

## ارزیابی شاخص تحمل گیاهان به آلودگی هوای مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان

سعید شجاعی بر جوئی: دانشجو دوره کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران - نویسنده رابط:

said.shojaee71@gmail.com

حمیدرضا عظیم زاده: دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

اصغر مصلح آرانی: دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۶

### چکیده

زمینه و هدف: شاخص تحمل به آلودگی هوا (Air Pollution Tolerance Index (APTI) به عنوان معیاری برای ارزیابی مقاومت گیاهان در برابر آلودگی هوا، یکی از ابزارهای مهم برای مدیریت کیفیت هوا پیرامون صنایع است. هدف از این پژوهش، بررسی کیفیت هوا و ارزیابی شاخص تحمل به آلودگی هوا در گیاهان بومی رویش یافته پیرامون مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان است. روش کار: برای انجام این مطالعه (مقطعی توصیفی-تحلیلی) ابتدا غلظت آلاینده های معیار هوا در ناحیه صنعتی مورد بررسی ارزیابی شد. سپس با نمونه برداری از برگ گیاهان بومی و اندازه گیری پارامترهای pH عصاره برگ، محتوای آب نسبی، کلروفیل کل و اسید آسکوربیک برگ، شاخص تحمل به آلودگی هوا تعیین شد. غلظت سرب (Pb)، کروم (Cr<sup>6+</sup>) و کادمیوم (Cd) در گیاهان، با استفاده از روش هضم خشک توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. کلیه تجزیه تحلیل آماری داده ها در نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج: میانگین غلظت SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub>، O<sub>3</sub>، CO، و PM<sub>10</sub> در ناحیه صنعتی به ترتیب با مقادیر برابر با ۲/۰۶، ۷/۷۵، ۳/۲۸ ppm و ۳۳/۹۴ ppb و ۷۰/۵۵ μg/m<sup>3</sup> پایین تر از حدود استاندارد است. همچنین غلظت سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr<sup>6+</sup>) در گیاهان پایین تر از حدود استاندارد بود. با این توصیف، متناسب با پایین بودن غلظت آلاینده های معیار کیفیت هوا و فلزات سنگین در گیاهان از حدود استاندارد، شاخص تحمل گیاهان پیرامون مجتمع صنعتی در طبقه حساس به آلودگی هوا اندازه گیری شد. در میان گونه های مرتعی، درختی و درختچه ای به ترتیب گیاه قلم (۸/۴۹)، انار (۱۶/۸۰) و ابریشم (۹/۳۷) بیشترین APTI دارا بودند.

نتیجه گیری: بر اساس APTI، پیشنهاد می شود از گونه غیرمثمر انارگل به عنوان گونه متحمل تر و گونه درمنه به عنوان پایشگر زیستی برای توسعه فضای سبز استفاده نمود.

واژگان کلیدی: شاخص تحمل به آلودگی هوا، اردکان، فلزات سنگین

### مقدمه

است (۱). امروزه یکی از مهمترین بحران ها و تهدیدات محیط زیست جامعه بشری به ویژه در محیط های شهری مستقر در پیرامون نواحی صنعتی، آلودگی هواست (۲). مطالعات نشان داده اند آلودگی هوا سهم قابل توجهی در بار

آلودگی هوا یکی از مشکلات عمده محیط زیستی است که با توسعه شهرها، ازدیاد رشد جمعیت، فعالیت های کشاورزی، پیشرفت صنایع و افزایش وسایل نقلیه، در اکثر نقاط جهان از جمله کشورهای در حال توسعه افزایش یافته

همچنین اثرات نامطلوب در سطح بیوشیمیایی نظیر کاهش غلظت کلروفیل و سایر رنگدانه ها، اسید آسکوربیک و افزایش رایکال های آزاد در بخش های مختلف اندام های گیاهی پدیدار می گردد (۸). با تغییر ماهیت پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان علائمی نظیر مهار رشد و تولید مثل، کاهش در تعداد برگ و سطح آن، ایجاد پیری زودرس، مسدود شدن روزنه ها و غیره ظهور می یابد (۹). با توجه به رفتار بسیاری از گیاهان در برابر آلاینده گازی و ذرات به عنوان گونه های گیاهی مقاوم، نیمه حساس و حساس به آلاینده های گازی و ذرات می توان آنان را به شکل کمربند های سبز اطراف صنایع و بزرگراه ها برای کاهش آلودگی هوا یا به عنوان پایشگر زیستی استفاده نمود (۱۰). در واقع برای بالا بردن کیفیت هوای آلوده در پیرامون نواحی صنعتی نیازمند گیاهان علی الخصوص درختان هستیم. لذا گیاهانی که بتوانند بین ساختار درونی و محیط آلوده بیرون تعادل ایجاد نمایند، می توانند در این شرایط دوام آورده و در فراهم آوردن کیفیت و پالایش بهتر هوا موثر واقع شوند (۱۱). اولین مرحله برای دستیابی به این اهداف، سنجش شاخص تحمل به آلودگی هوا در گونه های گیاهی سازگار به شرایط موجود است. شاخص تحمل به آلودگی هوا به عنوان شاخص مقاومت گیاهان در برابر آلودگی هوا، ابزاری برای طبقه بندی گیاهان به گروه های خیلی حساس، حساس و متحمل به آلودگی هوا در مکان ها مختلف است (۱۲). با توجه به اینکه تغییرات ناشی از آلودگی در یک پارامتر فیزیولوژیک یا بیوشیمیایی به تنهایی تصویر واضحی از وضعیت تحمل گیاهان نشان نمی دهد، گنجاندن مجموعه ای از پارامترها فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در قالب یک شاخص می تواند نتایج قابل اعتماد تری را ارائه دهد (۱۳). استفاده از این شاخص در مطالعات مختلف برای دستیابی به اهداف خاص انجام شده است. نمونه ای از این پژوهش ها، مطالعه Enete و همکاران برای ارزیابی تاثیر جزیره حرارتی در شهر انگو با استفاده از شاخص تحمل به آلودگی هوا در پنج گونه

بیماری های غیرواگیر دارد و در واقع پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ های ناشی از بیماری های غیرواگیر محسوب می شود (۳). در این راستا، امروزه تلاش های بسیاری در جهت یافتن راهکارهای برای کاهش آلودگی هوا و بررسی آثار آلاینده ها بر گیاهان انجام شده است که از این طریق می توان میزان آسیب یا مقاومت گیاهان در برابر آلودگی هوا را بررسی کرد و گیاهانی را معرفی نمود که علاوه بر مقاومت در محیط آلوده می توانند در پالایش هوا و کاهش آلودگی نقش اساسی را ایفا کنند (۴). با توجه به اینکه کاشت و انتخاب گونه های مقاوم و مناسب درختی و درختچه ای می تواند میزان و تاثیرات محیط زیستی آلاینده های هوا را کاهش دهد (۵) بنابراین پوشش سبز به عنوان یکی از ارکان مهم در برنامه ریزی و مدیریت شهری، می تواند اثرات قابل توجهی در کنترل و بهبود هوای شهرها داشته باشد. در واقع فضای سبز شهری در زمره زیرساخت های اجتماعی بوده و یکی از امتیازات آن کاهش آلودگی هوا و از بین بردن اثرات نامطلوب آلاینده های نظیر ذرات معلق هوا انتشار یافته از صنایع است (۶). ذکر این نکته عاری از وصف نیست که گیاهان به آلودگی حساسند و به وسیله تغییر در فرآیندهای حیاتی خود مانند رشد و یا میزان فتوسنتز به استرس محیطی واکنش نشان می دهند. در واقع گیاهان رابطه ای خیلی نزدیکی با طبیعت دارند از این رو در صورت تغییر در شرایط اتمسفر، آن ها به طور مستقیم تحت تاثیر قرار خواهند گرفت (۷). گیاهان به عنوان گیرنده های اصلی و جاذب دائم آلاینده های گازی و ذرات، تحت تنش های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و حتی مورفولوژیکی بسیاری قرار دارند. با ترسیب آلاینده ها بر روی پوشش گیاهی، هر آلاینده با مکانیسم های تخصصی خود جهت ورود به گیاهان در اثر واکنش های شیمیایی تغییر شکل داده تا به فرم قابل جذب تبدیل شود. بعد از جذب، اثرات نامطلوب در سطوح فیزیولوژیک نظیر تغییر pH عصاره برگ، از دست دهی رطوبت نسبی، کاهش انحلال مواد مغذی، کاهش تعرق و

به نواحی پایین دست می شود. مجتمع صنعتی مورد بررسی در این مطالعه دارای سه کارخانه کاشی و سرامیک، یک کارخانه تولید خاک چینی، یک کارخانه شیشه سازی و تولید بلوک های سبک سیلیسی است. بنابراین انتشار آلودگی از این صنایع بر انسان و محیط زیست احتمالا تاثیر زیادی را دارد. انتخاب گونه های گیاهی و نمونه برداری: ناحیه مورد مطالعه مسطح و از کمترین پوشش گیاهی برخوردار است، بنابراین انتشار و پخش آلاینده ها به نواحی اطراف به سهولت انجام می گیرد. برای نمونه برداری از گیاهان و انتخاب بهترین گونه گیاهی جهت توسعه فضای سبز، سعی گردید نمونه برداری اطراف صنایع و در جهت باد غالب منطقه صورت گیرد. بدین منظور سه گونه مرتعی به نام اشنان (*Seidlitzia Rosmarinus*)، درمنه (*Artemisia alba*) و قلم (*Boiss.fortuynia*) که در ضلع جنوبی مجتمع صنعتی در فاصله ۴۰۰ متری رویش یافته بودند به صورت تصادفی انتخاب گردید. همچنین از پنج گونه درختی به نام پسته (*Pistacia vera*)، انار (*Punica granatum*)، زیتون خوراکی (*Olea europaea*)، نارنج (*Citrus limon*)، نخل زیتنی (*Phoenix dactylifera*) و دو گونه درختچه ای شامل ابریشم مصری (*Albizia lebbek*) و آکاسیا (*Acacia SP.*) که در فاصله تقریبا ۷۰۰ متری در نواحی شرقی مجتمع صنعتی در پارک شهید پایدار کاشته شده بودند، به صورت تصادفی نمونه برداری شد. جمعا ۱۰ گونه گیاهی در این منطقه شناسایی و نمونه برداری شد. در این پژوهش نمونه برداری از برگ سرشاخه های گیاهان هم سن صورت گرفت و سعی گردید از برداشت برگ های آفت زده و ناسالم خودداری شود و در حد امکان از برگ های سالم و بالغ به عنوان مکان های مهم در جذب آلاینده ها به ویژه ذرات معلق و فلزات سنگین نمونه برداری شود (۱۴، ۱۹، ۲۰). بعد از نمونه برداری از گیاهان، برای جلوگیری از تنش گرما، پژمردگی و فرسودگی، نمونه ها بلافاصله پس از برداشت در

درختی و پنج گونه درختچه ای زیتنی (۱۴)، مطالعه Bakiyaraj و Ayyappan (۷)، Achakzai و همکاران (۱۵)، Elloumi و همکاران (۱۶) برای تعیین حساسیت و تحمل به آلودگی در گیاهان رویش یافته در مناطق صنعتی، مطالعه Jyoti و Surinder (۱۷) و Kakde و Tak (۱۸) برای تعیین تحمل گیاهان به آلاینده های ناشی از ترافیک جاده ای به ترتیب در شهر نویدا در ایالت اوتار هند و شهر تنان انجام شده است. به این لحاظ، با وجود مطالعات فراوان در رابطه با شاخص تحمل درختان، درختچه ها و بوته ها به آلودگی هوای ناشی از فرآیندهای صنعتی و ترافیک جاده ای در کشورهای توسعه یافته، مطالعات بسیار اندکی در این زمینه در مناطق صنعتی کشورهای در حال توسعه نظیر ایران صورت گرفته است. با این توصیف این مطالعه با اهداف درک وضعیت کیفیت هوا پیرامون مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک در شهرستان اردکان و نیز اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا و تجمع فلزات سنگین Cd، Pb و Cr<sup>+۶</sup> در گونه های گیاهی رویش یافته در آن ناحیه صنعتی به منظور انتخاب بهترین گونه های گیاهی برای توسعه فضای سبز صورت گرفت.

## روش کار

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر به صورت مقطعی توصیفی-تحلیلی در تابستان ۱۳۹۷ در پیرامون مجتمع صنعتی کاشی و سرامیک، خاک چینی و شیشه، واقع در شمال غرب شهرستان اردکان به عنوان کانون رشد و توسعه صنایع غیرفلزی انجام شده است. این شهرستان به عنوان بزرگترین شهرستان استان یزد در منطقه ی خشک و بیابانی قرار گرفته است و با متوسط بارش سالیانه کمتر از ۶۰ mm (۲) از کمترین پوشش گیاهی برخوردار می باشد. کاربری های اراضی در این منطقه عمدتا نواحی روستایی و شهری و همچنین اراضی کشاورزی بوده که در پیرامون صنایع فلزی و غیرفلزی شکل گرفته اند. باد غالب منطقه عمدتا جنوبی بوده و باعث حمل آلاینده از صنایع

بعد از تعیین محتوای آب نسبی، برای اندازه گیری pH عصاره برگ نمونه ها، ابتدا ۲ گرم از برگ تازه گیاهان برداشته شد و در ۲۰ cc آب دوبار تقطیر در هاون چینی ساییده شد. بعد از ساییدن کامل نمونه ها، آن ها را به فالکون های ۵۰ cc انتقال و در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه و با دور ۴۰۰۰ rpm قرار داده شد. عصاره حاصله از کاغذ صافی عبور و در ظروف خاص انتقال یافت و در نهایت با استفاده از pH متر کالیبره شده دیجیتالی مدل Metrohm قرائت گردید (۲۰).

برای اندازه گیری اسید آسکوربیک در نمونه های گیاهی (۲۶) ابتدا یک گرم برگ تازه گیاه در ۲۰ cc محلول اسید متافسفریک ۰.۵٪ ساییده شد. سپس مخلوط حاصل را به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۸۰۰۰ rpm در دمای ۴°C سانتریفیوژ گردید، آنگاه ۰.۵ ml از محلول ۲ و ۶- دی کلروفنول اندفنول (-2,6, Dichlorophenolindophenol) ۳ mM به ۱ ml محلول صاف شده اضافه گردید تا اسید آسکوربیک به دهیدرواسید آسکوربیک اکسید شود. در مرحله بعد ۱ ml تیواوره ۱٪ به نمونه ها اضافه شد و نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه ساکن ماندند. سپس ۱ ml محلول ۱۰، ۴ و ۲- دی نیتروفنیل هیدرازین (2,4-Dinitrophenylhydrazine) اضافه گردید تا مشتق ۴ و ۲- دی نیتروفنیل هیدرازین از اسید دهیدروآسکوربیک اسید تشکیل شود. بعد از سپری شدن مراحل مذکور، نمونه ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب در دمای ۵۰°C، سپس ۲۰ دقیقه در حمام یخ قرار داده شد. سپس به آرامی ۵ cc به هریک از نمونه ها اسیدسولفوریک ۸۵٪ اضافه گردید به طوری که به هر نمونه ۲/۵ ml اسید سولفوریک داده شد. ۱۰ دقیقه بعد از اضافه نمودن اسید سولفوریک ۸۵ درصد، ۱ ml اسید سولفوریک ۲۰٪ به نمونه-ها اضافه گردید. بعد از تهیه نمودن محلول مناسب جهت قرائت اسید آسکوربیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS در طول موج ۵۲۰ nm، اقدام به تهیه محلول شاهد آن گردید. بدین منظور ۱ ml اسیدمتافسفریک ۰.۵٪ به ۰.۵ ml DCIP، ۳ mM اضافه گردید. سپس ۱ ml اسید سولفوریک

فویل های آلومینیومی بسته بندی و در مجاورت یخ خشک قرار گرفت و بعد از ۶۰ دقیقه به آزمایشگاه منتقل شد. پایش آلودگی هوا: برای بررسی کیفیت هوای منطقه، کلیه اندازه گیری های مربوط به غلظت آلاینده ها در فصل تابستان انجام شد. به این صورت اطلاعات غلظت ساعتی آلاینده های گازی نظیر CO، O<sub>3</sub>، NO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> با استفاده از دستگاه پایش آنلاین آنالیزر گاز کمپانی Enviro Tech ساخت کشور انگلستان (۲۱-۲۴) و PM<sub>10</sub> توسط دستگاه Metone مدل BAM 1020 ساخت کشور آمریکا (۲۵) که در فاصله ۲ کیلومتری از مجتمع صنعتی مورد مطالعه توسط اداره حفاظت محیط زیست شهرستان اردکان در روستای ترک آباد نصب شده بود (ضلع شرقی مجتمع صنعتی)، به دست آمد (شکل ۱). با توجه به مشکلات فنی دستگاه پایش (قطع برق، عدم ضبط داده ها و غیره) در مجموع ۱۹۰۳ داده غلظت یک ساعته برای آلاینده های گازی و PM<sub>10</sub> برای فصل تابستان اخذ گردید. سپس غلظت آلاینده برای مقایسه با استاندارد ملی کیفیت هوا محیطی (National Ambient Air Quality Standards) به صورت میانگین های ۳ و ۲۴ ساعته ارائه شد.

اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا: برای اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا در نمونه های مورد بررسی، دو پارامتر فیزیولوژیک نظیر محتوای آب نسبی و pH و دو پارامتر بیوشیمیایی اسید آسکوربیک و کلروفیل کل اندازه گیری شد. ابتدا برای بررسی پارامترهای فیزیولوژیک گیاهان، محتوای آب نسبی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و تعیین گردید. بدین منظور وزن تر و خشک نمونه برگ گیاهان توزین و مقادیر این پارامترها در فرمول زیر قرار داده شد.

$$RWC\% = (W_t - W_d / W_t) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه W<sub>t</sub> وزن مرطوب نمونه برگ تازه گیاه و W<sub>d</sub> وزن خشک نمونه برگ گیاه قرار گرفته در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد است (۵).

گیاهی از روش هضم خشک (خاکسترگیری) استفاده شد. ابتدا به منظور زدودن آلاینده‌های سطحی از نمونه‌های گیاهی، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو و سپس در آون تهویه‌دار در دمای ۷۰ °C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. بعد از خشک شدن نمونه‌های گیاهی با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. در هر بار آسیاب، محفظه استیلی آسیاب با استفاده از دستمال مرطوب تمیز می‌گردید. پس از آسیاب نمونه‌ها، یک گرم از هر نمونه گیاهی توزین و در بوته‌چینی ریخته و با برچسب زدن مشخصات بر روی آنها در کوره به مدت ۴ ساعت قرار داده شد. سپس بوته‌های چینی محتوای خاکستر نمونه‌ها از کوره خارج گردید و ۱۰ ml اسید کلریدریک ۲ M به هر بوته چینی اضافه و در دمای ۸۰ °C به منظور تبخیر دو سوم اسید و خروج اولین بخارات سفید رنگ بر روی هیتر برقی حرارت داده شد. سپس محلول تهیه شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور و عصاره حاصله به حجم ۵۰ ml رسانیده شد. بعد از ساخت محلول‌های استاندارد Cd, Pb, Cr<sup>۶+</sup> توسط دستگاه جذب اتمی مدل Analytik Jena nov AA300 مقادیر غلظت فلزات سنگین Cd, Pb, Cr<sup>۶+</sup> به ترتیب در طول موج های ۲۱۷، ۲۲۸/۸ و ۳۵۷/۹ nm قرائت گردید (۲۸). لازم به ذکر است برای کنترل آنالیزهای آزمایشگاهی از نمونه های مجزا (Split sample) و مضاعف (double Sample) استفاده شد. برای تعیین محدودیت تشخیص (Limits of Detection) هر عنصر از رابطه: ۳ برابر انحراف معیار مقادیر اندازه گیری شده در محلول شاهد (بلانک) (LOD = 3 × SD) و محدودیت های کمی (Limits of Quantification) برای هر عنصر نیز از رابطه: ۳ × LOD (LOQ = 3 × LOD) استفاده شد. بر این اساس مقادیر LOD برای فلزات Cd (۰/۰۰۰۶۰۲۴ ppm)، Pb (۰/۰۰۱۰۳۱۴ ppm) و Cr<sup>۶+</sup> (۰/۰۰۰۱۸۰۷ ppm) و مقادیر LOQ نیز برای فلزات Cd (۰/۰۰۰۶۶ ppm) و Pb (۰/۰۰۳۰۹۴ ppm) و Cr<sup>۶+</sup> (۰/۰۰۱۹۸ ppm) به دست آمد.

۲۰٪ به محلول شاهد اضافه گردید و مطابق مراحل قبل به مدت ۱ ساعت در حمام آب ۵۰ °C و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در حمام یخ قرار داده شد. بعد انجام کلیه مراحل سعی گردید قرائت اسید آسکوربیک در بازه زمانی ۱ ساعت انجام شود چرا که کمپلکس های ایجاد شده در طی آزمایش به مدت ۱ ساعت پایدار خواهند بود.

برای اندازه گیری کلروفیل کل به عنوان آخرین پارامتر شاخص تحمل به آلودگی هوا، ابتدا ۰/۵ g از برگ تازه گیاهان با ۱۰ cc استون ۸۰٪ درون هاون چینی ساییده شد. بعد از سایش کامل نمونه‌ها، عصاره های به دست آمده به درون فالکون ریخته و در سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. محتوای عصاره صاف شده را به میزان کافی درون کوت‌ها مخصوص دستگاه اسپکتوفتومتر ریخته شد و در دستگاه قرار گرفت و در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ nm قرائت گردید. میزان جذب در دو طول موج اندازه‌گیری شده در روابط (۲)، (۳) و (۴) جایگذاری و به ترتیب مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه گردید (۲۷).

$$(۲) \quad \text{کلروفیل a: } (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645}) V / 100W$$

$$(۳) \quad \text{کلروفیل b: } (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663}) V / 100W$$

$$(۴) \quad \text{کلروفیل کل: کلروفیل a + کلروفیل b}$$

بعد از اندازه‌گیری چهار پارامتر فوق، شاخص APTI با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید.

$$(۵) \quad APTI = \frac{[AA(PH + Tcl) + RWS]}{10}$$

در رابطه (۵) منظور از AA, PH, Tcl و RWC به ترتیب اسید آسکوربیک، pH عصاره برگ، کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ (رطوبت نسبی) است (۱۶). اندازه گیری تجمع Pb, Cr<sup>۶+</sup> و Cd در گیاهان: برای اندازه‌گیری تجمع عناصر سنگین Pb, Cr<sup>۶+</sup> و Cd در نمونه‌های

جزئی تر مقایسه محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ در بین سه گونه های مرتعی، پنج گونه درختی و دو گونه درختچه ای در شکل ۲-آ-ب و ۳ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، در بین سه گونه مرتعی ها قلم، اشنان و درمنه، دو گونه قلم و اشنان از نظر محتوای آب نسبی اختلاف معنی داری با یک دیگر ندارند ( $p=0/23$ ) در حالی که با گونه درمنه این اختلاف معنی دار است و گونه های مرتعی از نظر محتوای آب نسبی به صورت قلم < اشنان < درمنه رتبه بندی می شوند. در بین گونه های درختی ( $p=0/23$ ) و همچنین در بین گونه های درختچه ای ( $p=0/08$ ) اختلاف معنی داری از نظر محتوای آب نسبی وجود نداشت. با توجه به شکل ۳ در بین سه گونه مرتعی مورد بررسی، دو گونه اشنان و درمنه اختلاف معنی داری با یک دیگر از نظر pH عصاره برگ ندارند ( $p=0/06$ ) در حالی، شاهد اختلاف معنی دار این دو گونه با گونه قلم بودیم. رتبه بندی این گونه ها از نظر pH عصاره برگ، به صورت اشنان < درمنه < قلم است. در بین گونه های درختچه ای اختلاف معنی داری از نظر این پارامتر وجود نداشت ( $p=0/06$ ). در بین گونه های درختی، گونه های نخل زینتی، زیتون خوراکی، نارنج و انار اختلاف معنی داری از نظر pH عصاره برگ با یک دیگر نداشتند ( $p=0/06$ ) در حالی که این درختان با درخت پسته دارای اختلاف معنی دار بودند و رتبه بندی آن ها از نظر این پارامتر به صورت زیتون خوراکی < نخل زینتی < نارنج < انار < پسته بود.

نتایج اندازه گیری و تجزیه و تحلیل پارامترهای بیوشیمیایی شاخص تحمل به آلودگی هوا در شکل های ۲-پ-ت و جدول ۲ ارائه شده است. مطابق نتایج آنالیز واریانس، گونه های مرتعی، درختی و درختچه ای مورد مطالعه از نظر محتوای کلروفیل کل و اسید آسکوربیک دارای اختلاف معنی داری هستند ( $p=0/00$ ). دامنه محتوای کلروفیل کل و اسید آسکوربیک بین گونه های گیاهی به ترتیب در محدوده ۰/۳۲-۱۲/۶۸ و ۰/۳۲-۱۰/۸۰ mg/g.wt

تجزیه و تحلیل آماری: داده های حاصل با استفاده نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ابتدا برای بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون نرمالیته کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. بعد از اطمینان از نرمال بودن داده ها برای بررسی معنی دار بودن اختلافات بین گیاهان از نظر پارامترهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی، شاخص تحمل به آلودگی هوا و عناصر سنگین از آزمون های تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. همچنین برای بررسی همبستگی بین پارامترهای مذکور از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیه نمودارها در نرم افزار اکسل ترسیم گردید.

## نتایج

نتایج آمار توصیفی غلظت ذرات معلق و آلاینده های گازی اندازه گیری شده در هر یک از بازه های زمانی توسط ایستگاه پایش آنلاین اداره حفاظت محیط زیست در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می گردد غلظت آلاینده های گازی و ذرات اندازه گیری شده، کمتر از استانداردهای اولیه و ثانویه NAAQS برای آلاینده های  $CO$ ،  $O_3$ ،  $NO_2$ ،  $SO_2$  و  $PM_{10}$  است.

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین پارامترهای فیزیولوژیک محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ در بین گونه های گیاهی در شکل ۲-آ-ب و جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج، بین گونه های گیاهی از نظر محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ اختلاف معنی داری وجود دارد ( $p=0/00$ ). محدوده محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ اندازه گیری شده در بین گونه های گیاهی به ترتیب ۸۹/۱۲-۳۶/۳۸٪ و ۴/۷۲-۶/۱۴ (بدون واحد) تعیین گردید. نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد، بیشترین محتوای آب نسبی و کمترین pH عصاره برگ در گونه مرتعی قلم و کمترین محتوای آب نسبی و بیشترین pH عصاره برگ به ترتیب در گونه مرتعی درمنه و درخت زیتون است. نتایج

گردید. مطابق نتایج به دست آمده، دامنه شاخص تحمل به آلودگی هوا در بین گونه های گیاهی مورد بررسی برابر با ۱۶/۸۰-۴/۷۰ بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد گونه های گیاهی مورد بررسی از نظر این شاخص دارای اختلاف معنی داری هستند ( $p = 0/00$ ) (جدول ۲). نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد، بیشترین شاخص تحمل به آلودگی هوا در گونه درختی انار و کمترین این شاخص مربوط به مربوط به گیاه مرتعی درمنه است. در بین گونه های مرتعی، قلم (۸/۴۹) بیشترین تحمل پذیری به آلودگی هوا دارا بود که اختلاف معنی داری با گیاه اشنان نداشت ( $p = 0/06$ ). رتبه بندی گونه های درختی از نظر شاخص تحمل به آلودگی هوا به صورت: انار (۱۶/۸۰) < پسته (۹/۵۸) < زیتون (۹/۲۲) < نخل زیتونی (۶/۲۵) < نارنج (۱۶/۱۷) انجام شد. قابل ذکر است که در بین دو گونه درخچه ای، گونه ابریشم (۹/۳۷) تحمل پذیری بیشتری نسبت به گونه آکاسیا (۸/۳۷) داشت.

نتایج تجزیه واریانس غلظت فلزات سنگین  $Pb$ ،  $Cr^{+6}$  و  $Cd$  در ۱۰ گونه گیاهی مورد بررسی در جدول ۲ و مقادیر آن ها در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد گونه های گیاهی مورد بررسی از نظر  $Pb$  و  $Cd$  اختلاف معنی داری با یک دیگر ندارند ( $p = 0/06$ ). در حالی که از نظر  $Cr^{+6}$  دارای اختلاف معنی داری هستند. بیشترین غلظت  $Cr^{+6}$  در گیاهان اشنان و قلم و کمترین آن در گیاه انار و نارنج اندازه گیری شد. نتایج همبستگی بین پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شاخص تحمل به آلودگی هوا و عناصر سنگین با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق نتایج، همبستگی معنی دار منفی در سطح ۰/۵٪ بین اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی وجود دارد. به طوری که با کاهش محتوای آب نسبی میزان اسید آسکوربیک افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان داد به احتمال ۹۹٪، در سطح ۰/۱٪ همبستگی معنی دار مثبت بین شاخص تحمل به آلودگی هوا و اسید آسکوربیک و کلروفیل کل وجود دارد. نتایج دیگر همبستگی بین عناصر سنگین نشان داد بین  $Pb$  و  $Cr^{+6}$

اندازه گیری شد. با انجام آزمون مقایسه میانگین دانکن مشخص گردید، بیشترین محتوای کلروفیل کل در گونه درختچه ای ابریشم ( $10/74 \text{ mg/g.wt}$ ) و کمترین مقدار آن در گونه مرتعی اشنان ( $0/60 \text{ mg/g.wt}$ ) است. در بین گونه های مرتعی اختلاف معنی داری از نظر محتوای کلروفیل کل وجود نداشت ( $p = 0/18$ ). اما اختلاف در محتوای کلروفیل کل بین دو گونه ای درخچه ای آکاسیا و ابریشم معنی دار بود. به طوری که محتوای کلروفیل کل در ابریشم مصری بیشتر از آکاسیا اندازه گیری شد. در بین ۳ گونه درختی پسته، انار و نخل ( $p = 0/13$ ) و همچنین ۲ گونه درختی زیتون خوراکی و نارنج ( $p = 0/18$ ) اختلاف معنی داری از نظر محتوای کلروفیل کل وجود نداشت. در حالی که این دو گروه از درختان دارای اختلاف معنی داری از نظر کلروفیل بودند. رتبه بندی درختان از نظر این پارامتر به صورت انار < پسته < نخل زیتونی < زیتون خوراکی < نارنج صورت گرفت. نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن برای پارامتر بیوشیمیایی اسیدآسکوربیک در گونه های گیاهی نشان داد بیشترین اسیدآسکوربیک در گونه درختی انار ( $9/64 \text{ mg/g.wt}$ ) و کمترین محتوای اسید آسکوربیک در گونه مرتعی اشنان ( $0/57 \text{ mg/g.wt}$ ) است. با تفکیک مقایسه های میانگین گونه های گیاهی در سطح مرتعی، درختی و درخچه ای نتایج نشان داد، بین سه گونه مرتعی و همچنین بین دو گونه درخچه ای اختلاف معنی داری از نظر محتوای اسید آسکوربیک وجود ندارد ( $p = 0/07$ ). در حالی که بین گونه های درختی اختلاف معنی دار وجود دارد. دو گونه درختی پسته و زیتون با سه گونه درختی انار، نارنج و نخل زیتونی دارای اختلاف معنی داری بودند. رتبه بندی گونه های درختی از نظر محتوای اسید آسکوربیک به صورت انار < زیتون < پسته < نخل زیتونی < نارنج انجام شد.

در نهایت با اندازه گیری چهار پارامتر فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ضروری برای محاسبه شاخص تحمل به آلودگی هوا، تحمل پذیری گونه های گیاهی به آلودگی هوا مشخص



پژوهش حاضر غلظت این ذرات به ترتیب  $4/22$  و  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $27/95$  اندازه گیری شد. Baroutian و همکاران طی مطالعه بر روی کارخانه سیمان کرمان میانگین غلظت  $\text{PM}_{10}$  در پایین دست جهت باد  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$  به دست آوردند و از نتایج مطالعه حاضر بالاتر بود (۳۳). Atabi و همکاران غلظت CO در اطراف پالایشگاه ۴ گازی پارس جنوبی  $2/54 \text{ ppm}$  به دست آوردند (۳۴) که این مقدار با متوسط غلظت CO اندازه گیری شده در این مطالعه کمی بالاتر است. Zoroufchi Benis و همکاران غلظت  $\text{SO}_2$  و CO اطراف شرکت پالایش نفت تبریز به ترتیب  $20 \text{ ppb}$  و  $0/03 \text{ ppm}$  تخمین زدند (۳۵) که پایین تر از مقادیر اندازه گیری شده در این مطالعه بود. نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد که فناوری کنترل آلاینده های خروجی مجتمع صنعتی کاشی و سرامیک، خاک چینی و شیشه اردکان جهت کنترل گرد و غبار از کارایی نسبتاً مطلوبی برخوردار می باشد زیرا نتایج داده های مورد آنالیز تقارب و تجانس مورد قبولی با استاندارد ثانویه NAAQS دارا می باشد. همچنین تناسب این نتایج در نتایج اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا و تجمع فلزات سنگین منعکس شده است. در این مطالعه با توجه به طبقه بندی صورت گرفته (۱)  $\text{APTI} < 16$  خیلی حساس،  $16 < \text{APTI} < 29$  حساس،  $\text{APTI} < 17$  متوسط،  $100 < \text{APTI} < 300$  زیاد (۱۸) و محدوده شاخص تحمل به آلودگی هوا به دست آمده (بین  $16/80-4/70$ )، تمامی گونه های مورد بررسی در طبقه حساس قرار گرفتند. بنابراین در صورتی که آلودگی هوا در آن منطقه بسیار بالاتر از حدود استاندارد بود، مقادیر شاخص تحمل به آلودگی هوا بسیار بالاتر به دست می آمد. از این نظر در این مطالعه می توان از طریق این گیاهان تا حدودی به وضعیت کیفیت هوای پیرامون مجتمع صنعتی پی برد. در این مطالعه برای اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا ۲ پارامتر فیزیولوژیک محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ و ۲ پارامتر بیوشیمیایی محتوای کلروفیل کل و اسید آسکوربیک در برگ ۱۰ گونه ای درختی، درختچه ای و

همبستگی معنی دار مثبت در سطح ۱٪ وجود دارد. نتایج تاثیر فلزات سنگین بر شاخص تحمل به آلودگی هوا و پارامترهای آن نشان داد، بین اسید آسکوربیک، شاخص تحمل به آلودگی هوا و عنصر  $\text{Cr}^{+6}$  همبستگی منفی معنی دار وجود دارد. به طوری که با افزایش  $\text{Cr}^{+6}$  میزان اسید آسکوربیک کاهش یافته و دنبال آن APTI کاهش می یابد.

## بحث

گیاهان ابزارهای بسیار موثری برای ته نشست و تجمع آلاینده های مختلف صنعتی هستند. بنابراین گسترش و توسعه آنها می تواند از طریق کاهش انتقال آلاینده ها از صنایع به محیط شهری، موجب بهبود کیفیت هوای شهرها شود. گونه های مختلف درخت، درختچه ای و مرتعی قادر به فیلتر نمودن آلاینده های هوا، به دام انداختن و نگهداری آنها بر روی سطح برگ خود هستند (۲۹). در این راستا از بین تمامی قسمت های مختلف گیاه، برگ گیاه نسبت به عوامل خارجی از جمله آلاینده های هوا حساس تر است. در واقع گیاهان منطقه وسیع از برگ خود را برای برخورد، جذب و تجمع آلاینده های هوا مهیا می کنند تا سطح آلاینده ها را در محیط کاهش دهند. از طرفی، برگ به علت فراوانی روزنه ها مستعد ترین قسمت گیاه برای آسیب های حاد در تنش آلودگی هوا است (۳۰). یکی از راه های اصلی ورود و تجمع عناصر سنگین در برگ، جذب از طریق روزنه ها یا کوتیکول برگ های بالایی یا هر دو است. در واقع ورود فلزات و سایر آلاینده ها به درون گیاهان از طریق برگ ها به علت رسوب روی آن ها محتمل تر است (۳۱). در این پژوهش میزان آلودگی هوا از نظر ذرات معلق و آلاینده های گازی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد غلظت آلاینده ها پایین تر از حدود مجاز استانداردهای ثانویه NAAQS است. نور مرادی و همکاران غلظت ذرات معلق  $\text{PM}_{10}$  و  $\text{PM}_{2.5}$  در اطراف کارخانه سیمان درود به ترتیب برابر با  $36/8$  و  $61/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  اندازه گیری نمودند (۳۲). در حالی که در



به علت ایجاد شرایط قلیایی و افزایش فعالیت آنزیمی کلروفیل‌لاز در اثر آلودگی هوا نسبت داده شده است. از نظر پژوهشگران، حفظ کلروفیل گیاه تحت تنش آلودگی هوا نشانه مقاومت و تحمل گیاه در برابر آلودگی هوا است. نتایج دیگر نشان داده است که گیاهان حساس محتوای کلروفیل پایین‌تری را نسبت به گیاهان متحمل دارند (۳۸). در مطالعه ای انجام شده توسط Enete و همکاران محدوده محتوای کلروفیل کل در درختچه های زینتی حساس ( ۹/۱۰ تا ۱۳/۱۷ mg/g.FW ) تعیین شد (۱۴). این محدوده محتوای کلروفیل کل بیشتر از محدوده کلروفیل کل اندازه گیری شده در پژوهش حاضر (۱۲/۶۸-۰/۳۲ mg/g.FW) بود. این نتیجه می‌تواند حساس بودن گونه‌های گیاهی مورد بررسی را تأیید نماید. pH عصاره برگ به عنوان یک پارامتر فیزیولوژیک مهم زمینه انتقال درون سلولی پروتئین‌ها و مولکول‌های کوچک نظیر هورمون‌ها در گیاهان فراهم می‌کند. این پارامتر در فرآیندهای نظیر فتوسنتز دخیل می‌باشد به طوری که با کاهش pH عصاره برگ میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. مکمل بودن این پارامتر فیزیولوژیک با سایر پارامترها نظیر اسید آسکوربیک نقش مهمی در تعیین حساسیت یک گیاه نسبت به یک آلاینده دارد (۳۹). مطابق گزارشات Salimi و همکاران و تحقیقات Rai و همکاران، pH عصاره برگ بالا به عنوان یک پارامتر فیزیولوژیک می‌تواند کارایی تبدیل قند هگروز به اسیدآسکوربیک (مهم‌ترین پارامتر شاخص تحمل پذیری گیاه) را افزایش دهد درحالی که pH عصاره برگ پایین‌تر حساسیت گیاه را نسبت به آلودگی نشان می‌دهد (۴۱ و ۴۰). مطابق نتایج به دست آمده از این مطالعه محدوده pH عصاره برگ اندازه‌گیری شده برای گونه‌های گیاهی مورد مطالعه حدود ۶/۱۴-۴/۷۲ می‌باشد. از طرف دیگر در گزارشات Singh و Verma مشخص شد که گونه‌های حساس و متحمل گونه‌های هستند که به ترتیب pH پایین‌تر از ۷ و pH نزدیک به ۷ را دارند (۴۲). با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، صحیح بودن این قضیه تأیید می‌

مرتعی اندازه‌گیری شد. استفاده از هریک از این پارامترها برای اندازه‌گیری این شاخص با اهداف خاص صورت گرفت. اسید آسکوربیک به عنوان یک آنتی‌اکسیدان و کاهنده قوی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، مقدار آن تحت شرایط زیستی نامطلوب به طور چشم‌گیری افزایش پیدا می‌کند. در واقع مقدار این آنتی‌اکسیدان وابسته به بار آلودگی است که باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال ( Reactive Oxygen Species ) می‌شود (۳۶). این آنزیم نقش مهمی در واکنش‌های فتوستتوز نوری، تثبیت کربن فتوستتوز، فعال نمودن مکانیسم‌های دفاعی دارد. تحت شرایط استرس این آنزیم نقش مهمی در جایگزین کردن آب دارد. در واقع می‌توان گفت، مقدار این اسید در گیاهان متحمل زیاد و در گیاهان حساس کم است (۳۷). نتایج این پژوهش نشان داد محتوای اسید آسکوربیک در ۱۰ گونه مورد مطالعه بسیار متغیر است به طوری که محدوده آن بین ۱۰/۸۰-۰/۳۲ mg/g.FW اندازه‌گیری شد. در مطالعه‌ای که توسط Sumangala و همکاران بر روی ۴۶ گونه گیاهی رویش یافته در منطقه بنگلورا هند انجام شد محدوده محتوای اسید آسکوربیک بین ۰/۱۱ تا ۰/۹۵ mg/g.FW متغیر بود. در این مطالعه، میزان اسید-آسکوربیک اندازه‌گیری شده در گیاه زیتون خوراکی برابر با ۰/۲۱ mg/g.FW اندازه‌گیری شد (۳۸) در حالی که در پژوهش حاضر ۴/۶۲ mg/g.FW اندازه‌گیری شد که علت زیاد بودن مقدار آن احتمالاً می‌تواند ناشی از استقرار گونه مورد مطالعه در منطقه صنعتی باشد. در مطالعه حاضر با توجه به این که محتوای اسیدآسکوربیک در گونه انار نسبت به سایر گونه‌ها بیشتر اندازه‌گیری شد، انتظار می‌رود که این گونه نسبت به سایر گونه‌ها تحمل‌پذیری بالایی را داشته باشد که نتایج به دست آمده از شاخص تحمل به آلودگی هوا این مورد را تأیید نمود. محتوای کلروفیل کل، دومین پارامتر بیوشیمیایی مورد استفاده در این شاخص است. محتوای کلروفیل کل و سایر رنگدانه‌های گیاهی به عنوان بافت هدف آلاینده‌ها در پاسخ به آلودگی هوا کاهش می‌یابد. کاهش محتوای کلروفیل

نشان داد که مقدار این شاخص در بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی در گیاه انار با مقدار  $16/80$  بیشترین و در گیاه درمنه با مقدار  $4/70$  کمترین است. علت بالاتر بودن نمره شاخص تحمل به آلودگی هوا در گیاه انار را می‌توان به بیشتر بودن میزان اسید آسکوربیک در آن نسبت به سایر گونه‌ها دانست. Achakzai و همکاران بیشترین شاخص تحمل به آلودگی هوا در بین گونه‌های گیاهی رویش یافته اطراف کوره آجرپزی در گونه استبرق (*Calotropis procera*) به مقدار  $20/05$  و کمترین آن در گیاه پنیرک (*Malva neglecta*) به مقدار  $8/83$  اندازه‌گیری نمود و نتایج آن نشان داد از گیاه استبرق می‌توان در توسعه فضای سبز و مقابله با آلاینده‌های کوره آجرپزی استفاده نمود (۱۵). Bakiyaraj و Ayyappan شاخص تحمل به آلودگی هوا را برای ۱۱ گونه گیاهی رویش یافته در اطراف یک نیروگاه و ناحیه معدنی در نیویل هند بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد گونه درختی اکالیپتوس (*Eucalyptus sp.*) نسبت به سایر گونه‌ها بالاترین APTI با مقدار  $6/52$  دارد. کمترین مقدار این شاخص در گیاه کاری (*Murraya Koenigii Spreng*) با مقدار  $0/81$  اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد با توجه به اینکه شاخص تحمل گیاهان به آلودگی هوا در طبقه خیلی حساس و حساس قرار دارد می‌توان آنان را به عنوان پایشگرهای زیستی در آن منطقه استفاده نمود (۷). Bharti و همکاران محدوده شاخص تحمل به آلودگی هوا در مجتمع صنعتی تالکاتورا که متشکل از صنایع فولاد، کلسازی، باتری‌سازی، پلاستیک‌سازی و غیره بود،  $26/96$  -  $11/45$  اندازه‌گیری نمودند. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به درخت انجیر هندی (*Ficus benghalensis*) و کمترین آن در گیاه درختچه ای گل کاغذی کبیر (*Bougainvillea spectabilis*) اندازه‌گیری بود (۲۰). در پژوهش حاضر همبستگی پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی با شاخص APTI مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد بین این شاخص و اسید آسکوربیک و کلروفیل

شود. به علت اینکه هیچ کدام از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه pH عصاره برگ برابر با ۷ را نداشت و pH آن‌ها پایین بود می‌توان از روی این پارامتر به حساس بودن گونه‌های گیاهی مورد بررسی پی برد. اگر چه علت کاهش pH عصاره برگ در گونه‌های مورد بررسی وابسته به بسیاری از عوامل است اما احتمالاً به علت افزایش مواجهه گیاهان با آلاینده‌های اسیدی  $SO_2$  و  $NO_x$  انتشار یافته از صنایع کاشی و سرامیک در مجتمع صنعتی مورد بررسی باشد. آخرین پارامتر فیزیولوژیک گیاهان برای اندازه‌گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا محتوای آب نسبی است. محتوای آب نسبی برگ بالا، باعث مقاومت گیاه نسبت به آلاینده‌ها می‌شود و عملکرد فیزیولوژیک گیاه تحت شرایط استرس تنظیم می‌نماید. در واقع محتوای آب نسبی باعث حفظ کلروفیل در برابر تنش‌های شیمیایی می‌شود و می‌توان این چنین بیان نمود که گیاهان تحت شرایط آلوده با محتوای آب نسبی بالا ممکن است به آلاینده‌ها مقاوم باشند (۴۳). Meerabai و همکاران بیان داشتند، در مکان‌های صنعتی محتوای آب نسبی بالا پاسخی بر نرمال بودن عملکرد فرآیندهای بیولوژیکی در گیاهان است (۴۴). در این مطالعه محتوای آب نسبی در تمامی گونه‌ها نسبتاً زیاد بود و محدوده محتوای آب نسبی گیاهان بین  $36/38$  -  $89/12$  درصد اندازه‌گیری شد. بیشترین محتوای آب نسبی در بین تمامی نمونه‌های گیاهی مربوط به درختچه ابریشم مصری بود که مقدار آب برابر با  $89/12$ ٪ بود. این گونه در بین تمامی گیاهان دارای رتبه سوم از نظر APTI بود. برآیند اندازه‌گیری ۴ پارامتر تشریح شده، منتج به این نتیجه گردید که شاخص تحمل به آلودگی هوا در گیاهان مورد بررسی در طبقه گونه‌های حساس قرار دارند. در واقع با توجه به نتایج محدوده پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده و مطابقت این نتایج با دستاوردهای سایر دانشمندان انتظار می‌رفت که گونه‌های مورد بررسی در طبقه حساس قرار گیرند که این نتیجه به دست آمد. از طرف دیگر نتایج شاخص تحمل به آلودگی هوا

۰/۲ برای Pb) میانگین غلظت  $Cr^{+6}$  در برگ سه گونه مرتعی اشنان، قلم و درمنه در محدوده استاندارد بود، در حالی که برای سایر گونه های درختی و درختچه ای پایین تر حد مجاز به دست آمد (۴۸-۴۷). میانگین غلظت Pb و Cd در بین گونه های گیاهی اختلاف معنی داری وجود نداشت و مقادیر آن در گونه ها پایین تر از حد مجاز بود. در این راستا، Yadegari و Dehkordy غلظت میانگین عناصر  $Cr^{+6}$  و Cd در ۴ گونه گیاهی گون، گندوم، جاز و کلزا رویش یافته اطراف شهرک صنعتی شهرکرد بالاتر از حد مجاز و غلظت میانگین Pb پایین تر از حد مجاز استاندارد Kabata و Pendias اندازه گیری نمودند (۴۶). Ekhlaspour و همکاران غلظت میانگین Cd در گونه های درختی، درختچه ای و علفی اطراف مجتمع فولاد خوزستان به ترتیب با مقدار ۳/۲۳، ۳/۱۲ و ۲/۱۳ mg/kg بالاتر از حد مجاز و برای Pb در گونه های درختی و درختچه ای با مقدار ۲۱/۹۹ و ۲۰/۲۵ mg/kg بالاتر از حد مجاز و برای گونه های علفی با مقدار mg/kg ۹/۹۸ پایین تر از حد مجاز اندازه گیری نمودند (۴۹).

### نتیجه گیری

در جمع بندی نتایج می توان گفت، شاخص تحمل به آلودگی هوا گیاهان در تناسب با غلظت آلاینده های معیار هوا و فلزات سنگین در آنها است. از آن جا که استانداردهای ثانویه کیفیت هوا برای گونه های گیاهی و جانوری وضع شده است و با توجه به اینکه غلظت آلاینده ها در اطراف مجتمع صنعتی پایین تر از حدود استانداردهای ثانویه بود انتظار می رفت گیاهان شاخص تحمل به آلودگی هوای کمتری داشته باشند و در طبقه حساس قرار گیرند که نتایج این مطالعه منعکس کننده این موضوع بود. در واقع در مناطقی که شدت آلودگی بسیار زیاد باشد گونه های گیاهی رویش یافته در این مناطق تحمل پذیری بیشتری را دارند. در این پژوهش، در بین گونه های گیاهی مورد مطالعه درخت انار بیشترین و درمنه کمترین تحمل پذیری را نسبت به سایر گونه

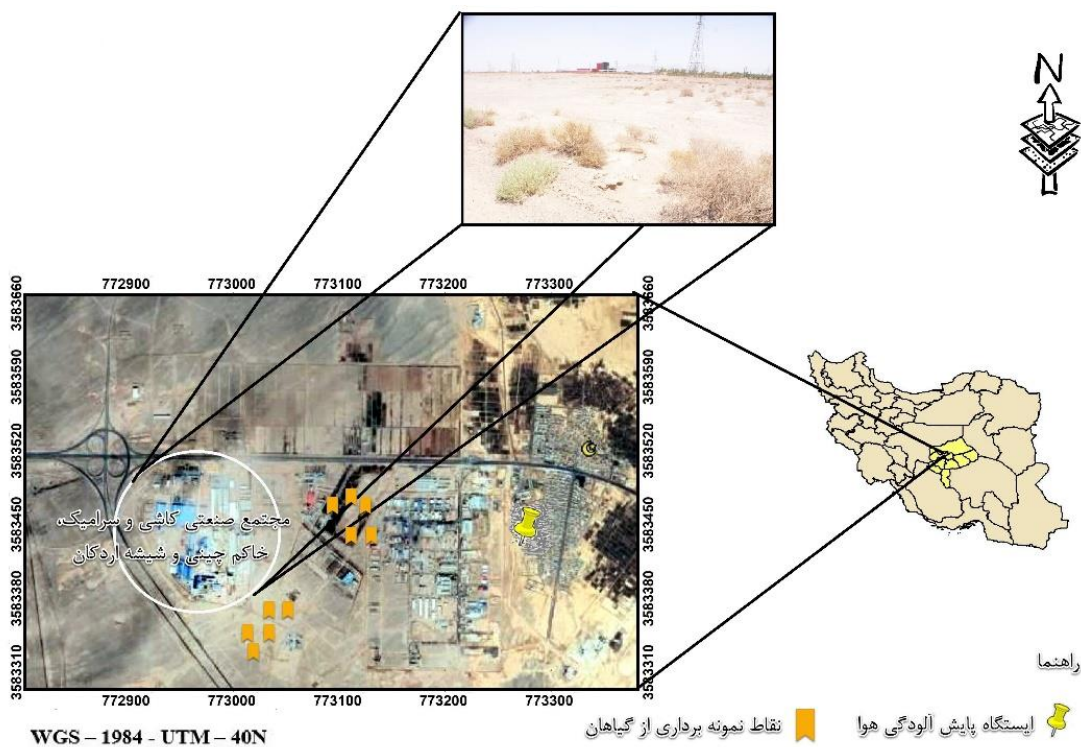
کل همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد. درحالی که در نتایج Dhankar و همکاران (۱۰) و Tak و Kakdea (۱۸) رابطه محتوای کلروفیل کل و APTI منفی گزارش شده بود. در مطالعه Joshi و همکاران (۴۵) این رابطه مثبت گزارش شده بود. در مطالعه Nazari رابطه APTI با اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی مثبت و معنی دار گزارش شد و در پژوهش خود بیان نمود، بین ۴ پارامتر مورد بررسی pH عصاره برگ و کلروفیل کمترین اهمیت را در تعیین شاخص APTI دارند (۲۸). در پژوهش حاضر، رابطه pH عصاره برگ با APTI همانند نتایج Sinha و همکاران همبستگی ضعیف و منفی اندازه گیری شد (۲۷). در حالی که در مطالعه Joshi و همکاران این همبستگی مثبت گزارش شده بود (۴۵). بنابراین در پژوهش حاضر مشخص شد، دو پارامتر pH عصاره برگ و محتوای آب نسبی کمترین اهمیت و اسید آسکوربیک و محتوای کلروفیل کل بیشترین اهمیت را در تعیین شاخص APTI دارند. یافته های حاصل از اندازه گیری فلزات سنگین در گونه های گیاهی، منتدج به این نتیجه گردید که از بین فلزات سنگین، فلز  $Cr^{+6}$  تاثیر معنی دار منفی بر شاخص APTI دارد. مطابق نتایج پژوهش های صورت گرفته، فلز  $Cr^{+6}$  با جذب شدن در گیاهان باعث ایجاد تغییراتی در محتوای کلروفیل، پروتئین ها و آنزیم های آنتی اکسیدانی نظیر اسید آسکوربیک می شود، بدین ترتیب مقاومت گیاهان را در برابر آلودگی تحت تاثیر قرار می دهد (۴۶). در این مطالعه تحمل پذیری تعدادی از گیاهان از طریق کاهش محتوای کلروفیل توسط  $Cr^{+6}$  تحت تاثیر قرار گرفت. بیشترین مقادیر  $Cr^{+6}$  در گیاهان مرتعی نظیر درمنه، اشنان، قلم اندازه گیری شد و متناسب با آن مقادیر محتوای کلروفیل در آن ها پایین بود. بنابراین شاخص تحمل به آلودگی هوا در این گیاهان متناسب با غلظت  $Cr^{+6}$  به دست آمد. بر اساس محدوده استاندارد های ارائه شده توسط Kabata و Pendias برای عناصر  $Cr^{+6}$ ، Cd و Pb در برگ گیاهان (۰/۰۸-۰/۰۸ mg/kg برای  $Cr^{+6}$ ، ۰/۱ mg/kg-۱ و Cd ۲۰-۰/۰۴ mg/kg)

شاخص APTI در آن به وضعیت کیفیت هوا پیرامون این مجتمع صنعتی پی برد.

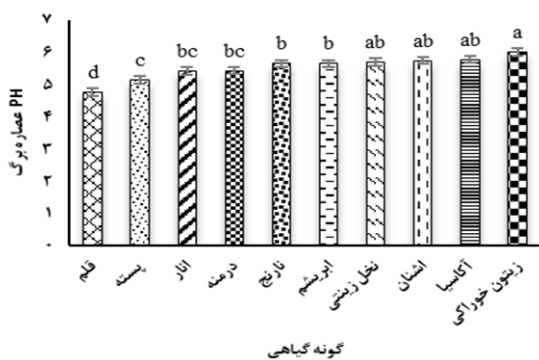
### تشکر و قدرانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه به شماره ۲۵۴۲۲۸۷ دارای کد اخلاق IR.YAZD. REC.1398.027 در مقطع کارشناسی ارشد است. بدین وسیله نویسندگان از کلیه افرادی که در مرحله اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدرانی می نمایند.

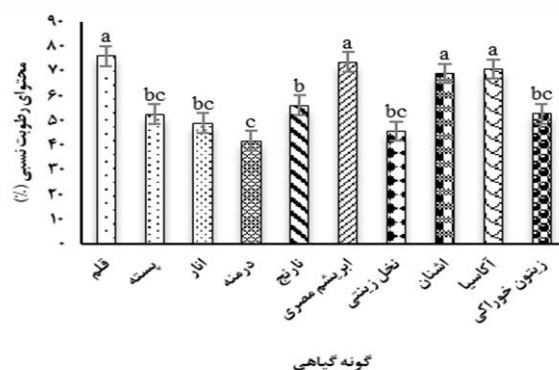
ها دارا بود. اما با توجه به اینکه درخت انار مثمر می باشد و استفاده از میوه های این درخت در نواحی صنعتی خطرات سلامتی در پی دارد، بهتر است از گونه غیر مثمر آن به نام انار گل برای توسعه فضای سبز پیرامون مجتمع صنعتی جهت جلوگیری از پخش آلاینده ها به نواحی شهری استفاده نمود. همچنین با توجه به تحمل پذیری پایین گونه مرتعی درمنه نسبت به سایر گونه ها می توان از آن به عنوان نشانگر و پایشگر زیستی مطلوب برای ارزیابی وضعیت آلودگی هوا پیرامون مجتمع صنعتی استفاده نمود و هرساله با اندازه گیری



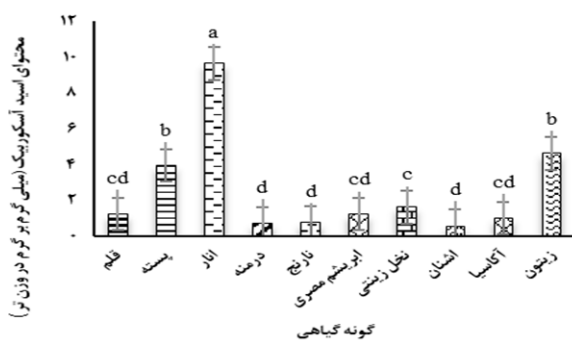
شکل ۱- موقعیت مجتمع صنعتی کاشی و سرامیک، شیشه و خاک چینی، ایستگاه پایش آلودگی هوا و نقاط نمونه برداری از گیاهان در شهرستان اردکان



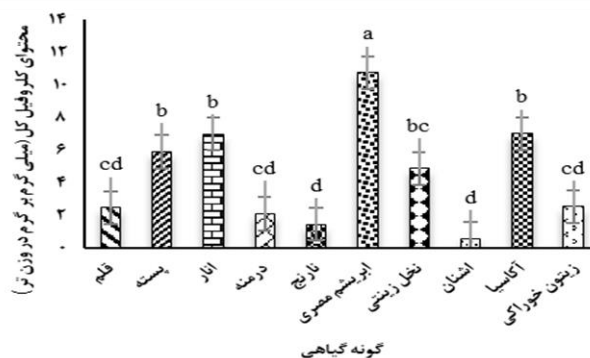
(ب)



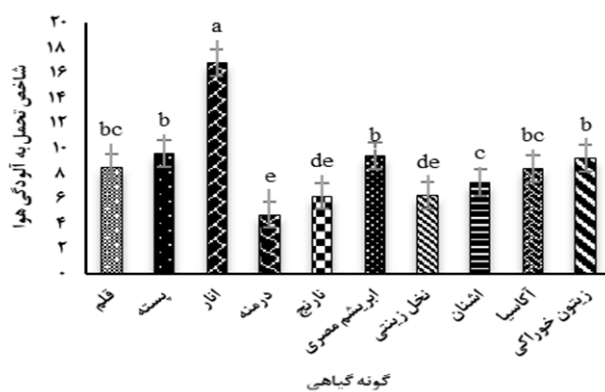
(ا)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی (ا)، pH عصاره‌های برگ (ب)، محتوای کلروفیل کل (پ)، اسید آسکوربیک (ت) و شاخص تحمل به آلودگی هوا (ث) در گونه‌های مرتعی، درختی و درختچه‌ای رویش یافته پیرامون مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان. ستون حداقل با یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه‌های گیاهی از نظر فاکتور مورد بررسی است.

جدول ۱- آمار توصیفی غلظت آلاینده های گازی و  $PM_{10}$  اندازه گیری شده توسط دستگاه های پایش آنلاین اداره حفاظت محیط زیست شهرستان اردکان در فاصله ۲ کیلومتری از صنایع و استاندارد های اولیه و ثانویه مربوط به آلاینده ها

آماره	CO	O <sub>۳</sub>	NO <sub>۲</sub>	SO <sub>۲</sub>	PM <sub>۱۰</sub>	واحد
	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	بازده زمانی (ساعت)
	۱	۸	۱	۳	۲۴	حدافل
	۱/۸۳	۱۵/۷۸	۰/۶۸	۲۳/۸۷	۳۱/۷۸	حداکثر
	۲/۴۸	۳۷/۵۲	۶/۰۴	۴۵/۱۶	۳۸۲/۳۵	میانگین
	۲/۰۶	۲۹/۰۱	۳/۲۸	۳۳/۹۴	۷۰/۵۵	انحراف معیار
	۰/۲۱	۷/۵۲	۲/۰۸	۸/۲۸	۴۶/۷۰	استاندارد اولیه NAAQS
	۳۵	۷۰	۱۰۰	-	۱۵۰	استاندارد ثانویه NAAQS
	-	۷۰	-	۵۰۰	۱۵۰	

جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و فلزات سنگین در گونه های مرتعی، درختی و درختچه ای در اطراف مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	محتوای آب نسبی	کلروفیل کل	اسید آسکوربیک	شاخص تحمل به آلودگی هوا	سرب	کادمیوم	کروم شش	میانگین مربعات
نوع گیاه	۹	۰/۳۸**	۴۷۱/۴۴**	۳۰/۵۱**	۲۴/۶۹**	۳۲/۵۷**	ns	ns	۰/۰۰**	
خطا	۲۰	۰/۰۳	۴۱/۵۱	۲/۴۰	۰/۱۸	۱/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	
درصد ضریب تغییرات	-	۳/۱۳	۱۰/۹۷	۳۴/۶۵	۱۶/۷۶	۱۲/۱۱	۴۵/۶۱	صفر	صفر	

\*\*اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه های گیاهی از نظر پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مورد بررسی

جدول ۳- مقادیر عناصر سنگین سرب، کادمیوم و کروم شش در گونه های مرتعی، درختی و درختچه ای در اطراف مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان

گونه گیاهی	میانگین و انحراف معیار (mg/kg.DW)		
	سرب	کادمیوم	کروم شش
قلم	۰/۳۳ ± ۰/۱۳ <sup>a</sup>	۰/۰۱ ± ۰/۰۲ <sup>a</sup>	۰/۰۵ ± ۰/۰۱ <sup>a</sup>
پسته	۰/۳۲ ± ۰/۱۴ <sup>a</sup>	nd	۰/۰۳ ± ۰/۰۱ <sup>abc</sup>
انار	۰/۱۹ ± ۰/۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰۲ ± ۰/۰۴ <sup>a</sup>	nd
درمنه	۰/۲۸ ± ۰/۲۱ <sup>a</sup>	۰/۰۳ ± ۰/۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰۵ ± ۰/۰۱ <sup>ab</sup>
نارنج	۰/۲۴ ± ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۰۳ ± ۰/۰۳ <sup>a</sup>	۰/۰۱ ± ۰/۰۰ <sup>c</sup>
ابریشم مصری	۰/۳۳ ± ۰/۲۰ <sup>a</sup>	۰/۰۰ ± ۰/۰۲ <sup>a</sup>	۰/۰۲ ± ۰/۰۲ <sup>abc</sup>
نخل	۰/۳۲ ± ۰/۰۸ <sup>a</sup>	۰/۰۵ ± ۰/۱۴ <sup>a</sup>	۰/۰۴ ± ۰/۰۱ <sup>ab</sup>
اشنان	۰/۴۵ ± ۰/۲۱ <sup>a</sup>	۰/۰۱ ± ۰/۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰۵ ± ۰/۰۲ <sup>a</sup>
آکاسیا	۰/۳۰ ± ۰/۱۱ <sup>a</sup>	۰/۰۰ ± ۰/۰۲ <sup>a</sup>	۰/۰۳ ± ۰/۰۲ <sup>abc</sup>
زیتون خوراکی	۰/۳۸ ± ۰/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰ ± ۰/۰۱ <sup>a</sup>	۰/۰۲ ± ۰/۰۰ <sup>bc</sup>
محدوده استاندارد	۰/۲-۲۰	۰/۱-۱	۰/۰-۰۴/۰۸

ستون حداقل با یک حرف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین گونه های گیاهی از نظر غلظت فلزات سنگین سرب، کروم شش و کادمیوم است.

جدول ۴- همبستگی بین پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی APTI و عناصر سنگین در گیاهان رویش یافته در اطراف مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان

شاخص تحمل به آلودگی هوا	کروم شش	کادمیوم	سرب	کلروفیل کل	محتوای آب نسبی	اسید آسکوربیک	pH عصاره برگ
pH عصاره برگ						۱	۱
اسید آسکوربیک						۱	-۰/۰۵
محتوای آب نسبی					۱	-۰/۳۷*	-۰/۱۱
کلروفیل کل				۱	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۰۹
سرب			۱	-۰/۱۴	۰/۲۸	-۰/۲۲	۰/۱۸
کادمیوم		۱	۰/۱۶	-۰/۳۱	-۰/۰۲	-۰/۲۰	۰/۰۸
کروم شش	۱	-۰/۰۲	۰/۴۷**	-۰/۱۳	۰/۱۲	-۰/۴۵*	-۰/۱۳
شاخص تحمل به آلودگی هوا	۱	-۰/۳۹*	-۰/۲۲	-۰/۱۴	۰/۴۷**	۰/۰۷	۰/۸۵**

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



## References

1. Sarkheil H, Azimi Y, Rahbari S. Modeling environmental air quality assessment using fuzzy logic in the Pars Special Economic Energy Zone (Case study: Assaluyeh, Bidkhan and Shirino regions). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2018;20(4):1-16. [Persian]
2. Shojae Barjoe S, Azimzadeh H, MoslehArani A, Sodaiezadeh 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. [Persian]
3. Shojae Barjoe S, Azimzadeh H, MoslehArani A, Kuchakzadeh M. Occupational monitoring and health risks assessment of respiratory exposure to dust in an industrial unit of production Khak-e-Chini. *Occupational Medicine Quarterly Journal*. 2019;11(3):14-25. [Persian]
4. Singh S, Rao D, Agrawal M, Pandey J, Naryan D. Air pollution tolerance index of plants. *Journal of Environmental Management*. 1991;32(1):45-55.
5. Otuu F, Inya-Agha S, Ani U, Ude C, Inya-Agha T. Air Pollution Tolerance Indices (APTI) of Six Ornamental Plants Commonly Marketed at "Ebano Tunnel" Floral Market, in Enugu Urban, Enugu State, Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2014;8(1):51-5.
6. Hatami-Manesh M, Mortazavi S, Solgi E, Mohtadi A. Assessing the capacity of trees and shrubs species to accumulate of particulate matter (PM10, PM2. 5 and PM0. 2). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;12(1):1-16.
7. Bakiyaraj R, Ayyappan D. Air pollution tolerance index of some terrestrial plants around an industrial area. *International Journal of Modern Research and Reviews*. 2014;2(1):1-7.
8. Psaras G, Christodoulakis N. Air pollution effects on the ultrastructure of *Phlomis fruticosa* mesophyll cells. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 1987;38(4):610-17.
9. Klumpp G, Furlan CM, Domingos M, Klumpp A. Response of stress indicators and growth parameters of *Tibouchina pulchra* Cogn. exposed to air and soil pollution near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Science of the total Environment*. 2000;246(1):79-91.
10. Dhankar R, Mor V, Lilly S, Chopra K, Khokhar A. Evaluation of Anticipated Performance Index of some tree species of Rohtak city, Haryana, India. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2015;6(3):2890-6.
11. Aneja VP, Agarwal A, Roelle PA, Phillips SB, Tong Q, Watkins N, et al. Measurements and analysis of criteria pollutants in New Delhi, India. *Environment International*. 2001;27(1):35-42.
12. Agbaire P, Esiefarienrhe E. Air Pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2009;13(1).
13. Anake WU, Eimanehi JE, Omonhinmin CA. Evaluation of Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance Index of Selected Plant Species. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2017;19(1):239-44.
14. Enete I, Chukwudeluzu V, Okolie A. Evaluation of air pollution tolerance index of plants and ornamental shrubs in Enugu City: implications for urban heat island effect. *World Environment*. 2013;3(3):108-15.
15. 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;190:252-8.
16. Elloumi N, Mezghani I, Rouina B, Ben Abdallah F. A Comparative Study of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Fruit Plant Species Growing in the Industrial Area of Sfax, Tunisia. *Pollution*. 2018;4(3):439-46.
  17. Jyoti K, Surinder D. Assessment of Air Pollution Tolerance Index of Selected Plants Unveil To Traffic Roads of Noida, Uttar Pradesh International Journal on Emerging Technologies. 2017;8(1):179-84.
  18. Tak A, Kakde UB. Assessment of air pollution tolerance index of plants: a comparative study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2017;9(7):83-9.
  19. Verein Deutscher Ingenieure D. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollution on plants (bioindication). VDI3957 Part. 2007;11:6-12.
  20. Bharti SK, Trivedi A, Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban climate*. 2018;24:820-9.
  21. BS EN 14626. Ambient air quality. Standard method for the measurement of the concentration of carbon monoxide by nondispersive infrared spectroscopy. BSI. 2005; 1-90.
  22. BS EN 14212. Ambient air quality. Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence. 2005; 1-106.
  23. BS EN 14211. Ambient air quality. Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence. BSI. 2005; 1-96.
  24. BS EN 14625. Ambient air. Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry. 2012.
  25. BS EN 12341. Air quality. Determination of the PM10 fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. BSI; 1999, 1-20.
  26. Tantray AK, Dar SA, Ahmad S, Bhat SA. Spectrophotometric and titrimetric analysis of phytoascorbate. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017;6(1):27-31.
  27. 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.
  28. Nazari B. Investigation of air pollution tolerance index (APTI) and bioaccumulation of cadmium and lead in some plant species in yazd, Thesis Msc: Yazd university; 2018.
  29. Assadi A, Pirbalouti AG, Malekpoor F, Teimori N, Assadi L. Impact of air pollution on physiological and morphological characteristics of *Eucalyptus camaldulensis*. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 2011;9(2):676-9. [Persian]
  30. Gostin IN. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009;37(2):57-63.
  31. Askari MM, Amini F, Faraji G. Some of physiological and biochemical responses of *Prunus amygdalus* to air pollution of the Shazand industrial area. *Iranian Journal of Plant Biology*. 2016;8(28):64-78. [Persian]
  32. Nourmoradi H, Omidi Khaniabadi Y, Goudarzi G, Jourvavd M, Nikmehr K. Investigation on the dust dispersion (PM10 and PM2. 5) by Doroud Cement Plant and study of its individual exposure rates. *scientific journal*

- of ilam university of medical sciences. 2016;24(1):64-75. [Persian]
33. Baroutian S, Mohebbi A, Goharrizi AS. Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant. *Journal of hazardous materials*. 2006;136(3):468-74.
  34. Atabi F, Jafarigol F, Momeni M, Salimian M, Bahmannia G. Dispersion modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth gas refinery. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2014;1(4):281-92. [Persian]
  35. Zoroufchi Benis K, Fatehifar E, Ahmadi J, Mohammadi M. Simulation of Pollution Distribution around the Tabriz Oil Refining Company by using ISCST Model. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2015;44.4(77):99-106. [Persian]
  36. Tripathi A, Gautam M. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*. 2007;28(1):127.
  37. Vyankat Y. Air Pollution Tolerance Index nanded city, MA. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*. 2014;3(1):23-28.
  38. Sumangala H, Aswath C, Laxman R, Namratha M. Estimation of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of selected ornamental tree species of Lalbagh, Bengaluru, India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018;7(2):3894-8.
  39. Roy A, Bhattacharya T, Kumari M. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Science of The Total Environment*. 2020:137622.
  40. 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. [Persian]
  41. Rai PK. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016;129:120-36.
  42. Singh S, Verma A. *Phytoremediation of air pollutants: a review*. *Environmental bioremediation technologies*: Springer; 2007. p. 293-314.
  43. Patel A, Hina K. Assessment of relative water content, leaf extract pH, ascorbic acid and total chlorophyll of some plant species growing in Shivamogga. *Plant Archives*. 2011;11(2):935-9.
  44. Meerabai G, Venkata RC, Rasheed M. Effect of industrial pollutants on physiology of *Cajanus cajan* (L.)–Fabaceae. *International Journal of Environmental Sciences*. 2012;2(4):1889-94.
  45. Joshi N, Joshi A, Bist B. Air pollution tolerance index of some trees species from the industrial area of Tarapur. *International Journal of Life Sciences Scientific Research*. 2015;2(2).
  46. Yadegari M, Dehkordy AK. Evaluation of some heavy metals accumulation within the soil and crops around industrial town of Shahr-e-Kord. *Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 2010;7(1):75-86. [Persian]
  47. Kabata-Pendias A, Pendias H. *Trace elements in soils and plants*–CRC Press. Boca Raton. 2001:403.
  48. Mortazavi S, Ghasemi Aghbash F, Naderi Motiy R. The feasibility of biomonitoring of heavy metals by wooden species of urban areas. *Journal of Forest Research and Development*. 2019;5(1):55-71. [Persian]
  49. Ekhlaspour A, Khalilimoghadam B, Soleimani M. Assessing Heavy Metal

Concentration in the Soil and Plants of Surroundings Khuzestan Steel Factory. Iranian Journal of Soil and Water Research. 2019;50(3):603-13. [Persian]

## Tolerance of Plants to Air Pollution in the Industrial Complex of Glass, Khak-e-Chini, Tile and Ceramics in Ardakan, Iran

*Shojaee Barjooe S*: MSc. Student, Department of Environmental, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran- Corresponding Author: said.shojaee71@gmail.com

*Azimzadeh HR*: Ph.D. Associate Professor, Department of Environmental, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

*Mosleh Arani A*: Ph.D. Associate Professor, Department of Environmental, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Received: Jul 30, 2019

Accepted: Apr 25, 2020

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Air Pollution Tolerance Index (APTI), as a criterion for assessing plants' resistance to air pollution, is one of the important tools for managing air quality around industrial complex buildings. The aim of this study was to determine air quality and the APTI of native plants grown around the Industrial Complex of Glass, Khak-e-chini, Tile and Ceramics and Glass in Ardakan, Iran.

**Materials and Methods:** This was a cross-sectional, descriptive-analytical study. First, the concentration of air pollutants in the industrial area was assessed. Then, APTI was determined as follows: measuring the pH of leaf extracts, relative water content, total chlorophyll and ascorbic acid contents of leaves in samples of native plant leaves. In addition, the concentrations of lead, chromium and cadmium were measured in plants by atomic absorption using the dry digestion method. For statistical analysis of the data the SPSS software version 22 was used.

**Results:** The mean plant concentrations of Co, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> in the industrial area were 2.06 ppm, 7.75 ppm, 3.28 ppm, 33.94 ppb and 70.55 µg/m<sup>3</sup>, respectively; these concentrations were all below the respective standards, as were those of lead, cadmium and chromium. The tolerance index of plants around the Industrial Complex was measured in the floor/parts sensitive to air pollution, proportional to low air quality pollutant and heavy metal concentrations in plants. Among the rangeland, tree and shrubs species, the following had the highest air pollution tolerance index, respectively: *Boiss.fortuynia* (8.49), *Punica granatum* (16.80) and *Albizia lebbek* (9.37).

**Conclusion:** Based on the Air Pollution Tolerance Index it is suggested that the nonproductive species *Punica granatum* be used as a more tolerant species and *Artemisia* species as a biomarker for the expansion of green space.

**Keywords:** Air Pollution Tolerance Index, Ardakan, Iran, Heavy Metals