

تنوع مرفولوژیکی و ترکیب ذرات آلاینده هوا، ترسیب شده بر برگ درختان چنار، نارون و اقاچیا در تصاویر میکروسکوپ الکترونی

سارا عباسی^۱، سیدمحسن حسینی^{۲*}، نعمت‌اله خراسانی^۳ و عبدالرضا کرباسی^۴

۱- دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. (sara_abasi2005@yahoo.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)

۳- استاد، گروه محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (khorasan@ut.ac.ir)

۴- دانشیار، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (akarbasi@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷

چکیده

در این پژوهش شکل، ساختار و ترکیب عنصری ذرات ترسیب شده روی برگ درختان نارون، چنار و اقاچیا در مناطق آزادی و چیتگر در تهران با آنالیز ذرات با روش SEM-EDX بررسی شد. ویژگی‌های ۱۲۸ ذره با SEM-EDX تحلیل و ۳۴ عنصر شناسایی شد. قطر ذرات در آزادی بیشتر از چیتگر بود. میانگین قطر ذرات ۷/۲۶ میکرون بود. میانگین قطر ذرات به ترتیب در چنار ۱۳/۹۲، نارون ۱۰/۷۲ و اقاچیا ۳/۳۹ میکرومتر بود. ۴۵ درصد ذرات قطر کمتر از ۲/۵ و ۳۱ درصد ذرات قطری بین ۲/۵ تا ۱۰ و ۲۳ درصد ذرات بالای ۱۰ میکرومتر بود. توزیع اندازه ذرات فلزی در کل نمونه‌ها نشان داد که میانگین قطر ذرات فلزی ۱۴/۰۵ و قطر ۱۴/۲۸ درصد ذرات زیر ۲/۵ و ۴۲/۸۵ درصد بین ۲/۵-۱۰ و ۴۲/۸۵ درصد بالای ۱۰ میکرومتر بود. ساختارهای متنوعی از ذرات در نمونه‌ها مشاهده شد. ریخت‌شناسی ذرات نشان داد که منشأ تولید آنها منابع طبیعی و انسان‌ساز است. به‌طور کلی میانگین قطر ذرات ترسیب شده بر چنار و نارون بیشتر از اقاچیا بود. هم‌چنین توزیع قطر ذرات نشان داد که در چنار و نارون ذرات با ابعاد مختلف ترسیب شده است و در اقاچیا این تنوع ابعاد ذرات کمتر است.

واژه‌های کلیدی: شکل، اندازه، ترکیب عنصری، SEM-EDX، تهران.

مقدمه

میکروسکوپ الکترونی ابزار مفیدی است که خصوصیات ذرات معلق را فراتر از محدودیت‌های اعمال‌شده توسط تجزیه و تحلیل شیمیایی نشان می‌دهد (Xie et al., 2005, Rivera and Rodriguez, 2016). در آنالیز عنصری ذرات منفرد (Single particle study) اطلاعات تفصیلی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هر ذره به‌طور هم‌زمان کسب می‌شود و اطلاعات اندازه ذرات (Particle Size) و شکل ذرات (Particle Shape) و ترکیب عنصری ذره فراهم می‌شود (Pachauri et al., Deboudt et al., 2008). Lettino et al., 2013, 2017). اطلاعات کسب‌شده از تحلیل تصاویر SEM-EDX برای تحلیل و شفاف‌سازی منشأ ذرات و تعیین طبیعی یا انسان-ساخت بودن ذرات، سودمند است (Rivera and Rodriguez, 2016).

در ایران تعداد اندکی از پژوهش‌های ذرات معلق هوا در محیط‌های باز با استفاده از آنالیز ذرات منفرد با روش SEM-EDX وجود دارد. در این پژوهش‌ها ذرات تشکیل‌دهنده پدیده گردوغبار بررسی شده است (Arfaeina et al., 2016, Rajabi and Souri, 2015). Zarasvandi et al., 2011) و تاکنون ذرات ترسیب شده بر سطح برگ درختان در محیط‌های شهری با استفاده از آنالیز SEM-EDX بررسی نشده است. با توجه به مواردی که ذکر شد، هدف این پژوهش بررسی شکل، ساختار و ترکیب عنصری ذرات ترسیب شده روی برگ درختان نارون، چنار و افاقیا در مناطق آزادی و چیتگر در تهران با آنالیز ذرات منفرد در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

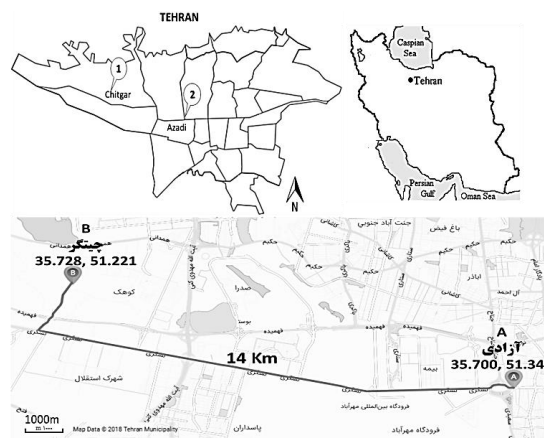
بخش عمده‌ای از مواد شیمیایی و آلاینده‌ها به‌صورت ذرات معلق در هوا وجود دارند (Mitchel and Lettino et al., 2017, Maher, 2009). گردوغبار (Dust) ممکن است به‌صورت مستقیم از منابع طبیعی مانند گردوغبارهای دریایی (Sea Spray)، آتش‌فشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها و ریزگردها و یا از منابع انسان‌ساخت مانند ترافیک، احتراق سوخت‌های فسیلی، دوده صنعتی (Carbon Black) و گردوغبار معادن زغال‌سنگ منتشر شوند (Öztürk et al., Rai, 2013). ذرات معلق در زمره مضرت‌ترین آلودگی‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌روند. طبق گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی تخمین زده شده که آلودگی هوا در مناطق شهری سالیانه منجر به مرگ ۱/۳ میلیون نفر در جهان می‌شود (Hofman et al., 2012). حضور ذرات در اتمسفر و ترکیب شیمیایی ذرات تأثیر قابل‌توجهی در آب‌وهوا و سلامت انسان و موجودات زنده دارد (Zeb et al., Lettino et al., 2017). به‌دلیل تأثیر ذرات اتمسفر بر محیط‌زیست، در سال‌های اخیر بررسی خواص فیزیکی (اندازه و شکل) و خواص شیمیایی (ترکیب عنصری) ذرات اهمیت قابل‌توجهی یافته است (Pachauri et al., 2013). گوناگونی منابع تولید ذرات معلق هوا موجب تفاوت در اندازه، شکل، درصد جرمی و ترکیب شیمیایی ذرات می‌شود (Salma et al., 2001). بنابراین درک توزیع اندازه و ترکیب شیمیایی ذرات معلق و مسیرهای ایجاد آنها به‌ویژه در فضاهای شهری ضروری است (Zeb et al., 2018).

در سال‌های اخیر استفاده از میکروسکوپ

الکترونی روبشی و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتوایکس (SEM-EDX) برای بررسی آلودگی ذرات هوا اهمیت پیدا کرده است (Zeb et al., 2018).

بالغ بر ۱۰۰۰ متر بود با این وجود به علت قرارگیری در غرب تهران و وفور صنایع کوچک و بزرگ و شرایط خاص توپوگرافی و وزش باد در تهران این منطقه نیز از تبعات آلاینده‌های هوا متأثر است. سایت ۲ محدوده پرتراфик میدان آزادی بود و نمونه‌ها از حاشیه خیابان جمع‌آوری شد. میدان آزادی از مناطق پرتردد ترافیکی در تهران است (شکل ۱).

برای نمونه‌برداری دو منطقه در غرب تهران انتخاب شد (شکل ۱). سایت یک در درون فضای سبز متراکم پارک جنگلی چیتگر تهران در ارتفاعات چیتگر در غرب تهران در خارج محدوده شهری قرار داشت. با توجه به کاربری پارک جنگلی چیتگر، در این سایت تردد خودروها در محدوده‌های نمونه‌برداری بسیار کم بود. فاصله افقی محل نمونه‌برداری در این منطقه تا بزرگراه تهران-کرج (از پرترددترین بزرگراه‌های ایران)



شکل ۱- موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری

Figure 1. Location of study area

با کمترین تماس با دست در نایلون‌های پلاستیکی و در مخزن یخ قرار داده شد و با احتیاط به اتاق تاریک و سر بسته‌ای که برای خشک کردن برگ‌ها در نظر گرفته شده بود، منتقل و در آنجا به دور از نور خورشید و در دمای معمولی اتاق خشک شدند. سپس به آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مرکز پژوهش‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور منتقل و در آنجا با دقت فراوان بخش‌هایی از قسمت‌های میانی پهنک‌برگ‌ها برش داده شد و روی یک نوارچسب دوطرفه کربنی که روی یک پایه مسی قرار داشت منتقل شد. نمونه‌ها در دستگاه وکیوم قرار گرفت و با لایه طلا پوشانده شدند. سپس از نمونه‌ها تصویر تهیه شد. ذرات با آنالیز آشکارساز عنصری

جمع‌آوری برگ‌ها و تهیه تصاویر از ذرات ترسیب‌شده بر برگ درختان

گونه‌های درختی چنار، نارون و افاقیا انتخاب شدند. این گونه‌ها از فراوان‌ترین گونه‌های کاشته‌شده در فضای سبز شهری در مناطق مورد بررسی هستند. از هر گونه سه پایه سالم و با تاج‌پوشش کامل در کمترین فاصله از خیابان و با فاصله برابر از خیابان انتخاب شد. ریخت‌شناسی سطح پهنک‌برگ این گونه‌ها با یکدیگر متفاوت است (شکل ۲). برای مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز آشکارساز عنصری (SEM-EDX) برگ‌های کاملاً سالم از ارتفاع ۲ الی ۲/۵ متری از سطح زمین از بیرونی‌ترین قسمت تاج‌پوشش درختان در سمت خیابان چیده شد. برگ‌ها

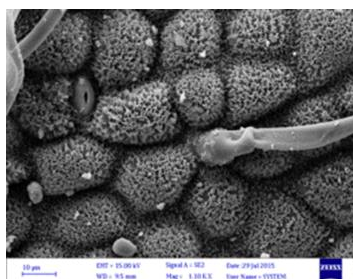
بررسی شدند. برای بررسی ذرات فلزی از سیستم تصویربرداری BSE استفاده و درصد جرمی محتویات هر ذره ثبت شد. از آنجایی که ذرات در روی سطح - برگ در بین بافت گیاه ترسیب شده، از قابلیت‌های اندازه‌گیری خودکار قطر ذرات در نرم‌افزارهای آنالیز تصاویر نمی‌توان استفاده کرد. برای اندازه‌گیری قطر ذرات تصاویر در نرم‌افزار ImageJ قرار گرفت و قطر معادل برای هر ذره‌ای که توسط SEM-EDX تصویر آن تهیه شده بود، به صورت دستی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر ذره، روی ذره یک محور مختصات که محور Y در راستای شمالی، جنوبی و محور X در راستای شرقی، غربی تصویر بود در نظر گرفته شد. خط‌های منطبق بر محورهای Y و X قطر بزرگ و کوچک ذره در نظر گرفته شد. سپس میانگین

قطرها اندازه‌گیری و قطر معادل ذره محاسبه شد. توزیع اندازه قطر ذرات بر اساس جدول ۱ انجام شد. آن دسته از ذرات که عناصر فلزی مانند آهن و یا سرب در آنها غنی شده است و درصد جرمی آهن بالای ۵۰ درصد بود آن ذره به عنوان ذره فلزی در نظر گرفته شد.

برای مقایسه میانگین قطر ذرات از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای مقایسه میانگین قطر ذرات در دو ناحیه آزادی و چیتگر آزمون تی مستقل و برای مقایسه میانگین ذرات ترسیب شده بر روی برگ گونه‌های مختلف از آزمون دانکن استفاده شد.

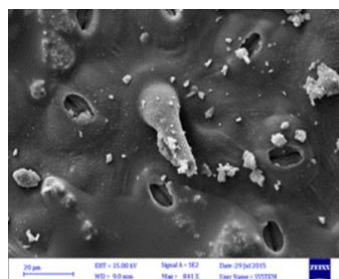
جدول ۱- طبقه‌بندی اندازه قطر ذرات بررسی شده

Table 1. Levels of Particle diameter			
طبقه	قطر ذره (میکرومتر)	طبقه	قطر ذره (میکرومتر)
Level	Diameter (μm)	Level	Diameter (μm)
2 - 2/5	طبقه ۵ Level 5	0.25 - 0/5	طبقه ۱ Level 1
2/5 - 10	طبقه ۶ Level 6	0/5 - 1	طبقه ۲ Level 2
10 <	طبقه ۷ Level 7	1 - 1/5	طبقه ۳ Level 3
		1/5 - 2	طبقه ۴ Level 4



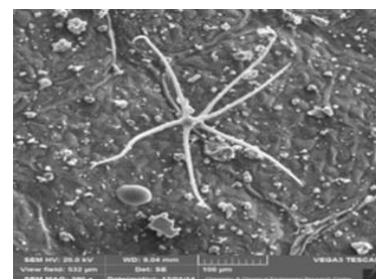
سطح برگ افاقیا

Robinia Pseudacasia



سطح برگ نارون

Ulmus Carpinifolia



سطح برگ چنار

Platanus Orientalis

شکل ۲- نمونه‌ای از سطح برگ، کرک، روزنه‌ها و ذرات معلق ترسیب شده در گونه‌های چنار، نارون و افاقیا

Figure 2. A sample of the surface of the leaf, trichome, stoma and sequestered particulates in Plane tree, Elm and Black locust species

نتایج

متفاوت بود. در جدول ۳ درصد فراوانی عناصر مشترک در هر دو ناحیه و درصد فراوانی عناصری که تنها در یک ناحیه مشاهده شده، آمده است. میانگین قطر ذرات در آزادی ۸/۰۱ و در چیتگر ۴/۴۱ میکرومتر بود و مقایسه میانگین قطر ذرات تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد (Sig.=۰/۰۱۵) (جدول ۴).

در این پژوهش ویژگی‌های ۱۲۸ ذره با SEM-EDX تحلیل شد. با استفاده از EDX غلظت عنصر در هر ذره بر اساس درصد جرمی ثبت شد. در کل نمونه‌ها ۳۴ عنصر شناسایی شد. درصد فراوانی جرمی هر یک از این عناصر در جدول ۲ آمده است. عناصر شناسایی شده و درصد جرمی آنها در آزادی و چیتگر با یکدیگر

جدول ۲- درصد فراوانی عناصر در ذرات بررسی شده

Table 2. The frequency percentile of elements in studied particles

کل Total	عنصر Element	کل Total	عنصر Element	کل Total	عنصر Element	کل Total	عنصر Element
0.06	مولیبدن Mo	0.18	قلع Sn	0.85	مس Cu	23.91	کربن C
0.06	رنیوم Re	0.18	پلاتین Pt	0.49	کلر Cl	20.72	اکسیژن O
0.03	استرانسیوم As	0.13	آنتیموان Sb	0.48	گوگرد S	16.28	آهن Fe
0.02	ایندیوم In	0.2	فسفر p	1.17	منیزیم Mg	16.68	سیلیس Si
0.02	ژرمانیوم Ge	0.1	تالیوم Tl	0.19	روی Zn	9.67	کلسیم Ca
0.01	کروم Cr	0.09	منگنز Mn	0.33	تیتانیوم Ti	3.52	آلومنیوم Al
0.01	فلوئور F	0.07	استرانسیوم Sr	0.28	زیرکونیوم Zr	2.14	پتاسیم k
		0.15	سدیم Na	0.42	تنگستن W	1.12	باریم Ba
		0.07	نیتروژن N	0.2	روبییدیوم Rb	2.07	سرب Pb

در آزادی بیشتر از چیتگر بود (جدول ۵). قطر ذرات ترسیب شده در روی برگ سه گونه بدون در نظر گرفتن نواحی و به ترتیب در چنار ۱۳/۹۲، نارون ۱۰/۷۲ و افاقیا ۳/۳۹ میکرومتر بود (جدول ۶).

میانگین قطر ذرات فلزدار در آزادی ۱۴/۰۵ و در چیتگر ۵/۲۹ میکرومتر بود. مقایسه میانگین قطر ذرات فلزدار در دو ناحیه آزادی و چیتگر تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد (Sig.=۰/۰۰۴) و قطر ذرات فلزی

جدول ۳- درصد فراوانی عناصر در ذرات بررسی شده در آزادی و چیتگر

آزادی	چیتگر	عنصر	آزادی	چیتگر	عنصر	آزادی	چیتگر	عنصر	آزادی	چیتگر	عنصر
Azadi	Chitgar	Element	Azadi	Chitgar	Element	Azadi	Chitgar	Element	Azadi	Chitgar	Element
0.06	0.0	مولیبیدن Mo	0.18	0.0	قلع Sn	1.61	0.1	مس Cu	26.65	21.17	کربن C
0.06	0.0	رنیوم Re	0.18	0.0	پلاتین Pt	0.69	0.29	کلر Cl	18.91	22.54	اکسیژن O
0.03	0.0	استرانسیوم As	0.13	0.0	آنتیموان Sb	0.57	0.39	گوگرد S	17.9	14.67	آهن Fe
0.02	0.0	ایندیوم In	0.11	0.29	فسفر p	0.54	1.81	منیزیم Mg	12.27	21.1	سیلیس Si
0.02	0.0	ژرمانیوم Ge	0.1	0.0	تالیوم Tl	0.35	0.04	روی Zn	8.79	10.56	کلسیم Ca
0.01	0.0	کروم Cr	0.09	0.0	منگنز Mn	0.33	0.0	تیتانیوم Ti	2.9	4.15	آلومنیوم Al
0.01	0.0	فلوئور F	0.07	0.0	استرانسیوم Sr	0.28	0.0	زیرکونیوم Zr	2.34	1.95	پتاسیم k
			0.07	0.23	سدیم Na	0.22	0.63	تنگستن W	2.17	0.08	باریم Ba
			0.07	0.0	نیتروژن N	0.2	0.0	روبییدیوم Rb	2.07	0.0	سرب Pb

جدول ۴- نتایج آزمون تی مستقل میانگین قطر ذرات در آزادی و چیتگر

Table 4. Independent T test, mean particle diameter in Liberty and Chitgar

معنی داری	خطای معیار	انحراف معیار	میانگین	تعداد	منطقه
Sig(2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	location
0.015	0.62	3.41	4.41	30	چیتگر Chitgar
	1.30	10.31	8.01	62	آزادی Azadi

جدول ۵- نتایج آزمون تی مستقل میانگین قطر ذرات فلزدار در آزادی و چیتگر

Table 5. Independent T test, mean metal particle diameter in Liberty and Chitgar

معنی داری	خطای معیار	انحراف معیار	میانگین	تعداد	منطقه
Sig(2-tailed)	Std. Error Mean	Std. Deviation	Mean	N	Region
0.004	0.97	3.76	5.29	15	چیتگر Chitgar
	2.50	10.33	14.07	17	آزادی Azadi

نظر گرفتن ناحیه و گونه درختی نشان می‌دهد که ۴۵ درصد ذرات قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر دارند و ۳۱ درصد ذرات قطر بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر دارند و ۲۳ درصد ذرات قطر بالای ۱۰ میکرومتر دارند (شکل ۳).

اندازه قطر ذرات در طیف گسترده‌ای توزیع شده است. میانگین قطر ذرات ۷/۲۶ میکرومتر بود. کمترین و بیشترین قطر به ترتیب ۰/۲۹۹ و ۳۷/۷۴ میکرومتر بود. تجزیه و تحلیل توزیع قطر برای کل ذرات بدون در

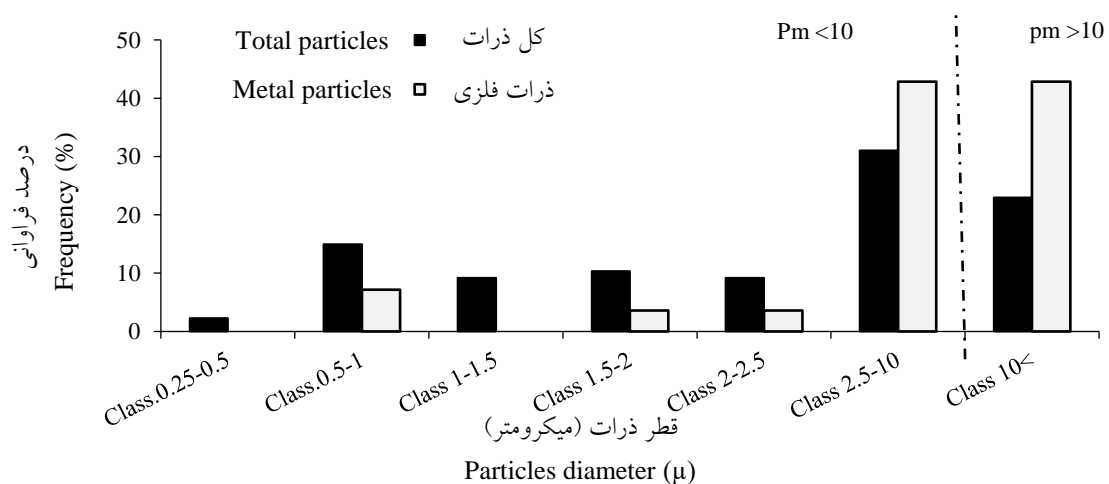
جدول ۶- نتایج آزمون ANOVA میانگین قطر ذرات بررسی شده روی برگ درختان

Table 6. Anova test results mean particles diameter on the leaf of the trees

Sig.	F	میانگین مربع Mean Square	df	مجموع مربعات Sum of Squares	
.056	3.26	270.96	2	541.91	بین گروه‌ها Between Groups
		82.93	23	1907.42	درون گروه‌ها Within Groups
			25	2449.34	کل Total

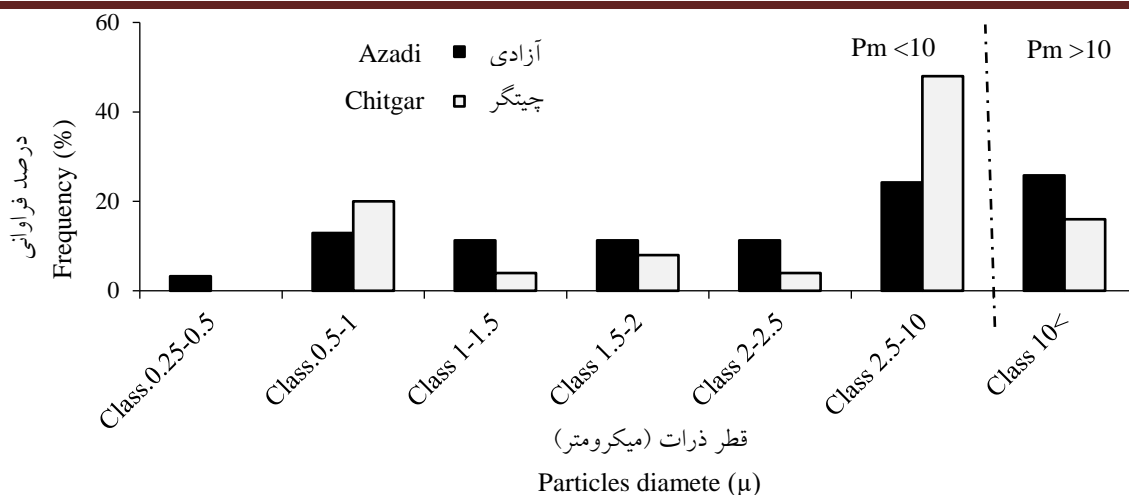
تفکیک هر یک از نواحی در شکل ۴ و ۵ آمده است. میانگین قطر ذرات در چیتگر ۵/۴۱ میکرومتر و میانگین قطر ذرات در آزادی ۸/۰۱ میکرومتر بود (شکل ۳). میانگین قطر ذرات فلزی در آزادی ۱۴/۰۵ میکرومتر و در چیتگر ۵/۲ میکرومتر بود (شکل ۵). توزیع اندازه قطر ذرات ترسیب شده برای سه گونه چنار و نارون و افاقیا نیز به‌طور جداگانه تعیین شد و طیف توزیع اندازه ذرات در شکل ۶ آمده است.

توزیع اندازه ذرات فلزی در کل نمونه‌ها نشان داد که میانگین قطر ذرات فلزی ۱۴/۰۵ میکرومتر و ۱۴/۲۸ درصد ذرات زیر ۲/۵ و ۴۲/۸۵ درصد بین ۱۰-۲/۵ و ۴۲/۸۵ درصد بالای ۱۰ میکرومتر است (شکل ۳). ۷۷ درصد ذرات قطری زیر ۱۰ و ۲۳ درصد بالای ۱۰ میکرومتر قطر دارند و ۵۷ درصد ذرات فلزی قطری زیر ۱۰ و ۴۳ درصد ذرات فلزی قطر بالای ۲/۵ میکرومتر دارند (شکل ۴). تغییرات درصد فراوانی توزیع اندازه قطر ذرات (کل ذرات و ذرات فلزی) به



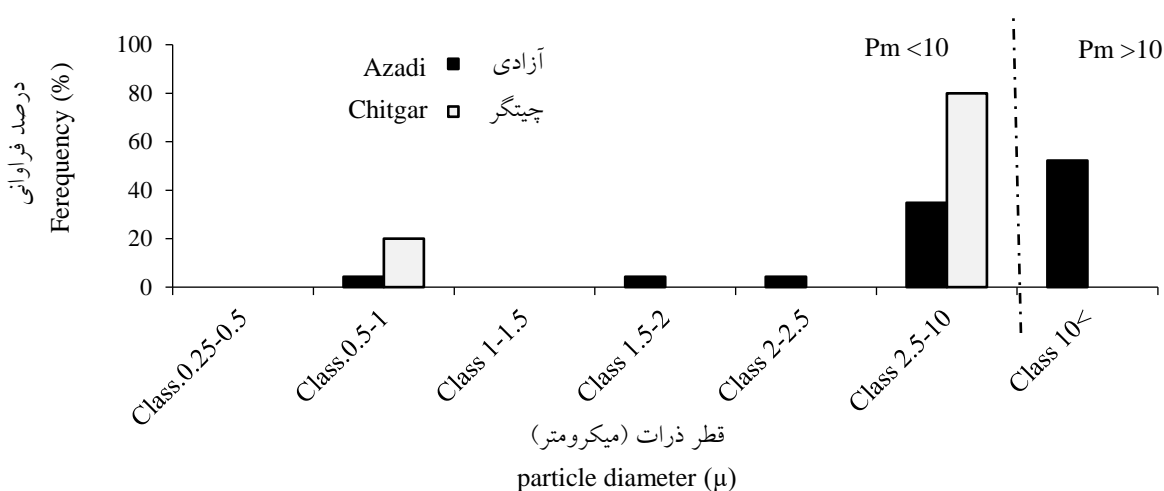
شکل ۳- توزیع درصد فراوانی قطر کل ذرات و ذرات فلزی

Figure 3. The distribution of frequency percentile of total particles and metal particles' diameter



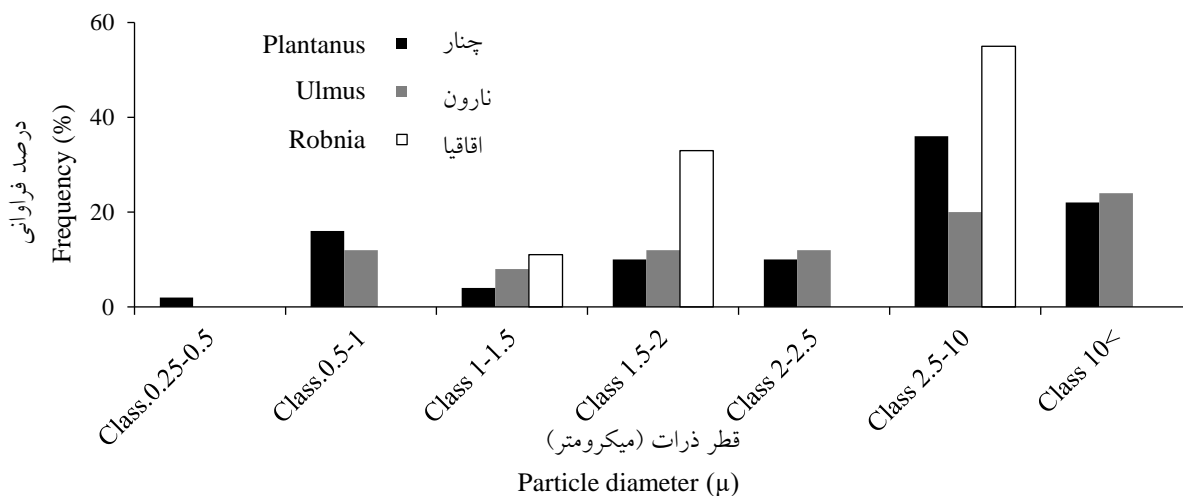
شکل ۴- توزیع درصد فراوانی قطر ذرات در هر یک از نواحی چیتگر و آزادی

Figure 4. The distribution of frequency percentile of total particles` diameter in Chitgar and Azadi



شکل ۵- توزیع درصد فراوانی قطر ذرات فلزی در هر یک از نواحی چیتگر و آزادی.

Figure 5. The distribution of frequency percentile of metal particles diameter in Chitgar and Azadi



شکل ۶- توزیع درصد فراوانی قطر ذرات در گونه‌های چنار، نارون و افاقیا

Figure 6. The distribution of frequency percentile of particles` diameter in Plane tree, Elm and Black locust

کربن و اکسیژن هستند. درحالی که مقادیر سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم و کلر در حد جزئی هستند. چنین ذرات بیولوژیکی شامل میکروارگانیسم‌ها و انواع مواد زنده مانند ویروس‌ها، باکتری‌ها، اسپور قارچ، گرده، بقایای گیاهی و حیوانی هستند.

- ذرات با منشأ فعالیت‌های انسانی که ذرات کربن‌دار و صنعتی ناشی از منابع محلی نقش مهمی در تولید آنها دارد. در ذرات صنعتی فلزات غنی شده‌اند. ساختارهایی شامل نیکل، منگنز، کروم به همراه سیلیس و آهن به‌طور عمده ناشی از انتشارات ذرات از جاده‌ها و خیابان‌ها هستند. ذرات خاک‌زاد (Geogenic Particles) ذرات با قطر معادل ۲ تا ۷۰ میکرومتر هستند. خواستگاه این ذرات پوسته زمین است. ذراتی از قبیل گردوغبار خاک، ساخت‌وساز ساختمانی و مصالح ساختمانی از منابع انتشار چنین ذراتی هستند. شکل این ذرات اغلب کشیده است و هم‌چنین برخی ساختارها با شکل‌ها نامنظم نیز دارند. کوارتز و سنگ گچ و ایلیت باتوجه به مرفولوژی و ترکیب عناصر آنها به‌عنوان ذرات اصلی مواد معدنی در گردوغبار با قطر معادل ۲/۵ میکرومتر به‌شمار می‌روند. ساختارهایی شامل آلومینوسیلیکات، کوارتز، اکسیدهای آهن/ تیتانیم و ذرات غنی از کلسیم و ذرات کلرید هستند. ذرات کوارتز و سیلیس که از عناصر Si و O برخوردار هستند. قطر ذرات سیلیس ۱۰ تا ۳۰ میکرومتر است. ذرات سیلیس ساختار لوله‌ای دارند. ذرات سیلیس منشأ انسانی و طبیعی دارند. سیلیس برای ساخت مصالح ساختمانی، شیشه و آجر استفاده می‌شود. ذرات آلومینوسیلیکات ناشی از خاک از اکسیدهای سیلیس و آلومینیوم با مقادیری از تیتانیو، آهن، پتاسیم، منیزیم، سدیم تشکیل شده است. فراوانی چنین ذراتی دلالت بر فراوانی ذرات آلی معدنی یا رسوبات خاکی و سطوح هوازده سنگ دارد.

ذرات بر اساس ریخت‌شناسی ساختاری (Structural Morphology) و ترکیب عناصر در دسته‌های متنوعی مانند ذرات ژئوژنیک، ذرات بیولوژیکی، ذرات آنتروپوژنیک و ذرات صنعتی، قابل گروه‌بندی هستند (Adachi and Tainosho, 2004, Kim et al., Yue et al., 2006, Gautam et al., 2005, Toasevic and Debout et al., 2008 al., 2007, Labrada-Delgado et al., 2012, Anicic, 2010, Morais Ferreira et al., 2013, Bucko et al., 2012, Zeb Lettino et al., 2017, Pachauri et al., 2013 et al., 2018).

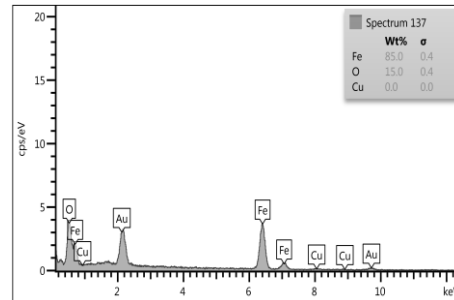
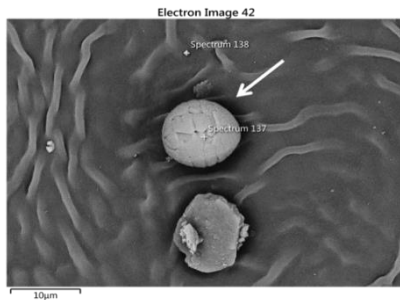
ذرات خاکستر فرار تقریباً کروی هستند. به‌واسطه احتراق دمای بالا و ذوب فلزات به‌دست می‌آیند. سوخت زغال‌سنگ و سوخت‌های فسیلی از منابع انتشار ذرات خاکستر فرار هستند. برخی از ترکیبات عنصری چنین ذراتی عبارت است از: ترکیب آهن، آلومینیوم، سیلیس، منگنز و سیلکومنگنز که یک آلیاژ صنعتی است.

ذرات دوده (Soot aggregates) ساختاری با ترکیب کربن و اکسیژن هستند. ریخت‌شناسی ذرات متراکم دوده در نمونه‌ها بیشتر در دو دسته تقسیم می‌شوند: ذرات کروی که مجتمع می‌شوند و به حالت زنجیره‌های متراکم قرار می‌گیرند و ذرات بزرگ خوشه‌ای با اندازه ۱ تا ۲ میکرومتر را تشکیل می‌دهند. منشأ تولید چنین ساختارهایی ذرات خروجی از آگزوز خودروها است و با فعالیت صنعتی در محیط‌های شهری منتشر می‌شوند.

ذرات زیست‌زاد (Biogenic Aerosols) عناصر سبک مثل نیتروژن، اکسیژن و کربن با ریخت‌شناسی کروی، مکعبی، توده‌ها نامنظم، ذرات گرده و بیولوژیکی است. اندازه این ذرات اغلب ۲۰ تا ۵۰ میکرومتر است. این نوع ذرات به‌طور فراوان دارای

شفافیت و صیقلی بودن آنها کاسته می شود و لبه های آنها دندانه دار می شود. در این پژوهش ساختارهای متنوعی از عناصر در نواحی مشاهده شد. در شکل های ۷ و ۸ برخی از ساختارهای پرتکرار و درصد جرمی عناصر در ذرات نشان داده شده است.

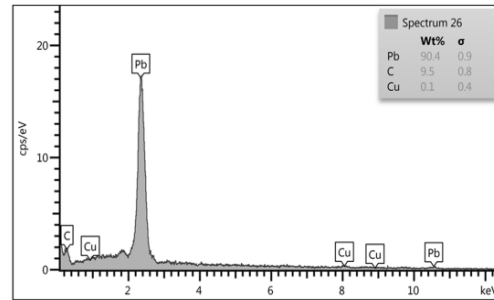
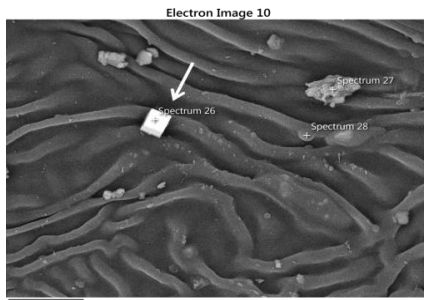
- اکسیدهای Fe/Ti اکسیدهای آهن با ریخت شناسی نامنظم و قطر معادل ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر هستند. کانی هایی مانند هماتیت، مگنتیت، ایلیمینت در این دسته قرار می گیرند. این کانی ها چنانچه در فاز معدنی تولید شوند صیقلی و با لبه های مشخص هستند و چنانچه در فاز انسان ساز ساخته شده است از



الف- چنار آزادی، ذرات غنی شده با آهن (Fe rich)، کروی، ناشی از احتراق سوخت، قطر معادل ۱۰/۸۸ میکرومتر.

A: Plane tree, Azadi, Enriched particles with spherical iron, caused by burning of fuels 10.88 µm.

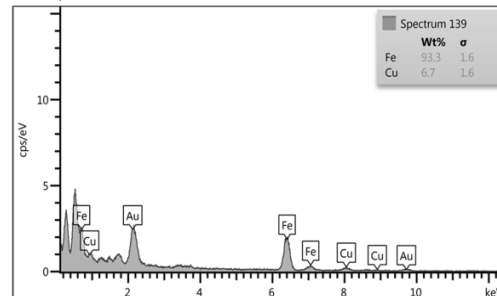
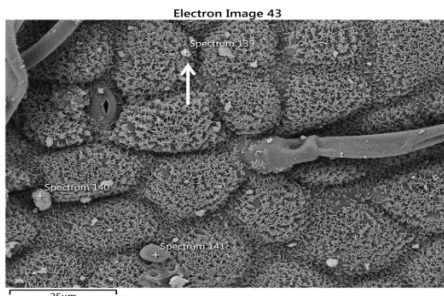
Wt% = Fe: 85%, O: 15%, Cu: 0.0%



ب- چنار آزادی، ذره غنی شده با سرب، مکعبی شکل، قطر معادل ۳/۴۴ میکرومتر.

B: Plane tree, Azadi, Enriched particles with lead, Cubic form. 3.44 µm.

Wt% = Pb: 90.4%, C: 9.5%, Cu: 0.1%



ج- اقاچیا آزادی ذره غنی شده با آهن و مس، انسان منشأ، قطر معادل ۱/۸۲ میکرومتر.

C: Black locust, Azadi, Particles enriched with Fe and Cu, anthropogenic pollution, 1.82 µm.

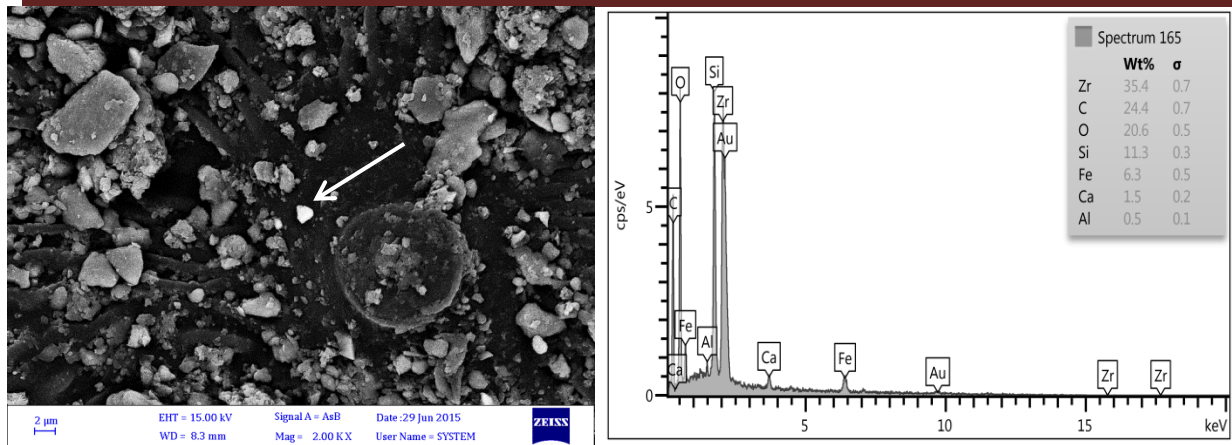
Wt% = Fe: 93.3%, Cu: 1.6%

شکل ۷- برخی از ساختارهای متنوع ذرات مشاهده شده بر سطح پهنک برگ های گونه های چنار، نارون و اقاچیا در آزادی و

درصد جرمی عناصر هر یک از ذرات (Wt%)

Figure 7. Some of the various structures of observed particles on lamina surface of *platanus*, *ulmus* and *Robinia*'s leaves in Azadi and the elements' weight percentile of each particle (Wt%)

تنوع مورفولوژیکی و ترکیب ذرات آلاینده هوا، ترسیب شده بر برگ درختان چنار، نارون و اقاچیا در تصاویر میکروسکوپ الکترونی



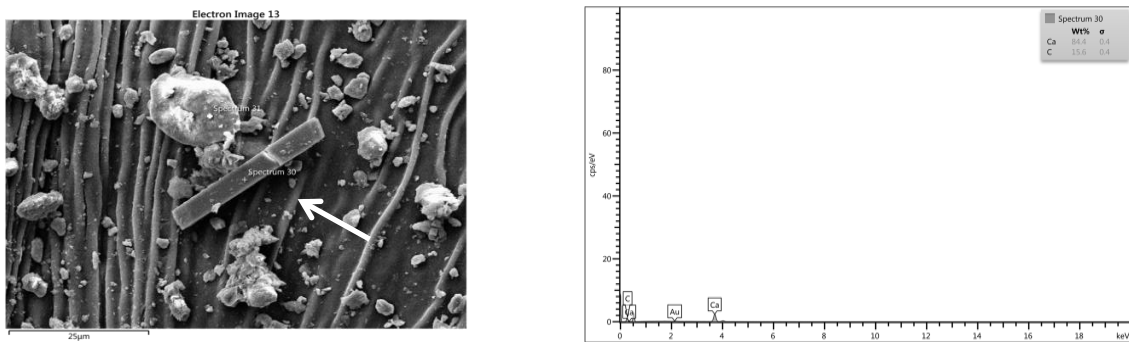
د: نارون آزادی، فلز، ذره غنی شده با زیرکونیوم، آلیاژ سخت، خودرو، قطر معادل ۱/۵۹ میکرومتر.

D: Elm, Azadi. Particles enriched with zirconium, hard alloy. 1.59 μm

Wt%= Zr: 35.4%, C: 24.4%, O: 20.6%, Si: 11.3%, Fe: 6.3%, Ca: 1.5% and Al: 0.5%.

ادامه شکل ۷.

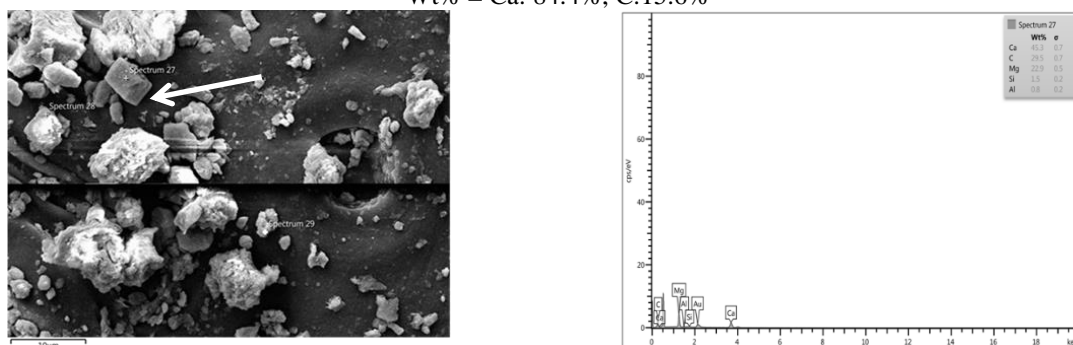
Continued figure 7.



الف- چنار چیتگر، ریخت شناسی منظم، سطح صیقلی و شفاف با مرز مشخص، خاک زاد.

A: Plane tree, Chitgar, Regulated morphology, polished transparent surface having distinct border as well as smooth and polished surface. Geogenic Particles

Wt% = Ca: 84.4%, C:15.6%



ب: نارون چیتگر، ذره غنی شده با کلسیم، مکعبی شکل با مرز مشخص و سطوح صاف و صیقلی، قطر ۴/۶۹ میکرومتر.

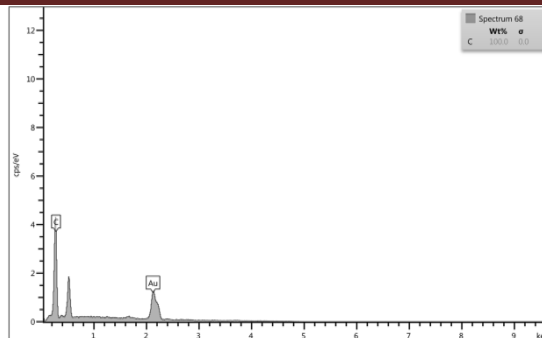
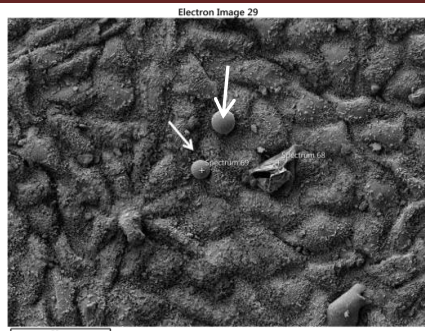
B: Elm, Chitgar, Enriched particle with Ca, having cubic form with distinct border and smooth and polished surface, 4.69 μm.

Wt%= Ca 45.3%, C: 29.5%, Mg: 22.9%, Si: 1.5%, Al: 0.8%

شکل ۸- برخی از ساختارهای متنوع ذرات مشاهده شده بر سطح پهنک برگ‌های گونه‌های چنار، نارون و اقاچیا در چیتگر و

درصد جرمی عناصر هر یک از ذرات (Wt%)

Figure 8. Some of the various structures of observed particles on lamina surface of Plane tree, Elm and Black locust `s leaves in Chitgar and the elements` weight percentile of each particle (Wt%)



ج: اقاچیا، چیتگر ذرات دوده.

C: Black locust, Chitgar, Soot.

Wt%: C: 100.0%

ادامه شکل ۸

Continued figure 8.

قلع، فلونور، پلاتین، تالیوم، استرانسیوم، آنتیموان، مولیبدن، رنیوم، ایندیوم و ژمانیوم بود. بررسی این عناصر نشان می‌دهد که عمده عناصر گروه اول ذرات بیوژنیک و طبیعی هستند و طی فرآیندهای طبیعی حاصل می‌شوند و برخی از این عناصر از مواد غذایی ضروری برای حیات گیاهان هستند و در بافت‌های زیستی فراوان است. حضور فلزاتی مانند تنگستن، باریوم و کروم در این گروه نشان‌دهنده آلودگی چیتگر است. عناصری مانند روی، مس، کربن، سیلیس منشأ طبیعی و انسان‌ساز دارند. در گروه دوم، عمده عناصر ناشی از تشدید فعالیت‌های انسانی بود.

ریخت‌شناسی ذرات نشان داد که منشأ تولید ذرات منابع طبیعی و انسان‌ساز است. در آزادی ذرات منتشر شده از تردد خودروها به‌وفور در نمونه‌ها مشاهده شد. قطر ذرات در آزادی بیشتر بود. تفاوت قطر ذرات در آزادی و چیتگر نشان‌دهنده تأثیر فاصله از منبع انتشار بر ابعاد ذرات است.

Hasnvand و همکاران (2018) پژوهشی را با هدف بررسی اثر ترافیک بر غلظت فلزات سنگین در درختان بلوط حاشیه جاده انجام دادند تا مشخص شود که دامنه تأثیر ترافیک بر فلزات گیاهان تا چه مسافتی

بحث

تحلیل SEM-EDX برای شناسایی منابع ذرات معلق اتمسفری مفید است. آنالیز منفرد ذرات اطلاعات جامعی در زمینه ریخت‌شناسی، منبع، قطر ذرات و ترکیب آنها را در کوتاه‌ترین زمان فراهم می‌کند (Lettino *et al.*, 2017) و در مقایسه با روش‌های سنتی مانند هضم ذرات از نظر زمانی و اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است و عوارض محیط‌زیستی ناشی از استفاده حلال‌ها و اسیدها نیز به‌شدت کاهش می‌یابد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تنوع مرفولوژیکی و ترکیب عنصری ذرات ترسیب شده بر برگ درختان چنار، نارون و اقاچیا در آزادی و چیتگر در تهران انجام گرفت. در این تحقیق ویژگی‌های ۱۲۸ ذره با SEM-EDX تحلیل شد. در کل نمونه‌ها ۳۴ عنصر شناسایی شد. این عناصر را در دو گروه می‌توان تقسیم کرد: دسته اول عناصر روی، باریوم، سدیم، فسفر، کروم، کلر، گوگرد، تنگستن، منیزیوم، پتاسیم، آلومینیوم، کلسیم، آهن، سیلیس، کربن، اکسیژن که در هر دو ناحیه مشاهده شد و دسته دوم عناصری بود که غالب آنها عنصر فلزی بود و تنها در آزادی مشاهده شدند. عناصر این دسته سرب، تیتانیوم، زیرکونیوم، روییدیوم،

Manoochehri و همکاران (2016) نیز نشان داد که دامنه قطر ذرات $0.65-1.05$ بود و $15/4$ درصد ذرات رسوب یافته بر برگ زبان گنجشک دارای قطر کمتر از 10 میکرون بودند و در گونه چنار $33/4$ درصد و در گونه افاقیا $23/6$ درصد به دست آمد. نتایج Manoochehri و همکاران (2016) نشان داد که گونه چنار در حفظ و نگهداشت ذرات معلق نسبت به زبان گنجشک و افاقیا عملکرد بهتری دارد. توانایی جذب گردوغبار در گونه‌های مختلف یکسان نیست (Zhang et al, 2017, Beckett et al, 2000). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که گونه‌های چنار و نارون در حفظ و نگهداشت ذرات معلق نسبت به افاقیا عملکرد بهتری دارند. برخی از گیاهان ویژگی‌هایی از قبیل کرک را توسعه داده‌اند که تراکم کرک به‌طور مؤثری بر ضبط و نگهداری رسوبات گردوغبار بر سطح برگ مؤثر است (Zhang et al., 2017, Burkhardt, 2010). در این پژوهش بزرگ‌تر بودن ابعاد ذرات در گونه چنار می‌تواند ناشی از وجود کرک در سطح پهنک برگ چنار باشد. زبری سطح برگ‌ها تأثیر زیادی بر مقدار و ابعاد ذرات انباشته شده بر برگ‌ها دارد (Jim and Chen., 2008, Kardel et al., 2011). گونه‌ها با برگ سطح خشن و زبر در مقایسه با برگ‌های صاف در جذب ذرات مؤثرتر هستند (Zhang, Beckett et al, 2000). تنوع ابعاد ذرات در سطح برگ نارون و چنار و کاهش این طیف توزیع قطر ذرات در سطح برگ افاقیا نشان‌دهنده نقش مؤثر زبری سطح برگ در جذب ذرات است.

نتیجه‌گیری

منشأ عناصر شناسایی شده در پژوهش حاضر طبیعی و انسان‌ساخت بود. ذرات معلق هوا حاوی ترکیبات - شیمیایی آلاینده هستند و نیز خود می‌توانند به‌عنوان آلاینده محسوب شوند. در هر دو ناحیه چیتگر و

از بزرگراه است. نتایج این پژوهش نشان داد که فلزات درختان با فاصله از جاده روند کاهشی داشته است. در آزادی ذرات منتشر شده از خیابان تحت تأثیر نیروی گرانش زمین در کوتاه‌ترین فاصله از منبع بر روی سطوح برگ می‌نشینند. در چیتگر فاصله از منبع عمده انتشار ذرات (بزرگراه تهران-کرج) سبب کاهش ذرات شده و چون در محدوده مورد پژوهش تردد خودروها بسیار اندک بود پس ذرات با ابعاد کوچک‌تر که توسط جریان‌های بادی از فواصل دورتر و صنایع پیرامونی منتقل شده، در نمونه‌ها مشاهده شد. در آزادی قطر ذرات بزرگ‌تر بود و فلزات بیشتری در محیط وجود داشت.

Matzka and Maher (1999) نشان دادند که ذرات ناشی از سوخت اتومبیل‌ها با ابعاد $3-0.3$ میکرومتر، پتانسیل خطر بالاتری برای سلامتی دارند. ذرات به‌دلیل توانایی آنها در ورود و رسوب در ریه‌ها برای سلامتی انسان خطرناک هستند (Maher, 2009). به‌طور کلی میانگین قطر ذرات ترسیب شده بر چنار و نارون بیشتر از افاقیا بود. هم‌چنین توزیع قطر ذرات نشان داد که در چنار و نارون ذرات با ابعاد مختلف ترسیب شده است و در افاقیا این تنوع ابعاد ذرات کمتر است. میانگین قطر ذرات در افاقیا در مقایسه با نارون و چنار کمتر بود و البته قطر معادل ذرات ترسیب شده بر برگ افاقیا در دامنه بین $2/5$ تا 10 میکرومتر بود. Manoochehri و همکاران (2016) ابعاد و توزیع ذرات معلق رسوب یافته بر سطح برگ درختان زبان گنجشک، چنار و افاقیا در شهر پاوه با روش شستشوی رسوبات سطح برگ‌ها با آب مقطر و توزیع اندازه ذرات آنها با استفاده از دستگاه توزیع اندازه ذرات (Particle size distribution apparatus) بررسی شد. توزیع اندازه ذرات رسوب یافته بر برگ‌های درختان بررسی شده در

درختان نیاز به بررسی‌های تکمیلی دارد. بررسی ریخت‌شناسی و ساختارشناسی ذرات نشان داد که ذرات دوده، خاکستر فرار و ذرات صنعتی با منشأ آگروز خودروها و استهلاک قطعات داخلی و بیرونی خودروها عمده‌ترین منابع انتشار ذرات هستند. پیشنهاد می‌شود که تحلیل SEM-EDX با تحلیل طیف‌نگاری فلورسانس اشعه ایکس (X-ray Fluorescence Spectroscopy) میکرو ذرات منفرد تکمیل شود تا منابع تولید ذرات به‌طور دقیق‌تر و شفاف‌تر تفکیک شوند.

References

- Adachi, K. & Y. Tainosho, 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in the tire dust, *Environment International*, 30: 1009-1017.
- Arfaeinia, H., M. Hoseini, M.D. Ranjbar Vakilabadi, A. Alamolhoda, S. Banafshehshafshani & M. Kermani, 2016. Morphological and Mineralogical Study of PM_{2.5} Particles in the Air of Tehran, Relying on the Analysis of EDX-SEM Images and XRD Analysis. *Journal of Health*, 7(2):134-145. (In Persian)
- Beckett, K., P.P.H. Freer-Smith & 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.
- Bucko, M.S., T. Magiera, B. Johanson. E. Petrovský & L.J. Pesonen, 2011, Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic geochemical and micro-morphological analyses, *Environmental Pollution*, 159: 1266-1276.
- Burkhardt, J., 2010. Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants? *Ecological Monographs*, 80(3): 369-399.
- Deboudt, K., M. Choël & P. Flament, 2008. Application of single particle Analysis performed by SEM-EDX to air quality studies, *Journal of Physics: Conference Series*, 126(1): 1-4.
- Gautam, P., B. Ulrich & A. Erwin, 2005. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal, *Atmospheric Environment*, 39(12): 2201-2211.
- Hansard, R., B.A. Maher & R. Kinnersley, 2011. Biomagnetic monitoring of industry-derived particulate pollution, *Environmental Pollution*, 159: 1673-1681.
- Hasnvand, H., F. Ghasemi Aghbash, E. Soilgi & I. Pazhohan. 2018. The distance from road effects on heavy metals accumulation in soil and leaves of Persian oak trees (*Quercus brantii*) in Aleshtar-Khorramabad highway, *Journal of Forest Research and Development*, 4(1): 29- 41. (In Persian)
- Hofman, J., I. Stokkaer, L. Snauwaert & R. Samson, 2012. Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles, *Environmental Pollution*, 183: 123-132.
- Jim, C.Y. & W.Y. Chen, 2008. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou, *Journal of Environmental Management*, 88: 665-676.
- 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 in season variation, *Atmospheric Environment*, 45: 5164-5171.
- Kim, W., S.J. Doha, Y.H. Parkb & S.T. Yun, 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea, *Atmospheric Environment*, 41: 7627-7641.

- Labrada-Delgado, G., A. Aragon-Pina, A. Campos-Ramos, T. Castro-Romero, O. Amador-Munoz & R. Villalobos-Pietrini, 2012. Chemical and morphological characterization of PM2.5 collected during MILAGRO campaign using scanning electron microscopy *Atmospheric Pollution Research*, 3(3): 289-300.
- Lettino, A., M. Calvello, F. Esposito, S. Fiore, M. Lorusso & G. Pavese, 2017. Effects of Polluted Air-Masses Advection on Atmospheric Particles in a Semi-Rural Site in South Italy by SEM-EDX Analysis, *Aerosol and Air Quality Research*, 17: 69–83.
- Maher, B.A., 2009. Rain and dust: magnetic records of climate and pollution. *Elements*, 5: 229-234.
- 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)
- Matzaka, J. & B.A. Maher, 1999. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: Identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates, *Atmospheric Environment*, 33: 4565- 4569.
- Mitchell, R. & B.A. Maher, 2009. Evaluation and application of biomagnetic monitoring of traffic-derived particulate pollution, *Atmospheric Environment* 43(13): 2095–2103.
- Morais Ferreira, T, F. Maria Cristina & R. Lee Maciviero Alcaide, 2013. Inhalable particulate matter characterization a medium- sized urban region in Brazil (Sao Lose Dos Campos town) Part1: Morphology, *Química Nova*, 36 (9): 1380-1387.
- Öztürk, F., A. Zararsız, V.A. Dutkiewicz, L. Husain, P.K. Hopke & G. Tuncel, 2012. Temporal variations and sources of Eastern Mediterranean aerosols based on a 9-year observation, *Atmospheric Environment*, 61: 463- 475.
- Pachauri, T, V. Singla, A. Satsangi, A. Lakhani & M. Kumari, 2013. SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 13: 523–536.
- Rai, P.K., 2013. Environmental magnetic studies of particulates with special reference to biomagnetic monitoring using roadside plant leaves, *Atmospheric Environment*, 72: 113-129.
- Rajabi, M. & B. Souri, 2015. Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013, *Iranian Journal of Health and Environment*, 8(1): 11-22. (In Persian)
- Rivera, B.H. & M.G. Rodriguez, 2016. Characterization of Airborne Particles Collected from Car Engine Air Filters Using SEM and EDX Techniques, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(985): 1-16.
- Salma, I., W. Maenhaut, E. Zemplén-Papp & G. Záray, 2001. Comprehensive Characterization of Atmospheric Aerosols in Budapest, Hungary: Physicochemical Properties of Inorganic Species, *Atmospheric Environment*, 35: 4367–4378.
- Tomasevic, M. & M. Anicic, 2010. Trace element content in urban tree leaves and SEM-EDX characterization of deposited particles, *Physics, Chemistry and Technology*, 8(1): 1-13
- Yue, W., X. Li, J. Liu, Y. Li, X. Yu, T.W. Deng, G. Zhang, W. Hua, L. Shao & S. Yang, 2006. Characterization of PM2.5 in the ambient air of Shanghai city by analyzing individual particles, *Science of the Total Environment*, 368: 916-925.
- Xie, R.K., H.M. Seip, J.R. Leinum, T. Winje & J.S. Xiao, 2005. Chemical characterization of individual particles (PM10) from ambient air in Guiyang City, China, *Science of The Total Environment*, 343 (1-3): 261-272.
- Zarasvandi, A., F. Moore & A. Nazarpour, 2011. Mineralogy and morphology of dust storms particles in Khuzestan Province: XRD and SEM analysis concerning, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 19(3): 511-518. (In Persian)
- Zhang, W., B. Wang & X. Niu, 2017. Relationship between Leaf Surface Characteristics and Particle Capturing Capacities of Different Tree Species in Beijing, *Forests*, 8(92): 1- 12.
- Zeb, B., K. Khan Alam, A. Sorooshian, T. Blaschke, F. Ahmad & I. Shahid, 2018. On the Morphology and Composition of Particulate Matter in an Urban Environment, *Aerosol and Air Quality Research*, 18: 1431–1447.

Morphological diversity and composition of air pollutants' particles deposited on *Platanus Orientalis*, *Ulmus Carpinifolia* and *Robinia Pseudacasia* trees' leaves in Scanning Electron Microscopy

S. Abbasi¹, S. M. Hosseini^{*2}, N. Khorasani³ and A. Karbassi⁴

1- PhD student, Faculty of environment and energy, Department of Environmental Science, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (sara_abasi2005@yahoo.com)

2- Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University (TMU), Noor, Mazandaran, I. R. Iran. (hosseini@modares.ac.ir)

3- Professor, Faculty of Natural Resources, Department of the Environment, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (khorasan@ut.ac.ir)

4- Associate Professor, Faculty of Environment University of Tehran, University of Tehran, I. R. Iran. (akarbasi@ut.ac.ir)

Received: 06.02.2019

Accepted: 11.07.2019

Abstract

In this study, the shape, structure and elemental composition of the deposited particles on the leaves of *Ulmus Carpinifolia*, *Platanus Orientalis*, and *Robinia Pseudacasia* in Azadi and Chitgar areas in Tehran was investigated through individual particles analysis with SEM-EDX. The properties of 128 particles were analyzed through SEM-EDX. Thirty-four elements were identified in all the samples. The diameter of particles in Azadi was greater than Chitgar. The average diameter of particles was 7.26 microns. The average diameter of particles was 7.51 microns in *Platanus Orientalis*, 6.88 microns in *Ulmus Carpinifolia*, and 4.42 microns in *Robinia Pseudacasia*, respectively. The diameter of 45% of the particles was smaller than 2.5, 31% of the particles between 2.5 to 10, and 23% of the particles bigger than 10 microns. The distribution of metal particle size in all samples showed that the average diameter of the metal particles was 14.05 microns and the diameter of 14.28% of the particles was below 2.5, 42.85% between 2.5 to 10, and 42.85% was above 10 microns. Various structures of the elements were observed in the areas. Particles morphology showed that the origin of particles production is natural resources and they are man-made. In general, the average diameter of deposited particles on *Platanus Orientalis* and *Ulmus Carpinifolia* was more than those on *Robinia Pseudacasia*. Moreover, the particles diameter distribution showed that in *Platanus Orientalis* and *Ulmus Carpinifolia* particles are deposited with different sizes while in *Robinia Pseudacasia* there is less variation in particles size.

Keywords: Elemental composition, SEM-EDX, Shape, Size, Tehran.

* Corresponding author

Tel: +989111213898