علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۰

مقایسه قابلیت برگ درختان برای ترسیب ذرات معلق هوا با تحلیل تصاویرمیکروسکوپ الکترونی

سارا عباسی [۱]

سید محسن حسینی [۲*]

hosseini@modares.ac.ir

نعمت اله خراسانی [۳]

عبدالرضا کرباسی [۴]

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۸ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۵**

چکیده

زمینه و هدف: در مطالعه حاضر ویژگی ذرات ترسیب شده بر سطح برگ درختان گونه‌های چنار (*Platanus orientalis*)، نارون (*Ulmus carpinifolia*)، اقاقیا (*Robinia pseudacasia*)، توت (*Morus alba*) و زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) در حاشیه یکی از خیابان‌های پرتردد در تهران(محدوده میدان آزادی)با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آشکارساز آنالیز عنصری (SEM-EDX) بررسی شد و قابلیت برگ گونه‌های درختی مختلف برای ترسیب ذرات مقایسه شد.

روش بررسی : از هر گونه درختی یک پایه انتخاب شد. پایه های درختی سالم و در کنار یکدیگر در حاشیه یک خیابان پرترافیک قرار داشت. تاج پوشش درختان از یکدیگر جدا بود. برگ‌های سالم از ارتفاع۲ الی۲/۵ متری از سطح زمین از بیرونی‌ترین قسمت تاج‌پوشش درختان در سمت خیابان چیده شد. برای تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی از سطوح برگ ها، نمونه ها در آزمایشگاه آماده سازی شد. بیش از ۵۰ ذره با آنالیز آشکارساز عنصری بررسی شد. درصدجرمی عناصر هر ذره ثبت شد. قطر معادل برای هر ذره‌ای که توسط SEM-EDXتصویر آن تهیه شده بود، در نرم افزارImageJ به‌صورت دستی اندازه‌گیری شد. از برگ‌ها با استفاده از اسکنر تصویر با فرمتJpg تهیه و با نرم‌افزار Imagej مساحت برگ‌ها تعیین شد. وزن ذرات ترسیب شده بر برگ هر درخت نیز توزین شد.

یافته ها : ۲۱عنصر در ذرات شناسایی شد. بیش از ۵۰ ذره آنالیز شد. عناصر کربن، اکسیژن، آهن، سیلیس بیش‌ترین درصد جرمی و عناصر کربن، کلسیم، سیلیس، اکسیژن، آهن و پتاسیم بیشترین درصد حضور در ذرات را داشتند. ذرات با قطر کمتر از ۲/۵میکرومتر

۱- دانشجوی دکتری محیط‌زیست. دانشکده محیط‌زیست و انرژی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ایران.

۲- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استاد گروه محیط زیست. دانشگاه تهران. دانشکده منابع طبیعی.

۴- دانشیار گروه محیط زیست. دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

فراوان‌ترین ذرات بودند. ذرات فلزی با قطر بین۲/۵تا۱۰ میکرومتر فراوان‌ترین ذرات فلزی بودند. قطر ذرات به‌ترتیب در چنار، توت، زبان‌گنجشک، اقاقیا، نارون بیش‌تر بود ولی مقایسه میانگین آماری قطرذرات ترسیب شده بر برگ درختان تفاوت آماری نشان نداد. این عدم تفاوت آماری ابعاد ذرات ترسیب شده بر برگ‌ها به دلیل یکسان بودن موقعیت قرارگیری پایه های درختان نسبت به منبع انتشار ذرات و مشابه بودن منابع انتشار ذرات است. بیش‌ترین میزان ذرات ترسیب شده روی سطح برگ به ترتیب در چنار، نارون، زبان گنجشک، اقاقیا و توت بود.

بحث و نتیجه گیری : مساحت برگ، وجود کرک، زبری سطح برگ، وجود موم، وجود رگبرگ، شکل برگ نقش موثری در تغییرات ویژگی‌های ذرات انباشت شده بر سطح برگ درختان دارند.

واژه‌های کلیدی: ذرات معلق هوا، آنالیز ذرات منفرد، میکروسکوپ‌الکترونی روبشی، طیف‌سنجی‌پراش‌انرژی‌پرتوایکس، مرفولوژی برگ.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 3, June, 2021

Comparison of Trees' Leaves Capability to Deposit Air Suspended Particles Using Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis

Sara Abbasi [1]
Seyed Mohsen Hosseini [2*]
hosseini@modares.ac.ir
Nematollah Khorasani [3]
Abd al-Reza Karbasi [4]

Admission Date:October 28, 2019 Date Received: November 29, 2017

Abstract

Background and Objective: In this study, the characteristics of particles deposited on the surface of the leaves of species of *Platanus orientalis*, *Ulmus carpinifolia*, *Robinia pseudacasia*, *Morus alba*, and *Fraxinus* excelsior in the sideline of one of the crowded streets of Tehran (around Azadi Square) were investigated using scanning electron microscopy(SEM)and energy dispersive X-ray analysis.

Method: A base was selected from each tree species. The tree bases were safe and next to each other on the sideline of a high-traffic street. The canopy of the trees was separated from each other. Healthy leaves were placed from a height of 2 to 2.5 meters above the ground surface from the outermost part of the canopy of trees on the street side. Samples were prepared in the laboratory for imaging with electron microscopy of the surfaces of leaves. More than 50 particles were investigated by elemental detector analysis. The mass percentage of the elements of each particle was recorded. The equivalent diameter for each particle that its image had been prepared by SEM-EDX was measured manually in ImageJ software. The leaves were prepared using an image scanner in Jpg format and the area of the leaves was determined by Image J software. The weight of the particles sequestrated on the leaves of each tree was also weighed.

Findings: the weight of deposited particles was measured and the leaves' capability of different species of tress to deposit particles was compared. This study is one of the few ones on elemental analysis of individual particles in Iran and it is the first time that the deposited particles on the leaves of trees are studied through this method. Twenty-one elements were detected in particles. Carbon, Oxygen, Iron, and Silica had the highest mass frequency and Carbon, Calcium, Silica, Oxygen, Iron and Potassium had the highest percentage of presence in particles. Particles less than 2.5 micrometers in diameter were the most abundant ones. Metal particles with a diameter between 2.5 to10 micrometers were the most abundant metal particles that were observed. The mean comparison of the diameter of deposited particles on the leaves of tress showed no significant difference between them. Particles' diameter was higher in *Platanus orientalis*, *Morus alba*,

1- Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Tehran Islamic Azad University, Theran, Iran
2- Faculty of Natural Resources &Amp, Marine Sciences, Tarbiat Modares University (TMU), Noor, Mazandaran, Iran *(Corresponding Author)
3- Faculty of Environmental Studies, Tehran University, Iran
4- Faculty of Environment, University of Tehran, Iran

Fraxinus excelsior, *Robinia pseudacasia* and *Ulmus carpinifolia*, respectively. The highest rate of deposited particles on the leaf surface belonged to *Platanus orientalis*, *Ulmus carpinifolia*, *Fraxinus excelsior*, *Robinia pseudacasia* and *Morus alba*, respectively.

Discussion and Conclusion: Leaf area, cracks, leaf surface roughness, wax, veins, and leaf shape have an effective role in changing the properties of deposited particles on the surface of the trees' leaves.

Keywords: Electron Microscope, Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, Air Suspended Particles, Trees' Leaves.

مقدمه

درختان دارای پتانسیل بالایی برای به دام انداختن ذرات آلاینده هستند؛ این پتانسیل به نوع گونه و به سرعت رسوب ذرات و نیز ویژگی‌های گونه و سطح برگ بستگی دارد(1,2). ذرات گرد و غبار هوا به‌طور عمده روی قسمت‌های خارجی گیاهان می‌چسبند(3). برگ‌های درختان به عنوان جمع‌آوری کننده‌های زیستی ذرات آلاینده اتمسفری عمل می‌کنند(3, 4). برگ‌ها حساس‌ترین بخش یک گیاه هستند(4, 5). حساسیت برگ‌ها مبتنی بر این واقعیت است که عمده فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه از طریق برگ‌ها صورت می‌گیرد. مونیتورینگ آلاینده‌ها با کمک تجزیه و تحلیل نمونه‌های درختان به دلیل ارزان بودن و سادگی جمع‌آوری مفید است(6). پوشش گیاهی واجد عملکردهای متعددی است. برای بهینه‌سازی مزایای درختان در کارکردهای مختلف شهری گام اول مستندسازی قابلیت‌های آنها است. گزینش گونه کارآمد منوط به شناخت ساختار و صفات و عملکرد آن گونه است. آنالیز ذرات منفرد با تحلیل میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس(SEM-EDX) اطلاعات اندازه ذرات[1] و شکل ذرات[2] را فراهم می‌کند. مشخصه‌های تفصیلی ذرات اتمسفری منفرد می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره منابع، شرایط اتمسفری، شرایط شکل‌گیری و واکنش‌پذیری و مسیرهای انتقال اتمسفری فراهم سازد(7). تلفیق آنالیزSEM–EDX با مفاهیم پایش‌زیستی نمونه‌های گیاهی از روش‌های مقرون به‌صرفه و سریع و کارآمد برای تعیین و تحلیل ذرات آلاینده در محیط‌های شهری و مناطق صنعتی است. در پژوهش حاضر به‌عنوان یک مطالعه مقدماتی به طور اجمالی به قابلیت‌ها و کارایی کاربرد آنالیز SEM-EDX در پایش‌زیستی ذرات در محیط‌های آلوده شهری و صنعتی پرداخته شد. این مطالعه در زمره معدود مطالعات آنالیز فردی عناصر ذرات هوا در ایران است و تاکنون ذرات ترسیب شده بر برگ درختان با این روش در ایران بررسی نشده است. در مطالعه حاضر ضمن مقایسه ویژگی‌های ذرات ترسیب شده بر روی سطح برگ درختان پهن‌برگ فضای سبز شهری، به اهمیت دانش حاصل از مطالعات ساختار گیاهان برای تعیین عملکرد آنها در شرایط تنش پرداخته شد.

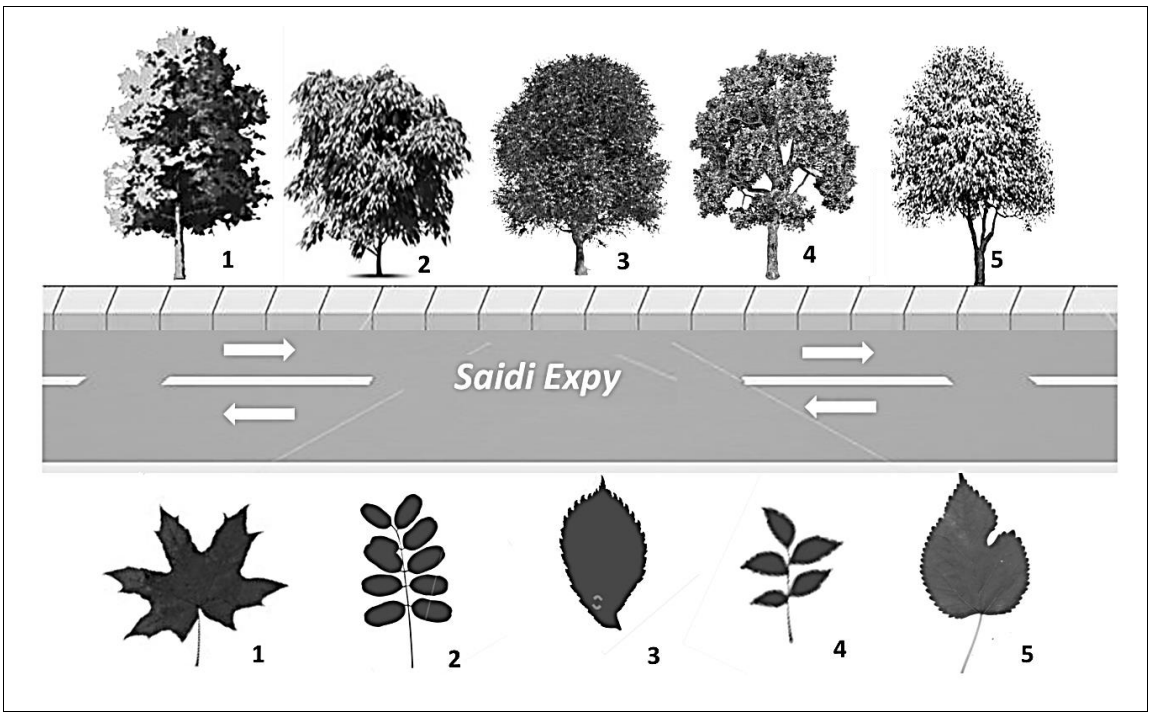
روش مطالعه

در محیط‌های شهری در حاشیه خیابان‌ها غالبا از پوشش درختی استفاده می‌شود. از بین فراوان‌ترین گونه‌های درختی که در تهران کاشته می‌شود گونه‌های چنار(*Platanus orientalis*)، نارون (*Ulmus carpinifolia*)، اقاقیا (*Robinia pseudacasia*)، توت(*Morus alba*) و زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*) برای بررسی رسوبات انباشته شده بر سطوح برگ آنها انتخاب شدند. سطح برگ این گونه‌ها از نظر مساحت، کرک، موم و زبری و نرمی متفاوت از یکدیگر است. با درنظرگرفتن فاصله از خیابان، همگن بودن موقعیت قرارگیری پایه‌های درختی در برابر وزش باد و تابش خورشید و فاصله از اماکن مسکونی تجاری و صنعتی در حاشیه خیابان از هر گونه۱پایه انتخاب شد. این پایه‌ها در کنار یکدیگر قرار داشتند و به‌صورت خطی کاشته شده‌اند و تاج آنها مجزا از یکدیگر بود (شکل۱). در شکل۱طرح شماتیک از موقعیت قرارگیری درختان نسبت به خیابان و برگ‌های گونه‌های مورد

1- Particle Size
2- Particle Shape

مطالعه نشان داده شده است. محل نمونه‌برداری در غرب تهران

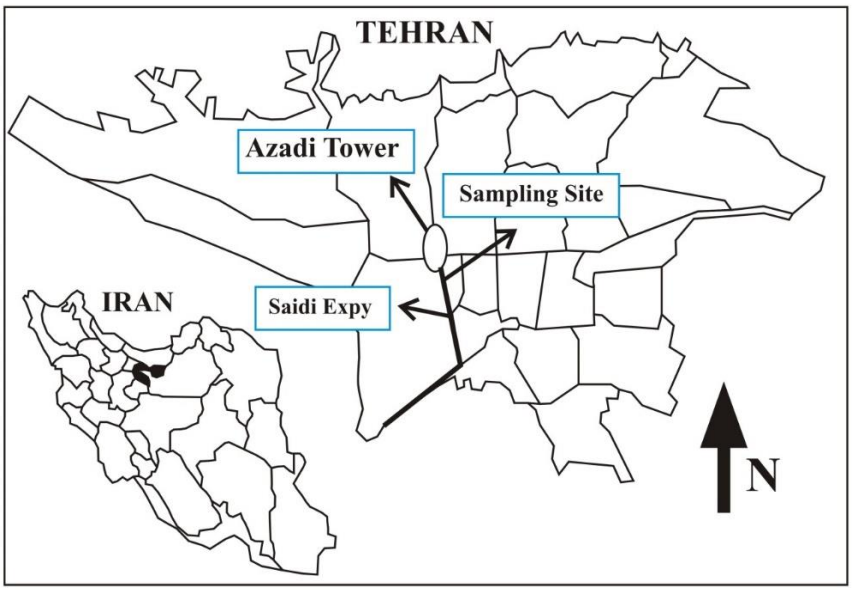
در محدوده میدان آزادی بود(شکل۲).



شکل۱- تصویر شماتیک از موقعیت قرارگیری گونه‌های درختی در حاشیه خیابان و برگ گونه‌های درختی:

۱چنار (*Plantanus Orientalis*) ۲ اقاقیا (*Robinia Pseudacasia*). ۳ نارون (*Ulmus Carpinifolia*).۴: زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*). ۵: توت(*Morus alba*)

Figure1. Schematic Image of the Location of Tree Species on the Sideline of the Street and the Leaves of Tree Species



شکل ۲ - محل نمونه‌برداری از برگ درختان در غرب تهران –ایران

Figure 2. Sampling Site of Tree Leaves in the West of Tehran - Iran

برگ‌های کاملا سالم از ارتفاع۲ الی۲/۵متری از سطح زمین از بیرونی‌ترین قسمت تاج‌پوشش درختان در سمت خیابان چیده شد. برگ‌ها با کم‌ترین میزان تماس با دست در نایلون‌های پلاستیکی و در مخزن یخ قرار داده شد و با احتیاط به آزمایشگاه منتقل شد. برای مشاهدات میکروسکوپ الکترونی و آنالیزEDX (آشکارساز آنالیز عنصری) نمونه‌ها در مکان خشک به‌دور از نور خورشید در دمای معمولی اتاق خشک شدند. در آزمایشگاه با دقت فراوان بخش‌هایی از قسمت‌های میانی پهنک برگ‌ها برش داده شد و روی یک نوار چسب دوطرفه کربنی که روی یک پایه مسی قرارداشت منتقل شد. نمونه‌ها در دستگاه وکیوم قرار گرفت و با لایه طلا پوشانده شدند. سپس از نمونه‌ها تصویر تهیه شد. بیش از ۵۰ ذره با آنالیز آشکارساز عنصری بررسی شد. برای بررسی ذرات فلزی از سیستم تصویربرداریBSE استفاده شد و درصدجرمی عناصر هر ذره ثبت شد. در مطالعه حاضر آن‌دسته از ذراتی که عناصر فلزی نظیر آهن و یا سرب در آنها غنی‌شده و درصدجرمی بالای۵۰٪ دارد به‌عنوان ذرات فلزی درنظرگرفته‌شد.

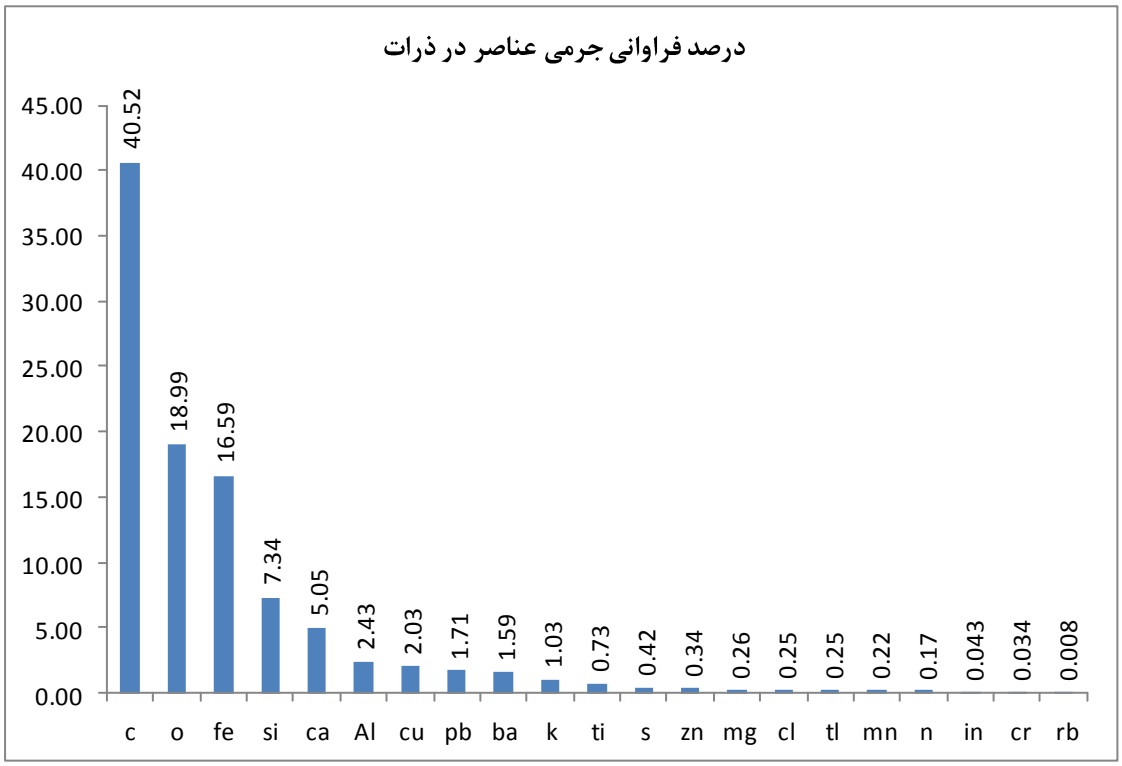
از آنجایی‌که ذرات در روی سطح برگ در بین بافت گیاه ترسیب شده و قرار دارند، از قابلیت‌های اندازه‌گیری اتوماتیک قطر ذرات در نرم‌افزارهای آنالیز تصاویر نمی‌توان استفاده کرد. از اینرو برای اندازه‌گیری قطر ذرات تصاویر در نرم افزارImageJ قرارگرفت و قطر معادل برای هر ذره‌ای که توسط SEM-EDX تصویر آن تهیه شده بود، به‌صورت دستی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر ذره، روی ذره یک محور مختصات که محورYدر راستای شمالی، جنوبی و محورX در راستای شرقی، غربی تصویر بود درنظر گرفته شد. خط‌های منطبق بر محورهایYوX قطر بزرگ و کوچک ذره درنظر گرفته شد. سپس میانگین قطرها اندازه‌گیری شده و قطر معادل ذره محاسبه شد. برای تعیین توزیع اندازه قطر ذرات طیفی به‌صورت زیر درنظر گرفته شد: ذرات با قطر معادل کمتر از۲/۵ میکرومتر، ذرات با قطر بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر و ذرات با قطر معادل بالای ۱۰ میکرومتر. قطر اندازه‌گیری شده ذرات ترسیب شده بر روی برگ‌های گونه‌های درختی مختلف تعیین و مقایسه شد. قطر ذرات فلزی نیز به‌طور جداگانه مقایسه شد.

برای تعیین وزن ذرات ترسیب شده بر برگ هر درخت، در آزمایشگاه برگ‌های تازه در ظروف شیشه‌ای با ۲۰۰ سی‌سی آب مقطر دو بار تصفیه شده به‌طور کامل شستشو داده شدند و به کمک برس‌های بسیار نرم کلیه سطوح برگ تمیز شد. فیلترهای کاغذی ابتدا وزن شده و سپس به مدت ۱۰دقیقه در آون قرار داده شد. آب حاصل از شستشوی برگ‌ها از فیلترها عبور داده شد. فیلترها در آون به مدت ۴۵ دقیقه در دمای۶۰ درجه قرارداده شد. وزن فیلترها با ترازوی دیجیتالی با دقت۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. از برگ‌ها با استفاده از اسکنر تصویر با فرمت Jpg تهیه و با نرم‌افزار Image J مساحت برگ‌ها تعیین شد.

نتایج

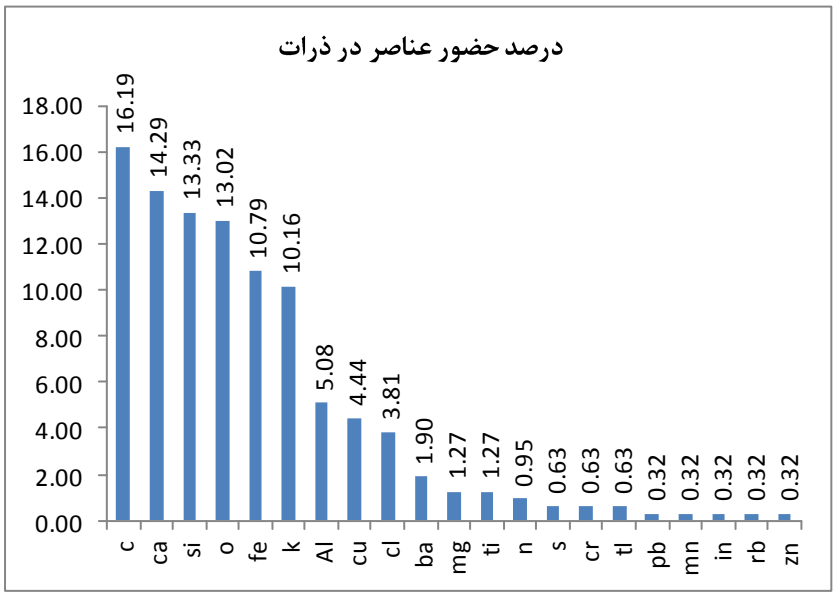
- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات

در کل ذرات آنالیز شده، ۲۱عنصر شناسایی شد(شکل۳). درصد فراوانی جرمی هر یک از این عناصر در شکل۳ آمده است. عناصر کربن، کلسیم، سیلیس، اکسیژن و آهن بیشترین حضور را در ذرات داشتند(شکل۴).



شکل۳- درصد فراوانی جرمی عناصر در ذرات شناسایی شده با آنالیز ذرات منفرد SEM-EDX

Figure 3. Percentage of Mass Frequency of Elements in Particles Identified by SEM-EDX Single Particles Analysis



شکل۴- درصد حضور عناصر در ذرات شناسایی شده با آنالیز ذرات منفرد SEM-EDX

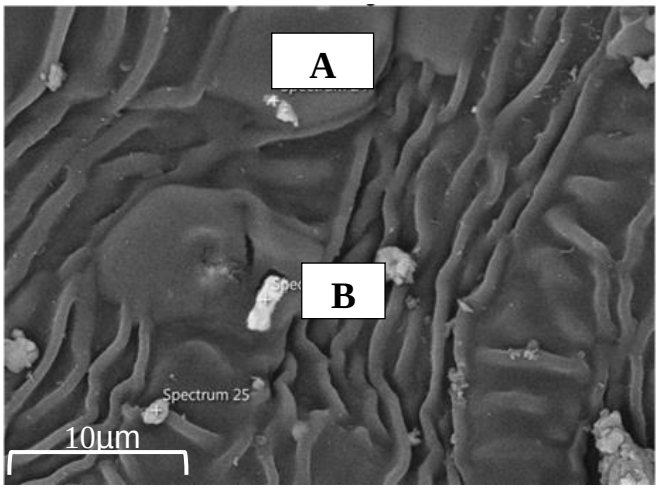
Figure 4. Percentage of the Presence of Elements in Particles Identified by SEM-EDX Single Particles Analysis

ذرات با شکل ساختاری متنوع اعم از کروی۵۵٪، مکعبی۱۴٪، توده نامنظم۱۲٪، اشکال نامنظم۱۰٪ و اشکال نامنظم با حاشیه مضرسی و زاویه‌دار۱۰٪دیده شد(شکل۴). ذرات غنی‌شده با فلزات آهن، آلومینیوم، باریوم، سرب و مس اشکال متنوعی داشتند که به‌ترتیب: شکل ساختاری کروی۲۹٪، مکعبی۲۱٪،

نامنظم زاویه دار۲۱٪، توده مجتمع نامنظم۱۴٪و اشکال نامنظم۱۴٪دیده شد(شکل۵).

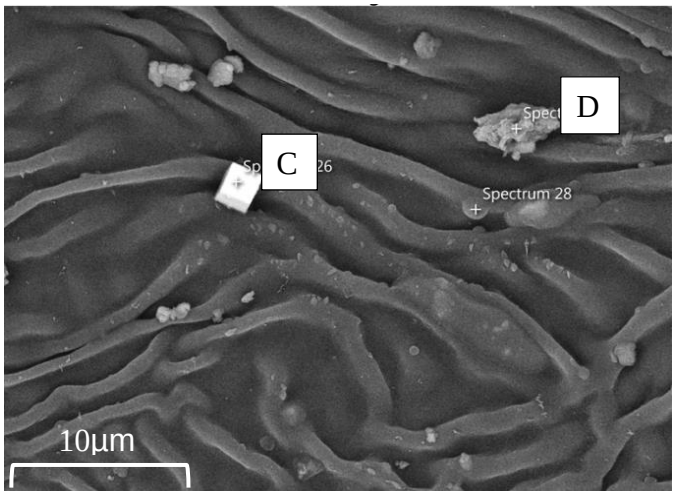
A)
C: ۲/۹۷ %, Fe:۱/۱%, K:۱/۰%, Cl:۰/۵%,
Ca:۰/۱%

B)
Fe:۸۵/۶%, C:۱۲/۹%, Si:۱/۳%, Cu:۰/۲%

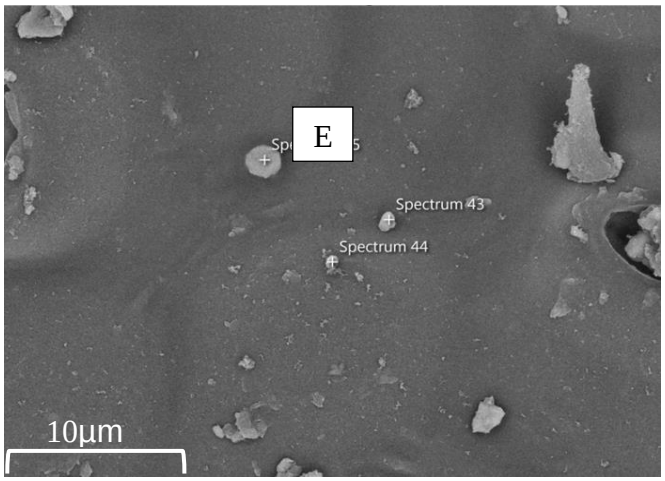


C)
Pb:۹۰/۴%, C: ۹/۵%, Cu:۰/۱%

D)
C:۳۵/۵%, O:۲۷/۸%, Ca:۲۰/۶%,
Si:۱۲/۶%, Al:۲/۸%, K:۱/۳%, Cu:۰/۱%



E)
O:۳۳/۳ %, C:۲۹/۲ %, Ca:۱۳/۴ %,
Si:۱۲/۶%, S:۹/۷%, K:۱/۸%



شکل۵-تنوع ریخت‌شناسی ذرات شناسایی شده. A) نامنظم زاویه‌دار. B) نامنظم فلزی. C) مکعبی فلزی D) توده مجتمع نامنظم E) ذره کروی. درصدجرمی عناصر هر یک از ذرات در تصویر نشان داده شده است.

Figure 5. Identified Morphological Diversity of Particles A) Irregularly Angled B) Irregular Metal C) Metal Cube D) Irregularly Integrated Mass E) Spherical Particle. The mass percentage of the elements of each one of the particles has been shown in the figure.

ذرات کربن مشتمل بر ذرات دوده، ذرات غنی‌شده با کربن و ذرات کربن‌دار هستند. ذرات دوده و کربن‌دار از اگزوز خودرو و احتراق سوخت‌های فسیلی با اکتان پایین و برخی از ذرات غنی‌شده با کربن احتمالا منشا طبیعی دارند. ذرات آهن‌دار با ریخت‌شناسی متنوع از جمله ریخت‌شناسی نامنظم، زاویه‌دار و کروی دیده شد. ذرات آهن می‌تواند از استهلاک قطعات داخلی و بیرونی خودروها و از اگزوز خودروها و نیز صنایع منتشر شود. عناصری نظیر باریوم، سرب و مس نیز از عناصر متداول در گرد و غبارهای خیابانی هستند. عناصر کمیابی نظیر روبیدیم در اثر احتراق در دمای بالا و فرسایش آلیاژهای سخت منشا می‌گیرند. حضور سیلیس در نمونه‌ها ممکن است متاثر از کانی‌های طبیعی ناشی از فرسایش خاک‌های اطراف باشد با این وجود بخشی از اکسید سیلیس مرتبط با آزبست است.

دامنه توزیع قطر ذرات بین۰/۳۷ میکرومتر الی ۳۰/۶۸ میکرومتر و دامنه توزیع قطر ذرات فلزی شناسایی شده بین ۰/۸۸ میکرومتر الی ۲۷/۹۹ میکرومتر بود.

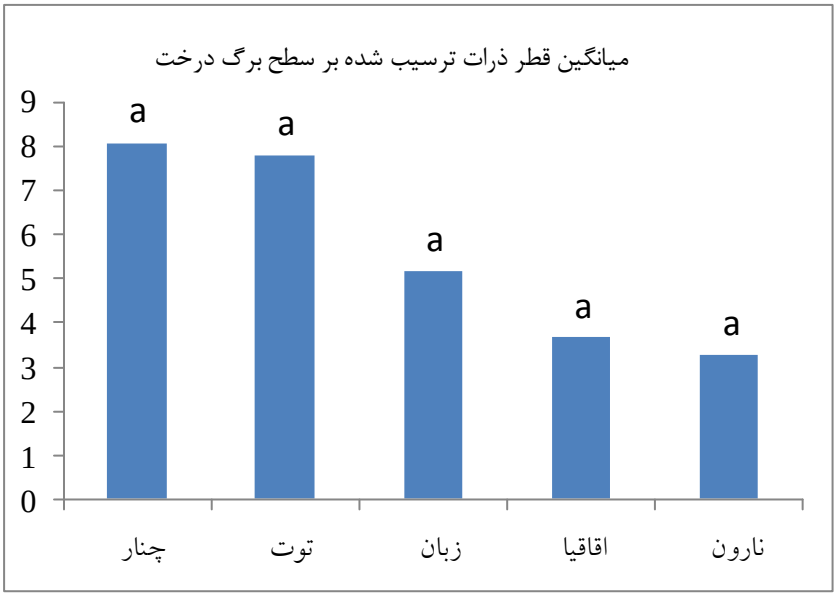
طبقه‌بندی قطر ذرات نشان می‌دهد قطر معادل۵۳٪ ذرات زیر ۲٫۵ میکرومتر باشد و قطر معادل۳۴٪ ذرات بین ۲/۵تا۱۰ میکرومتر و ۱۳٪ ذرات بالای۱۰میکرومتر است. قطر معادل۱۸٪ ذرات فلزی زیر۲/۵میکرومتر، قطر معادل۴۶٪ذرات فلزی بین۲/۵الی۱۰میکرومتر و ۳۶٪ ذرات قطر بالای۱۰میکرومتر دارند(جدول۱).

جدول۱- توزیع قطر ذرات مشاهده شده با SEM-EDX

Table 1.Particles Diameter Distribution Observed with SEM-EDX

طبقه بندی قطر ذرات	درصد فراوانی قطر ذرات	
(میکرومتر)	کل ذرات	ذرات فلزی
۲/۵ >	۵۳	۱۸
۱۰ > قطر ذره ≥ ۲/۵	۳۴	۴۶
۱۰ ≤	۱۳	۳۶

مقایسه میانگین قطر ذرات ترسیب شده بر سطح برگ هر یک از درختان تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد(شکل۶).

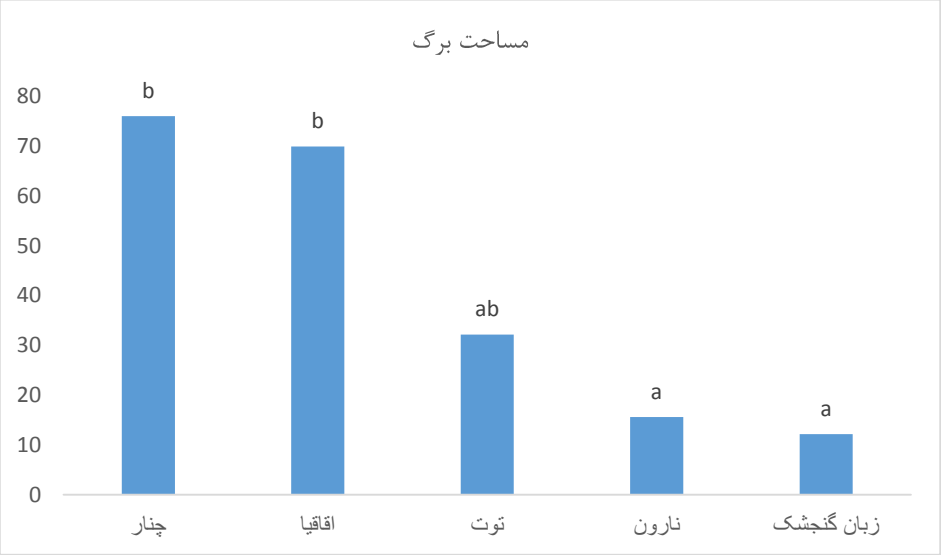


شکل۶- میانگین قطر ذرات ترسیب شده بر برگ درختان مورد مطالعه

Figure 6. Average Diameter of Particles Sequestrated on the Leaves of the Studied Trees

- میانگین مساحت برگ گونه‌ها

مقایسه میانگین مساحت برگ‌های گونه‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد(Sig.,۰/۰۰۰). چنار بیش‌ترین مساحت و زبان گنجشک کم‌ترین مساحت تک برگ را داشتند (شکل۷). بر اساس نتایج در این مطالعه متوسط سطح برگ در چنار۷۶/۰۰۷، اقاقیا۶۹/۸۹، توت۳۲/۱۵، نارون۱۵/۶و زبان گنجشک ۱۲/۱۶سانتی‌متر بود.

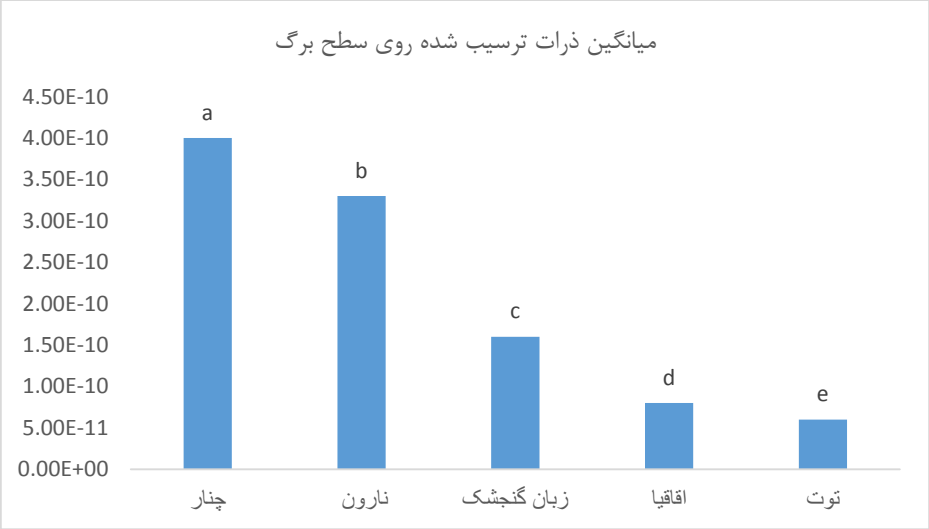


شکل۷-مقایسه میانگین آماری مساحت تک برگ گونه‌های مورد مطالعه

Figure 7. Comparison of the Statistical Mean of Single Leaf Area of Studied Species

- میانگین وزن ذرات انباشته‌شده روی سطح برگ گونه‌ها

نتایج نشان داد که گرد وغبار انباشته شده بر روی سطح برگ گونه‌های درختی با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌داری دارد (Sig۰/۰۰۰) (شکل۸). بیش‌ترین میزان ترسیب ذرات بر روی برگ چنار اتفاق افتاده است. توت کم‌ترین میزان ترسیب را داشته است. ضریب همبستگی بین مساحت برگ و وزن ذرات ترسیب شده معنی‌دار نبود (Sig۰/۳۴۱) این بدین معنی است که مساحت برگ به‌تنهایی عامل تعیین‌کننده‌ای برای افزایش جذب ذرات نیست.



شکل۸- میزان ذرات ترسیب شده در واحد سطح در برگ درختان مورد مطالعه

Figure 8. The Amount of Particles Sequestrated in Unit Area in the Leaves of the Studied Trees

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه۲۱ عنصر شناسایی شد. ترکیب شیمیایی و ریخت‌شناسی ذرات شناسایی شده بر سطح برگ نشان می‌دهد که منابع انتشار این ذرات منابع طبیعی، فعالیت‌های انسانی و ترکیبی از این دو منبع هستند. نتایج نشان داد که ترکیبات کربن و فلزاتی نظیر آهن می‌توانند از منشا طبیعی و یا از فعالیت‌های انسانی نظیر تردد خودروهای فرسوده، سوخت‌های با کیفیت پایین منتشر شوند. توزیع اندازه قطر ذرات طیف وسیعی را در بر می‌گیرد. ذرات با قطر زیر۲/۵ میکرومتر برای سلامتی انسان مضر هستند. عناصر فلزی که در ذرات گرد و غبار حمل می‌شوند با ورود به پیکره موجودات زنده وارد زنجیره غذایی شده و از طریق تنفس به بدن انسان وارد شده و ایجاد مسمومیت کند. برخی از این عناصر نظیر سرب به‌دلیل پایداری در طبیعت و اثرات هم‌افزایی که با دیگر عناصری نظیر کروم دارند در مقادیر کم نیز می‌توانند ایجاد آلایندگی و خطر نمایند. توانـایی جذب گرد و غبار در گونه‌های مختلف یکسان نیست(8, 9). برخی از گیاهان ویژگی‌هایی از قبیل کرک را توسعه داده‌اند که تراکم کرک به‌طور موثری بر ضبط و نگهداری رسوبات گرد و غبار بر سطح برگ موثر است(10). در مطالعه حاضر افزایش میزان رسوبات در واحد سطح در گونه چنار می‌تواند ناشی از وجود کرک در دو سطح فوقانی و تحتانی پهنک برگ چنار است. زبری سطح برگ‌ها تاثیر زیادی بر میزان و ابعاد ذرات انباشته شده بر برگ‌ها دارد(11, 12). برگ با سطح خشن و زبر در مقایسه با برگ‌های صاف در جذب ذرات موثرتر هستند(8). بالا بودن میزان ذرات در سطح برگ نارون و کاهش چشمگیر رسوبات در سطح برگ اقاقیا علی رغم بالا بودن مساحت برگ در اقاقیا موید نقش موثر زبری سطح برگ در جذب ذرات است. فزونی میزان نشست رسوبات بر سطح برگ چنار در مقایسه با زبان گنجشک و اقاقیا در دیگر مطالعات نیز تاکید شده است(13). مقایسه قطر ذرات ترسیب شده بر سطح برگ درختان تفاوت آماری نشان نداد. از آنجایی‌که نمونه ها همگی از یک ناحیه جمع‌آوری شده‌اند تشابه سایز ذرات دور از انتظار نیست؛ با این‌وجود بررسی علت نیاز به مطالعات تکمیلی دارد. چنار با دارا بودن سطح برگ پوشیده از کرک و وجود کرک‌های چتری بیشترین توانایی را در جذب ذرات با ابعاد مختلف دارا است. سطح برگ نارون زبر و خشن است و سطح فوقانی برگ از رگبرگ‌های شانه‌ای پوشیده شده و حاشیه برگ اره‌ای است و نیز سطح برگ از کرک‌های منفرد پوشیده شده، بنابراین در سطح برگ منافذ زیادی برای نفوذ ذرات وجود

دارد. برگ توت تخم‌مرغی شکل بزرگ با دندانه‌های درشت است سطح فوقانی درخشان و سطح تحتانی از کرک‌های بیشتری برخوردار است. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید ذرات با ابعاد درشت‌تر به‌واسطه بزرگی پهنک برگ توسط توت ترسیب می‌شوند با این‌وجود به‌علت شکل ساختاری برگ توت ذرات بیشتر در معرض باد قرار دارند و از اینرو ذرات پس از ترسیب زودتر و با سهولت بیشتر از سطح برگ رها می‌شوند. در برخی از مطالعات اشاره شده است که تنها ۱۷٪ از ذرات گرد و غبار در سطح تحتانی پهنک برگ ترسیب می‌شوند(14) و نقش فیزیکی سطح فوقانی برگ در ترسیب ذرات بیشتر است. زبان گنجشک برگ‌های مرکب متشکل از برگچه‌هایی با لبه‌های دندانه‌ای ریز و برگچه‌های کوچک نوک‌دار دارد. سطح فوقانی برگ صیقلی و سطح تحتانی برگ فاقد کرک است. تعدد برگچه‌ها و وجود لبه‌های دندانه‌دار در برگ سبب ترسیب و نگهداشت ذرات می‌شود. برگ‌های اقاقیا تخم‌مرغی شکل کوچک و هر برگ از برگچه‌های نسبتا متقارنی تشکیل شده است. سطوح تحتانی و فوقانی برگ اقاقیا نرم است از اینرو ذرات ترسیب شده بر برگ به‌راحتی رها می‌شوند و مدت ماندگاری ذرات در سطح برگ کوتاه‌تر است با این‌وجود نوع ساختار تاج در اقاقیا در افزایش تجمع ذرات موثر است. در برخی از مطالعات اشاره شده است که برگ درختان با اندازه کوچک‌تر و سطح زبر و خشن می‌تواند گرد و غبار بیشتری در واحد سطح نسبت به برگ‌های صاف ترسیب نماید(15). در مطالعات متعددی به توانایی درختان در کاهش و تقلیل ذرات گرد و غبار در مناطق شهری و صنعتی اشاره شده است. این توانایی علاوه بر ساختار برگ، به توانایی برگ برای جذب ذرات به درون بافت‌ها، تحمل نسبت به تنش محیطی، نوع سازگاری‌های جبرانی در گیاه در مواجهه با آلاینده‌ها و هم‌چنین میزان و سرعت رسوب ذرات، اندازه ذرات و خواص شیمیایی ذرات نیز مرتبط است. هم‌چنین عوامل محیطی و اقلیمی نیز می‌تواند در میزان ترسیب ذرات موثر باشد. براین اساس لازم است ارتباط ویژگی‌های سطح برگ درختان از قبیل سایز و تراکم روزنه، تراکم کرک و ضخامت کوتیکول و موم و دیگر صفات ساختاری برگ بر میزان جذب ذرات بررسی شود.

در پژوهش حاضر به‌عنوان یک مطالعه مقدماتی به‌طور اجمالی به قابلیت‌ها و کارایی کاربرد آنالیزSEM-EDX در پایش-زیستی ذرات در محیط‌های آلوده شهری و صنعتی پرداخته شد. نتایج موید کارایی و دقت این آنالیز است. باتوجه به پتانسیل متفاوت گونه‌ها در ترسیب ذرات لازم است بسته به هدف کنترل و وضعیت محیط ترکیب مناسبی از گونه‌های درختی برای کنترل آلاینده‌ها در محیط‌های متفاوت انتخاب شوند.

Reference

1. Nikula, S. Manninen, S. Vapaavuori, E. & Pulkkinen, P. (2011). ***Growth, leaf traits and litter decomposition of roadside hybrid aspen (Populus tremula L. and P. tremuloides Michx.) clones***. Environmental Pollution. Vol 159, pp.1823 -1830
2. Hofman, J. tokkaer, Ines. Snauwaert, Lies. Samson, Roeland. (2012). ***Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles***. Environmental Pollution. Vol . pp. 1-10.
3. Kardel, F. K. Wuyts, B. A. Maher, R. Hansard,R. Samson. (2011). ***Leaf saturation isothermal remanent magnetization(SIRM)as a proxy for particulate matter monitoring: Inter-species differences and inseason variation***. Atmospheric Environment. Vol, 45.pp.5164-5171
4. Rai, P. K. (2013). ***Environmental magnetic studies of particulates with special reference to biomagnetic monitoring using roadside plant leaves.*** Atmospheric Environment. Vol, 72. pp. 113-129.
5. Urbat, M. Lehndorff, E. & Schwark, L. (2004). ***Biomonitoring of air***

quality in the Cologne conurbation using pine needles as a passive sampler-Part I: magnetic properties. Atmospheric Environment. Vol, 38. pp. 3781-3792

6. Sawidis, T. Breuste, J. Mitrovic, M. Pavlovic, P. & Tsigaridas, K. (2011). ***Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities***. Environ Pollut .Vol, . pp.1-11.
7. Labrada-Delgado, Gladis. Aragon-Pina, Antonio. Campos-amos, Arturo. Castro-Romero, Omar Amador-Munoz. Rafael,Villalobos-Pietrini. (2012) ***Chemical and morphological characterization of PM2.5 collected during MILAGRO campaignusing Scanning Electron Microscopy***. Atmospheric Pollution Research. Vol,3. pp. 289-300
8. Beckett, K. P. P. H. Freer-Smith, and G.Taylor, (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites, Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry,24 :1-21.
9. Cai, Y. H. (2010). Study on dust-retention effect and photosynthetic characteristics of urban keynote tree. Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese), Fuzhou, Fujian, China.
10. Burkhardt J. (2010). ***Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants?.*** Ecol Monogr; Vol, 80. pp.369–99.
11. Kardel, F. Wuyts, K. Khavaninzhadeh, A. R. & Wuytack, T. (2012). ***Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality***. Environmental Pollution. Vol. pp.1-8.
12. Jim, C. Y. & Chen, W. Y. (2008). ***Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou.*** Journal of Environmental Management. Vol, 88. pp. 665-676.
13. Manoochehri, K., P, Shirvany. A, Attarod. & Y, Khodakarami, 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. (In Persian)
14. Saebo, A. R. Popek. B. Nawrot. H.M. Hanslin. H. Gawronska. S.W. Gawronski. (2012). ***Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces***. Science of The Total Environment. Vol. 427–428, pp347–354
15. Liu, l., D. Guan, & Peart, M. R. (2012). ***The morphological structure of leaves and the dus retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China***.Environmental Science and Pollution Research.Vol. 19(8). pp. 3440-3449.