تأثیر تنش آلودگی هوا بر میزان پرولین، هیدرات‌کربن و رنگیزه‌های فتوسنتزی درخت افرای زینتی (*Acer negundo* L.) (مطالعه موردی: شهرستان ارومیه)

نگار امیدی[۱]، نسرین سیدی[۱*]، عباس بانج شفیعی[۱] و ناصر عباسپور[۴]

[۱] ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگل‌داری

[۲] ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی گیاهی

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۳

چکیده

آلودگی هوا علاوه بر تأثیر بر سلامت ساکنان شهر، بر رشد و کیفیت درختان فضای سبز شهری نیز مؤثر است. کاشت گونه‌های گیاهی مقاوم به آلاینده‌های هوا تأثیر بسزایی در بالا بردن کیفیت هوای شهرها دارد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر آلودگی هوا بر پارامترهای شیمی گیاهی درختان افرای زینتی (*Acer negundo* L.) در سطح شهر ارومیه انجام شد. در هریک از پنج بوستان با درجه آلودگی متفاوت، پنج پایه تقریبا همسال انتخاب شد و نمونه‌های برگ از هر پایه در سه تراز ارتفاعی پایینی، میانی و بالایی تاج و از شاخه‌های بیرونی برداشت شدند و پارامترهای شیمی گیاهی هیدرات‌های کربن، پرولین، رنگیزه‌های اصلی و فرعی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و پارامترهای مورفولوژیکی قطر برابر سینه، ارتفاع و قطرتاج درختان برای تعیین همبستگی با پارامترهای شیمی گیاهی، ثبت شدند. همچنین ارتباط کلیه پارامترها با غلظت آلاینده‌های هوا نیز بررسی گردید. نتایج حاکی از آن است که میزان هیدرات‌های کربن و پرولین گونه افرا در مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار داشته و تحت تأثیر آلودگی هوا افزایش یافته است. در صورتی‌که میزان رنگیزه‌ها در مناطق آلوده کمتر از منطقه شاهد بود. عدم وجود همبستگی معنی‌دار ویژگی‌های شیمی گیاهی با پارامترهای کمی و در مقابل همبستگی معنی‌دار آنها با آلاینده‌ها، نشانگر این است که فقط آلاینده‌ها بر خصوصیات شیمی گیاهی افرای زینتی تأثیر گذاشتند و ابعاد درختان در این رابطه بی‌تأثیر بود. بر اساس نتایج این تحقیق گونه افرا با افزایش تجمع هیدرات‌کربن و پرولین در مناطق آلوده، می‌تواند به‌عنوان گونه‌ای مقاوم در فضای سبز شهری بکار رود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، هیدرات‌های کربن

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴۳۱۹۴۲۵۰۴ ، پست الکترونیکی: n.seyedi@urmia.ac.ir

مقدمه

مسئله آلودگی هوا یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی شهرهای توسعه یافته و در حال توسعه است. گیاهان با اینکه تا حدی در کاهش آلودگی هوا مؤثر هستند، اما ممکن است تحت تأثیر آلاینده‌ها نیز قرار گرفته و آسیب ببینند (۶). 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 (۲۷). در روش غیرمستقیم، درختان از طریق سایه‌اندازی، تبخیر و تعرق موجب کاهش دمای هوا در تابستان شده، بنابراین باعث کاهش انتشار آلاینده‌های هوا می‌شوند. کاهش دمای هوا

می‌تواند موجب کاهش فعالیت واکنش‌های شیمیایی و تولید آلاینده‌های ثانویه در هوای مناطق شهری گردد (۱۶). برای نشان دادن تنش آلودگی هوا در درختان، شاخص‌های مختلفی ازجمله شاخص‌های فیزیولوژیکی بکار می‌رود. افزایش کربوهیدرات‌های محلول و پرولین و کاهش کلروفیل و زرد شدن برگ‌ها بر اثر تنش آلاینده‌های هوا از مطالعات اولیه شناخته شده است (۴ و ۲۰).

به‌عنوان مثال کاهش غلظت کلروفیل در برگ‌های دو گونه *Ficus religiosa* L. و *Thevetia nerifolia* Juss. با افزایش میزان آلودگی (دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون و فلزات سنگین) گزارش شده است (۲۵). همچنین سطوح مختلف آلاینده-های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق در شهر اوداپیور هند باعث ایجاد تغییر در میزان کلروفیل، کربوهیدرات‌های کل و پروتئین کل برگ‌های باقلای هندی (*Pongamia pinnata* L.) شد (۴).

افزایش میزان پرولین در گونه‌های سرو خمره‌ای (*Biota orientalis* L.)، کاج سیاه (*Pinus nigra* Arn.)، چنار شرقی (*Platanus orientalis* L.)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)، نارون (*Ulmus carpinifolia* Borkh.) و پالونیا (*Paulownia tomentosa* Steud.) نیز تحت تأثیر افزایش فلزات سنگین مشاهده شده است (۲۲ و ۲۶). غلظت کلروفیل در برگ‌های گونه‌های ماش (*Vigna radiata* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و خردل (*Brassica compestris* L.) نیز با آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ازن یک رابطه معکوس را نشان داد (۱).

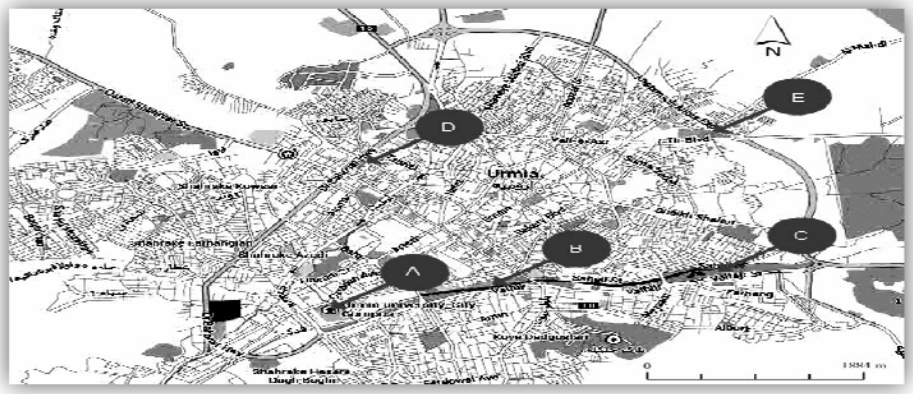
همچنین کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، bو کاروتنوئید) و پروتئین قابل حل کل در اثر آلاینده‌های شهری و صنعتی در برگ گونه‌های افرای زینتی (*Acer negundo*)، چنار شرقی (*Platanus orientalis*) و خرزهره (*Nerium oleander* L.) نیز گزارش شده است (۸).

هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات پارامترهای شیمی گیاهی، ازجمله محتوای هیدرات‌های کربن محلول، پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ‌های درختان افرای زینتی، تحت تأثیر میزان آلاینده‌های هوای شهر ارومیه بود.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: مناطق مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی، در شهر ارومیه، بین ۳۷ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۳ متر قرار دارد. برای بررسی آلاینده‌های هوا، اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا سازمان حفاظت محیط زیست استان آذربایجان‌غربی که در نزدیکی مناطق مورد مطالعه (۲۰۰ تا ۳۰۰ متر) قرار داشتند، بررسی گردید. با توجه به این اطلاعات، مناطق A (پردیس شهری دانشگاه ارومیه- واقع در خیابان شهید بهشتی)، B (بوستان الغدیر واقع در بلوار والفجر)، C (بوستان ائللرباغی- واقع در بلوار امامت)، D (بوستان حجاب- واقع در فلکه مدرس) و E (بوستان کوثر- واقع در نزدیکی پایانه‌ی مسافربری شهری) به‌ترتیب از آلودگی کمتر تا آلوده‌ترین مناطق انتخاب گردیدند (شکل ۱). با توجه به داده‌های بدست آمده میزان آلاینده‌های ازن، ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون و مونواکسیدکربن در بوستان کوثر (آلوده‌ترین منطقه) بیشترین مقدار و در پردیس شهر (منطقه شاهد) کمترین مقدار را بخود اختصاص داده است (جدول ۱).

روش تحقیق: در هر منطقه برای انجام نمونه‌برداری تعداد پنج پایه به صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری برگ در اواخر مرداد ماه ۱۳۹۲ به‌منظور بررسی واکنش درخت به آلودگی در انتهای فصل رشد انجام شد.



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در نقشه شهر ارومیه

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار ۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۸۸) داده‌های آلودگی هوا در مناطق مطالعاتی و حد مجاز آنها

آلاینده	حد مجاز آلاینده‌های مورد بررسی طبق استاندارد جهانی	F	مناطق مطالعاتی				
			پردیس A	الغدیر B	ائللرباغی C	حجاب D	کوثر E
O_3(ppm)	۰/۰۵	۲^{ns}	۰/۰۷ (± ۰/۰۰۳)	۰/۰۹ (±۰/۰۰۹)	۰/۰۷ (±۰/۰۰۳)	۰/۰۸ (±۰)	۰/۱ (±۰/۰۱۲)
NH_3(ppm)	۲	۲/۹*	۲/۹۳^{b} (± ۰/۲۱۹)	۳/۴^{a} (±۰)	۳/۳^{a} (±۰)	۳/۳۳^{a} (±۰/۸۸۲)	۳/۳^{a} (±۰/۵۷۷)
SO_2(ppm)	۰/۰۱	–	۰/۳ (± ۰)	۰/۳ (±۰)	۰/۳ (±۰)	۰/۳ (±۰)	۰/۳ (±۰)
CO(ppm)	۹	–	۱/۵ (± ۰/۱)	۶/۳ (±۰/۲۱۳)	–	۷/۵ (±۰/۰۸)	۷/۹ (±۰/۳۶۵)
PM_{10}(μg/m^3)	۵۰	۳/۶۹*	۲۵/۳۳^{b} (± ۰/۸۸۲)	۳۴/۶۶^{b} (±۴/۳۷۲)	۴۵/۳۳^{ab} (±۰/۸۸۲)	۴۶^{ab} (±۲/۵۰۳)	۵۸^{a} (±۵/۵۶۸)

^{ns} غیرمعنادار و * معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند (آزمون دانکن).
(به دلیل یکسان بودن میزان SO_2 در همه مناطق و عدم دسترسی به داده‌ی CO در پارک ائللرباغی، از این داده‌ها در آنالیز آماری استفاده نگردید).

در انتخاب پایه‌ها سعی شد تا پایه‌های شاداب و سالم، دارای تاج متقارن و بدون آفت انتخاب شوند. به دلیل نمونه‌برداری از تمام قسمت‌های تاج، تعداد دو برگ در هر یک از چهار جهت اصلی جغرافیایی، از بخش‌های پایینی، میانی و بالایی تاج و در مجموع ۲۴ برگ برای هر پایه جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری پارامترهای هیدارت‌های کربن، پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی به آزمایشگاه گروه زیست‌شناسی گیاهی دانشگاه ارومیه منتقل گردید.

برای اندازه‌گیری میزان هیدرات‌های کربن محلول از روش دوبیوس و همکاران (۹) استفاده شد. به‌منظور آزاد شدن قندهای محلول، مخلوط ماده خشک برگ با اتانول بمدت یک هفته داخل یخچال نگهداری شد. شدت رنگ عصاره حاصل پس از افزودن اسید سولفوریک و فنل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه-گیری گردید. میزان رنگ حاصل با شدت رنگ محلول و غلظت قندهای محلول متناسب بود. در نهایت برای تعیین غلظت قندهای محلول، منحنی استانداردی با استفاده از غلظت‌های معلوم گلوکز رسم شد (۹).

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین از روش باتس و همکاران (۵) استفاده شد. برای تهیه عصاره، ابتدا اسید سولفوسالیسیک و بعد اسید استیک گلاسیال، معرف نین‌هیدرین و تولوئن به‌ترتیب به ماده خشک برگ اضافه شدند و جذب هر نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد از محلول پرولین با غلظت‌های معلوم استفاده شد (۵).

میزان کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش لیچتن‌تالر و ولبورن (۱۵) انجام شد. در ابتدا عصاره‌ای از بافت تر برگ‌ها با استفاده از استون تهیه شد. سپس میزان جذب هریک از نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و برای محاسبه مقادیر کلروفیل a، b و کارتنوئیدها (C) از فرمول‌های زیر استفاده گردید (۱۵).

Chl a=11.75 A662–2.350 A645

Chl b=18.61 A645–3.960 A662

C=1000 A470–2.270 Chla–81.4 Chlb/227

منظور از A، میزان جذب در طول موج مشخص (نانومتر) توسط دستگاه اسپکتوفتومتر است.

اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها برای پارامترهای هیدرات‌های کربن، پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PD-303 UV انجام شد.

برای اینکه مشخص شود فاکتورهای فیزیولوژیکی مورد آزمایش متأثر از ابعاد درختان بوده است یا خیر، پارامترهای قطر برابر سینه (با استفاده از دستگاه کالیپر)، ارتفاع (با استفاده از شیب سنج سونتو) و قطرتاج (میانگین قطر بزرگ و کوچک تاج با استفاده از متر نواری) درختان مورد نظر نیز اندازه‌گیری شد.

– **بررسی‌های آماری:** پس از شناسایی و حذف داده‌های پرت، آزمون نرمال بودن پراکنش داده‌ها (Kolmogorov-Smirnov) انجام شد. سپس با توجه به نرمال بودن داده‌ها از آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ برای مشخص نمودن اختلاف معنی‌دار بین متغیرهای اندازه‌گیری شده استفاده گردید. ضرایب همبستگی پیرسون بین غلظت آلاینده‌ها، پارامترهای شیمی گیاهی و مورفولوژی (قطر برابر سینه، ارتفاع و قطر تاج) نیز محاسبه شد. تمامی آزمون‌ها و تجزیه و تحلیل آماری در محیط نرم افزار SPSS (Version 18) انجام شد.

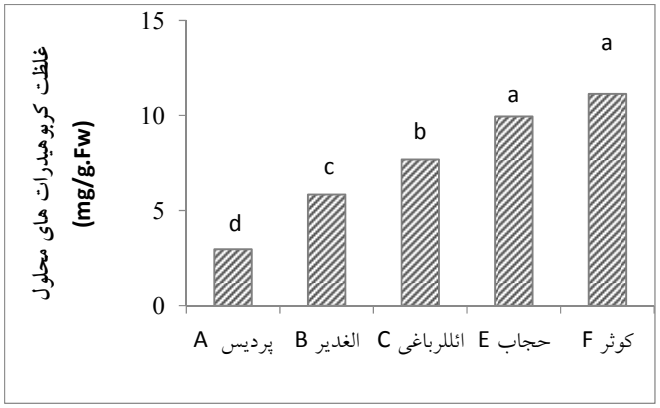
نتایج

مقایسه غلظت هیدرات‌های کربن محلول تحت تأثیر آلودگی هوا: برای هیدارت‌های کربن محلول در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری بین مناطق مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۲). میانگین غلظت هیدرات‌های‌کربن محلول گونه افرای زینتی از ۲/۹۶ میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ در منطقه شاهد (پردیس) به ۱۱/۱۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ در منطقه آلوده (کوثر) افزایش یافته است. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود میانگین هیدرات‌های کربن محلول در افرا تحت تأثیر آلودگی هوا افزایش یافت و این افزایش در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس هیدرات‌های کربن محلول برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
تیمار	۴	۲۱۲/۸۴۲	۵۳/۲۱۰	۴۲/۴۵۰	۰/۰۰۰*
خطای آزمایش	۲۰	۲۵/۰۶۹	۱/۲۵۳		
کل	۲۴	۲۳۷/۹۱۱			

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۲- میانگین غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

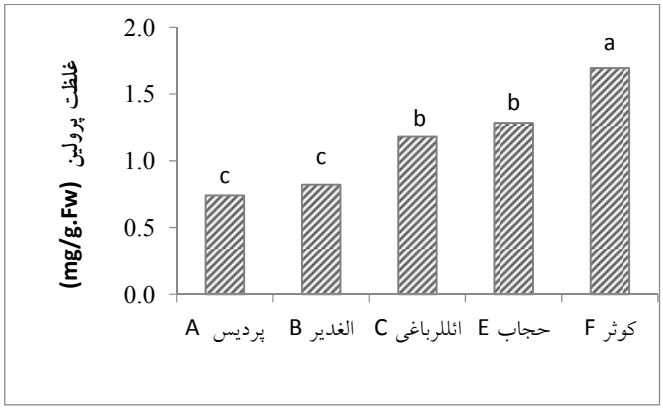
میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

مقایسه غلظت پرولین تحت تأثیر آلودگی هوا: تجزیه واریانس میزان پرولین، اختلاف معنی‌داری را در مناطق مختلف نشان داد (جدول ۳). در این تحقیق میانگین غلظت پرولین گونه افرای زینتی از ۰/۷۴ میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ در منطقه شاهد (پردیس) به ۱/۶۹ میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ در منطقه آلوده (کوثر) افزایش یافته است. همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میانگین غلظت پرولین در افرا تحت تأثیر آلودگی هوا افزایش یافت و این افزایش در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس پرولین برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
تیمار	۴	۲/۹۶۴	۰/۷۴۱	۲۵/۰۷۱	۰/۰۰۰*
خطای آزمایش	۲۰	۰/۵۹۱	۰/۰۳۰		
کل	۲۴	۳/۵۵۵			

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۳- میانگین غلظت پرولین برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

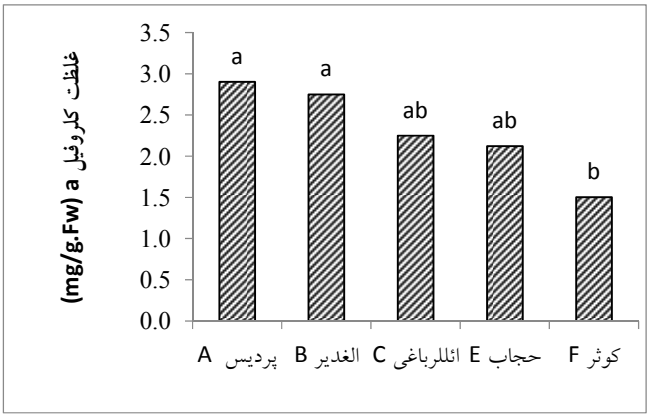
مقایسه غلظت کلروفیل a تحت تأثیر آلودگی هوا: بر اساس جدول ۴ غلظت کلروفیل a در مناطق مختلف متفاوت بود. میانگین غلظت کلروفیل a گونه افرای زینتی در پردیس شهری دانشگاه ارومیه دارای بیشترین مقدار

(۲/۹ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) و در بوستان کوثر کمترین مقدار (۱/۵ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) بود. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود میانگین غلظت کلروفیل a در افرای زینتی تحت تأثیر آلودگی هوا کاهش یافت و این کاهش سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۴- تجزیه واریانس کلروفیل a برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
تیمار	۴	۶/۱۸۳	۱/۵۴۶	۴/۹۹۶	۰/۰۰۶*
خطای آزمایش	۲۰	۶/۱۸۸	۰/۳۰۹		
کل	۲۴	۱۲/۳۷۱			

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۴- میانگین غلظت کلروفیل a برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

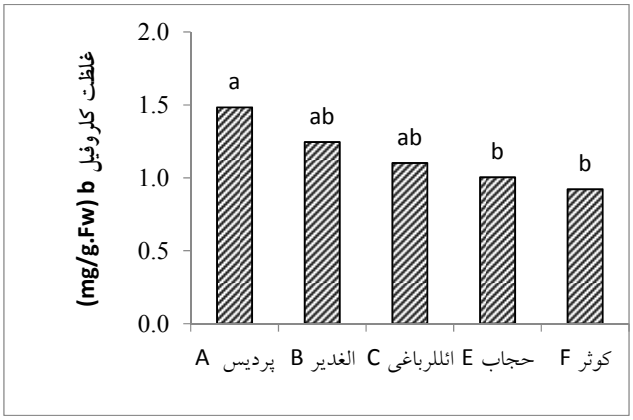
مقایسه غلظت کلروفیل b تحت تأثیر آلودگی هوا: تجزیه واریانس کلروفیل b اختلاف معنی‌داری را بین مناطق مختلف نشان نداد (جدول ۵). بیشترین مقدار میانگین غلظت کلروفیل b گونه افرای زینتی در پردیس شهری دانشگاه ارومیه (۱/۴۸ میلی‌گرم در هر گرم وزن‌تر برگ) و کمترین مقدار آن در بوستان کوثر (۰/۹۲ میلی‌گرم در هر گرم وزن‌تر برگ) مشاهده شد. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود میانگین غلظت کلروفیل b در افرای زینتی تحت تأثیر آلودگی هوا کاهش یافت و این کاهش معنی‌دار نبوده است.

مقایسه غلظت کارتنوئید تحت تأثیر آلودگی هوا: طبق جدول ۶، میزان کارتنوئید بین مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار داشت.

جدول ۵- تجزیه واریانس کلروفیل b برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
تیمار	۴	۰/۹۷۹	۰/۲۴۵	۲/۴۲۵	۰/۰۸۲ns
خطای آزمایش	۲۰	۲/۰۲۰	۰/۱۰۱		
کل	۲۴	۲/۹۹۹			

ns غیرمعنادار



شکل ۵- میانگین غلظت کلروفیل b برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

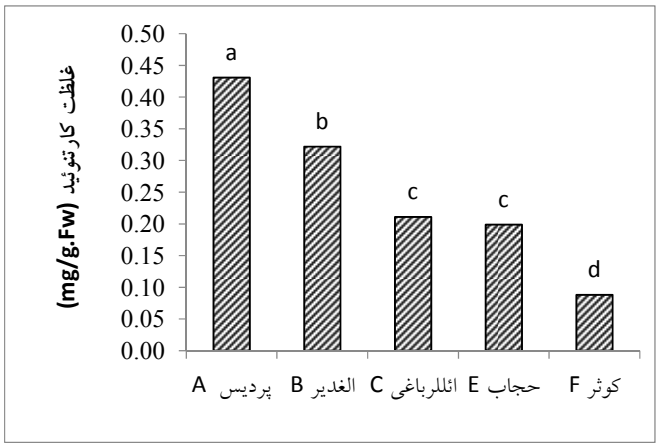
میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

بیشترین و کمترین مقدار میانگین غلظت کارتنوئید گونه افرای زینتی به‌ترتیب در پردیس شهری دانشگاه ارومیه (۰/۴۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) و بوستان کوثر (۰/۰۹ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) اندازه‌گیری شد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود میانگین غلظت کارتنوئید در افرای زینتی تحت تأثیر آلودگی هوا کاهش یافت و این کاهش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۶- تجزیه واریانس کارتنوئید برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
تیمار	۴	۰/۳۴۱	۰/۰۸۵	۳۰/۹۱۹	۰/۰۰۰*
خطای آزمایش	۲۰	۰/۰۵۵	۰/۰۰۳		
کل	۲۴	۰/۳۹۷			

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۶- میانگین غلظت کارتنوئید برگ افرا در مناطق مورد مطالعه

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند ($p\leq0.05$).

پارامترهای کمی: در این مطالعه میانگین قطر برابر سینه گونه افرای زینتی در پارک کوثر با ۳۸/۸ سانتی‌متر بیشترین مقدار و پارک الغدیر با ۲۲ سانتی‌متر کمترین مقدار را داشت، میانگین ارتفاع گونه افرای زینتی در پارک کوثر با ۱۵/۵۵ متر بیشترین و پارک حجاب با ۱۰/۲۷ متر کمترین مقدار را دارا بود، همچنین میانگین قطر تاج گونه افرای زینتی در پارک کوثر با ۸/۶ متر بیشترین و پارک حجاب با ۵/۹۴ متر کمترین مقدار را دارا بود. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- میانگین پارامترهای کمی گونه‌ی افرای زینتی در مناطق مطالعاتی بر اساس آزمون دانکن

مناطق مطالعاتی	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)	قطر تاج (متر)
پردیس	۳۶/۴ a	۱۱/۸ b	۷/۴۷ ab
الغدیر	۲۸ ab	۱۱/۱۲ b	۷/۱۴ ab
ائللرباغی	۲۲ b	۱۱/۲۷ b	۷/۸۵ ab
حجاب	۲۲/۴ b	۱۰/۲۷ b	۵/۹۴ b
کوثر	۳۸/۸ a	۱۵/۵۵ a	۸/۶ a
F- value	۴/۸۵ *	۴/۱۴ *	۳/۶ *

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد

همبستگی ویژگی‌های شیمی گیاهی با آلاینده‌های هوا و پارامترهای کمی: هیدارت‌های کربن همبستگی مثبت و معناداری با آلاینده‌های ازن، آمونیاک و ذرات معلق داشت که ذرات معلق بیشترین همبستگی (r=۰/۹۱۴) را بخود اختصاص داد. پرولین با آلاینده ازن و ذرات معلق همبستگی مثبت و معناداری (به ترتیب r=۰/۵۷ و r=۰/۸۹) در سطح ۱ درصد نشان داد. کلروفیل a با ازن و ذرات معلق همبستگی منفی و معناداری داشت که بیشترین همبستگی با ذرات معلق (r=-۰/۶۹۲) مشاهده شد. کلروفیل b با آمونیاک و ذرات معلق همبستگی منفی و معناداری به‌ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد داشت. کارتنوئید با ازن، آمونیاک و ذرات معلق همبستگی منفی و معناداری در سطح ۱ درصد نشان داد که بیشترین همبستگی (r=-۰/۹۲۷) مربوط به ذرات معلق بود. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که هیچیک از ویژگی‌های شیمی گیاهی با پارامترهای کمی ارتباط و همبستگی معناداری نداشت (جدول ۸).

جدول ۸- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های شیمی گیاهی با آلاینده‌های هوا و پارامترهای کمی

	O_3	NH_3	PM_{10}	قطر برابر سینه	ارتفاع	قطر تاج
هیدرات‌های کربن	۰/۵۸۷**	۰/۶۲۴**	۰/۹۱۴**	۰/۰۴۵	۰/۲۹۴	۰/۰۷۰
پرولین	۰/۵۷۶**	۰/۳۸۹	۰/۸۹۰**	۰/۲۰۱	۰/۳۵۵	۰/۰۸۳
کلروفیل a	۰/۴۵۷*	-۰/۳۱۴	-۰/۶۹۲**	-۰/۰۵۴	-۰/۰۶۹	۰/۱۱۱
کلروفیل b	-۰/۳۳۷	-۰/۴۱۲*	-۰/۵۵۵**	۰/۳۱۵	-۰/۰۶۴	۰/۱۳۰
کارتنوئید	-۰/۵۷۷**	-۰/۵۸۹**	-۰/۹۲۷**	۰/۰۲۷	-۰/۳۳۱	-۰/۰۴۱

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد *معنی‌دار در سطح ۵ درصد

بحث

در شرایط تنش بدلیل کاهش قدرت انتقال قندها در آوند آبکش و کم شدن مصرف آنها در اندام‌های مصرف‌کننده، میزان قندها در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد (۱۳). هیدرات‌های کربن به‌عنوان محافظت کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول هستند و در پاسخ به تنش‌های محیطی انباشته می‌شوند. در انتخاب گونه‌های مقاوم به تنش، تعیین میزان قندهای محلول ممکن است روشی مفید باشد (۱۷). در این تحقیق میزان هیدرات‌های کربن در گیاه افرای زینتی در آلوده‌ترین منطقه (بوستان کوثر) نسبت به منطقه شاهد (پردیس شهر) ۳/۷۶ برابر افزایش یافته است. نتایج حاصل مطابق یافته‌های بامنیا و همکاران (۴) می‌باشد، که به بررسی پارامترهایی مانند میزان کربوهیدرات کل و پروتئین کل و ارتباط آن با آلاینده‌هایی مانند SO_2، NO_2، SPM و RSPM پرداختند (۴). همچنین قربانلی و همکاران (۱۰) گزارش کردند در نتیجه افزایش آلودگی هوا (SO_2، NO_2، O_3، CO و PM_{10}) میزان کربوهیدرات‌های محلول در دو گونه خرزهره و اقاقیا به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت که این مسئله آسیب‌پذیر بودن اقاقیا را در مقابل خرزهره نشان می‌دهد، زیرا مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ با مقاومت در برابر ازن رابطه مثبت دارد (۱۰).

در این تحقیق کربوهیدارت‌های محلول درختان افرای زینتی با آلاینده‌های ازن، آمونیاک و ذرات معلق همبستگی مثبت و معناداری نشان دادند، که از این بین ذرات معلق بیشترین همبستگی را به خود اختصاص داده است. نتایج تاجی و همکاران (۲۴) نیز در راستای این مطالعه است، آنان نیز همبستگی مثبتی بین انباشتگی کربوهیدرات‌های محلول و تحمل به انواع تنش‌های غیرزیستی گزارش کردند (۲۴).

تجمع پرولین یک پاسخ متداول به انواع تنش در گیاهان عالی است. البته اسیدآمینه‌های دیگری نیز تحت تنش‌ها انباشته می‌شوند، اما درجه تغییرات آنها با تجمع پرولین که ظرف مدت کوتاهی پس از اعمال تنش به سطوح خیلی بالا می‌رسد قابل مقایسه نیست. پرولین نقش اسمولیت و نقش پاک کننده رادیکال‌های آزاد را نیز بر عهده دارد (۱۲). زیرا می‌تواند بدون اینکه مولکول‌های بزرگ سلول را خراب کند، در غلظت‌های زیاد در سلول تجمع یابد (۲). در این تحقیق بیشترین میزان انباشت پرولین (۱/۷ میلی‌گرم در هر گرم وزن خشک برگ) در گیاه افرای زینتی در آلوده‌ترین منطقه (بوستان کوثر) مشاهده شد. در حقیقت مکانیسم متابولیکی برای مقابله با تنش آلودگی هوا منجر به افزایش میزان اسیدآمینه پرولین شده است (۲۳).

در این تحقیق نیز یک ارتباط و همبستگی مثبت بین بیشتر آلاینده‌ها و پرولین مشاهده شد. در واقع انباشتگی پرولین یکی از اولین فرایندهای بیوشیمیایی مشاهده شده در گیاهان عالی تحت تنش است (۱۴). در حالیکه برخی ارزش این مواد محلول را به‌عنوان شاخص مثبتی برای تحمل به تنش به چالش کشیده‌اند (۱۱). دژبان و همکاران (۷) افزایش پرولین در گونه داغداغان (*Celtis caucasica* L.) تحت تأثیر تنش کادمیوم را گزارش کردند، در حالیکه در گونه اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) تغییری در پرولین برگ تحت تنش کادمیوم مشاهده نشد (۷). سیدنژاد و همکاران (۲۱) نیز افزایش پرولین را در نتیجه افزایش آلودگی هوا در دو گونه *Malva Parviflora* L. و *Hordeum Glaucum* Steud. اعلام کردند (۲۱).

تنش باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. در طی تنش، کلروفیل در کلروپلاست‌ها تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌شوند (۱۹). حفظ غلظت کلروفیل تحت تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. بنابراین بنظر می‌رسد که کاهش فتوسنتز تحت تنش، بدلیل کاهش غلظت کلروفیل است. کاهش غلظت کلروفیل‌ها و زرد شدن برگ‌ها بر اثر تنش‌های آلاینده‌های هوا از مطالعات اولیه شناخته شده است (۱۸). با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، مقادیر

کلروفیل‌های a، b و کارتنوئید گونه افرای زینتی در مناطق آلوده نسبت به منطقه شاهد کاهش داشته است، که مطابق با یافته‌های ورما و سینگ (۲۵) می‌باشد. آنان در بررسی رنگدانه‌های فتوسنتزی دو گونه *Ficus religiosa* و *Thevetia nerifolia* در سه منطقه با آلودگی شدید، متوسط و خفیف (SO_2، NO_2، O_3، SPM و فلزات سنگین) به این نتیجه رسیدند که میزان کلروفیل a و b در هر دو گونه با افزایش بار آلودگی، کاهش می‌یابد (۲۵). همچنین بامنیا و همکاران (۴) اثر آلاینده‌های NO_2، SO_2، SPM و RSPM را بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گونه *Pongamia pinnata* در سه منطقه شهری، جنگلی و صنعتی مورد مطالعه قرار داده و مشاهده کردند که مقدار رنگیزه‌های اصلی و فرعی بغیر از کلروفیل b با افزایش آلودگی هوا کاهش معنی‌داری داشته است (۴).

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت کلروفیل a در برگ درختان افرای زینتی با افزایش غلظت ازن و ذرات معلق، کلروفیل b با افزایش غلظت آمونیاک و ذرات معلق و کارتنوئید با افزایش غلظت ازن، آمونیاک و ذرات معلق در هوا کاهش معناداری می‌یابد، یعنی یک رابطه منفی بین آلاینده‌ها و رنگیزه‌ها وجود دارد. رنگیزه‌های اصلی و فرعی با افزایش غلظت آلاینده‌ها روند کاهشی نشان دادند. سه آلاینده ازن، آمونیاک و ذرات معلق با پارامترهای شیمی گیاهی همبستگی معنی‌داری را نشان دادند، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این سه آلاینده جزء آلاینده‌های تأثیرگذار بر گونه افرا در شهرستان ارومیه محسوب می‌شوند. اژدرپور و اصیلیان (۳) طی بررسی آمار سه ساله آلاینده‌های هوای شهر تهران، ذرات معلق و مونواکسیدکربن را از مهمترین آلاینده‌ها معرفی کردند و دلیل آن را وجود صنایع مختلف و آلاینده‌های خروجی از وسایل نقلیه قدیمی بیان کردند (۳). رفیعی و همکاران (۱۸) نیز همبستگی منفی و معنی‌داری را بین کلروفیل a و b با آلاینده‌های ازن و مونواکسیدکربن در درختان چنار شهر اصفهان مشاهده کردند و میزان ازن و مونواکسیدکربن در شهر اصفهان به‌ترتیب ۰/۰۴ و ۷ پی‌پی ام گزارش شد، در حالیکه در این تحقیق میزان ازن و مونواکسیدکربن در شهر ارومیه بر اساس جدول ۱ بیشتر بود (۱۸).

نتیجه‌گیری کلی

در گونه افرای زینتی، بین ویژگی‌های شیمی گیاهی و پارامترهای کمی همبستگی مشاهده نشد. پیش فرض بر این بود که پایه‌های با قطر و ارتفاع بیشتر تغییرات بیشتری را در ویژگی‌های شیمی گیاهی مورد بررسی نشان دهند که این نتیجه حاصل نشد. در مقابل همبستگی بین پارامترهای شیمی گیاهی با آلاینده‌ها بیشتر و چشمگیرتر بود، بنابراین می‌توان گفت که فقط آلاینده‌ها بر خصوصیات شیمی گیاهی گونه مورد مطالعه تأثیر گذاشتند و ابعاد درختان افرای زینتی در این رابطه بی‌تأثیر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که آلاینده‌های ازن، آمونیاک و ذرات معلق بر برخی از جنبه‌های شیمی گیاهی درخت افرای زینتی تأثیر می‌گذارند. امروزه ذرات معلق در بیشتر شهرهای ایران به‌عنوان یک مشکل اساسی شناخته شده و از آنجایی که کانون گرد و غبارهای اخیر، در غرب و شمال‌غرب کشورمان قرار دارد، این مسئله در این مناطق بیشتر حائز اهمیت است. با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن زندگی امروزی همگام با پیشرفت روزافزون نوآوری، آلاینده‌های زیست محیطی به‌صورت موضوعی اجتناب‌ناپذیر در آمده است. یکی از راهکارهای بسیار مناسب در رفع این آلاینده‌ها استفاده از پوشش گیاهی و درختان مقاوم در فضاهای سبز و پارک‌هاست. بر اساس نتایج این تحقیق گونه افرا با افزایش تجمع هیدرات‌کربن و پرولین در مناطق آلوده، می‌تواند به‌عنوان گونه‌ای مقاوم در فضای سبز شهری بکار رود.

منابع

1- Agrawal, M., Singh, B., Rajput, M., Marshall, F. and Bell, J.N.B. 2003. Effect of air pollution on peri-urban agriculture: a case study. Environmental Pollution. 126: 323–329.

2- Amini, Z. Moalemi, N.A. and saadati, S. 2015. Effects of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (olea europaea L.) cultivars. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 27: 2. 156-167. (In Persian).

3- Azhdarpour, A. and Asilian, H. 2007. Investigation of three-year suspended particles and carbon monoxide concentration in the air of Tehran. The First Environmental Engineering Conference. Iran, Tehran, 19-20 Feb. 2007: 126-129.

4- Bamniya, B.R., Kapoor, C.S. and Kapoor, K. 2012. Harmful effects of air pollution on physiological activities of *Pongamia pinnata* L. Pierre. Clean Technologies and Environmental Policy. 14: 115-124.

5- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant soil. 39: 205-207.

6- Breusgem, F.V., Vranova, E., Dat, J.F. and Inze, D. 2001. The role of active oxygen species in plant signal transduction. Plant science. 161: 405-414.

7- Dezhban, A., Shirvany, A., Attarod, P., Delshad, M. and Matinizadeh, M. 2016. Cadmium effect on the chlorophyll fluorescence, chlorophyll pigments and proline contents of *Celtis caucasica* and *Robinia pseudoacacia* seedlings leaves. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 28: 4. 746-758. (In Persian).

8- Doganlar, Z.B. and Atmaca, M. 2011. Influence of Airborne Pollution on Cd, Zn, Pb, Cu, and Al Accumulation and Physiological Parameters of Plant Leaves in Antakya (Turkey). Water, Air and Soil Pollution. 214: 509–523.

9- Dubois, M., Gills, K.A., Hamilton, J,K., Roberts, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annual Review of Physical Chemistry. 28: 350-356.

10- Ghorbanli, M., Bakhshi khaniki, G. and Bakand, Z. 2007. Air pollution effects on fresh and dry weight, amount of proline, number of stomata, trichome and epidermal cells in *Nerium oleander* and *Robinia pseudoacacia* in Tehran city. Pajouhesh & Sazandegi. 77: 28-34. (In Persian)

11- Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. Plant Science. 165: 693-699.

12- Jaleel, C.A., Gopi, R., Manivannan, P. and Panneerselvam, R. 2007. Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* L. G. Don, to paclobutrazol treatment under salinity. Acta Physiologiae Plantarum. 29: 205-209.

13- Jalili Marandi, R. 2010. Environmental stresses physiology and resistance mechanisms in horticulture plants. Urmia Academic Center for Education, Culture and Research Press, 636 p. (In Persian)

14- Kumar, S.G., Reddy, A.M. and Sudhakar, C. 2003. NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry *Morus alba* L. with contrasting salt tolerance. Plant Science. 165: 1245-1251.

15- Lichtenthaler, H.k. and Wellburn, A.R. 1985. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical society Transactions. 11: 591-592.

16- Nowak, D.J., Kevin, L.C., Rao, S.T., Sistia, G., Luley, C.J. and Crane, D.E. 2000. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. Atmospheric Environment. 34: 1601–1603.

17- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany. 81: 285-299.

18- Rafiee, Z., Mirghaffari, N. and MatinKhah, S.H. 2014. Biocriteria Demonstrating of Air Pollution Stress on the Plane-Tree (*Platanus orientalis L.*). Iranian Journal of Natural Recources, 67:1.65-78. (In Persian)

19- Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163: 1037-1046.

20- Salama, M.H., Al-Rumaih, M.M. and Al-Dosary, M.A. 2011. Effects of Riyadh cement industry pollution on some physiological and

morphological factors of *Datura innoxia* Mill. Plant. Saudi Journal of Biological Science. 18: 227-237.

21- Seyyednejad, S.M., Yusefi, M., VaeZi, J. and Karamizadeh, F. 2013. Air Pollution Effect on Physiological, Anatomical and Morphological Characteristics of Two Plant Species *Malva Parviflora* and *Hordeum Glaucum* in Steel Factory Area in Ahvaz. Journal of the plant production (Agronomy, Breeding and Horticulture). 35:4.105-116. (In Persian)

22- Shabanian, N. and Cheraghi, CH. 2013. Comparison of phytoremediation of heavy metals by woody species used in urban forestry of Sanandaj city. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 21: 1.154-165. (In Persian)

23- Shariat, A., Assareh, M.H. and Ghamarizare, A. 2010. Effect of cadmium on some physiological characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science. 14:53.145-153. (In Persian)

24- Taji, T., Ohsumi, C., Iuchi, S., Seki, M., Kasuga, M., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 2002. Important roles of drought and cold-inducible genes for galactinal

25- Verma, A. and Singh, S.N. 2006. Biochemical and ultrastructural changes in plant foliage exposed to auto-pollution. Environmental Monitoring and Assessment. 120: 585–602.

synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Plant Journal. 29: 417-426.

26- Wang, J., Zhang, CH., Ke, SH. and Li, W. 2010. Physiological responses and detoxific mechanisms to Pb, Zn, Cu and Cd in young seedlings of Paulownia fortune. Journal of Environmental and Experimental Botany. 22: 12.1916-1922.

27- Yanga, J., McBridea, J., Zhoub, J. and Sunb, Z. 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. Urban Forestry & Urban Greening. 3: 65–78.

Effect of Air Pollution Stress on Proline, Carbohydrates and Photosynthetic Pigments in Box Elder (*Acer negundo*), Case Study: Urmia, Iran.

Omidi N.[1], Seyedi N.[1], Banj Shafiei A.[1] and Abbaspour N.[2]

[1] Forestry Dept., Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. of Iran

[2] Plant Biology Dept., Faculty of Science, Urmia University, Urmia, I.R. of Iran

Abstract

Air pollution could affect growth and quality of the urban landscape trees in addition to residents' health. Planting of tolerant plants have significant influence on improvement of the urban air quality and can reduce harmful environmental pollutants damages. This study aimed to evaluate the effect of air pollution on plant chemical factors in box elder (*Acer negundo*) in Urmia. The study consists of five different gardens with different degrees of air pollution. Almost five even age plants in each garden were samples. Leaf samples from each tree of outer branches and in low, middle and high height of crown sections were collected. Then carbohydrates, proline, the main and secondary pigments contents were measured. Morphological parameters such as diameter at breast height, height and crown diameter in order to define correlation with chemical factors were recorded. Also their relationship with the level of air pollutants was investigated. The results indicated that carbohydrates and proline amounts of box elder species have a significant difference among studied areas and have been increased with air pollution degree. While pigment contents was lower in polluted region compared to control. No significant correlation between plant chemical and morphological parameters on one hand and significant correlation between plant chemical factors and air pollutants indicates that only pollutants have an effect on plant chemistry characteristics and dimension of box elder trees not effective. Based on the results, box elder can be a resistant species in urban green space because of carbohydrates and proline storage in polluted area.

Key words: Air pollution, Carbohydrates, Photosynthetic pigments and Proline