

مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه افرا پلت (*Acer velutinum* Bioss.) تحت تاثیر

## آلاینده‌های هوا در مازندران و سه منطقه از تهران

سیده حمیده طاهری اطاقسرا، طاهره السادات آقاجانزاده\* و ناصر جعفری

ایران، بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲

## چکیده

آلاینده‌های هوا یکی از مشکلات زیست‌محیطی مهم در جهان به شمار می‌آیند. درخت‌ها و درختچه‌ها از مهم‌ترین عوامل در رفع آلاینده‌های هوایی می‌باشند و از طریق مکانیزم‌های مختلفی به اثرات مخرب آن‌ها پاسخ می‌دهند. در مطالعه حاضر پاسخ افرا پلت (*Acer velutinum* Bioss.) به آلاینده‌های مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن از طریق برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی نظیر رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنتوسیانین، پروتئین کل، فنل کل و عناصر معدنی نظیر نیتروژن و فسفر مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین پارامترهای خاکی و پارامترهای اقلیمی اندازه‌گیری شد. گیاه افرا پلت در سه منطقه در تهران شامل تجریش، پارک لاله، پارک شهر و یک منطقه در مازندران شامل چالوس جمع‌آوری گردید. میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی و دما اختلاف معنی‌داری در مناطق مختلف نمونه برداری نشان نداد. بررسی آمارهای موجود نشان دهنده بالاتر بودن میزان آلاینده‌های هوایی در مناطق مختلف تهران در مقایسه با چالوس بود. البته میزان بارندگی و رطوبت نسبی نیز در مناطق مختلف تهران کاهش یافته که می‌تواند از عواقب افزایش آلاینده‌های هوایی باشد. نتایج نشان داد که میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و همچنین غلظت پروتئین، میزان فسفر و محتوای آنتوسیانین در گیاه افرا پلت رشد یافته در مناطق مختلف تهران به طور معنی‌داری بیشتر از پارامترهای فیزیولوژیک یاد شده در گیاه افرا پلت رشد یافته در چالوس بوده است. در واقع پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه افرا حکایت از مقاومت این گیاه در برابر آلاینده‌های هوایی دارد.

## واژه‌های کلیدی:

آلودگی، افرا، پاسخ فیزیولوژیکی، تهران، مازندران

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۳۱۳۰۷۰۵، پست الکترونیکی: t.aghajanzadeh@umz.ac.ir

## مقدمه

تقسیم شده اند (۱۵). ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون، مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ازن پنج آلاینده اصلی هوای شهرهای بزرگ بویژه تهران می‌باشند (۱).

آلودگی هوا هنگامی که از حد آستانه تجاوز کند، می‌تواند موجب تغییر در مورفولوژیکی، آناتومیکی و پارامترهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاهان گردد (۵، ۹۱). اگر چه برخی گیاهان از طریق مکانیسم‌های دفاعی می‌توانند

آلودگی اعم از جامد، مایع و گاز در هوای آزاد بر اساس مقدار و مدت اثر برای انسان‌ها، حیوانات و یا گیاهان مضر می‌باشد و باعث اختلال در محیط زیست می‌گردد. بطورکلی آلودگی‌های محیطی شامل آلودگی‌های مختلف در هوا، خاک و آب می‌باشد (۹). آلاینده‌های اصلی هوایی به دو دسته آلاینده‌های اولیه از قبیل مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، سرب و آلاینده ثانویه مانند ازن

و در سطح شهر های بزرگ به خوبی مشاهده می شوند (۸۵، ۷۶).

مطالعات نشان داد که از سه دهه پیش تاکنون، تهران به عنوان یک شهر صنعتی مطرح و با افزایش میزان آلاینده ها همراه بوده که البته افزایش میزان آلاینده ها، باعث کاهش بارش های محلی، رطوبت نسبی و همچنین افزایش دما در تهران شده است (۷). تغییرات آب و هوایی نیز موجب به هم خوردن مسیر رشد طبیعی گیاهان می گردد (۳۶). وقوع پدیده های کم آبی و افزایش دما بر خصوصیات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکرد گیاهان اثر می گذارد (۲۷). مطالعات نشان داده است که کاهش بارندگی و به دنبال آن تنش خشکی باعث ایجاد ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شده که این مسئله زمینه را برای عوامل و یا تنش های ثانویه مانند هجوم آفات و بیماری های گیاهی فراهم کرده است (۶۸). در پاسخ درختان به تنش کم آبی ناشی از کاهش بارندگی، مقدار بعضی از عناصر مانند ازت و پتاسیم کاهش و مقدار بعضی عناصر دیگر مانند فسفر در جهت کمک به مکانیسم های دفاعی درخت از جمله افزایش تنفس و افزایش کارایی مصرف آب در برخی بافت ها یا اندام ها افزایش یافته است (۶۸). کیایی ضیابری و جعفری (۱۳۹۳) نیز واکنش درختان جنگلی پارک جنگلی لویزان را نسبت به تغییرات اقلیمی و محیطی بررسی کردند و عنوان نمودند که رشد رویشی درختان مختلف نسبت به تغییرات محیطی و اقلیمی از جمله تغییر دما متفاوت است (۵۴). بررسی ارتباط دمای سالانه و مجموع بارندگی ماهانه و سالیانه با پهنای حلقه های سالیانه کاج الدار ( *Afghan Pine*) در پارک جنگلی تهران نشان داد که تغییر دما بیشتر از میزان بارندگی بر گیاه تاثیر گذاشته و باعث افزایش رشد رویشی و پهنای حلقه های سالیانه شده است (۷۹).

درخت افرا از تیره *Aceraceae* دارای حدود ۱۵ گونه در ایران می باشد. ارتفاع این گیاه به بیش از ۲۰ متر می رسد. دارای شاخه های جوان اغلب ارغوانی بی کرک، برگ های

شانس خود را برای بقا افزایش دهند (۱۱). برگ ها نسبت به دیگر قسمت های گیاه مانند ساقه و ریشه به آلاینده های هوا حساس تر می باشند (۵۸). آلاینده های هوایی از طریق روزنه ها وارد برگ های گیاهان می شوند. تحقیقات نشان داده است که کاهش هدایت روزنه ای در برگ های کاج به عنوان یک مکانیزم مقاومتی مهم نسبت به آلاینده ازن محسوب می شود و بدین ترتیب باعث کاهش آسیب به گیاه می شود (۲۶، ۴۴، ۵۲). تعداد، اندازه، تراکم و فراوانی روزنه ها نشان دهنده پاسخ مقاومتی برگ ها به آلودگی می باشند (۳۹). در تحقیقی در گیاهان تحت تنش گاز  $CO_2$ ، افزایش تراکم کرک در برگ ها تا ۵۷ درصد گزارش شده است (۵۰).

به دنبال بررسی اثر آلودگی های هوایی بر پارامترهای فیزیولوژیکی درختان مشخص گردید که فعالیت آنزیم پراکسیداز و غلظت رنگدانه آنتوسیانین در افاقیا در مناطق آلوده آزادی و پارک سرخه حصار بطور معنی داری بیشتر از گیاهان رشد یافته در مناطقی با آلودگی کمتر بوده است (۱۲). در تحقیقی دیگر اثر آلودگی هوا بر اکالپیتوس در دو منطقه آلوده و پاک در جنوب غربی ایران نشان داد که غلظت کربوهیدرات های محلول و میزان پرولین موجود در برگ در منطقه آلوده افزایش یافته و آلودگی هوا سبب آسیب برگ ها، روزنه ها و پیری زودرس گردیده است (۱۶). همچنین تجمع پرولین در برگ گیاهانی که در معرض تنش گاز دی اکسید گوگرد قرار داشته اند، مشاهده شد (۸۸). آلودگی های هوایی باعث تغییر در محتوای عناصر در گیاهان نیز می گردد. مشخص شده است که در بسیاری از گیاهان مقاوم به آلودگی های هوایی میزان عنصر کلسیم و فسفر بطور معنی داری افزایش یافته است (۱۸، ۹۲). اثرات ازن در گیاهان حساس بصورت دخالت در تولید اسمولیت ها و آسیب به برگ آن ها است. از مهم ترین علامت مسمومیت گیاهان به ازن تغییر رنگ عمومی برگ های پیر است که غالباً به خزان زودرس مشهور بوده

بالا و همچنین متفاوت، انجام شد. برگ‌های میانی درخت افرا از ۵ پایه به صورت تصادفی در هر چهار منطقه به طور هم‌زمان در خرداد سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری گردید. برگ‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل گردیده، وزن تر آن‌ها برای تعیین پارامترهایی از قبیل رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b و کاروتنوئیدها)، آنتوسیانین‌ها و پروتئین تعیین شد و تا زمان سنجش به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. همچنین تعدادی از نمونه‌های برگی برای سنجش درصد ماده خشک گیاهی، فسفر و ازت کل درون آن (Memert-Germany) در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. برای سنجش فنل، نمونه‌های برگی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های خاک نیز از پایه هر درخت در مجاورت ریشه گیاه برای سنجش پارامترهای خاک جمع‌آوری گردید.

سنجش کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها: سنجش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtentaler (۱۹۸۷) صورت گرفت (۶۰). برای استخراج رنگدانه‌ها به ازای هر گرم از نمونه برگی از ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد استفاده شد. سپس با همزن برقی (Gastroback, Gmbl-Germany) به مدت ۵۰ ثانیه هم‌وزن شده، با استفاده از کاغذ صافی برای حذف نمونه‌های بزرگ برگی صاف گردیده و در لوله‌های آزمایش قرار داده شدند. جهت جلوگیری از تاثیر نور بر محلول هم‌وزن شده فوق، لوله‌های آزمایش با فویل آلومینیومی پیچانده شدند. بعد از اتمام سانتریفیوژ (Hermle, Z 206 A) برای حذف نمونه‌های ریز برگی به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ g جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectrum, sp-2100) در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر تعیین شد. میزان رنگدانه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه با استفاده از فرمولهای زیر محاسبه گردید.

متنوع با لوب‌های کم و بیش کوتاه، پهنک با قانده‌ای قلبی و میوه‌های فندقه‌بالدار می‌باشد (۱۳). افرا پلت یکی از درختان با اهمیت از نظر اکولوژیکی و اقتصادی در جنگل‌های شمال ایران است که از نظر سازگاری، از جلگه تا ارتفاعات بالا پراکنش دارد. گیاه افرا پلت در ایجاد فضای سبز با نقش سایه‌انداز کاربرد دارد و از طرفی دارای ویژگی‌های زیبا شناختی شکل برگ و میوه است (۸۱). از نظر اکولوژی دارای خصوصیتی چون نورپسندی، و در عین حال قابلیت تحمل سایه در جوانی و ریشه‌دوانی نسبتاً عمیق است (۱۶). درخت افرا پلت با توجه به رشد سریع، بذردهی فراوان، سهولت زادآوری و تاثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد توجه قرار گرفته است (۵۳، ۸۰).

درختان با توجه به طول عمر طولانی خود می‌توانند به عنوان یکی از بهترین شاخص‌ها برای تحقیق بر روی تنش‌های محیطی باشند (۱۰). همچنین تعیین گونه‌های گیاهی مقاوم و یافتن علت مقاومت آن‌ها کمک بزرگی در انتخاب گیاهان برای فضای شهری آلوده می‌باشد. گیاهان مخصوصاً درختان پهن برگ احتمالاً از طریق ارائه مساحت بزرگ برگی توانایی جذب گسترده آلاینده‌های هوایی مختلف را دارند (۴۲). بنابراین جهت بررسی مقاومت درخت افرا پلت و توصیه احتمالی برای کشت این گیاه در مناطقی با آلودگی بالا، در تحقیق حاضر پاسخ‌های فیزیولوژیک برگ درخت افرا پلت رشد یافته در مازندران و سه منطقه از تهران که از نظر میزان آلاینده‌های هوایی متفاوت می‌باشند، مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است.

### مواد و روشها

پس از شناسایی گیاه افرا پلت (*Acer velutinum* Bioss.) بر اساس کلید شناسایی (۱۳) جمع‌آوری نمونه از یک منطقه در مازندران شامل چالوس (۱)، منطقه‌ای با آلودگی نسبتاً پایین و سه منطقه در تهران شامل تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴)، مناطقی با آلودگی هوایی نسبتاً

$$\text{Chl a} = [12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645})] \left( \frac{V}{1000 \times W} \right)$$

$$\text{Chl b} = [12.7 (A_{663}) - 4.78 (A_{645})] \left( \frac{V}{1000 \times W} \right)$$

$$\text{Carotenoids} = [7.60 (A_{663}) - 1.49 (A_{510})] \left( \frac{V}{1000 \times W} \right)$$

V، حجم حلال بر حسب میلی لیتر و W وزن تر نمونه گیاهی را بر حسب میلی گرم نشان می‌دهد.

سنجش آنتوسیانین: سنجش میزان آنتوسیانین با استفاده از روش Masukasu و همکارانش (۲۰۰۳) صورت گرفت (۶۴). برای استخراج آنتوسیانین به ازای هر ۰/۲ گرم از نمونه برگی ۳ میلی لیتر متانول اسیدی (۱٪ HCL V/V) استفاده شده و پس از هم‌وزن شدن کامل با هم‌زن برقی، عصاره حاصل با استفاده از کاغذ صافی صاف شد. سپس با دور ۶۰۰۰ g به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی صاف شده و در لوله‌های شیشه‌ای به مدت یک شب در تاریکی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، سپس جذب آن‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از فرمول زیر استفاده شد که در آن ۳۳۰۰۰ ضریب خاموشی بر حسب سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد. عدد ۱۰۰۰ جهت تبدیل گرم به میلی گرم و عدد ۰/۶ حاصل ضرب وزن نمونه گیاهی (۰/۲ گرم) در حجم حلال (۳ میلی لیتر) بوده

$$\text{Antocyanin} = \left( \frac{A_{550}}{3300} \right) (1000) / 0.6$$

سنجش پروتئین: سنجش میزان پروتئین با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) صورت گرفت (۲۵). جهت سنجش پروتئین مطابق با وزن نمونه به ازای هر گرم نمونه تازه گیاهی، ۱۰ میلی لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار استفاده گردیده، عصاره صاف شده به مدت ۲۵ دقیقه با دور ۱۶۰۰۰ g سانتریفیوژ شد. پس از افزودن ۰/۴ میلی لیتر معرف Bradford با گذشت زمان ۱۰ دقیقه، جذب نمونه با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر تعیین شد (تمامی مراحل آزمایش در سرما انجام شده است).

میزان غلظت پروتئین در بافت‌های گیاهی بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر گیاه با استفاده از منحنی استاندارد آلومین سرم گاوی محاسبه شد.

سنجش فنل: جهت سنجش فنل، استخراج با ۰/۴ گرم از نمونه خشک برگی پودر شده به همراه ۱۰ میلی لیتر ترکیب متانول و آب (به نسبت ۳۰:۷۰) که به مدت ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک با بسامد ۴۰ کیلوهرتز قرار داده شده و به مدت دو ساعت با دور ۹۰ rpm در دستگاه شیکر (Fan azma gostar, Mod 1: TM52A) قرار داده شده بود، انجام شد. سپس به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. ارزیابی فنل کل در عصاره‌های استخراجی با استفاده از روش Singleton و همکارانش (۱۹۹۹) صورت گرفت (۸۴). ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین ۱۰ درصد به عصاره متانولی اضافه شده و پس از گذشت ۶ دقیقه ۲ میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به مخلوط حاصل اضافه شد. سپس جذب نمونه‌ها پس از ۹۰ دقیقه نگهداری در شرایط بدون نور در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار کل فنل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک بر حسب میلی گرم اسید گالیک در یک گرم ماده خشک محاسبه گردید.

سنجش فسفر گیاه: پس از هضم یک گرم از نمونه خشک برگی پودر شده به مدت ۶-۵ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه و اضافه نمودن چند قطره آب مقطر و ۵ میلی لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال، نمونه‌ها تا دمای ۸۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده و در نهایت صاف شدند. پس از افزودن معرف بارتن (آمونیم وانادات، آمونیوم مولبیدات، اسید نیتریک غلیظ و آب مقطر) به عصاره گیاهی، نمونه‌ها به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شدند. سپس جذب محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین گردید. در نهایت غلظت فسفر بر اساس

سنجش ازت خاک: برای سنجش ازت خاک به روش Kjeldahl از یک گرم خاک خشک شده در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد که از الک با قطر منفذ ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شده، استفاده گردید. پس از کامل شدن عمل هضم و افزودن معرف و در نهایت با استفاده از محلول استاندارد درصد ازت خاک تعیین شد (۵۱، ۷۰).

سنجش اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک: نمونه‌های خاکی پودر شده و با استفاده از الک با قطر منفذ دو میلی‌متر صاف شدند. سپس ۸۰ گرم از نمونه خاک در ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و به مدت ۱۲ ساعت بدون حرکت رسوب داده شدند. برای ارزیابی اسیدیته از دستگاه مولتی‌متر پورتابل مدل ۸۶۰۳ استفاده شد. برای ارزیابی هدایت الکتریکی خاک نیز، از محلول آبی جمع شده بر روی نمونه‌های خاکی استفاده و از طریق کاغذ واتمن صاف شد و هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه مولتی‌متر پورتابل تعیین گردید.

تحلیل آماری: اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک و پارامترهای فیزیولوژیکی افرا پلت در ۵ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق نرم‌افزار آماری SPSS و جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office Excel استفاده شد. برای مقایسه میانگین تیمارها، از طرح آماری تصادفی و آزمون واریانس یک سویه و پس از آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد استفاده شده است.

## نتایج

نتایج حاصل از مقایسه میانگین غلظت سه آلاینده مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن طی پنج سال اخیر (۱۳۹۵-۱۳۹۰) نشان داد چالوس (۱) در مقایسه با مناطق مختلف تهران دارای کمترین میزان آلاینده و مناطق تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴) بترتیب با افزایش غلظت هر سه آلاینده همراه بوده است. به طوری

منحنی استاندارد  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  بر حسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (۳۳).

سنجش ازت کل گیاه: سنجش ازت گیاه به روش Kjeldahl انجام گردید. پس از اضافه کردن اسید سولفوریک غلیظ و اسید سالیسیلیک به ۰/۳ گرم نمونه خشک و پودر شده گیاهی، نمونه‌ها از ۷۰-۸۰ درجه تا ۲۸۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده و به محض مشاهده بخارات سفید با افزودن ۵ قطره آب اکسیژنه عمل هضم انجام شد. در نهایت با استفاده از محلول استاندارد میزان ازت در نمونه گیاهی بر حسب میلی‌گرم بر گرم بیان گردید (۵۱، ۷۰).

سنجش فسفر خاک: برای سنجش فسفر خاک به ۲/۵ گرم از خاک پودر و الک شده (الک با قطر منفذ ۲ میلی‌متر)، ۵۰ میلی‌لیتر از محلول بی‌کربنات سدیم (۴۲ گرم در یک لیتر) اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شده و با استفاده از کاغذ واتمن صاف شد. به ۲۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده، ۲۵ میلی‌لیتر معرف آبی (اسید سولفوریک، مولیبدات آمونیوم، تارتارات، آب مقطر و اسید آسکوربیک) افزوده و پس از یک ساعت جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده از نمودار استاندارد  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  بر حسب ppm محاسبه گردید (۶۹).

آلاینده‌های هوایی: داده‌های مربوط به آلاینده‌های هوایی از قبیل مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن با استفاده از گزارشات اداره کنترل کیفیت هوا طی پنج سال اخیر (۱۳۹۵-۱۳۹۰) با توجه به نزدیک‌ترین ایستگاه گزارش به مکان نمونه برداری در مازندران-چالوس و سه منطقه در تهران شامل تجریش، پارک لاله و پارک شهر جمع‌آوری گردید.

نمونه برداری خاک: نمونه‌های خاک از پایه هر درخت در مجاورت ریشه گیاه برای سنجش پارامترهای خاک انجام گردید.

که غلظت مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن در پارک شهر بترتیب ۲/۵، ۴ و ۲ برابر میزان غلظت این سه

جدول ۱- میانگین ۵ سال (۱۳۹۵-۱۳۹۰) غلظت آلاینده‌ها در چهار منطقه مورد بررسی شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). غلظت آلاینده‌های مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن بر حسب ppb می‌باشد. میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در هر ستون بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند.

مناطق جمع‌آوری گیاه و مختصات جغرافیایی آن‌ها	مونواکسیدکربن (ppb)	دی‌اکسید نیتروژن (ppb)	ازن (ppb)
مازندران- چالوس (۱) و ۳۶/۶۷۰۶۷ N و ۵۱/۲۴۰۶۴ E	۱۱۹۹±۱۷۲ c	۱۵±۴ c	۱۱±۲ b
تهران- تجریش (۲) و ۳۵/۷۹۵۲ N و ۵۱/۴۳۲۳ E	۲۲۸±۱۴۰ b	۳۵±۱۴ b	۱۵±۲ b
تهران- پارک لاله (۳) و ۳۵/۷۱۰۱ N و ۵۱/۳۹۳۶ E	۲۰۶±۱۶۴ b	۶۹±۹ a	۱۶±۳ ab
تهران- پارک شهر (۴) و ۳۵/۶۸۳۰ N و ۵۱/۴۱۴۱ E	۲۸۱±۲۰۳ a	۷۷±۱۲ a	۲۲±۳ a

بیشترین میزان را در بین مکان‌های مختلف نمونه برداری شده نشان داد. در منطقه ۳ و ۲ بترتیب میزان فسفر به نصف و یک چهارم کاهش یافته است و در نهایت کمترین میزان فسفر مربوط به چالوس بوده که ۷ برابر کمتر از پارک شهر (۴) بوده است (جدول ۲).

اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). درصد ازت خاک نشان دهنده بیشترین میزان ازت در منطقه چالوس بود. درصد ازت خاک در سه منطقه در تهران بسیار کمتر و تقریباً نصف درصد ازت خاک در چالوس بوده است (جدول ۲). در حالی که میزان فسفر خاک در منطقه ۴

جدول ۲- اسیدیته، هدایت الکتریکی، میزان ازت و فسفر موجود در خاک‌های چهار منطقه نمونه برداری شده. میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در هر ستون بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند.

منطقه	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ازت (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
چالوس (۱)	۷/۶±۰/۱ a	۱/۳۶±۰/۰۱ a	۰/۴۴±۰/۰۱۰ a	۲۳±۰/۳ d
تجریش (۲)	۷/۶±۰/۱ a	۱/۱۹±۰/۰۱ a	۰/۲۱±۰/۰۱۰ b	۴۲±۱/۳ c
پارک لاله (۳)	۷/۶±۰/۰۱ a	۱/۲۸±۰/۰۲ a	۰/۲۲±۰/۰۱۷ b	۸۰±۰/۹ b
پارک شهر (۴)	۷/۸±۰/۱ a	۱/۲۴±۰/۰۱ a	۰/۲۳±۰/۰۱۵ b	۱۷۷±۱/۵ a

رطوبت نسبی در مناطق مختلف تهران بوده است (جدول ۳).

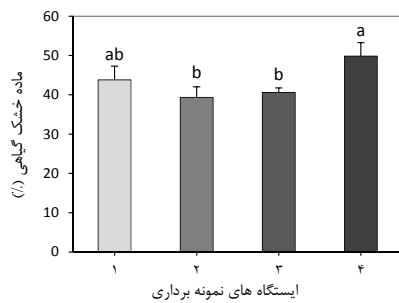
نتایج ارزیابی‌های فیزیولوژیکی صورت گرفته بین نمونه‌های برگ جمع‌آوری شده از مناطق مختلف نشان داد که میزان کلروفیل a و b در برگ افرای رشد یافته در مناطق مختلف تهران بطور معنی‌داری بیشتر از میزان رنگیزه‌های یاد شده در برگ افرای رشد یافته در چالوس با میزان آلودگی کمتر بوده است.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین دما، بارندگی و رطوبت نسبی طی پنج سال اخیر (۱۳۹۵-۱۳۹۰) نشان داد که میانگین دما اختلاف معنی‌داری در بین مناطق مختلف تهران و چالوس نداشته است. در حالی که میزان بارندگی در چالوس بطور بسیار چشمگیری بیشتر از مناطق مختلف تهران بوده است. به همین ترتیب بیشترین درصد رطوبت نسبی مربوط به چالوس بوده که تقریباً دو برابر میزان

جدول ۳- میانگین ۵ سال (۱۳۹۰-۱۳۹۵) میزان دما (درجه سانتیگراد)، بارندگی (میلی متر) و رطوبت نسبی (درصد) در چهار منطقه مورد بررسی شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). میانگین های دارای حروف غیر مشترک در هر ستون بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند.

منطقه	دما (درجه سانتیگراد)	بارندگی (میلی متر)	رطوبت نسبی (درصد)
چالوس (۱)	۱۸/۴ ± ۱/۶ a	۷۵۶ ± ۸۶ a	۷۷ ± ۸ a
تجریش (۲)	۱۵/۶ ± ۱/۹ a	۱۴ ± ۱۱ b	۳۴ ± ۹ b
پارک لاله (۳)	۱۶/۴ ± ۱/۴ a	۳۰ ± ۶ b	۴۰ ± ۵ b
پارک شهر (۴)	۱۷/۹ ± ۰/۷ a	۲۷ ± ۱۶ b	۳۵ ± ۷ b

میانگین میزان درصد ماده خشک برگ افرا پلت تحت تاثیر آلودگی هوا تغییر معنی داری نشان نداده است (نمودار ۲).

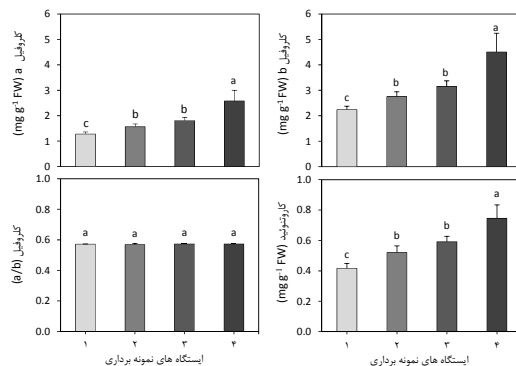


نمودار ۲- اثر آلودگی هوا بر میزان درصد ماده خشک برگ افرا پلت در چهار منطقه نمونه برداری شده شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). میانگین های دارای حروف غیر مشترک بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند.

محتوای ازت کل گیاه با افزایش میزان آلاینده ها بصورت معنی داری در سطح احتمال یک درصد کاهش یافته است، به طوری که در منطقه ۳ و ۴ تقریباً ۴ و ۱۰ درصد کمتر از منطقه ۱ بود (نمودار ۳). این در حالی است که میزان پروتئین در مناطق ۲، ۳ و ۴ در حد تقریبی ۵۰ درصد بیشتر از منطقه ۱ بود (نمودار ۳). میزان فسفر برگ گیاه از منطقه ۱ به منطقه ۴ به صورت معنی داری افزایش یافته است. بطوری که می توان گفت ذخیره این عنصر در گیاه با توجه به افزایش میزان آلاینده ها افزایش معنی داری را از لحاظ آماری نشان داده است (نمودار ۳).

به طوری که میزان کلروفیل a و b در منطقه ۴ بترتیب تقریباً دو و یک و نیم برابر این میزان در منطقه ۱ بوده است. همچنین روند افزایشی در میزان کلروفیل a و b در مناطق ۲ و ۳ نسبت به منطقه ۱ مشاهده شد (نمودار ۱). اگرچه نسبت کلروفیل a به b در برگ افرای رشد یافته در مناطق مختلف نمونه برداری از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشته که حاکی از تغییرات تقریباً یکسان کلروفیل a و کلروفیل b بوده است.

همچنین میزان کاروتنوئیدها در مناطق با آلودگی بالاتر، بیشتر از چالوس با آلودگی هوایی کمتر بوده است بطوری که غلظت این رنگیزه در منطقه ۴ تقریباً به دو برابر منطقه ۱ رسیده بود (نمودار ۱).

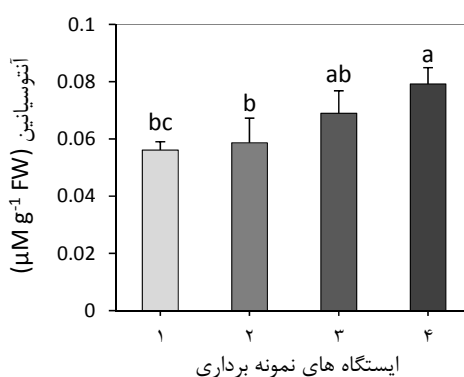
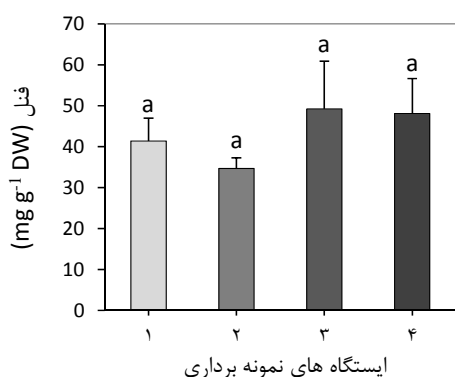
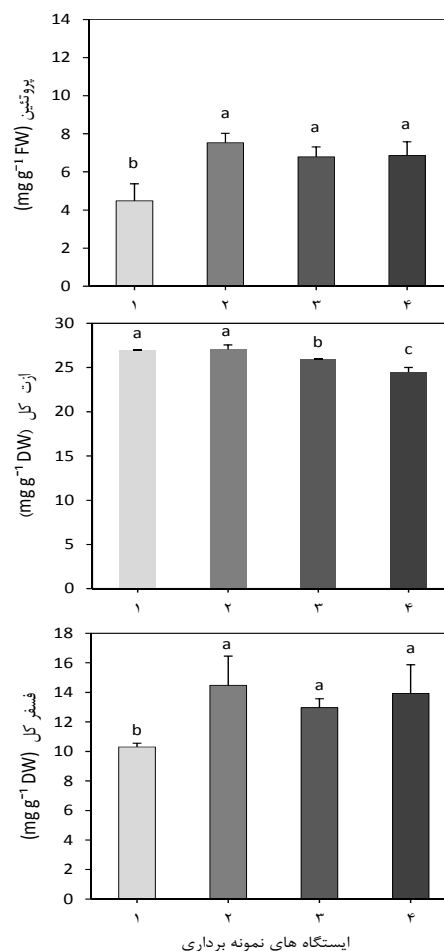


نمودار ۱- اثر آلودگی هوا بر میزان کلروفیل a، b، نسبت کلروفیل a به b و کاروتنوئیدهای برگ افرا پلت در چهار منطقه نمونه برداری شده شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). میانگین های دارای حروف غیر مشترک بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند.

نمودار ۳- اثر آلودگی هوا بر میزان پروتئین، ازت و فسفر کل برگ افرا پلت در چهار منطقه نمونه برداری شده شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند.

اگر چه میزان غلظت فنل کل در برگ‌های گیاهان جمع‌آوری شده از مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری نشان‌دهنده مقدار رنگدانه آنتوسیانین با افزایش میزان آلاینده‌ها، افزایش یافت (نمودار ۴).

نتایج نشان داد که میزان آنتوسیانین در برگ‌های گیاهان جمع‌آوری شده از مناطق ۳ و ۴ به ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد بیشتر از برگ‌های گیاهان منطقه ۱ بود که این اختلاف در منطقه ۴ از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (نمودار ۴).



نمودار ۴- اثر آلودگی هوا بر میزان فنل و آنتوسیانین برگ افرا پلت در چهار منطقه نمونه برداری شده شامل چالوس (۱)، تجریش (۲)، پارک لاله (۳) و پارک شهر (۴). میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک بر اساس آزمون واریانس یک سویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند.

های محیطی ممکن است باعث ایجاد خساراتی در گیاهان گردد، گیاهان دارای پاسخ‌های مقاومتی متفاوتی نسبت به آلودگی‌های محیطی می‌باشند که بر حسب جنس و گونه

## بحث و نتیجه‌گیری

کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی توسط گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است. اگرچه افزایش میزان آلوده‌کننده



اگرچه ممکن است افزایش تراکم رنگدانه های فتوسنتزی در واحد سطح برگ به دلیل کاهش اندازه برگ در مناطقی با آلودگی بالا را بتوان دلیلی برای افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی در نظر گرفت ولی تحقیق حاضر نشان داده است که میزان پروتئین برگ در مناطقی با آلودگی بالاتر، بیشتر بوده است و درصد ماده خشک گیاهی در مناطق مختلف مورد بررسی از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد تغییر معنی داری نداشته و حتی به میزان جزئی در منطقه ۴ با آلودگی هوایی بالا، بیشتر از منطقه مازندران با میزان آلودگی پائین بوده است. این مسئله به این معنی است که افزایش پروتئین و درصد ماده خشک گیاهی به کارایی نسبتاً بالای فتوسنتزی مرتبط می باشند که لازمه آن افزایش محتوای رنگیزه های فتوسنتزی و افزایش جذب پرتوهای نوری می باشد. بنابراین افزایش میزان رنگیزه های فتوسنتزی در مناطقی با آلودگی بالاتر بدلیل کاهش اندازه برگ محتمل به نظر نمی رسد.

کاروتنوئیدها گروه بزرگی از مولکول های ایزوپروپنوییدی هستند که توسط تمامی اندام های فتوسنتزی و بسیاری از اندام های غیر فتوسنتزی ساخته می شوند (۲۱). علاوه بر این که کاروتنوئیدها به عنوان رنگدانه کمکی عمل می کنند، به عنوان آنتی اکسیدانت در حفاظت از بازدارندگی نوری مؤثر هستند و با تأثیر مثبت بر روی سیالیت غشاهای تیلاکوئیدی باعث کاهش نفوذپذیری غشاها در برابر گونه های فعال اکسیژن در تیلاکوئیدها می گردند (۴۳، ۶۶). بنابراین با توجه به نقش حفاظتی کاروتنوئیدها، احتمالاً گیاه با افزایش میزان کاروتنوئیدها صدمات تشیی ناشی از افزایش غلظت ازن، مونواکسید کربن و دی اکسید نیتروژن را کاهش داده است.

آنتوسیانین‌ها از گروه فلاونوئیدها متعلق به ترکیب های فنلی از متابولیت های ثانویه بوده که دارای نقش محافظتی و آنتی اکسیدانی می باشند (۲۸، ۷۳، ۷۴، ۸۷). آنتوسیانین‌ها با از بین بردن گونه های فعال اکسیژن، گیاهان را در برابر

گیاهی متفاوت می باشد. بنابراین شناخت پاسخ های مقاومتی فیزیولوژیکی گیاهان به آلودگی از مسائل مهم زیست- محیطی محسوب می شود (۱۲، ۴۹، ۴۶، ۵۴). درخت افرا بدلیل پهن برگ بودن در جذب آلاینده های هوایی حائز اهمیت می باشد. بهمین ترتیب برگ ها نسبت به دیگر قسمت های گیاه مانند شاخه ها، تنه و ریشه به آلاینده های هوا حساس تر می باشند (۶۱). در بررسی انجام شده در مطالعه حاضر مشخص گردیده است که رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) در برگ افرای رشد یافته در مناطق مختلف مورد مطالعه از لحاظ آماری تفاوت معنی داری داشته و با افزایش میزان آلودگی های هوایی مقدار این رنگیزه ها بیشتر شد. اگر چه در بعضی از گیاهان، آلودگی های محیطی باعث کاهش میزان رنگدانه های فتوسنتزی می گردد و بدنبال آن باعث کاهش کارایی فتوسنتزی می گردد (۳۷)، ولی با توجه به حساسیت گونه های مختلف گیاهی، افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی نیز دیده شده است. همانطوری که افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی در گیاه افرا دیده شده است و این مسئله احتمالاً حکایت از مقاومت این گیاه در مقابل آلودگی های محیطی داشته است. نتایج بررسی های Gratani و همکاران در سال ۲۰۰۰ نشان داد که در مناطق آلوده ضخامت برگ افزایش یافته و به دنبال آن پتانسیل فتوسنتزی این برگ های ضخیم بیشتر شده است (۴۰ و ۶۷) که این مسئله به نوبه خود مستلزم افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل a و b می باشد. بنابراین امکان وجود یک رابطه مستقیم بین افزایش میزان کلروفیل a و b و افزایش میزان آلودگی محتمل می باشد. به همین ترتیب محتوای کلروفیل a و b در گیاه *Callistemon Citrinus* که در منطقه پتروشیمی در جنوب ایران با میزان بالایی از عوامل آلاینده رشد یافته، بیشتر شده است (۸۳). بدنبال افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی، افزایش درصد ماده خشک گیاهی به عنوان محصول فرایند فتوسنتزی در برابر شرایط تنش ناشی از آلودگی قابل انتظار خواهد بود (۵۲).

تر گیاه مربوط به منطقه پارک شهر (۴) با بیشترین میزان آلودگی بوده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، خاک کلیه مناطق نمونه برداری از نظر میزان اسیدیته خنثی و تا حد کمی قلیایی و از نظر هدایت الکتریکی در محدوده غیر شور (دسی زیمنس بر متر  $< 2$  هدایت الکتریکی) قرار داشت (۷۸). به طور کلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی نشان دهنده شرایط فیزیکو-شیمیایی خاک مناطق رشد گیاه می باشند. در خاک های قلیایی با میزان اسیدیته بالاتر از ۷، حضور بالای بی کربنات و همچنین آهک زیاد گزارش شده است. همچنین با قلیایی شدن محیط رشد گیاه قابلیت جذب یون های کلسیم، منیزیم، ازت و گوگرد توسط گیاه افزایش می یابد (۱۴). در حالی که در خاک های اسیدی قابلیت جذب عناصری مانند آهن، روی، منگنز و آلومنیوم توسط گیاه بالا می رود (۴۵، ۶). هدایت الکتریکی نشان دهنده مقدار یون های موجود در محلول خاک و اثرات آن ها بر ساختار خاک و رشد گیاهان از طریق تاثیر بر فشار اسمزی می باشد (۸۶). با توجه به اینکه که میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی در بین مناطق مختلف تهران و چالوس اختلاف معنی داری از نظر آماری نشان نداد، می توان احتمالاً نتیجه گیری کرد که مناطق مختلف مورد مطالعه از شرایط نسبتاً یکسان بافت خاک و همچنین عناصر قابل دسترس ریشه برخوردار بوده اند. اگر چه محتوای نیتروژن و فسفر در نمونه خاکی مناطق مختلف مورد مطالعه با افزایش آلودگی تغییر کرده است. بنابراین تفاوت در محتوای نیتروژن و فسفر در نمونه خاکی ممکن است که به سایر عوامل محیطی مرتبط باشد. آلودگی های هوائی را می توان از عوامل موثر بر تغییر در محتوای نیتروژن و فسفر خاک در نظر گرفت که به تبع آن احتمالاً میزان این عناصر را در نمونه های گیاهی تغییر می دهد. آلاینده های هوائی مانند دی اکسید گوگرد، اکسید های نیتروژن و همچنین ذرات فسفردار ناشی از انواع سوخت ها که به صورت رسوب های خشک و یا محلول وارد خاک شده،

تنش های نوری آسیب رساننده محافظت می کنند (۹۳). در بسیاری موارد آلاینده ها سبب تولید رادیکال های آزاد اکسیژن می شود (۳۰، ۳۲، ۳۴). رادیکال های آزاد اکسیژن باعث ایجاد آسیب به ماکرومولکول های آلی مانند پروتئین ها می شوند (۶۵). آنها همچنین عامل اصلی پراکسیداسیون لیپیدها، غیرفعال کردن آنزیم ها و آسیب های اکسیداتیو به DNA می باشند (۲۳). بنابراین افزایش معنی دار آنتوسیانین در برگ افرا در منطقه پارک شهر با بیشترین مقدار آلاینده را می توان به عنوان یک پاسخ مقاومتی در برابر رادیکال های آزاد اکسیژن در نظر گرفت. در تحقیقی نشان داده شده است که میزان آنتوسیانین در اثر آلودگی هوای تهران در گیاه افاقیا افزایش یافت که در واقع می تواند پاسخ مناسبی به تنش آلودگی هوا باشد (۱۲). نتایج تحقیقی دیگر نیز نشان داد که آلودگی هوای تهران باعث افزایش ۱/۴ برابری آنتوسیانین در گیاه پیراکانتا در منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک گردید (۸).

پروتئین ها به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در مقاومت در برابر عوامل استرس زا نقش دارند (۲۹، ۳۵، ۷۷، ۸۹). تنش ها ممکن است باعث سنتز پروتئین های متعددی در گیاهان مختلف شوند. پروتئین های تجمع یافته در گیاه در شرایط تنشی شدید ممکن است در تنظیم فشار اسمزی ایفای نقش کرده و یا اینکه بعنوان منبعی از نیتروژن عمل کرده که تجدید شدنی است (۲۲). افزایش مقدار پروتئین ها می تواند به دلیل سنتز آنزیم هایی مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و دهیدروآسکوربات ردوکتاز باشد (۳۸) که باعث کاهش اثرات سوء و سمی آلاینده ها بر گیاهان می گردند. افزایش محتوای پروتئین در برگ کاج سیاه در منطقه آلوده، در تطابق با نتایج حاضر می باشد (۹). همچنین مقایسه میزان پروتئین برگ گیاه *Pyraecantha crenulata* در منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک نشان داد که آلودگی هوا با افزایش معنی دار میزان پروتئین برگ همراه بوده است (۸). در تحقیق حاضر نیز بیشترین میزان پروتئین با غلظت ۶ میلی گرم بر گرم وزن

پروتئین در شرایط تنشی برای افزایش مقاومت بیشتر گیاه نسبت به آلاینده‌ها می‌باشد. Imsande در سال ۱۹۹۷ نشان داد که سنتز پروتئین در سویا تحت تاثیر عناصری مانند پتاسیم و فسفر قرار داشته و استفاده بهینه از این عناصر مقدار پروتئین ذخیره‌ای را افزایش داده است (۴۷). در بررسی اثر سطوح فسفر در دو رقم کلزا با افزودن ۲۵ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک، جذب و غلظت فسفر و عملکرد پروتئین، افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داده است (۳). در مطالعه انجام شده بر روی گونه‌های گیاهی *Carpinus betulus* و *Phaseolus vulgaris* افزایش تجمع فسفر در منطقه‌ای با آلودگی بیشتر مشاهده شده است (۲ و ۹۲).

لازم به ذکر است که اختلافات در پارامترهای فیزیولوژیک افرازی رشد یافته در مازندران و تهران تنها به دلیل آلاینده‌ها و عوامل فیزیکی-شیمیایی خاک مناطق مورد مطالعه نمی‌باشد، بلکه گیاهان تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی مانند دما، بارندگی و رطوبت نسبی که به نوبه خود از عواقب آلاینده‌های هوایی می‌باشند، قرار می‌گیرند (۷). نتایج نشان داده است که با کاهش میزان بارندگی و به دنبال آن کاهش میزان رطوبت نسبی در مناطق مختلف تهران با آلودگی هوایی بالاتر نسبت به چالوس، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها)، آنتوسیانین و فسفر کل گیاه بطور معنی‌داری بیشتر شده است (جدول ۳). در پژوهشی در اسپانیا مشخص شد که الگوی تغییرات غلظت عناصر در گونه‌های درختی مختلف و در هر گونه در اندام‌های مختلف تحت تاثیر خشکی ناشی از کاهش بارندگی، متفاوت است. در گونه *Quercus ilex* خشکی، فسفر برگ را افزایش و فسفر تنه و ریشه را کاهش داد که احتمالاً بیانگر حرکت فسفر از چوب و تنه به سمت برگ‌ها بوده است. همچنین تنش کم آبی الگوی غلظت و انباشتگی فسفر را در گونه‌های درختی *Q.ilex* و *Arbutus unedo* بیشتر از *Phillyrea latifolia* تغییر داد (۸۲). آنتوسیانین‌ها نیز که در شرایط

می‌تواند باعث تغییر در میزان عناصر خاک گردد (۲۰)، ۲۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۷۵، ۹۴). سپس تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی قابلیت دسترسی و جذب عناصر توسط گیاهان می‌تواند دستخوش تغییر قرار گیرد.

ازت خاک عموماً توسط فرآیندهای مختلفی مانند تصعید آمونیاک، آبشویی و نترات زدایی از دسترسی گیاهان خارج می‌شود. گیاهان اغلب تمایل به جذب نیتروژن به صورت نترات دارند. یون نترات دارای بار منفی است که جذب ذرات رس خاک که آن‌ها هم دارای بار منفی هستند، نمی‌شود و در نتیجه توسط باران شسته شده و به لایه‌های پایین تر خاک فرو رفته و از دسترس ریشه دور می‌شود (۳۱). در نتیجه در تحقیق حاضر میزان ازت گیاه با کاهش میزان ازت خاک منطقه رویش گیاه کاهش یافته است.

بر خلاف ازت، ترکیبات فسفاتی نسبتاً غیر محلولند و به راحتی از پروفیل خاک شسته نمی‌شوند. هنگامی که ذرات فسفردار در مناطق آلوده به خاک اضافه می‌شود، بلافاصله بعد از انحلال در محلول خاک با یون‌های کلسیم، آهن و آلومینیوم موجود در محلول واکنش داده و بصورت ترکیبات نامحلول در می‌آید و یا جذب سطحی ذرات رس می‌گردد. قابلیت جذب فسفر تابع عوامل بسیاری است. در خاک‌های اسیدی این عنصر به صورت فسفات‌های آهن و آلومینیم و در خاک‌های خنثی و آهکی به صورت فسفات‌های کلسیم رسوب می‌کند (۹۰). ذخایر فسفر از شاخص‌های مهم در ارزیابی اثر گونه‌های درختی بر عملکرد اکوسیستم است (۶۲). فسفر عنصری ضروری برای گیاهان است و در فرایند بیوسنتز پروتئین اهمیت دارد (۶۳). همچنین فسفر دارای نقش‌های متعددی در ساختار سلول و عملکرد کاتالیتیک آنزیم‌های دخیل در متابولیسم می‌باشد (۱۷). با توجه به انباشتگی بالای فسفر در گیاه که به تبع افزایش میزان فسفر خاک در مناطقی با آلودگی جوی بالاتر رخ داده است، احتمالاً می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فسفر ذخیره شده در گیاه عامل تحریک سنتز بیشتر

و سنتز پروتئین با افزایش میزان آلودگی هوایی بطور معنی داری بیشتر شده است. همچنین سنتز بیشتر میزان کاروتنوئیدها و آنتوسیانین، بعنوان عوامل آنتی‌اکسیدانت در مناطقی با میزان آلودگی بیشتر (مناطق مختلف تهران) مشاهده گردیده است. علاوه بر این نتایج نشان داده است بسیاری از پارامترهای فیزیولوژیک مانند محتوای رنگیزه های فتوسنتزی، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین در گیاه افراي رشد یافته در مناطق مختلف تهران که شرایط اقلیمی نسبتاً یکسانی داشته ولی از نظر میزان آلاینده ها متفاوت بوده اند، با افزایش میزان آلاینده ها بیشتر شده اند. در واقع پاسخ های فیزیولوژیک درخت افرا به آلاینده ها نشان دهنده مقاومت این گیاه به تنش ناشی از آلاینده ها بوده است. با توجه به نقش مهم درختان پهن برگ مانند افرا که قابلیت بالایی در جذب آلاینده های اتمسفری به واسطه وسعت نسبتاً بالای اندام هوایی به ویژه برگ ها دارند و آسیب های پایین این گیاه نسبت به آلاینده ها و همچنین سازگاری بالا و رشد این گیاه در مازندران و مناطق مختلف تهران، کاشت این گیاه به عنوان یک درخت زینتی و همچنین در فضا سازی های شهری در مناطقی با آلودگی جوی بالا مانند تهران توصیه می گردد.

تنش کم آبی از ساختارهای حساس مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال رنگیزه های فتوسنتزی مانند کلروفیل ها جلوگیری می کنند (۵۹)، در گیاهان مقاوم به خشکی دارای تجمع بالاتری هستند (۷۱). چنانکه در گیاه دارویی همیشه بهار با نام علمی *Calendula officinalis* L. میزان آنتوسیانین و رنگدانه های فتوسنتزی (کلروفیل a و b و کاروتنوئید) با افزایش شدت تنش کم آبی افزایش پیدا کرد (۴). از جمله نقش های مهم کاروتنوئیدها محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل ها می باشد. گریکسن و هولم (۲۰۰۷) بیان کردند که ارقام دارای محتوی کلروفیل بالاتر، مقاومت بیشتری در شرایط تنش خشکی از خود نشان داده اند (۴۱). همچنین مشخص شده است که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی از جمله شاخص های فیزیولوژیک مناسب جهت مقاومت به تنش خشکی هستند (۷۲).

#### نتیجه گیری کلی

مقایسه پاسخ های فیزیولوژیک برگ درخت افراي رشد یافته در مناطق مختلف تهران با آلودگی هوایی بالا نسبت به افراي رشد یافته در چالوس با آلودگی نسبتاً پایین نشان داد که محتوای رنگدانه های فتوسنتزی مانند کلروفیل a, b

#### منابع

- ۱- اجتهادی، م. ۱۳۸۶. بررسی آلودگی هوای شهری ناشی از سامانه حمل و نقل با تاکید بر ذرات معلق و ارائه راهکارهای مدیریتی (مطالعه موردی تهران)، دهمین همایش ملی بهداشت محیط همدان، ۸-۱.
- ۲- امینی، ف.، حسین آبادی، س.، و عسکری، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر آلاینده های اتمسفری بر پرولین، پروتئین و برخی از عناصر گیاهان یونجه و لوبیا (مطالعه موردی: پالایشگاه شازند اراک)، فرایند و کارکرد گیاهی، شماره ۱۱، ۴: ۸۵-۷۹.
- ۳- توجیه، م.، کریمیان، ن.ع.، رونقی، ع.م.، یثربی، ج.، حمیدی، ر.، و علما، و. ۱۳۹۳. اثر سطوح سفر و بور بر عملکرد، اجزای
- عملکرد و کیفیت دانه دو رقم کلزا در شرایط کشت گلخانه ای، علوم و فنون کشت های گلخانه ای، ۶، ۲۴: ۱۱۱-۹۹.
- ۴- جعفرزاده، ل.، امید، ح. و بستانی، ع.الف. ۱۳۹۱. بررسی تنش خشکی و کود زیستی نیتروژنه بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه بهار *Calendula officinalis* L.، مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۷، ۲: ۱۹۳-۱۸۰.
- ۵- حاج رسولی ها، ش.، امینی، ه.، هودجی، م.، و نجفی، پ. ۱۳۸۵. زیست ردیابی آلودگی هوا و خاک در منطقه اصفهان، پژوهش در علوم کشاورزی، ۲: ۵۴-۳۹.

- ۶- خادم، ا.، گلچین، ا.، مشهدی جعفرلو، ا.، زارع، ا.، و ناصری، ا. ۱۳۹۴. تأثیر اسیدی شدن شدید خاک بر قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و رشد ذرت (*Zea mays* L.). پژوهش و سازندگی - نشریه زراعت، ۱۰۷: ۷-۱.
- ۷- صادقی حسینی، ع. و راحلی سلیمی، ج. ۱۳۸۱. تأثیر توسعه شهر نشینی بر روی فرایند بارش در تهران. مجله فیزیک زمین و فضا، ۲۸: ۲، ۱۱-۵.
- ۸- ظفری، ط.، بی خوف تربتی، م.، مراقبی، ف.، و رضوی زاده، ر. ۱۳۹۵. بررسی اثرات آلودگی هوا بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه *Pyracantha crenulata* واریته *kansuensis* در دو منطقه پاک و آلوده تهران. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۱، ۴۲: ۸۴-۷۵.
- ۹- علومی، ح.، رضا نژاد، ف.، و کرامت، ب. ۱۳۹۴. مقایسه ویژگی‌های بیوشیمیایی دو گونه *Pinus nigra* و *Pinus eldarica* در خاک‌های آلوده اطراف مجتمع مس سرچشمه کرمان و خاک‌های کمتر آلوده منطقه کنتونیه، نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۰، ۴۰: ۱۲-۱.
- ۱۰- علی احمدی کروری، س. ۱۳۷۸. مجموعه مقالات بررسی نحوه پاسخ آنزیم‌ها در درختان جنگلی به تغییرات عوامل زیست محیطی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۱۱- قربانلی، م.، بخشی خانیکی، غ.، و باکند، ز. ۱۳۸۶. بررسی اثر آلاینده‌های هوای شهر تهران بر وزن تر و خشک، غلظت پروتئین، کربوهیدرات‌های محلول، تعداد روزنه، کرک و سلول‌های اپیدرمی در دو گیاه خرزهره *Nerium oleander* L. و آفاقا *Robinia pseudoacacia* L. پژوهش و سازندگی، زراعت و باغبانی، ۷۷: ۳۴-۲۸.
- ۱۲- مداح، س. م.، مراقبی، ف.، فرهنگیان کاشانی، س.، و افدیده، ف. ۱۳۹۴. بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و علل مقاومت درخت آفاقا (*Robinia pseudoacacia* L.) تحت تأثیر آلودگی هوای شهر تهران. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۰، ۳۸: ۴۸-۵۶.
- ۱۳- مظفریان، و. ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران، انتشارات فرهنگ معاصر، چاپ اول، تهران، ۱۲-۲ و ۹۶۴-۹۵۲.
- ۱۴- ملکوتی، م.، و نفیسی، م. ۱۳۷۳. مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. جلد دوم.
- ۱۵- میرزایی، م.، و بابالو، ف. ۱۳۸۷. بررسی ساختار تشریحی عشقه (*Hedera helix* L.) و تأثیر آلودگی هوا بر آن. فصل‌نامه زیست‌شناسی تکمیلی، ۱: ۴۷-۴۲.
- 16- Agbaire, P.O and E. Esiefarienrhe. 2009. Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun gasplant in Delta State, Nigeria. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 13(1): 11-14.
- 17- Akhtar, M.S., Y. Oki and T. Adachi. 2009. Mobilization and Acquisition of Sparingly Soluble P-Sources by *Brassica* Cultivars under P-Starved Environment I. Differential Growth Response, P-Efficiency Characteristics and P-Remobilization. Journal of integrative plant biology, 51(11): 1008-1023.
- 18- Akram, A and M. El-yemeni. 2010. Atmospheric air pollution effects on some exhibited plants at aljubail industrial city, Ksa. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4:1251-1263.
- 19- Amani, M., G.h. Ekhlesi, M. Esmailnia, M. Hasani, S.h. Yazdani and H. Beheshti. 1996. Preliminary results of qualitative, quantitative and silvicultural investigations in young plantation of Maple (*Acer velutinum* Boiss.). Research and Reconstruction, 31: 6-21.
- 20- Anderson, K.A. and J.A Downing. 2006. Dry and wet atmospheric deposition of nitrogen, phosphorus and silicon in an agricultural region. Water, Air, and Soil Pollution, 176: 351-374.
- 21- Andrew, J.S., H. Moreau, M. Kuntz, G. Pagny, C. Lin, S. Tanksley and J. McCarthy. 2008. An investigation of carotenoid biosynthesis in *Coffea canephora* and *Coffea arabica*. Plant Physiology, 165:1087-1106.
- 22- Ashraf, M.P.J.C and P.J.C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant science, 166(1): 3-16.
- 23- Athar, H.R., A. Khan and M. Ashraf. 2008. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. Environmental and Experimental Botany, 63: 224-231.
- 24- Bouwman, A.F., D.P. Van Vuuren, R.G. Derwent and M. Posch. 2002. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. Water Air Soil Pollution, 141: 349-382.

- 25- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- 26- Chappelka, A.H and B.I. Chevone. 1992. Tree responses to ozone. In surface level ozone exposures and their effects on vegetation, ed. A.S Lefohn, Chelsea, MI: Lewis. 271-324 pp.
- 27- Chaudhuri, U.N., and E.T. Kanemasu. 1982. Effect of water gradient on sorghum growth, water relations and yield. *Canadian Journal of Plant Science*, 62(3): 599-607.
- 28- Dai, L.P., Z.T. Xiong, Y. Huang and M.J. Li. 2006. Cadmium-induced changes in pigments, total phenolics, and phenylalanine ammonia-lyase activity in fronds of *Azolla imbricate*. *Environmental Toxicology*, 21(5): 505-512.
- 29- Demirevska-Kepova, K., L. Simova-Stoilova, Z. Stoyanova, R. Hölzer and U. Feller. 2004. Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, 52 (3):253-266.
- 30- Doke, N. 1997. The oxidative burst: roles in signal transduction and plant stress. *Oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses*.
- 31- Ying-Hua, D., Z. Ya-Li, S. Qi-Rong and W. Song-Wei. 2006. Nitrate Effect on Rice Growth and Nitrogen Absorption and Assimilation at Different Growth. *Pedosphere*, 16(6): 707-717.
- 32- Elstner, E.F., H. Schempp, G. Preibisch, S. Hippeli and W. Oßwald. 1994. Biological sources of free radicals. *Free Radicals in the Environment, Medicine and Toxicology*, 13-45.
- 33- Emami, A. 1996. *Methods of Plant Analysis*, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. 1: 982.
- 34- Foyer, C.H., M. Lelandais and K.J. Kunert. 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 92(4): 696-717.
- 35- Gao, S., C. Ouyang, S. Wang, Y. Xu, L. Tang and F. Chen. 2008. Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedlings. *Plant Soil Environment*, 54(9): 374-381.
- 36- Garrett, K.A., S.P. Dendy, E.E. Frank, M.N. Rouse and S.E. Travers. 2006. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annual Review Phytopathology*, 44: 489-509.
- 37- Govindaraju, M., R.S. Ganeshkumar, P. Suganthi, V.R. Muthukumaran and P. Visvanathan. 2010. Impact assessment of air pollution stress on plant species through biochemical estimations. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 4: 784-787.
- 38- Gossett, D.R., S.W. Banks and M.C. Lucas. 1996. Antioxidant response to NaCl stress in a control and a NaCl tolerance cotton cell line grown in the presence of paraquat. *Plant Physiology*. 12: 803-809.
- 39- Gostin, I.N. 2009. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabacea species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2): 57-63.
- 40- Gratani, L., M.A. Crescente and M. Petruzzi. 2000. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* in polluted urban areas (Rome). *Environmental pollution*, 110(1): 19-28.
- 41- Gregersen, P.L and P.B. Holm. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Plant Biotechnology*, 5: 192-206.
- 42- Grote, R., R. Samson, R. Alonso, J.H. Amorim, P. Cariñanos, G. Churkina and E. Paoletti. 2016. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential, the ecological society of America, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10.1002/fee.1426.1.
- 43- Havaux, M. 1998. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. *Trends in Plant Science*, 3: 147-151.
- 44- Heath, R.L. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Annual review of plant physiology*, 31: 395-431.
- 45- Hollier, C and M. R. Rutherglen. 2005. Acid soils. *Agricultural Notes*, AG 1182.
- 46- Honour, S.L., J.N.B. Bell, T.W. Ashenden, J.N. Cape and S.A. Power. 2009. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. *Environmental pollution*, 157(4): 1279-1286.
- 47- Imsande, J. 1997. Nitrogen deficiency during soybean pod fill and increase plant biomass by rapid N<sub>2</sub> fixation. *European Journal of Agronomy*, 8: 1-11.

- 48- Jeyaramraja, P.R., S.N. Meenakshi, R.S. Kumar, S.D. Joshi and B. Ramasubramanian. 2005. Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camelia sinensis*) plants. *Plant Physiology*, 162: 413-419
- 49- Kardel, F., K. Wuyts, M. Babanezhad, T. Wuytack, S. Adriaenssens and R. Samson. 2012. Tree leaf wettability as passive bio-indicator of urban habitat quality. *Environmental and Experimental Botany*, 75: 277-285.
- 50- Karowe D.N and C.H Grubb. 2011. Elevated CO<sub>2</sub> increases constitutive phenolics and Trichomes, but decreases inducibility of phenolics in *Brassica rapa* (Brassicaceae). *Journal of Chemical Ecology*, 37(12):1332–1340.
- 51- Kjeldahl, J. 1883. New method for the determination of nitrogen in organic substances. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22 (1) : 366-383.
- 52- Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20(4): 289-296.
- 53- Khorankeh, S., 2004. Determination of diameter growth for maple (*Acer velutinum* Boiss.) in Mazandaran east forest-Neka Zalemroud section 2. M.Sc. Thesis, Natural Resources Faculty of Mazandaran University, 125.
- 54- Kiaee, M. and M. Jafari. 2014. Investigation and consideration of forest tree reaction to climate and environmental changes (Case study: Lavizan forest park). *Journal of Plant Researches (Iranian journal of biology)*. 27: 130-141. (In Persian)
- 55- King, H.B., M.K. Wang, S.Y. Zhuang, J.L. Hwong, C.P. Liu and M.J. Kang. 2006. Sorption of sulfate and retention of cations in forest soils of Lien-Hua-Chi watershed in central Taiwan. *Geoderma*, 13: 143-153.
- 56- Kita, I., T. Sato, Y. Kase and P. Mitropoulos. 2004. Neutral rains at Athens, Greece: a natural safeguard against acidification of rains. *Science of the Total Environment*, 327: 285-294.
- 57- Kumar, A.J., W.A. Gough, J.D. Karagatzides, K.A. Bolton and L.J.S. Tsuji. 2001. Testing the validity of a critical sulphur and nitrogen load model in Southern Ont., Canada, using soil chemistry data from MARYP. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69: 221-230.
- 58- Laghari, S.K and M. Asrar Zaidi. 2013. Effect of air pollution on the leaf morphology of common plant species of Quetta city. *Pakistan Journal of Botany*, 45: 447-454.
- 59- Leng, P., H. Itamura, H. Yamamura, H. and X.M. Deng. 2000. Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae* 83: 43-50.
- 60- Lichtenthaler, H. K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*, 148: 350-382.
- 61- Ling, T., R. Jun and Y. Fangke. 2011. Effect of cadmium supply levels to cadmium accumulation by *Salix*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8 (3): 493-500.
- 62- Lovett, G. M., K.C. Weathers and M.A. Arthur. 2002. Control of Nitrogen Loss from Forested Watersheds by Soil Carbon: Nitrogen Ratio and Tree Species Composition. *Ecosystems*, 5(7): 0712-0718.
- 63- Mankovska, B., B. Godzik, O. Badea and Y. Shparyk. 2004. Chemical and morphological characteristics of key tree species of the Carpathian Mountains. *Environmental Pollution*, 130: 41-54.
- 64- Masukasu, H., O. Karin and H. Kyoto. 2003. Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. *Plant Science*, 164:2:259-265.
- 65- Mecord, J.M. 2000. The evolution of free radicals and oxidative stress. *American Journal of Medicine*, 108: 652-659.
- 66- Misra, A.N., D. Latowski and K. Strzalka. 2006. The xanthophyll cycle activity in kidney bean and cabbage leaves under salinity stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(1): 102-109.
- 67- Niinemets, Ü. 1999. Research review. Components of leaf dry mass per area–thickness and density–alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *The New Phytologist*, 144(1): 35-47.
- 68- Niinemets, U. 2010. Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: Past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management*, 260(10): 1623-1639.
- 69- Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture; Washington.

- 70- Page, A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part: 2, Chemical Methods. 2nd Edition. Soil Science Society of America, 1188.
- 71- Paine, T.D., C.C. Hanlon, D.R. Pittenger, D.M. Ferrin, and M.K. Malinoski. 1992. Consequences of water and nitrogen management on growth and aesthetic quality of drought-tolerant woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture*, 10:94-99.
- 72- Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc, 697 pp.
- 73- Posmyk, M.M., A. Dobranowska and K.M. Janas. 2005. Role of anthocyanins in red cabbage seedlings response to copper stress. *Ecological Chemistry and Engineering* 12(10): 1107-1112.
- 74- Posmyk, M.M., R. Kontek and K.M. Janas. 2007. Effect of anthocyanin-rich red cabbage extract on cytological injury induced by copper stress in plant and animal tissues. *Environmental Protection of Natural Sources*, 33: 50-56.
- 75- Prihatin, J., A.D. Corebima and A. Abdul Gofur. 2015. The Effect of exposure of mulberry to acid rain on the defects cocoon of *Bombyx mori* L. *Procedia Environmental Sciences* 23: 186-191.
- 76- Reich, P.B. 1987. Quantifying plant response to ozone: A unifying theory. *Tree Physiology*, 3:63-91.
- 77- Rezanejad, F. 2009. Air pollution effects on structure, proteins and flavonoids in pollen grains of *Thuja orientalis* L. (Cupressaceae). *Grana*, 48(3): 205-213.
- 78- Richards, L.A. (Ed.) 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkaline soil, USDA Handbook No. 60 Washington, DC.
- 79- Safdari, V.R., D. Parsapazhouh and A.H. Hemasi. 2005. A Dendroclimatological evaluation of *Pinus eldarica* at three sites in Tehran. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(2): 217-232.
- 80- Sagheb-Talebi, Kh. 2000. Site demands and Lifestyle of maple (*Acer velutinum* Boiss.) in Kheiroudkenar forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 212: 79-150.
- 81- Salehi, M and R. Fotouhi Ghazvini. 2016. Effect of Acid Rain on Morphological and Physiological Characteristics of Persian Maple (*Acer velutinum* Boiss). *Journal of Plant Process and Function*, 5(15): 23-32.
- 82- Sardans, J., and J. Penuelas. 2007. Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest. *Functional Ecology*, 21: 191-201.
- 83- Seyyednejad, S.M., M. Niknejad and M. Yusefi. 2009. The Effect of Air Pollution on Some Morphological and Biochemical Factors of *Callistemon citrinus* in Petrochemical Zone in South of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8: 562-565.
- 84- Singleton, V.L., R. Orthofer and R.M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299: 152-178.
- 85- Sivasakthivel, T and K.K. Siva Kumar Reddy. 2010. Ozone Layer Depletion and Its Effects, *Journal of Environmental Science and Development*, 2(1): 2010-2064.
- 86- Suddutha, K. A., N.R. Kitchena., W.J. Wieboldb., W.D. Batchelorc., G.A. Bollerod., D.G. Bullockd., D.E. Claye., H.L. Palmb., F.J. Piercef., R.T. Schulerg and K.D. Thelenh. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 263-283.
- 87- Skorzynska-Polit, E., M. Drazkiewicz, D. Wianowska, W. Maksymiec, A.L. Dawidowicz and A. Tukiendorf. 2004. The influence of heavy metal stress on the level of some flavonols in the primary leaves of *Phaseolus coccineus*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 26(3): 247-253.
- 88- Tankha, K and R.K Gupta. 1992. Effect of water deficit and SO<sub>2</sub> on total soluble protein, nitrate reductase activity and free proline content in sun flower leaf. *Biologia Plantarum*, 34: 305-310.
- 89- Timperio, A. M., M.G. Egidì and L. Zolla. 2008. Proteomics applied on plant abiotic stresses: role of heat shock proteins (HSP). *Journal of proteomics*, 71(4): 391-411.
- 90- Tisdale, S.L., W.L. Nelson James, D. Beaton and J.L. Havlin. 2002. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed., Prentice Hall of India Private Ltd., New Delhi.
- 91- Thomas, M. D. 1958. Air pollution with relation to agronomic crops: I. General status of research on the effects of air pollution on plants. *Agronomy Journal*, 50(9): 545-550.
- 92- Tzvetkova, N and D. Kolarov. 1996. Effect of air pollution on carbohydrate and nutrient



- concentration in some deciduous tree species. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 22: 53-63.
- 93- Wang, S. Y., L. Bowman and M. Ding. 2008. Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. *Food Chemistry*, 107(3): 1261-1269.
- 94- Zhang, J. E., Y. Ouyang and D.J. Ling. 2007. Impact of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. *Chemosphere*, 67: 2131-2137.

## Comparison of physiological responses of *Acer Velutinum* Bioss. to air pollutants in Mazandaran and three areas of Tehran

Taheri Otaghsara S.H., Aghajanzadeh T.A.\* and Jafari N.

Dept. of Biology, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar, I.R. of Iran

### Abstract

Air pollutants are one of the most important environmental problems in the world. Trees and shrubs are the most important agents to reduce air pollutants, which through various mechanisms can respond to the destructive effects of air pollutants. In current study, the resistance of *Acer velutinum* Bioss. to air pollutants like carbon monoxide, nitrogen dioxide and ozone contaminants through some physiological parameters such as photosynthetic pigment, anthocyanin, total protein, total phenol and mineral elements such as nitrogen and phosphorus were evaluated. Soil parameters and climate factors were also measured. *A. velutinum* was collected in three areas in Tehran including Tajrish, Laleh Park, Shahr Park and one area in Mazandaran including Chaloos. Acidity, electrical conductivity and temperature has been hardly changed in any areas. The results indicated that the content of air pollutants in in three areas of Tehran was higher than Chaloos. Likewise, the rainfall and relative humidity have also decreased in different parts of Tehran which can be considered as the consequences of increasing air pollutants. The results showed that the content of chlorophyll a, b and carotenoids, protein, phosphorus and anthocyanin in plant grown in three areas of Tehran with higher content of air pollutants were higher than those in plant grown in Chaloos. In deed, physiological responses of *Acer* indicates its resistance to above-mentioned air pollutants.

**Key words:** Acer, Mazandaran, Physiological response, Pollution, Tehran