بررسی مطالعات منشأیابی آلودگی هوا در کشور
به‌همراه ارائه راهکارهای بهبود

کد موضوعی: ۲۵۰
شماره مسلسل: ۱۷۹۹۷
دی‌ماه ۱۴۰۰

دفتر مطالعات زیربنایی

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

شناسنامه گزارش	شماره مسلسل: ۱۷۹۹۷

عنوان گزارش: بررسی مطالعات منشأیابی آلودگی هوا در کشور به‌همراه ارائه راهکارهای بهبود

نام دفتر: مطالعات زیربنایی (گروه محیط زیست)

تهیه و تدوین‌کنندگان: مریم زارع شحنه، حمیدرضا تقوایی نجیب

مدیرمطالعه: مجید حسین‌زاده

ناظر علمی: علیرضا رهایی

اظهارنظرکننده: رضا بیات

ویراستار تخصصی: ــــــ

ویراستار ادبی: ــــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. آلودگی هوا

۲. محیط زیست

۳. منشأیابی

۴. منابع انتشار

۵. ذرات معلق

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۳
روش‌های ارزیابی سهم منابع تولید آلاینده‌های هوا ۵
اقدامات صورت‌گرفته در زمینه منشأیابی در سایر کشورهای جهان ۱۶
مطالعات منشأیابی منابع آلاینده در ایران ۱۷
جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها ۲۱
منابع و مآخذ ۲۴

بررسی مطالعات منشأیابی آلودگی هوا در کشور به‌همراه ارائه راهکارهای بهبود

چکیده

گسترش شهرنشینی و افزایش انتشار آلاینده‌ها در محیط، باعث شده است آلودگی هوا به‌عنوان یکی از معضلات اصلی کلانشهرها قلمداد شود. این پدیده هر ساله خسارات جبران‌ناپذیری را متوجه کشورها می‌کند و از همین روی برنامه‌ریزی برای مدیریت و کاهش مخاطرات آن در دستور کار ویژه مسئولان و سیاستگذاران شهری و کشوری دارد. اولین قدم برای برنامه‌ریزی شناخت دقیق ابعاد مسئله است که این مهم از پایش کارا و گسترده ترکیبات آلاینده فراهم می‌آید. نتایج مطالعات موید ضرورت بررسی وضعیت آلاینده‌های هوا و ترکیبات شیمیایی بکار رفته در آنها است تا با مطالعه روند فصلی آلاینده‌ها و تعیین منابع احتمالی آنها، امکان بررسی دقیق‌تر پدیده آلودگی هوا، منشاء تولید و عوامل مؤثر بر تشدید یا کاهش آن فراهم گردد. تعیین عوامل مؤثر بر این پدیده و برآورد اثر آنها به اولویت‌بندی راهکارها و چگونگی سرمایه‌گذاری‌ها و سیاستگذاری‌ها برای مقابله با این پدیده کمک می‌کند. در این میان دو روش استفاده از ضرایب انتشار و لیست کامل آن تحت عنوان سیاهه انتشار و نیز روش سهم‌بندی منابع به عنوان دو روش کلی در منشأیابی آلاینده‌ها معرفی شدند. با توجه به اینکه مطالعات سیاهه انتشار به

صورت متوسط سالیانه گزارش می‌شود و تغییرات ایجاد شده در نوع سوخت و فرآیندهای صنایع، ممکن است به خوبی منعکس نگردد. لذا برنامه مدون پایش و نمونه‌برداری از آلاینده‌های مسئول و بحرانی در هر کلان‌شهر در طی بازه‌های زمانی مطلوب، امکان تعیین درصد مشارکت منابع مختلف را روشن‌تر می‌سازد. این اشراف از وضعیت تولید انتشار منابع و سهم مشارکتی آنها از تولید آلاینده‌ها، امکان اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی جامع و سیاست و قانونگذاری دقیق‌تر را فراهم می‌کند. لازم به ذکر است،عدم جریان آزاد اطلاعات، این همگرایی در جمع‌بندی نتایج ومطالعات را محدودتر کرده و نقش مراکز پژوهشی و دانشگاهی را در این میان پررنگ‌تر می‌سازد.

همچنین، با انجام مطالعات منشأیابی و مشخص شدن نقش هر یک از منابع، اولویت راهکارهای کنترلی شفاف‌تر گشته و حتی رویکرد کاهش آلاینده از مبدأ را تبیین خواهد کرد.

در گزارش پیش رو ابتدا روش‌های تعیین منابع و سهم انتشار آلاینده‌ها آورده شده است. در ادامه به وضعیت انجام مطالعات منشأیابی در جهان اشاره شده و سپس مطالعات کلیدی صورت‌گرفته در کشور در این خصوص گردآوری شده است. در بخش پایانی، وضعیت مطالعات منشأیابی کشور جمع‌بندی شده و پیشنهادات لازم جهت بهبود مطالعات منشأیابی ارائه شده است تا با کاربست آنها ضمن یافتن دقیق منابع انتشار، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی پویا جهت کاهش انتشار آلاینده‌های هوا اتخاذ شود.

مقدمه

امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی شهرهای بزرگ دنیا است. رشد جمعیت شهرنشین، توسعه صنعت و افزایش ترافیک در داخل و اطراف شهرها منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها و تشدید این مشکل در شهرها شده است.

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی کلان‌شهرهای کشور، مسئله آلودگی هوا و پیامدهای منفی آن بر محیط، حیات شهر و شهروندان است. ایجاد و پایداری این پدیده، ریشه‌های اجتماعی، جغرافیایی، فنی و مدیریتی گوناگونی دارد که برای حل آن به یک نظام جامع و کلان‌نگر و یک عزم عمومی همه‌جانبه نیاز است.

آلودگی هوا وجود یک یا چند آلاینده در هوای آزاد است که کمیت‌ها، ویژگی‌ها و زمان ماند آنها برای زندگی و سلامت انسان، گیاهان و حیوانات مضر باشند یا به‌طور غیر قابل قبولی مخل استفاده راحت از زندگی گردد. آلاینده‌های اصلی هوا در محیط شهری شامل ذرات معلق (PM)، سولفوردی اکسید (SO_2)، نیتروژن اکسید (NO_x)، مونوکسید کربن (CO)، ترکیبات آلی فرار (VOC)، ازون (O_3) و سرب (Pb) است.[۱]

ذرات معلق یا همان ریزگردها، مجموعه تمامی جامدات و مایعات معلق در هوا می‌باشد که به صورت کلوئید پراکنده شده‌اند. این ذرات به طور مستقیم توسط منابع طبیعی (آتشفشان‌ها، طوفان‌های شن و ماسه و آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع و...) و یا صنایع ساخت بشر (دود خروجی از اگزوز اتومبیل‌ها و دود حاصل از سوخت کارخانه‌ها و

---

۱. تکسیبی، فرزانه و خواجه پور، حسین،تحلیل حساسیت غلظت آلاینده ذرات معلق PM2/5در شهر تهران به منابع انتشار،هشتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، ۱۳۹۸.

نیروگاه‌ها و...) وارد هواکره می‌شوند و یا در هواکره در اثر ترکیب با مولکول‌های موجود در هوا بوجود می‌آیند.[۱]

بانک جهانی در سال ۲۰۱۶، میزان کل خسارت وارده آلودگی هوای ایران را ۳۰ میلیارد دلار برآورد کرده است. همچنین این پدیده در فوت ۳۳ هزار نفر در سال در کشور دخیل بوده که این تعداد حدود ۱۰ درصد کل نرخ مرگ‌ومیر را در طول سال شامل می‌شود.[۲]

مطالعات انجام شده روی آلاینده‌های هوا در کشور ایران حاکی از آن است که بزرگترین مشکل هوای کشور مربوط به آلاینده ذرات معلق است که افزایش آن در فصول و دوره‌های زمانی مختلف باعث بروز شرایط ناسالم در بیشتر کلانشهرها می‌شود.[۳]

اولین گام برای مدیریت و کنترل مؤثر آلودگی هوا، تحلیل دقیق آن است. تحلیل آلودگی هوا ابعاد مختلفی همچون اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا، نمونه‌برداری، مطالعات آزمایشگاهی، مدلسازی، محاسبات و تحلیل‌های آماری دارد. در این میان، پایش و اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت هوا در تحلیل آلودگی هوا نقشی کلیدی دارد. داشتن یک بانک اطلاعاتی کامل در مورد ترکیبات اصلی موجود در $PM_{2.5}$ هوا و همچنین غلظت و روند تغییرات آنها در طول سال می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار مسئولان سیاستگذار قرار دهد. برپایه مطالعات گسترده اثرات سوء ذرات معلق هوا بر سلامت انسان ثابت شده است. با وجود این، همه ذرات معلق تولید

---

۱. گزارش سیاهه انتشار شهر تهران، شرکت کنترل کیفیت هواي شهرداري تهران،۱۳۹۲.

2. World Bank, The Cost of Air Pollution, Strengthening the Economic Case for Action Public 2016.

3.Schauer J.J., Kleeman M.J., Cass G.R., Simoneit, B.R.T., Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks, Environ. Sci. Technol., 33 (1999) 1578.

شده از منابع مختلف، اثر یکنواختی بر سلامت انسان ندارند. یکی از راه‌های شناسایی و مطالعه اثرات منفی ذرات معلق، شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده آن به کمک آنالیز شیمیایی است. اگر این اثرات منفی را بتوان به منابع مشخصی از ذرات معلق یا ترکیبات شیمیایی ارتباط داد، مدیریت آلودگی هوا در منطقه مورد نظر بسیار ساده‌تر خواهد بود.

تا پیش از سال ۱۹۹۶ میلادی، اکثر مطالعات انجام‌شده بر روی تماس مستقیم انسان با ترکیبات شیمیایی، جرم و غلظت آلاینده‌های هوا متمرکز شده بودند. این پژوهش‌ها قادر به تفکیک سهم هر منبع یا شناسایی آلاینده‌های موجود در منابع مختلف نبودند و تنها به ترکیبات موجود در این آلاینده‌ها اشاره می‌کردند. از آن زمان تاکنون، تعیین سهم منابع تولید آلاینده‌ها به‌خصوص ذرات معلق توجه بسیاری از محققان را در سراسر جهان به خود جلب کرده است و بسیاری از مقالات جهت فهم رابطه بین منابع تولید ذرات معلق و سلامتی، سهم هر منبع را شناسایی می‌کنند.[1]

روش‌های ارزیابی سهم منابع تولید آلاینده‌های هوا

ابزارها و مدل‌های متعددی در راستای سهم‌بندی منابع انتشار ذرات معلق در هوا به‌منظور اتخاذ سیاست‌های مؤثر توسعه یافته که هرکدام بنابه شرایط و براساس دقت مورد نیاز می‌توانند کارآمد باشند. مطالعات انجام‌شده بر روی ذرات معلق، برخی ترکیبات را به‌عنوان ردیاب واحد برای منابع انتشار مختلف مشخص کرده‌اند؛ بدین معنا که یک ترکیب شیمیایی خاص، می‌تواند شاخصی از انتشار یک منبع باشد. این روش که به آن تحلیل

1. Schauer J.J., et al, 1999.

ردیاب[1] می‌گویند، معایب و محاسن خاص خود را دارد. مهم‌ترین برتری این روش، سادگی و کم‌هزینه بودن آن است؛ ولی با توجه به اینکه غلظت یک ترکیب شیمیایی خاص، ممکن است به‌دلیل عوامل مختلفی تحت تأثیر قرار گیرد و مقدار واقعی را نشان ندهد، نتیجه‌گیری در مورد نحوه انتشار منبع صرفاً با این روش قابل استناد نیست و در مقابل، استفاده از ترکیبات ردیاب در کنار روش‌های دیگر، می‌تواند نتایج ارزشمندی ارائه دهد. به این منظور و در راستای جلوگیری از ایجاد خطاهای احتمالی ناشی از ترکیبات ردیاب واحد، پروفیل‌هایی از ترکیبات مؤثر در هر منبع تبیین شده است؛ بدین معنا که ترکیبات ردیاب برای هر منبع با تأثیرگذاری‌های مختلف، برای بررسی نحوه انتشار آن منبع مورد استفاده قرار می‌گیرند.[2]

برای دستیابی به نتایج قابل استناد در مورد مشارکت منابع انتشار ذرات، به‌کارگیری مدل‌های آماری یا پذیرنده[3] توصیه شده است. پیش از مطرح شدن مدل‌های پذیرنده، مدل‌های ریاضی پراکندگی هوا[4] به‌همراه داده‌های انتشار ذرات از منابع مختلف و همچنین شرایط آب و هوایی برای تخمین مشارکت منابع استفاده می‌شد، اما وضعیت پیچیده تشکیل ذرات ثانویه[5] در اتمسفر و انتقال ذرات به نقاط مختلف به‌همراه به‌ست آوردن عدم قطعیت‌های انتشار آلودگی از داده‌های موجود، استفاده از این مدل‌ها را بسیار دشوار می‌ساخت. ازاین‌رو

1. Tracer Analysis
2. Weber S., Salameh D., Albinet A., Alleman L., Waked A., Besombes J.-L., Jacob V., Guillaud G., Meshbah B., Rocq B., Hulin A ., Dominik-Sègue M., Chrétien E., Jaffrezo J.-L., Favez O., Comparison of PM10 Sources Profiles at 15 French Sites Using a Harmonized Constrained Positive Matrix Factorization Approach, Atmosphere, 10 (2019).
3. Receptor Models
4. Dispersion Models
5. Secondary Particulate Matter

برای رفع محدودیت‌های مدل‌های پراکندگی، مدل‌های پذیرنده طراحی شده و توسعه یافتند. این مدل‌ها، معادلات ریاضی یا آماری هستند که برای شناسایی و کمّی‌سازی منابع آلاینده در یک پذیرنده، بدون توجه به شرایط جوی به‌کار می‌روند. نمونه‌گیرهای پذیرنده‌ها می‌توانند در فضای سرپوشیده یا آزاد قرار گرفته باشند. این مدل‌ها با استفاده از غلظت متغیرهای مختلف در نمونه‌های برداشت‌شده در هوای محیط و ویژگی‌های منبع انتشار از لحاظ وجود عناصر و ترکیبات منتشره، سهم هر منبع را مشخص می‌کنند. مدل‌ها براساس داده‌های ورودی مورد نیاز به دو دسته تقسیم می‌شوند: **دسته اول** برای انجام محاسبات سهم‌بندی منابع، فقط به اطلاعات مربوط به غلظت ترکیبات موجود در محل نمونه‌برداری نیاز دارند و تخمینی از منابع مهم موجود در منطقه و تقریبی از مشارکت هر منبع را ارائه می‌دهند. به این مدل‌ها، مدل‌های آماری دوخطی[1] گفته می‌شود. **دسته دوم** مدل‌های آماری، با داشتن اطلاعات مربوط به غلظت ترکیبات مختلف در محل نمونه‌برداری و اطلاعات کامل از ذرات منتشرشده از منابع مختلف، اطلاعات دقیق‌تری از منابع انتشار و مشارکت هریک در انتشار ذرات معلق ارائه می‌دهد. درواقع این مدل‌ها از پروفیل‌های انتشار منابع که پیش‌تر اشاره شد، در کنار اطلاعات مربوط به آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در سایت پذیرنده برای سهم‌بندی منابع استفاده می‌کنند. این مدل‌ها، مدل‌های آماری خطی[2] نام دارند. به‌منظور دستیابی به راهکارهای کنترلی مناسب‌تر در یک منطقه لازم است از انواع مختلف این مدل‌ها در فازهای گوناگون استفاده شود. بدین صورت که در مرحله اول با بررسی ترکیبات ردیاب موجود در هوا، می‌توان تخمینی از منابع انتشار اصلی به‌دست آورد. در مرحله بعدی مدل‌های آماری

1. Bilinear Statistical Models
2. Linear Statistical Models

دوخطی منابع اصلی انتشار را مشخص کرده و تقریبی از مشارکت منابع را به‌دست می‌دهند. در نهایت نیز مدل‌های آماری خطی مقادیر مشارکت هر منبع در انتشار ذرات معلق را با دقت بالاتری نسبت به روش‌های قبل (در حدود ۰/۰۱ ±) ارائه خواهد داد.[1]

انواع روش‌های متداول سنجش آلاینده‌های هوا به‌همراه توضیح مختصری درخصوص هریک از آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. معرفی روش‌های مختلف منشأیابی منابع آلوده‌کننده هوا

ردیف	نوع روش	عنوان روش	خصوصیات
۱	استفاده از مدل‌های پراکنش گوسی و غیرگوسی	مدل ریاضی پراکندگی هوا	ـ در دسترس بودن اطلاعات ـ عدم قطعیت در داده‌ها به‌علت وجود ترکیبات آلاینده ثانویه
۲	استفاده از میزان فعالیت منابع مختلف تولید آلاینده	سیاهه انتشار	ـ ارائه مقادیر متوسط میزان انتشار برای هر منبع در یک منطقه و دوره زمانی ـ انجام آسان با هزینه کم
۳	استفاده از نسبت‌های تشخیصی	آنالیز شیمیایی ذرات معلق	ـ ورودی: غلظت گونه‌های شیمیایی ـ روش ساده برای انجام ارزیابی مقدماتی ـ استفاده از ضریب غنی‌سازی و نسبت‌های OC/EC، نسبت ترکیبات PAHs و نسبت EC/Hopanes و ضریب CPI برای تخمین منابع اصلی انتشار
۴	مدل پذیرنده	مدل موازنه جرمی شیمیایی[1]	ـ ورودی: غلظت گونه‌های شیمیایی، داده‌های عدم قطعیت، پروفایل انتشار منابع ـ خروجی: تعیین کمّی سهم منابع، نسبت غلظت محاسبه شده به مشاهده شده برای هرکدام از گونه‌های شیمیایی

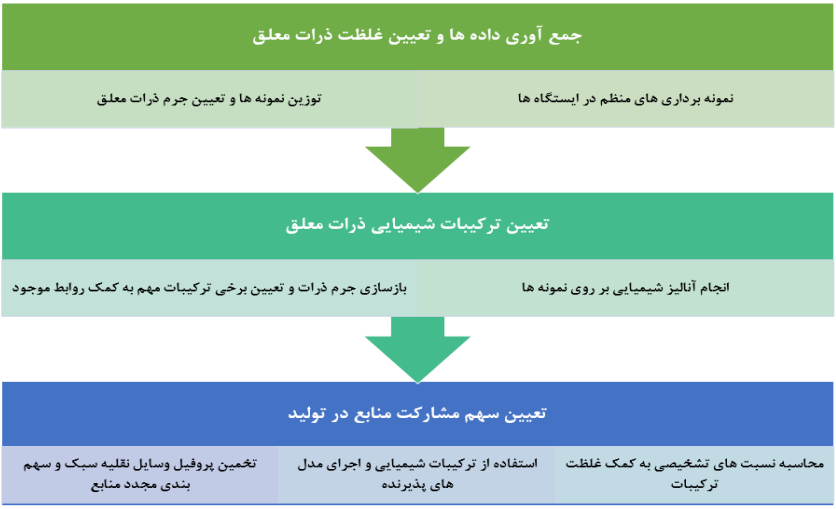
1. Hopke P.K, Review of receptor modeling methods for source apportionment, Journal of the Air & Waste Management Association, 66(3) (2016) 237-259.

ردیف	نوع روش	عنوان روش	خصوصیات
۵	مدل پذیرنده	مدل ماتریس تجزیه مثبت[۲]	ـ ورودی: غلظت گونه‌های شیمیایی، داده‌های عدم قطعیت ـ خروجی: تعیین مشارکت منابع، پروفایل انتشار منابع ـ عدم نیاز به داشتن اطلاعات درخصوص منابع انتشار و ترکیب آنها
۶	مدل پذیرنده	آنالیز مؤلفه‌های اصلی[۳]	ـ ورودی: غلظت گونه‌های شیمیایی ـ خروجی: بارگذاری فاکتورها ـ عدم نیاز به داشتن اطلاعات درخصوص منابع انتشار و ترکیب آنها ـ کمترین نیاز به داده و ورودی
۷	مدل پذیرنده	ترکیب مدل‌های موازنه جرمی شیمیایی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی	ـ امکان شناسایی منابع ناشناخته ـ افزایش پایداری و سازگاری مدل (بهبود کیفیت مدلسازی)

1. Chemical Mass Balance
2. Positive Matrix Factorization
3. Principal Component Analysis

مراحل مطالعات منشأیابی منابع آلاینده در شکل ۱ قابل مشاهده است.

شکل ۱. چرخه مطالعات منشأیابی منابع آلاینده هوا



اولین قدم در این مطالعات، نمونه‌گیری و تعیین ترکیبات شیمیایی موجود در هواست که براساس آن می‌توان در گام بعد با استفاده از روش‌های مختلف نسبت به تعیین سهم مشارکت منابع در تولید اقدام کرد. نکات کلیدی مؤثر بر سنجش منابع آلاینده هوا عبارتند از:

۱. جانمایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و تعیین منابع احتمالی آلاینده‌ها،
۲. نمونه‌برداری‌های منظم در ایستگاه‌ها، توزین دقیق نمونه‌ها و تعیین جرم ذرات معلق،
۳. کیفیت و تعداد فیلترهای نمونه‌گیری و آماده‌سازی ظروف نمونه‌گیری،
۴. انجام آنالیزهای شیمیایی مختلف به منظور استخراج غلظت اجزای شیمیایی،
۵. سهم‌بندی منابع تولید آلاینده به کمک مدل‌های پذیرنده،

با توجه به اهمیت و گستردگی استفاده از روش مدل‌های پذیرنده و سیاهه انتشار توضیحات تکمیلی درخصوص این دو روش به شرح زیر است:

سیاهه انتشار

سیاهه انتشار یک روش ارزیابی مستقیم به منظور تخمین میزان نرخ انتشار آلاینده‌ها از هر منبع یا فعالیت براساس میزان انرژی مصرف شده و یا اطلاعات آن فعالیت می‌باشد. این روش شامل مجموعه داده، جداول، فرمول‌های ریاضی و نقشه‌های جغرافیایی است که انتشار آلایندگی‌های مختلف را از منابع گوناگون به تفکیک موقعیت مکانی و غالبا در مقیاس زمانی یک سال بیان می‌کند. هدف از توسعه و تدوین سیاهه انتشار شناسایی عناصر آلایندگی، کمی‌سازی مقادیر آلایندگی تولیدی از منابع مختلف، اولویت‌بندی و مقایسه منابع مختلف آلایندگی است. سیاهه انتشار نقش اساسی در فعالیت‌های مربوط به مدیریت آلودگی هوا داشته و نتایج حاصل از آن، امکان تصمیم‌سازی و ارائه راهکار برای سیاستگذاران مدیریت حوزه آلودگی هوا را فراهم می‌کند. از طرفی اخذ داده‌های منابع مختلف و اطمینان از صحت آنها دشواری کار را دوچندان می‌کند.

اهداف اصلی ایجاد و توسعه سیاهه انتشار برای یک منطقه خاص شامل ایجاد شناخت در مورد میزان واقعی انتشار آلودگی در منطقه، فراهم‌سازی ورودی‌های مورد نیاز به منظور مدلسازی و پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوا، پیش‌بینی میزان انتشار آلودگی و سیاهه انتشار، تدوین راهکارهای کاهش آلودگی هوا می‌باشد. به کمک این روش سهم منابع مختلف از جمله منابع ایستا نظیر نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها و منابع متحرک مثل خودروها را در انتشار آلاینده‌ها مشخص می‌گردد.[1] اولین گام برای تدوین سیاهه انتشار، شناسایی و طبقه‌بندی منابع آلاینده است. منابع آلاینده شامل منابع احتراقی، کشاورزی،

1. H. Shahbazi, V. Hosseini, Tehran air pollution forecasting system, geores, 32(3) (2017) 23-34.

پسماند، فرایندهای صنعتی، پدیده‌های طبیعی و غیره می‌شوند. لازم به ذکر است، این روش برای استفاده از روش ضرایب انتشار مبنی بر سوخت، امکان شناسایی آلاینده‌های ناشی از فرآیندهای غیرسوختی را نداشته و در این مورد دچار نقص می‌باشد.

یکی از معضلات مربوط به کیفیت هوا، نه تنها در ایران بلکه در سراسر دنیا، ذرات معلق در جو است. سیاهه انتشار برای تحلیل ذرات معلق کفایت نمی‌کند، زیرا در سیاهه انتشار تنها میزان انتشار مستقیم ذرات تعیین می‌شود. این در حالی است که بخش قابل توجهی از غلظت ذرات معلق در جو، سهم ذرات ثانویه است که در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی در جو شکل گرفته اند.

برای محاسبه سیاهه انتشار روش‌های گوناگونی از جمله پایش پیوسته یک منبع آلاینده (از اندازه‌گیری غلظت و دبی خروجی منبع، تناژ تولید آلودگی محاسبه می‌شود)، اندازه‌گیری در بازه‌های زمانی کوتاه مدت و برون‌یابی نتایج و استفاده از ضرایب انتشار وجود دارد. ضریب انتشار، مقداری است که میزان تولید یک آلاینده از یک منبع را به میزان فعالیت آن مرتبط می‌سازد. به طور مثال، ضریب انتشار برای ذرات معلـــق به صورت کیلوگرم بر مگاگرم سوخت یا گرم بر کیلوگرم سوخت مصرف شده بیان می‌شود. معمولاً برای خودورها میزان پیمایش در سطح شهر و بـــرای نیروگاه‌ها، صنایع و منابع خانگی میزان مصرف سوخت معیار فعالیت منبع به شـــمار میرود. در مورد خودروها ضریب انتشار براساس تکنولوژی تولید، سیستم سوخت‌رسانی، استاندارد آلایندگی خودرو، سیستم تهویه، الگوی رانندگی، شیب جاده، شتاب خودرو، کیفیت سوخت، شرایط اقلیمی و عوامل دیگر تعیین می‌شود. به عنوان مثال، ضریب انتشار ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرون ناشی از وسایل نقلیه سبک در ناوگان حمل و نقل شهر تهران ۱۶ میلی‌گرم

به ازای هر کیلومتر تردد یک خودرو به دست آمد. همچنین، این ضریب به ازای هر کیلوگرم سوخت مصرفی برابر ۰/۰۹ گرم محاسبه‌گردید. همچنین، آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا[1]، گزارشی از میزان انتشار دویست نوع منبع آلودگی را تحت عنوان گزارش AP24 تدوین کرده و این گزارش به طور متناوب، به‌روزرسانی می‌گردد. در جدول ۲ نتایج سیاهه انتشار در ۹ کلانشهر که توسط کنسرسیوم پژوهشی ۱۳ دانشگاه برتر کشور استخراج‌شده به اختصار آمده است[2].

1. Environmental Protection Agency (EPA)

۲. سازمان حفاظت محیطزیست، ۱۴۰۰.

جدول ۲. میزان انتشار آلاینده‌های منابع متحرک و ساکن ۹ کلانشهر کشور

(تن در سال)

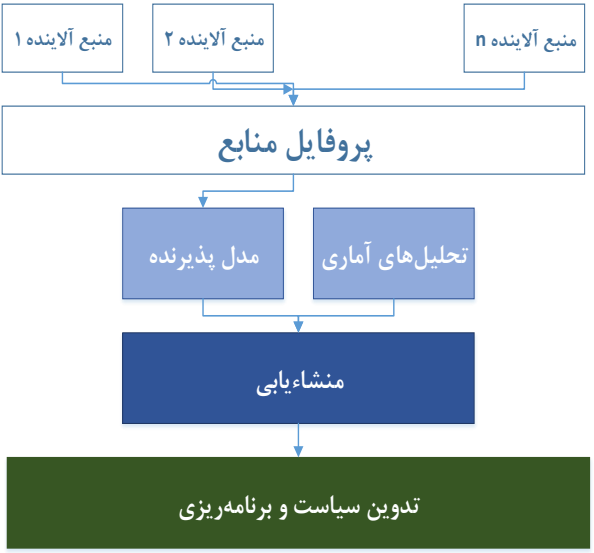
شهر	منبع/ آلاینده	SOx	NOx	CO	VOCs	PM
کلانشهر تبریز	کل منابع متحرک	۱۷۳	۲۷۸۳۹	۳۶۰۸۴۳	۲۲۶۵۳	۱۳۶۲
	کل منابع ساکن	۱۳۶۷۱	۱۷۱۹۱	۷۴۹۷	۲۲۶۴	۱۰۶۶
کلانشهر تهران	کل منابع متحرک	۷۵۴	۲۷۳۸۹	۳۵۰۱۱۴	۴۷۵۰۹	۴۵۳۶
	کل منابع ساکن	۱۲۲۸۶	۴۹۳۴۶	۱۴۰۶۴	۱۸۲۶۲	۳۰۹۴
کلانشهر کرج	کل منابع متحرک	۴۶۱	۹۱۶۱	۱۰۴۹۵۵	۱۱۴۶۷	۱۷۵۲
	کل منابع ساکن	۱۵۴۳	۱۴۹۴۲	۴۳۳۵	۲۲۶۱	۹۸۶۴
کلانشهر قم	کل منابع متحرک	۳۵	۹۲۹۵	۹۳۵۶۲	۵۸۴۰	۵۵۲
	کل منابع ساکن	۸۸۳	۱۳۷۵۹	۴۳۶۷	۱۱۰۴	۱۴۲۳۸
کلانشهر شیراز	کل منابع متحرک	۱۶۳	۱۱۵۲۶	۱۲۶۰۲۸	۱۲۸۳۷	۸۷۵
	کل منابع ساکن	۲۹۶	۱۱۸۵۹	۵۵۰۹	۲۸۹۸	۴۷۵۵
کلانشهر کرمانشاه	کل منابع متحرک	۷	۲۲۳۰	۲۸۵۱۴	۹۷۲۴	۶۸۵
	کل منابع ساکن	۳۰۶۵۰	۱۵۴۶۱	۳۴۸۹	۱۰۱۶	۳۴۴۷
کلانشهر اصفهان	کل منابع متحرک	۲۶۴	۳۴۴۱۷	۲۴۹۸۱۳	۲۰۸۲۳	۲۳۳۵
	کل منابع ساکن	۱۸۲۱۷	۲۱۳۰۳	۶۲۰۵۷	۲۲۰۳۹	۴۸۲۴۶
کلانشهر اراک	کل منابع متحرک	۶	۳۰۰۰	۴۵۰۰۰	۳۵۰۰	۳۰۰
	کل منابع ساکن	۱۲۶۰	۳۵۸۸۳	۱۲۶۰	۲۹۰۱	۱۳۰۰
کلانشهر اهوار	کل منابع متحرک	۱۱۲	۱۴۶۰۲	۱۰۷۷۹۵	۷۱۸۵	۳۸۵۸
	کل منابع ساکن	۲۶۷۰۱	۱۸۴۲۶	۱۸۶۱۳	۲۰۰۱	۱۵۱۵

مدل‌های پذیرنده

مدل‌های پذیرنده روش‌های ریاضی برای کمی‌سازی سهم‌بندی منابع ترکیبات نمونه‌ها یا اثر منابع هستند. اصول اولیه و اساسی مدل پذیرنده (با در نظر گرفتن غلظت جرمی)، آنالیز موازنه جرمی است که می‌تواند به شناسایی و سهم‌بندی منابع آلایندگی در اتمسفر

کمک کند. طراحی استراتژی‌های مناسب برای شناسایی و کنترل ذرات معلق در هوا نیازمند استفاده از روش‌های مختلف سهم‌بندی منابع، در فازهای مختلف می‌باشد. مدل‌های پذیرنده از اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی انباشته شده بر روی نمونه استفاده کرده و لذا، در بیشتر موارد راه قابل اطمینانی جهت تعیین سهم منابع آلاینده می‌باشند. نکته قابل توجه در این مدل‌ها، شناسایی منابع محتمل و استخراج پروفایل منابع به عنوان یکی از ورودی‌های مدل می‌باشد. در شکل ۲ چرخه بکارگیری این مدل آورده شده است.

شکل ۲. چرخه استفاده از مدل‌های پذیرنده در ارزیابی وضعیت و سیاستگذاری مقابله با آلودگی هوا



جهت روشن‌تر شدن مطالب فوق می‌توان این‌طوربیان کرد که به‌طورمثال، نتایج سیاهه انتشار، نرخ انتشار از منابع تولید آلودگی را به صورت متوسط سالیانه ارائه می‌دهند، در حالیکه نتایج سهم‌بندی، میزان مشارکت منابع را در نقطه‌ای مشخص از شهر و منحصراً برای همان بازه زمانی گزارش می‌کند. بنابراین در صورتی که مطالعات سهم‌بندی ادامه‌دار و به صورت پویا باشد، وقوف بهتری از وضعیت منابع در شهرهای کشور ایجاد می‌گردد.

اقدامات صورت‌گرفته در زمینه منشأیابی در سایر کشورهای جهان

مطالعات گسترده انجام شده در این زمینه در سرتاسر جهان و رابطه مستقیم میزان آلودگی هوا با افزایش بیماری‌های مختلف، نشان از اهمیت شناسایی منابع تولید این آلاینده‌ها به‌خصوص ذرات معلق دارد. در بحث شناسایی منابع تولیدکننده آلودگی هوا، اقدامات متعدد و متنوعی در سراسر دنیا انجام می‌گردد. مهم‌ترین نکته بحث نمونه‌برداری مداوم در ایستگاه‌های شهری می‌باشد. با انجام نمونه‌برداری و در طی آن، انجام آنالیز شیمیایی با دقت مطلوب و گستره وسیع، استفاده از مدل‌های پذیرنده با سهولت بیشتری فراهم می‌گردد. در ادامه به دو برنامه مدون پایش و بررسی پروژه‌های منشأیابی در دو کشور ایالات متحده آمریکا و چین اشاره می‌گردد.

در سال‌های گذشته، در ایالت‌های مختلف کشور آمریکا، به‌منظور شناسایی منابع موثر آلاینده‌های هوا پروژه‌هایی با موضوعات سهم‌بندی منابع و استخراج سیاهه انتشار انجام شده است.

در کشور چین نیز به علت بحران پدیده آلودگی هوا، مطالعات منشأیابی همواره در صدر قرار دارند. در دو سال گذشته، محققیقن با استفاده از نتایج مدل‌های پذیرنده و

سیاهه انتشار، به مدل توسعه یافته‌ای دست یافتند. این مدل، در مقایسه با نتایج مدل‌های تعادل جرم شیمیایی و سیاهه انتشار منابع، به علت داشتن اطلاعات دقیق صنایع محلی، تخصیص بهتر، دقیقتر و قابل اعتمادتری برای ذرات اولیه فراهم کرده است.[۱و۲]

مطالعات منشأیابی منابع آلاینده در ایران

علی‌رغم تعدد تحقیقات مربوط به آلودگی هوا در کشور و علی‌الخصوص شهر تهران، مطالعات یکپارچه و مداومی در این زمینه انجام نشده است. فقدان این اطلاعات، سؤالات مربوط به منابع مولد آلاینده‌ها را در نقاط مختلف کشور بدون پاسخ گذاشته و مقایسه میان آنها را ناممکن می‌سازد. با نگاهی به مطالعات فوق‌الذکر می‌توان دریافت که درواقع مشکل مطالعات اولیه در زمینه سهم‌بندی منابع انتشار ذرات معلق این بود که روش‌های ارائه شده قادر به تفکیک هر منبع یا شناسایی ذرات معلق موجود در منابع مختلف نبودند و فقط به ترکیبات موجود در این ذرات اشاره کرده و منابع به‌صورت کلی بیان می‌شدند. حال اینکه هر منبع چه سهمی در تولید و انتشار این ذرات دارد قابل بیان نبود؛ اما با پیشرفت‌های اخیر به‌خصوص تدوین نرم‌افزار برای مدل‌های پذیرنده و به‌روز شدن آنها، امکان تعیین درصد غلظت‌های هر ترکیب موجود در $PM_{2/5}$ و میزان سهم هرکدام از

1. Xu B., You X., The Study of Emission Inventory on Anthropogenic Air Pollutants and Source Apportionment of PM2.5 in the Changzhutan Urban Agglomeration, China, Atmosphere 2020, 11(7), 739.

2. Cheng N. , Zheng C., Jing D. , Li W., An Integrated Chemical Mass Balance and Source Emission Inventory Model For The Source Apportionment of PM2.5 in Typical Coastal Areas, Journal of Environmental Sciences, Volume 92, **June 2020, Pages 118-128.**

منابع ذکر شده قابل اندازه‌گیری است. علاوه‌بر این، کماکان مطالعات کارآمد ترکیبی از دو روش منشأیابی به کمک مدل‌های پذیرنده و تدوین سیاهه انتشار در زمینه شناسایی سهم منابع آلاینده هوا و به‌خصوص ذرات معلق ریز ($PM_{2/5}$) در ایران صورت نگرفته است. نتایج این قبیل مطالعات یکپارچه در زمینه شناسایی مؤثر، کمک شایانی در تصمیمات مدیریتی همچون ارتقای استاندارد سوخت، ممنوعیت استقرار صنایع در شعاع‌های نزدیک به کلان‌شهرها و به‌روزرسانی قانون هوای پاک خواهد کرد. در جدول ۳ مطالعات اصلی انجام شده در کشور در زمینه منشأیابی آورده شده است.

جدول ۳. بررسی اجمالی برخی از مطالعات شاخص در زمینه منشأیابی در کشور

ردیف	محققان	سال انتشار نتایج مطالعه	چکیده اقدامات و نتایج
۱	نبی بیدهندی/هالک[۱]	۱۳۸۶	ـ تحلیل عناصر موجود در چهار ایستگاه شهر تهران ـ نتایج: آلودگی ذرات ریز غالباً منشأ انسانی (ترافیک، صنایع، ساخت‌وساز و گردوغبار برخاسته از سطح جاده‌ها) دارد و منشأ ذرات درشت منابع طبیعی (خاک) است.
۲	ترکیان/ بیات[۲]	۱۳۹۱	ـ محاسبه سهم منابع آلاینده به روش ضرایب انتشار ـ نتایج: ۹۰ درصد از ذرات آلاینده کل از وسایل نقلیه بوده است. همچنین ۸۳/۲ درصد از کل ذرات معلق، ۷۰/۵ درصد از هیدروکربن‌ها، ۹۸/۷ از منوکسید کربن، ۶۷/۵ درصد از اکسیدهای نیتروژن و ۱۴/۲ درصد از اکسیدهای سولفور منتشرشده در هوای تهران ناشی از وسایل نقلیه متحرک بوده است.
۳	گیوه‌چی/ ارحامی/ تجریشی[۳]	۱۳۹۲	ـ تعیین منابع صحرایی تولید PM_{10} در شهر تهران با مطالعه دوره‌های گردوغبار سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ ـ نتایج: ۹۰ درصد از منابع گردوغبار شهر تهران از عراق و سوریه می‌آید (۴۴ درصد شمال عراق، ۳۲ درصد شرق سوریه)

ردیف	محققان	سال انتشار نتایج مطالعه	چکیده اقدامات و نتایج
۴	شهرداری تهران[۴]	۱۳۹۲	ـ گزارش سیاهه انتشار شهر تهران در سال ۱۳۹۲ ـ میزان انتشار ذرات معلق ۶/۸ هزار تُن بوده است که ۷۰ درصد آن سهم منابع متحرک، ۲۰ درصد سهم پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، ۷ درصد سهم صنایع، ۲ درصد سهم منابع خانگی و تجاری و یک درصد سهم پایانه‌های سوخت بوده است. ۸۵ درصد کل انتشار ذرات از منابع متحرک مربوط به خودروهای سنگین و ۱۲ درصد سهم موتورسیکلت‌ها می‌شود و سهم خودروهای سبک تنها ۳ درصد است.
۵	ارحامی/ زارع/ حسینی[۵]	۱۳۹۶ و ۱۳۹۷	ـ منشأیابی ذرات معلق ریز به کمک مطالعات سهم‌بندی و مدل‌های پذیرنده CMB و PMF ـ استفاده از نمونه‌ها و داده‌های سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در شهران تهران میزان مشارکت منابع متحرک ۷۰ درصد از جرم کل ذرات بوده و بعد از آن گردوغبار مهم‌ترین منبع در تولید و انتشار ذرات می‌باشد.
۶	تقوایی/ صولت[۶]	۱۳۹۷	ـ سهم‌بندی ذرات معلق ریز در تهران به کمک مدل PMF ـ استفاده از نمونه‌های سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در دو ایستگاه در شهر تهران ـ میزان مشارکت منابع متحرک بیش از ۵۰ درصد از جرم ذرات بوده و بعد از آن ذرات ثانویه با سهم ۲۵ درصد و منابع صنعتی با سهم ۱۷ درصد بیشترین میزان مشارکت را داشته‌اند. سایر منابع همچون، سوخت بیومس، غبار برخاسته از جاده و منابع قشری ـ خاکی نیز در این مدل‌سازی لحاظ شده بودند. به‌طور کلی سهم برجسته انتشار وسایل نقلیه در این مطالعه به‌چشم می‌خورد.
۷	حسینی/ اسماعیلی راد[۷]	۱۳۹۸	ـ سهم‌بندی منابع ذرات معلق ریز به کمک مدل PMF و اجزای آلی و غیرآلی در دو بازه زمانی مختلف ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و ۱۳۹۶.

ردیف	محققان	سال انتشار نتایج مطالعه	چکیده اقدامات و نتایج
			ـ در این مطالعه انتشار ناشی از ترافیک، ۴۴ درصد از غلظت ذرات را شامل شده است. بعد از آن نیز سوخت‌های حاوی سولفات (۲۴٪) و نیترات (۱۸٪) و گردوغبار (۴٪) منابع مهم در انتشار ذرات می‌باشند. ـ بررسی همبستگی عوامل مختلف بین دو محل نمونه‌برداری نشان داد که انتشارات ترافیک و سوزاندن بیومس به‌صورت محلی و نقطه‌ای بوده، در حالی که گردوغبار، احتراق سوخت سنگین و منابع صنعتی منطقه‌ای هستند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آلاینده‌های فاز گازی و ذره‌ای ساطع شده از احتراق سوخت‌های فسیلی (متحرک و ثابت) منشأ اصلی آئروسل‌های ریز اولیه و ثانویه در تهران هستند.
۸	کنسرسیوم پژوهشی دانشگاههای کشور[۸]	۱۴۰۰	- تهیه سیاهه انتشار آلاینده‌های ۹ کلانشهر کشور - بررسی سناریوهای کاهش آلودگی هوا و ارائه اولویت‌بندی انجام اقدامات کاهنده آلاینده‌های هوا به تفکیک اثربخشی هر اقدام و برای هر کلانشهر

1. Nabi R. and Halek, Aerosol Size Segregated of Tehran's Atmosphere in Iran, International Journal of Environmental Research 2007; (ISSN: 1735-6865) Vol 1.
2. Torkian A., Bayat R., Najafi M., Arhami M., Askariyeh M., Source Apportionment of Tehran's Air Pollution by Emissions Inventory, 2012.
3. Givehchi R., M. Arhami, Tajrishy M., Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran, Atmospheric Environment, 75 (2013) 287-295.
۴. گزارش سیاهه انتشار شهر تهران، ۱۳۹۲، شرکت کنترل کیفیت هواي شهرداري تهران.
5. Arhami M., Shahne M.Z., Hosseini V., Roufigar Haghighat N., A.M. Lai, J.J. Schauer, Seasonal trends in the composition and sources of PM2.5 and carbonaceous aerosol in Tehran, Iran, Environmental Pollution, 239 (2018) 69-81.
6. Taghvaee S., Sowlat M.H., Mousavi A., Hassanvand M.S., Yunesian M., Naddafi K., Sioutas C., Source apportionment of ambient PM(2.5) in two locations in central Tehran using the Positive Matrix Factorization (PMF) model, The Science of the total environment, 628-629 (2018) 672-686.
7. Esmaeilirad S., Lai,G. Abbaszade A., Schnelle-Kreis J., Zimmermann R., Uzu G., Hosseini V., Source apportionment of fine particulate matter in a Middle Eastern Metropolis, Tehran-Iran, using PMF with organic and inorganic markers. Science of The Total Environment. 2020; 705:135330.
۸. گزارش مديريتي تهيه فهرست انتشار آلاينده‌هاي هوا، ۱۴۰۰،سازمان حفاظت محيطزيست.

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها

تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با منشأیابی آلاینده‌ها در سراسر دنیا و به‌طور محدود در کشور انجام شده است. عمده این مطالعات در ارتباط با تعیین سهم مشارکتی منابع تولید آلاینده‌ها به کمک سیاهه انتشار بوده است. در سال‌های اخیر به دنبال تبیین اهمیت و ضرورت مدیریت معضل آلودگی هوا در کشور و کارامدی و دقت بالای مطالعات سهم‌بندی منابع به کمک ترکیبات شیمیایی آلاینده‌ها در سراسر دنیا، لزوم انجام پروژه‌های سهم‌بندی در کشورمان ایران، احساس شد. در پی این ماجرا، در چند سال اخیر، چندین پروژه و مطالعه در سراسر کشور در کلانشهرهایی همچون تهران، اصفهان، اهواز، کرج، مشهد و... به‌منظور شناسایی ترکیبات شیمیایی آلاینده‌های هوا و سهم‌بندی منابع آنها انجام شده است. اما مجموعه مدونی که فهرستی کاربردی از این مطالعات در اختیار محققان و کارشناسان حوزه‌های محیط‌زیست و مدیریت شهری قرار دهد، نبوده است. گزارش پیش‌رو با شناسایی روش‌های مختلف منشأیابی و به کارگیری مدلهای پذیرنده و سیاهه انتشار، در کنار بررسی وضعیت انجام مطالعات و پایش سیاهه انتشار در ایران و دو کشور منتخب، سعی نمود تا ابزار لازم برای شناسایی منابع موثر در تولید آلاینده‌ها را تبیین کند.

نکته مهم در مطالعات صورت گرفته در کشور در بحث منشأیابی این است که مطالعات سیاهه انتشار، سهم منابع انتشار را در انتشار کل شهر نشان می‌دهد، در حالی که رویکرد سهم‌بندی به کمک مدل، سهم منابع انتشار را در غلظت‌های مشاهده‌شده در نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهند. یکی از دلایل احتمالی ناهماهنگی بین نتایج مطالعات

مختلف، عدم قطعیت‌های روش شناختی ذاتی آنها است. عدم قطعیت در داده‌های سهم‌بندی و عوامل انتشار، و همچنین تفاوت در پوشش بخش‌های انتشار در منطقه مورد مطالعه، منبع اصلی عدم قطعیت در مطالعات سیاهه انتشار است. مطالعات سیاهه انتشار قادر به در نظر گرفتن تشکیل ثانویه تشکیل ذرات در جو به دلیل واکنش‌های فتوشیمیایی نیستند. ازسوی دیگر، مطالعات سهم‌بندی مختص یک نقطه نمونه در شهر است و میانگین آن در کل شهر نیست.

در یک قیاس کلی، سیاهه انتشار، مقادیر متوسط انتشار هر منبع را در یک منطقه و دوره زمانی با هزینه کم و قابل اجرا، ارایه می‌دهد. با این ابزار، امکان تقسیم منبع دقیق انتشار بین منابع مختلف نیز فراهم می‌باشد. محدودیت این روش، دقت پایین، عدم در نظر گرفتن تولید ثانویه و عدم توجه به غلظت‌هایی با منشا طبیعی می‌باشد. از طرفی، استفاده از مدل‌های سهم‌بندی، به خاطر دقت بالا در نمونه‌برداری و آنالیزهای شیمیایی، برای محاسبه سهم منابع در آلودگی محلی و منطقه‌ای مناسب می‌باشند. در این روش غلظت‌های ذرات ناشی از منابع طبیعی و ثانویه در نظر گرفته شده و در موارد خاص تأثیر منابع انتشار، پارامترهای هواشناسی و جغرافیای شهری لحاظ می‌گردد. در مقابل این روش به علت فرآیند نمونه گیری و تجزیه و تحلیل پرهزینه و لزوم دقت بسیار بالا در ارتباط دهی نتایج آنالیز شیمیایی با منبع انتشار در کشور کمتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که از آنجایی که رویکرد سیاهه انتشار به شدت به پوشش جغرافیایی و بخشی موجودی وابسته است، نتایج این گروه از مطالعات برای همه قسمت‌های شهر یا کشور سازگار نیست. به‌عنوان مثال، اکثر مطالعات سهم‌بندی منابع، با وجود تفاوت در مکان‌های نمونه‌گیری و روش‌های تحلیلی مختلف، سهم مشابهی از منابع سیار و ثابت در شهر

تهران را نشان می‌دهند (در محدوده ۴۰ تا ۵۰ درصد). این محدوده با نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت منتشر شده مطابقت دارد که نشان می‌دهد ۴۷ درصد از غلظت $PM_{2/5}$ در تهران از منابع سیار ناشی می‌شود. با این حال، با توجه به نتایج موجودی انتشار بین‌المللی برای مناطق مختلف جهان، سهم منابع انتشار ثابت (ساختمان‌ها و صنایع) در کل انتشار $PM_{2.5}$ بیشتر از سهم منبع متحرک می‌باشد. به‌عنوان مثال در ایستگاه‌های ترافیک احتمالاً سهم منابع متحرک، بیشتر می‌باشد، که این نکته می‌بایست در مقایسه مطالعات تخصیص منبع برای مکان‌های مختلف در نظر گرفته شود. در این گزارش، نقاط نمونه‌گیری تمامی مطالعات بررسی‌شده در زمینه منشأیابی در ایستگاه‌های شهری و مناطق پرجمعیت کشور شامل تهران و کلان‌شهرهای کشور بوده است.

مطالب ذکر شده در این گزارش، ضرورت برنامه‌های هدفمند کیفیت هوا را برای هر شهر و حتی یک منطقه از شهر را برای کلان‌شهرها نشان می‌دهد. با توجه به آنچه مطرح شد و عنایت به اینکه با تغییر نوع سوخت و فرآیندهای صنایع، نتایج سهم‌بندی‌ها و سیاهه انتشار در طول سال تغییر می‌کند، برنامه مدون پایش و نمونه‌برداری از آلاینده‌های مسئول و بحرانی در هر کلان‌شهر در طی بازه‌های زمانی مشخص و دوره‌ای، امکان تعیین درصد مشارکت منابع مختلف را روشن‌تر می‌سازد. این اشراف از وضعیت تولید انتشار منابع و سهم مشارکتی آنها از تولید آلاینده‌ها، امکان اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی جامع و سیاست و قانونگذاری دقیق‌تر را فراهم می‌کند. لازم به ذکر است، عدم جریان آزاد اطلاعات، این همگرایی در جمع‌بندی نتایج و مطالعات را محدودتر کرده و نقش مراکز پژوهشی و دانشگاهی را در این میان پررنگ‌تر می‌سازد.

همچنین، با انجام مطالعات دوره‌ای منشأیابی به روش تلفیقی و مشخص شدن نقش

هر یک از منابع، اولویت راهکارهای کنترلی شفاف‌تر گشته و رویکردهای کاهش آلاینده از مبدا را به‌دقت استخراج خواهد شد. بنابراین تصمیم‌گیری بر مبنای داده‌های چند سال گذشته که پویایی و تغییرات متغیرهای اثرگذار در آن لحاظ نشود، از کارایی اقدامات خواهد کاست. لذا تاکید می‌شود که در زمینه مطالعات منشأیابی، سه عنصر استفاده از روش‌های تلفیقی در تعیین منابع، افزایش و به‌روزرسانی مستمر داده‌های ورودی به سامانه تصمیم‌گیری و درنظر گرفتن پویایی متغیرهای اثرگذار در شرایط مختلف، ارکان اصلی یک تصمیم‌گیری همه‌جانبه در زمینه مدیریت و کاهش انتشار آلاینده‌های هوا هستند.

منابع و مآخذ

۱. تکسیبی، فرزانه و حسین خواجه‌پور. تحلیل حساسیت غلظت آلاینده ذرات معلق ۲٫۵ PMدر شهر تهران به منابع انتشار، هشتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، ۱۳۹۸.

۲. گزارش سیاهه انتشار شهر تهران، شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران، ۱۳۹۲.

۳. گزارش مدیریتی تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های هوا، سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۴۰۰.

4. Arhami M., Shahne M.Z., Hosseini V., Roufigar Haghighat N., A.M. Lai, J.J. Schauer, Seasonal trends in the composition and sources of PM2.5 and carbonaceous aerosol in Tehran, Iran, Environmental Pollution, 239 (2018) 69-81.
5. Cheng N. , Zheng C., Jing D. , Li W., An integrated chemical mass balance and source emission inventory model for the source apportionment of PM2.5 in typical coastal areas, Journal of Environmental Sciences, Volume 92, June 2020, Pages 118-128.
6. Esmaeilirad S., Lai,G. Abbaszade A., Schnelle-Kreis J., Zimmermann R., Uzu G., Hosseini V., Source apportionment of fine particulate matter in a Middle Eastern Metropolis, Tehran-Iran, using PMF with organic and inorganic markers. Science of The Total Environment. 2020; 705:135330.
7. Ge S., Wang S., Xu Q., Ho T., Characterization and sensitivity analysis on ozone pollution over the Beaumont-Port Arthur Area in Texas of USA

through source apportionment technologies.
8. Givehchi R., M. Arhami, Tajrishy M., Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran, Atmospheric Environment, 75 (2013) 287-295.
9. Hopke P.K, Review of receptor modeling methods for source apportionment, Journal of the Air & Waste Management Association, 66(3) (2016) 237-259.
10. Nabi R. and Halek, Aerosol Size Segregated of Tehran's Atmosphere in Iran, International Journal of Environmental Research 2007; (ISSN: 1735-6865) Vol 1.
11. Shahbazi H., Hosseini V., Tehran air pollution forecasting system, geores, 32(3) (2017) 23-34.
12. Schauer J.J., Kleeman M.J., Cass G.R., Simoneit, B.R.T., Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks, Environ. Sci. Technol., 33 (1999) 1578.
13. Taghvaee S., Sowlat M.H., Mousavi A., Hassanvand M.S., Yunesian M., Naddafi K., Sioutas C., Source apportionment of ambient PM(2.5) in two locations in central Tehran using the Positive Matrix Factorization (PMF) model, The Science of the total environment, 628-629 (2018) 672-686.
14. Torkian A., Bayat R., Najafi M., Arhami M., Askariyeh M., Source Apportionment of Tehran's Air Pollution by Emissions Inventory, 2012.
15. Weber S., Salameh D., Albinet A., Alleman L., Waked A., Besombes J.-L., Jacob V., Guillaud G., Meshbah B., Rocq B., Hulin A ., Dominik-Sègue M., Chrétien E., Jaffrezo J.-L., Favez O., Comparison of PM10 Sources Profiles at 15 French Sites Using a Harmonized Constrained Positive Matrix Factorization Approach, Atmosphere, 10 (2019).
16. World Bank, The Cost of Air Pollution, Strengthening the Economic Case for Action Public 2016.

Xu B., You X., The Study of Emission Inventory on Anthropogenic Air Pollutants and Source Apportionment of PM2.5 in the Changzhutan Urban Agglomeration, China, Atmosphere 2020, 11(7), 739.