بررسی میزان آلودگی به فلزات سنگین و مقایسه آناتومیکی برگ گیاه چنار (*Platanus orientalis*) در دو منطقه تهران

اسماعیل خسروپور[۱]، پدرام عطارد[۱*]، انوشیروان شیروانی[۱]، ویلما بایرام زاده[۲] و لیلا حکیمی[۳]

[۱] ایران، کرج، دانشگاه تهران، دانشکدهٔ منابع طبیعی، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل

[۲] ایران، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، گروه صنایع چوب و کاغذ

[۳] ایران، ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، گروه باغبانی

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۱

چکیده

آلودگی‌های محیط شهری بر گیاهان تأثیر نامطلوبی داشته و گیاه برای مقابله با چنین تنش‌هایی از نظر آناتومیکی تغییراتی را در برگ‌های خود به وجود می‌آورند. مطالعهٔ حاضر به منظور اندازه‌گیری تجمع عناصر کادمیم، سرب، روی، مس، نیکل و کروم در برگ درختان چنار و پاسخ آناتومیکی این گیاه به آلودگی موجود در شهر تهران و مقایسه آن با پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم-آلوده و شاهد) انجام شد. برای این منظور، ۲۰ اصله درخت سالم و متقارن انتخاب و ۳ برگ از سمت غربی تاج هر درخت (۱۰ اصله در منطقهٔ آلوده و ۱۰ اصله در منطقهٔ کم‌آلوده) نمونه برداری شد. برگ‌ها در اواخر تابستان ۱۳۹۴ جهت آنالیز عناصر سنگین (کادمیم، سرب، نیکل، کروم، روی و مس) و پارامترهای آناتومیکی (تراکم، طول و عرض روزنه، ضخامت لایه‌های کوتیکولی و اپیدرمی و ضخامت سلول‌های پارانشیمی) جمع‌آوری شدند. نتایج نشان داد که غلظت کادمیم، سرب، نیکل و کروم در منطقهٔ آلودهٔ بیشتر از پارک جنگلی چیتگر بود، ولی عنصر روی و مس تفاوت معنی‌داری را بین دو منطقه نشان نداد. تراکم روزنه و ضخامت اپیدرم بالایی و پایینی در منطقهٔ شهری به‌طور معنی‌داری کمتر از پارک جنگلی چیتگر بود ($P\leq0.05$). همچنین طول و عرض روزنه در منطقهٔ شهری به‌طور معنی‌داری کمتر از پارک جنگلی چیتگر بود. تغییرات مشاهده شده استراتژی‌های آناتومیکی چنار برای مقابله با آلودگی محیط شهری در تهران است. چنار منبع مناسبی به منظور ذخیره آلاینده‌هاست و برای مقابله با این مقدار آلاینده، پارامترهای آناتومیکی برگ را در جهت تحمل تنش به طور معنی‌داری تغییر می‌دهد. پس می‌توان گفت که چنار با تغییرات مناسب آناتومیکی به مقدار زیاد تجمع آلاینده‌ها واکنش مناسبی جهت تعدیل تنش آلودگی انجام می‌دهد.

واژه های کلیدی: آلودگی شهری، آناتومی، عناصر سنگین، پارک جنگلی چیتگر.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۴۵۵ ، پست الکترونیکی: attarod@ut.ac.ir

مقدمه

آلودگی‌های محیط شهری یکی از معضلات اساسی زیست محیطی امروزه است (۴۲). منبع تولید آلاینده‌های محیط شهری از جمله فلزات سنگین از منابع مختلف ناشی از فعالیت های انسانی از جمله صنعت و سوختن سوخت-های فسیلی در ماشین‌هاست. در میان این منابع وسایل نقلیه منبع اصلی آلودگی هوا در محیط شهری‌اند که سبب تولید آلاینده‌های مهمی از عناصر سنگین می‌شوند (۱۰). ذرات آزاد شده به‌طور مستقیم در اتمسفر در اندازه حدود یک میکرومتر پراکنده می‌شوند (۹). هوای محیط شهری شامل فلزات سنگین سمی مانند کروم، نیکل، سرب، کادمیم، آهن است که هشداری برای سلامت موجودات زنده به‌شمار می‌رود (۱۴). بیماری‌های قلبی و سرطان‌های

مختلف ارتباط مستقیمی با آلودگی هوا دارند و زندگی انسان را به شدت تهدید می‌کند (۴۴).

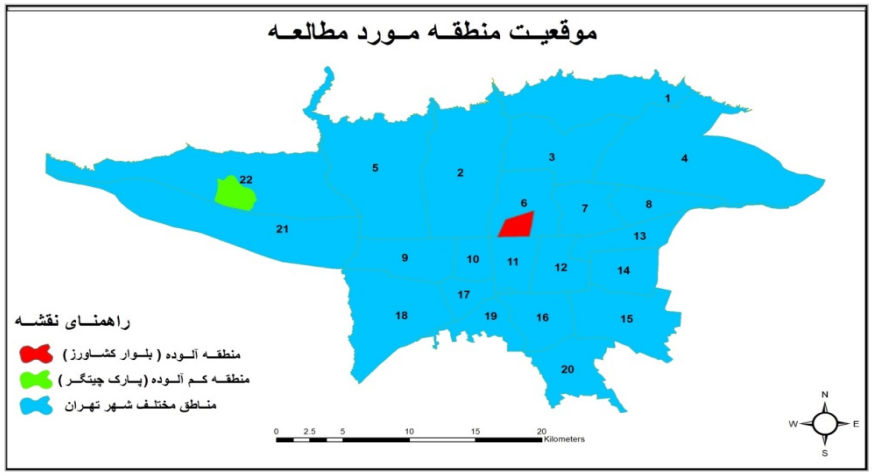
گیاهان به ویژه درختان به‌طور مؤثری به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی محیط شهری استفاده می‌شوند (۳۰،۱۷ و ۳۵). آنالیز عنصری نمونه‌های گیاهی راهی مؤثر و آسان در تحقیقات اکولوژیکی محیط شهری است (۶). استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان نمونه‌بردار ساکن در شاخص زیستی با دقت مکانی و زمانی زیاد به‌دلیل در دسترس بودن گیاه و هزینه‌های پایین نمونه برداری اهمیت فراوانی دارد (۴۲). درختان به عنوان عامل مهم در کاهش آلودگی هوا در نقاط مختلف استفاده شده است (۲۶، ۳۱ و ۴۳). آلاینده‌ها هم از خاک، هم از هوا وارد گیاه می‌شوند ولی مقصد اصلی آلاینده‌های هوا در گیاهان اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ است (۳۸). اگرچه اغلب، تشخیص منبع آلاینده مشکل است، درختان می‌توانند به‌عنوان پایش زیستی مؤثر به منظور تشخیص غلظت‌های پایین آلاینده‌ها از خاک و هوا استفاده شوند (۳۴). درخت به‌عنوان موجود زنده با طول عمر طولانی و عنصر اصلی فضای سبز شهری می‌تواند مقدار و شدت تجمع آلاینده‌ها را نشان دهد (۳۴).

در میان اندام‌های مختلف درخت، برگ نقش مهمی در فعالیت‌های سوخت‌وساز دارد که به‌طور مستقیم تحت تأثیر آلاینده‌های محیطی است (۲۸). برگ درختان نقش مهمی در کاهش آلاینده‌های شهری دارد. برای مثال تجمع معنی‌دار نیکل در برگ درختان چنار در خیابان‌های شهر رشت گزارش شده است (۱). رفیعی و همکاران (۳) نشان دادند که شاخص سطح ویژه برگ معیار مناسبی از تماس گیاه چنار با آلاینده های مختلف هوا خصوصا در فصل بهار است. علاوه بر آن، نسبت مساحت تاج بهتر از شفافیت تاج به آلودگی پاسخ داد و می تواند معیار مناسبی از تاثیر آلاینده دی اکسید نیتروژن بر درخت چنار باشد (۳). همچنین ممکن است محیط آلوده باعث تغییر فرم برگ درختان شود. وقتی آلاینده از طریق روزنه‌ها وارد محیط داخلی برگ می‌شود، از نظر آناتومیکی برگ ممکن است تغییراتی داشته باشد (۱۶). برای مثال نوئل ضخامت لایه‌های کوتیکولی و اپیدرمی را جهت مقابله با تنش آلودگی افزایش داده است (۳۸). همچنین گزارش شده است که ضخامت اپیدرم فوقانی و پارانشیم اسفنجی در زبان گنجشک (*Fraxinus americana*) در منطقهٔ آلوده کمتر از منطقهٔ شاهد است ولی ضخامت پارانشیم نردبانی و کوتیکول فوقانی در منطقهٔ آلوده بیشتر از منطقهٔ شاهد است (۱۶). تغییر در تعداد روزنه‌های چنار در منطقه آلوده شهری نسبت به منطقه شاهد گزارش شده است (۳۷).

چنار (*Platanus orientalis*) گونه مهم و اصلی فضای سبز شهر تهران است. اینکه این گونه چقدر می‌تواند خود را از نظر آناتومیکی با محیط آلوده سازگار کند، شاخصی مهم جهت کاشت در محیط‌های آلوده است. پارامترهای آناتومیکی از جمله تعداد روزنه در واحد سطح، اندازه روزنه و ضخامت اپیدرم و کوتیکول، شاخص‌های مهمی به‌منظور ارزیابی گونه ها از نظر مقاومت و سازگاری در مقابل آلودگی است. سوال اصلی این تحقیق این است که آیا تغییرات در پارامترهای آناتومیکی درختان چنار ناشی از آلودگی‌های شهری با غلظت عناصر موجود، معنی‌دار و چشمگیراست؟ بنابراین تحقیق حاضر به‌منظور اندازه‌گیری تجمع عناصر سنگین در برگ‌های چنار و پاسخ آناتومیکی آن به آلودگی موجود در دو منطقه شهر تهران انجام شد.

مواد و روشها

منطقهٔ تحقیق: تحقیق حاضر در دو منطقهٔ آلوده (بلوار کشاورز) و کم‌آلوده (پارک جنگلی چیتگر به عنوان منطقه شاهد) انجام شد (شکل ۱). طبق آمار سازمان کنترل کیفیت هوای تهران (۵) بر اساس شاخص‌های کیفیت هوا از جمله ذرات معلق و آلاینده‌های گازی، مناطق مرکزی شهر از جمله بلوار کشاورز جز آلوده‌ترین نقاط و مناطق غربی شهر تهران ازجمله پارک جنگلی چیتگر جز پاک‌ترین نقاط تهران هستند.



شکل ۱- موقعیت بلوار کشاورز(منطقه آلوده) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده) در تهران

نمونه‌برداری: نمونه‌برداری برگ‌های چنار (*Platanus orientalis*) در شهریور ۱۳۹۴ انجام شد. برای این منظور، ۲۰ اصله درخت سالم و متقارن انتخاب و ۳ برگ از سمت غربی و سومین شاخه اصلی تاج هر درخت (۱۰ اصله در منطقهٔ کم‌آلوده و ۱۰ اصله در منطقهٔ کم‌آلوده) نمونه برداری شد. متوسط سن، ارتفاع و قطر برابر سینه درختان انتخاب‌شده به ترتیب ۵۸ سال، ۱۹/۶ متر و ۳۸ سانتی‌متر بود. نمونه‌ها در هرباریوم گروه جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران نگهداری شدند.

روش هضم و اندازه‌گیری نمونه‌های برگ: برای این منظور، ۴ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به ۰/۲۵ گرم از پودر هر نمونه در بشرهای ۱۰۰ میلی‌لیتری اضافه شد، سپس به داخل دستگاه Digesdahl (مدل Hach ساخت کشور امریکا) در دمای ۴۴۰ درجهٔ سانتیگراد انتقال داده شد. پس از ۵ دقیقه، ۱۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه از قسمت بالای دستگاه به آن اضافه شد و پس از آنکه آب اکسیژنه به‌طور کامل مکش شد، به‌ترتیب متعلقات آن بیرون آورده شد و در نهایت بشر حاوی نمونه را از دستگاه Digesdahl خارج شد. پس از سرد شدن عصاره بدست آمده، با استفاده از آب مقطر دوبار تقطیر، به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و در نهایت عصاره از کاغذ صافی عبور داده شد. محلول به‌دست‌آمده برای سنجش مقدار کروم، نیکل، روی، مس، سرب و کادمیم با دستگاه ICP (Agilent 4500 Series، آمریکا) استفاده شد.

پارامترهای آناتومیکی: برش‌های عرضی برگ به‌روش دستی تهیه و پس از رنگ‌بَری توسط هیپروکلرید سدیم با متیلن‌بلو رنگ آمیزی شد. با میکروسکوپ نوری مدل لیکا (ساخت کشور سوئیس) با بزرگنمایی‌های مختلف از نمونه‌ها عکسبرداری شد که برای بررسی پارامترهای آناتومیکی استفاده گردید. نمونه‌های برگی مورد نیاز برای بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی، پس از برش به صورت تکه‌های کوچک با چسب نقره، بر روی استاب‌های آلومینیوم چسبانده و به‌مدت پنج دقیقه در دمای اتاق خشک شد و سپس در دستگاه لایه نشانی طلا، مدل SG 110 (ساخت کشور ایران) قرار داده شد و روی نمونه‌ها روکشی از طلای خالص کشیده شد که در مرحله بعد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نگاره مدل SU 3500 (ساخت کشور ژاپن) بررسی شدند.

تحلیل آماری داده‌ها: این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. داده‌ها در نرم‌افزار SAS تجزیه وتحلیل شدند و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون T انجام شد. بررسی پارامترهای آناتومیکی با نرم‌افزار Image J انجام شد.

نتایج

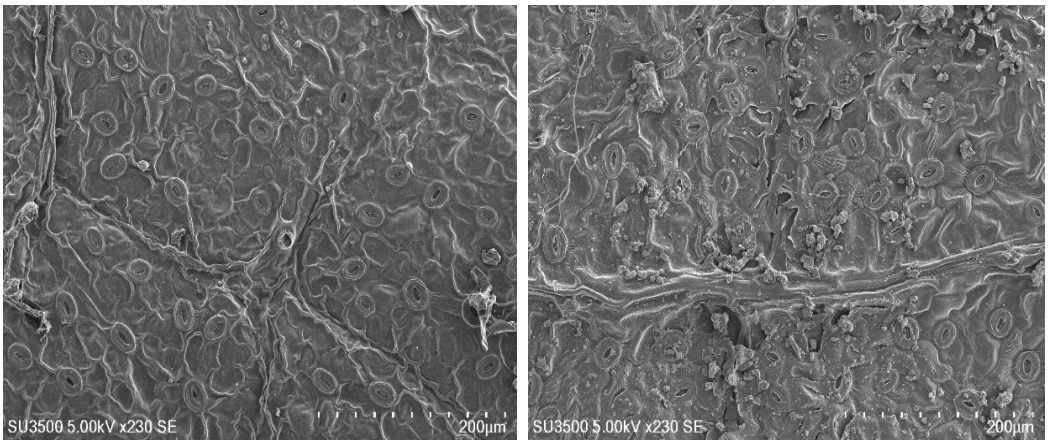
عناصر کادمیم، سرب، نیکل و کروم در منطقهٔ آلودهٔ شهری به‌ترتیب با غلظت‌های ۰/۷۶، ۱۳/۳، ۸/۲۶ و ۳/۳ میکروگرم در گرم بیشتر از پارک جنگلی چیتگر به‌ترتیب با غلظت‌های ۰/۱۵، ۳/۴، ۴/۸ و ۱/۱ میکروگرم در گرم بود، درحالیکه روی و مس تفاوت معنی‌داری را بین دو منطقهٔ شهری و پارک جنگلی چیتگر نشان ندادند (جدول ۱).

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین (آلاینده) در برگ درختان چنار در منطقه شهری (منطقه آلوده) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده)

آلاینده	منطقه شهری (آلوده)	پارک چیتگر **(کم‌آلوده)**	مقدار T	مقدار P
		میکروگرم در گرم		
کادمیم	۰/۷۶	۰/۱۵	۱۲/۲۲	۰/۰۰
سرب	۱۳/۳	۳/۴	۴/۹۳	۰/۰۰۸
روی	۸۴	۷۲	۲/۰۷	۰/۱۰
نیکل	۸/۲۶	۴/۸	۱۲/۵۶	۰/۰۰
کروم	۳/۳	۱/۱	۱۲/۰۵	۰/۰۰
مس	۹	۸/۰۶	۰/۸۰	۰/۴۶

جدول ۲- پارامترهای آناتومیکی چنار در منطقهٔ آلوده (بلوار کشاورز) و کم آلوده (پارک جنگلی چیتگر) داده ها شامل میانگین ± انحراف از معیار میانگین‌ها می باشد

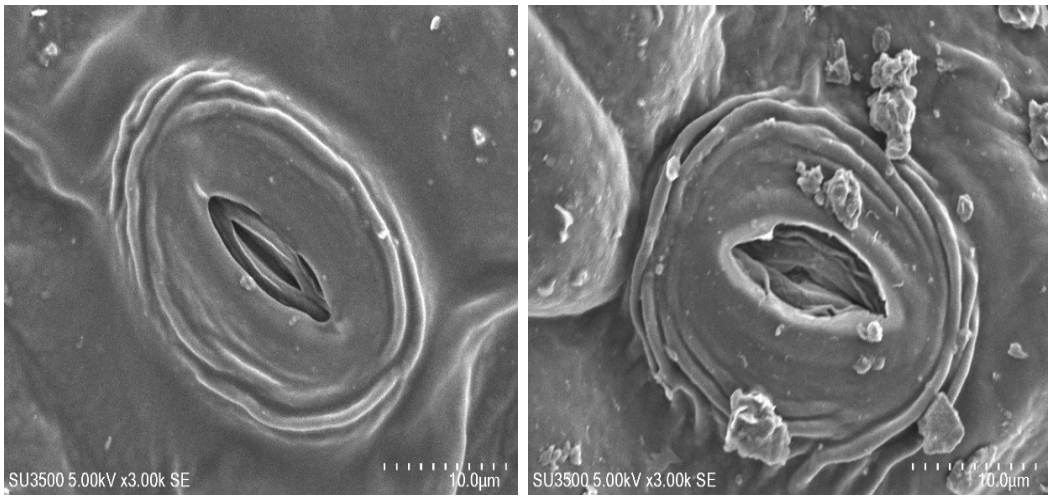
پارامتر	منطقهٔ شهری (آلوده)	پارک چیتگر**(کم‌آلوده)**	مقدار T	مقدار P
تراکم روزنه (تعداد در میلی‌متر مربع)	۲۱۱/۹ ± ۴۶	۲۲۴/۷ ± ۴۴	۱۱	<۰/۰۰۱
طول روزنه (میکرومتر)	۲۸/۵ ± ۳/۵	۳۵/۵ ± ۵/۳۷	۴/۹۸	۰/۰۰۸
عرض روزنه (میکرومتر)	۲۳/۵ ± ۲/۲	۲۸/۱ ± ۴/۵۹	۵/۲۶	۰/۰۰۶
ضخامت کوتیکول بالایی (میکرومتر)	۵/۱ ± ۱/۱	۶/۲± ۱/۲	۲/۴۹	۰/۰۷
ضخامت کوتیکول پایینی (میکرومتر)	۳/۱ ± ۰/۸	۶/۱ ± ۱/۱	۳/۲۸	۰/۰۳۰
ضخامت اپیدرم بالایی (میکرومتر)	۵/۸ ± ۰/۹	۶/۹ ± ۱/۳	۱۶	<۰/۰۰۱
ضخامت اپیدرم پایینی (میکرومتر)	۱۰/۱ ± ۲/۵	۱۴/۱ ± ۳/۱	۲/۹۹	۰/۰۴۰
ضخامت پارانشیم نردبانی (میکرومتر)	۷۲/۱ ± ۱۶	۵۵/۱ ± ۱۳	۹/۳	۰/۰۰۱
ضخامت پارانشیم اسفنجی (میکرومتر)	۷۵/۳ ± ۱۷	۸۱/۲ ± ۱۹	۴/۶	۰/۰۱۰



شکل۲- تراکم روزنه‌های برگ چنار در منطقهٔ شهری (منطقه آلوده، سمت راست) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده، سمت چپ)

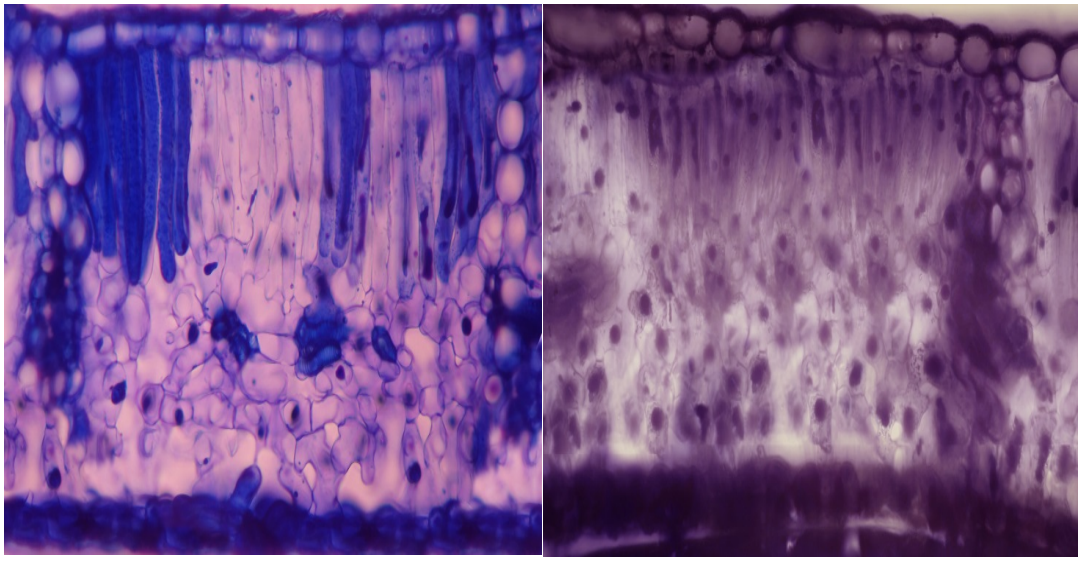
تراکم روزنه: تراکم روزنه در منطقه آلوده (۴۹ ± ۲۱۱/۹ روزنه در میلی‌متر مربع) کمتر از منطقه کم‌آلوده (۴۴ ±۲۲۴/۷ روزنه در میلی‌متر مربع) به‌دست آمد (شکل ۲ و جدول ۲).

طول و عرض روزنه: طول روزنه در منطقه آلوده و کم-آلوده به ترتیب ۳/۵± ۲۸/۵ و ۵/۳۷ ± ۳۵/۵ میکرومتر و عرض روزنه به ترتیب ۲/۲ ± ۲۳/۵ و ۴/۵۹ ± ۲۸/۱ میکرومتر به دست آمد (شکل۳ و جدول ۲).



شکل۳- تک روزنه برگ چنار در منطقهٔ شهری (منطقه آلوده، سمت راست) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده، سمت چپ)

اپیدرم و پارانشیم‌های نردبانی و اسفنجی اپیدرم بالایی در منطقهٔ آلوده (۰/۹± ۵/۸ میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری ضخیم-تر از منطقه کم‌آلوده (۱/۳± ۶/۹ میلی‌متر) بود. ضخامت اپیدرم پایینی در منطقهٔ شهری (۲/۵± ۱۰/۱ میکرومتر) کمتر از پارک جنگلی چیتگر (۳/۱± ۱۴/۱ میکرومتر) اندازه‌گیری شد. به علاوه پارانشیم نردبانی در منطقه آلوده (۱۶ ± ۷۲/۱ میکرومتر) ضخیم‌تر از منطقه کم‌آلوده (۱۳ ± ۵۵/۱ میکرومتر) بود (شکل۴ و جدول ۲).



شکل۴- برش عرضی برگ چنار برای اندازه‌گیری سلول‌های پارانشیمی، اپیدرم و کوتیکول در منطقهٔ شهری (منطقه آلوده، سمت راست) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده، سمت چپ).

بحث

عناصر سنگین: عناصر سنگین از اجزای مهم آلودگی‌های محیط شهری هستند. پایش زیستی کیفیت هوا از طریق گیاهان به طور گسترده‌ای به‌منظور بررسی تأثیر آلودگی روی گیاهان انجام شده است (۲۰، ۲۹ و ۴۲). در میان عناصر فضای سبز شهری درختان در جذب آلاینده‌ها خیلی کارا هستند و نقش مهمی را در سلامت انسان‌ها دارند (۴۲). در این تحقیق، غلظت کادمیم در منطقه شهری تقریبا ۵ برابر بیشتر از پارک جنگلی چیتگر اندازه‌گیری شد و مقدار آن در هر دو منطقه آلوده بیشتر از مقدار نرمال گزارش شده برای گیاه است (۰/۲–۰/۵ میکروگرم در گرم) (۱۲ و ۲۴). مقدار سرب در منطقه شهری حدود ۴ برابر بیشتر از پارک جنگلی چیتگر گزارش شد. دلیل زیاد بودن مقدار کادمیم و سرب به دلیل تعداد زیاد اتومبیل در محیط شهری است (جدول ۱) (۱۸). مینویی و همکاران (۶) بیان کردند که فلزات سنگین اصلی‌ترین عامل تخریب سلول-های گیاهی هستند (۶). تفاوت معنی‌داری در مقادیر روی مناطق آلودهٔ شهری و پارک جنگلی چیتگر مشاهده نشد. گیاه برای رشد و نمو به مقدار مناسبی روی نیاز دارد که اگر از مقدار نرمال خیلی کمتر شود، گیاه دچار مشکل متابولیسمی می‌شود و در نهایت از بین می‌رود (۱۳). مقدار نیکل و کروم در منطقهٔ شهری بیشتر از پارک جنگلی چیتگرمشاهده شد که به سبب فعالیت‌های صنعتی و کارگاه‌های موجود در شهر تهران است. مس عنصری مهم در فعالیت‌های آنزیمی و فیزیولوژی گیاهی است که کمبود این عنصر گیاه را دچار مشکل می‌کند (۱۴، ۳۶ و ۴۰). مقدار به‌دست آمده در تحقیق حاضر در دامنهٔ نرمال (۲–۲۰ میکروگرم در گرم) گیاهی است ولی افزایش ۱۰ درصدی در منطقه شهری نسبت به پارک جنگلی چیتگر در برگ-های چنار مشاهده شد. تحقیقات پیشین نیز افزایش مقدار عناصر سرب، کادمیم، نیکل، مس و کروم و کاهش روی را در برگ مناطق آلوده نسبت به مناطق شاهد مشاهده کرده-اند (۱۸، ۳۷ و ۳۸).

تراکم روزنه: تغییرات در تراکم، پراکنش و مرفولوژی روزنه‌های سطح برگ به عنوان مهمترین ویژگی تحت تاثیر آلودگی در گیاهان مورد توجه قرار می‌گیرد (۱۱). تراکم روزنه در مطالعه حاضر در گونه چنار در منطقه آلوده بیشتر از منطقه کم‌آلوده است (جدول ۲ و شکل ۲). نتایج پورخباز و همکاران (۳۷) نشان از کاهش تعداد روزنه در مناطق آلوده دارد. اما برخی از محققین (۲۲، ۲۵ و ۳۹) افزایش تراکم روزنه را در محیط آلوده نسبت به محیط شاهد گزارش کرده‌اند. در توضیح این دو رفتار متفاوت در مقابل آلودگی، لارچر (۲۷) تأکید کرد که گیاهان می‌توانند آلودگی را به وسیله کاهش تراکم روزنه‌ای کاهش دهند و یا با افزایش در تراکم روزنه‌ای، به همراه کاهش اندازه روزنه‌ها، سازگاری بهینه جهت کنترل تبادلات گازی و کنترل ورود آلودگی از میان روزنه‌ها را داشته باشند (۲۷). به علاوه، لارچر (۲۷) بیان کرد که کاهش تعداد روزنه مکانیسمی مناسب جهت کاهش اثر ناشی از آلودگی در گیاهان است (۲۷).

سلولهای مزوفیلی: طبق نظر نیکولاوسکی، یکی از پارامترهای اصلی جهت تشخیص پایداری گیاه به آلودگی هوا نسبت بالای Rp/Rs است (Rp: ضخامت مزوفیل نردبانی و Rs: ضخامت مزوفیل اسفنجی است) (۳۴). Rp/Rs در این مطالعه برای چنار در منطقه آلوده ۰/۹۵ و در منطقه کم‌آلوده ۰/۶۸ بدست آمد. کین و همکاران (۴۰) مقدار کمتر Rp/Rs را درمنطقه آلوده و در منطقه شاهد ۱/۱ به دست آوردند که همسو با نتایج تحقیق حاضر است (۴۰). یعنی گیاهان در تنش آلودگی ضخامت مزوفیل نردبانی را بیشتر می‌کنند تا بتوانند شرایط موجود را تحمل کنند.در پژوهشی نسبت بالایی مزوفیل نردبانی به مزوفیل اسفنجی را در گیاهان مقاوم به ازن گزارش شد (۱۹). شدت نور بالا و کاهش سرعت آب به دلیل کاهش مقدار

آب برگ سبب افزایش تشکیل بافت نردبانی می‌شود (۲). قلیچ و همکاران (۴) نشان دادند که سرب سبب تغییر معنی‌داری در ضخامت پارانشیم گیاه *Hypericum perforatum* L. شد (۴).

کوتیکول: محققین بیان داشته‌اند که گیاهان با افزایش ضخامت لایه‌های مرزی نسبت به گازهای سمی مقاومت نشان داده و باعث کاهش ورود گازهای سمی به برگ می‌شوند (۱۶). کوتیکول و موم قسمتی از این لایه‌های مرزی هستند که در حفاظت برگ درخت نقش مهمی دارند (۱۹ و ۳۲). در این مطالعه، کاهش ۱۸ درصدی کوتیکول فوقانی را در منطقه شهری نسبت به پارک جنگلی چیتگر شاهد هستیم (جدول ۲). در بیشتر گیاهان افزایش در ضخامت کوتیکول جهت مقابله با تنش آلودگی مشاهده شده است (۲۵ و ۳۹). پورخباز و همکاران (۳۷) کاهش ۳۰ درصدی ضخامت کوتیکول فوقانی را در منطقه شهری نسبت به منطقه شاهد گزارش کردند که بیشتر از مقدار به دست آمده در تحقیق حاضر است. دلیل این امر را می‌توان به شدت تنش در منطقه نسبت داد، هر چه شدت تنش بیشتر شود پارامترهای آناتومیکی برگ هم تغییرات محسوسی خواهد کرد (۳۷).

اپیدرم: بعد از کوتیکول به لایهٔ اپیدرمی برگ می‌رسیم که محل استقرار روزنه‌هاست. این لایه در منطقه کم‌آلوده ضخیم‌تر از محیط شهری است. چون در محیط آلوده، نیاز است که گیاه تعداد روزنه را کم کند تا بتواند با شرایط تنش مقابله کند. (۱۹ و ۳۷) به نتایج مشابهی روی اپیدرم گونه‌های چنار و آلبالو دست یافتند. کین و همکاران در تحقیقی روی گونهٔ نوئل نتیجه گرفتند که هر چه شدت آلودگی بیشتر شود ضخامت لایه اپیدرمی و کوتیکولی این گونه درختی بیشتر می‌شود. در این تحقیق، کاهش اپیدرم فوقانی ۱۵ درصد و اپیدرم تحتانی ۳۰ درصد مشاهده شد، یعنی چنار تغییر قابل توجهی را در اپیدرم تحتانی خود جهت کاهش تعداد روزنه برای مقابله با شرایط تنش نشان داده است (جدول ۲).

تحقیق حاضر نشان داد که درختان چنار بلوار کشاورز تهران با تجمع مقدار قابل توجهی از آلاینده‌ها به ویژه کروم نسبت به درختان پارک جنگلی چیتگر مواجه هستند و این مقدار آلاینده سبب تغییرات آناتومیکی خاصی در برگ درختان چنار شده است. طبق تحقیقات صورت گرفته در این زمینه گونه‌های یکسان گیاهی دارای رفتار آناتومیکی متفاوت نسبت به تغییر در مقدار آلودگی هستند. اینکه این تغییرات چه مقدار می باشد ما را در انتخاب گونه مقاوم و حساس به مقدار آلودگی بررسی شده کمک می‌کند.

افزایش مقدار عناصر سنگین موجود در برگ درختان چنار در منطقه آلوده (مرکز شهر) نسبت به پارک جنگلی چیتگر نشان از آلودگی بیشتر در منطقه شهری نسبت به پارک چیتگر است و همچنین برگ‌های این گیاه از نظر گیاه‌پالایی منبع مناسبی جهت حذف آلاینده‌های هواست. نتایج آناتومی نشان داد که چنار جهت مقابله با تنش آلودگی به طور معنی‌داری تراکم روزنه‌ها و ضخامت لایه اپیدرمی و پارانشیم اسفنجی را کاهش داده است. این نشان می‌دهد که گیاه نسبت به مقدار آلودگی تغییرات محسوسی داشته است، یعنی گیاه نسبت به مقدار آلاینده‌های شهر تهران حساس است ولی این تغییرات سبب از بین رفتن گیاه نشده است، یعنی تغییرات آناتومیکی، از استراتژی‌های مفید این گونه جهت مقابله با آلاینده‌هاست.

منابع

۱- امینی، م. و ا. فرقانی (۱۳۹۴). بررسی آلودگی نیکل در برگ درختان چنار (*Platanus Orientalis* L.) حاشیه خیابان ها و خاک های سطح شهر رشت، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۵: ۲۶۳-۲۸۱.

۲- جعفری، ا. (۱۳۹۳). آناتومی گیاهی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۵۰ صفحه.

۳- رفیعی، ز. ن. میرغفاری و ح. متین‌خواه (۱۳۹۳). تعیین معیارهای زیستی نشان دهنده تنش آلودگی هوا بر درخت چنار(*Platanus orientalis* L.)، مجله محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران) :جلد ۶۷: ۶۵-۷۸.

۴- قلیچ، س. زرین‌کمر، ف. لباسچی، م.ح. تغییرات برگ گونه *Hypericum perforatum* L. تحت تیمار سرب. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، جلد ۲۶: ۴۶۴-۴۵۳.

۵- گزارش سازمان کنترل کیفیت هوای تهران (۱۳۹۲). انتشارات شهرداری تهران، ۱۳۶ صفحه.

۶- مینویی، س. مینایی‌تهرانی، د. سمیعی، ک. فریور، ش. (۱۳۸۷). مطالعه تغییرات ماکروسکوپی و میکروسکوپی تاثیر فلز کادمیم بر گیاه گندمی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، جلد ۲۱: ۷۴۷-۷۳۷.

7- Aksoy, A., Sahin, U. and Duman, F., 2000. *Robinia pseudo-acacia* L. as a possible biomonitor of heavy metal pollution in Kayseri. Turkish Journal of Botany, 24(5): 279-284.

8- Alves, E.S., Moura, B.B. and Domingos, M., 2008. Structural analysis of Tillandsia usneoides L. exposed to air pollutants in São Paulo City–Brazil. Water, air, and soil pollution, 189(1-4): 61-68.

9- Anagnostatou, V.A., 2008. Assessment of heavy metals in central Athens and suburbs using plant material, Doctoral dissertation, University of Surrey, United Kingdom.

10- Bargagli, R., 1998. Trace elements in terrestrial plants, An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery, Berlin, Springer, 7th edition.

11- Bettarini, I., Vaccari, F.P. and Miglietta, F. 1998. Elevated CO2 concentrations and stomatal density: observations from 17 plant species growing in a CO2 spring in central Italy. Global Change Biology, 4(1): 17-22.

12- Bowen, H.J.M., 1979. Environmental chemistry of the elements. New York, Academic Press.

13- Broadley, M.R., White, P.J., Haμmond, J.P., Zelko I., and Lux, A., 2007. Zinc in plants. New Phytologist, 173: 677-702.

14- Çelik, A., Kartal, A.A., Akdoğan, A., and Kaska, Y., 2005. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. Environment International, 31: 105-112.

15- De Vives, A.E.S., Moreira, S., Brienza, S.M.B., Medeiros, J.G.S., Tomazello Filho, M., Zucchi, O.L.A.D and Nascimento, Filho V.F., 2006. Monitoring of the environmental pollution by trace element analysis in tree-rings using synchrotron radiation total reflection X-ray fluorescence. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 61(10): 1170-1174.

16- Dineva, S.B., 2004. Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash Fraxinus americana L. and London plane tree Platanus acerifolia Willd growing in polluted area. Dendrobiology, 52: 3-8.

17- Djingova, R., Ivanova, J.U., Wagner, G., Korhaμmer, S., and Markert, B., 2001. Distribution of lanthanoids, Be, Bi, Ga, Te, Tl, Th and U on the territory of Bulgaria using Populus nigra 'Italica'as an indicator. Science of the total environment, 280(1): 85-91.

18- Doğanlar, 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.

19- Ferdinand, J., Fredericksen, T., Kouterick, K. and Skelly, J., 2000. Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. Environmental Pollution, 108: 297-302.

20. Gajić, G., Mitrović, M., Pavlović, P., Stevanović, B., Djurdjević, L. and Kostić, O., 2009. An assessment of the tolerance of Ligustrum ovalifolium Hassk. to traffic-generated Pb using physiological and biochemical markers. Ecotoxicology and environmental safety, 72(4): 1090-1101.

21. Garg, K.K. and Varshney, C.K., 1980. Effect of air pollution on the leaf epidermis at the submicroscopic level. Experientia, 36(12): 1364-1366.

22- Gostin, I.N., 2009. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(2): 57.

23- Gratani, L., Crescente, M.A. and Petruzzi, M. 2000. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of Quercus ilex in polluted urban areas (Rome). *Environmental pollution*, *110*(1), 19-28.

24- Kabata-Pendias, A., 1984. Trace elements in soils and plants, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida, USA.

25- Kardel, F., Wuyts, K., Babanezhad, M., Wuytack, T., Potters, G. and Samson, R. 2010. Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of Plantago lanceolata L. Environmental Pollution, 158(3): 788-794.

26- Laaksovirta, K. and Oikonnen, H., 1977. Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicators of air pollution at Kokkola, W. Finland. Annales Botanici Fennici, 14: 112-130.

27- Larcher, W., 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media.

28- Leghari, S.K. and Zaidi, M.A., 2013. Effect of air pollution on the leaf morphology of coμmon plant species of Quetta city. Pakistan Journal of Botany, 45: 447-454.

29- Mignorance, M.D. and Olivia, R.S., 2006. Heavy metals content in N. oleander leaves as urban pollution assessment. Environmental Monitoring and Assessment, 119, 57– 68.

30- Moraes, R.M., Delitti, W.B.C. and Moraes, J.A.P.V., 2003. Gas exchange, growth, and chemical parameters in a native Atlantic forest tree species in polluted areas of Cubatao, Brazil. Ecotoxicology and environmental safety, 54(3): 339-345.

31- Murin, A ., 1995. Basic criteria for selection of plant bioindicators from the regional flora for monitoring of an environmental pollution. Biologia Bratislava, 50: 37-40.

32- Nikolaevski, V., 1963. O pokazateliakh gazousto chivosti drevesnykh rasteni. INTA Biologii UFAN, Vyp. 31, 74.

33- Ogunkunle, C.O., Abdulrahaman, A.A. and Fatoba, P.O., 2013. Influence of cement dust pollution on leaf epidermal features of Pennisetum purpureum and Sida acuta. Environmental and Experimental Biology, 7: 73-79.

34- Oliva, S.R. and Espinosa, A.F., 2007. Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources. Microchemical Journal, 86(1): 131-139.

35- Onder, S. and Dursun, S., 2006. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). Atmospheric Environment, 40(6): 1122-1133.

36- Ouzounidou, G., 1994. Copper-induced changes on growth, metal content and photosynthetic function of *Alyssum montanum* L. plants. Environmental and Experimental Botany, 34: 165-172.

37- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., Langenfeld-Heyser, R. and Polle, A., 2010. Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 85: 251-255.

38- Qin, X., Sun, N., Ma, L., Chang, Y. and Mu, L., 2014. Anatomical and physiological responses of Colorado blue spruce to vehicle exhausts. Environmental Science and Pollution Research, 21: 11094-11098.

39- Rai, P. and Mishra, R.M., 2013. Effect of urban air pollution on epidermal traits of road side tree species, Pongamia pinnata (L.) Merr. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 2(6): 2319-2402.

40- Raven, P.H. and Johnson, G.B., 1986. Biology. St Louis: Times mirror, Mosby College Publishing.

41- Sawidis, T., A. Marnasidis, G. Zachariadis, and J. Stratis, 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 28(1): 118-124.

42- Sawidis, T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, P. and Tsigaridas, K., 2011. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. Environmental pollution, 159: 3560-3570.

43- Steubing, L., 1976. Niedere und Höhere Pflanzen als Indikatoren für Iμmissionsbelas tungen, Landschaft Stadt, 3: 97 -103.

44- Thurston, G.D., Burnett, R.T., Turner, M.C., Shi, Y., Krewski, D., Lall, R. and Pope, C.A., 2015. Ischemic Heart Disease Mortality and Long-Term Exposure to Source-Related Components of US Fine Particle Air Pollution, Environmental Health Perspective.

Heavy metal accumulation and anatomical responses of plane plant to urban pollutions in two areas of Tehran

Khosropour E.[1], Attarod P.[1], Shirvani A.[1], Bayramzadeh V.[2] and Hakimi L.[3]

[1] Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

[2] Dept. of Wood Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I.R. of Iran

[3] Dept. of Horticulture, Islamic Azad University, Saveh branch, I.R. of Iran

Abstract

Urban pollutions have adverse effects on plants, which results in changing the anatomical properties of leaves. The present study aimed at studying the cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu), nickel (Ni) and chromium (Cr) accumulation in plane (*Platanus orientalis*) leaves and its anatomical response to urban pollutions in the center of Tehran (the most polluted area) as compare to Chitgar forest park (the lowest polluted area). For this purpose, 20 healthy trees, each location 10, were selected to investigate the stomatal density, width and length of stomata, mesophyll parenchyma as well as epidermis and cuticle thickness in summer of 2014. The results showed that the concentration of Cd, Pb, Ni, Cr, and Cu in Tehran was more than those in Chitgar forest park. Stomatal density in the urban area and Chitgar forest park were measured 211.9 and 224.7 per mm^2, respectively, and the length and width of stomata in urban area was significantly less than those in Chitgar forest park. The thickness of upper and lower epidermis in urban area was less than that in Chitgar forest park. The changes observed in anatomical properties are the strategies to resist the stress induced by urban pollution. Plane trees are an appropriate sink for heavy metals, but they rapidly respond to the commutation of heavy metals by changing their anatomical properties. Hence, plane trees are considered as an appropriate plant species to such value of pollution.

Key words: Anatomical properties, Heavy metals, Plane, Urban pollution.