



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

۸۱-۱۰۰

مقاله پژوهشی

## بررسی توزیع قطری و وزنی آئرودینامیکی و اشکال ذرات اتمسفری در محدوده طرح ترافیک شهر تهران

بلال اروجی\*

مرکز راهبردی آب، انرژی و محیط‌زیست، دانشکده و پژوهشکده عمران، آب و انرژی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۸

**اروجی، ب.** ۱۴۰۱. بررسی توزیع قطری و وزنی آئرودینامیکی و اشکال ذرات اتمسفری در محدوده طرح ترافیک شهر تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۴): ۸۱-۱۰۰.

**سابقه و هدف:** اجرای طرح‌های کنترلی، پایش و تدوین قوانین ترافیکی و مدیریتی نیاز به کسب اطلاعات اساسی و بنیادین در خصوص منشأ ذرات، خواص فیزیکی - شیمیایی و رفتار آن‌ها در اتمسفر دارد. جمع‌آوری این اطلاعات نیاز به مطالعه ابعاد مختلف ماهیتی ذرات دارد که بیشتر آن‌ها به صورت مستقیم امکان‌پذیر نخواهد بود. چالش آلودگی هوای کلانشهر تهران نیاز به انجام مطالعات بنیادین داشته و ما در این تحقیق سعی کردیم ابعاد جدیدی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بنیادین ذرات اتمسفری شهر تهران را ارائه دهیم.

**مواد و روش‌ها:** فرایند جمع‌آوری ذرات جهت ارزیابی غلظت و ترکیب شیمیایی آن‌ها توسط نمونه‌بردار حجم بالا به مدت ۱ تا ۲۴ ساعت و متوسط جریان  $1/7 \text{ m}^3/\text{min}$  روی فیلترهای فایبرگلاس انجام شد. همچنین برای تعیین توزیع قطر آئرودینامیکی ذرات از نمونه‌بردار آبشاری (ایمپکتور اندرسن) با جریان  $28/3 \text{ L/min}$  و به مدت ۷۲ ساعت تا ۷ روز استفاده شد. بعد از نمونه‌برداری، نمونه‌ها جهت تعیین غلظت کل و توزیع آئرودینامیکی در آزمایشگاه آماده‌سازی شدند.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد، میانگین غلظت ذرات در طول دوره نمونه‌برداری  $118/11 \pm 6/9 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  بود. در طول دوره نمونه‌برداری بالاترین غلظت ذرات جمع‌آوری شده  $154/22 \pm 61/1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین مقدار آن  $129/23 \pm 12/15 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$  به ثبت رسید. نتایج بررسی SEM نمونه‌های برداشت شده نشان داد که ذرات به شکل کروی، نامنظم، لیف‌مانند و همچنین اشکال کریستالی حضور دارند. غالب عناصر در این نمونه‌ها شامل  $\text{K}, \text{Ca}, \text{Cl}$  و  $\text{Fe}$  است که به همراه ترکیب‌های  $\text{Zn}, \text{Ti}$  دیده می‌شود. ساختارهای خوشه‌مانند و بی‌شکل غنی از  $\text{O}, \text{Mg}, \text{Zn}, \text{Fe}, \text{K}, \text{Si}$  و  $\text{Na}$  در ذرات با ابعاد ۲ تا ۷ میکرومتر مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** باتوجه به نتایج و مقایسه با سایر کارهای صورت گرفته شده در این زمینه، ذرات ریز بیشتر طی فرآیندهای احتراق سوخت توسط صنایع و حمل و نقل شهری انتشار می‌یابند. همچنین ذرات بزرگتر طی فعالیت‌های انسانی مانند گرد و غبار تولیدی در جاده‌ها توسط وسایل نقلیه، ساخت و ساز ساختمانی و صنایع تولید و منتشر می‌شود.

\* Corresponding Author: Email Address. balaloroji@sru.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1144>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.2.7>

## واژه‌های کلیدی: ذرات اتمسفری، غلظت، توزیع آئرودینامیکی، SEM/EDX.

## مقدمه

Zhang *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2020). همچنین مطالعات متعددی در خصوص ذرات کوچکتر از  $PM_{2.5}$  و ذرات درشت بین  $PM_{2.5-10}$  در سراسر جهان مانند هنگ کنگ، نیجریه و استرالیا صورت گرفته شده است (Cheng *et al.*, 2015; Owoade *et al.*, 2016; Keywood *et al.*, 2020). این ذرات با اندازه‌های  $PM_{1-2.5}$  چک در خصوص ارتباط بین ذرات با اندازه‌های  $PM_{1-2.5}$  انجام داده‌اند. (Tian *et al.*, 2017; Dai *et al.*, 2018). Hopke *et al.*, 2020). Li *et al.*, 2016). Alvi *et al.*, 2010). در زمینه منشأیابی ذرات  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  تحقیقات متعددی را به انجام رسانده‌اند.

از متداول‌ترین یون‌های محلول در آب ذرات معلق هوا می‌توان به آمونیوم، سولفات، نیترات، کلراید، سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم اشاره کرد که سهم نسبی آن‌ها در ذرات معلق با توجه به اندازه و شرایط محلی متفاوت خواهد بود (Fromme *et al.*, 2008; Viana *et al.*, 2013; Cesar *et al.*, 2020). مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده است که سولفات‌ها یا دیگر ذرات اسیدی به تنهایی یا با ترکیب ازن میزان مرگومیر را افزایش می‌دهند (Pope *et al.*, 2002; Pateraki *et al.*, 2020; Rivas *et al.*, 2020). همچنین مطالعات مختلف نشان داده است که بین ذرات سولفات منتشر شده ناشی از فعالیت نیروگاه‌های با سوخت زغال و افزایش مرگ در بوستون و نیز غلظت دی‌اکسید گوگرد و اثرات طولانی مدت مرگومیر در شبکه پایش در انگلستان ارتباط معنی‌داری وجود دارد (Maynard *et al.*, 2007). در یک پژوهش دیگری تأثیر اندازه‌های مختلف ذرات معلق و ترکیب شیمیایی آن‌ها بر سلامت و بهداشت فردی بررسی و مشخص شد که بین غلظت ذرات معلق (به‌خصوص  $PM_{2.5}$ ، سولفات و نیترات) و افزایش تعداد مراجعات

ذرات معلق اتمسفری یک نگرانی جدی بهداشتی را برای سلامت انسان و محیط‌زیست ایجاد کرده که این تأثیرات منفی به کاهش کیفیت هوا، تشکیل مه، کاهش دید، تغییرات آب و هوا، گرم شدن کره زمین، زوال اکوسیستم و خطرات سلامتی انسان می‌شود (Ari *et al.*, 2020; Cesar *et al.*, 2020; Jain *et al.*, 2020). این ذرات با ترکیب شیمیایی متفاوت دارای منشأ انسانی و طبیعی طی فرایندهای فتوشیمیایی تشکیل شده‌اند (Dai *et al.*, 2020; zalakeviciute *et al.*, 2019). یک ذره معلق تشکیل شده است از یک ترکیب پیچیده با اندازه‌های متفاوت و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاص که می‌تواند تأثیرات منفی را بر سلامتی انسان داشته باشد. این ذرات می‌توانند در ابعاد کوچکتر از یک میکرون تا بزرگتر از ۱۰ میکرون وارد دستگاه تنفسی شده و در ابعاد کوچکتر از طریق کیسه‌های هوا وارد خون شده و مشکلات بعدی را ایجاد نمایند (Samek *et al.*, 2018). این ذرات با دارا بودن ترکیبات سمی می‌توانند خطرات جدی را برای سلامت انسان ایجاد کرده و بیماری‌های قلبی و عروقی، مشکلات تنفسی و سایر موارد مطرح را ایجاد نماید (Liu *et al.*, 2013; Oroji *et al.*, 2017; Pateraki *et al.*, 2020; Rivas *et al.*, 2020).

با توجه به اهمیت موضوع و پیچیدگی تحلیل نتایج حاصل از این تحقیقات، همواره تعداد متعددی از پژوهش‌ها در راستای شناخت ترکیب و رفتار فیزیکی شیمیایی ذرات انجام داده و نتایج و تحلیل‌های مختلفی گزارش شده است. در شهر تیانجین از شهرهای اصلی کشور چین دلیل آلودگی بالای ذرات اتمسفری تحقیقات گسترده‌ای در ذرات  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  صورت گرفته است (Kong *et al.*, 2010; Tian, 2014, 2018; Liu *et al.*, 2020). همچنین تحقیقات قابل توجهی در چین در خصوص ویژگی‌ها و منشأ ذرات  $PM_1$  و  $PM_{2.5}$  صورت گرفته است

برابر  $0/4$  ضرب در غلظت حجمی ذرات ( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ ) است. این مقدار در تعامل با مقدار پیش‌بینی شده توسط فریدلاندر است. (Whitby *et al.* (1972). متوجه شدند که توزیع اندازه عددی (Number size distribution) مطرح شده به وسیله جانگ یک مدل خوب برای توزیع اندازه سطح و جرم یا حجم نبوده و به صورت طبیعی دارای دو مد در قطر حدود  $0/3$  میکرومتر و در گستره قطر بین  $5/0$  تا  $15/0$  میکرومتر بود.

در توزیع اندازه ذرات اتمسفری، همیشه ذرات ریز به‌طور کامل در نتیجه فرآیندهای میعان و انعقاد به وجود می‌آیند درحالی‌که ذرات درشت توسط فرایندهای مکانیکی تولید می‌شوند. بعضی از ذرات به‌عنوان هسته میعان ابر و هسته‌های یخی عمل کرده و به‌این‌ترتیب اثرات خود را در اتمسفر نشان می‌دهند. یون‌های بزرگ و کوچک حامل بار الکتریکی هستند. یون‌های کوچک خوشه‌های اتمی یا مولکولی هستند که یک‌بار الکتریکی را احاطه کرده‌اند. پایداری آن‌ها به داشتن بار الکتریکی بستگی دارد. یون‌های بزرگ به ذراتی اطلاق می‌شود که صرفاً حامل بار الکتریکی هستند. در مشخصه یابی ذرات اتمسفری اصطلاح ذرات بزرگ، برای آن‌هایی که قطری بین  $0/1$  تا  $1$  میکرومتر و غول ذره (ذرات درشت). برای آن‌هایی که قطری بالاتر از  $1$  میکرومتر دارند به کار می‌رود (Papastefanou, 2008). اندازه اتم از مرتبه  $10^{-10}$  متر یا  $10^{-4}$  میکرومتر یا  $0/1$  نانومتر ( $r_1 = 0.5292 \times 10^{-10} \text{ m}$ ) است، درحالی‌که اندازه یک هسته اتم از مرتبه  $10^{-14}$  متر یا  $10^{-8}$  میکرومتر یا  $10^{-5}$  نانومتر است. بنابراین یک‌ذره با قطری در حدود چند نانومتر (یا  $10^{-2}$  میکرومتر) صدها بار یا بیشتر، از یک اتم بزرگ‌تر بوده و بنابراین شامل تعدادی از اتم‌ها یا خوشه‌های اتم‌ها است. ذرات اولیه، مانند گردوغبار جاده، نمک افشان شده از اقیانوس‌ها و گردوغبار سیمان، بعد از انتشار تغییر شکل نمی‌دهند درحالی‌که کسر قابل توجهی از جرم ذرات ثانویه مانند سولفات‌های حاصل از فرایند فتوشیمیایی و دودمه

بیماران تنفسی در لندن ارتباط مستقیم دیده می‌شود (Atkinson, 2010). از سویی دیگر میان متوسط سولفات موجود در  $\text{PM}_{2.5}$  با تولد زودرس نوزادان ارتباط معنی‌داری وجود داشته است (Darrow *et al.* 2009). واکنش بین سولفات‌ها و دیگر آلاینده‌ها می‌تواند اندازه و خواص شیمیایی و سطحی ذرات را تغییر دهد و در نتیجه، بر پتانسیل اثرات بهداشتی ذرات تأثیر عمده‌ای داشته باشد (Oroji *et al.*, 2018a, 2018b; Kelly and Fussell, 2012).

### توزیع اندازه ذرات اتمسفری

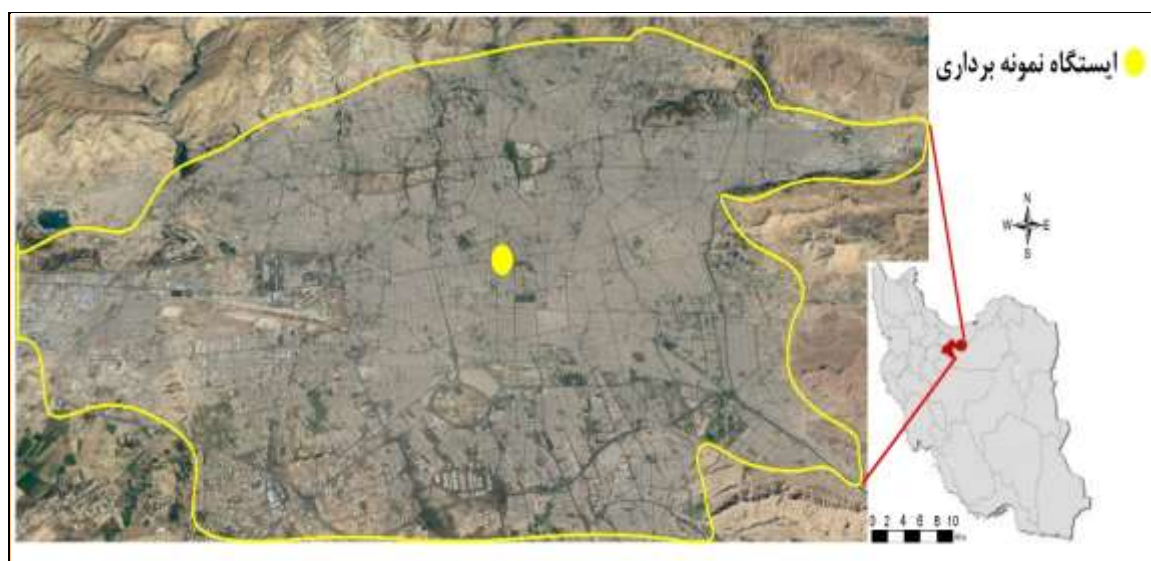
Aitken (1923) در تحقیقات خود نشان داده بود که بسیاری از ذرات در اتمسفر دارای قطری کمتر از  $0/1$  میکرومتر بوده و غلظت آن‌ها از چندین صد ذره بر سانتیمتر مکعب بر روی اقیانوس‌ها تا هزاران ذره بر سانتیمتر مکعب در مناطق شهری متغیر است. Junge (1963, 1972) توزیع اندازه عددی و غلظت ذرات اتمسفری در مناطق شهری و غیرشهری را به صورت تابعی از ارتفاع و موقعیت شهرها اندازه‌گیری نمود. او فرم استاندارد رسم داده‌های توزیع آئرودینامیکی را مطابق  $\text{Log} (dN/dD_p)$  برحسب  $\text{log } D_p$  بنا نهاد؛ که در آن  $N$  و  $D_p$  به ترتیب تعداد و قطر ذره است. همچنین او نتیجه گرفت که این منحنی یک خط مستقیم است که معادله آن به صورت  $dN/dD_p = A D_p^{-k}$  نوشته می‌شود که در آن  $A$  و  $k$  مقادیر ثابت است. همچنین او مقدار  $k$  را در محدوده قطر ذرات  $0/1$  تا  $10$  میکرومتر، تقریباً برابر  $4/0$  تعیین کرد. این مد توزیع به نام توزیع جانگ یا توزیع قانون توان شناخته می‌شود. در تحقیقات (Friedlander (1961، مشخص شد که با متوازن کردن نرخ‌های تولید و حذف ذرات، بخش ناشی از حالت پایا دارای توزیع عددی نظری بوده که به صورت معقولی قابل جفت شدن با توزیع جانگ است. (Whitby و Clark (1967، با برازش (Fit) توزیع جانگ با  $52$  توزیع اتمسفری، دریافتند که مقدار ثابت  $A$

ارتفاعات البرز، از سمت شرق به کوه‌های محدوده بی‌بی شهربانو و از جنوب به حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران ختم می‌شود. این منطقه از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود بوده و شامل ۱۲ شهرستان، ۲۷ بخش، ۳۸ شهر، ۷۱ دهستان و ۲۵۷۸ روستا است. این ناحیه با وسعتی معادل ۱۹۱۹۴ کیلومترمربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی یکی از استان‌های بسیار مهم کشور محسوب می‌شود. احاطه شدن تهران از سمت شمال و شمال شرق توسط ارتفاعات، مانع از عبور بادهایی که از سمت غرب و جنوب می‌وزند (در شرایطی که از بزرگی کافی برخوردار نباشند) شده و باعث انباشتگی آلاینده‌ها بر روی سطح منطقه می‌گردد (شکل ۱). در نتیجه پتانسیل آلودگی هوا در مرکز شهر را افزایش می‌دهد. باتوجه به حجم آلاینده‌های اتمسفری در شهر تهران و گستردگی منابع متحرک و همچنین تمرکز بالای ذرات اتمسفری در نواحی مرکزی شهر، در این پژوهش محدوده طرح ترافیک تهران بعنوان ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. در این کار با توجه به اهداف و نتایج مورد انتظار، از دو نمونه‌بردار حجم بالا و ایمپکتور جهت جمع‌آوری ذرات استفاده شد.

(Smog) فتوشیمیایی توسط واکنش‌های شیمیایی گازها در محل تولید می‌شوند. آشکارسازی و مطالعات مشخصه یابی ذرات باعث انقلابی در دانش و درک ما از ذرات اتمسفری شده است. علوم اتمسفری، فناوری ذرات، بهداشت صنعتی و مطالعات اثرات بهداشتی آلاینده‌ها زمینه‌های مختلف مؤثر در این حیطه هستند (Papastefanou, 2008). شهر تهران در سال‌های اخیر به عنوان کلانشهر صنعتی کشور همواره با معضل افزایش آلاینده‌های اتمسفری مواجه بوده و شرایط نامناسب بهداشتی را برای گروه‌های سنی حساس ایجاد کرده است. تحقیقات علمی در خصوص شناخت فیزیکوشیمیایی ذرات و رفتار آن‌ها در اتمسفر از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو تحقیقات متعددی در زمینه شناخت ماهیت ذرات اتمسفری انجام گرفته است. اما در خصوص توزیع آئروپنایمیکی ذرات در نواحی مرکزی شهر تهران و بررسی ویژگی شیمیایی و فیزیکی آن‌ها پژوهش خاصی وجود ندارد. در این پژوهش قصد داریم توزیع وزنی و اندازه ذرات را در محدوده طرح ترافیک شهر تهران بررسی نماییم.

## مواد و روش‌ها

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومترمربع از شمال به



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه  
Fig. 1. Geographical location sampling station in the study area

هر ایستگاه بعد از نمونه برداری؛ فرایند آماده سازی نمونه ها برای آزمایشگاه SEM انجام و از هر نمونه برای این مرحله فرایند جداسازی صورت گرفت. در این مرحله، تصاویری با وضوح بالا و بزرگنمایی ۵۰، ۲۰، ۱۰، ۵ و ۰/۵ هزار برابر از سطح نمونه ها تهیه شد (Zhou, Echlin, 2009; Goldstein *et al.*, 2003). توزیع میانگین ائرو دینامیکی ذرات و مورفولوژی سطح آن ها در این تصاویر قابل بررسی بود. جهت تعیین ترکیب شیمیایی ذرات از روش طیفسنجی تفکیک انرژی (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS/EDX) که به-عنوان ابزار سنجش تکمیلی روی میکروسکوپ الکترونی قرار دارد، استفاده شد (Echlin, 2009; Goldstein *et al.* 2003). این روش که از آن به عنوان طیفسنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS یا EDX) یاد می کنند، یک روش تحلیلی است که برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیات شیمیایی یک نمونه به کار می رود. این روش بر بررسی برهم کنش بین یک منبع برانگیختگی پرتو ایکس و یک نمونه متکی است. EDS یا EDX به منظور استفاده از طیفسنجی پراکندگی انرژی، برای آنالیز کمی مواد همراه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی یا میکرو آنالیز پروبی الکترونی در نظر گرفته شده است (Goldstein *et al.*, 2003). این روش برای تمامی نمونه های برداشت شده از سطح ایستگاه انجام گرفت. در شکل ۲ نمونه بردار حجم بالا استفاده شده در این تحقیق مشاهده می شود. در شکل ۳، نمونه های فیلترهای (سایز بزرگ و معمولی) مورد استفاده در فرایند نمونه برداری با نمونه بردار حجم بالا مشاهده می شود. به دلیل تجمع زیاد ذرات روی فیلتر و انسداد منافذ بین الیاف، بعد از نمونه برداری سطح فیلتر به رنگ تیره درآمده و کاملاً پوشیده از ذرات اتمسفری می شود.

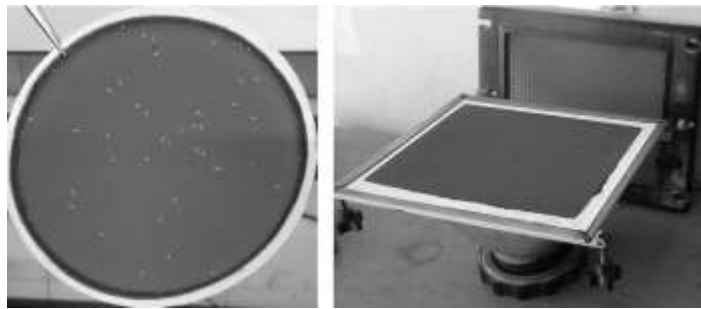


شکل ۲- نمونه بردار حجم بالا در زمان برداشت نمونه با دو فیلتر متفاوت  
Fig. 2. High volume sampler at sample time with two different filters

### نمونه بردار حجم بالا (High Volume)

نمونه برداری از کل ذرات اتمسفری توسط نمونه بردار حجم بالا (High Volume) در ارتفاع ۱/۵ تا ۱۰ متری از سطح زمین صورت گرفت. نمونه برداری از ایستگاه در فصل خشک و بدون بارش صورت گرفت. مدت زمان نمونه برداری برای ۲ تا ۱۸ ساعت با دبی ۱/۷ مترمکعب بر دقیقه در نظر گرفته شد. برای این کار از فیلترهای فایبرگلاس با ابعاد ۲۰ در ۲۵ سانتیمتر با بازدهی ۹۹/۹۹ درصدی انجام شد. قبل از استفاده از فیلترها باید جهت گرفتن رطوبت، آن ها را به مدت ۲۴ ساعت در حرارت  $10.5^{\circ}\text{C}$  در آون قرار داده و پس از خنک شدن در دسیکاتور حاوی سیلیکاژل، با دقت ۰/۱ میلی گرم وزن کرده و جهت نصب روی دستگاه آماده می کنیم. پس از نمونه برداری مجدداً فیلتر در آون  $10.5^{\circ}\text{C}$  برای ۲۴ ساعت رطوبت خود را از دست می دهد و پس از خنک شدن در دسیکاتور طبق روش قبل توزین می شود (ASTM, 2009). اختلاف وزن اولیه و ثانویه فیلتر میزان ذرات معلق جمع آوری شده را نشان می دهد. جهت افزایش دقت تمامی مراحل انجام شده در نمونه برداری برای هر دوره انجام گردد تا نتایج به دست آمده قابلیت انطباق داشته باشند.

با توجه به تعطیلی موسسات آموزشی در شهریورماه و تردد پایین منابع متحرک در سطح شهر و متقابلاً شروع فعالیت آن ها در مهرماه و افزایش تردد منابع متحرک، اختلاف احتمالی در غلظت و ماهیت فیزیکوشیمیایی ذرات اتمسفری این دو ماه می تواند قابل توجه باشد. لذا نمونه برداری برای این مرحله از پژوهش در ماه های شهریور و مهر سال ۱۳۹۸ انجام شد. جهت بررسی ماهیت فیزیکی و شیمیایی ذرات، از روش SEM (Scanning Electron Micrograph) استفاده گردید. در



شکل ۳- فیلترهای استفاده شده با نمونه بردار حجم بالا (بعد از نمونه برداری)  
Fig. 3- Filters used with high volume sampler (after sampling)

آئروپنایمیک بوده و رفتار آن‌ها در جو را کنترل می‌کند. در این مرحله از کار به بررسی تاثیر این روش بر توزیع ذرات در اتمسفر منطقه پرداخته شد. توزیع آئروپنایمیکی ذرات و بررسی روند تغییر آن در فصول مختلف سال از مهمترین بررسی‌های رفتارشناسی در خصوص ذرات اتمسفری است. برای این کار از نمونه بردار ایمپکتور استفاده شد. برخورددهنده آبشاری محیطی 1 ACFM (برابر یک فوت مکعب بر دقیقه) با آهنگ جریان ثابت ۲۸/۳ لیتر بر دقیقه که به وسیله یک پمپ خلاء پیوسته تأمین می‌شود، کار می‌کند و شامل هشت طبقه آلومینیومی است (Papastefanou, 2008). در این کار طول مدت نمونه برداری با ایمپکتور بین ۷۲ ساعت تا ۷ روز متغیر بود. شکل ۴ الف، یک ایمپکتور مدل 1 ACFM را نشان می‌دهد. طبقات دارای قطر مؤثر قطع ۱۱/۰، ۷/۰، ۴/۷، ۳/۳، ۲/۱، ۱/۱، ۰/۷ و ۰/۴ میکرومتر است که به ترتیب مربوط به طبقات ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و F می‌باشند. مرحله صفر فقط طبقه روزنه است. طبقه F شامل صفحه جمع کننده طبقه ۷ و فیلتر پشتیبان می‌باشد. طبقات صفر تا شش دارای مقطع ورودی هوای یکپارچه با ۴۰۰ روزنه می‌باشند. طبقه ۷ شامل ۲۰۱ روزنه است. قطر مقطع ورودی به طور تقریبی ۳/۱۲۵ اینچ است. اندازه روزنه‌ها از طبقات بالا به پایین به صورت تصاعدی یعنی از قطر ۰/۰۶۲۵ اینچ در طبقه صفر تا قطر ۰/۱۰۰ اینچ در طبقه ۷ کوچک تر می‌شوند. هر طبقه یک صفحه جمع آوری قابل نصب و برداشت از جنس فولاد ضدزنگ یا شیشه (به قطر ۳/۲۵ اینچ) دارد. قطر بخش تخلیه هر طبقه تقریباً ۰/۷۵ اینچ بزرگ تر از

معادله کلی محاسبه غلظت ذرات به صورت حاصل تقسیم وزن ذرات جمع آوری شده روی فیلتر بر حجم هوای عبوری از فیلتر است. برای قابل مقایسه کردن این غلظت محاسبه شده در نقاط مختلف جغرافیایی و در شرایط مختلف محیط زیست باید حجم هوای عبوری به حجم معادل در شرایط استاندارد (T = ۲۹۸°k = ۲۵°C، T = ۱۰۱۳ mbar) تبدیل شود لذا (ASTM, 2009):

$$TSP = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

TSP = غلظت ذره معلق  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Wf = وزن ثانویه فیلتر g

Wi = وزن اولیه فیلتر g

$$V = Q_{std} \times t \quad (2)$$

V = حجم هوای عبوری در شرایط استاندارد  $\text{m}^3$

$$V = Q_{std} \times t_{std} = Q_m \times \frac{P}{P_{std}} \times \frac{T_{std}}{T} \quad (3)$$

Qstd = دبی متوسط در شرایط استاندارد  $\text{m}^3/\text{min}$

t = مدت زمان نمونه برداری بر حسب دقیقه

Qm = دبی متوسط نمونه برداری  $\text{m}^3/\text{min}$

P = فشار هوا در محل نمونه برداری mbar

T = دمای هوا در محل نمونه برداری °k

Pstd = فشار هوا در شرایط استاندارد ۱۰۱۳ mbar

Tstd = دمای هوا در شرایط استاندارد ۲۹۸ °k

آزمون توزیع آئروپنایمیکی ذرات با نمونه بردار

ایمپکتور (کاسکید ایمپکتور اندرسن مدل 1 ACFM)

ذرات اتمسفری همچون سایر اجسام تحت تاثیر قوانین

ایمپکتور به همراه فلومتر و پمپ خلاء در شکل ۴ نشان داده شده است. بعد از اتمام نمونه برداری صفحات مختلف با دقت بالا وزن و با توجه به جرم ذرات جمع آوری شده روی هر صفحه و حجم هوای عبوری، غلظت و درصد وزنی ذرات محاسبه شد. در هر نوبت از نمونه برداری با ایمپکتور، فرایند ذکر شده انجام می گیرد.



ب (B)

صفحه جمع آوری است تا ذرات برخورد نکرده امکان رفتن به اطراف صفحه و عبور به طبقه بعد را داشته باشند (Papastefanou, 2008). روزنه های کوچک تر سرعت هوای روزنه را در هشت طبقه متوالی افزایش می دهند تا سبب برخورد ذرات کوچک تر بر روی دیسک های جمع آوری در طبقه بعدی شوند. (Papastefanou, 2008). نمونه برداری با



الف (A)

شکل ۴- (الف) کاسکید ایمپکتور اندرسن مدل 1 ACFM (ب) نمونه برداری با ایمپکتور توسط پمپ خلاء

Fig. 4- (A) Anderson's cascade model 1 ACFM (B) Impact sampling by vacuum pump

۱۲/۱۵ ± ۱۲۹/۲۳ به ثبت رسید. جدول ۱، میانگین غلظت ماهیانه ذرات اتمسفری را در ایستگاه نشان می دهد. میانگین کل ذرات برای دوره بررسی  $111/9 \pm 11/6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بود. با توجه به تأثیرپذیری میزان غلظت ذرات اتمسفری از پارامترهای محیطی و تغییر این پارامترها با زمان نمونه برداری، نمونه برداری در زمانی انجام شد که اختلاف زیادی در متغیرهای محیطی وجود نداشت. قابل ذکر است که اختلاف در غلظت ذرات (ابعاد کمی) نوبت های نمونه برداری در این مرحله از کار مدنظر نبوده و تنها بررسی ترکیب شیمیایی ذرات (ابعاد کیفی) مطرح است.

## نتایج و بحث

با توجه به شرایط اقلیمی حاکم در منطقه و تغییرات جوی در طول سال و همچنین حجم منابع تولید آلاینده های اتمسفری، تغییرات غلظت ذرات از پیش بینی های علمی پیروی نمی کند. نتایج بررسی به عمل آمده از تغییرات غلظت ذرات اتمسفری در منطقه، در طول دوره نمونه برداری که وقوع پدیده های گردوغبار محلی را شاهد بودیم، افزایش قابل توجهی در غلظت ذرات مشاهده می شد. در طول دوره نمونه برداری بالاترین غلظت ذرات جمع آوری شده  $154/22 \pm 6/11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین مقدار آن  $129/12 \pm 23/15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بود.

جدول ۱- غلظت ذرات اتمسفری در ایستگاه های نمونه برداری

Table 1. Atmospheric particle concentrations at sampling stations

میزان غلظت ذرات Particle Concentration	نمونه Sample	میزان غلظت ذرات Particle Concentration	نمونه Sample
130.74±23.5	7	129.12±23.15	1
154.61±22.1	8	146.22±31.3	2
144.37±21.24	9	139.13±25	3
142.21±31.33	10	152.1±32.4	4
139.24±33.1	11	145±31.14	5
142.23±32	12	148.22±11.6	6



## توزیع وزنی ذرات

۶، یکی از صفحات فلزی ضد زنگ ایمپکتور را بعد از انجام فرآیند نمونه برداری نشان می‌دهد. نقاط تیره و روشن محل تجمع ذرات اتمسفری بعد از برخورد به سطح صفحه است.

در این بخش نتایج مربوط به اندازه‌گیری با نمونه بردار ایمپکتور ارائه شده است. شکل ۵، صفحات ایمپکتور و شکل



شکل ۵- صفحات ایمپکتور بعد از انجام نمونه برداری  
Fig. 5- Impactor plates after sampling

بر اساس نتایج نمونه بردار کاسکید ایمپکتور (برخورددهنده آبشاری) وقوع طوفان‌های محلی در این مقطع از فصل، عمده توزیع آئرو دینامیکی ذرات در مد درشت یعنی ذرات بزرگ‌تر از ۲ میکرومتر بود. یک نمونه از توزیع آئرو دینامیکی ذرات فصل خشک در شکل ۸ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده در فصل تابستان و پاییز به طور متوسط بیش از ۲۰/۵ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری بیش از ۷ میکرومتر بوده و توسط طبقات ۱ و ۲ ایمپکتور نهشت پیدا کردند. در این فصول کمتر از ۱۰ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری کمتر از ۰/۴ میکرومتر بوده که توسط فیلتر پشتیبان جمع‌آوری شدند. با توجه به نتایج توزیع آئرو دینامیکی ذرات در فصل خشک، نوسانات شدید در میانگین وزنی طبقات ایمپکتور تحت تأثیر پدیده‌های جوی مانند گردوغبار محلی بود. ۲۸/۶ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده توسط ایمپکتور در زمان وقوع پدیده گردوغبار محلی توسط طبقه ۱ جمع‌آوری شدند.



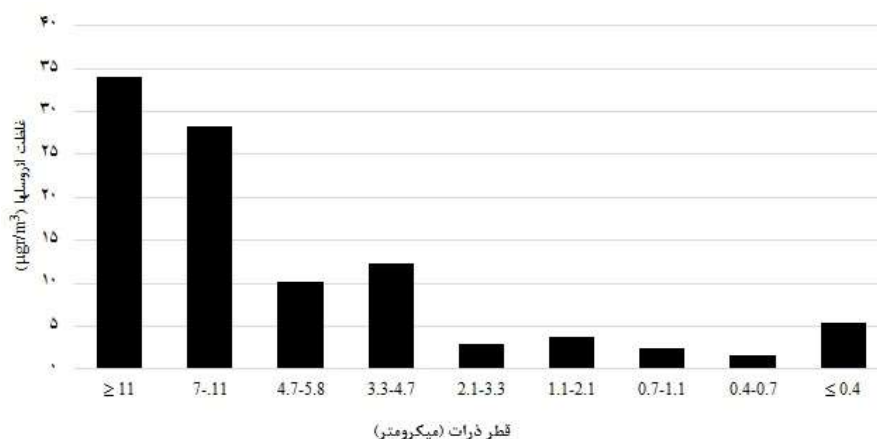
شکل ۶- نمونه صفحه فلزی ایمپکتور بعد از فرایند نمونه برداری  
Fig. 6- Sample Impactor metal plate after sampling process

فیلتر پشتیبان به عنوان آخرین سد در جمع‌آوری ذرات بوده و ذرات کوچک‌تر از ۰/۴ میکرومتر که قادر به نهشت روی صفحات فولادی نیستند را به دام انداخته و به دلیل درصد فراوانی ذرات در این قطر (۰/۴ میکرومتر)، بعد از انجام نمونه برداری کاملاً تیره می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷- تصویری از فیلتر پشتیبان بعد از انجام فرایند نمونه برداری  
Fig. 7- An image of the backup filter after the sampling process





شکل ۸- یک نمونه از توزیع آئرو دینامیکی ذرات اتمسفری در دوره بررسی  
 Fig. 8- An example of the distribution of atmospheric particles during the study period

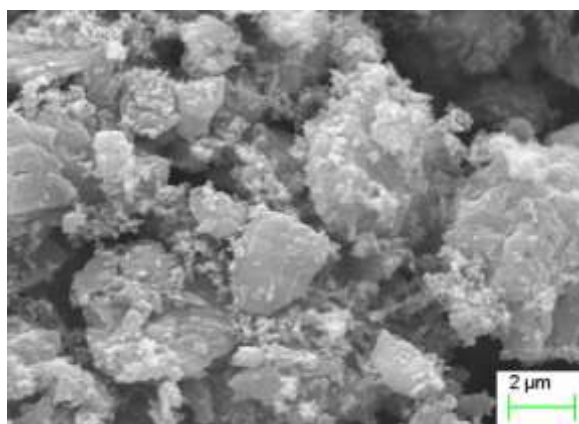
### ترکیب شیمیایی ذرات

در این مرحله از کار، پس از انجام نمونه برداری فرایند آماده سازی نمونه ها جهت مطالعه مشخصات فیزیکوشیمیایی ذرات به روش SEM صورت گرفت. مورفولوژی ذرات و ترکیب شیمیایی آن ها به روش طیفسنجی بررسی و ثبت شد. ذرات اتمسفری در طول فصول سال بر اساس منابع آلاینده در منطقه ترکیب و اشکال متعدد را به خود می گیرند. سوخت های مصرفی در منابع آلاینده ثابت همچون پالایشگاه ها، نیروگاه ها و کارخانجات فرآورده های فلزی و فولادی، منجر به انتشار ذرات با ترکیب و مورفولوژی خاصی از در اتمسفر می شود. از طرفی هم ذرات معلق تولید شده توسط ناشی از مصرف سوخت فسیلی در وسایل نقلیه موتوری و همچنین سوزاندن زیست توده در بسیاری از اطراف و حومه شهرها ویژگی متعدد و متنوعی از ترکیب های شیمیایی و فیزیکی را در ذرات اتمسفری ایجاد می کند. بسیاری از این ویژگی ها به دلیل عدم انجام پژوهش درست ناشناخته بوده و کمتر به ماهیت آن ها پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصل از بررسی این ویژگی از ذرات در منطقه مورد مطالعه، در نگاه کلی اشکال کروی و منظم در کنار اشکال نامنظم و بی شکل در نمونه ها به چشم می خورد. شکل ۹، تصویر SEM تهیه شده از ذرات در ایستگاه نمونه برداری را نشان می دهد. اشکال منظم و کروی از ذرات در کنار ذرات بی شکل و نامنظم

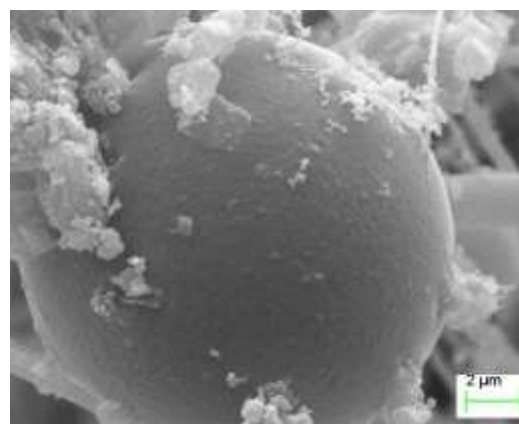
حضور داشتند؛ اما ابعاد و درصد ترکیب شیمیایی آن در طول دوره های نمونه برداری متفاوت بود. از لحاظ اندازه ذرات، مطابق نتایج آزمون ایمپکتور در نمونه ها، درصد فراوانی ذرات درشت (۷۰-۳۰ میکرومتر) در طول نمونه برداری شهریور ماه بیش از مهرماه است. شرایط برای ذرات ریز (۳۰-۰ میکرومتر) عکس این وضعیت بوده و در طول مهرماه درصد فراوانی این ذرات بیشتر است. عناصر مختلفی همچون Mg، Al، Ca، Fe، K، Na، Zn، Ti، O و Si با غلظت های متفاوت در نمونه های برداشت شده از این ایستگاه، اندازه گیری شد. شکل ۱۰، تصویر یک ذره معلق بزرگ را نشان می دهد که طی برخورد ذرات ریز با یکدیگر و لخته شدن ذرات با هم رشد کرده است. عناصری مانند Mg، Na، Zn، Fe و Ca در کنار O و C از عناصر تشکیل دهنده ذرات اتمسفری در منطقه است که بر اساس شرایط فصلی و پارامترهای محیطی غلظت آن ها متفاوت می باشد. بیش از ۷۰ درصد از ترکیب شیمیایی ذرات در این ایستگاه متشکل از O و C بود که در بازه ۷۰-۵۵ درصدی در طول دوره بررسی تغییر می کرد. جدول ۲، نتایج آزمون SEM-EDS برای یک نوبت از نمونه برداری در ایستگاه برای شهریورماه را نشان می دهد. همچنین شکل ۱۰ میکروگراف ذرات جمع آوری شده در آزمون SEM-EDS برای همین ماه را نشان می دهد. اختلاف ترکیب شیمیایی ذرات به هم چسبیده در نمونه های جمع آوری شده نشان از خاستگاه

۷ میکرومتر نیز به صورت کروی، خوشه مانند و ورقه‌ای در نمونه‌ها دیده می‌شود. به غیر از K، Ca، Cl و Fe، ذرات غنی از Al، Mg و Na نیز در ترکیب نمونه‌ها دیده می‌شود. این روند نشان دهنده منشا دود برای این دسته از ذرات است (Tasic *et al.*, 2006; Pipal *et al.*, 2011). در ذراتی با ابعاد بزرگتر از ۷ میکرومتر به صورت اشکال کروی، خوشه‌ای و نامنظم دیده می‌شوند. ترکیب عمده عناصر این دسته از ذرات Al، Fe، K، Si، Ca، Mg، Ti و O است. Ca این ترکیبات می‌تواند به شکل کربنات کلسیم مربوط به فاز  $\text{CaCO}_3$  باشد (Ostro *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2009). وجود Na در این ترکیبات ممکن است دارای منشا پوسته زمینی باشد که از فعالیت ساخت و ساز در منطقه منتشر شده است (Rodriguez *et al.*, 2009). وجود Pb در نمونه‌های برداشت شده می‌تواند منشا سوخت فسیلی را برای حجمی از آلاینده‌های منتشر شده در منطقه در نظر گرفت (Ramos *et al.*, 2009). نتایج به‌دست آمده با تحقیقات (Fecht *et al.*, 2015) در انگلستان و هلند و (Singh *et al.*, 2014) در هند همپوشانی داشت. Rodriguez *et al.* (2009) اشکال نامنظم را نتیجه تجمع و چسبیدن ذرات ریز به یکدیگر طی فرایند انعقاد می‌داند که در نتایج تحقیق حاضر و مطالعات (Tasic *et al.*, 2006) نیز دیده شده است. (Tiwari *et al.*, 2015; Pipal *et al.*, 2011).

متفاوت ذرات داشته و به مراتب این تغییرات در فصل تابستان و پاییز بیشتر از هر زمانی است. ساختارهای خوشه مانند و بی شکل غنی از O، Zn، Mg، Fe، K، Si و Na در ذرات با ابعاد ۲ تا ۷ میکرومتر مشاهده شد. در نمونه‌های این نواحی اشکال کریستالی، کروی و بی شکل در ذرات با اندازه‌های بزرگتر از ۷ میکرومتر با ترکیبات غنی از O، Zn، Fe، K، Si و Ti در کنار Na، Mg و Al دیده می‌شود. نسبت Si این ترکیبات با Na، Mg، O و Al نشان‌دهنده ترکیبات معدنی فلدسپات‌دار و رس‌دار است (Shao *et al.*, 2007). Al و Si این ترکیبات به صورت آلومینوسلیکات بوده و می‌تواند شامل کائولینیت، اپلیت و فلدسپات باشد (Ostro *et al.*, 2007). این نتایج، مشابه نتایج به‌دست آمده از تحقیقات (Bhardwaj *et al.*, 2017) در نواحی شهری و روستایی در دهلی هند، (Kushwaha *et al.*, 2013) در منطقه الله‌آباد هند، (Ramirez *et al.*, 2014) در شمال مکزیک بود. ذراتی با اشکال نامنظم، کروی، میله‌ای و کریستالی از ویژگی‌های ذراتی با ابعاد کوچکتر از ۳ میکرومتر جمع‌آوری شده دارای ترکیباتی غنی از Ca، K و Zn در کنار Si، Al، Ti و O هستند. این وضعیت نشان‌دهنده منشأ ساخت و ساز و حمل و نقل درون شهری و برون شهری و همچنین ذرات ناشی از سوختن زیست توده در کشاورزی برای ذرات جمع‌آوری شده است (Tiwari *et al.*, 2014; Tiwari *et al.*, 2015). ذرات معلق با ابعاد ۳ تا

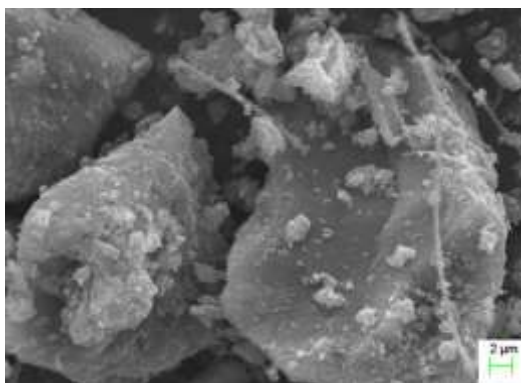


ب

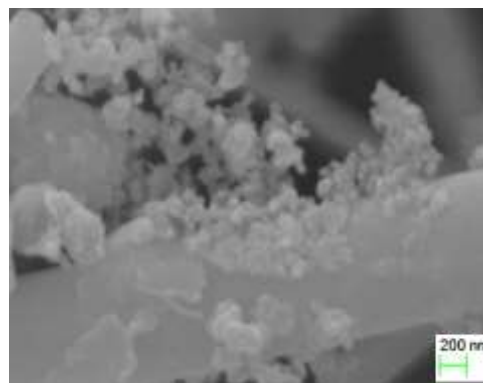


الف

شکل ۹- تصاویر ذرات جمع‌آوری شده در روش SEM  
Fig. 9- Images of particles collected in the SEM method

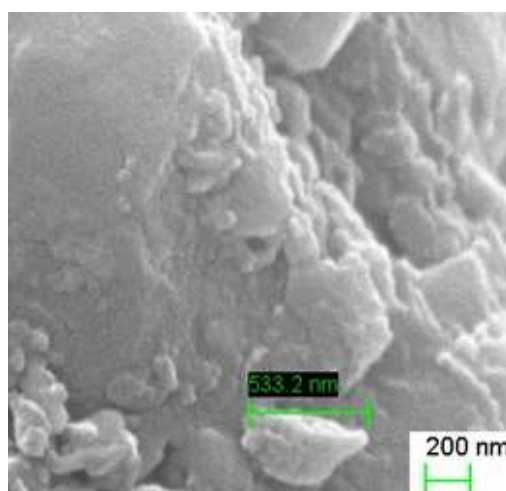


(ت)



(پ)

ادامه شکل ۹- تصاویر ذرات جمع‌آوری شده در روش SEM  
 Fig. 9. Cont. Images of particles collected in the SEM method



شکل ۱۰- تصویر ذرات جمع‌آوری شده در روش SEM  
 Fig. 10- Image of particles collected in the SEM method

نیز در ترکیب نمونه‌ها دیده می‌شود. در این نواحی ذرات با ابعاد بزرگتر از ۷ میکرومتر به صورت اشکال کروی، خوشه‌ای و نامنظم دیده می‌شوند. ترکیب عمده عناصر این دسته از ذرات Al، Fe، K، Si، Ca، Mg، Ti و O است. نمونه‌ای از درصد وزنی عناصر موجود در ترکیب شیمیایی ذرات جمع‌آوری شده در روش SEM در جدول ۲ ارائه شده است.

همچنین در نمونه‌های برداشت شده ذرات با اشکال نامنظم، کروی، میله‌ای و کریستالی در میان ذراتی با ابعاد کوچکتر از ۳ میکرومتر دیده می‌شود. این نمونه‌ها دارای ترکیباتی غنی از Ca، K و Zn در کنار Al، Si، Ti و O هستند. ذرات با ابعاد ۳ تا ۷ میکرومتر نیز به صورت کروی، خوشه مانند و ورقه‌ای در نمونه‌ها دیده می‌شوند. به غیر از Ca، K، Cl و Fe، ذرات غنی از Al، Mg و Na

جدول ۲- نمونه‌ای از درصد عناصر در ترکیب شیمیایی ذرات در روش SEM

Table 2. Sample of the percentage of elements in the chemical composition of particles in the SEM method

درصد وزنی Weight Percentage	عناصر Elements	درصد وزنی Weight Percentage	عناصر Elements
5.46	Si	32.51	C
0.79	Cl	43.15	O
10.48	Ca	1.47	Na
2.42	Fe	0.95	Mg
		2.77	Al
	100		جمع کل

## نتیجه گیری

(Rodriguez et al., 2009). ذرات با اشکال نامنظم و بی شکل دارای منشأ داخلی بوده و این ذرات به طور عمده شامل ذرات تولید شده از منابع متحرک (حمل و نقل) و صنایع و مصرف سوخت فسیلی است. این ذرات بعد از تعلیق در اتمسفر با برخورد به سطوح و یکدیگر تشکیل ابعاد بزرگتر داده و به صورت تجمعی رسوب می کنند (Geng et al., 2011; Zhai et al., 2012). در حالیکه ذرات با اشکال منظم و عمدتاً کروی منشأ معدنی داشته و ناشی از سوختن زیست توده در محیط هستند (-Campos Ramos et al., 2009; Geng et al., 2011). باتوجه به نتایج سایر مطالعات در این تحقیق، ذرات ریز بیشتر طی فرآیندهای احتراق سوخت توسط صنایع و حمل و نقل شهری انتشار می یابند و ذرات بزرگتر طی فعالیت های انسانی مانند گردوغبار تولیدی در جاده ها توسط وسایل نقلیه، ساخت و ساز ساختمانی و صنایع تولید و منتشر می شوند (Mazzeri et al., 2001; Vakeva et al., 1999). Adachi and Viana et al., 2006; Querol et al., 2001; Tainosho, 2004). باتوجه به شرایط جوی منطقه و نرخ رشد بافت شهری و افزایش تعداد منابع متحرک در شهر تهران، مدیریت راهبردی و منطقی را کنترل فزاینده آلاینده های اتمسفری می طلبد و این جزء با افزایش کیفیت وسایل نقلیه و سوخت فسیلی و افزایش ظرفیت ناوگان عمومی محقق نمی شود.

Alvi, M. U., Kistler, M., Shahid, I., Alam, K., Chishtie, F. and Mahmud, T., 2020. Composition and source apportionment of saccharides in aerosol particles from an agro-industrial zone in the Indo-Gangetic Plain. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 14124–14137.

Ari, P. E., Ari, A., Dumanoğlu, Y., Odabasi, M., and Gaga, E. O., 2020. Organic chemical characterization of size segregated particulate matter samples collected from a thermal power plant area. *Environ. Pollut.* 262, 114360.

نتایج آزمون توزیع غلظت ذرات طی دوره نمونه برداری در منطقه مورد نظر مشخص نمود که بالاترین و کمترین غلظت ذرات جمع آوری شده را به ترتیب در حدود  $129/23 \pm 12/15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $154/22 \pm 61/1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  میانگین کل ذرات برای دوره بررسی هم به میزان  $111/9 \pm 11/9$  به ثبت رسید. همچنین نتایج مشخص کرد که در فصل تابستان و پاییز به طور متوسط بیش از  $20/5$  درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری بیش از  $7$  میکرومتر بوده و فقط کمتر از  $10$  درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری کمتر از  $0/4$  میکرومتر بودند. باتوجه به قرارگیری ایستگاه نمونه برداری در نواحی مرکزی شهر، نتایج بررسی SEM ذرات این ایستگاه نشان از افزایش حجم آلاینده ها ناشی از مصرف سوخت فسیلی و افزایش تردد وسایل نقلیه درون شهری، ترکیب ذرات تغییر کرده و غنی از عناصر و ترکیبات انسانی همچون دوده و فلزاتی مانند Pb می شوند. وجود ساختارهای خوشه مانند و بی شکل غنی از O, Zn, Mg, Fe, K, Si و Na در ذرات کوچکتر از  $3$  میکرومتر و ترکیبات غنی از Mg, Ti و Pb از ویژگی های ذرات بزرگتر از  $3$  میکرومتر بود. همچنین ترکیبات Ca در فاز  $\text{CaCO}_3$  و ذرات غنی از Na با منشأ پوسته ای از دیگر مشخصه های نمونه های برداشت شده در این ایستگاه بود (Ostro et al., 2007; Ramos et al., 2009).

## منابع

Adachi K. and Tainosho Y., 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in the tyre dust. *Environ Int.* 30:1009–1017.

Aitken, J., Collected Scientific Papers of John Aitken. 1923. In: Knott, C.G. (Ed.), Cambridge University Press, London, 591 pp.

ASTM D4096-91 2003. (Reapproved 2009). Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Sampler Method), ASTM

- International, West Conshohocken, PA, 9 p.
- Atkinson, R.W., Fuller, G.W., Anderson, H.R., Harrison, R.M. and Armstrong, B. 2010. Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis. *Epidemiology*. 21(4): 501-511.
- Bhardwaj, P., Singh, B.P., Pandey, A.K., Jain, V.K. and Kumar, K., 2017. Characterization and Morphological Analysis of summer and Wintertime PM<sub>2.5</sub> Aerosols over Urban-Rural Locations in Delhi-NCR. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12(5), pp.1009-1030.
- Campos-Ramos, A., Aragon-Pina, A., Galindo-Estrada, I., Querol, X., Alastuey, A., 2009. Characterization of atmospheric aerosols by SEM in a rural area in the western part of Mexico and its relation with different pollution sources. *Atmospheric Environment*, 43, 6159 - 6167.
- Cesari, D., Merico, E., Dinoi, A., Gambaro, A., Morabito, E., Gregoris, E., Barbaro, E., Feltracco, M., Alebić-Juretić, A., Odorčić, D. and Kontošić, D., 2020. An inter-comparison of size segregated carbonaceous aerosol collected by low-volume impactor in the port-cities of Venice (Italy) and Rijeka (Croatia). *Atmospheric Pollution Research*, 11(10), pp.1705-1714.
- Cheng, Y., Lee, S., Gu, Z., Ho, K., Zhang, Y., Huang, Y., Chow, J.C., Watson, J.G., Cao, J. and Zhang, R., 2015. PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10-2.5</sub> chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. *Particulogy*, 18, pp.96-104.
- Dai, Q., Bi, X., Huangfu, Y., Yang, J., Li, T., Khan, J. Z., et al., 2019. A size-resolved chemical mass balance (SR-CMB) approach for source apportionment of ambient particulate matter by single element analysis. *Atmos. Environ.* 197, 45–52.
- Dai, Q., Bi, X., Liu, B., Li, L., Ding, J., Song, W., Bi, S., Schulze, B.C., Song, C., Wu, J. and Zhang, Y., 2018. Chemical nature of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Xi'an, China: Insights into primary emissions and secondary particle formation. *Environmental Pollution*, 240, pp.155-166.
- Darrow, L.A., Klein, M., Flanders, W.D., Waller, L.A., Correa, A., Marcus, M., Mulholland, J.A., Russell, A.G. and Tolbert, P.E., 2009. Ambient air pollution and preterm birth: a time-series analysis. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*. 20(5): 689.
- Echlin, P. 2009. *Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis*. Cambridge Analytical Microscopy, UK.
- Fecht D., Fischer P., Fortunato L., Hoek G., Hoogh K., Marra M., Kruize H., Vienneau D., Beelen R., Hansell A., 2015. Associations between air pollution and socioeconomic characteristics, ethnicity and age profile of neighbourhoods in England and the Netherlands. *Environmental Pollution*. 198: 201-210
- Friedlander, S.K. 1961. Theoretical considerations for the particle size spectrum of the stratospheric aerosol. *Am. Meteor. Soc. J. Meteor.* 18, 753–759.
- Fromme, H., Diemer, J., Dietrich, S., Cyrus, J., Heinrich, J., Lang, W., Kiranoglu, M. and Twardella, D., 2008. Chemical and morphological properties of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*. 42(27): 6597-6605.
- Goldstein, J. and et.al, 2003. *Scanning Electron Microscopy & X-Ray Microanalysis*. Third Edition, Kluwer academic/Plenum Publishers, NewYork Boston, Dordrecht, London, MoScow.
- Geng, H., Ryu, J., Maskey, S., Jung, H.J., Ro, C.U. 2011. Characterization of individual aerosol particles collected during a haze episode in Incheon, Korea using the quantitative ED-EPMA

- technique. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 1327-1337.
- Geng, H., Ryu, J., Maskey, S., Jung, H.J., Ro, C.U., 2011. Characterization of individual aerosol particles collected during a haze episode in Incheon, Korea using the quantitative ED-EPMA technique. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 1327-1337.
- Hopke, P. K., Dai, Q., Li, L., and Feng, Y., 2020. Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Sci. Total Environ.* 740, 140091.
- Jain, S., Sharma, S. K., Vijayan, N., and Mandal, T. K., 2020. Seasonal characteristics of aerosols (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and their source apportionment using PMF: A four-year study over Delhi. *India. Environ. Pollut.* 262, 114337.
- Junge, C.E. 1963. *Air Chemistry and Radioactivity*. Academic Press, New York.
- Junge, C.E. 1972. Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment. *J. Geophys. Res.* 77, 5183–5200.
- Kelly, F.J. and Fussell, J.C., 2012. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*. 60: 504-526.
- Kushwaha, R., Hazarika, N. and Srivastava, A. 2013. SEM-EDX analysis of size segregated particulate matter in Allahabad located in north India. *International Journal of Advanced Research*, 1(5): 248-255.
- Keyword, M., Hibberd, M. F., Selleck, P. W., Desservettaz, M., Cohen, D. D., Stelcer, E., et al., 2020. Sources of Particulate Matter in the Hunter Valley. *New South Wales, Australia. Atmosphere* 11, 4.
- Kong, S., Han, B., Bai, Z., Chen, L., Shi, J., and Xu, Z., 2010. Receptor modeling of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and TSP in different seasons and long-range transport analysis at a coastal site of Tianjin, China. *Sci. Total Environ.* 408, 4681–4694
- Kozáková, J., Leoni, C., Klán, M., Hovorka, J., Racek, M., Koštejn, M., Ondráček, J., Moravec, P. and Schwarz, J., 2018. Chemical Characterization of PM<sub>1-2.5</sub> and its Associations with PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5-10</sub> and Meteorology in Urban and Suburban Environments. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(7), pp.1684-1697.
- Li, X., Jiang, L., Hoa, L. P., Lyu, Y., Xu, T., Yang, X., et al., 2016. Size distribution of particle-phase sugar and nitrophenol tracers during severe urban haze episodes in Shanghai. *Atmos. Environ.* 145, 115–127.
- Liu, B., Sun, X., Zhang, J., Bi, X., Li, Y., Li, L., et al., 2020. Characterization and Spatial Source Apportionments of Ambient PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> during the Heating Period in Tian'jin. *China. Aerosol Air Qual. Res.* 20, 1–13.
- Liu, L., Breitner, S., Schneider, A., Cyrus, J., Brüske, I., Franck, U., et al., 2013. Size-fractioned particulate air pollution and cardiovascular emergency room visits in Beijing. *China. Environ. Res.* 121, 52–63.
- Mazzera DM, Lowenthal DH, Chow JC, Watson JG 2001. Sources of PM<sub>10</sub> and sulfate aerosol at McMurdo station, Antarctica. *Chemosphere* 45:347–356.
- Maynard, D., Coull, B.A., Gryparis, A. and Schwartz, J., 2007. Mortality risk associated with short-term exposure to traffic particles and sulfates. *Environmental health perspectives*. 115(5): p.751.
- Ostro, B. D., Lipsett, M. J, Mann, J K et al., 2007.



- Air pollution and exacerbation of asthma in African-American children in Loss Angeles. *Epidemiology*. 12:200-208.
- Oroji, B., Solgi, E., Sadighzadeh, A. 2018a. Recognition of the Source and Nature of Atmospheric Aerosols in Tehran, Iran. *Journal of Aerosol and Air Quality Research*. 18(8): 2131-2140.
- Oroji, B., Solgi, E., Sadighzadeh, A. 2018b. Characterization and Morphological Analysis of Aerosols in Tehran Traffic Zone. *Journal of Air Pollution and Health*. 3(1): 9 – 16.
- Oroji, B., Solgi, E., Sedighzadeh, A. 2017. Investigation of the origin and health effects of atmospheric aerosols in Tehran. *Journal of Environmental Sciences*. 15 (4), 100-79.
- Owoade, K. O., Hopke, P. K., Olise, F. S., Adewole, O. O., Ogundele, L. T., and Fawole, O. G. (2016). Source apportionment analyses for fine (PM<sub>2.5</sub>) and coarse (PM<sub>2.5-10</sub>) mode particulate matter (PM) measured in an urban area in southwestern Nigeria. *Atmos. Pollut. Res.* 7, 843–857
- Pateraki, S., Asimakopoulos, D. N., Maggos, T., Assimakopoulos, V. D., Bougiatioti, A., Bairachtari, K., et al., 2020. Chemical characterization, sources and potential health risk of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> pollution across the Greater Athens Area. *Chemosphere* 241, 125026.
- Papastefanou, C. 2008. Radioactive Aerosols. ELSEVIER. 187 p.
- Pipal, Atar S., Kulshrestha, Aditi, Taneja Ajay, 2011. Characterization and morphological analysis of airborne PM<sub>2.5</sub> AND PM<sub>10</sub> in Agra located in north central India. *Atmospheric environment* 45, 3621-3630.
- Pope III, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K. and Thurston, G.D., 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*. 287(9): 1132-1141.
- Querol X, Alastuey A, Rodriguez S, Plana F, Mantilla E, Ruiz C., 2001. Monitoring of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> around primary particulate anthropogenic emission sources. *Atmos Environ* 35:845–858
- Ramos, A.C., Pina, A.A., Estradda, I.G et al., 2009. Characterization of atmospheric aerosols by SEM in rural area in the western part of Mexico and its relation with different pollution sources. *Atmospheric Environment* 43, 6159-6167.
- Ramirez-Leal, R., Valle-Martinez, M. and Cruz-Campas, M., 2014. Chemical and morphological study of PM<sub>10</sub> analysed by SEM-EDS. *Open Journal of Air Pollution*, 3(04), p.121.
- Rodríguez, I., Galí, S., & Marcos, C., 2009. Atmospheric inorganic aerosol of a non-industrial city in the centre of an industrial region of the North of Spain, and its possible influence on the climate on a regional scale. *Environmental Geology*, 56(8), 1551-1561
- Rivas, I., Beddows, D. C., Amato, F., Green, D. C., Järvi, L., Hueglin, C., et al., 2020. Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities. *Environ. Int.* 135, 105345.
- Samek, L., Stegowski, Z., Styszko, K., Furman, L., and Fiedor, J., 2018. Seasonal contribution of assessed sources to submicron and fine particulate matter in a Central European urban area. *Environ. Pollut.* 241, 406–411.
- Schlesinger, R.B., Bohning, D.E., Chan, T.L. and Lippmann, M., 1977. Particle deposition in a hollow cast of the human tracheobronchial tree. *J. Aerosol Sci.* 8: 429–441.

- Singh, A.K., Srivastava, M.K., Singh, M., Srivastava, A.K., Sravan, K., Tiwari, S., Singh, B.P. and Bisht, D.S., 2014. Characterisation of atmospheric aerosol by SEM-EDX and Ion-chromatography techniques for eastern Indo-Gangetic plain location, Varanasi, India. *International Journal of Advances in Earth Sciences*, 3, pp.41-51.
- Shao, L., Li, W.Y., Shi, Z.I et al., 2007. Mineralogical characteristics of individual airborne particles collected in Beijing during a severe dust storm period in spring 2002. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 50 (6), pp. 953–959.
- Theodosi, C., Panagiotopoulos, C., Nouara, A., Zampas, P., Nicolaou, P., Violaki, K., et al., 2018. Sugars in atmospheric aerosols over the Eastern Mediterranean. *Prog. Oceanogr.* 163, 70–81.
- Tian, Y., Liu, J., Han, S., Shi, X., Shi, G., Xu, H., et al., 2018. Spatial, seasonal and diurnal patterns in physicochemical characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> in both inland and coastal regions within a megacity in China. *J. Hazard. Mater.* 342, 139–149.
- Tian, Y. Z., Chen, G., Wang, H. T., Huang-Fu, Y. Q., Shi, G. L., Han, B., et al., 2016. Source regional contributions to PM<sub>2.5</sub> in a megacity in China using an advanced source regional apportionment method. *Chemosphere* 147, 256–263
- Tian, Y. Z., Chen, J. B., Zhang, L. L., Du, X., Wei, J. J., Fan, H., et al., 2017. Source profiles and contributions of biofuel combustion for PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and their compositions, in a city influenced by biofuel stoves. *Chemosphere* 189, 255–264.
- Tasić, M., Đurić-Stanojević, B., Rajšić, S., Mijić, Z., & Novaković, V., 2006. Physico-Chemical Characterization of PM. *Acta Chimica Slovenica*,
- Whitby, K.T., Husar, R.B., Liu, B.Y.H., 1972. The aerosol size distribution of Los Angeles smog. *J. Colloid Interface Sci.* 39, 177–204.
- 53, 401-405.
- Tiwari, S., Bisht, D. S., Srivastava, A. K., Pipal, A. S., Taneja, A., Srivastava, M. K., & Attri, S. D., 2014. Variability in atmospheric particulates and meteorological effects on their mass concentrations over Delhi, India. *Atmospheric Research*, 145, 45-56.
- Tiwari, S., Pipal, A. S., Hopke, P. K., Bisht, D. S., Srivastava, A. K., Tiwari, S., ... & Pervez, S., 2015. Study of the carbonaceous aerosol and morphological analysis of fine particles along with their mixing state in Delhi, India: a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14), 10744-10757.
- Vakeva M, Hameri K, Kulmala M, Lahdes R, Ruuskanen J, Laitinen T., 1999. Street level versus roof top concentrations of submicron aerosol particles and gaseous pollutants in an urban street canyon. *Atmos Environ* 33:1385–1397
- Viana M, Querol X, Alastuey A., 2006. Chemical characterization of PM episodes in North-Eastern Spain. *Chemosphere* 62:947–956
- Viana, M., Rivas, I., Querol, X., Alastuey, A., Sunyer, J., Álvarez-Pedrerol, M., Bouso, L. and Sioutas, C., 2013. Indoor/outdoor relationships of quasi-ultrafine, accumulation and coarse mode particles in school environments in Barcelona: chemical composition and sources. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 13(12).
- Whitby, K.T., Clark, W.E., Marple, V.A., Sverdrup, G.M., Sem, G.J., Willeke, K., Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H. 1975. Characterization of California aerosols—1. Size distribution of freeway aerosol. *Atmos. Environ.* 9: 463–482.
- Zhou, W., 2006. *Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques & Applications*” University of New Orleans.

Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., Granda-Albuja, M. G., Suarez, M. V. D., and Alexandrino, K., 2020. Chemical characterization of urban PM<sub>10</sub> in the Tropical Andes. *Atmos. Pollut. Res.* 11

Zhang, Y., Lang, J., Cheng, S., Li, S., Zhou, Y., Chen, D., et al., 2018. Chemical composition and sources of PM<sub>1</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Beijing in

autumn. *Sci. Total Environ.* 630, 72–82.





Environmental Sciences Vol.20 / No.4 / Winter 2023

81-100

Original Article

## Investigation of Diameter and Aerodynamic Weight Distribution and Atmospheric Particle Shapes Within the Traffic Plan Area of Tehran

Balal Oroji\*

Water, Energy and Environment Center, Faculty and Research Institute of Civil Engineering, Water and Energy, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

Received: 2022.01.07 Accepted: 2022.04.17

**Oroji, B., 2023.** Investigation of Diameter and Aerodynamic Weight Distribution and Atmospheric Particle Shapes Within the Traffic Plan Area of Tehran. *Environmental Sciences*. 20(4): 81-100.

**Introduction:** Implementing control plans, monitoring, and formulating traffic and management laws requires obtaining basic information about the origin of particles, physicochemical properties, and their behavior in the atmosphere. Gathering this information requires studying the various dimensions of the nature of particles, most of which will not be directly possible. The challenge of air pollution in the metropolis of Tehran requires fundamental studies, and in this study, we tried to present new dimensions of physicochemical and fundamental properties of atmospheric particles in Tehran.

**Material and methods:** The particle collection process to evaluate their concentration and chemical composition was performed by a high-volume sampler for 1 to 24 hours and an average flow of 1.7 m<sup>3</sup>/min on fiberglass filters. Also, to determine the aerodynamic diameter distribution of the particles, a cascade sampler (Anderson impactor) with a flow of 28.3.3 L/min was used for 72 hours to 7 days. After sampling, the samples were prepared to determine the total concentration and aerodynamic distribution in the laboratory.

**Results and discussion:** The results showed that the mean particle concentration during the sampling period was  $118.6 \pm 11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . During the sampling period, the highest concentration of collected particles was  $154.61 \pm 22.1$  and the lowest was  $129/12 \pm 23.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The results of SEM analysis of the collected samples showed that the particles were present in a spherical, irregular, fibrous shape as well as crystalline shape. The predominant elements in these samples are K, Ca, Cl and Fe, which are found in combination with Ti, Zn. Cluster-like and amorphous structures rich in O, Zn, Mg, Fe, K, Si, and Na were observed in particles with dimensions of 2 to 7 micrometers.

---

\* Corresponding Author: *Email Address.* balaloroji@sru.as.ir

**Conclusion:** According to the results and comparison with other work done in this field, more particulate matter is emitted during fuel combustion processes by industry and urban transportation. Larger particles are also produced and emitted by vehicles, construction, and industry during human activities such as road dust.

**Keyword:** Atmospheric particles; Concentration; Aerodynamic distribution; SEM/EDX.

