

بررسی و اندازه گیری آلودگی هوای شهر مشهد

سید محمد فهیمی فرد^۱ و فهیمه افشار^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی اقتصاد کشاورزی و عضو واحد پژوهش و تحقیق مدیریت کمر بند سبز شهرداری مشهد.

۲- فارغ التحصیل رشته مهندسی محیط زیست دانشگاه صنعتی اصفهان و عضو واحد پژوهش و تحقیق مدیریت کمر بند سبز شهرداری مشهد.

چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم ترین ابعاد آلودگی های زیست محیطی، باعث افزایش بیماری های قلبی، تنفسی، کاهش میزان دید، سوزش چشم و خسارت به گیاهان، حیوانات و اشیاء و در سطح جهانی منجر به گرمایش زمین، افت ازن استراتوسفری، باران اسیدی و ... شده بطوری که طبق برآورد سازمان سلامت جهانی (WHO) سالانه به طور متوسط پانصد هزار نفر به دلیل قرار گرفتن در معرض ذرات معلق موجود در هوا، دچار مرگ زود هنگام می شوند. در کشور ما نیز، میزان انتشار آلاینده های هوا در کلان شهرها به سطح خطرناکی رسیده به طوری که در میان شهرهای کشور، شهر مشهد به دلیل قرار گرفتن در میان رشته کوه های بینالود و هزار مسجد دارای دویست و هفتاد تا سیصد روز اینورژن حرارتی در سال بوده و در بعضی از ایام سال، آلوده ترین شهر کشور می باشد. از طرف دیگر شهر مشهد به دلیل وجود مرقد مطهر امام رضا (ع) به عنوان دومین کلان شهر مذهبی جهان مطرح بوده و سالانه پذیرای بیست میلیون زائر از سراسر ایران و جهان می باشد. بنابراین بررسی علمی وضعیت آلودگی هوای این شهر به منظور فراهم آوردن محیطی سالم و با نشاط برای زائرین و مجاورین امری اجتناب ناپذیر می باشد. لذا در این مطالعه، منابع آلاینده شهر مشهد شناسایی و میزان انتشار آلودگی هوای وسائط نقلیه موتوری اندازه گیری شد. نتایج بررسی منابع آلاینده هوای شهر مشهد نشان داد که با توجه به جهت بادهای غالب، محل استقرار نیروگاه های مشهد و شریعتی و کوره های آجرپزی نامناسب می باشد. همچنین با توجه به موقعیت استقرار، نوع آلودگی تولیدی، نوع سوخت مصرفی و جهت بادهای غالب به ترتیب وسایل نقلیه موتوری، خودروها، صنایع، قطارها و صنایع محور سرخس در اولویت اول تولید آلودگی هوا می باشند. علاوه بر این، نتایج اندازه گیری انتشار آلودگی وسائط نقلیه موتوری نشان داد که وسائط نقلیه بنزینی، گازوئیلی و گازسوز به ترتیب روزانه ۸۶۹۱/۷۰، ۳۷۶/۶۲ و ۴۶۴۲/۵۹ تن انواع آلودگی وارد جو شهر مشهد می کنند.

واژه های کلیدی: منابع آلاینده، آلودگی هوا، مشهد.

۱. مقدمه

۱-۱. تاریخچه آلودگی هوا

آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلوده کننده مانند گرد و غبار، فیومها، گازها، میستها، بو، دود، بخارات در هوای آزاد با کمیتها، ویژگیها و زمان ماندگاری که برای زندگی انسان، گیاه یا حیوانات، خطرناک و برای اموال مضر بوده و یا به طور غیر قابل قبولی بر استفاده راحت از زندگی و اموال خدشه وارد می کند (انجمن مشترک مهندسين آلودگی هوا و کنترل آن). تاریخچه آلودگی هوا و بحث در مورد آن، به قرون وسطی و حتی سال های قبل از آن باز می گردد. بنابراین آلودگی هوا و قوانین وضع شده در مورد آن پدیده جدیدی نیست. برای مثال ادوارد اول در سال ۱۳۰۷ میلادی، استفاده از زغال سنگ در کوره های آهک پزی را به دلیل آلوده کردن هوای شهر لندن ممنوع کرد. چنین قوانینی در سایر نقاط جهان در گذشته نیز وضع شده بود. امروزه پیامدهای مختلف آلودگی هوا باعث شده است که نظارت و کنترل کیفیت هوا به صورت امری اجتناب ناپذیر در تمام جوامع در رأس مسائل ملی مطرح شود. مرگ بیش از چهار هزار نفر در سال ۱۹۵۲ در شهر لندن در اثر مه دود فتو شیمیایی از جمله وحشتناک ترین حوادثی است که تا به حال در اثر آلودگی هوا رخ داده است. همچنین در سال ۱۹۴۸ در ایالت متحده، آلودگی هوا و تمرکز آن به

مدت چهار روز برفراز شهر دنواری پنسیلوانیا باعث مرگ بیست تن و بیماری بیش از شش هزار نفر از چهارده هزار نفر جمعیت این شهر گردید. این حوادث، همگی نتیجه آلودگی بسیار شدید هوا با غلظت‌های بسیار زیاد اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق (دود کارخانجات صنعتی و دودهای گوگرد) بود. امروزه نیز مه دودهای گوگردی در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت و زغال سنگ در منابع ثابت آلاینده هوا (مانند نیروگاه‌های برق و کارخانه‌های ذوب فلزات) به وجود می‌آید، علاوه براین در اکثر شهرها منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های مختلف در حضور نور خورشید با یکدیگر ترکیب شده و مه دود فتو شیمیایی را به وجود می‌آورند. اگر چه نقش منابع ثابت آلاینده در تولید مه دود بسیار، مؤثرتر از وسایل نقلیه موتوری و خودروها است ولی سهم خودروها در آلودگی هوای شهرهای بزرگ بیشتر شده است. آلودگی هوا و کیفیت هوا از گذشته‌های دور مد نظر محققین بوده ولی اکثر مطالعات در این مورد در دهه‌های اخیر صورت گرفته است [۸].

۲. ترکیبات موجود در هوای آلوده و عوارض ناشی از آنها

۲-۱. منوکسیدکربن

گازی بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌مزه و سنگین‌تر از هوا بوده که از وسایل نقلیه موتوری، سوزاندن زباله در محیط، آتش سوزی جنگل‌ها، صنایع ریخته‌گری، مراکز تولید برق، کوره‌های ذوب فلزات و احتراق ناقص سوخت در مراکز تجاری و خانگی منتشر می‌شود. استنشاق هوایی که دارای ده ppm منوکسیدکربن باشد، در مدت هشت ساعت می‌تواند موجب کندی فعالیت شود. همچنین اختلالات جزئی در برخی اعمال بدن، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی، اختلال در تشخیص زمان، اشکالات بینایی، اختلالات روانی و عصبی، تغییر در اعمال قلب و تنفس، خستگی، خواب آلودگی، اختلالات تنفسی و حالت کما و مرگ از دیگر عوارض این گاز می‌باشد [۲].

۲-۲. اکسیدهای ازت

این گازها به وسیله وسایل نقلیه موتوری، سوزاندن گازهای طبیعی، کوره‌های نفت سوز، تخلیه الکتریکی در جو و فرآیندهای بیولوژیک توسط باکتری‌ها تولید می‌شود. استاندارد اکسیدهای ازت در هوای آزاد ppm ۰,۰۵ بوده و تحریک حبابچه‌های ریوی، گشادی مردمک چشم، افزایش مقاومت هوایی سیستم تنفسی، کاهش ظرفیت انتشار گاز در ریه، افزایش برونشیت و تولید نیتروزامین، تحریک گلو و چشم، ایجاد سرفه، تنگی نفس، بی حالی و خستگی از عوارض این گازها می‌باشد [۲].

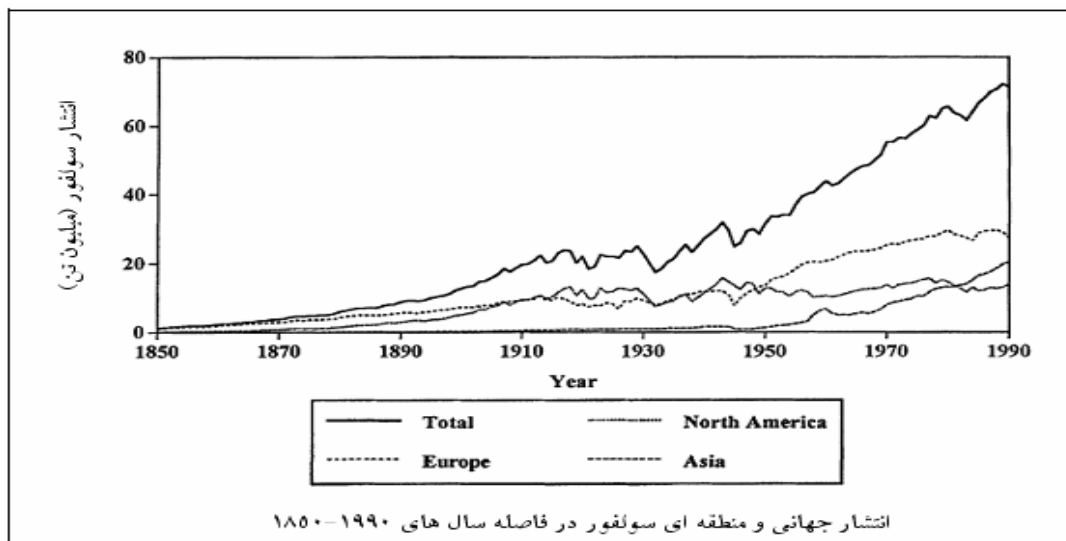
جدول ۱. انتشار جهانی گاز NO_x به تفکیک منبع

منابع آلاینده	میزان انتشار (۱۰۰۰ تن)	درصد از کل
زغال سنگ	۲۱۰۰۰	۱۳,۶۷
نفت	۱۰۲۰۰	۶,۶۴
گاز	۷۶۰۰	۴,۹۵
حمل و نقل	۲۶۳۰۰	۱۷,۱۲
صنعت	۴۰۰۰	۲,۶۰
آزاد شده از خاک	۱۸۱۰۰	۱۱,۷۸
سوختن بیومس	۳۶۸۰۰	۲۳,۹۶
منابع اتمسفری	۲۹۶۰۰	۱۹,۲۷
کل	۱۵۳۶۰۰	۱۰۰

Source: Air Pollution, Jeremy Colls, ۲nd edition, ۲۰۰۲.

۲-۳. ایندريد سولفورو

گازی بی‌رنگ، دارای بو و طعم مخصوص و غیرقابل اشتعال است. SO_2 موجود در هوا از سه درصد تا یک ppm به کمک حس چشایی قابل تشخیص است و در غلظت بیش از سه ppm دارای بوی زننده و تحریک کننده است. این گاز در نتیجه آتشفشان‌ها، احتراق سوخت‌های فسیلی برای گرمایش و صنایعی همچون سنگ معدن گوگرددار، کارخانه‌های تولید اسید سولفوریک، مراکز تولید نیرو و غیره ایجاد می‌شود. همچنین، ایندريد سولفورو یکی از گازهایی است که غلظت آن در هوا به عنوان شاخص اعلام خطر به کار می‌رود، به گونه ای که چنانچه متوسط غلظت بیست و چهار ساعت آن به هشتصد میکروگرم یا ppm ۰,۳ برسد، اعلام آماده باش می‌شود و چنانچه به ppm ۰,۸ برسد، حالت فوق العاده اعلام می‌شود. علاوه بر این، تحریک غشاء مخاطی دستگاه تنفس، افزایش مقاومت ریه به جریان هوا، درد در ناحیه سینه، گاهی ریزش خون از بینی، اثر بر سیستم گوارش، تحریک چشم، تنگی تنفس، علائم قلبی-تنفسی، توسعه بیماری‌های مزمن ریوی، سرفه، کاهش ظرفیت تنفسی و کاهش مقاومت بدن از عوارض این گاز می‌باشد [۲].



نمودار ۱. انتشار جهانی و منطقه ای گاز سولفور در فاصله سال های ۱۸۵۰ تا ۱۹۹۰

Source: Lefohn, A. S., Husar, J. D. and Husar, R. B. (۱۹۹۹), "Estimating historical anthropogenic global sulphur emission patterns for the period ۱۸۵۰-۱۹۹۰", Atmospheric Environment, ۳۳: ۳۴۳۵-۳۴۴۴.

۲-۴. هیدروکربن‌ها

هیدروکربن‌ها، حاصل احتراق ناقص به ویژه در خودروهای سطح شهر، نشت مواد نفتی در جریان حمل و نقل، تحویل، مصرف، فرآیندهای پالایش و تصفیه مواد نفتی و گاز در تمام صنایعی که با مواد و ترکیبات هیدروکربن سروکار دارند، می‌باشند. حد مجاز هیدروکربن در هوا یکصد و شصت میکروگرم در مترمکعب یا ppm ۰,۲۴ بوده و افزایش سرطان ریه، تحریک چشم از طریق دود فتوشیمیایی، تحریک مخاط و اثر بر مراکز خونساز از عوارض اصلی این گازها می‌باشد [۲].

۲-۵. ذرات معلق

هر نوع ماده پراکنده اعم از جامد، یا مایع که هر واحد آن از یک ملکول بزرگتر (۰,۰۰۰۲ میکرون) و کوچکتر از پانصد میکرون باشد، در گروه ذرات معلق جای می‌گیرد. به طور کلی غلظت مواد معلق در هوای شهرها بین شصت تا دویست و بیست میکروگرم در مترمکعب هوا می‌باشد. این غلظت، بستگی به عوامل مختلفی نظیر وسعت شهر، شرایط جوی، میزان فعالیت‌های صنعتی، ساختمانی و ترافیک دارد و با توجه به دو پارامتر مکان و زمان تغییر می‌کند. این غلظت در شهرهای آلوده تا حدود دو هزار میکروگرم در متر مکعب نیز رسیده و شیوع بیماری‌های تنفسی و افزایش مرگ و میر به خصوص در افراد مسن از عوارض ذرات معلق موجود در هوا می‌باشد [۲].

جدول ۲. وضعیت PM_{10} و CO_2 موجود در هوای ایران

ایران	آلاینده
۵۱	PM_{10} موجود در هوا (میکروگرم در متر مکعب)
۴۵۱۵۷۳	انتشار CO_2 (۱۰۰۰ تن)
۷	رشد سالانه انتشار CO_2 (درصد)
۶/۵	انتشار سرانه CO_2 (تن)

Source: <http://go.worldbank.org/AZO۳۶NGZL>.

۲-۶. سرب

بیشتر سرب موجود در اتمسفر، سربی است که بمنظور بهبود کیفیت سوخت به بنزین اضافه می‌شود و از آگروز اتومبیل‌ها وارد هوا می‌شود. پخش سرب از طریق آگروز اتومبیل‌ها، دودکش کارخانه‌ها و سایر وسایل منتشر کننده گازها انجام می‌شود. علاوه بر این پخش از طریق ذوب و تصفیه می‌تواند مقدار بسیار زیادی سرب از طریق محصولات کشاورزی، غذا، آب و تنفس به بدن انسان وارد کند. اما مهترین منبع سرب هوا، گاز حاصل از آگروز خودروها است. هفتاد تا هشتاد درصد از سرب موجود در بنزین از طریق آگروز در هوا پخش می‌شود. اثرات سرب معمولاً بر سه دستگاه خون‌ساز، اعصاب، کلیه و مجاری ادرار می‌باشد. اثرات حاد آن شامل استفراغ، کولیک، یبوست، اسهال، بی‌خوابی، حساسیت، تشنج و حتی مرگ بوده و اثرات مزمن آن، شامل سردرد، ضعف، سستی، یبوست، خط آبی در سرتاسر لثه‌ها، بی‌اشتهایی و کم‌خونی است [۲].

جدول ۳. انتشار جهانی آلودگی طبیعی و ناشی از فعالیت‌های انسانی

نوع آلودگی	طبیعی (میلیون تن)	ناشی از فعالیت‌های انسانی (میلیون تن)	کل (میلیون تن)
CO_2	۷۰۰۰۰۰	۲۳۰۰۰	۷۲۳۰۰۰
CH_4	۱۶۰	۳۷۵	۵۳۵
CO	۴۳۰	۱۸۱۵	۲۲۴۵
SO_2	۱۵	۱۴۶	۱۶۱
N_2O	۲۶	۱۶	۴۲
NO_x	۲۴	۸۵	۱۰۹
NH_3	۱۵	۳۰	۴۵
H_2S	۱-۲	۴	۵

Source: Air Pollution, Jeremy Colls, ۲nd edition, ۲۰۰۲.

• شاخص کیفیت هوا

آژانس حفاظت محیط زیست، شورای کیفیت محیط زیست و چند نهاد دیگر از وزارت بازرگانی، در توسعه شاخص استانداردهای آلاینده (PSI) به منظور گردآوری عوامل پیچیده‌ای که مجموعاً کیفیت هوا را به وجود می‌آورند، با یکدیگر همکاری نمودند. این شاخص، اندازه‌گیری‌های مربوط به هوا را برای پنج معیار اصلی آلاینده‌ها از صفر تا پانصد درجه بندی می‌نماید. آلاینده‌های مربوطه عبارتند از: منواکسیدکربن، دی اکسیدسولفور، کل ذرات معلق، اکسیدکننده‌های فتوشیمیایی یا ازن و دی اکسیدنیترژن. اگر غلظت هر یک از آلاینده اصلی بیش از مقدار پیش بینی شده برای کیفیت هوا در هر ایستگاه کنترل آلودگی باشد، در آن روز معین، کیفیت هوا در ناحیه مورد نظر ناسالم است. حتی اگر غلظت چهار آلاینده اصلی دیگر پائین‌تر از حد استاندارد ملی باشد [۲].

جدول ۴. عواقب ناشی از مقادیر شاخص استاندارد آلاینده (PSI) بر سلامت انسان

مقدار PSI	وضعیت	اثرات بوجود آمده بر سلامت	هشدار
۴۰۰ و بالاتر	خطرناک	مرگ زود هنگام بیماران و سالمندان، در افراد سالم علائم بدخیم مؤثر بر فعالیت‌های عادی دیده می‌شود.	همه افراد باید در محیط‌های سر بسته باقی بمانند و پنجره‌ها و درها را بسته نگاهدارند. همه افراد باید فعالیت‌های بدنی خود را به حداقل ممکن برسانند و از تردهای شهری خودداری کنند.
۳۰۰-۳۹۹	خطرناک	آغاز نابهنگام بیماری‌های معین علاوه بر وخیم‌تر شدن علائم و کاهش مقاومت بدن در افراد سالم.	سالمندان و افراد مبتلا به بیماری، باید در مکان‌های سرپوشیده به سر برده و از فعالیت‌های جسمانی خودداری کنند. عموم مردم باید از فعالیت در اماکن سر باز خودداری کنند.
۲۰۰-۲۹۹	بسیار مضر برای تندرستی	وخیم شدن علائم بیماری و کاهش مقاومت بدنی در افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی همراه با بروز عوامل گسترده در افراد سالم.	سالمندان و افراد مبتلا به بیماری قلبی یا ریوی باید در محیط‌های سر بسته بسر برده و از فعالیت‌های بدنی خود بکاهند.
۱۰۰-۱۹۹	مضر برای سلامتی	تشدید ملایم علائم بیماری در افراد مستعد ابتلاء، همراه با علائم ایجاد حساسیت سوزش در افراد سالم.	افراد مبتلا به ناراحتی‌های قلبی یا تنفسی باید از فعالیت بدنی و نیز فعالیت در محیط‌های سر باز خودداری کنند.
۵۰-۹۹	مرتبط		
۰-۴۹	خوب		

Source: Environmental Engineering, H. S. Peavy, D. R. Rowe and G. Tchobanoglous, ۱۹۹۹.

• بررسی آلودگی هوای شهر مشهد

مشهد بر روی دشتی بین ارتفاعات بینالود (جنوب غربی) و هزار مسجد (شمال و شمال شرق) واقع شده است. در طی شب هوای سرد و سنگین بالای این ارتفاعات به داخل دشت می‌لغزد و هوای گرم شهر بر روی آن قرار می‌گیرد که باعث تشکیل اینورژن حرارتی می‌شود. فعالیت اینورژن حرارتی بدین گونه است که هوای گرم بر روی هوای سرد قرار می‌گیرد و مانع جابجایی عمودی هوا شده و در نتیجه هوای پایدار و آرامی در سطح شهر بوجود می‌آید، حال گازهای آلاینده ناشی از فعالیت و حرکت وسائط نقلیه موتوری، صنایع و دیگر منابع آلاینده وارد جو شهر شده و به تدریج تمرکز می‌یابند. بر اثر تمرکز مواد آلاینده در داخل جو شهر

شرایط تنفس برای ساکنین شهر سخت دشوار شده و موجب تشکیل و گسترش بیماری‌های متعددی در بین شهروندان می‌شود. همچنین اینورژن حرارتی در تشکیل پدیده مه دود مؤثر بوده و مدت دوام آن بین چند ساعت تا چند روز می‌باشد. شهر مشهد دارای دویست و هفتاد تا سیصد روز اینورژن حرارتی در طی سال بوده و به دلیل فرارگیری پایانه در جنوب شهر، کوه‌های گرانیتهی جنوب مشهد در تشکیل اینورژن حرارتی دارای نقش مؤثری می‌باشند. علاوه بر این، در بخشی از پایانه اتوبوس‌های تحت نظارت سازمان اتوبوسرانی در طی شب پارک می‌شوند و در ایام سرد سال این قبیل اتوبوس‌ها تا صبح روشن بوده و مواد آلاینده بیشتری وارد جو می‌شوند و صبح گاهان که تعدادی از اتوبوس‌های مسافربری و تحت نظارت سازمان اتوبوسرانی مستقر در پایانه روشن می‌شوند مقدار زیادی گازهای آلاینده را متصاعد کرده و در داخل جو پایانه، هاله‌ای از هوای تیره بوجود می‌آید. این هوای تیره و آلوده از طریق خیابان‌های امام رضا (ع) و عدل خمینی به سمت مرکز شهر بالاخص میدان و چهارراه شهدا جابجا می‌شود. بر اثر تشکیل اینورژن حرارتی، پایداری در هوا پدید می‌آید که مواد آلاینده برای مدتی نواحی مرکزی شهر را فرا می‌گیرد. پس از طلوع خورشید و گرم شدن هوا به تدریج اینورژن حرارتی از بین رفته و پدیده جابجایی و ناپایداری جایگزین اینورژن شده و هوای آلوده از روی نواحی مرکزی شهر جابجا شده و دور می‌شود. همچنین اینورژن حرارتی تشعشعی و جبهه‌ای و دینامیکی از مواردی هستند که سطح شهر مشهد را در دوره سرد سال فرا می‌گیرند و موجب گسترش آلودگی هوای شهر می‌شوند [۱۰].

تفاوت دمایی که بین ارتفاعات شمالی، جنوب و جنوب غرب با داخل شهر مشهد در طی شب و روز پدید می‌آید موجب می‌شود که در طی شب نسیمی از روی ارتفاعات از طریق دره‌های مشرف به شهر مشهد به سمت داخل شهر بوزد که سبب انتقال هوای آلوده از فضای جوی شهر شده و هوای تمیز و سالم را جایگزین آن می‌نماید. لذا دره‌های مشرف به شهر مشهد به عنوان ششهای هوای شهر محسوب شده و لازم است که این دره‌ها از ساخت و ساز مصون باشند تا همچنان مبادله هوا بین شهر و ارتفاعات از طریق این دره‌ها برقرار شود. همچنین، بادهای غالبی که از شرق به غرب و یا از جنوب شرق به شمال غرب شهر می‌وزند در انتقال هوای آلوده از سطح شهر مهم تلقی می‌شوند و هوای صاف و بدون آلودگی را جایگزین هوای آلوده شهر می‌نمایند. همچنین، با بالا آمدن خورشید و شروع به کار منابع انتشار دهنده آلاینده‌های اولیه در اوایل روز در شهر مشهد، مه دود فتوشیمیایی کم کم شروع به تشکیل شدن می‌نماید و در نهایت در هنگام ظهر به حداکثر می‌رسد زیرا در ظهر حداکثر تشعشع خورشیدی وجود دارد. با نزدیک شدن به عصر، خیلی از کارخانه‌ها تعطیل شده و تشعشع خورشیدی نیز کاهش می‌یابد. همچنین، می‌توان با توجه به توضیحات قبلی نتیجه گرفت که مه دود فتوشیمیایی در ایام گرم سال بویژه در تابستان بیشتر تشکیل می‌گردد [۱۰].

• شناسایی منابع آلاینده مشهد و حومه

منابع آلاینده هوا در مشهد را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود که عبارتند از [۱۰]:

منابع آلاینده ناشی از فعالیت‌های انسانی:

الف) منابع آلاینده سیار یا متحرک

- خودروها
- وسائط نقلیه سنگین
- وسائط نقلیه سبک
- موتور سیکلت‌ها
- وسائط نقلیه عمومی (ناوگان حمل و نقل عمومی)
- هواپیماها
- قطارها

ب) منابع آلاینده ثابت

- منابع خانگی
- منابع تجاری شامل: رستورانها، هتلها، گرمابه‌ها و ...
- منابع صنعتی شامل: فلزی، غذایی و دارویی، غیر فلزی (کوره‌های گچ، کوره‌های آهک، کوره‌های آجر، سیمان و ...)، شیمیایی، نساجی و چرم، برق و الکترونیک (نیروگاه‌ها را نیز شامل می‌شود).
- جایگاه‌های توزیع سوخت اعم از بنزین، گازوئیل، LPG و CNG
- منابع آلاینده طبیعی نظیر طوفان‌های گرد و غباری، گرده‌ها و بساک‌های گیاهی

۱. منابع آلاینده متحرک

مهم‌ترین منابع آلاینده شهر مشهد، منابع ناشی از فعالیت‌های انسانی است. در میان منابع ناشی از فعالیت‌های انسانی، منابع آلاینده متحرک و سپس منابع آلاینده ثابت در اولویت می‌باشند. در میان منابع آلاینده متحرک، وسائط نقلیه موتوری در اولویت می‌باشند زیرا بخش عمده ای از آلاینده‌های موجود در جو به واسطه فعالیت وسائط نقلیه موتوری می‌باشد. وسائط نقلیه موتوری در سراسر شهر پراکنده می‌باشند، اما تراکم و تمرکز آن‌ها در مرکز شهر بالاخص از حواشی میدان شهدا تا حرم مطهر امام رضا (ع) و از میدان طبرسی تا پایانه مسافربری و از میدان برق تا میدان آزادی می‌باشد. پایانه مسافربری مشهد که در جنوب شهر واقع شده است بر اثر فعالیت اتوبوس‌های بین شهری و اتوبوس‌های تحت نظارت سازمان اتوبوسرانی یکی از منابع عمده آلاینده جو بشمار می‌رود. در میان منابع آلاینده ثابت، نیروگاهها، صنایع و منابع خانگی و تجاری نقش بسزایی در آلودگی هوای شهر دارند که در ذیل توضیحاتی در رابطه با آن‌ها آورده می‌شود.

۲. نیروگاهها

برای تامین برق مورد نیاز مشهد سه نیروگاه وجود دارد. یکی از نیروگاه‌های تأمین کننده برق شهر، نیروگاه مشهد است که در نزدیکی شهر مشهد در ابتدای جاده سرخس قرار دارد. نیروگاه شریعتی در محور جاده سرخس و به فاصله پنج کیلومتری شرق نیروگاه مشهد واقع شده است. نیروگاه طوس، در مسیر جاده قوچان در حوالی سه راهی طوس قرار دارد یعنی در سمت غرب مشهد. سوخت مصرفی نیروگاه‌ها معمولاً مازوت، گازوئیل و گاز است ولی تمایل به استفاده از گاز وجود دارد. با توجه به روند عمومی جهت بادهای غالب شهر که از جنوب شرق به شمال غرب و از شرق به غرب است، جایگاه و محل استقرار نیروگاههای مشهد و شریعتی مناسب نیست. ولی محل استقرار نیروگاه طوس مناسب می‌باشد. میزان NO_x تولیدی از نیروگاه‌ها بسیار زیاد بوده و از میزان NO_x تولیدی از منابع دیگر بیشتر می‌باشد. اما میزان انتشار هیدروکربورها (HC) حاصل از سوخت مصرفی خودروهای بنزینی و گازوئیلی بیشتر از میزان انتشار HC نیروگاه‌های مشهد می‌باشد. همچنین، چون NO_x عامل موثری در تشکیل پدیده مه دود فتوشیمیایی می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس محل استقرار نیروگاه‌های مشهد، شریعتی و طوس، امکان تشکیل پدیده مه دود فتوشیمیایی در حومه مشهد بیشتر به نظر می‌رسد.

۳. کارگاههای ریخته‌گری

کارگاههای ریخته‌گری و ذوب فلزات یکی دیگر از منابع آلاینده جو شهر مشهد می‌باشد که جزء صنایع فلزی می‌باشند. به دلیل مصرف مازوت به عنوان سوخت در این واحدها، مواد آلاینده زیادی از دودکش این واحدها به هوای آزاد تخلیه می‌شود. عدم توان دم برقی مورد استفاده در این کارگاهها برای تامین هوای لازم و متناسب با سوخت ورودی به کوره باعث ایجاد و خروج دود غلیظی از دودکش آن‌ها به هوای آزاد می‌گردد. ارتفاع دودکش‌ها در بیشتر کارگاه‌ها کم‌تر از چهار متر است که این امر موجب انتشار دود حاصل از فعالیت آن‌ها در سطح پائین می‌شود. اغلب این کارگاهها در داخل شهر قرار داشته و تعدادی نیز در خارج شهر واقع شده‌اند.

۴. صنعت سیمان

در مشهد یک کارخانه سیمان وجود دارد که در سال‌های اخیر توسعه داده شده است. این کارخانه در بیست و چهار کیلومتری شمال شرقی مشهد واقع شده است که در مسیر جاده ای قرار دارد که معروف به جاده سیمان است. کارخانه سیمان مشهد دارای دو کوره گردان به ظرفیت‌های هزار و دویست و سیصد تن در روز با سوخت گاز به میزان هفتصد متر مکعب در روز و دو کوره قائم هر کدام به ظرفیت تولید یکصد و پنجاه تن در روز با سوخت ذغال کک می‌باشد. فعالیت کوره‌ها بیست و چهار ساعته و دائمی بوده که با توجه به جهت بادهای غالب، موقعیت کارخانه سیمان مناسب می‌باشد.

۵. کوره‌های آهک

در شهر مشهد، تعداد زیادی واحد کوره دستی آهک وجود دارد که عمدتاً در شمال و شمال شرق مشهد قرار داشته و سوخت مصرفی آن‌ها مازوت می‌باشد. بر اثر فعالیت این واحدها دود غلیظی از مواد آلاینده، جو منطقه را فرا می‌گیرد که در گسترش آلودگی هوا موثر است. کوره‌های آهک مشهد عمدتاً در چهار ناحیه یعنی هجده تا بیست و چهار کیلومتری جاده سیمان، چهارده تا بیست کیلومتری جاده کلات، سی تا چهل کیلومتری جاده فردوسی و هجده کیلومتری جاده سرخس قرار دارند. این کوره‌ها در سه نوبت فعالیت می‌کنند که با توجه به جهت باد غالب، محل استقرار اکثر کوره‌های گچ مناسب می‌باشد.

۶. کوره‌های آجرپزی

کوره‌های آجرپزی مشهد در سه منطقه هلال کشف رود، فردوسی و میامی استقرار یافته اند. حدود هشتاد و هشت درصد از کوره‌های آجرپزی مشهد در بخش هلال کشف رود قرار دارند که در محدوده ای به عرض پانصد تا هزار متر و طول بیست و پنج کیلومتر به صورت هلالی توزیع شده اند. سوخت کوره‌های آجرپزی، معمولاً مازوت است. این کوره‌ها نیز در سه نوبت فعالیت می‌کنند که با توجه به جهت بادهای غالب، محل استقرار این کوره‌های نسبتاً نامناسب ولی محل استقرار دیگر کوره‌ها نسبتاً مناسب است.

۷. واره‌های گچ

کوره‌های گچ، به چهار نوع سنتی، تنوره‌ای، تونلی و دوار تقسیم می‌شوند که سوخت مصرفی تمامی آن‌ها، مازوت می‌باشد. این کوره‌ها نیز در سه شیفت فعالیت می‌کنند و موقعیت مکانی بسیار از آن‌ها با توجه به جهت باد غالب مناسب است.

۸. صنایع غذایی و دارویی

در ارتباط با صنایع غذایی، کارخانه‌های مهمی فعالیت می‌کنند و محصولاتی چون خشکبار، میوه، ماکارونی، همبرگر، سوسیس، رب گوجه فرنگی، پوره میوه، انواع کنسرو و کمپوت، نوشابه‌های غیرالکلی، شیر و دوغ، از تولیدات آن‌ها می‌باشد. سوخت تمامی کارخانه‌های یاد شده گاز، گازوئیل و مازوت می‌باشد. اما گرایش به استفاده از سوخت گازی در آنها زیاد است. به استثنای کارخانه قند آبکوه که در داخل شهر قرار دارد، بقیه کارخانه‌های غذایی عمده، در محورهای منتهی به شهر واقع گردیده‌اند. همچنین، مشهد قطب اصلی صنعت غذایی کشور بوده و صنایع دارویی کمی در آن وجود دارند.

۹. صنایع شیمیایی

در ارتباط با این صنایع، کارخانه‌های متعددی از قبیل: چسب، حشره کش مایع، لوازم پلاستیکی، گاز استیلن، شیلنگ پلاستیکی، تسمه پروانه، روغن، رنگ، انواع حلال‌های الکل، لوازم آرایش و کود کیسه‌ای فعالیت دارند که سوخت تمامی این کارخانه‌ها، گاز، گازوئیل و مازوت بوده و عمدتاً در محورهای منتهی به شهر واقع شده اند.

۱۰. صنایع غیرفلزی دیگر

شامل کارخانه‌های تولید کننده سرامیک، کاشی کف، انواع سنگ عایق، ایزولاسیون، واحدهای شن شکسته و بتون آماده بوده که سوخت تمامی آن‌ها گاز، مازوت و گازوئیل می‌باشد و عمدتاً در سه نوبت فعالیت می‌کنند. این صنایع نیز عمدتاً در محورهای منتهی به شهر واقع شده‌اند.

۱۱. صنایع فلزی دیگر

در ارتباط با صنایع فلزی واحدهایی چون رادیاتورسازی، شوماژ، قوطی فلزی، ژنراتور، لوازم خانگی، انواع فیلتر هوا، فرقون، شیرگاز، لعاب فلزات آبکاری، ظروف تفلون، میخ و پرچ و ... فعالیت دارند که سوخت تمامی آن‌ها گاز، مازوت و گازوئیل بوده و عمدتاً در محورهای منتهی به شهر واقع شده‌اند.

۱۲. صنایع برق و الکترونیک

این صنایع شامل کارخانه‌های تولید کننده فیوز، لامپ فلورسنت، ترانس، پلاتین، تابلو توزیع برق، ماشین حساب، کامپیوتر، لوازم خانگی، فن، سیم لاکه و کابل می‌باشند که سوخت این صنایع گاز، گازوئیل و مازوت بوده و محل استقرار اکثر این صنایع در محورهای منتهی به شهر می‌باشد.

۱۳. صنایع نساجی و چرم

این صنایع در زمینه تولید پارچه‌های فاستونی و پنبه ای، الیاف مصنوعی، موکت، پوشاک و فرش ماشینی فعالیت دارند. همچنین، در صنایع چرم، انواع چرم سبک و سنگین و تیماج تولید می‌شود که سوخت مصرفی تمامی آن‌ها گاز، مازوت و گازوئیل بوده که به استثنای یک واحد نساجی، تمامی واحدهای نساجی و چرم در خارج شهر و اکثراً در محورهای منتهی به شهر مشهد واقع شده‌اند.

۱۴. منابع خانگی و تجاری

این منابع جزء منابع ثابت انتشار دهنده آلاینده‌های هوا هستند و در سراسر شهر مشهد نیز قرار دارند لیکن تراکم منابع تجاری در مرکز و داخل شهر بیشتر از حواشی آن است. سوخت مصرفی این منابع، گاز طبیعی بوده و هر چند که آلاینده‌های هوای حاصل از سوخت گاز طبیعی به مراتب کمتر از سوخت‌های بنزینی، گازوئیل و مازوت و ذغال سنگ است اما با توجه به گستردگی این منابع، نقش آن‌ها در آلودگی هوای مشهد به ویژه در فصل‌های سرد سال که پدیده اینورژن حرارتی نیز وجود دارد، زیاد می‌باشد.

• اولویت بندی منابع آلاینده شهر مشهد

جدول ۵. اولویت بندی با توجه به استقرار منابع آلاینده

اولویت	نوع منبع آلاینده
۱	وسائط نقلیه موتوری
۱	خانگی
۱	تجاری
۱	صنایع داخل شهر
۱	جایگاه‌های توزیع سوخت داخل شهر
۲	قطارها
۳	هوایماها
۴	جایگاه‌های توزیع سوخت بیرون شهر
۴	صنایع بیرون شهر

مأخذ: برنامه جامع آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۱.

جدول ۶. اولویت بندی با توجه به نوع آلودگی

نوع منبع آلاینده	No _x	NMVOc	CO	So _۲	PM _{۱۰}
خودروها	۱	۱	۱	۲	۱
نیروگاه‌ها	۳	۲	۳	۴	۲
صنایع	۴	۵	۴	۱	۴
خانگی	۲	۴	۲	۳	۳
تجاری	۵	۶	۵	۵	۵
جایگاه‌های توزیع سوخت	۶	۳	۶	۶	۶

مأخذ: برنامه جامع آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۱.

جدول ۷. اولویت بندی با توجه به سوخت مصرفی

اولویت	نوع منبع آلاینده
۱	صنایع
۲	قطارها
۲	خودروهای گازوئیلی
۳	جایگاه‌های توزیع بنزین و گازئیل
۴	هواپیماها
۵	جایگاه‌های توزیع بنزین
۵	خودروهای بنزینی
۵	خانگی
۶	تجاری
۶	جایگاه‌های توزیع گاز
۶	خودروهای گازی

مأخذ: برنامه جامع آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۱.

جدول ۸. اولویت بندی با توجه به بادهای غالب

اولویت	نوع منبع آلاینده
۱	قطارها
۱	صنایع محور سرخس
۱	صنایع محور ابلق
۲	صنایع محور سیمان
۲	صنایع محور کلات
۳	صنایع محور قوچان
۴	صنایع محور فریمان
۴	صنایع محور هواپیماها
۵	صنایع محور نیشابور
۵	صنایع محور شاندیز
۵	صنایع محور طرهبه

مأخذ: برنامه جامع آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۱.

• عوارض ناشی از آلودگی هوای شهر مشهد

بر اساس نتایج مطالعه ای که توسط زارع و همکاران با استفاده از نمونه گیری تصادفی بر روی اعضای خانواده ۲۸۶ خانوار شهروند مشهد صورت پذیرفت بیش از نود و چهار درصد افراد، مشکل بوی نامطبوع، حدود هشتاد و پنج درصد، ریزش گرد و غبار سیاه، حدود هفتاد و هفت درصد مشکل دید ضعیف و نزدیک به هشتاد و هشت درصد تأثیر آلودگی هوا بر سلامتی را در منطقه محل سکونت خود تجربه کرده اند. جدول ذیل درصد افرادی را که مشکلات مختلف ناشی از آلودگی هوا را تجربه کرده اند نشان می‌دهد:

جدول ۹. تعداد روزهای تجربه مشکلات مختلف ناشی از آلودگی هوا (روز در ماه)

تعداد روز	به هیچ وجه	کمتر از ۱	۱-۳	۴-۶	۷-۱۰	بیشتر از ۱۰	هر روز
تعداد روزهای با بوی نامطبوع	۶/۶	۷/۶	۲۸/۴	۲۷/۳	۱۳/۱	۸/۷	۸/۳
تعداد روزهای ریزش گرد و غبار سیاه	۱۵/۲	۶/۴	۲۰/۱	۲۰/۵	۱۳/۱	۱۰/۶	۱۴/۱
تعداد روزهای با دید ضعیف	۲۳/۲	۸/۸	۳۳/۳	۱۳/۳	۹/۱	۹/۱	۳/۲
تعداد روزهای موثر بر سلامتی	۱۲/۳	۸/۸	۲۷/۱	۲۰/۴	۱۶/۵	۱۱/۳	۳/۵

مأخذ: ارزش گذاری مشروط آلودگی‌های زیست محیطی [۷].

همچنین، مطالعه آنان نشان داد که بیش از نود و هفت درصد افراد ساکن در مشهد نسبت به ریزش گرد و غبار سیاه، تأثیر آلودگی هوا بر چشم و انواع حساسیت‌های ناشی از آلودگی هوا، نگران بوده و از مشکل دید ضعیف ناشی از آلودگی هوا که از منابع مختلف آلودگی حاصل می‌شود، رنج می‌برند. علاوه بر این، تقریباً صد درصد افراد ساکن در مشهد، نسبت به اثرات سلامتی آلودگی هوا، نگران بوده و بیش از نود و پنج درصد افراد، نسبت به اثر آلودگی هوا بر سوزش گلو نگران‌اند. جدول زیر درصد افراد مبتلا به بیماری‌های ناشی از آلودگی هوای نمونه مورد مطالعه آنان را نشان می‌دهد:

جدول ۱۰. درصد افراد مبتلا به انواع بیماری‌های ناشی از آلودگی هوای مشهد

بیماری‌های ناشی از آلودگی هوای مشهد	درصد افراد مبتلا
آسم	۵/۵
حساسیت چشمی	۲۹/۱
حساسیت پوستی	۲۷/۳
سایر حساسیت‌ها (سوزش گلو و ...)	۳۸/۱
بیماری قلبی	۵/۵
آنژین	۷/۳
آمفی‌زم یا برونشیت مزمن	۸/۳
بیماری تنفسی یا قلبی دیگر	۴/۲

ماخذ: ارزش‌گذاری مشروط آلودگی‌های زیست محیطی [۷].

• محاسبه انتشار آلودگی هوای وسائط نقلیه در شهر مشهد

۱. محاسبه میزان انتشار آلودگی وسایل نقلیه بنزینی

براساس آمار شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران روزانه ۲۷۷۱۶۰۵ لیتر بنزین در مشهد مصرف می‌شود که با توجه به متوسط میزان مصرف سوخت وسائط نقلیه بنزینی در هر کیلومتر (۰/۰۹۱ لیتر) و میزان مواد آلاینده تولیدی وسائط نقلیه در هر کیلومتر می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه بنزینی در مشهد را بصورت زیر محاسبه نمود:

جدول ۱۱. مصرف روزانه فرآورده‌های نفتی در مشهد

نوع سوخت	مصرف سوخت روزانه (لیتر)
بنزین موتور	۲۷۷۱۶۰۵
نفت سفید	۴۲۵۹۷۰
نفت‌گاز	۲۴۹۸۰۵۵
نفت‌کوره	۱۰۳۵۸۹۰

ماخذ: شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران

کل کیلومتر طی شده توسط وسائط نقلیه بنزینی در روز برابر است با:

$$۲۷۷۱۶۰۵ \div ۰/۰۹۱ = ۳۰۴۵۷۲۰۳/۰۷$$

(۱)

جدول ذیل میزان مواد آلاینده تولیدی وسائط نقلیه بنزینی را در هر کیلومتر نشان می‌دهد:

جدول ۱۲. میزان مواد آلاینده تولیدی حاصل از احتراق بنزین در موتور حسب میلی گرم بر کیلومتر

مواد آلاینده هر سوخت	CO_r	CH_r	N_2O	$NMVOG$	NO_x	CO	SO_r	PM_{10}
بنزین	۲۴۵۰۸۶٫۶۱	۲۵۳	۸۶٫۸۸	۲۷۲۹٫۱۱	۲۹۵۲٫۶۶	۳۳۶۲۲٫۳۳	۹٫۹۶	۶۳۳٫۷۷

Source: Tehran Transport Emissions Reduction Project, Air Quality Control Co., ۱۹۹۷.

با استفاده از رابطه ۱ و جدول ۱۳ می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه بنزینی را در مشهد بصورت جدول ذیل به دست آورد:

جدول ۱۴. میزان انتشار روزانه آلودگی‌های مختلف وسائط نقلیه بنزینی در مشهد

PM _{۱۰}	SO _۲	CO	NO _x	NM VOC	N _۲ O	CH _۴	CO _۲	آلاینده
۰/۶۳۴	۰/۰۱۰	۳۳/۶۲۲	۲/۹۵۳	۲/۷۲۹	۰/۰۸۷	۰/۲۵۳	۲۴۵/۰۸۷	انتشار آلودگی در هر کیلومتر (گرم)
۱۶/۸۹	۰/۲۷	۸۹۶/۰۴	۷۸/۶۹	۷۲/۷۳	۲/۳۲	۶/۷۴	۶۵۳۱/۵۷	کل آلودگی تولیدی خودروهای بنزینی (تن)

مأخذ: نتایج تحقیق

بنابراین در مجموع وسایل نقلیه بنزینی روزانه ۷۶۰۵/۲۴ تن آلودگی وارد جو مشهد می‌کنند.

۲. محاسبه میزان انتشار آلودگی وسایل نقلیه گازوئیلی

براساس آمار شرکت اتوبوسرانی مشهد و حومه روزانه ۱۱۸۰۰۰ لیتر گازوئیل توسط اتوبوس‌های شهری مشهد مصرف می‌شود که با توجه به متوسط میزان مصرف سوخت وسائط نقلیه گازوئیلی در هر کیلومتر (۰/۳۴۹ لیتر) و میزان مواد آلاینده تولیدی وسائط نقلیه در هر کیلومتر می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه گازوئیلی در مشهد را به صورت زیر محاسبه نمود:

کل کیلومتر طی شده توسط اتوبوس‌های شهری مشهد در روز برابر است با:

$$۱۱۸۰۰۰ \div ۰/۳۴۹ = ۳۳۸۱۰۸/۸۸$$

جدول ذیل میزان مواد آلاینده تولیدی اتوبوس‌های شهری را در هر کیلومتر نشان می‌دهد:

جدول ۱۵. میزان مواد آلاینده تولیدی حاصل از احتراق گازوئیل در موتورهای دیزلی حسب میلی گرم بر کیلومتر

PM _{۱۰}	SO _۲	CO	NO _x	NM VOC	N _۲ O	CH _۴	CO _۲	مواد آلاینده هر سوخت
۲۷۵۵.۵	۴۵۶۴.۵	۷۸۸۵	۹۰۲۹.۷۵	۵۷۴۹.۵	۲۷.۲۵	۱۷۲.۷۵	۱۰۸۳۷۲۱.۵	گازوئیل

Source: Tehran Transport Emissions Reduction Project, Air Quality Control Co., ۱۹۹۷.

با استفاده از رابطه ۲ و جدول ۱۵ می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه بنزینی را در مشهد به صورت جدول ذیل به دست آورد:

جدول ۱۶. میزان انتشار روزانه آلودگی‌های مختلف اتوبوس‌های شهری گازوئیلی در مشهد

PM _{۱۰}	SO _۲	CO	NO _x	NM VOC	N _۲ O	CH _۴	CO _۲	آلاینده
۲/۷۵۶	۴/۵۶۵	۷/۸۸۵	۹/۰۳۰	۵/۷۴۹	۰/۰۲۷	۰/۱۷۳	۱۰۸۳/۷۲۱	انتشار آلودگی در هر کیلومتر (گرم)
۰/۹۳۲	۱/۵۴۳	۲/۶۶۶	۳/۰۵۳	۱/۹۴۴	۰/۰۰۹	۰/۰۵۸	۳۶۶/۴۱۶	کل آلودگی تولیدی اتوبوس‌های گازوئیلی (تن)

مأخذ: نتایج تحقیق

بنابراین در مجموع اتوبوس‌های شهری گازوئیلی، روزانه ۳۷۶/۶۲ تن آلودگی وارد جو مشهد می‌کنند.

۳. محاسبه میزان انتشار آلودگی وسایل نقلیه گازسوز

براساس آمار شرکت تاکسیرانی مشهد روزانه ۱۸۸۴۳۳۰ لیتر گاز توسط تاکسی‌ها و مسافربرهای مشهد مصرف می‌شود که با توجه به متوسط میزان مصرف سوخت وسائط نقلیه گازسوز در هر کیلومتر (۰/۰۸ لیتر) و میزان مواد آلاینده تولیدی وسائط نقلیه در هر کیلومتر می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه گازسوز در مشهد را بصورت زیر محاسبه نمود: کل کیلومتر طی شده توسط وسائط نقلیه گازسوز در روز برابر است با:

$$۱۸۸۴۳۳۰ \div ۰/۰۸ = ۲۳۵۵۴۱۲۵$$

جدول ذیل میزان مواد آلاینده تولیدی وسائط نقلیه گازسوز را در هر کیلومتر نشان می‌دهد:

جدول ۱۷. میزان مواد آلاینده تولیدی حاصل از احتراق گاز در موتورهای گازسوز حسب میلی گرم بر کیلومتر

مواد آلاینده هر سوخت	CO _r	CH _r	N ₂ O	NM VOC	NO _x	CO	SO _r	PM _{۱۰}
گاز	۱۸۳۳۰۱.۵	۱۲۶.۱۶	۷۷.۵	۱۲۶۳	۲۵۹۰.۳۳	۹۷۲۶.۵	۴.۱۶	۱۴

Source: Tehran Transport Emissions Reduction Project, Air Quality Control Co., ۱۹۹۷.

با استفاده از رابطه ۳ و جدول ۱۷ می‌توان میزان انتشار روزانه آلودگی وسائط نقلیه گازسوز را در مشهد به صورت جدول ذیل به دست آورد:

جدول ۱۸. میزان انتشار روزانه آلودگی‌های مختلف وسائط نقلیه گازسوز در مشهد

آلاینده	CO _r	CH _r	N ₂ O	NM VOC	NO _x	CO	SO _r	PM _{۱۰}
انتشار آلودگی در هر کیلومتر (گرم)	۱۸۳/۳۰۱	۰/۱۲۶	۰/۰۷۸	۱/۲۶۳	۲/۵۹۰	۹/۷۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴
کل آلودگی تولیدی تاکسی‌های گازسوز (تن)	۴۳۱۷/۵۰۶	۲/۹۷۲	۱/۸۲۵	۲۹/۷۴۹	۶۱/۰۱۳	۲۲۹/۱۰۰	۰/۰۹۸	۰/۳۳۰

مأخذ: نتایج تحقیق

بنابراین در مجموع وسائط نقلیه گازسوز (به استثنای اتوبوس‌های گازسوز) روزانه ۴۶۴۲/۵۹ تن آلودگی وارد جو مشهد می‌کنند.

جمع بندی و نتیجه گیری

در کشور ما میزان انتشار آلاینده‌های هوا در کلان‌شهرها به سطح خطرناکی رسیده است. در میان شهرهای کشور، شهر مشهد به دلیل قرار گرفتن در میان رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد دارای دویست و هفتاد تا سیصد روز اینورژن حرارتی در سال بوده و در بعضی از ایام سال آلوده‌ترین شهر کشور می‌باشد. از طرف دیگر شهر مشهد به دلیل وجود مرقد مطهر امام رضا(ع) به عنوان دومین کلان‌شهر مذهبی جهان مطرح بوده و سالانه پذیرای بیست میلیون زائر از سراسر ایران و جهان می‌باشد. بنابراین بررسی علمی وضعیت آلودگی هوای این شهر به منظور فراهم آوردن محیطی سالم و با نشاط برای زائرین و مجاورین امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. لذا در این مطالعه منابع آلاینده شهر مشهد شناسایی و میزان انتشار آلودگی هوای وسائط نقلیه موتوری اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی منابع آلاینده هوای شهر مشهد نشان داد که با توجه جهت‌بادهای غالب، محل استقرار نیروگاه‌های مشهد و شریعتی و کوره‌های آجرپزی نامناسب می‌باشد. این منابع جزء منابع ثابت انتشار دهنده آلاینده‌های هوا هستند و در سراسر شهر مشهد نیز قرار دارند علاوه بر این هر چند که سوخت مصرفی منابع آلاینده خانگی و تجاری، گاز طبیعی بوده و آلاینده‌های هوای حاصل از سوخت گاز طبیعی به مراتب کمتر از سوخت‌های بنزینی، گازوئیل و مازوت و ذغال سنگ است، لیکن تراکم این منابع در مرکز و داخل شهر، بیشتر از حواشی آن بوده و نقش آن‌ها در آلودگی هوای مشهد، به ویژه در فصل‌های سرد سال که پدیده اینورژن حرارتی نیز وجود دارد، زیاد می‌باشد. همچنین با توجه به موقعیت استقرار، نوع آلودگی تولیدی، نوع سوخت مصرفی و جهت‌بادهای غالب، به ترتیب وسایل نقلیه موتوری، خودروها، صنایع، قطارها و صنایع محور سرخس در اولویت اول تولید آلودگی هوا می‌باشند. علاوه بر این، نتایج اندازه‌گیری انتشار آلودگی وسائط نقلیه موتوری نشان داد که وسائط نقلیه بنزینی، گازوئیلی و گازسوز به ترتیب روزانه ۸۶۹۱/۷۰، ۳۷۶/۶۲ و ۴۶۴۲/۵۹ تن انواع آلودگی وارد جو شهر مشهد می‌کنند.

پیشنهادات و راهکارها

بررسی انواع مطالعات کاهش آلودگی هوا نشان می‌دهد که بهترین راه مبارزه با آلودگی هوا درختکاری می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج این مطالعه به منظور کاهش حجم بالای آلودگی‌های هوا و ایجاد هوای سالم و تامین رفاه زائرین و مجاورین، توسعه فضای سبز و تفرج‌گاه‌ها از ضروریات اجتناب‌ناپذیر این کلان شهر می‌باشد. لیکن با توجه به محدودیت وسعت فضای شهری، دستیابی به این هدف تنها از طریق توسعه فضای سبز حاشیه شهر (کمربند سبز) امکان پذیر بوده و می‌تواند همچون ریه‌های شهر در جهت

پالایش هوای آلوده عمل نماید. از طرف دیگر کمربندسبز مشهد به نوار سبزی از درختان و درختچه‌ها اطلاق می‌گردد که به صورت کمربندهای سبز محاط کننده، کمان‌های سبز و یا محورهای سبز داخل یا خارج حریم شهر در اراضی دشت، کوهپایه‌ها و حاشیه رودخانه‌ها پوشش دهنده فضای پیرامون شهر مشهد خواهد بود و علاوه بر تلطیف و پالایش هوا می‌تواند اهداف ذیل را نیز تامین کند [۹].

۱. ایجاد چشم انداز زیبا و مفرح در اطراف شهر.
۲. تحدید حدود شهر برای جلوگیری از تصرفات غیر قانونی و توسعه بی‌رویه.
۳. تثبیت خاک، افزایش پتانسیل ذخیره سازی آب، تقویت سفره‌های زیر زمینی و جلوگیری از بروز خسارات ناشی از سیلاب‌ها.

منابع

۱. Colls, Jeremy., (۲۰۰۲), Air Pollution, ۲nd Edition, Spon Press.
۲. Peavy, H. S, Rowe, D. R., and Tchobanoglous. (۱۹۸۵), Environmental Engineering, McGraw-Hill, Inc.
۳. آمارنامه سازمان اتوبوسرانی مشهد و حومه؛ ۱۳۸۷.
۴. آمارنامه سازمان تاکسیرانی مشهد، ۱۳۸۷.
۵. آمارنامه شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۸۶.
۶. پایگاه اینترنتی بانک جهانی:
۷. <http://go.worldbank.org/AZO۳۶NGZL>.
۸. زارع، ع. قربانی، م و دهقانیان، س؛ *ارزش گذاری آلودگی‌های زیست محیطی (مطالعه موردی اثرات زیست محیطی آلودگی هوای مشهد)*، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۵.
۹. عرفان منش، م. افیونی، م؛ *آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا، انتشارات ارکان، ۱۳۸۴.*
۱۰. مدیریت کمربند سبز مشهد، ۱۳۸۸.
۱۱. موسوی، م؛ *طرح جامع آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۱.*