

## تجمع فلزات سنگین در سوزن‌های کاج تهران و پاسخ ساختمان برگ به آلودگی شهری

اسماعیل خسروپور<sup>۱</sup>، پدram عطارد<sup>۲\*</sup>، انوشیروان شیروانی<sup>۳</sup>، ویلما بایرامزاده<sup>۴</sup> و مظاهر معین‌الدینی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۴</sup> دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج  
<sup>۵</sup> استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۴)

### چکیده

آلودگی محیطی با فلزات سنگین روی تغییر ویژگی‌های ساختمانی سوزن‌های درختان سوزنی برگ تأثیر دارد. پژوهش حاضر به منظور اندازه‌گیری تجمع کادمیوم، سرب، روی، مس، نیکل و کروم در سوزن‌های درختان کاج تهران (*Pinus eldarica*) و پاسخ آناتومیکی برگ‌های سوزنی این گونه به آلودگی موجود در شهر تهران (بلوار کشاورز) و مقایسه آن با منطقه شاهد (پارک جنگلی چیتگر) انجام گرفت. سوزن‌ها در اواخر تابستان ۱۳۹۴ برای ارزیابی و اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین مذکور و بررسی ویژگی‌های ساختمانی برگ (سطح برگ، تراکم، طول و عرض روزنه، ضخامت لایه‌های کوتیکولی و اپیدرمی) جمع‌آوری شدند. نتایج نشان داد که کادمیوم، سرب، کروم و مس در مناطق آلوده شهری به ترتیب با غلظت‌های ۰/۵۱، ۸/۴۱، ۰/۵۱ و ۴/۲ میکروگرم در گرم، بیشتر از پارک جنگلی چیتگر با غلظت‌های ۰/۰۵، ۲/۱۸، ۰/۱ و ۳/۸ میکروگرم در گرم بود. ولی روی و نیکل تفاوت معنی‌داری را بین دو منطقه شهری و پارک جنگلی چیتگر نشان ندادند ( $P < 0/05$ ). سطح برگ در منطقه شهری (۰/۱۳۲ سانتی‌متر مربع) کمتر از پارک جنگلی چیتگر (۰/۱۳۷ سانتی‌متر مربع) اندازه‌گیری شد. تراکم و طول روزنه در منطقه شهری (به ترتیب ۹۲ روزنه در میلی‌متر مربع و ۲۰/۹ میکرومتر) کمتر از پارک جنگلی چیتگر (به ترتیب ۱۱۲ روزنه در میلی‌متر مربع و ۲۴/۱۳ میکرومتر) به دست آمد. اپیدرم‌های بالایی و پایینی در منطقه شهری (۵/۳ و ۵/۴ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری نازک‌تر از پارک جنگلی چیتگر (۶/۲ و ۶/۱ میکرومتر) اندازه‌گیری شدند. تغییرات مشاهده‌شده راهبردهای فیزیولوژیکی و ساختمانی برگ کاج تهران برای مقابله با آلودگی محیط شهری در تهران است. کاج تهران از نظر آناتومیکی نسبت به این مقدار آلاینده حساس است و برای سازگاری با شرایط موجود ویژگی‌های ساختمانی برگ خود را به‌منظور تعدیل تنش ناشی از آلودگی محیط شهری تغییر می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی شهری، فلزات سنگین، کاج تهران، ویژگی‌های ساختمانی برگ.

### مقدمه

صنعت و سوختن سوخت‌های فسیلی در ماشین‌هاست. در میان این منابع، وسایل نقلیه منبع اصلی آلودگی هوا در محیط شهری‌اند که سبب تولید آلاینده‌های مهمی از جمله سرب و کادمیوم می‌شوند (Bargagli, 1998). آلاینده‌های محیط شهری در

آلودگی‌های محیطی از معضلات اساسی در محیط‌های شهری است (Qin et al., 2014). آلاینده‌های محیط شهری مانند فلزات سنگین از منابع مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله

سبب افزایش آلودگی خاک منطقه شود (Khosropour et al., 2013). آلاینده‌ها هم از خاک، و هم از هوا جذب گیاه می‌شوند، ولی مقصد اصلی آلاینده‌های هوا در گیاهان اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ است (Baker et al., 2000). اگرچه اغلب، تشخیص منبع آلاینده مشکل است، درختان می‌توانند به‌عنوان پایش زیستی مؤثر به‌منظور تشخیص غلظت‌های کم آلاینده‌ها از خاک و هوا استفاده شوند (Oliva & Espinosa, 2007). درخت به‌عنوان موجود زنده با طول عمر طولانی و عنصر اصلی فضای سبز شهری می‌تواند نشان‌دهندهٔ تجمعی از آلاینده‌ها باشد (Oliva & Espinosa, 2007).

برگ درختان نقش مهمی در فعالیت‌های سوخت‌وساز دارد و از جمله اندام‌هایی است که به‌طور مستقیم تحت تأثیر آلاینده‌های محیطی قرار می‌گیرد (Leghari & Zaidi, 2013). برگ درختان در مناطق شهری به دلیل داشتن سطح بیش‌تر نسبت به سایر اندام‌ها، اهمیت بیشتری در جذب آلودگی‌های صوتی و هوایی دارد (Manoochehri et al., 2016).

Kord et al. (2010) نشان دادند که کاج تهران پتانسیل بالایی از نظر گیاه‌پالایی دارد، به‌طوری که در منطقه با ترافیک سنگین وسایل نقلیه، تجمع زیادی از سرب، نیکل، روی، مس و کروم در سوزن‌های این گونه نسبت به منطقه شاهد مشاهده شده است. از نظر ریخت‌شناسی، سطح برگ به‌منظور مقابله با شرایط تنش می‌تواند تغییر کند. همچنین ممکن است محیط آلوده سبب تغییر شکل برگ درختان شود. با ورود آلاینده از طریق روزنه‌ها به محیط داخلی برگ، ساختمان برگ ممکن است تغییراتی را نشان دهد (Dineva, 2004). برای مثال تغییر تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و مقدار سلول‌های پارانشیمی از جمله فرایندهایی است که گیاه برای ماندگاری در شرایط تنش انجام می‌دهد (Dineva, 2004). Pourkhabbaz et al. (2010) نشان دادند که تعداد روزنه در واحد سطح در برگ درختان چنار در منطقه

اشکال جامد یا مایع در اندازه‌های مختلف ظاهر می‌شوند که مبدأ آنها از سوختن ناقص سوخت‌های فسیلی از وسایل نقلیهٔ دیزلی یا فعالیت‌های صنعتی است (Sawidis et al., 2011). عمده آلاینده‌های شهر تهران عبارتند از مونواکسید کربن، اکسیدهای سولفور، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق که ۸۰ درصد آنها توسط سوخت اتومبیل و بقیه توسط کارخانه‌ها و وسایل گرم‌کنندهٔ منازل ایجاد می‌شوند (Khosropour et al., 2017). به علاوه هوای محیط شهری شامل فلزات سنگین سمی مانند کروم، نیکل، سرب، کادمیوم و آهن است که هشدار برای سلامت موجودات زنده به‌شمار می‌رود (De Vives et al., 2006). فلزات سنگین، عناصر فلزی با وزن مخصوص بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (Salehi et al., 2014). براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا بیشتر از مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات است (WHO, 1999).

براساس نتایج مطالعات مختلف گیاهان به‌طور مؤثری به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی محیط زیست استفاده می‌شوند (Djingova et al., 2001; Moraes et al., 2003; Onder & Dursan, 2006). تجزیه و تحلیل عنصری نمونه‌های گیاهی راهی مؤثر و آسان در تحقیقات بوم‌شناختی محیط شهری است (Aksoy et al., 2000). استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان نمونه‌بردار ساکن در شاخص زیستی با دقت مکانی و زمانی زیاد به‌دلیل در دسترس بودن گیاه و هزینه‌های پایین نمونه‌برداری اهمیت دارد (Sawidis et al., 2011). بسیاری از گروه‌های گیاهی از جمله درختان همیشه‌سبز برای بررسی آلودگی هوا و همچنین فواید و عیب‌های آنها استفاده شده‌اند (Laaksovirta & Okonnen, 1977; Murin, 1995) یعنی درختان می‌توانند با جذب آلاینده‌ها، آلودگی هوا را کاهش دهند، ولی ممکن است مقدار زیادی از این فلزات با شسته شدن تاج‌پوشش هنگام بارندگی

## شیوه اجرای پژوهش

### نمونه‌گیری

نمونه‌گیری از سوزن‌های درختان کاج تهران هم‌قطر، هم‌ارتفاع و همسال با وارپته یکسان در شهریور ۱۳۹۴ انجام گرفت. متوسط سن، ارتفاع و قطر برابر سینه درختان انتخاب‌شده به ترتیب ۴۶ سال، ۴/۸ متر و ۱۵ سانتی‌متر بود. درختان سالم و از نظر صفات ظاهری یکسان انتخاب شدند (Pourkhabbaz et al., 2010; Sawidis et al., 2011). در مجموع، از ۲۰ اصله درخت (۱۰ اصله در منطقه آلوده و ۱۰ اصله در منطقه کم‌آلوده) و ۳ برگ از جهت غربی هر درخت نمونه‌گیری شد. نمونه‌ها در هرباریوم گروه جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران نگهداری شدند.

### روش هضم و اندازه‌گیری نمونه‌های برگ

۰/۲۵ گرم از پودر هر نمونه در بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و ۴ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به نمونه اضافه شد. محتویات بشر پس از چند بار تکان دادن به داخل دستگاه Digesdahl انتقال داده شد؛ باید توجه داشت که دمای مورد نظر دستگاه Digesdahl برای عصاره‌گیری ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد. پس از رسیدن دمای دستگاه به درجه مورد نظر، بشر حاوی نمونه به داخل آن انتقال داده شد. پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه درون دستگاه، ۱۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه از قسمت بالای دستگاه به آن اضافه و پس از آنکه آب اکسیژنه به‌طور کامل مکش شد، بشر حاوی نمونه از دستگاه Digesdahl خارج گردید. پس از سرد شدن عصاره به‌دست‌آمده، با استفاده از آب مقطر دوبار تقطیر، به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و در نهایت عصاره از کاغذ صافی عبور داده شد. برای سنجش مقدار کروم، نیکل، روی، مس، سرب و کادمیوم در محلول به‌دست‌آمده، از دستگاه ICP (Agilent 4500 Series، آمریکا) استفاده شد.

آلوده کمتر از شاهد است. (Dineva (2004 نشان داد که ضخامت اپیدرم فوقانی و پارانشیم اسفنجی در زبان گنجشک (*Fraxinus americana*) در منطقه آلوده کمتر از منطقه شاهد است، ولی ضخامت پارانشیم نردبانی و کوتیکول فوقانی در منطقه آلوده بیشتر از منطقه شاهد است.

کاج تهران (*Pinus eldarica*) از گونه‌های مهم و اصلی فضای سبز شهری و جنگلکاری اطراف شهرهاست. اینکه این گونه چقدر می‌تواند خود را با محیط آلوده سازگار کند، شاخصی مهم برای کاشت آن در محیط‌های آلوده است. ویژگی‌های ساختمانی برگ از جمله تعداد روزنه در واحد سطح، اندازه روزنه و ضخامت اپیدرم و کوتیکول، شاخص‌های مهمی به‌منظور مقاومت و سازگاری گونه در مقابل آلودگی است. سؤال تحقیق حاضر این است که آیا این تغییرات در ویژگی‌های ساختمانی برگ کاج تهران معنی‌دار است یا نه. تاکنون تحت این عنوان، تحقیقی در شهر بزرگ تهران روی این گونه مهم سوزنی‌برگ گزارش نشده است. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در سوزن‌های کاج تهران و پاسخ ویژگی‌های ساختمانی برگ آن به آلودگی‌های موجود در شهر تهران انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

این تحقیق در دو منطقه آلوده (بلوار کشاورز) و کم‌آلوده (پارک جنگلی چیتگر) انجام گرفت. براساس آمار سازمان کنترل کیفیت هوای تهران و برپایه شاخص‌های کیفیت هوا از جمله ذرات معلق و آلاینده‌های گازی، مناطق مرکزی شهر از جمله بلوار کشاورز، جزو آلوده‌ترین نقاط و مناطق غربی شهر تهران از جمله پارک جنگلی چیتگر جزء پاک‌ترین نقاط هستند (Tehran Air Quality Control Company, 2014).

## بررسی ویژگی‌های ساختمانی برگ

برش‌های عرضی نمونه‌های سوزن به‌روش دستی تهیه و پس از رنگ‌بری توسط هیروکلرید سدیم با متیلن‌بلو رنگ‌آمیزی شد. با میکروسکوپ نوری مدل لیکا (ساخت سوئیس) با بزرگنمایی‌های مختلف از نمونه‌ها عکس‌برداری شده و برای بررسی ضخامت لایه‌های کوتیکولی و اپیدرمی استفاده شد. برای بررسی تراکم، طول و عرض روزنه، نمونه‌های سوزن مورد نیاز پس از برش به‌صورت تکه‌های کوچک، با چسب نقره بر روی استاب‌های آلومینیوم چسبانده شده و به‌مدت پنج دقیقه در دمای اتاق خشک شد و سپس در دستگاه لایه‌نشانی طلا، مدل SG 110 (ساخت ایران) قرار داده شدند و روی نمونه‌ها روکشی از طلای خالص کشیده شد. در مرحله بعد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نگاره مدل SU 3500 (ساخت ژاپن) بررسی شدند.

## روش تحلیل

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. داده‌ها در نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون t در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

## نتایج

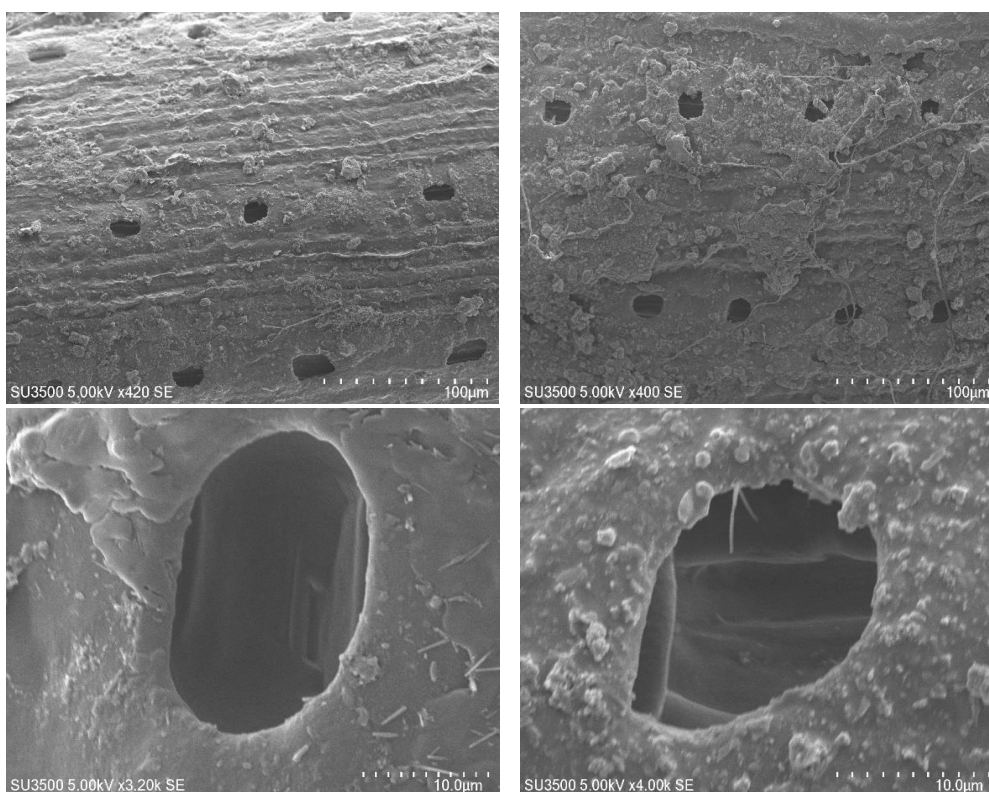
کادمیوم، سرب، کروم و مس در منطقه آلوده شهری به‌ترتیب با غلظت‌های ۰/۵۱، ۸/۴۱، ۰/۵۱ و ۴/۲ میکروگرم در گرم بیشتر از پارک جنگلی چیتگر با غلظت‌های ۰/۰۵، ۲/۱۸، ۰/۱ و ۳/۸ میکروگرم در گرم بود، ولی روی و نیکل تفاوت معنی‌داری را در دو منطقه شهری و پارک جنگلی چیتگر نشان ندادند (جدول ۱).

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) موجود در سوزن‌های کاج تهران در منطقه شهری (منطقه آلوده) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده)

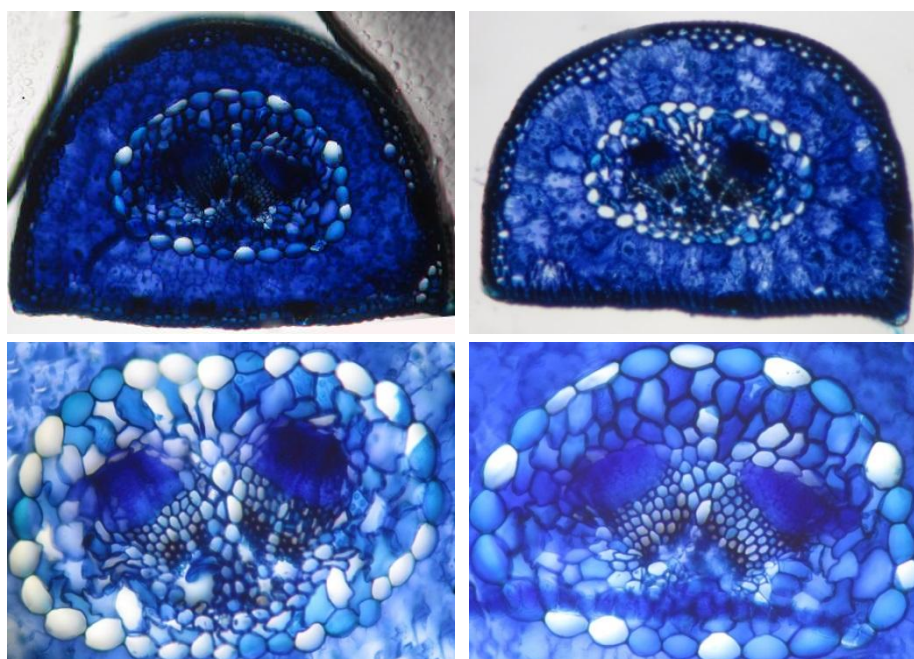
مقدار P	مقدار t	پارک جنگلی چیتگر	منطقه شهری	آلاینده
۰/۰۰۳	۶/۴۳	۰/۰۵	۰/۵۱	کادمیوم (میکروگرم در گرم)
۰/۰۱۸	۳/۸۷	۲/۱۸	۸/۴۱	سرب (میکروگرم در گرم)
۰/۱۹	۱/۵۴	۲۸	۲۴	روی (میکروگرم در گرم)
۰/۳۲	۱/۱۲	۱	۱/۶	نیکل (میکروگرم در گرم)
...	۱۰/۳۱	۰/۱۰	۰/۵۱	کروم (میکروگرم در گرم)
۰/۰۳۶	۳/۰۹	۳/۸	۴/۲	مس (میکروگرم در گرم)

اپیدرم بالایی و پایینی در منطقه شهری (به ترتیب ۵/۳ میلی‌متر و ۵/۴ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری ضخیم‌تر از پارک جنگلی چیتگر (به ترتیب ۶/۲ میلی‌متر و ۶/۱ میکرومتر) بود. کوتیکول پایینی در پارک جنگلی چیتگر (۴/۶ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری ضخیم‌تر از منطقه شهری (۴/۲ میکرومتر) اندازه‌گیری شد (شکل ۲ و جدول ۲).

سطح برگ، تراکم روزنه و طول روزنه در منطقه شهری (۰/۱۳۲ سانتی‌متر مربع، ۹۲ روزنه در میلی‌متر مربع و ۲۰/۹ میکرومتر) کمتر از پارک جنگلی چیتگر (۰/۱۳۷ سانتی‌متر مربع، ۱۱۲ روزنه در میلی‌متر مربع و ۲۴/۱۳ میکرومتر) اندازه‌گیری شد، ولی تفاوت معنی‌داری برای عرض روزنه و ضخامت کوتیکول بالایی مشاهده نشد (شکل ۱ و جدول ۲).



شکل ۱- روزنه‌های کاج تهران در منطقه شهری (منطقه آلوده، سمت راست) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده، سمت چپ)



شکل ۲- برش عرضی سوزن کاج تهران در منطقه شهری (منطقه آلوده، سمت راست) و پارک جنگلی چیتگر (منطقه کم‌آلوده، سمت چپ)

جدول ۲- ویژگی‌های ساختمانی برگ کاج تهران در منطقه شهری و پارک جنگلی چیتگر

پارامتر	منطقه شهری	پارک جنگلی چیتگر	مقدار T	مقدار P
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	$0/132 \pm 0/002$	$0/137 \pm 0/002$	۳/۰۶۲	۰/۰۳۸
تراکم روزنه (تعداد در میلی‌متر مربع)	$92 \pm 6/01$	$112 \pm 2/51$	۵/۲۱۵	۰/۰۰۶
طول روزنه (میکرومتر)	$20/9 \pm 1/65$	$24/13 \pm 0/37$	۳/۳۰۴	۰/۰۳۰
عرض روزنه (میکرومتر)	$14/1 \pm 0/40$	$15/1 \pm 0/59$	۲/۶۸۸	۰/۰۵۵
ضخامت کوتیکول بالایی (میکرومتر)	$4/2 \pm 0/21$	$4 \pm 0/23$	۱/۲۲۵	۰/۲۸۸
ضخامت کوتیکول پایینی (میکرومتر)	$4/6 \pm 0/15$	$4/2 \pm 0/11$	۳/۴۷۹	۰/۰۲۵
ضخامت اپیدرم بالایی (میکرومتر)	$5/3 \pm 0/3$	$6/2 \pm 0/1$	۴/۹۳۰	۰/۰۰۸
ضخامت اپیدرم پایینی (میکرومتر)	$5/4 \pm 0/3$	$6/1 \pm 0/4$	۲/۴۲۵	۰/۰۷۲

## بحث

### تجمع عناصر سنگین در سوزن‌های کاج تهران

آلودگی محیط شهری با فلزات سنگین از موضوعات مهم امروزی است. پایش زیستی کیفیت هوا از طریق گیاهان به‌طور گسترده‌ای به‌منظور بررسی تأثیر آلودگی روی گیاهان انجام گرفته است (Sawidis et al., 1995; Baragli, 1998; ) (Mingorance & Olivia, 2006; Gajic et al., 2009). در میان عناصر فضای سبز شهری، درختان در به دام انداختن آلاینده‌ها خیلی کارا هستند و نقش مهمی در سلامت انسان دارند (Sawidis, 2011). غلظت کادمیوم در منطقه شهری ۱۰ برابر بیشتر از پارک جنگلی چیتگر است. مقدار کادمیوم در منطقه شهری، بیشتر از محدوده مقدار طبیعی برای گیاه است (Bowen, 1979; ) (۰/۱-۰/۵ میکروگرم در گرم، Bowen, 1979; ) (Kabata-Pendias, 1984)، ولی اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد، مقدار آن در پارک جنگلی چیتگر کمتر از حد طبیعی است. تحقیقات ثابت کرده است که حرکت کادمیوم کند است و بیشتر در تنه و ریشه ذخیره می‌شود. مقدار سرب در منطقه شهری در حدود چهاربرابر پارک جنگلی چیتگر است که بیشتر از محدوده طبیعی آن برای گیاه می‌باشد (تا ۳ میکروگرم در گرم، Doganlar & Atmaca, 2011). دلیل زیاد بودن مقدار کادمیوم و سرب، تعداد

زیاد اتومیل در محیط شهری است (Doganlar & Atmaca, 2011). مقدار روی در منطقه آلوده شهری کمتر از پارک جنگلی چیتگر است.

Khosropour et al. (2013) تجمع سرب و کادمیوم را در سوزن‌های کاج تهران گزارش کردند و بیان داشتند که قسمت معنی‌داری از سرب و کادمیوم جذب‌شده توسط گیاه از طریق تاج بارش یا ریزش سوزن، به خاک برمی‌گردد. این در حال است که در تحقیق حاضر مقداری سرب و کادمیوم به داخل سوزن‌ها نفوذ کرده است. گیاه برای رشد و نمو به مقدار مناسبی روی نیاز دارد که اگر از مقدار طبیعی خیلی کمتر شود، گیاه دچار مشکل متابولیسمی می‌شود و در نهایت از بین می‌رود (Broadley et al., 2007). تنش آلودگی محیط شهری تغییر معنی‌داری در مقدار روی و نیکل کاج تهران به‌وجود نیاورده است و مقدار آن در هر دو منطقه در دامنه طبیعی (۲-۴۰۰ میکروگرم در گرم برای روی و ۱-۱۰ میکروگرم در گرم برای نیکل) برای گیاه است. مقدار کروم در منطقه شهری در دامنه بحرانی (بیشتر از ۵ میکروگرم در گرم، Kabata-Pendias & Pendias, 1984) و در پارک جنگلی چیتگر در دامنه طبیعی (۰/۱-۰/۵ میکروگرم در گرم) برای گیاه است که دلیل آن فعالیت‌های صنعتی و کارگاه‌های موجود در شهر تهران است. مس

(Garg & Varshney, 1980). طول روزنه‌های کاج تهران در منطقه آلوده شهری کمتر از پارک جنگلی چیتگر است، ولی تفاوت معنی‌داری در عرض آنها وجود ندارد (جدول ۲). در قسمت برش عرضی برگ کاج تهران می‌توان تغییرات سلول‌های پارانشیمی را بررسی کرد. کاج تهران برای مقابله با شرایط محیط شهری، ضخامت کوتیکول پایینی خود را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است که این نتایج با یافته‌های (Qin et al., 2014) و (Dineva (2004 همسوست. کوتیکول به‌عنوان لایه اولیه برگ، گیاه را از تنش‌های بیرونی محافظت می‌کند. پس از کوتیکول، لایه اپیدرمی برگ است که محل استقرار روزنه‌هاست. این لایه در پارک جنگلی چیتگر ضخیم‌تر از محیط شهری است، تا گیاه بتواند با شرایط تنش مقابله کند. (Ferdinand et al., 2000) و (Pourkhabbaz et al., 2010) به نتایج مشابهی روی اپیدرم گونه‌های چنار و آلبالو دست یافتند. (Qin et al., 2014) در پژوهشی روی گونه نوتل نتیجه گرفتند که با افزایش شدت آلودگی، ضخامت لایه اپیدرمی و کوتیکولی این گونه درختی بیشتر می‌شود. براساس نتایج این تحقیق، تجمع فلزات سنگین در سوزن‌های کاج تهران در منطقه شهری بیشتر از پارک جنگلی است و این مسئله سبب تغییر معنی‌داری در سطح سوزن، تعداد روزنه در واحد سطح سوزن و ضخامت کوتیکول و اپیدرم سوزن می‌شود. کاج تهران از نظر ساختمان برگ به این مقدار آلاینده حساس است و برای سازگاری با شرایط موجود، شاخص‌های آناتومیکی خود از جمله تراکم روزنه و ضخامت لایه اپیدرمی را برای تعدیل شرایط تنش ناشی از آلودگی محیط شهری کم می‌کند.

عنصری مهم در فعالیت‌های آنزیمی و فیزیولوژی گیاهی است و کمبود آن گیاه را دچار مشکل می‌کند (Raven & Johnson, 1986; Ouzounidou, 1994; ) (Çelik et al., 2005). مقدار به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر در منطقه شهری و پارک جنگلی چیتگر در دامنه طبیعی گیاه است (۲۰-۲ میکروگرم در گرم). در تحقیقات پیشین نیز افزایش مقدار سرب، کادمیوم، مس و کروم و کاهش روی در برگ مناطق آلوده نسبت به مناطق شاهد مشاهده شده است (Pourkhabbaz et al., 2010; Doganlar & Atmaca, ) (2011; Qin et al., 2014).

### تغییر در پارامترهای آناتومیکی

تنش آلودگی ممکن است روی خصوصیات آناتومیکی برگ گیاه تأثیر بگذارد. در مطالعه حاضر سطح سوزن‌های کاج تهران در منطقه شهری کمتر از پارک جنگلی چیتگر اندازه‌گیری شد (جدول ۲). گیاه برای مقابله با شرایط تنش سطح برگ را که ارتباط مستقیم با آلاینده‌های هوا دارد، کم می‌کند تا تعداد روزنه کم شود و خسارت ناشی از ورود این آلاینده‌ها از طریق روزنه کاهش یابد. کاج تهران تراکم روزنه‌های خود را نیز کاهش می‌دهد تا بتواند شرایط موجود را تحمل کند. در مطالعات دیگر نیز کاهش سطح برگ و تراکم روزنه گزارش شده است (Pourkhabbaz et al., 2010; Qin et al., 2014). در شرایط غیرنرمال، تعداد روزنه‌ها باید به حد نرمالی کاهش پیدا کند تا هدررفت آب و مقدار فتوسنتز کمتر شود و گیاه تحت تنش کمتری قرار گیرد و بتواند شرایط را تحمل کند. البته این شرایط رشد گیاه را کم می‌کند، و نیز از مرگ گیاه جلوگیری می‌کند (Ogunkunle et al., 2013). روزنه و ابعاد آن از شاخص‌های مهم آناتومیکی گیاه به حساب می‌آیند

## References

- Aksoy, A., Sahin, U., & 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.
- Bargagli, R. (1998). *Trace elements in terrestrial plants, an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*. 7<sup>th</sup> edition. Springer publishing.
- Bowen, H.J.M. (1979). *Environmental chemistry of the elements*. New York, Academic Press.
- Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173, 677-702.
- Çelik, A., Kartal, A.A., Akdoğan, A., & Kaska, Y. (2005). Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudo-acacia* L. *Environment International*, 31, 105-112.
- De Vives, A.E.S., Moreira, S., Brienza, S.M.B., Medeiros, J.G.S., Tomazello Filho, M., Zucchi, O.L.A.D., & 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.
- 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.
- Djingova, R., Ivanova, J.U., Wagner, G., Korhumer, S., & 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.
- Doğanlar, Z.B., & 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.
- Ferdinand, J., Fredericksen, T., Kouterick, K., & Skelly, J. (2000). Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. *Environmental Pollution*, 108, 297-302.
- Gajić, G., Mitrović, M., Pavlović, P., Stevanović, B., Djurdjević, L., & 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.
- Garg, K.K., & Varshney, C.K. (1980). Effect of air pollution on the leaf epidermis at the submicroscopic level. *Experientia*, 36(12), 1364-1366.
- Kabata-Pendias, A. (1984). *Trace elements in soils and plants*. Florida, CRC Press Inc.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvany, A., Matinzadeh, M., & Fathizadeh, O. (2013). Lead and Cadmium Concentrations in Throughfall of *Pinus eldarica*. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 11(1), 141-150.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvany, A., Bayramzadeh, V., & Hakimi, L. (2017). Biochemical and physiological responses of *Pinus eldarica* and *Platanus orientalis* leaves to air pollution in Tehran. *Iranian Journal of Forest*, 8(4), 431-443.
- Kord, B., Mataji, A., & Babaie, S. (2010). Pine (*Pinus Eldarica* Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1), 79-84.
- Laaksovirta, K., & Oikonen, 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.
- Leghari, S.K., & Zaidi, M.A. (2013). Effect of air pollution on the leaf morphology of common plant species of Quetta city. *Pakistan Journal of Botany*, 45, 447-454.



- Manoochchri, K., Shirvany, A., Attarod, P., & Khodakarami, Y. (2016). Dust filtration ability of *Fraxinus rotundifolia*, *Platanus orientalis*, and *Robinia pseudoacacia* trees in Kermanshah, West of Iran. *Iranian Journal of Forest*, 8(1), 1-10.
- Moraes, R.M., Delitti, W.B.C., & 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.
- 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.
- Ogunkunle, C.O., Abdulrahman, A.A., & 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.
- Oliva, S.R., & 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.
- Onder, S., & 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.
- 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.
- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., Langenfeld-Heyser, R., & 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.
- Qin, X., Sun, N., Ma, L., Chang, Y., & Mu, L. (2014). Anatomical and physiological responses of Colorado blue spruce to vehicle exhausts. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 11094-11098.
- Raven, P.H., & Johnson, G.B. (1986). *Biology*. St Louis: Times mirror, Mosby College Publishing.
- Salehi, A., Tabari, M., & Shirvani, A. (2014). Survival, growth and Pb concentration of *Populus alba* (clone 44/9) seedling in Pb-contaminated soil. *Iranian Journal of Forest*, 6(4), 419-433.
- Sawidis, T., Marnasidis, A., Zachariadis, G., & Stratis, J. (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.
- Sawidis, T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, P., & Tsigaridas, K. (2011). Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution*, 159, 3560-3570.
- Tehran Air Quality Control Company (AQCC) (2014). *The annual report of air quality in Tehran*, Tehran Municipality Press.
- WHO (1999). *Health costs due to road traffic-related air pollution, An impact assessment project of Austria, France and Switzerland*. World Health Organization, Copenhagen.
- Ye, Z., Baker, A.J., Wong, M.H., & Willis, A.J. (1998). Zinc, lead, and cadmium accumulation and tolerance in *Typha latifolia* as affected by iron plaque on the root surface. *Aquatic Botany*, 61(1), 55-67.



## Heavy metal accumulation in needles of *Pinus eldarica* and leaves anatomical responses to the urban pollution

<sup>1</sup>E. Khosropour, P. Attarod<sup>2\*</sup>, A. Shirvani<sup>3</sup>, V. Bayramzadeh<sup>4</sup>, and M. Moeinaddini<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

<sup>3</sup> Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

<sup>4</sup>Associate Prof., Department of Wood Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I.R. Iran

<sup>5</sup>Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

(Received: 5 March 2016; Accepted: 24 June 2016)

### Abstract

Atmospheric heavy metals pollutions affect needles anatomical properties of coniferous trees. The present study investigated the accumulation of cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu), nickel (Ni), and chromium (Cr) on needles of *Pinus eldarica* and leaves anatomical responses to urban pollutions in downtown of Tehran Mega city (Keshavarz Boulevard, henceforth KB) as the highest polluted area and in the Chitgar Forest Park (hereafter CFP), west of Tehran, as the lowest. To achieve this, needles were collected in 2015, summer season and structural characteristics needles, i.e., leaf surface, stomatal density, width and length of stomata, as well as epidermis and cuticle thickness, were measured. The results exhibited that the concentrations of Cd, Pb, Cr, and Cu in KB were 0.51, 8.41, 0.51 and 4.2 µg/g, respectively, which were more than those in the CFP (0.05, 2.18, 0.1 and 3.8 µg/g, respectively). No significant difference, however, was detected between KB and CFP in terms of Zn and Ni concentrations. Leaf area in KB (0.132 cm<sup>2</sup>) was less than that in CFP (0.137 cm<sup>2</sup>). Stomatal density and length in KB were 92 per mm<sup>2</sup> and 20.9 µm, respectively, against those of CFP (112 per mm<sup>2</sup> and 24.13 µm). Upper and lower epidermises in KB (5.3, 5.4 µm, respectively) was significantly thinner than those in CFP (6.2, 6.1 µm). The observed changes in anatomical properties are physiological and structural strategies of *P. eldarica* leaves against stress tolerance induced by urban pollutions. *P. eldarica* is anatomically sensitive to the pollutants concentrations measured in this study and needle leaves structural characteristics change to adapt to the pollution stress.

**Keywords:** Anatomical properties, Heavy metals, *Pinus eldarica*, Urban pollution.