

تحلیل ریسک زیست محیطی ناشی از آلودگی هوا در کلانشهر تهران و ارائه راهکارهای حقوقی و اجرایی منطبق بر توسعه پایدار شهری

مریم احمدی

گروه مدیریت محیط زیست، حقوق محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه

آزاد اسلامی، تهران، ایران

عسگر جلالیان^۱

دانشیار گروه حقوق، مرکز تهران جنوب، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

علی فقیه حبیبی

دانشیار گروه حقوق، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

هدف پژوهش، تحلیل ریسک زیست محیطی آلودگی هوا در شهر تهران است. تحقیق از نوع کاربردی است که براساس داده‌های آماری بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷ انجام شده است. برای سنجش و مقایسه تطبیقی آلاینده‌های هوای تهران، از شاخص کیفیت هوا و استانداردهای سالانه مربوط به آلاینده‌ها استفاده شد. روش ارزیابی ریسک نیز الگوی سه متغیره ویلیام فاین بوده است. نتایج بیانگر آن بوده است که میانگین غلظت سالانه دو آلاینده ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) در تمام سالها بالاتر از استاندارد بوده و سه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و منواکسید کربن از روند متغیری برخوردار بوده‌اند و ازن نیز نسبت به سال مبدا، دارای وضعیت بهتری است. از سوی دیگر، احتمال وقوع ریسک آلودگی ناشی از آلاینده‌های هوا در سطح شهر تهران، نسبتاً زیاد بوده و امتیاز ۵ برای آن ثبت می‌گردد. همچنین: در خصوص میزان تماس با آلاینده‌های شاخص نیز، امتیاز ۶ که بیانگر تماس هفته‌ای چندبار و بین ۶ تا ۸ ساعت می‌باشد، و میزان پیامد نیز امتیاز ۶ را کسب کرده است. در مجموع، می‌توان چنین عنوان نمود که رتبه ریسک زیست محیطی آلودگی هوا در سطح شهر تهران، عدد ۱۸۰ بوده که نشانگر وضعیت اضطراری و «سطح ریسک متوسط» است و لازم است تا توجهات لازم در اسرع وقت صورت گیرد. به منظور کاهش آلودگی هوای شهر تهران لازم است تا براساس اصول توسعه پایدار شهری اقدامات لازم صورت گیرد.

کلمات کلیدی: تحلیل ریسک، آلودگی هوا، توسعه پایدار شهری، آلاینده‌های هوا، کلانشهر تهران.

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عواملی است که کیفیت زندگی انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و اثرات ناگواری بر سلامت انسان می‌گذارد (Amesano et al., 2016). انواع آلاینده‌های هوا (طبیعی و مصنوعی) بیش از ۱۸۰ نوع می‌باشند که به اشکال مختلف مانند ذرات جامد، قطرات مایع و یا گاز وجود دارند (Daisey et al., 2003). آلودگی هوای شهرها شامل هر دو نوع آلاینده اولیه و ثانویه است. در سال ۲۰۱۳ آلودگی هوا و ذرات معلق به عنوان ترکیبات سرطان‌زای درجه ۱ برای انسان طبقه‌بندی شده‌اند (IARC, 2003). آلودگی هوا چهارمین عامل خطر برای مرگ منتسب در دنیا و همچنین هفتمین عامل خطر در ایران می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده توسط سازمان بهداشت جهانی، هر سال در اثر آلودگی هوا بیش از چهار میلیون نفر دچار مرگ زودرس می‌شوند (WHO, 2017). بر اساس گزارش بانک جهانی، خطراتی که آلودگی هوا بر سلامت می‌تواند داشته باشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین میزان است (WB, 2015).

در حال حاضر، مهم‌ترین معضل محیط زیستی شهر تهران، آلودگی هوا بوده و مقابله و کاهش آن جز با شناخت آلاینده‌ها، منشا و عوامل تاثیرگذار بر آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد. کلان شهر تهران با توجه به شرایط توپوگرافیکی و اقلیمی و همچنین تردد نزدیک به ۵ میلیون وسیله نقلیه و استقرار تعداد زیادی واحدهای صنعتی بزرگ و کوچک، یکی از هشت شهر بزرگ کشور است که آلودگی هوا در آن به یکی از مشکلات بزرگ فراروی مردم و مسئولین این شهر تبدیل شده است. خسارات سالانه آلودگی هوا در ایران تا سال ۲۰۱۶ میلادی حدود ۱۶ میلیارد دلار برآورد شده است. شهر تهران در سال ۱۳۹۵، دارای ۸۰ روز ناسالم برای گروههای حساس جامعه و ۹ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه بوده است (TAQCC, 2016). سالانه در شهر تهران بیش از ۴ هزار و ۴۰۰ نفر بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. آمارها نشان می‌دهد که در روزهای تشدید آلودگی هوای تهران، شمار بیماران تنفسی «تا ۶۰ درصد» افزایش می‌یابد (Azizi, 2007). بنابر پژوهش‌ها روزانه بالغ بر یک‌هزار و ۱۹۲ تن مواد آلاینده در هوای تهران منتشر می‌شود. بیشترین این آلاینده‌ها مربوط به اکسیدهای گوگرد با انتشار ۶۹۵ تن در هر روز است که بعد از آن به ترتیب اکسیدهای نیتروژن، مونواکسید کربن و هیدروکربن‌های سوخته نشده، عمده آلاینده‌های هوای تهران محسوب می‌شوند (Bahmanpour et al., 2013). هدف از انجام این تحقیق، تحلیل و ارزیابی ریسک خسارات زیست محیطی ناشی از آلودگی هوا در کلانشهر تهران می‌باشد.

مبانی نظری

شهرهای پایدار در برنامه‌های توسعه بسیاری از کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه که نرخ شهرنشینی آنها بالاست، اهمیت بسیاری دارند (بنا و همکاران، ۱۳۹۸). در عصر کنونی گسترش سریع شهرها اکثر کشورها را با مشکلات متعددی مواجه ساخته است. از جمله این مشکلات می‌توان به آلودگی هوای شهرها و کلانشهرها اشاره داشت. آلودگی هوای شهرها شامل هر دو نوع آلاینده اولیه و ثانویه است (Adams, 2010). مطالعات نشان داده‌اند آلاینده‌هایی همانند دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق منجر به بیماری‌های قلبی عروقی، تنفسی و سرطان می‌گردند (Bono et al, 2010). در اتریش، سوئیس و فرانسه ۶ درصد از کل مرگ و میر بزرگسالان بالای ۳۰ سال به آلودگی هوا نسبت داده شده است (O'Reilly et al., 2015). بطور کلی آلودگی هوا به قشر حساس جامعه یعنی سالمندان و

کودکان بیشتر آسیب می‌رساند و حتی ممکن است اثرات آن در آینده نیز در زندگی آنان مشاهده گردد (نامنی و همکاران، ۱۳۹۸). کلان شهر تهران با توجه به شرایط توپوگرافی و اقلیم آن و همچنین تردد نزدیک به ۵ میلیون وسیله نقلیه و استقرار تعداد زیادی واحدهای صنعتی بزرگ و کوچک، یکی از هشت شهر بزرگ کشور است که آلودگی هوا در آن به یکی از مشکلات بزرگ فراروی مردم و مسئولین این شهر تبدیل شده است. خسارات سالانه آلودگی هوا در ایران تا سال ۲۰۱۶ میلادی حدود ۱۶ میلیارد دلار برآورد شده است (بهمن‌پور، ۱۳۹۶: ۴۸). شهر تهران در سال ۱۳۹۵، دارای ۸۰ روز ناسالم برای گروههای حساس جامعه و ۹ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه بوده است (شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، ۱۳۹۵: ۱۵-۱۱). شهر تهران، طی سال ۱۳۹۷ دارای ۲۸ روز پاک (۸ درصد)، ۲۷۸ روز سالم (۷۶ درصد)، ۵۹ روز ناسالم برای گروههای حساس جامعه (۱۶ درصد) بوده است. مجموع روزهای با شرایط نامطلوب از ۱۰۸ روز در سال ۱۳۹۶ به ۵۹ روز در سال ۱۳۹۷ (۱۳ درصد) تقلیل یافت و نرخ کاهش آن نسبت به سال قبل در نیمه دوم سال مشهودتر بود. نکته مهم آن است که پراکنش آلاینده‌های هوا از الگوی ثابت و منظمی تبعیت نمی‌کند (Bahmanpour et al., 2013). براساس آمار رسمی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (۱۳۹۵)، سالانه در شهر تهران بیش از ۴ هزار و ۴۰۰ نفر بر اثر آلودگی هوا می‌میرند: در واقع به ازای هر ۲۴ ساعت ۱۲ نفر در تهران بر اثر آلودگی هوا به کام مرگ می‌روند. به عبارت دقیق‌تر در هر ۲ ساعت یک نفر. آمارها نشان می‌دهد که در روزهای تشدید آلودگی هوای تهران، شمار بیماران تنفسی «تا ۶۰ درصد» افزایش می‌یابد (Asilian, 2016). بیشترین عامل مرتبط با تشدید بیماری‌های سیستم قلبی، عروقی و ریوی، افزایش آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق و منواکسید کربن است، به طوریکه آلودگی هوا در تهران به طور متوسط موجب کاهش ۵ سال از عمر تهرانی‌ها شده است (محقق و حاجیان، ۱۳۹۲: ۲۴۲). بنابر این پژوهش‌ها روزانه بالغ بر یک‌هزار و ۱۹۲ تن مواد آلاینده در هوای تهران منتشر می‌شود. بیشترین این آلاینده‌ها مربوط به اکسیدهای گوگرد با انتشار ۶۹۵ تن در هر روز است که بعد از آن به ترتیب اکسیدهای نیتروژن، منواکسید کربن و هیدروکربن‌های سوخته نشده، عمده آلاینده‌های هوای تهران محسوب می‌شوند (بهمن‌پور، ۱۳۹۶). بر این ارقام باید ۱۶ تن ذرات لاستیک و ۷ تن آزبست لنت ترمزها را در سال اضافه نمود. همچنین مشخص گردیده است که اگرچه بیش از ۸۰۰ هزار واحد صنعتی مستقر در تهران سهم بزرگی در آلودگی این شهر دارند، ولیکن ۸۸ درصد آلودگی هوای تهران ناشی از آلاینده‌های وسایل نقلیه است (بهرامی، ۱۳۹۵: ۱۲). ویژگی‌های طبیعی شهر تهران نیز اثر بسیار زیادی در آلودگی آن دارند. وارونگی دمایی نیز از ویژگی‌های فصل سرد سال می‌باشد که به همراه استقرار آنتی‌سیکلون‌ها هوای ناپایدار ایجاد می‌کند و شرایط پایدار هم یکی از عوامل میزان بالای غلظت آلاینده‌ها در تهران است (فتح‌تبار فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۷).

با وجود تحقیقات فراوانی که در خصوص علل ایجاد و روش‌های کنترل آلودگی هوا صورت گرفته است، کیفیت هوا همچنان یکی از مشکلات شهرهای بزرگ است (Nasibulina, 2015). جدول ۱، پیامدهای آلاینده‌های شاخص هوا را بر سلامت شهروندان نشان می‌دهد.

جدول ۱. پیامدهای آلاینده‌های شاخص هوای شهرها بر سلامت شهروندان

آلاینده	اثرگذاری	منبع
ذرات معلق (PM 2.5 و PM10)	هر ۱۰ میکروگرم افزایش ذرات معلق موجب ۱ تا ۳ درصد افزایش مرگ و میر خواهد شد. عملکرد این ذرات به این گونه‌ای است که ذراتی که در قسمت گلو و حلق گرفته می‌شوند، وارد دستگاه هاضمه شده و در مدت نسبتاً کوتاهی دفع می‌گردند، مگر آنکه وارد خون شوند. ذراتی که وارد نای می‌شوند به وسیله موی ماندها و مخاط از جریان هوای تنفسی جدا می‌شوند و در نهایت به دستگاه هاضمه راه می‌یابند. ذراتی که به برونش‌ها برسند خیلی کندتر حذف می‌شوند.	غیاث‌الدین، ۱۳۹۴؛ طیبی ثانی، ۱۳۹۱؛ بهمن‌پور، ۱۳۹۴؛ Vedal et al., 2003; Leaderer et al., 1999; Carlisle & Sharp, 2001; Holzer, 2001; Hastings, 2010; Florida & James, 2004; Folinsbee, 2001; Blair et al., 2010; Kim et al., 2001; Jones, 2000; Brunekreef & Holgate, 2002; Daiset et al., 2003; Campbell et al., 2005; Lippi et al., 2008; USEPA, 2004; Wu et al., 2005; Widodo, 2005;
مناوکسید کربن (CO)	با تشکیل کربوکسی هموگلوبین، مانع انتقال اکسیژن به بافت‌ها می‌شود. ورزش سنگین به مدت ۳۰ دقیقه در مجاورت ترافیک سنگین می‌تواند غلظت کربوکسی هموگلوبین را تا ۱۰ برابر افزایش دهد که معادل کشیدن ۱۰ نخ سیگار است. کاهش حداکثر میزان جذب اکسیژن و برون ده کاری	
ازن (O ₃)	سبب تحریک و آزار دستگاه تنفسی، کاهش عملکرد ریوی، تشدید آسم و آلرژی‌ها، التهاب و تخریب ریه و افزایش احتمال به عفونت‌های تنفسی می‌شود. مواجهه با ازن با غلظت ۱۰۰ ppb می‌تواند سبب کاهش عملکرد ریوی شود. افزایش دمای ۳۵ درجه، سبب افزایش اثرات منفی ازن می‌شود.	
NO ₂	محرک چشم، حلق، سینه و تنگی نفس است. با افزایش غلظت، سبب کاهش مقاومت بدن به عفونت‌های تنفسی می‌گردد.	
SO ₂	سوزاننده مجاری و مخاط‌های بینی و دستگاه تنفسی است. بیماران آسمی ۱۰ مرتبه بیشتر از افراد غیرآسمی به این آلاینده حساس‌ترند، به ویژه در هنگام ورزش. تقریباً به ازاء هر ۱۰ mg/m ³ افزایش غلظت میزان خطر ۰.۴ درصد افزایش می‌یابد. یعنی میزان خطر قلبی و عروقی ۰.۸ درصد و ۰.۶۴ درصد خطر سکته قلبی همچنین میزان خطر انسداد مزمن ریوی ۰.۴۶ درصد افزایش می‌یابد.	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

از آنجا که تمامی فعالیت‌های انسانی با ریسک همراه است (Jozi & Padash, 2009)، ارزیابی و تعیین میزان ریسک اقدامات و فعالیت‌ها می‌تواند به عنوان ابزاری در برنامه‌ریزی و مدیریت اقدامات آتی به کار آید (Tayebi Sani, 2012). ارزیابی ریسک زیست محیطی، فرآیند تحلیل کیفی پتانسیل‌های خطر و ضریب بالفعل شدن ریسک‌های بالقوه موجود در منطقه یا پروژه مورد نظر و همچنین حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط پیرامونی است. هدف عمده از آنالیز و ارزیابی ریسک تعیین میزان عدم قطعیت سیستم مورد مطالعه و هزینه ناشی از آن و ارائه راهکارهای کاهش آن و همچنین تجمع هزینه راهکار مربوطه می‌باشد (Allen et al., 2009).

این تحقیق، از نوع کاربردی بوده که در یک بازه زمانی مشخص (ابتدای سال ۱۳۸۶ تا انتهای سال ۱۳۹۷) و در سطح مناطق بیست و دوگانه کلانشهر تهران انجام شده است. به منظور استخراج نتایج مطلوب و اطلاعات حقیقی، داده‌ها و آمار مورد پیش‌پردازش قرار گرفتند. داده‌های آماری مربوط به آلاینده‌ها از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران اخذ گردید. حدود استاندارد مورد استفاده برای آلاینده‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. حدود استاندارد مورد استفاده برای آلاینده‌های شاخص

آلاینده	حد استاندارد	بازه زمانی
مناوکسید کربن (CO)	۹/۴ ppm	هشت ساعته

یک ساعته	۳۵ ppm	
روزانه (ماکزیمم ساعتی)	۱۰۰ ppm	دی اکسید نیتروژن (NO ₂)
سالانه	۵۳ ppm	
هشت ساعته	۷۰ ppm	اوزن (O ₃)
روزانه	۱۴۴ µg/m ³	دی اکسید گوگرد (SO ₂)
سالانه	۷ µg/m ³	
روزانه	۳۵ µg/m ³	PM _{2.5}
سالانه	۱۲ µg/m ³	ذرات معلق (PM)
روزانه	۱۵۰ µg/m ³	PM ₁₀
سالانه	-	

منبع: TAQCC, 2016

در نهایت بر اساس جدول شاخص کیفیت هوا که مبتنی بر استاندارد EPA, 2004 می باشد، طبقه بندی سطح اهمیت ایمنی بهداشتی نیز صورت گرفت. مبنای سنجش میزان آلاینده ها، براساس شاخص کیفیت هوا (AQI¹)، تنظیم گردیده است. محدوده این شاخص بین ۰ تا ۵۰۰ متغیر است. هر چه شاخص بالاتر باشد، هوا آلوده تر و اثرش بر سلامتی بیشتر است (جدول ۳).

جدول ۳. راهنمای شاخص کیفیت هوا

شاخص کیفیت هوا	سطح اهمیت بهداشتی	مفهوم
۰-۵۰	پاک	کیفیت هوا رضایتبخش بوده و ریسکی وجود ندارد.
۵۱-۱۰۰	سالم	کیفیت هوا قابل قبول بوده و برای افراد حساس در حد متوسط قرار می گیرد.
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه حساس	کیفیت هوا برای افراد حساس خوب نیست ولی عامه مردم ممکن است تحت تاثیر قرار نگیرند.
۱۵۱-۲۰۰		
۲۰۱-۳۰۰		
۳۰۱-۵۰۰		

منبع: (EPA, 2004)

برای ارزیابی ریسک جنبه ها و فاکتورهای مختلف در تحقیق حاضر، روش ویلیام فاین (William Fine) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، ریسک از حاصل ضرب سه پارامتر زیر محاسبه می شود:

$$R = C \times E \times P$$

در این رابطه:

R = رتبه ریسک، C = میزان پیامد، E = میزان تماس، P = میزان احتمال

جدول زیر، راهنمای محاسبه ریسک می باشند.

جدول ۴. راهنمای محاسبه ریسک به روش ویلیام فاین

¹ -Air Quality Index

طبقه‌بندی احتمال وقوع ریسک (P)		طبقه‌بندی میزان تماس (E)	
شرح احتمال وقوع	امتیاز	شرح میزان تماس و تواتر ریسک	امتیاز
اغلب محتمل است (نزدیک به ۱۰۰ درصد)	۷	به طور پیوسته - روزی چندبار - تماس بیش از ۸ ساعت - انتشار مداوم آلاینده	۷
شانس وقوع زیاد (کمتر از ۱۰۰ و بیشتر از ۷۵ درصد)	۶	غالباً - هفته‌ای چند بار - تماس بین ۶ تا ۸ ساعت - انتشار زیاد آلاینده	۶
شانس وقوع نسبتاً زیاد (کمتر از ۷۵ و بیشتر از ۵۰ درصد)	۵	گاهگاه - ماهی چند بار - تماس بین ۴ تا ۶ ساعت در روز - انتشار متوسط آلاینده	۵
شانس وقوع مساوی (۵۰ - ۵۰) است.	۴	به طور غیرمعمول - سالی چند بار - تماس بین ۲ تا ۴ ساعت در روز - انتشار غیر عادی آلاینده	۴
می‌تواند تصادفی اتفاق بیفتد (شانس وقوع کمتر از ۵۰ درصد)	۳	به ندرت - چند سال یکبار - تماس بین ۱ تا ۲ ساعت در روز - انتشار کم آلاینده	۳
احتمالاً تا چند سال پس از تماس اتفاق نمی‌افتد، اما امکان دارد	۲	به طور جزئی - خیلی کم - تماس کمتر از ۱ ساعت در روز - انتشار قابل اغماض آلاینده	۲
در عمل وقوع آن غیرممکن است (هرگز اتفاق نمی‌افتد)	۱	بدون تماس - بدون تواتر وقوع - بدون انتشار آلاینده	۱
میزان پیامد (C)			
شرح پیامد ریسک		امتیاز	
مرگ و میر چند نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات طولانی مدت - خسارت مالی زیاد - مصرف بیش از حد منابع و انرژی - غلظت بیش از حد آلاینده‌ها (۵۰ درصد بالاتر از استاندارد)		۷	
مرگ یک نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات میان‌مدت - مصرف نسبتاً زیاد منابع و انرژی - غلظت زیاد آلاینده‌ها (۳۰ درصد بیشتر از استاندارد)		۶	
آسیب منجر به از کارافتادگی دائم یک نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات کوتاه‌مدت - مصرف نسبتاً زیاد منابع و انرژی - غلظت زیاد آلاینده‌ها (۱۰ درصد بیشتر از استاندارد)		۵	
آسیب طولانی مدت بدون ناتوانایی دائمی - خسارت‌های قابل جبران محیط زیستی با اثرات طولانی مدت - مصرف متوسط منابع - غلظت متوسط آلاینده (۵ درصد بیشتر از استاندارد)		۴	
آسیب موقتی - خسارت‌های قابل جبران محیط زیستی با اثرات کوتاه‌مدت - مصرف کم منابع - غلظت آلاینده کمتر از ۵ درصد بیشتر از استاندارد		۳	
آسیب جزئی نیازمند به کمک‌های اولیه (۳ روز کمتر)، مصرف اندک منابع، غلظت آلاینده در حد استاندارد		۲	
بدون نیاز به بررسی‌های بیشتر، بدون خسارت محیط زیستی، بدون مصرف منابع، آلاینده در حد استاندارد		۱	

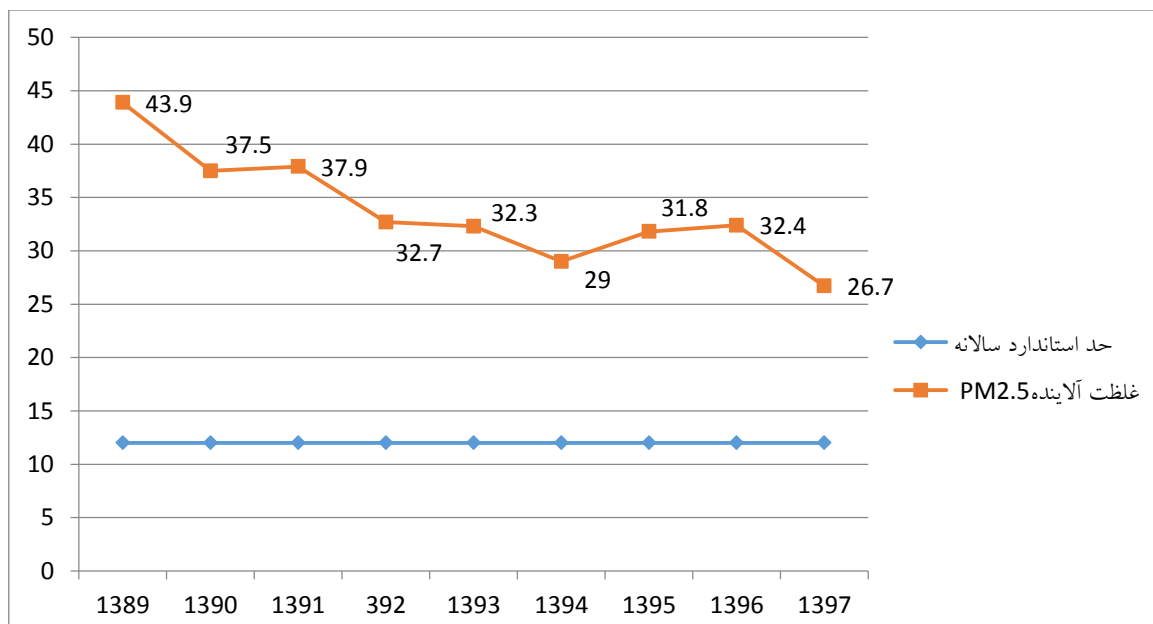
منبع: (Zammori & Gabbrielli, 2012)

یافته‌های پژوهش

بررسی روند تغییرات آلاینده‌های اصلی شهر تهران طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که آلاینده PM₁₀ از سال ۸۶ تا ۸۹ افزایشی ۵۰ درصدی و پس از طی روندی نسبتاً کاهشی، در سال‌های ۹۰ تا ۹۳، تا سال ۹۶ روندی افزایشی به خود گرفته است و پس از آن به علت بهبود شرایط اقلیمی با کاهش مطلوبی در سال ۱۳۹۷ روبرو شده است. در مجموع سال ۹۷ نسبت به سال مبدا از افزایش ۱۱ درصدی برخوردار می‌باشد و تنها آلاینده‌ای است که نسبت به سال مبدا افزایش داشته است. آلاینده ازن از سال ۸۶ تا ۸۷ افزایش ۴۰ درصدی داشته و پس از آن، از غلظت این آلاینده کاسته شده به طوری که در سال ۹۷ نسبت به سال مبدا کاهش ۲۱ درصدی دیده می‌شود. آلاینده

دی‌اکسید گوگرد، در سال ۹۷ نسبت به سال مبدا کاهش حدود ۸۵ درصدی داشته است که بسیار قابل ملاحظه می‌باشد. آلاینده منواکسید کربن نیز در سال ۹۷ نسبت به سال مبدا کاهش تقریباً ۵۷ درصدی داشته است. آلاینده دی‌اکسید نیتروژن از سال ۸۶ تا سال ۹۰ روند کاهشی داشته است و پس از طی شرایط نسبتاً مشابه تا سال ۹۲، روند افزایشی را نشان داده است. با این حال در سال ۹۷ سیر نزولی داشته و نسبت به سال مبدا کاهش ۴۸ درصدی را نشان می‌دهد. آلاینده $PM_{2.5}$ از سال ۸۹ تا ۹۴ به شکل پلکانی روند کاهشی داشته و در مجموع پس از طی سیر صعودی تا سال ۹۶، در سال ۹۷ با کاهش ۳۹ درصدی نسبت به سال مبدا روبرو بوده است.

با وجود آنکه کیفیت هوا از منظر استاندارد روزانه برای آلاینده $PM_{2.5}$ در بسیاری از روزهای سال در شرایط سالم و حتی پاک قرار می‌گیرد، ولی از منظر استاندارد سالانه، تمام سالهای اخیر به لحاظ این آلاینده شاخص، در شرایط فراتر از شرایط استاندارد، قرار داشته است. در شکل ۱ مقایسه غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 2.5 میکرون از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ نشان داده شده است. غلظت سالانه آلاینده، در مجموع روند کاهشی داشته است. میانگین غلظت سالانه این آلاینده در سال ۱۳۸۹، نسبت به سایر سالهای مورد بررسی در وضعیت نامناسب‌تر و سال ۱۳۹۷ کمترین میزان را در این میان به خود اختصاص داده و از کمترین فاصله با حد استاندارد سالانه برخوردار بوده است.



شکل ۱. وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 2.5 میکرون طی سالهای ۱۳۸۹ تا

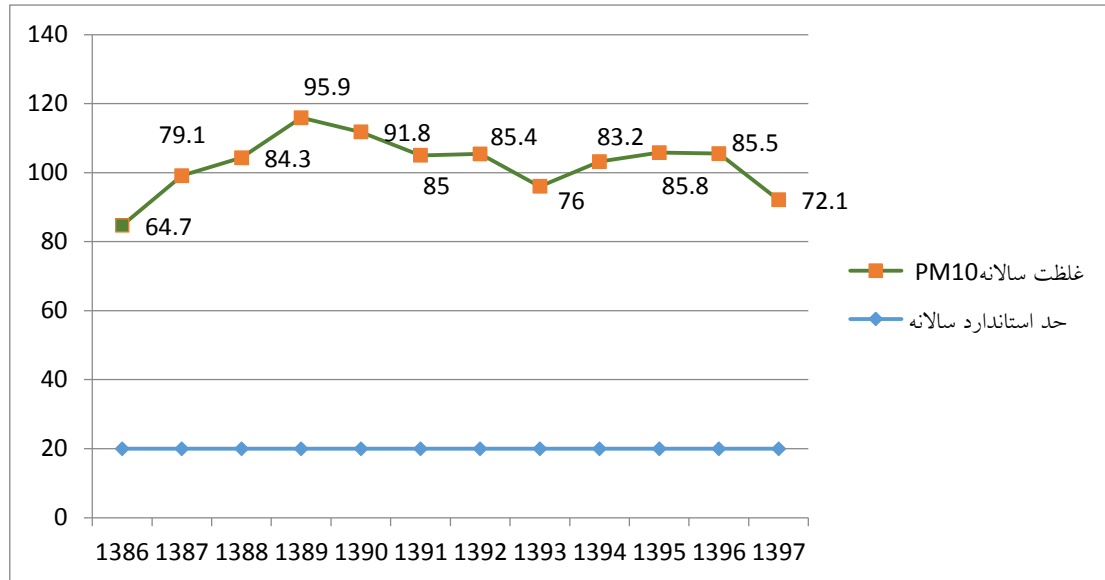
۱۳۹۷

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

در شکل ۲، مقایسه غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 10 میکرون از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷ نشان داده شده است. روند تغییرات غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 10 میکرون، طی سالهای ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ افزایشی بوده و از آن زمان تا سال ۱۳۹۳، روند نزولی یافته است و از آن به بعد مجدداً سیر صعودی گرفته و در

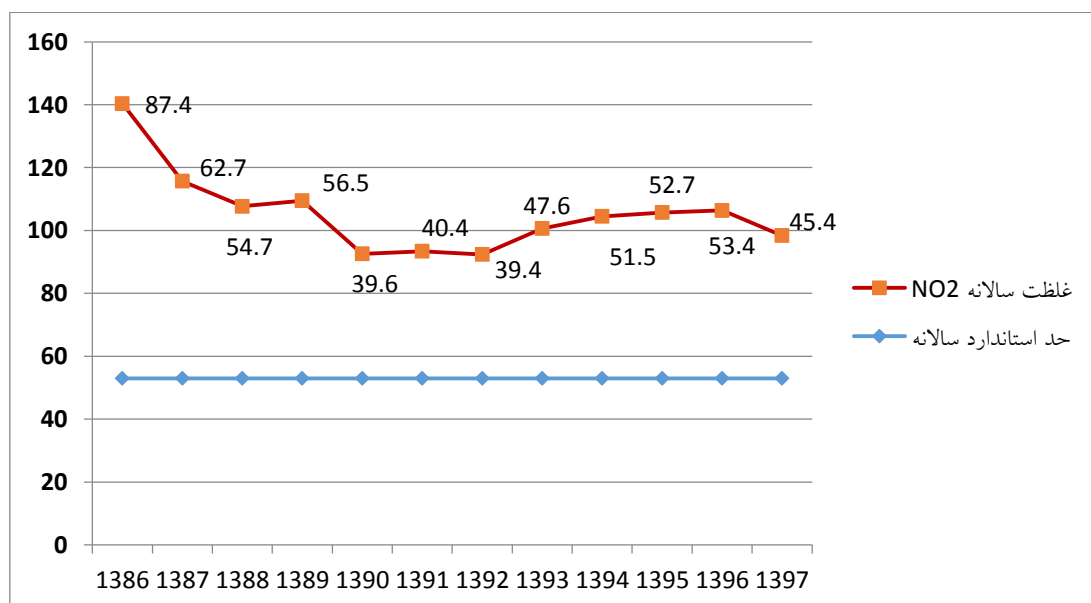
۸۳۴ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال یازدهم، شماره یک، زمستان ۱۳۹۹

نهایت طی سال ۱۳۹۷ با کاهش محسوسی روبرو گردیده است. در مجموع، مشاهده می‌گردد که میانگین غلظت سالانه این آلاینده در تمام سالهای مورد بررسی در مقایسه با آخرین حد استاندارد سالانه ایران (برابر با ۲۰ میکروگرم بر مترمکعب) در وضعیت نامطلوبی قرار داشته است.



شکل ۲. وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون طی سالهای ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷ (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

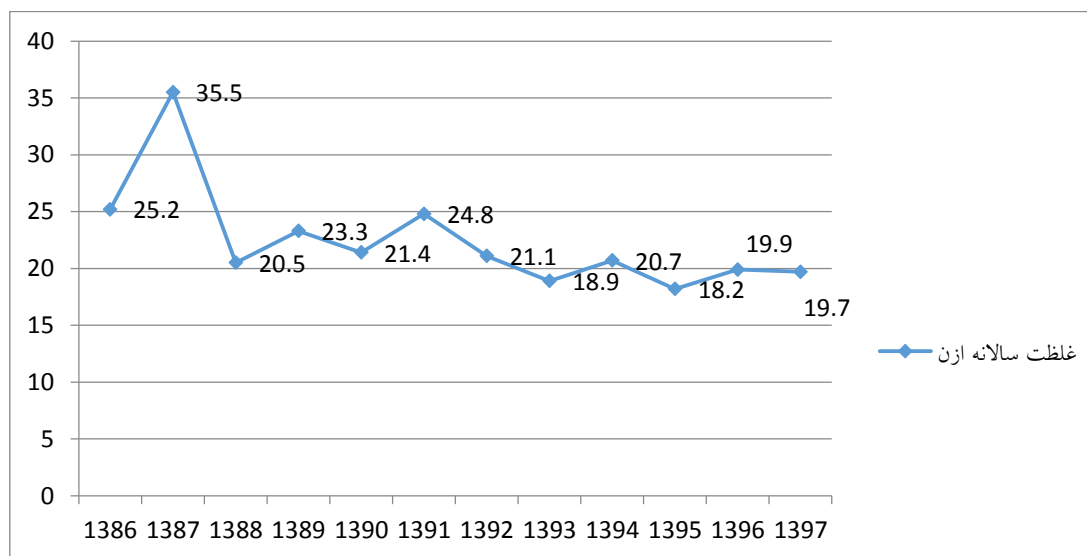
شکل ۳، وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن را طی سالهای ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. غلظت این آلاینده طی سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی داشته و از سال ۱۳۹۳ با اندکی رشد روبرو بوده است. از منظر آلاینده دی‌اکسید نیتروژن سال ۱۳۹۲ نسبت به سایر سالهای مورد مطالعه در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته است و سال ۱۳۸۶ نیز آلوده‌ترین سال می‌باشد و همان گونه که مشاهده می‌گردد، طی سال ۱۳۹۷ میانگین غلظت سالانه به لحاظ این آلاینده کمتر از حد استاندارد سالانه بوده است.



شکل ۳. میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید نیتروژن طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

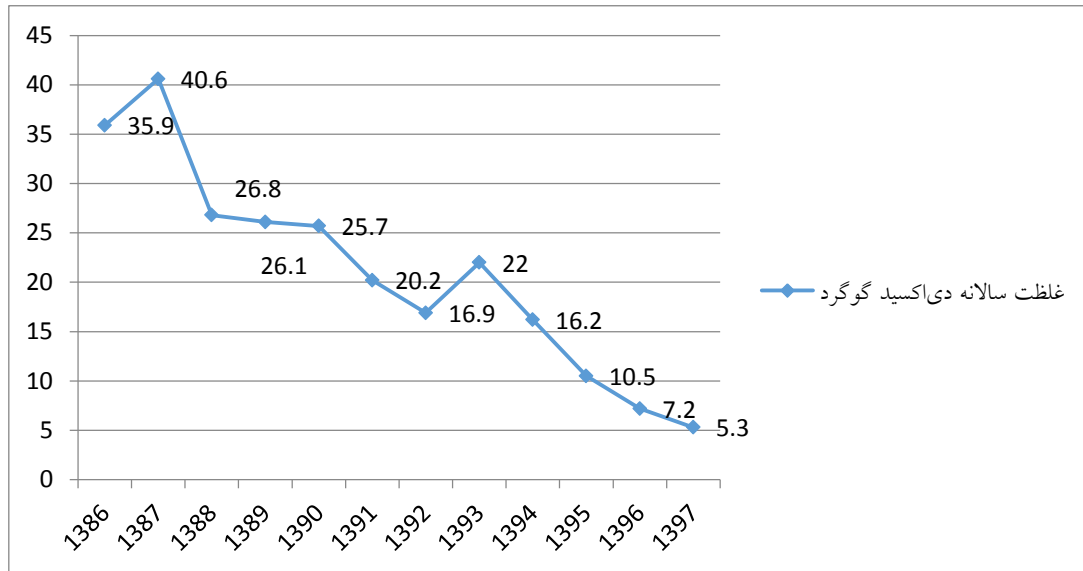
در شکل ۴، مقایسه غلظت سالانه آلاینده ازن از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷ نشان داده شده است. سال ۱۳۸۷ نسبت به سال‌های مورد مطالعه در وضعیت نامطلوب‌تری قرار داشته است و سایر سال‌ها در وضعیت نسبتاً مشابهی از منظر آلاینده ازن بوده است. با توجه به آنکه برای این آلاینده استاندارد سالانه تعریف نشده است، در نمودار ذیل تنها روند غلظت این آلاینده طی سال‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده ازن طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

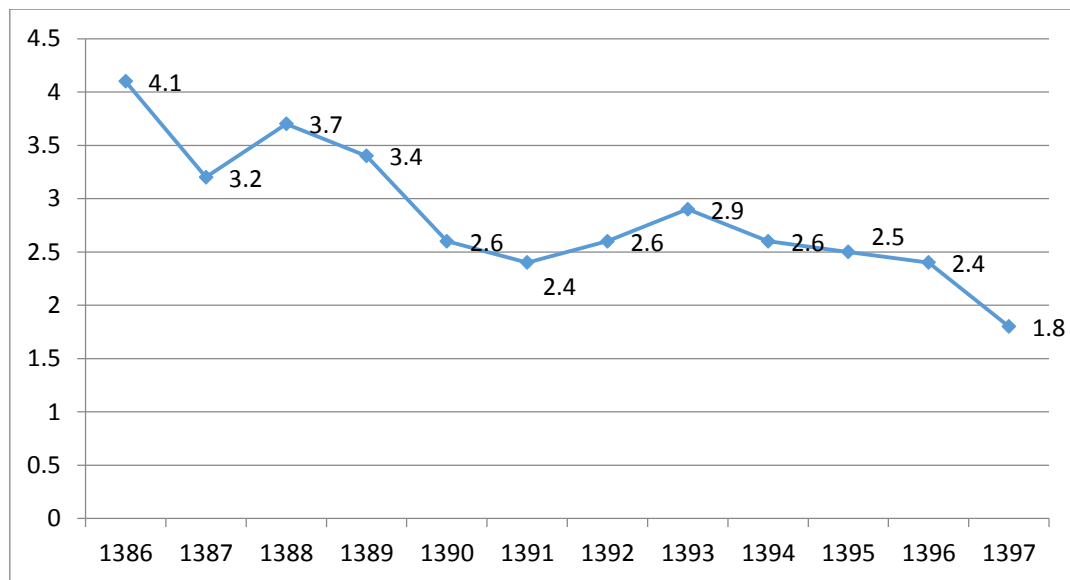
در شکل ۵، مقایسه غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، تغییرات غلظت سالانه این آلاینده طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۲ روند کاهشی داشته و در سال ۱۳۹۳ افزایش نسبی یافته و مجدداً روند کاهشی آن تا سال ۱۳۹۷ تداوم یافته است. به طوری که این سال از منظر این آلاینده، بهترین وضعیت را در بین سال‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده است و نسبت به میانگین سالانه غلظت در سال ۱۳۸۷ بیش از ۵ برابر کاهش را نشان می‌دهد.



شکل ۵. وضعیت میانگین غلظت سالانه آلاینده دی‌اکسید گوگرد طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

در شکل ۶، مقایسه میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن طی سالهای ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار در سال ۱۳۹۷ کمترین میزان غلظت سالانه مشاهده شده و سال ۱۳۸۶ آلوده‌ترین سال بوده است. به طور کلی روند تغییرات غلظت این آلاینده طی سالهای مورد بررسی، روند کاهشی داشته است. با این حال در سال ۱۳۹۳ افزایش اندکی در میزان آن مشاهده می‌شود.



شکل ۶. میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسید کربن طی سال‌های ۱۳۸۶ الی ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

در ادامه، با توجه به وضعیت موجود آلاینده‌های شاخص هوا در سطح شهر تهران، اقدام به ارزیابی ریسک زیست محیطی مربوط به آنها می‌گردد (جدول ۵). همانطور که در جدول مشخص شده است، احتمال وقوع ریسک آلودگی ناشی از آلاینده‌های هوا در سطح شهر تهران، نسبتاً زیاد بوده و بنابراین امتیاز ۵ برای آن ثبت می‌گردد. همچنین: در

خصوص میزان تماس با آلاینده‌های شاخص هوا در سطح شهر تهران نیز، امتیاز ۶ که بیانگر تماس هفته‌ای چندبار و بین ۶ تا ۸ ساعت می‌باشد، ثبت گردیده است. از سوی دیگر، میزان پیامد نیز امتیاز ۶ را کسب کرده است.

جدول ۵. آنالیز ریسک زیست محیطی آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر تهران

طبقه‌بندی احتمال وقوع ریسک (P)		طبقه‌بندی میزان تماس (E)	
شرح احتمال وقوع	امتیاز	شرح میزان تماس و تواتر ریسک	امتیاز
اغلب محتمل است (نزدیک به ۱۰۰ درصد)	۷	به طور پیوسته - روزی چندبار - تماس بیش از ۸ ساعت - انتشار مداوم آلاینده	۷
شانس وقوع زیاد (کمتر از ۱۰۰ و بیشتر از ۷۵ درصد)	۶	غالباً - هفته‌ای چند بار - تماس بین ۶ تا ۸ ساعت - انتشار زیاد آلاینده	۶
شانس وقوع نسبتاً زیاد (کمتر از ۷۵ و بیشتر از ۵۰ درصد)	۵	گاهگاه - ماهی چند بار - تماس بین ۴ تا ۶ ساعت در روز - انتشار متوسط آلاینده	۵
شانس وقوع مساوی (۵۰ - ۵۰) است.	۴	به طور غیرمعمول - سالی چند بار - تماس بین ۲ تا ۴ ساعت در روز - انتشار غیر عادی آلاینده	۴
می‌تواند تصادفی اتفاق بیفتد (شانس وقوع کمتر از ۵۰ درصد)	۳	به ندرت - چند سال یکبار - تماس بین ۱ تا ۲ ساعت در روز - انتشار کم آلاینده	۳
احتمالاً تا چند سال پس از تماس اتفاق نمی‌افتد، اما امکان دارد	۲	به طور جزئی - خیلی کم - تماس کمتر از ۱ ساعت در روز - انتشار قابل اغماض آلاینده	۲
در عمل وقوع آن غیرممکن است (هرگز اتفاق نمی‌افتد)	۱	بدون تماس - بدون تواتر وقوع - بدون انتشار آلاینده	۱
میزان پیامد (C)			
شرح پیامد ریسک		امتیاز	
مرگ و میر چند نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات طولانی مدت - خسارت مالی زیاد - مصرف بیش از حد منابع و انرژی - غلظت بیش از حد آلاینده‌ها (۵۰ درصد بالاتر از استاندارد)		۷	
مرگ یک نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات میان مدت - مصرف نسبتاً زیاد منابع و انرژی - غلظت زیاد آلاینده‌ها (۳۰ درصد بیشتر از استاندارد)		۶	
آسیب منجر به از کارافتادگی دایم یک نفر - خسارت‌های غیرقابل جبران محیط زیستی با اثرات کوتاه مدت - مصرف نسبتاً زیاد منابع و انرژی - غلظت زیاد آلاینده‌ها (۱۰ درصد بیشتر از استاندارد)		۵	
آسیب طولانی مدت بدون ناتوانایی دائمی - خسارت‌های قابل جبران محیط زیستی با اثرات طولانی مدت - مصرف متوسط منابع - غلظت متوسط آلاینده (۵ درصد بیشتر از استاندارد)		۴	
آسیب موقتی - خسارت‌های قابل جبران محیط زیستی با اثرات کوتاه مدت - مصرف کم منابع - غلظت آلاینده کمتر از ۵ درصد بیشتر از استاندارد		۳	
آسیب جزئی نیازمند به کمک‌های اولیه (۳ روز کمتر)، مصرف اندک منابع، غلظت آلاینده در حد استاندارد		۲	
بدون نیاز به بررسی‌های بیشتر، بدون خسارت محیط زیستی، بدون مصرف منابع، آلاینده در حد استاندارد		۱	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

در نهایت، این فاکتور به روش ویلیام فاین به شکل زیر ارزیابی گردید:

$$\text{میزان تماس} \times \text{پیامد ریسک} \times \text{احتمال ریسک}$$

$$۱۸۰ = ۵ \times ۶ \times ۶$$

جدول ۶. خلاصه رتبه ریسک و اقدامات

رتبه	اقدامات	سطح ریسک
> ۲۰۰	اصلاحات فوری برای کنترل ریسک مورد نیاز است.	سطح ریسک بالا
۹۰ - ۱۹۹	اضطراری (توجهات لازم در اسرع وقت باید صورت گیرد)	سطح ریسک متوسط
< ۸۹	خطر تحت نظارت و کنترل می‌باشد.	سطح ریسک کم

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

در مجموع، با توجه به جدول ۶ می‌توان چنین عنوان نمود که رتبه ریسک ۱۸۰ بوده که نشانگر وضعیت اضطراری و «سطح ریسک متوسط» است و لازم است تا توجهات لازم در اسرع وقت صورت گیرد.

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

نتایج تحقیق حاضر با مطالعه صورت گرفته توسط روحانی و همکاران (۲۰۱۷) از لحاظ روش‌شناسی و نتایج تا حد زیادی مشابهت دارد. در آن تحقیق، سطح ریسک ۱۵۰ ارزیابی گردیده بود. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه بهمن‌پور و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. چرا که در آن تحقیق مشخص گردید که نحوه و نوع انتشار آلودگی هوا در شهر تهران براساس نوع آلاینده، متنوع و متعدد می‌باشد. از سوی دیگر، نتایج تحقیق حاضر با تحقیق صورت گرفته توسط عزیزی و همکاران (۲۰۰۷): تنها در یک مورد مشابهت داشته و در سایر موارد مطابقت ندارد. چرا که نتایج تحقیق عزیزی بیانگر آن بوده است که غلظت عناصر آلاینده در تهران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد و حداکثر غلظت در مناطق شهری ۱۱ و ۱۲ و حداقل در مناطق ۴ و ۲۱ مشاهده شده است. نتایج ارزیابی ریسک زیست محیطی آلاینده‌های هوا در منطقه مطالعاتی بیانگر آن است که با توجه به رتبه کسب شده (۱۸۰) سطح ریسک متوسط بوده و لازم است تا هر چه سریع‌تر نسبت به اتخاذ راهکارهای مناسب اقدام گردد. مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب (پاک و سالم) و شرایط نامطلوب (ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۷، نشان می‌دهد که نسبت روزهای مطلوب در سال ۱۳۹۷ بیشتر از سال ۱۳۸۶ بوده است. از سوی دیگر، در سال ۱۳۹۷، در ماه‌های شهریور، مهر و اسفند هیچ روزی در شرایط فراتر از حد مجاز نبوده است. کیفیت هوا براساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد، طی تمام روزهای سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۷، در وضعیت پاک قرار داشته است و در هیچ یک از سال‌های مورد مطالعه این آلاینده در وضعیت نامطلوب قرار نداشته است.

شهروندان تهرانی در سال‌های گذشته فقط در پاییز و زمستان با مشکل آلودگی هوا مواجه بودند. در سال ۱۳۸۹ و در شش ماهه اول سال، ۳۲ روز هوا در وضعیت ناسالم قرار داشت و این در حالی است که بر اساس استانداردهای سلامتی فقط یک روز در طول سال هوا می‌تواند در شرایط ناسالم قرار داشته باشد. بر این اساس می‌توان گفت الگوی آلودگی هوای تهران در سالیان اخیر تغییر کرده است.

در حال حاضر آلاینده‌های اصلی هوای تهران عبارتند از: هیدروکربن‌های نسوخته مثل بنزن، اکسیدهای نیتروژن، منوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق شامل ریزگردها. بیش از ۸۹ درصد آلاینده‌های تهران متعلق به

ناوگان حمل و نقل شهری است و در این میان سهم صنعت و دیگر آلاینده‌ها از مجموع آلاینده‌های هوای تهران تنها ۱۱ درصد است. در این میان سهم خودروهای سبک از مجموع آلاینده‌های خودرو در تهران، ۵۰ درصد، خودروهای گازوئیلی (شامل خودروهای سنگین و اتوبوس‌ها) ۳۰ درصد و موتورها، ۲۰ درصد را شامل می‌شوند. به این ترتیب می‌توان گفت سوخت و خودروی غیراستاندارد عوامل اصلی آلودگی هوای پایتخت هستند.

خودروهای فرسوده هم سهم قابل توجهی در آلودگی هوای شهر تهران دارند. چنان‌که یک خودرو وانت نیشان با تکنولوژی ۳۰ سال پیش، ۱۲۰ گرم آلاینده در یک کیلومتر تولید می‌کند، این رقم در مورد خودروی پیکان، ۶۰ گرم و برای خودروهای نسل جدید، یک گرم در هر کیلومتر است. این در حالی است که خودروهای نسل قدیم و فرسوده، ۹۰۰ گرم آلاینده در هر کیلومتر تولید می‌کنند.

در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران به دلیل نارسایی و کمبود سرمایه‌گذاری انجام شده در امور زیربنایی جامعه، نیاز به سرمایه‌گذاری در بخش حمل‌ونقل به موازات توسعه اقتصادی بیشتر احساس می‌شود. به طور کلی حمل‌ونقل معمولاً یک دهم ارزش افزوده اکثر اقتصادها را به صورت مستقیم شامل می‌شود و اگر به طور غیرمستقیم به آن بنگریم، توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل جزء پایه‌های رشد اقتصادی بوده و نقش اساسی را برای فرآیندهای توسعه ایفا می‌کند (پیران و همکاران، ۱۳۹۸).

در سال ۱۳۸۹ فقط ۵۹ درصد از روزهای سال هوا عاری از مقدار غیرمجاز آلاینده دی‌اکسیدکربن بوده است. این در حالی است که در بسیاری از شهرهای دنیا تعداد این روزها صفر است. تهران همواره در طول سال‌های گذشته در این شاخص جزو ۱۰ شهر آلوده دنیا بوده است. بنزن که در نتیجه سوخت ناقص بنزین در موتورهای احتراق داخلی تولید می‌شود در تهران بیش از حد مجاز و حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از توکیو است. سخت‌گیرانه‌ترین استاندارد موجود برای گاز بنزن متعلق به کشور ژاپن و در حدود ۳ میکروگرم در مترمکعب است. بنزن، ترکیبی بسیار خطرناک است که به سرعت تبخیر می‌شود. بنزن از طریق استنشاق یا حتی پوست جذب می‌گردد و در صورت جذب از بدن دفع نشده و در بافت‌های چربی ذخیره می‌شود. مقدار بالای بنزن در بنزین مصرفی و همچنین سوخت ناقص در موتورهای احتراق داخلی از عوامل اصلی انتشار این آلاینده در هوای تهران است.

اجرای سیستم مدیریت کیفیت هوا در هر منطقه‌ای که با چالش آلودگی هوا مواجه می‌باشد، به منظور کنترل و کاهش این معضل امری ضروری محسوب می‌گردد. پایش و اندازه‌گیری اولین گام در سیستم مدیریت کیفیت هوا بوده و علاوه بر سنجش میزان غلظت آلاینده‌های موجود در هوا، شناخت جامعی در خصوص مسأله آلودگی هوای آن منطقه ارائه می‌دهد. پس از کسب اطلاعات لازم در خصوص وضعیت فعلی کیفیت هوای منطقه مورد مطالعه، دومین گام شناسایی عوامل تأثیرگذار در تشدید آلودگی هوا یا منابع آلاینده می‌باشند که به مجموعه‌ای منظم از این‌گونه اطلاعات گردآوری شده، سیاهه انتشار گفته می‌شود. در این بخش منابع آلاینده مختلف شناسایی شده، میزان تولید آلودگی ناشی از آنها محاسبه و سهم هر منبع در تولید آلودگی هوا تخمین زده می‌شود. براساس این شناخت از منابع آلاینده می‌توان راهکارهایی به منظور کنترل و کاهش آلودگی هوا ارائه نمود.

با توجه به نوع و میزان آلاینده‌های هوای کلانشهر تهران، می‌توان راهکارهای زیر را به منظور بهبود کیفیت هوای شهر ارائه نمود:

- راهکارهای حقوقی

۱. اعمال جریمه‌های سنگین برای خودروها و واحدهای صنعتی آلاینده:
۲. حذف و یا کاهش تعرفه گمرکی برای ورود خودروهای هیبریدی به کشور:
۳. کاربست صنایع پاک برای واحدها و مراکز صنعتی اطراف تهران:

- راهکارهای اجرایی

۱. حذف ناوگان فرسوده (عمومی و خصوصی):
۲. ارتقای سطح کیفی ناوگان حمل و نقل عمومی و به‌روزرسانی ناوگان با خودروهای جدید و با کیفیت:
۳. اصلاح و ارتقای کیفیت سوخت خودروها (تولید داخل و یا وارداتی):
۴. ارتقای کیفیت خودروهای تولید داخل و ممانعت از ورود خودروهای بی‌کیفیت:
۵. نصب فیلتر دوده برای وسایل حمل و نقل عمومی:
۶. توسعه زیرساخت‌ها و تجهیزات مرتبط با وسایل حمل و نقل عمومی پاک (نظیر مترو و ...):
۷. توسعه فضای سبز درون و برون شهری:

تاکنون اقدامات متعددی برای کاهش آلودگی هوای تهران انجام شده است. از اقدامات عاجل و ضربتی مثل تعطیلی مدارس و ادارات دولتی و منع عبور و مرور خودروها تا راهکارهای عجیب و غریبی مثل آبپاشی بر سطح شهر. در مدیریت و کنترل معضل چندوجهی و پیچیده‌ای مثل آلودگی هوا، باید دو ویژگی وجود داشته باشد. اولی استراتژی جامعی در رویارویی با این مشکل و دیگری مدیریت واحد و یکپارچه‌ای در مواجهه با آن است. وجود یک استراتژی به معنای در نظر گرفتن تمام جوانب، وجوه و راه‌حل‌های پیش‌رو برای حل مشکل است. به این ترتیب می‌توان همانند یک پازل با پیش‌بینی نیازها و موانع آینده، گام‌به‌گام به وضع مطلوب نزدیک‌تر شد. خصوصیت دیگر یک مدیریت کارآمد برای حل مشکل آلودگی هوا، حضور مدیریت یکپارچه در آن است. نمی‌توان وقتی چند وزارتخانه، سازمان یا کمیته مسوولیت یک برنامه جامع را بر عهده دارند امیدی به اجرای هماهنگ و همگام آن داشت. در اجرای چنین برنامه‌ای وجود یک ستاد یا کمیته مرکزی که قدرت اجرایی و نظارتی داشته باشد، الزامی است. این دقیقاً یکی از موانع جدی در مدیریت آلودگی هوای تهران است. جایی که شهرداری، شورای شهر، استانداری و سازمان حفاظت محیط زیست هر کدام به نوعی در حال فعالیت هستند و در عین حال هیچ کدام کاستی‌ها و نواقص موجود را بر عهده نمی‌گیرند.

در این باره تجربه کلانشهر مکزیکوسیتی قابل توجه است. این شهر ۲۰ سال پیش از سوی سازمان ملل به عنوان آلوده‌ترین شهر دنیا معرفی شد. امروز اما مکزیکوسیتی الگویی برتر در کاهش آلودگی هوا برای بسیاری از شهرهای در حال توسعه جهان است. یکی از دلایل اصلی موفقیت این شهر در کنترل آلودگی هوا برنامه‌ریزی و ارزیابی بلندمدت اقدامات انجام گرفته در این مدت بوده است. در دهه ۱۹۹۰ مطالعات جامعی برای کاهش آلودگی هوا با همکاری سازمان ملل و نهادهای علمی و بهداشتی بین‌المللی در مکزیک کلید خورد. در این مطالعات از جنبه‌های

اقتصادی، مدیریتی و جامعه شناختی و تکنولوژیک راهکارهای بلند مدتی برای کاهش آلودگی هوا ارائه شده بود. یکی از موانع جدی اجرای این راهکارها در مکزیکوسیتی فقدان ساختار نهادی قوی بوده است. بر همین اساس در سال ۱۹۹۶ سازمانی با عنوان «کمیسیون محیط زیست شهری» متشکل از مقامات محلی، دولتی و فدرال مکزیکو تشکیل شد تا در اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های متعدد تصویب شده، هماهنگی‌های لازم را ایجاد نماید. همچنین برای عملی شدن این هدف، بودجه، نقش سیاست گذاری و قدرت اجرایی لازم به این نهاد اختصاص یافت. اجرای اهداف و برنامه‌های مذکور منجر به کاهش آلودگی‌ها از طریق استاندارد شدن شاخص‌های متعدد شد. اگرچه هنوز ازن کمی بالاتر از استاندارد است، اما از سال ۱۹۹۲ تا کنون، میزان آن ۷۵ درصد کاهش یافته است. نهایتاً مکزیکوسیتی که در دهه ۹۰ خطرناک‌ترین شهر برای سلامت کودکان بود در سال گذشته به عنوان یکی از شهرهای پاک معرفی شد.

با توجه به طیف گسترده راهکارهای پیشنهاد شده و همینطور به دلیل هزینه‌های بسیار گزاف برای عملی شدن همه راهکارها، اجرای تمامی آن‌ها امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل باید راهکارها از لحاظ هزینه بر فایده اولویت‌بندی شوند تا بتوان میزان اثربخشی برای اجرای هر راهکار جهت کاهش آلودگی هوا را تعیین نمود. تحلیل‌های هزینه بر فایده راهکارهای کاهش آلودگی هوا و پردازش‌های آنالیز حساسیت آلودگی هوای یک منطقه با در نظر گرفتن عوامل مختلف (از جمله منابع تولید و انتشار آلودگی) از مهمترین اقداماتی هست که به صورت گسترده در سراسر جهان در خصوص مدیریت کیفیت هوا انجام گرفته است.

اهمیت نقش سیستم مدل‌سازی و پیش‌بینی آلودگی هوا در این مرحله مشخص می‌گردد که به ارزیابی راهکارهای در نظر گرفته شده از جنبه‌های مختلف شامل میزان تغییر در غلظت آلاینده‌ها، میزان تأثیر در نرخ مرگ و میر و هزینه‌های اقتصادی ناشی از آن می‌پردازد. پس از تعیین راهکارهای بهینه جهت کاهش آلودگی هوا برنامه‌ای کارآمد تحت عنوان "برنامه کاهش" تدوین گردیده و جهت اجرا ارائه می‌شود. سپس مجدداً به منظور بررسی اثربخشی راهکارها و بازخورد اجرایی شدن آنها، پایش کیفیت هوا از سرگرفته می‌شود.

افزایش سطح دانش عمومی از آخرین وضعیت کیفی هوا از جمله اقدامات اساسی در بحث مدیریت کیفیت هوا بوده که به صورت مستقیم بر زندگی روزانه و سلامت همه اقشار جامعه تأثیر می‌گذارد. چرا که اطلاع‌رسانی در مورد شرایط کیفیت هوا می‌تواند به ساکنان شهرها به ویژه گروه‌های حساس جامعه (افراد دارای ناراحتی تنفسی، کودکان، خانم‌های باردار و ...) در چگونگی تردد در سطح شهر و اولویت‌بندی انجام امور روزانه به ویژه در زمان برقراری آلودگی هوا و پیشگیری از مواجهه با تراز بالایی از آلاینده‌ها، کمک شایانی نماید.

منابع -

۱. بنا، م.، سرور، ر.، قربانی‌نژاد، ر (۱۳۹۸). چالش‌ها و راهبردهای نهادی مدیریت و توسعه پایدار حریم تهران، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال نهم، شماره ۴، ۲۱۳-۱۹۵ صص.
۲. بهرامی، ع (۱۳۹۵). روش‌های مهندسی کنترل آلودگی هوا، تهران، انتشارات فن‌آوران، ۳۰۳ ص.

۳. بهمن‌پور، ه (۱۳۹۶). محتوای آموزش محیط زیست ویژه اعضای شوراهای اسلامی شهر و روستا، دفتر آموزش و مشارکت‌های مردمی سازمان حفاظت محیط زیست.
۴. پیران، ح.ر.، سعیده زرآبادی، زهرا سادات، زیاری، ی.، ماجدی، ح (۱۳۹۸). تبیین شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار شهری با بهره‌گیری از معادلات ساختاری، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال نهم، شماره ۲، ۵۳۸ - ۵۲۱ صص.
۵. شرکت کنترل کیفیت هوا (۱۳۹۶). گزارش کیفیت هوای تهران ۱۳۹۵، شهرداری تهران، مرکز چاپ نشر شهر، ۲۶۵ ص.
۶. طبیبی‌ثانی، س.م (۱۳۹۱). بررسی ارتباط بین وضعیت زیست محیطی و بهداشتی فضاهای ورزشی با میزان مشارکت کاربران، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تابستان ۱۳۹۱
۷. غیاث‌الدین، م (۱۳۹۴). آلودگی هوا و روش‌های کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۰ ص.
۸. فتح تبار فیروزجایی، س.، آل‌شیخ، ع.ا.، رنگزن، ک.، چینی‌پرداز، رحیم (۱۳۹۰). پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک‌های GIS. مطالعه موردی (شهر تهران)، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
۹. محقق، ش.، حاجیان، م (۱۳۹۲). ورزش و آلودگی هوا، مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران، دوره ۳۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲: ۲۴۹-۲۳۷
۱۰. نامنی، ا. طبیبی‌ثانی، س.م.، فهیمی‌نژاد، ع.، مرسل، ب (۱۳۹۸). ارزیابی ریسک زیست محیطی مجموعه‌های ورزشی در ارتباط با آلاینده‌های هوا (مطالعه موردی: شال شرق تهران)، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، شماره ۲، ۱۷۹-۱۶۵ صص.
11. Adams, KJ (2010). Exercise Physiology. In: Ehrman JK, ACSM Resource Manual for Guidelines for Exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkin; 2010. p. 73-4.
12. Allen, H.H., Chia-wei, H., Tsai-Chi, K., Wei-Cheng, W (2009). Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP, Expert Systems with Applications., 36,7142-7147.
13. Arnesano, M., Revel, G.M., Seri, F.A (2016). Tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces, *Automation in Construction*. 68 (2016) 223-234. doi:10.1016/j.autcon.2016.05.012
14. Asilian. H (2016). Air pollution, Sobhan etd, Vol 3, pp 152.
15. Azizi, G.H (2007). Tehran air pollution simulation, *Natural Geographic Researchs*. 2007; Vol 68, 15-32 pp. <https://www.nationalgeographic.com>
16. Bahmanpour, H., Askari Rabori, A., Gholami, M (2013). The qualitative and quantitative evaluation of urban parks and green spaces in city of Tehran, *Advances in Environmental Biology, American-Eurasian Network for Scientific Information*, Vol. 7, Issue. 11, 3474-3481 pp. <http://www.aensiweb.com/old/aeb/2013/3474-3480.pdf>
17. Blair, C., Walls, J., Davies, N.W., Jacobson, G.A (2010). Volatile organic compounds in runners near a roadway: increased blood levels after short-duration exercise. *Br J Sports Med* 2010; 44(10):731.
18. Bono, R., Raffaella, D., Marco, P., Valeria, R., Renato R (2006). Benzene and formaldehyde in air of two winter Olympic venues of "Torino 2006, journal homepage: www.elsevier.com/locate/envint, 2010
19. Brunekreef, S.T. Holgate (2002). Air pollution and health, *Lancet* 360 (2002), 1233-1242
20. Campbell, M., Li, Q (2005). Gingrich S, Macfarlene R. Should people is physically active outdoors on smog alert days? *Canad J public health*; 96(1):24-8.
21. Carlisle, A.J., Sharp, N.C (2001). Exercise and outdoor ambient air pollution. *Br J Sports Med* 2001; 35:214-222.
22. Daisey, J.M., Angell, W.J., Apte, M.G (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: analysis of existing information. *Indoor Air*, 2003; 13, 53-64. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x
23. Florida, K., James, G., (2004). Athens 2004: the pollution climate and athletic performance. *J Sports Sci*2004; 22:967-80.

24. Folinsbee, L.J (2001). Air pollution: acute and chronic effects. 2nd edition. London: The Royal Society of Medicine; 2001. 45 p.
25. Hastings, J (2010). Exercise prescription and medical considerations. In: Ehrman JK, editor. ACSM Resource Manual for Guidelines for Exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkin; 2010. P. 556.
26. Holzer, K (2012). Respiratory symptoms during exercise. In: Brukner P editor. Brukner and Khan clinical sports medicine. 4th ed. McGraw-Hill; 2012. P. 1049.
27. IARC (2013). International Agency for Research on Cancer, Latest world cancer statistics Global cancer burden raises to 14.1 million new cases in 2012: Marked increase in breast cancers must be addressed, WHO website. 2013. <https://www.who.int>
28. Jones, A.P (2000). Asthma and the home environment. *J Asthma* 2000; 37(5):103-24.
29. Jozi, A., Padash, A (2009). Risk assessment and Management, IAU publisher, 344 pp.
30. Kim, Y.M., Harrad, S., Harrison, R (2001). Concentrations and sources of volatile organic compounds in urban domestic and public microenvironments. *Indoor Built Environ*, 2001; 10:147-53.
31. Leaderer, B.P., Naeher, L., Jankun, T., Balenger, K., Holford, T.R., Toth, C (1999). Indoor, outdoor, and regional summer and winter concentrations of PM10, PM2.5, SO4, H+, NH4+, NO3, NH3 and nitrous acid in homes with and without kerosene space heaters. *Environ Health Perspect*, 1999; 107:223-31.
32. Lippi, G., Guidi, G.C., Maffulli, N (2008). Air pollution and sports performance in Beijing. *Int J Sports Med*, 2008 Aug; 29(8):696-8.
33. Nasibulina, A (2015). Education for Sustainable Development and Environmental Ethics. Available online at www.sciencedirect.com, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 214 (2015) 1077 – 1082.
34. O'Reilly, N., Berger, E., Hernandez, T., Parent, M (2015). Urban sports capes: An environmental deterministic perspective on the management of youth sport participation, [Www.Elsevier.com/locate/smr](http://www.Elsevier.com/locate/smr), *Sport Management Review*, 2015, 18, 291–307
35. TAQCC (2016). Tehran Air Quality Control Company, Report of Tehran, Tehran Municipality, Nashr-e- Shahr, 2016; pp 265.
36. Tayebi, S.M (2016). Identifying between environmental EIS and public participation, Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Tehran North Branch, 276 p.
37. USEPA (2004). An examination of EPA risk assessment principles and practices. EPA/100/B-04/001. Washington (DC): OSA, USEPA; 2004, <http://www.epa.gov/OSA/pdfs/ratf-final.pdf> [accessed 30.10.13].
38. Vedal, S., Brauer, M., White, R., Petkau, J (2003). Air pollution and daily mortality in a city with low levels of pollution. *Environ Health Perspect* 2003; 111:45-51.
39. WB (2015). Air pollution cost in global, World Bank Reports, www.worldbank.org/en/.../air-pollution-deaths-cost-global-economy
40. WHO (2017). Air quality and health, www.who.int. Retrieved 2017. <https://www.who.int/>
41. Widodo, B., Lupyantob, R., Sulistionoc, D., Harjitod, A., Hamidin, J., Hapsaria, E., Yasin, M., Ellinda, C (2015). Analysis of environmental carrying capacity for the development of sustainable settlement in Yogyakarta urban area, Available online at www.sciencedirect.com, 2015, *Procedia Environmental Sciences* 28 (2015) 519 – 527
42. Wu, D., Xu, Y., Zhang, S (2015). Will joint regional air pollution control be more cost-effective? An empirical study of China's Beijing-Tianjin-Hebei region, www.elsevier.com/locate/jenvman, *Journal of Environmental Management*, 2015, 149 (2015) 27e36.
43. Zammori, F., Gabbrielli, R (2012). ANP/RPN: a multi criteria evaluation of the Risk Priority Number, *quality and reliability engineering international*. 2012; Vol. 28, Issue 1, 104-85, <https://doi.org/10.1002/qre.1217>