های گیاهی دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر هستند (p = ۰/۰۰). اگرچه بررسی میانگین محتوای آب نسبی نشان داد میزان پارامتر در منطقه پرترافیک کمتر از منطقه شاهد بود. نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد، محتوای آب نسبی در گیاهان اختر گلی و گل رز در دو منطقه

جدول ۲- آنالیز واریانس گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در دو منطقه پرترافیک و شاهد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای آب نسبی	pH عصاره برگ	کلروفیل کل	اسید آسکوربیک	شاخص تحمل به آلودگی هوا
Cd	Pb					
منطقه	۱	۶/۴۳ ^{ns}	۰/۴۳*	۶۷/۵۳**	۱۱/۷۵**	۲۲/۸۳**
گونه	۹	۶۲۳/۱۷**	۱/۵۰**	۴۴**	۵/۹۱**	۳۵/۸۶**
گونه [*] منطقه	۹	۹/۷۶**	۰/۲۴**	۱/۴۴ ^{ns}	۰/۵۹**	۳/۶۳**
خطا	۴۰	۳/۵۴	۰/۰۷	۱/۴۵	۰/۰۱	۰/۱۰

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار



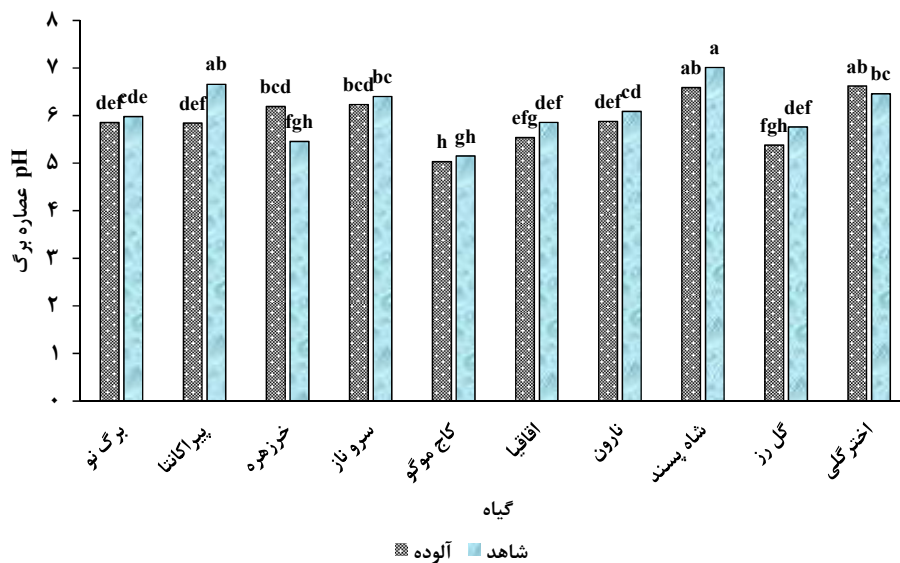
نمودار ۱- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی در گونه‌های گیاهی مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه‌های گیاهی است.

محتوای کلروفیل در منطقه شاهد مربوط به گیاه برگ نو بود. گیاهان پیراکانتا، خرزهره، نارون، شاه پسند و گل رز در منطقه شاهد از لحاظ محتوای کلروفیل برگ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (نمودار ۳).

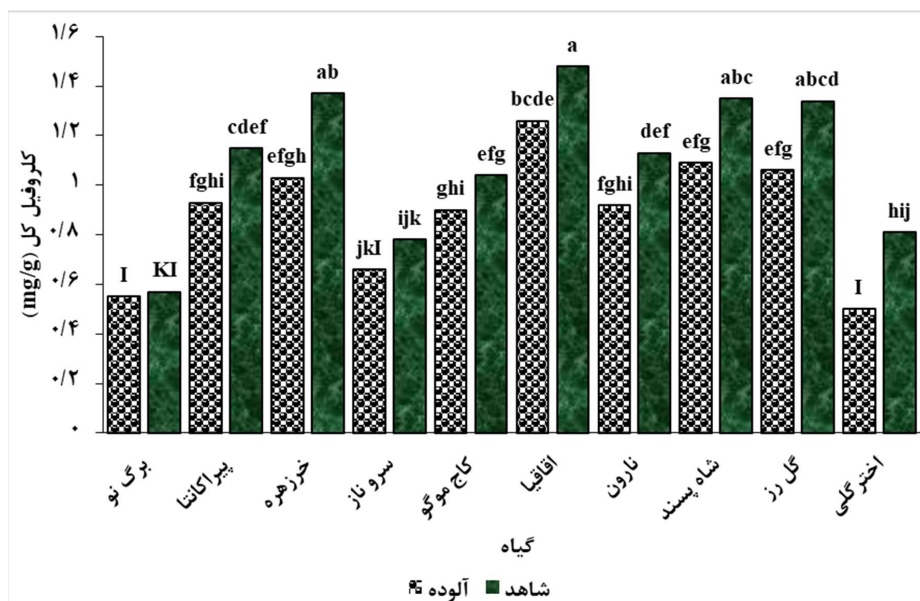
نتایج آنالیز واریانس آخرین پارامتر بیوشیمیایی نشان داد، محتوای اسید آسکوربیک در برگ گیاهان منطقه شاهد و پرتراپیک به طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد متفاوت است ($p=0/00$). نتایج آزمون مقایسه میانگین اسید آسکوربیک در گیاهان رویش یافته در دو منطقه پرتراپیک و شاهد نشان داد، در منطقه پرتراپیک بیشترین محتوای اسید آسکوربیک ($5/98 \text{ mg/g.FW}$) مربوط به گل‌رز بوده که اختلاف معنی‌داری با گیاه برگ نو ($5/39 \text{ mg/g.FW}$) نداشت. کمترین میزان اسید آسکوربیک ($0/25 \text{ mg/g.FW}$) برای گیاه اختر گلی به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد در منطقه پرتراپیک، ۴ گونه پیراکانتا، کاج، افاقیا و نارون و ۲ گونه سرو و خرزهره از لحاظ محتوای اسید آسکوربیک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در منطقه شاهد بیشترین محتوای اسید آسکوربیک ($2/83 \text{ mg/g.FW}$) در گیاه گل رز اندازه‌گیری شد. کمترین محتوای اسید

پرتراپیک اختر گلی، شاه پسند، سرو ناز و خرزهره، همچنین گل رز، نارون، افاقیا، پیراکانتا و برگ نو اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (نمودار ۲).

نتایج دیگر آنالیز واریانس نشان داد، محتوای کلروفیل کل در برگ گیاهان منطقه شاهد و پرتراپیک به طور معنی‌داری در سطح ۱ درصد متفاوت است ($p=0/00$). نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد، گونه‌های برگ نو، پیراکانتا، خرزهره، سرو، کاج، افاقیا، شاه پسند و گل رز در مناطق پرتراپیک و شاهد از نظر کلروفیل کل با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. در منطقه پرتراپیک، بیشترین محتوای کلروفیل کل در برگ گیاه افاقیا اندازه‌گیری شد. کمترین محتوای کلروفیل برای گیاه اختر گلی به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با گیاه برگ نو و سرو ناز نداشت. همچنین نتایج نشان داد گیاه گل رز در مناطق پرتراپیک از لحاظ محتوای کلروفیل کل با گیاه خرزهره، پیراکانتا، کاج موگو و شاه پسند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در منطقه شاهد بیشترین محتوای کلروفیل مربوط به افاقیا بود که اختلاف معنی‌داری با گیاهان خرزهره، شاه پسند و گل رز نداشت. کمترین



نمودار ۲- مقایسه میانگین pH عصاره برگ در گونه‌های گیاهی مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گونه‌های گیاهی است.



نمودار ۳- مقایسه میانگین کلروفیل کل در برگ گونه‌های گیاهی مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گونه‌های گیاهی است.

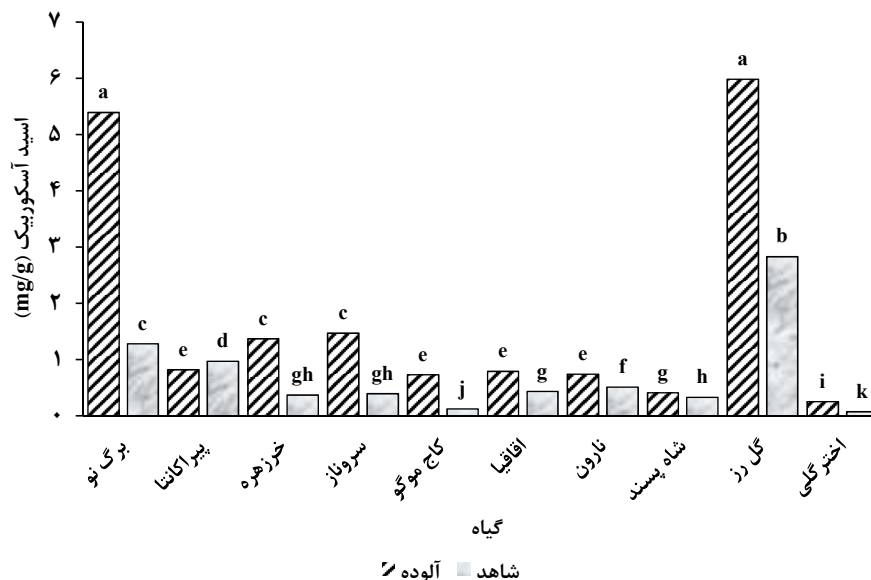
نتایج آنالیز واریانس نشان داد، میزان APTI گیاهان در منطقه شاهد و پرتراфик به‌طور معنی‌داری متفاوت است ($p = 0/00$). به‌طوری که در منطقه پرتراфик شاخص تحمل آلودگی هوا در گیاهان بیشتر از منطقه شاهد است.

آسکوربیک ($0/07 \text{ mg/g.FW}$) مربوط به گیاه اختر گلی بود. سه گیاه خرزهره، شاه پسند و سرو ناز از لحاظ محتوای اسید آسکوربیک در منطقه شاهد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (نمودار ۴).

رویش یافته در دو منطقه پرتراфик و شاهد در نمودار ۶) بخش الف و ب) نشان داده شده است. مطابق نتایج در منطقه پرتراфик بیشترین مقدار Pb ($26/50 \text{ mg/kg}$) در گیاه سروناز بود. کمترین غلظت Pb ($12/40 \text{ mg/kg}$) در گیاه کاج موگو اندازه گیری شد. سایر گونه مورد مطالعه از نظر غلظت Pb تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند. در منطقه غیرآلوده بیشترین میزان Pb ($17/53 \text{ mg/kg}$) در گیاه برگ نو بود که اختلاف معنی داری با گونه های پیراکانتا، سرو، برگ نو و کاج ندارد. سایر گونه های گیاهی از نظر غلظت Pb اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. نتایج دیگر نشان داد بیشترین و کمترین مقدار Cd در منطقه آلوده به ترتیب در گیاه نارون ($8/37 \text{ mg/kg}$) و افاقیا ($1/67 \text{ mg/kg}$) است. در منطقه پرتراфик میانگین غلظت Cd در ۴ گونه گیاهی برگ نو، پیراکانتا، کاج موگو و گل رز، همچنین در ۵ گونه اختر گلی، خرزهره، گل رز، سرو و کاج موگو اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. در منطقه شاهد بیشترین مقدار Cd در گیاه پیراکانتا ($6/46 \text{ mg/kg}$) اندازه گیری شد. کمترین میزان Cd در گیاه شاه پسند بود که تفاوت معنی داری با گیاهان گل

در منطقه پرتراфик بیشترین شاخص تحمل آلودگی هوا ($15/36$) در گیاه گل رز اندازه گیری شد. کمترین شاخص تحمل آلودگی هوا ($6/44$) برای گیاه کاج موگو بود که اختلاف معنی داری با گونه های پیراکانتا و کاج نداشت. شاخص تحمل سه گونه ای سرو، شاه پسند و افاقیا، همچنین شاخص تحمل آلودگی هوا دو گونه اختر گلی و خرزهره، سه گونه پیراکانتا، نارون و کاج موگو در منطقه آلوده تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. نتایج دیگر نشان داد، در منطقه غیرآلوده گل رز بیشترین شاخص تحمل آلودگی هوا ($11/66$) دارد. در حالی که کمترین مقدار این شاخص برای گیاه کاج موگو ($5/73$) به دست آمد که تفاوت معنی داری با پیراکانتا، کاج و نارون نداشت. شاخص تحمل آلودگی هوا در سه گونه گیاهی پیراکانتا، کاج و نارون، همچنین شاخص دو گیاه افاقیا و شاه پسند و شاخص دو گیاه گل رز و اختر گلی تفاوت معنی داری با یکدیگر در منطقه شاهد نداشتند (نمودار ۵).

نتایج بررسی تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان دو منطقه شاهد و پرتراфик شهر یزد
نتایج غلظت فلزات سنگین Pb و Cd در گونه های گیاهی



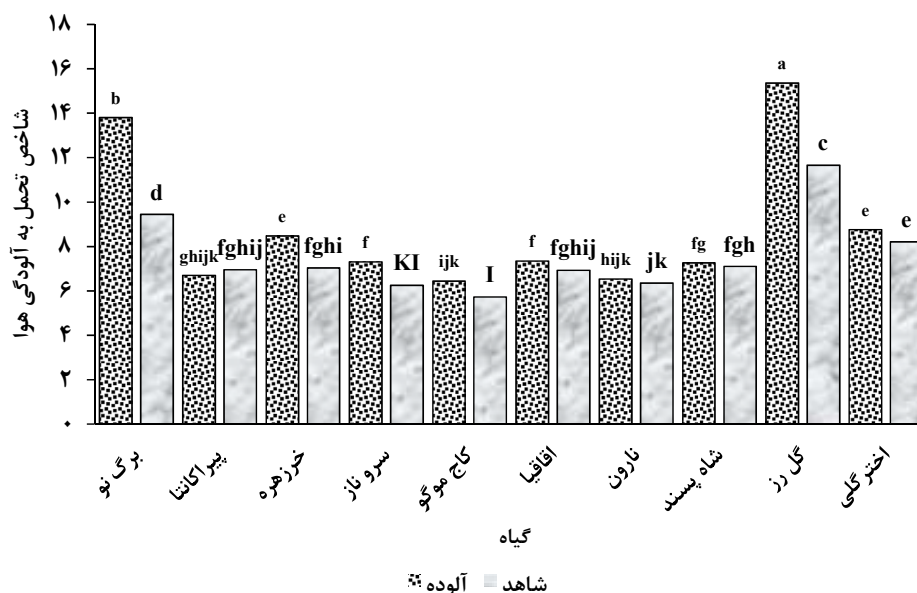
نمودار ۴- مقایسه میانگین اسید آسکوربیک در برگ گونه های گیاهی مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه های گیاهی است.

غلظت Pb میزان کلروفیل کل گیاه کاهش یافت. همچنین میان غلظت Pb با اسید آسکوربیک گیاه همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده گردید. نتایج نمایانگر افزایش میزان اسید آسکوربیک گیاه در اثر افزایش غلظت Pb در آن بود. همبستگی بین Pb، اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی با شاخص تحمل آلودگی هوا مثبت و معنی دار بود. با افزایش غلظت Pb، اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی مقادیر شاخص تحمل آلودگی هوا گیاهان افزایش یافت (جدول ۳).

رز، اختر گلی، اقا قیا، برگ نو، پیرا کانتا و سرو نداشت. قابل ذکر است، گیاهان خرز هره و کاج از نظر غلظت Cd تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (نمودار ۶).

نتایج همبستگی تجمع زیستی عناصر Cd و Pb با پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی APTI گیاهان دو منطقه شاهد و پرترا فیک شهر یزد

نتایج همبستگی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و جذب فلزات سنگین در برگ گونه های گیاهی مورد بررسی نشان داد، همبستگی منفی بین غلظت کلروفیل کل و میزان Pb برگ وجود دارد. به طوری که با افزایش

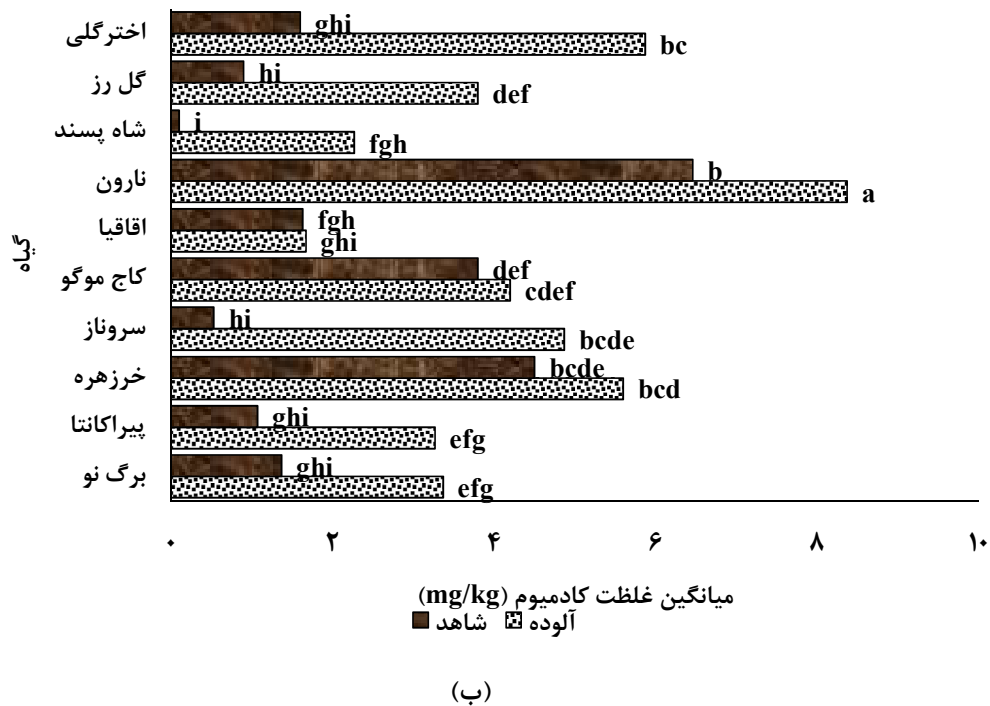
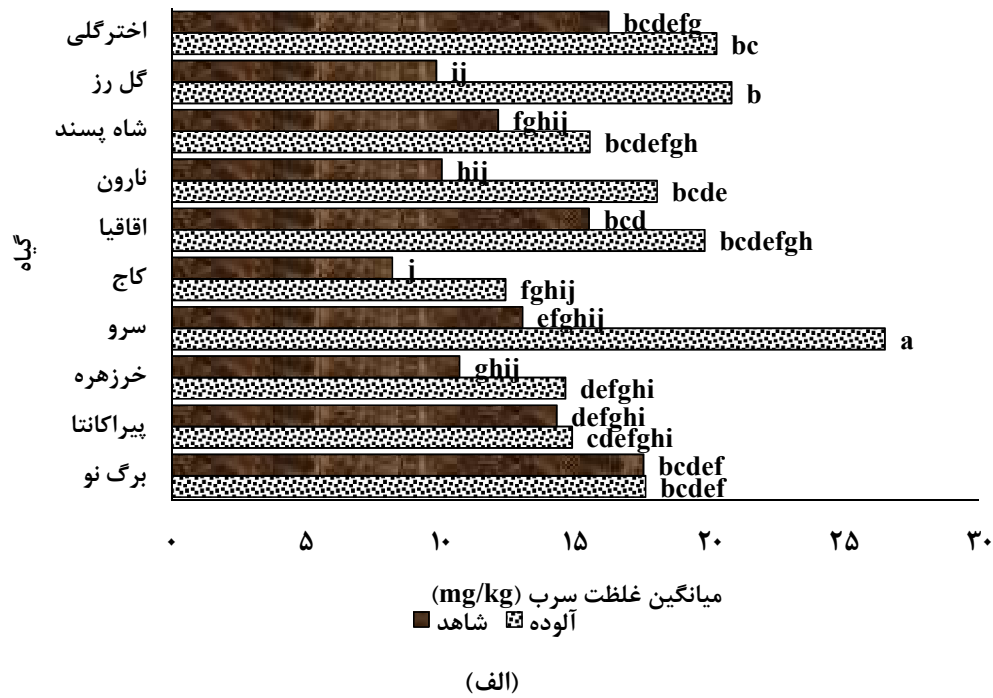


نمودار ۵- مقایسه میانگین شاخص تحمل به آلودگی هوا گونه های گیاهی مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه های گیاهی است.

جدول ۳- ضریب همبستگی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و جذب عناصر سنگین با شاخص تحمل آلودگی هوا

صفت	کادمیوم	سرب	کلروفیل کل	اسید آسکوربیک	pH عصاره برگ	محتوای آب نسبی	شاخص تحمل آلودگی هوا
کادمیوم	۱						
سرب	۰/۱۱	۱					
کلروفیل کل	-۰/۲۵	-۰/۳۴*	۱				
اسید آسکوربیک	۰/۰۹	۰/۳۲*	-۰/۱۲	۱			
pH عصاره برگ	-۰/۲۵	۰/۰۶	-۰/۱۷	-۰/۲۷	۱		
محتوای آب نسبی	-۰/۲۱	۰/۰۸	-۰/۱۱	-۰/۲۱	۰/۲۳	۱	
شاخص تحمل آلودگی هوا	-۰/۱۰	۰/۴۱**	-۰/۱۲	۰/۵۲**	۰/۰۴	۰/۶۳**	۱

* همبستگی بین فاکتورهای مورد بررسی در سطح ۵ درصد معنی دار. ** همبستگی بین فاکتورهای مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی دار



نمودار ۶- مقایسه میانگین غلظت Pb (الف) و Cd (ب) گیاهان مورد بررسی در دو منطقه آلوده و شاهد. ستون دارای حداقل یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه‌های گیاهی است.

بحث

- ارزیابی تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان رویش یافته در دو منطقه شاهد و پرتراپیک شهر یزد

تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان تهدیدی جدی برای سلامتی انسان است چراکه Cd به راحتی توسط گیاه جذب شده و وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردد. وجود غلظت بالای Pb در محیط، تاثیر منفی بر سرعت جوانه زنی، وضعیت آب در گیاه، وزن خشک ریشه و بخش‌های هوایی گیاه، فتوسنتز، جذب عناصر غذایی و فعالیت آنزیمی دارد (۲۷). غلظت این عناصر تحت شرایط محیطی مختلف متفاوت است. Amiri و همکاران طی تحقیقی بر روی تجمع زیستی عناصر سنگین در گیاهان کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) رویش یافته در مناطق صنعتی، غیرصنعتی پرتراپیک و کم تراپیک به این نتیجه رسیدند که تجمع سرب و کادمیوم در گیاهان رویش یافته مناطق صنعتی نسبت به مناطق غیر صنعتی پرتراپیک و کم تراپیک بیشتر است (۲۸). در مطالعه Rahmani و همکاران تاثیر میزان آلودگی هوا در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ بر غلظت فلزات سنگین در برگ درختان افرای زینتی و چنار شهرستان ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، افزایش آلودگی هوا در سال ۱۳۹۳، نسبت به سال ۱۳۹۲، انباشت اغلب عناصر توسط گونه‌های مورد نظر نیز افزایش داده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد، در برگ درختان افرای زینتی و چنار انباشت عناصر در منطقه شاهد کمتر و در مناطق آلوده بیشتر است (۲۹). در مطالعه حاضر میزان تجمع Pb و Cd در منطقه پرتراپیک شهر یزد بیشتر از منطقه شاهد بود که این نتیجه با نتایج Rahmani و همکاران (۲۹)، Salimi و همکاران (۱۱) و Ghanavati و همکاران (۱۰) همخوانی دارد. در این مطالعه بیشترین تجمع Pb و Cd در منطقه پرتراپیک شهر یزد به ترتیب در گیاهان سرو و نارون اندازه گیری شد که این موضوع مبین توانایی این دو گیاه به عنوان گونه‌های انباشگر Pb و Cd در مناطق

پرتراپیک است.

- ارزیابی پارامترهای فیزیولوژیکی pH عصاره برگ و محتوای آب نسبی گیاهان در دو منطقه شاهد و پرتراپیک شهر یزد

محتوای آب نسبی بالا در برگ گیاهان به حفظ تعادل فیزیولوژیکی گیاه تحت شرایط استرس نظیر افزایش آلودگی هوا و تبخیر معمولاً بالا کمک می‌کند و همچنین باعث مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌شود، بنابراین انتظار می‌رود گیاهانی که از محتوای آب نسبی زیادی برخوردارند در برابر آلودگی هوا مقاوم باشند. در این تحقیق بیشترین محتوای آب نسبی برای گونه اختر گلی و کمترین آن برای کاج موگو به دست آمد. بنابراین با توجه به محتوای آب نسبی زیاد در گیاه اختر گلی انتظار می‌رود این گونه تحمل پذیری بیشتری در برابر آلاینده‌ها داشته باشد. از طرفی نتایج این تحقیق نشان داد که همبستگی مثبتی بین این فاکتور با شاخص تحمل به آلودگی وجود دارد، که خود نشان‌دهنده اهمیت محتوای آب نسبی در گیاهان است. نتایج تحقیقات دانشمندان مبین افزایش محتوای آب نسبی گیاهان مقاوم در مناطق آلوده نسبت به شاهد بوده است. در تحقیق حاضر محتوای آب نسبی گیاهان مورد بررسی در مناطق پرتراپیک یزد در محدوده ۸۴/۷۳-۵۴/۱۱ درصد و در منطقه شاهد در محدوده ۸۱/۰۵-۵۱/۸۱ درصد قرار گرفت که مشابه نتایج سایر محققین بود. در مطالعه Leghari و همکاران محتوای آب نسبی را در درختان و درختچه‌ها به ترتیب ۸۹/۲-۷۹/۳ درصد و ۸۹/۲-۷۴/۸۹ درصد در مناطق آلوده اندازه‌گیری نمودند. در حالی که محتوای آب نسبی گیاهان در منطقه شاهد به ترتیب ۸۸-۸۰ درصد و ۸۷/۴-۷۲/۵ درصد بود. نتایج تحقیقات این محققین نشان داد محتوای آب نسبی گیاهان در منطقه آلوده بیشتر از منطقه شاهد است که خود دلیلی بر سازگاری‌های فیزیولوژیکی گیاهان تحت شرایط آلودگی است (۲۴). Jabeen و همکاران محتوای آب نسبی در ۱۰ گونه *Ricinus communis*, *Bougainvillea glabra*

به منطقه شاهد کمتر بود (۳۴). Skrynetska و همکاران در بررسی pH عصاره برگ گیاهان *Plantago major* و *Plantago lanceolate* در مناطق پرتراپیک و شاهد (پارک) شهر پולاند به این نتیجه دست یافتند که متوسط pH عصاره برگ گیاه *Plantago major* در مناطق پرتراپیک برابر ۵ و گیاه *Plantago lanceolate* برابر ۴/۵ است در حالی که این مقدار در منطقه شاهد (پارک) به ترتیب برابر با ۵/۶ و ۵/۲ بود (۳۵).

ارزیابی پارامترهای بیوشیمیایی اسید آسکوربیک و کلروفیل کل در گیاهان دو منطقه شاهد و پرتراپیک شهر یزد

زمانی که آلاینده‌ها توسط گیاهان جذب می‌گردند باعث تغییراتی در محتوای رنگیزه‌ها، آنتی اکسیدان‌ها و سایر شاخص‌های بیوشیمیایی می‌شوند که این تغییرات می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا مهیا کنند. عمومی‌ترین اثر آلودگی هوا در گیاهان محو شدن تدریجی کلروفیل و زرد شدن برگ‌هاست که ممکن است با کاهش ظرفیت فتوسنتز مرتبط باشد (۳۶). در طی تنش، کلروفیل در کلروپلاست‌ها تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌گردند. حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. کاهش غلظت کلروفیل‌ها و زرد شدن برگ‌ها بر اثر تنش‌های آلاینده‌ها از دیرباز شناخته شده است (۱۵). کاهش کلروفیل در گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلفی صورت می‌گیرد. آلاینده‌های نظیر Pb و Cd با تولید ROS (گونه‌های اکسیژن فعال) سبب مهار بیوسنتز کلروفیل و تخریب پراکسیداتیو اجزای سلولی می‌شوند. در تحقیق Amari و همکاران گزارش شده است، Pb و Cd با کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، مهار زنجیره انتقال الکترون، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و مهار آنزیم‌های سنتز کلروفیل می‌تواند باعث کاهش محتوای کلروفیل گیاهان شوند. از طرف دیگر Pb و Cd می‌توانند با جایگزینی با فلزاتی نظیر Fe، Mn و Zn در

Hibiscus, *Catha ranthusroseus*, *Shinus molle*, *Juniperus*, *Myoporum pictum*, *rosa-sinensis*, *Tagetestanui*, *Phoenix caespitosa*, *procera* و *folia* و *Vitis vinefera* رویش یافته در مناطق پرتراپیک Abha عربستان سعودی بیشتر از منطقه شاهد اندازه‌گیری نمودند (۳۰).

در این تحقیق میانگین pH عصاره برگ گیاهان در مناطق پرتراپیک شهر یزد و منطقه شاهد در محدوده ۷/۰۱-۵/۰۳ متغیر بود. بیشترین pH عصاره برگ مربوط به گیاه شاه پسند در منطقه شاهد و کمترین مربوط به کاج موگو در منطقه پرتراپیک شهر یزد بود. محتوای pH عصاره برگ اکثر گیاهان در نواحی پرتراپیک کاهش یافت که احتمالاً به واسطه آلاینده‌های گازی SO₂ و NO_x باشد. Achakzai و همکاران و Sinha و همکاران بیان داشتند در مناطق آلوده با ورود آلاینده‌ها (به‌ویژه SO₂) از طریق روزنه‌ها به برگ گیاهان حساس، وارد فضای بین سلولی شده و با یون‌های مثبت هیدروژن مایع سلولی واکنش داده و باعث تولید H₂SO₄ و کاهش pH عصاره برگ می‌گردد (۳۱). در تحقیقات دیگر گزارش شده است آلاینده NO_x که از روزنه عبور می‌کند و به اتافک زیر روزنه وارد می‌شود در لایه مرطوب سطح سلول‌ها یعنی آپوپلاست حل شده و به اسید نیتریک و اسید نیتریک تبدیل می‌شود. سپس NO₃⁻ و NO₂⁻ به همراه NO₃⁻ که از آوند چوبی می‌آید از غشاء عبور می‌کند و به سیتوپلاسم وارد می‌شود و در آنجا توسط آنزیم نیتریک ریداکتاز به NH₄⁺ تبدیل و در ساخت اسیدهای آمینه استفاده می‌شود. این واکنش‌ها موجب تغییر در pH عصاره برگ سلول می‌شوند (۳۳). Bharti و همکاران با بررسی pH عصاره برگ ۲۵ گونه گیاهی رویش یافته اطراف نواحی صنعتی و مناطق شاهد به این نتیجه رسیدند که pH عصاره برگ گیاهان در محدوده ۴/۵-۸/۲ متغیر است. بیشترین pH عصاره برگ در گیاهانی اندازه‌گیری شد که در منطقه شاهد رویش یافته بودند اما در مناطق صنعتی pH عصاره برگ نسبت

Phyllanthus globus, *Eucalyptus longifolia* بود *Citrus limon* و *camara Lantana emblica* در محدوده $mg/g.FW$ ۲۲/۶۸-۴/۰۴ اندازه‌گیری شد که بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر است (۴۰). *Walia* و همکاران بیشترین محتوای اسید آسکوربیک در گیاهان رویش یافته در اطراف ۲۲ بزرگراه در سولان برای گیاه *Cassia tula* ($10/22 mg/g.FW$) و کمترین آن برای گیاه *Grewiallia robusta* ($2/85 mg/g.FW$) اندازه‌گیری نمودند (۴۱).

– ارزیابی APTI گیاهان در دو منطقه شاهد و پرتراپیک شهر یزد

در مطالعات صورت گرفته بر روی شاخص تحمل آلودگی هوا گیاهان حساس و مقاوم به آلودگی هوا را براساس معیار APTI به صورت زیر گروه بندی نموده‌اند. گیاهان با مقدار APTI بین ۱۷-۳۰ مقاوم، بین ۱۳-۱۶ با مقاومت متوسط، بین ۱-۱۳ حساس و با معیار کمتر از یک خیلی پرتراپیک شهر یزد دو گونه گل رز و برگ نو در طبقه متوسط قرار گرفتند و مقادیر شاخص تحمل به آلودگی هوا در آنها به ترتیب برابر با $15/36$ و $13/80$ بود. سایر گونه‌های مورد مطالعه در طبقه حساس به آلودگی هوا بودند. در یک رتبه بندی شاخص تحمل آلودگی هوا گونه‌های گیاهی حساس در منطقه پرتراپیک شهر یزد به صورت اختراگی ($8/76$) < خرزهره ($8/47$) < افاقیا ($7/34$) < سرو ($7/31$) < شاه پسند ($7/26$) < پیراکانتا ($6/70$) < نارون ($6/54$) < کاج ($6/44$) بود. در منطقه شاهد کلیه گونه‌ها در طبقه حساس قرار گرفتند. رتبه‌بندی شاخص تحمل آلودگی هوا گیاهان در این منطقه به صورت گل رز ($11/66$) < برگ نو ($9/45$) < اختراگی ($8/21$) < شاه پسند ($7/10$) < خرزهره ($7/03$) < پیراکانتا ($6/95$) < افاقیا ($6/93$) < نارون ($6/36$) < سرو ($6/25$) < کاج ($5/73$) بود. *Agarwal* در تحقیقی بر روی شاخص تحمل آلودگی هوا گیاهان *Scindapsus aures*, *Quercue*, *Hedera helix*, *Ficus benjamiana*

متالوآنزیم‌ها باعث کمبود این عناصر در گیاه شوند در نتیجه میزان کلروفیل گیاهان کاهش یابد (۳۷). با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، مقادیر کلروفیل کل کلیه گیاهان مورد بررسی در مناطق پرتراپیک نسبت به منطقه شاهد کمتر بود، که احتمالاً به واسطه تجمع *Pb* و *Cd* در گیاهان باشد. کاهش میزان کلروفیل گیاهان در مناطق آلوده نسبت به شاهد در یافته‌های تحقیقاتی نظیر پژوهش *Kohan* و همکاران (۳۳) و *Zafarim* و همکاران (۳۸) منعکس شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارند. اما در مطالعه *Amini* و همکاران میزان کلروفیل کل گیاه *Fraxinus excelsior* در منطقه آلوده افزایش یافت که با دستاوردهای تحقیق حاضر مطابقت ندارد (۳۶).

اسید آسکوربیک یک ترکیب آنتی‌اکسیدان قوی با وزن مولکولی کم و محلول در آب است. این آنزیم چندین نقش فیزیولوژیک و اساسی در گیاه دارد. برای مثال در برخی از واکنش‌های فتوسنتزی به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند و با احیا غیرمستقیم ترکیباتی مانند آلفا-توکوفرول در دفع رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن موثر است. علاوه بر این، آسکوربیک اسید به‌طور مستقیم نیز با رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از فلزات سنگین واکنش داده و آنها را خنثی می‌کند. این ترکیب آنتی‌اکسیدان به‌طور مستقیم سوپراکسید، اکسیژن یکتایی و رادیکال هیدروکسیل را احیا و برای تبدیل هیدروژن پراکسید به آب در نقش سوپسترای آنزیم آسکوربات پراکسیداز عمل می‌کند (۳۹). در تحقیق حاضر بیشترین محتوای اسید آسکوربیک در منطقه پرتراپیک شهر یزد در گیاه گل رز ($5/98 mg/g.FW$) و کمترین آن در منطقه شاهد در گیاه اختراگی ($0/07 mg/g.FW$) اندازه‌گیری شد. در اکثر گونه‌های مورد بررسی محتوای آسکوربیک اسید در مناطق پرتراپیک بیشتر از منطقه شاهد بود. در مطالعه *Lohe* و همکاران، میزان اسید آسکوربیک در ۱۲ گونه گیاهی رویش یافته در مناطق آلوده *Dehradun* هند که شامل *Polyalthia indica*, *Mangifera*, *Ficus religiosa*

مصری، نخل، اشنان، آکاسیا و زیتون خوراکی همبستگی معنی‌داری با APTI ندارند درحالی‌که دو فاکتور اسید آسکوربیک و کلروفیل کل بیشترین تاثیر را در میزان تحمل پذیری گیاهان داشتند (۱۶). در مطالعه Joshi و همکاران همبستگی بین pH عصاره برگ و APTI تعدادی از گونه‌های گیاهی رویش یافته در ناحیه صنعتی Tarapur مثبت گزارش گردید (۴۲).

از کاستی‌ها و محدودیت‌های اجرایی این پژوهش می‌توان به عدم بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منابع خاکی و آبی بستر رشد گیاهان (EC (هدایت الکتریکی)، pH، SAR (نسبت جذب سدیم)، ماده آلی، نیتروژن و فسفر) اشاره نمود. چرا که تمامی این فاکتورها ممکن است در تحلیل نتایج تاثیرگذار باشند. لذا جهت دستیابی به نتایج بهتر پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی تمام این فاکتورها مورد بررسی قرار گیرد. از دیگر محدودیت اجرایی این پژوهش، هزینه‌های زیاد آنالیز فلزات سنگین و همچنین اندازه‌گیری سایر پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نمونه‌های گیاهی نظیر پرولین و قند محلول (از دیگر فاکتورهای موثر در نشان دادن تنش‌های گیاهی) می‌توان اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

در کل نتایج این تحقیق نشان داد که، گونه‌های متحمل به آلودگی هوا نسبت به جذب سرب نیز نسبتاً مناسب هستند. بنابراین با کاشت گونه‌های تحمل‌پذیر به آلودگی هوا در این مطالعه می‌توان غلظت سرب را در محیط شهری نیز کاهش داد و تاثیر احتمالی ترافیک و سایر منابع آلودگی منتشر کننده این عناصر را کاهش داد. در کل در بین ده گونه بررسی شده در این مطالعه، بیشترین و کمترین میزان تحمل پذیری به ترتیب در گونه گل رز و کاج مشاهده شد. علاوه بر این، با توجه به نتایج این تحقیق در بین گونه‌های درختی گونه افاقیا، در بین گونه‌های درختچه‌ای گونه برگ‌نو و در بین گونه‌های

Aglaonema crispum, *leucotrichopora*, *Codiaeum verigatum*, *Dracaena marginata*, *Sansevieria*, *Chlorophytum comosum* و *trifasciata* و *Chrysalidocarpus lutescens* در موسسه دفاعی تحقیقات بیو انرژزی (DIBER) هلدوانی توانستند آنها را طبقه حساس به آلودگی هوا کلاس بندی نمایند (۲۳). در مطالعه Skrynetska و همکاران با مطالعه بر روی گیاهان *Plantago*, *Plantago major* و *Robinia lanceolata* و *Achillea millefolium lanceolata* در کلاس حساس طبقه بندی نمودند (۲۲). همچنین در مطالعه Leghari و همکاران بر روی ۱۰ گونه درختی رویش یافته در کنار جاده در Quetta پاکستان که شامل *Morus alba L.*, *Fraxinus angustifolia Vahl.*, *Morus nigra L.*, *Pinus halepensis*, *Robinia pseudoacacia L.*, *Ficus carica L.*, *Prunus armeniaca L.*, *Miller*, *Platycladus orientalis L.*, *Malus pumila Miller* و *Pistacia vera L.* بود، محدوده شاخص APTI بین ۲۲/۱۰ تا ۲۶/۷۴ اندازه‌گیری نمودند (۲۴).

همبستگی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی APTI با تجمع زیستی Pb و Cd در گیاهان

در تحقیق حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص تحمل آلودگی هوا با محتوای آب نسبی، اسید آسکوربیک و Pb به‌دست آمد. این موضوع به‌وضوح نشان داد که عنصر Pb باعث افزایش واکنش گیاهان به اثر سمیت این عنصر شد درحالی‌که گیاهان واکنش فیزیولوژیکی معنی‌داری را در برابر عنصر Cd با غلظت موجود در گیاهان نشان ندادند. از طرف دیگر نتایج این همبستگی نشان داد که محتوای آب نسبی و اسید آسکوربیک نسبت به سایر عوامل تعیین‌کننده شاخص تحمل به آلودگی از اهمیت بیشتری برخوردار بودند. در مطالعه Shojaee Barjoe و همکاران گزارش گردید، تجمع زیستی Pb و Cd در گونه‌های گیاهی قلم، پسته، انار، درمنه، نارنج، ابریشم

pH عصاره برگ و کلروفیل کل، به طور معنی داری در اثر آلودگی هوا کاهش یافته‌اند. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، سه پارامتر اسید آسکوربیک، کلروفیل کل و pH عصاره برگ به عنوان اندیکاتور جهت پایش زیستی آلودگی هوا و محیط زیست مناسب هستند. با استفاده از این پارامترها، به طور نسبی می‌توان وضعیت آلودگی هوا و محیط زیست در مناطق مختلف تعیین کرد. که در این زمینه استفاده از اسید آسکوربیک و کلروفیل مناسب تر است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه با عنوان "بررسی شاخص تحمل به آلودگی هوا (APTI) و میزان تجمع زیستی سرب و کادمیوم در برخی از گونه‌های گیاهی شهر یزد" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۷ است که با حمایت دانشگاه یزد اجرا شده است. نویسندگان از کلیه افرادی که در انجام مراحل انجام این پژوهش یاری نموده‌اند، مراتب تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H. Comparison of work environment air quality and application of geostatistic technique in the spatial distribution of PM2.5 and PM10 in a number of industrial workshops. *Occupational Medicine Quarterly Journal*. 2020;11(4):23-35 (in Persian).
2. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Hosseini Sangchi SZ. Study of suspended air particles and health risk assessment of exposure to PM10 and PM2.5 in one of the textile industries. *Journal of Health*. 2020;11(2):144-55 (in Persian).
3. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, kuchakzadeh

بوته‌ای دو گونه گل رز و اختر گلی جهت کاشت در فضای سبز شهری نسبت به سایر گونه‌ها توصیه می‌شود. علاوه بر این گونه‌هایی که میزان APTI آنها کمتر است مانند کاج و نارون جهت پایش آلودگی هوا مناسب هستند. زیرا گونه‌های حساس تاثیر آلاینده‌های هوا و محیط زیست را نسبت به گونه‌های تحمل پذیر، بهتر نشان می‌دهند. از دیگر نتایج مهم این مطالعه می‌توان، به معنی دار بودن تفاوت سه پارامتر اسید آسکوربیک، کلروفیل کل و pH عصاره برگ در دو منطقه شاهد و آلوده اشاره کرد. به طوری که میزان اسید آسکوربیک برگ در منطقه آلوده افزایش می‌یابد و گیاهان با افزایش اسید آسکوربیک نسبت به آلاینده‌های هوا مقاومت نشان می‌دهند. اما برخلاف سایر پارامترها، محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی داری بین دو منطقه نداشت. نتایج دیگر نشان داد، در بین چهار پارامتر شاخص APTI، محتوای نسبی آب برگ بیشترین همبستگی را با APTI نشان داد، که این نتیجه اهمیت این پارامتر را در گیاهان را اثبات می‌کند. محتوای نسبی آب برگ علاوه بر تنش ناشی از آلودگی هوا، شاخصی جهت تعیین تحمل گیاه به تنش خشکی است. علاوه بر این اسید آسکوربیک برگ نیز همبستگی معنی دار و مستقیم با APTI داشت. بنابراین این پارامتر نیز اهمیت بالایی در تعیین میزان تحمل پذیری گیاهان به آلودگی هوا دارد. همچنین با توجه به نتایج این مطالعه، دو پارامتر

- MR, Mosleh Arani A, Sodaiezhadeh H. Dispersion and health risk assessment of PM10 emitted from the stacks of a ceramic and tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, using the AERMOD model. *Iranian South Medical Journal*. 2019;22(5):317-32 (in Persian).
4. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. Determination of pollution level, carcinogenic and non-carcinogenic risks of heavy metals of falling dust in industrial areas (Case study: Ardakan county industries). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;12(4):571-92 (in Persian).
5. Nadrian H, Taghdisi MH, Aghemiri M, Khazae-

- Pool M, Shojaeizadeh D. Impacts of urban traffic jams on physical health of residents from the inhabitants 'perspective in Sanandaj city (a qualitative study). *Iranian Journal of Health Education and Health Promotion*. 2017;5(4):345-58 (in Persian).
6. Behravesht F, Mahmudy Gharai M, Ghassemzadeh F, Avaz Moghaddam S. Determination of heavy metals pollution in traffic dust of Mashhad City, and its origin by using "selective sequential extraction" (SSE) procedure. *Journal of Geoscience*. 2015;24(95):141-50 (in Persian).
 7. Khosropour E, Atarod P. Heavy metal accumulation and anatomical responses of plane plant to urban pollutions in two areas of Tehran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2019;31(4):829-41 (in Persian).
 8. Behnam V, Gholamalizadeh AA, Rahmanian M, Bameri A. Investigation of contamination and spatial variations of lead and cadmium on the Zabol-Zahedan route. *Environment and Water Engineering*. 2019;4(4):331-42 (in Persian).
 9. Baghaie AH, Aghili F. Evaluation of lead and cadmium concentration of Arak City soil and their non-cancer risk assessment in 2017. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2018;17(8):769-80 (in Persian).
 10. Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T. Assessing the ecological and health risks of some heavy metals in roadside soil of Ahvaz. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2019;16(4):373-90 (in Persian).
 11. Salimi M, Bahmanyar M, Ghajar SM, Mohammadi A. Lead and cadmium changes in soil and Canola at Saveh-Hamedan roadside. *Journal of Water and Soil*. 2015;25(2):205-193 (in Persian).
 12. tabibian s, Bidarigh S, Torabian SY. Investigation on the adsorption of heavy metal in lead in a plane species in traffic areas in Rasht. *Human & Environment*. 2019;17(4):39-46 (in Persian).
 13. Chehregani rad A, Farzan S, Shirkhani Z. Effect of lead treatment on some morphological and physiological parameters of *Petunia hybrida* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2017;30(1):47-57 (in Persian).
 14. Mosleh Arany A, Mirzaee N, Sovdaeizadeh H, Mirshamsi H. The effect of cadmium and sodium nitroprusside (SNP) on growth and some physiological parameters on *Melia azedarach*. *Journal of Plant Process and Function*. 2015;4(11):127-36 (in Persian).
 15. Omidi N, Seyedi N, Banj Shafiei A, Abbaspour N. Effect of air pollution stress on proline, carbohydrates and photosynthetic pigments in Box Elder (*Acer negundo*), Case study: Urmia, Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2018;31(3):682-93 (in Persian).
 16. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A. Tolerance of plants to air pollution in the Industrial Complex of Glass, Khak-e-Chini, Tile and Ceramics in Ardakan, Iran. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2020;18(1):73-92 (in Persian).
 17. Papazian S, Blande J. Dynamics of plant responses to combinations of air pollutants. *Plant Biology*. 2020;22:68-83.
 18. Rashidi F. Air pollution tolerant Species in city green area. *Journal of Natural Environment*. 2019;72(2):251-61 (in Persian).
 19. Panda LL, Aggarwal R, Bhardwaj D. A review on air pollution tolerance index (APTI) and anticipated performance index (API). *Current World Environment*. 2018;13(1):55-56.
 20. Ghafari S, Kaviani B, Sedaghatoor S, Allahyari MS. Assessment of air pollution tolerance index (APTI) for some ornamental woody species in green space of humid temperate region (Rasht, Iran). *Environment, Development and Sustainability*. 2020. doi: 10.1007/s10668-020-00640-1.
 21. Salimi A, Dadkhah Aghdash H. Air pollution tolerance index (APTI) of three tree species *Morus alba* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Salix babylonica* L. in different areas of Tehran city, Iran. *Journal of Environmental Studies*. 2019;45(3):513-24 (in Persian).
 22. Skrynetska I, Ciepał R, Kandziora-Ciupa M, Barczyk G, Nadgórska-Socha A. Ecophysiological responses to environmental pollution of selected plant species in an industrial urban area. *International Journal of Environmental Research*. 2018;12(2):255-67.
 23. Agarwal A. Evaluation of indoor plants for their pollution tolerance ability. *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 2017;5(3):21-25.
 24. Leghari SK, Akbar A, Qasim S, Ullah S, Asrar M,

- Rohail H, et al. Estimating anticipated performance index and air pollution tolerance index of some trees and ornamental plant species for the construction of green belts. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2019;28(3):1759-69.
25. Molnár VÉ, Simon E, Tóthmérész B, Ninsawat S, Szabó S. Air pollution induced vegetation stress—The air pollution tolerance index as a quick tool for city health evaluation. *Ecological Indicators*. 2020;113:106234.
26. Tüzen M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Microchemical Journal*. 2003;74(3):289-97.
27. Valizadeh Kamran R, Vojodi Mehrabani L, Hassanpouraghdam MB. Study of the effects of lead and cadmium on growth and enzymatic activity of *Spinacia oleracea* in in vitro condition. *Genetic Engineering and Biosafety Journal*. 2018;6(2):257-68 (in Persian).
28. Amiri L, Azadi R, Raštegarzadeh S, Zoufan P. Monitoring of concentration of heavy metals in *Conocarpus erectus* in different areas of industrial city of Abadan. *Iranian Journal of Natural Resources*. 2019;72(2):143-57 (in Persian).
29. Rahmani G, Seyedi N, Banj Shafiei A, Rasouli Sadaghiani M. Effect of air pollution on leaf heavy metals concentrations (Fe, Cu, Zn and Mn) of Box Elder (*Acer negundo*) and Oriental Plane (*Platanus orientalis*) (Case study: Urmia City). *Iranian Journal of Applied Ecology*. 2018;6(4):97-108 (in Persian).
30. Jabeen R. Air pollution tolerance index (APTI) of some plants growing on the roads of Abha, Saudi Arabia. *Bioscience Biotechnology Research Communications*. 2019;12(3):631-36.
31. Achakzai K, Khalid S, Adrees M, Bibi A, Ali S, Nawaz R, et al. Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan. *Journal of Environmental Management*. 2017;190:252-58.
32. Sinha S, Tripathi A, Verma N. Air pollution tolerance index of selected tree species of Doon Valley of Uttarakhand (India). *Indian Forester*. 2017;143(2):149-56.
33. Kohan A, Haghighi M, Ehtemam M, Mirghaffari N. The effect of gasoline exhaust pollution on some anatomical, physiological and morphological characteristics of Spinach. *Journal of Environmental Studies*. 2018;43(4):683-97 (in Persian).
34. Bharti SK, Trivedi A, Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*. 2018;24:820-29.
35. Skrynetska I, Karcz J, Barczyk G, Kandziora-Ciupa M, Ciepał R, Nadgórska-Socha A. Using *Plantago major* and *Plantago lanceolata* in environmental pollution research in an urban area of Southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(23):23359-71.
36. Amini F, Fattah N, Askari M. Effects of air pollutants on the physiology and anatomy of *Fraxinus excelsior* leaves within the Iran's aluminum plant in Arak City. *Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology*. 2016;5(17):83-94 (in Persian).
37. Amari T, Ghnaya T, Abdely C. Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*. 2017;111:99-110.
38. Zafarim T, Bikhof Torbati M, Moraghebi F, Razavizadeh R. Evaluation of the effects of air pollution on some physiological parameters of *Pyracantha crenulata* var. *kansuensis* in clean and contaminated areas of Tehran. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 2016;11(42):75-84 (in Persian).
39. Ghodrati M, Chaparzadeh N, Dilmaghani K. Interactive effects of copper and ascorbic acid on some physiological characters in *Allium cepa* L. *Iranian Journal of Plant Biology*. 2014;5(18):37-52 (in Persian).
40. Lohe RN, Tyagi B, Singh V, Kumar TP, Khanna DR, Bhutiani R. A comparative study for air pollution tolerance index of some terrestrial plant species. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2015;1(4):315-24.
41. Walia K, Aggrawal RK, Bhardwaj SK. Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of plants and their role in development of green belt along national Highway-22. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019;8(3):2498-508.
42. Joshi N, Joshi A, Bisht B. Evaluation of air pollution tolerance index of some trees species from the industrial area of Tarapur. *International Journal of Life Sciences Scientific Research*. 2019;8(3):2498-508.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Air pollution tolerance index and heavy metals (Pb and Cd) bioaccumulation in selected plant species (trees, shrubs and herbs) in high-traffic areas of Yazd city

Behnam Nazari Alamdarloo*, Asghar Mosleh Arany, Saeed Shojaee Barjoe, Hamidreza Azimzadeh, Bahman Kiani
Department of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 7 June 2020
Revised: 22 August 2020
Accepted: 26 August 2020
Published: 21 September 2020

Keywords: Air pollution tolerance index, Control and high traffic areas, *Rosa damascena* and *Ligustrum vulgar*, Pb and Cd, Yazd city

*Corresponding Author:
b.nazari371@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Urban traffic, while affecting human health, causes physiological and biochemical changes in plants. The aim of this study was to investigate the bioaccumulation potential of Pb and Cd and assess air pollution tolerance index for a number of plants grown high traffic areas of Yazd.

Materials and Methods: This cross-sectional, descriptive-analytical study was performed in both control and high traffic areas of Yazd city by random sampling of trees, shrub and herb species. After transferring the samples to laboratory, relative water content, pH of leaf extract, total chlorophyll and ascorbic acid content (the factors for calculating APTI) in plants were measured using standard methods. Furthermore, Pb and Cd concentrations were measured to find their relation with APTI index in plants. All statistical analysis, including Kolmogorov-Smirnov test, ANOVA, Duncan test and Pearson correlation coefficient between the studied parameters, were performed in SPSS software version 22.

Results: The highest relative water content (84.73%) and ascorbic acid (5.98 mg/g) were measured in contaminated area for *Canna indica* and *Rosa damascena*, respectively. Also, the highest acidity (7.01) and total chlorophyll (1.48 mg/g) in the control area were measured for *Verbena hybrida* and *Ligustrum vulgar*, respectively. The highest air pollution tolerance values were recorded in *Rosa damascena* and *Ligustrum vulgar*. Moreover, the results obtained showed that APTI index was positively and significantly correlated to Pb, ascorbic acid and relative water content.

Conclusion: According to the classification of air pollution tolerance index, two species of *Rosa damascena* and *Ligustrum vulgar* exhibited moderately tolerant to traffic pollutant. Therefore, based on ecological requirements of these two species, they can be used to develop green spaces in high-traffic areas of Yazd. This study showed that Pb increased physiological response of the studied plants, while the plants did not exhibit a significant physiological response to the Cd element. The results also showed that the relative water content and ascorbic acid were more important in the air pollution tolerance index than other factors.

Please cite this article as: Nazari Alamdarloo B, Mosleh Arany A, Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Kiani B. Air pollution tolerance index and heavy metals (Pb and Cd) bioaccumulation in selected plant species (trees, shrubs and herbs) in high-traffic areas of Yazd city. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;13(2):299-318.

