کاربرد توابع دوز- واکنش به منظور ارزیابی اثرات آلودگی هوا ناشی از حمل و نقل

علی یزدی‌زاده*، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل گروه پژوهشی حمل و نقل شاران
نوید کلانتری، دکترای برنامه‌ریزی حمل و نقل گروه پژوهشی حمل و نقل شاران
نوشین سعادت‌خواه، دانشجوی دکترای مهندسی شیمی گروه پژوهشی حمل و نقل شاران
*ali.yazdizadeh.pres@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: تیر ۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت۹۳

چکیده

آلودگی هوا امروزه به عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیشروی کلان‌شهرها شناخته شده است. بخش عمده‌ای از آلودگی هوای شهرها ناشی از بخش حمل و نقل است. برخی از پروژه‌های حمل و نقلی مانند توسعه و ساخت بزرگراه‌ها یا تعریض معابر باعث تشویق شهروندان به استفاده از خودروهای شخصی و در نهایت سبب افزایش میزان انتشار آلاینده ها درکلان شهرهای امروزی می گردد. تکیه بر روش‌های هزینه - فایده در ارزیابی پروژه‌های حمل و نقلی در بسیاری موارد منجر به دست کم گرفتن اثرات مخرب زیست‌محیطی این پروژه‌ها می‌شود. در این مطالعه ارزیابی پروژه‌های حمل و نقلی بر اساس معیارهای حمل و نقل پایدار در شهرها مد نظر قرار گرفته و همچنین سعی شده با استفاده از توابع دوز - واکنش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های حمل و نقلی ارزیابی گردد. این مطالعه نخستین مطالعه در کشور است که اثرات آلاینده‌های بخش حمل و نقل بر روی سلامتی انسان‌ها را با استفاده از توابع دوز - واکنش برآورد نموده است. برای انواع آلایندها ضرایبی آورده شده که با استفاده از آن‌ها می‌توان میزان افزایش مرگ و میر و بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا را تخمین زد. همچنین، با استفاده از این ضرایب می‌توان اثرات آلاینده‌های هوا را با توجه به تأثیری که بر سلامتی انسان دارند دسته‌بندی نمود و بر اساس آن به رتبه‌بندی پروژه‌ها پرداخت. این روش به عنوان جایگزین پولی‌سازی جان و سلامت افراد در پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه: توابع دوز - واکنش، آلاینده‌های هوا، حمل و نقل پایدار، کاهش امید به زندگی

۱- مقدمه

توابع دوز - واکنش[1] مقدار آلاینده را به اثرات فیزیکی آن آلاینده مرتبط می‌کنند. به عنوان مثال این توابع رابطه بین مقدار آلاینده دی اکسید گوگرد را با تعداد افراد بستری شده در بیمارستان به دلیل بیماری‌های ناشی از این آلاینده بیان می‌کنند.

توابع دوز - پاسخ برای بررسی و آنالیز اثرات مختلف آلاینده‌های هوا استفاده می‌شوند که عبارتند از[۱]:

اثرات بر روی سلامت انسان‌ها
اثرات بر روی ساختمان‌ها و مصالح آن‌ها
اثرات بر محصولات کشاورزی

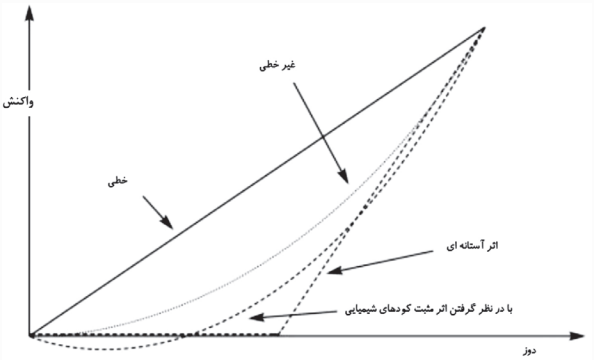
این اثرات می‌تواند به دلیل نشر آلاینده‌های هوا مانند ریزگردها، ازن، مونواکسید کربن، دی اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، بنزن، سرب و غیره باشد. متأسفانه اثرات بسیاری از آلاینده‌ها تا کنون شناخته نشده‌اند. برای بسیاری از آلاینده‌ها که دارای اثرات غیرسرطان‌زا هستند تنها اطلاعات آستانه‌ای[2] در دسترس است. این مقادیر آستانه‌ای توانایی کمّی‌سازی اثرات آلاینده‌ها را نداشته و تنها می‌توانند مشخص کنند آیا ریسکی در ارتباط با یک آلاینده وجود دارد یا خیر. با این وجود برای آلاینده‌های متداول هوا (ناکس، دی اکسید کربن، ازن و ریزگردها) این گونه توابع شناخته شده‌اند.

این توابع معمولاً خطی بوده، از مبدأ شروع شده و به صورت یک نوا افزایشی هستند. شکل ۱ نمایی از منحنی‌های دوز- واکنش را نشان می‌دهد. در دوزهای بالا توابع ممکن است به دلیل اشباع شدن حالت S شکل به خود بگیرند. این امر از ارزش کاربردی این توابع می‌کاهد، زیرا این چنین توابعی توانایی خود را در تخمین اثرات آلاینده‌ها پس از یک سری مقادیر خاص از دست داده و تخمین‌های خوبی ارائه نمی‌دهند. توابع دوز - واکنش برای سلامت معمولاً توسط مطالعات اپیدمیولوژیک یا مطالعات آزمایشگاهی تعیین می‌شوند. در مطالعات آزمایشگاهی بیشتر آزمایشات بر روی حیوانات انجام شده و برون‌یابی آن‌ها برای انسان‌ها دقت آن‌ها را به شدت کاهش می‌دهد[۱].

یک سری حالات خاص ممکن است در به دست آوردن توابع دوز - واکنش پیش آید:

در برخی موارد نیاز به دوزهای بسیار بالا وجود دارد تا اثرات غیر صفر و قابل توجه آلاینده‌ها مشخص شود. با این وجود برای بیماری‌هایی مانند سرطان که در اثر مواد شیمیایی یا تشعشعات بروز می‌نمایند رفتار خطی وجود دارد.

1- Dose-Response Function (DRF)
2- Thresholds



شکل ۱ - انواع منحنی‌های دوز - واکنش

● در برخی موارد اثرات منفی آلاینده‌ها تنها پس از رسیدن به یک حالت آستانه‌ای مشخص می‌شود. این حالت معمولاً به دلیل آن است که سیستم ایمنی یک ارگانیسم در حالت قبل از آستانه‌ای به خوبی عمل می‌کند و تنها پس از رسیدن به یک حالت آستانه‌ای مقادیر منفی بروز می‌نمایند.

● در برخی موارد در بررسی اثرات آلاینده‌ها بر روی محصولات کشاورزی، به دلیل اثر مثبت دوزهای پایین برخی از آلاینده‌ها مانند ناکس‌ها و دی اکسید گوگرد بر روی محصولات کشاورزی، تولید این محصولات افزایش یافته و سپس در دوزهای بالاتر از یک حد مشخص اثرات منفی این آلاینده‌ها شروع می‌شود.

موارد یاد شده در فوق موارد خاص توابع دوز - واکنش را نشان می‌دهد. اما در حالت کلی فرض می‌شود که این توابع خطی و یکنوا افزایشی بوده و از مبدأ نیز عبور می‌کنند.

توابع دوز - واکنش معمولاً وابسته به جمعیتی‌اند که با استفاده از آن جمعیت کالیبره شده‌اند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که توابعی که از جمعیت‌های مختلف به دست آمده‌اند حساسیت متفاوتی داشته و با یکدیگر نیز متفاوت هستند. به عنوان مثال برخی از مطالعات ممکن است اثرات قوی برای دی اکسید گوگرد به دست آورند و برخی دیگر چنین اثر قوی را مشاهده ننمایند. در برخی موارد ممکن است آنالیز دوباره داده‌های مشابه با متدلوژی جدیدتر منجر به نتایج کاملاً متفاوت‌تری شود. به عنوان مثال در پروژه APHEA [۲]که در سال ۱۹۹۷ در اروپا انجام شد نتیجه‌ای که به دست آمد حاکی از این بود که مرگ در اثر بیماری‌های حاد ناشی از ریزگردها در اتحادیه اروپا، شیبی برابر با نصف متوسط مقادیر به دست آمده در آمریکای شمالی را دارد. دلیل این تفاوت آن است که داده‌های برداشت شده در آمریکای شمالی در یک مکان برداشت شده بودند و داده‌های اروپا از چندین مکان مختلف برداشت شده بود. آنالیز دوباره داده‌های آمریکای شمالی با روش جدیدتر و داده‌های مختلط[۳] منجر به یک شیب مشابه با نتایج اروپا شد. بنابراین تفاوت‌های یاد شده در نتایج، به دلیل مشکل در روش آماربرداری بوده است. این بدین معنی است که در چنین مطالعاتی افراد یکسان فرض شده‌اند و در حال حاضر به دلیل عدم انجام مطالعات مشابه در کشور ایران، می‌توان نتایج مطالعات خارجی را عینا برای تهران نیز به کار برد.

3- Pooled data

۲- توابع دوز- واکنش

رابطه بین تغییر در تعداد وقوع بیماری‌ها در سال در اثر تغییر در میزان آلاینده‌ها را می‌توان توسط رابطه زیر بیان نمود[۳]:

$$\Delta I = \sum s_i \, \Delta c_i$$

(رابطه ۱)که در آن

ΔI تغییر تعداد وقوع در سال بر نفر

Δc_i تغییر در غلظت آلاینده

s_i شیب منحنی دوز - پاسخ برای آلاینده i

مقادیر Δc_i برای هر مکان به صورت مجزا محاسبه می‌شوند و اثرات آن‌ها در مکان‌های مختلف با یکدیگر جمع می‌شوند تا اثرات در کل منطقه تحت تاثیر به دست آید.

مطالعات اتحادیه اروپا [۴] در سال ۱۹۹۹ فرض زیر بر روی مقدار s برای ریزگردها، نیترات‌ها و سولفات‌ها در نظر گرفته است:

(رابطه ۲)

$$\frac{S_{PM10}}{S_{PM2/5}} = 0/6$$

$$S_{sulph} = S_{PM2/5}$$

$$S_{nitr} = S_{PM10}$$

به عبارت دیگر شیب منحنی دوز - پاسخ برای ریزگردهای با قطر ۱۰ میکرون، ۰/۶ برابر ریزگردهای قطر ۱۰ میکرون است. همچنین شیب منحنی دوز - پاسخ برای آلاینده های سولفات (اکسیدهای گوگرد) برابر با شیب ریزگردهای ۲/۵ میکرون و شیب منحنی دوز - پاسخ برای اکسیدهای نیتروژن برابر با شیب ریزگردهای ۱۰ میکرون در نظر گرفته می‌شود.

یک فرم نمایش رابطه ۱ می‌تواند به صورت زیر باشد:

(رابطه ۳)

$$\Delta I = S_{PM_{10}}\Delta c_{PM_{10}} + S_{PM_{2/5}}\Delta c_{PM_{2/5}} + S_{PM_{2/5}}\Delta c_{SO_2} + S_{PM_{10}}\Delta c_{NO_2} + S_{o3}\Delta c_{o3} + other$$

که در آن:

$\Delta c_{PM_{10}}$ = تغییر در غلظت ریزگردها با قطر کمتر از ۱۰ میکرون

$\Delta c_{PM_{2.5}}$ = تغییر در غلظت ریزگردها با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون

Δc_{SO_2} = تغییر در غلظت دی‌اکسید گوگرد

Δc_{NO_2} = تغییر در غلظت دی‌اکسید نیتروژن

Δc_{o3} = تغییر در غلظت ازن

به طور معمول دیمانسیون توابع دوز - واکنش به صورت «امراض در سال بر نفر بر میکروگرم/ مترمکعب» بیان می‌شود. اما ممکن است در مطالعات مختلف روش‌های متفاوتی برای بیان آن‌ها در پیش گرفته شود..

در مطالعه فعلی توابع دوز - واکنش در موارد زیر مورد بحث قرار گرفته است[۱]:

۱- توابع دوز - واکنش برای مرگ و میر

الف. کاهش امید به زندگی[۴]
ب. بیماری‌های مزمن [۵]
پ. مرگ و میر نوزادان
۲. توابع دوز - واکنش برای شیوع بیماری‌ها
الف - شیوع بیماری‌ها به دلیل نشر ریزگردها
ب- شیوع بیماری‌ها به دلیل نشر ازن
۳- توابع دوز - واکنش برای فلزات سمی، دیوکسین‌ها و دیگر آلاینده‌ها

نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود آن است که توابع دوز - واکنش به دو روش میزان اثرات آلاینده‌های هوا را بیان می‌کنند:

- ریسک نسبی
- شیب منحنی دوز - واکنش

منظور از ریسک نسبی[۶]، نسبت وقایع [۷] مشاهده شده در دو سطح مختلف آلایندگی است. ریسک نسبی چنانچه در سطح وقایع در حالت پایه [۸] ضرب شود، تعداد وقایع را پس از یک تغییر در میزان سطح آلایندگی به دست می‌دهد. از ریسک نسبی برای به دست آوردن افزایش تدریجی تعداد وقایع به دلیل مقدار ثابتی افزایش در سطح آلاینده‌ها استفاده می‌شود. به عبارت دیگر برای برآورد اثرات آلاینده‌های هوا با استفاده از ریسک نسبی، باید میزان وقوع بیماری‌ها یا مرگ و میر افراد یک جامعه در سال پایه موجود باشد. همچنین میزان آلایندگی در سال پایه و هدف نیز بایستی وجود داشته باشد تا بتوان نرخ مرگ و میر یا تعداد وقوع بیماری در سال هدف را به دست آورد.

شیب منحنی دوز - واکنش میزان وقوع بیماری یا نرخ مرگ و میر در اثر افزایش غلظت یک آلاینده (معمولا به ازای ۱۰ میلی‌گرم بر مترمکعب) را بیان می‌کند. در ادامه مقادیر مختلفی از مطالعات انجام شده در دیگر کشورها برای موارد یاد شده در بالا آورده شده است.

۲-۱- تابع دوز - واکنش برای مرگ و میر بزرگسالان (بیماری‌های مزمن)

در مطالعه اتحادیه اروپا[۱]به این نکته اشاره شده که برآورد کل اثرات (اثرات کوتاه مدت به علاوه بلندمدت) آلودگی هوا یک امر سخت و هزینه‌بر است و مطالعاتی که در بازهٔ زمانی طولانی انجام شده باشند، بسیار کم هستند. به همین دلیل مطالعات زیادی در زمینه برآورد اثرات آلودگی هوا بر روی بیماری‌های مزمن نیز انجام نشده است[۱].

یکی از این مطالعات [۵] که در بازه زمانی برابر با ۱۶ سال و بر روی نیم میلیون نفر انجام گرفته به بررسی اثرات منفی آلودگی هوا و شیوع بیماری‌های مزمن ناشی از آن پرداخته است. در مطالعه مذکور به ارائه مقادیری برای ریسک نسبی ناشی از انتشار ریزگردهای ۲/۵ میکرون پرداخته شده است.

4- Loss of life expectancy vs. number of deaths
5- Chronic mortality
6- Relative Risk (RR)
۷- منظور از وقایع تعداد مرگ و میر یا بیماری یا هرگونه اتفاق خطرساز و ناخوشایند است.
8- Baseline or reference level of incidence (Iref)

در مطالعه انجام شده توسط پوپ [۹] و همکاران [۵] دو نرخ متفاوت برای نرخ ریسک به دلیل افزایش غلظت ریزگردهای ۲/۵میکرونی به ازای هر ۱۰میکروگرم بر مترمکعب ارائه شده است. این نرخ‌ها برابر با ۱/۰۴ و ۱/۰۶ هستند. در مطالعه انجام شده در اتحادیه اروپا میانگین این دو عدد، یعنی ۱/۰۵ در نظر گرفته شده است. این یافته در رابطه ۴ نشان داده شده است:

(رابطه ۴)

$$RR = 1/05 \quad for\ 10\,\mu g/m^3 of\ PM_{2/5}$$

این رابطه بدین معنی است که به ازای هر ۱۰ میلی‌گرم بر متر مکعب افزایش در میزان $PM_{2/5}$ تعداد وقوع بیماری‌های مزمن به میزان ۵ درصد افزایش می‌یابد.

۲-۲- تابع دوز - واکنش برای کاهش امید به زندگی در اثر بیماری‌های مزمن

شیب منحنی دوز - واکنش که به صورت SCR نشان داده می‌شود، برای بیماری‌های مزمن ناشی از PM_{10} در مطالعات اتحادیه اروپا [۱] به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$SCR = 4 \times 10^{-4} \quad \frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}} \quad for\ PM_{10}$$

(رابطه ۵)

رابطه بالا بیان می‌کند که به ازای هر میکروگرم بر مترمکعب افزایش غلظت ذرات PM_{10} هر یک نفر که به مدت یک سال در معرض این ذرات قرار بگیرد، به میزان 4×10^{-4} از عمرش کاسته خواهد شد.

چنان‌چه مقدار بالا را برای شهر تهران نیز معتبر بدانیم، می‌توان تأثیر آلاینده‌های PM_{10} از طریق بیماری‌های مزمن بر روی کاهش امید به زندگی یا سال‌های از دست رفته عمر را برای هر فرد که یک سال از عمر خود را در تهران زندگی کرده، در مقایسه با فردی که در روستا زندگی می‌کند (فرض می‌شود که میزان این آلاینده در یک روستا صفر است) تخمین زد. با توجه به آمار منتشر شده در سال ۱۳۹۰ توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران[۶] برای بخش‌های مختلف شهر که در آن‌ها ایستگاه های سنجش آلودگی هوا نصب شده است، میانگین غلظت آلایندهٔ PM_{10} در ایستگاه ژئوفیزیک در منطقهٔ ۶ شهرداری تهران برابر با ۴۵/۵ میکروگرم بر مترمکعب بوده که کمترین مقدار در بین ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران را داراست. همچنین غلظت در ایستگاه بهاران در منطقه ۱۷ شهرداری تهران برابر با ۱۲۹/۴ میکرو گرم بر مترمکعب بوده است که بیشترین میزان در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در تهران همین مقدار اعلام شده است. با توجه به این مقادیر کاهش امید به زندگی در شهر تهران تنها در اثر بیماری‌های مزمن ناشی از آلایندهٔ PM_{10}

9- Pope

در حالت کمینه و بیشینه برابر است با:

$$\%LLE^{10}{}_{max} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 129/4\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0518\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 45/5\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0182\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

چنانچه با توجه به رابطه ۲ اثرات دیگر آلاینده‌ها نیز سنجیده شود، باید عملیات مشابه با آنچه برای PM_{10} انجام شد، برای، $PM_{2/5}$، SO_2 و N_2O نیز انجام شود. محاسبات مربوط به این آلاینده‌ها در ادامه آورده شده است.

کمترین میانگین غلظت $PM_{2/5}$ شهر تهران در سال ۱۳۹۰، ۳۴/۴ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه ستاد بحران و بیشترین آن ۴۱/۷ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه شهرداری منطقه ۴ بوده است. بنابراین کاهش امید به زندگی در شهر تهران در اثر بیماری‌های مزمن ناشی از آلایندهٔ $PM_{2/5}$ در حالت کمینه و بیشینه برابر است با:

$$\%LLE_{max} = 6/7\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 41/7\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0278\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 6/7\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 34/4\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0127\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

کمترین میانگین غلظت SO_2[11] شهر تهران در سال ۱۳۹۰، ۲۹/۳۴ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه محلاتی و بیشترین آن ۱۴۲/۵۲ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه شادآباد بوده است. بنابراین کاهش امید به زندگی در شهر تهران در اثر بیماری‌های مزمن ناشی از آلایندهٔ SO_2 در حالت کمینه و بیشینه برابر است با:

$$\%LLE_{max} = 6/7\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 142/52\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0955\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 6/7\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 29/34\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0196\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

کمترین میانگین غلظت N_2O و NO در شهر تهران در سال ۱۳۹۰، ۴۶/۸۱۲ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه پیروزی و بیشترین آن ۵۲۷/۷ میکروگرم بر مترمکعب در ایستگاه شهرداری منطقه ۴ بوده است. بنابراین کاهش امید به زندگی در شهر تهران در اثر بیماری‌های مزمن ناشی از آلایندهٔ N_2O در حالت کمینه و بیشینه برابر است با:

$$\%LLE_{max} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 527/7\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/2111\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 46/82\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0187\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

چنان‌چه کمینه مقادیر یاد شده در بالا با یکدیگر و بیشینه آنها نیز با یکدیگر جمع شود، خواهیم داشت:

$$\%LLE_{max} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 384/7\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/3862\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 4\times10^{-4}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right)\times 43/6\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = 0/0692\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

از آن جا که آمار دپارتمان اقتصاد و امور اجتماعی سازمان ملل متحد[12] در سال ۲۰۱۰ امید به زندگی در بین ایرانیان را ۷۲/۲ سال تخمین زده است[۷] چنان‌چه فرض شود که یک فرد تمام عمر خود را در شهر تهران و با شرایط آلودگی هوا در سال ۱۳۹۰ زندگی نماید امید به زندگی‌اش حداقل ۵ سال و حداکثر ۲۷/۸۸ سال کاهش می‌یابد.

اگرچه در آمارهای رسمی منتشر شده [۸] کماکان امید به زندگی در شهر تهران حدود ۷۲ سال گزارش می‌شود، اما با تداوم وضع موجود در آلودگی هوای تهران کاهش ۲۷/۸۸ ساله در امید به زندگی شهروندان تهرانی دور از انتظار نیست. قابل ذکر است که به گفته رئیس سازمان بهشت زهرای تهران میانگین سنی افراد فوت شده در سال ۱۳۸۸ در تهران به ۴۹ سال رسیده است[۹]. این عدد با عدد به دست آمده در این مطالعه قابل مقایسه بوده و دورنمای بسیار تیره‌تری را از نظر اثرات آلودگی هوا بر مرگ و میر شهروندان تهرانی ترسیم می‌کند.

۲-۳- تابع دوز - واکنش برای کاهش امید به زندگی در اثر بیماری‌های حاد

اگرچه مطالعه زیادی در زمینه مرگ و میر ناشی از بیماری‌های حاد انجام نشده است اما پیشنهاد شده است که سال‌های از دست رفته عمر بر نفر به ازای هر میکروگرم بر متر مکعب آلاینده PM_{10} برابر با: (رابطه ۶)

$$YOLL = 3\times10^{-6}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right) for\ PM_{10}$$

در نظر گـــرفته شود[۱]. چنان‌چه این مقـــدار برای آلاینده $PM_{2/5}$ نیز محاسبه شود، خواهیم داشت:

$$YOLL = 3\times10^{-6}\left(\frac{YOLL}{pers.yr.\frac{\mu g}{m^3}}\right) for\ PM_{10} \qquad \text{(رابطه۷)}$$

چنان‌چه مانند بیماری‌های مزمن برای بیماری‌های حاد نیز درصد کاهش امید به زندگی محاسبه شود، خواهیم داشت:

$$\%LLE_{max} = 597\times10^{-6}\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

$$\%LLE_{min} = 399\times10^{-6}\left(\frac{YOLL}{pers}\right)$$

بر این اساس چنان‌چه فرض شود که یک فرد تمام عمر خود را در شهر تهران زندگی نماید، امید به زندگی‌اش حداقل ۰/۰۲۸ سال و حداکثر ۰/۰۴۳ سال در اثر بیماری‌های حاد ناشی از PM_{10} و $PM_{2/5}$ کاهش می‌یابد. این مقادیر در مقایسه با بیماری‌های مزمن جزئی هستند و دلیل آن بازه زمانی کوتاه در مطالعات بیماری‌های حاد در مقایسه با بیماری‌های مزمن است[۱]. به

10- Loss of Life Expectancy (LLE)

۱۱- از آنجا که در منبع [۶] غلظت آلاینده‌های NO_2، SO_2 و NO بر حسب ppb گزارش شده، در مطالعه فعلی از فرمول زیر به منظور تبدیل ppb به $\mu g/m^3$ استفاده شده است:

$$\frac{\mu g}{m^3} = (ppb)\times(12/187)\times(M)/(273/15 + {}^{\circ}C)$$

که در آن M وزن ملکولی آلاینده و °C دمای هوا بر حسب درجه سانتیگراد برابر با $25^{\circ}C$ در نظر گرفته شده است.

12- Population Division of United Nations Department of Economic and Social Affairs

عبارت دیگر بسیاری از مطالعات انجام شده برای بیماری‌های مزمن اثرات بیماری‌های حاد را نیز در طول بازه زمانی مطالعه خود در نظر می‌گیرند[۱].

۲-۴- تابع دوز - واکنش برای مرگ و میر نوزادان

مطالعه ای که در سال ۱۹۹۷ در آمریکا توسط وودراف [۱۳] و همکاران [۱۰] بر روی چهار میلیون نوزاد انجام شد، نشان داد که نرخ مرگ نوزادان بین سن یک ماهگی تا یک سالگی با متوسط غلظت PM_۱۰ در فضای باز در دو ماهه اول زندگی، مرتبط است. در این حالت شیب منحنی دوز - پاسخ برای تغییرات در مرگ و میر نوزادان به صورت زیر ارائه شده است:

$$RR = 1/04 \quad for\ 10\,\mu g/m^3 of\ PM_{10}$$ (رابطه ۸)

این بدین معنی است که به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش در غلظت PM_{10} نرخ مرگ نوزادان ۴ درصد افزایش می‌یابد. برای آلاینده $PM_{2/5}$ با استفاده از رابطه ۲ شیب منحنی دوز - واکنش برابر است با:

$$RR = 1/07 \quad for\ 10\,\mu g/m^3 of\ PM_{2/5}$$ (رابطه ۹)

برای محاسبه این مقادیر در شهر تهران مقدار کمینه و بیشینه آلاینده‌های یاد شده در تهران جمع‌آوری و در محاسبه شیب منحنی دوز - واکنش برای تهران در نظر گرفته شد. بر این اساس نرخ مرگ و میر نوزادان در شهر تهران حداقل ۴۵ درصد و حداکثر ۹۸ درصد در اثر آلاینده‌های PM_{10} و $PM_{2/5}$ نسبت به مکانی که غلظت این آلاینده‌ها برابر صفر باشد، افزایش یافته است.

۲-۵- تابع دوز- واکنش برای شیوع بیماری‌ها

رویکرد کلی در تخمین اثرات آلاینده‌ها بر روی سلامت انسان‌ها، استفاده از ریسک نسبی به دست آمده از مطالعات اپیدمولوژی است که به صورت تغییر در درصد بیماری‌ها به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب تغییر در غلظت ریزگردها (PM_{10} یا $PM_{2/5}$) با توجه به مقادیر زیر به دست می‌آید[۱]:

۱) نرخ اولیه وقوع بیماری‌ها در جامعه در سال(به عنوان مثال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر)

۲) اندازه جمعیت

۳) مقدار افزایش در غلظت ریز گردها به صورت میکروگرم بر متر مکعب

۴) اثرات ریزگردها و ازن برای انواع مختلف بیماری‌ها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۶- تابع دوز- واکنش برای شیوع بیماری‌های ناشی از نشر ریزگردها

مقادیر مختلفی برای بیماری‌های متفاوت ناشی از ریزگردها در مطالعات گوناگون به دست آمده است. این مقادیر به صورت خلاصه در جدول ۱ آورده شده‌اند.

13- Woodruff

جدول ۱ - اثرات ریزگردها بر روی انواع بیماری‌ها

نوع اثر	میزان افزایش
برنشیت مزمن (ناشی از قرار گرفتن در معرض ریزگردها در مدت زمان طولانی) [۱۱]	افزایش تعداد وقوع بیماری(جدید) در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر بزرگسال بالای ۲۷ سال = ۲۶/۵ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
پذیرش بیماری‌های تنفسی در بیمارستان[۱۱]	افزایش تعداد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر = ۷/۰۳ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
پذیرش بیماری‌های قلبی در بیمارستان[۱۲]	افزایش تعداد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر = ۶/۰۸ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره با متخصص آسم (کودک ۰ تا ۱۴ سال)[۱۲]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۱/۱۸ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره با متخصص آسم (بزرگسال ۱۵-۶۴ سال)[۱۲]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۰/۵۱ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره با متخصص آسم (بزرگسال بالای ۶۵ سال)[۱۲]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۰/۹۵ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی [۱۴] (کودک ۰ تا ۱۴ سال)[۱۳]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۴/۰ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی (بزرگسال ۱۵-۶۴ سال)[۱۳]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۳/۲ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی (بزرگسال بالای ۶۵ سال)[۱۳]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۴/۷ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
روزهای کاری از دست رفته در اثر بیماری [۱۵] (بزرگسال ۱۵ تا ۶۴ سال)[۱۴]	افزایش ۲۰۷ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در $PM_{2/5}$
محدودیت جزئی فعالیت روزانه [۱۶](بزرگسال ۱۸ تا ۶۴ سال) [۱۵]	افزایش ۵۷۷ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در $PM_{2/5}$
استفاده از گشادکنندهٔ برونش [۱۷] (کودک ۵ تا ۱۴ سال)[۱۱]	افزایش ۱۸۰ روزه در استفاده از گشاد کننده برونش در هر ۱۰۰۰ نفر (کودک مبتلا به آسم) به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
استفاده از گشادکنندهٔ برونش [۱۸] (بزرگسال بالای ۲۰ سال) [۱۶]	افزایش ۹۱۲ روزه در استفاده از گشاد کنندهٔ برونش در هر ۱۰۰۰ نفر مبتلا به آسم (حدود ۴/۵ درصد جمعیت بزرگسال) به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}

14 - (Upper Respiratory Diseases) بیماری‌های تنفسی فوقانی شامل سرماخوردگی معمولی، سینوزیت، التهاب لوزه‌ها، التهاب گوش میانی، فارنژیت هستند.

15 - (work loss days WLDs) روزهای کاری که به دلیل بیماری فرد توانایی کار کردن ندارد و باید در منزل استراحت کند.

16 - (Minor restricted activity days MRADs) روزهایی که فرد در محل کار حضور دارد اما کارایی او کمتر از حالت عادی است.

17 ، 18 - bronchodilator

علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه زدن (در هر بزرگسال مبتلا به بیماری‌های تنفسی مزمن که به صورت تقریبی ۳۰ درصد جمعیت بزرگسال را شامل می‌شود)[۱۷]	افزایش ۱/۳۰ روزهٔ روزهای سرفه کردن هر نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه زدن (در کودکان ۵ تا ۱۴ سال) [۱۷]	افزایش ۱/۸۶ روزهٔ روزهای سرفه کردن هر نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}
علائم بیماری‌های حاد تنفسی در کل جمعیت (تمام سنین) [۱۷]	تغییر ۴۶۵۰ مورد علائم بیماری‌های حاد تنفسی در هر ۱۰۰۰ نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در PM_{10}

به منظور برآورد تعداد بیماری‌های ناشی از ریزگردها در شهر تهران بالاترین سطح آلایندگی ریزگردها در میان ایستگاه‌های مختلف شهر تهران در نظر گرفته شده و با توجه به مقادیر آورده شده در جدول ۱ تعداد بیماری‌ها محاسبه شده است. در این بخش فرض بر آن است که در حالتی که غلظت ریزگردها صفر باشد تعداد بیماری‌ها نیز برابر صفر است. در این بخش غلظت PM_{10} برابر ۱۲۹/۴ میکرو گرم بر مترمکعب و غلظت $PM_{2/5}$ برابر با ۴۱/۷ میکرو گرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. نتایج مربوطه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ - تعداد انواع بیماری‌های ناشی از ریزگردها در شهر تهران

نوع اثر	میزان افزایش
برنشیت مزمن (ناشی از قرار گرفتن در معرض ریزگردها در بازه زمان طولانی)	۳۴۲/۹ مورد بیماری در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر بزرگسال بالای ۲۷ سال
پذیرش بیماری‌های تنفسی در بیمارستان	۹۰/۹۶ مورد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر
پذیرش بیماری‌های قلبی در بیمارستان	۷۸/۶۷ مورد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر
مشاوره با متخصص آسم (کودک ۰ تا ۱۴ سال)	۱۵/۲۷ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره با متخصص آسم (بزرگسال ۶۴-۱۵ سال)	۶/۵۹ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره با متخصص آسم (بزرگسال بالای ۶۵ سال)	۱۲/۲۹ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی [۱۹] (کودک ۰ تا ۱۴ سال)	۵۱/۷۶ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی (بزرگسال ۶۴-۱۵ سال)	۴۱/۴۱ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره به منظور بیماری‌های تنفسی فوقانی (بزرگسال بالای ۶۵ سال)	۶۰/۸۲ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
روزهای کاری از دست رفته در اثر بیماری [۲۰] (بزرگسال ۱۵ تا ۶۴ سال)	۸۶۳/۲ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر
محدودیت جزئی فعالیت روزانه [۲۱] (بزرگسال ۱۸ تا ۶۴ سال)	۲۴۰۶ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر
استفاده از گشادکنندهٔ برونش [۲۲] (کودک ۵ تا ۱۴ سال)	۲۳۲۹ روزه در استفاده از گشاد کننده برونش به ازای هر ۱۰۰۰ نفر
استفاده از گشادکنندهٔ برونش [۲۳] (بزرگسال بالای ۲۰ سال)	۱۱۸۰۱ روزه استفاده از گشاد کننده برونش به ازای هر ۱۰۰۰ نفر
علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه زدن	۱۶/۸۲ روزه در روزهای سرفه کردن به ازای هر نفر
علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه زدن (در کودکان ۵ تا ۱۴ سال)	۲۴/۱ روزه در روزهای سرفه کردن هر نفر
علائم بیماری‌های حاد تنفسی در کل جمعیت (تمام سنین)	۶۰۱۷۱ مورد علائم بیماری‌های حاد تنفسی در هر ۱۰۰۰ نفر

۲-۷- تابع دوز - واکنش برای شیوع بیماری‌های ناشی از نشر ازن

مقادیر مختلفی برای شیب منحنی دوز - واکنش برای بیماری‌های متفاوت ناشی از نشر آلاینده ازن در مطالعات گوناگون به دست آمده است. این مقادیر به صورت خلاصه در جدول ۳ آورده شده‌اند. نرخ شیوع بیماری‌ها در شهر تهران نیز بر اساس این مقادیر محاسبه و در جدول ۴ آورده شده است. به این منظور غلظت آلاینده ازن که در منبع [۶] برای شهر تهران حداکثر برابر ۴۶/۲ pbb در نظر گرفته شده مورد استفاده قرار گرفته است. این غلظت بر حسب میکروگرم بر مترمکعب برابر ۹۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب است.

جدول ۳ - اثرات ازن بر روی انواع بیماری‌ها

عنوان	میزان افزایش
مرگ و میر در تمام سنین به دلیل قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض گاز ازن [۱۶]	افزایش ۰/۳ درصدی در ریسک نسبی به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در غلظت ماکزیمم ۸ ساعتهٔ روزانهٔ O_3
پذیرش بیماری‌های تنفسی در بیمارستان (بالای ۶۵ سال) [۱۸]	افزایش تعداد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر = ۱۲/۵ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در غلظت ماکزیمم ۸ ساعتهٔ روزانهٔ O_3
مشاوره با پزشک عمومی برای آبریزش بینی آلرژیک (کودک ۰ تا ۱۴ سال)[۱۱]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۳/۰۳ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3
مشاوره با پزشک عمومی برای آبریزش بینی آلرژیک (بزرگسال ۶۴-۱۵ سال)[۱۱]	افزایش تعداد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر = ۱/۶۰ مورد به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3
محدودیت جزئی فعالیت روزانه (بزرگسال ۱۸ تا ۶۴ سال) [۱۵]	افزایش ۱۱۵ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3
استفاده از گشادکنندهٔ برونش (کودک ۵ تا ۱۴ سال)[۱۹]	افزایش ۳۱۰ روزه در استفاده از گشاد کنندهٔ برونش در هر ۱۰۰۰ نفر (کودک مبتلا به آسم) به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3

19 - (Upper Respiratory Diseases) بیماری‌های تنفسی فوقانی شامل سرماخوردگی معمولی، سینوزیت، التهاب لوزه‌ها، التهاب گوش میانی، فارنژیت هستند.

20 - (work loss days WLDs) روزهای کاری که به دلیل بیماری فرد توانایی کار کردن ندارد و باید در منزل استراحت کند.

21 - (Minor restricted activity days MRADs) روزهایی که فرد در محل کار حضور دارد اما کارایی او کمتر از حالت عادی است.

22 ، 23 - bronchodilator

استفاده از گشادکنندهٔ برونش (بزرگسال بالای ۲۰ سال) [۱۷]	افزایش ۷۳۰ روزه در استفاده از گشاد کنندهٔ برونش در هر ۱۰۰۰ نفر مبتلا به آسم (حدود ۴/۵ درصد جمعیت بزرگسال) به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3
علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه زدن (کودک ۵ تا ۱۴ سال)[۲۰]	افزایش ۰/۹۳ روزه در روزهای سرفه کردن هر نفر در سال به ازای هر ۱۰میکروگرم افزایش در O_3

جدول ۴ - اثرات ازن بر روی انواع بیماری‌ها در شهر تهران

عنوان	میزان افزایش
مرگ و میر در تمام سنین به دلیل قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض گاز ازن	۲/۷ درصد افزایش در ریسک نسبی
پذیرش بیماری‌های تنفسی در بیمارستان (بالای ۶۵ سال)	افزایش ۱۱۵ مورد پذیرش در سال در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر
مشاوره با پزشک عمومی برای آبریزش بینی آلرژیک (کودک ۰ تا ۱۴ سال)	افزایش ۳۰ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
مشاوره با پزشک عمومی برای آبریزش بینی آلرژیک (بزرگسال ۱۵-۶۴ سال)	افزایش ۱۴/۸ مورد مشاوره در سال در هر ۱۰۰۰ نفر
محدودیت جزئی فعالیت روزانه (بزرگسال ۱۸ تا ۶۴ سال)	افزایش ۱۰۶۲ روز کاری از دست رفته در هر ۱۰۰۰ نفر
استفاده از گشادکنندهٔ برونش (کودک ۵ تا ۱۴ سال)	افزایش ۲۸۶۴ روزه در استفاده از گشاد کننده برونش در هر ۱۰۰۰ نفر (کودک مبتلا به آسم)
استفاده از گشادکنندهٔ برونش (بزرگسال بالای ۲۰ سال)	افزایش ۶۷۴۵ روزه در استفاده از گشاد کننده برونش در هر ۱۰۰۰ نفر مبتلا به آسم
علائم بیماری‌های تنفسی تحتانی شامل سرفه کردن (کودک ۵ تا ۱۴ سال)	افزایش ۸/۶ روزه در روزهای سرفه کردن هر نفر در سال

۲-۸- تابع دوز- واکنش برای شیوع بیماری‌های ناشی از نشر سرب

مهم‌ترین اثر سرب تاثیر آن بر روی کاهش ضریب هوشی است. در مطالعه انجام شده توسط شوارتز در سال ۱۹۹۴ میزان کاهش ضریب هوش به ازای هر یک میکروگرم بر لیتر افزایش غلظت سرب در خون برآورد شده است. این مقدار برابر با ۰/۰۲۶ واحد کاهش ضریب هوشی برآورد شده است[۲۱]. همچنین در مطالعه انجام شده توسط لانفر و همکاران در سال ۲۰۰۰ این مقدار برابر با ۰/۰۵۵ واحد کاهش ضریب هوشی برآورد شده است[۲۲]. با این وجود در حال حاضر بیشتر از برآورد شوارتز به دلیل استفاده از داده های زاید و آنالیز روی طیف وسیعی از آن‌ها استفاده می‌شود.

از آن جا که مطالعه انجام شده توسط شوارتز بر روی تأثیر سرب بر روی ضریب هوشی به صورت غلظت سرب در خون گزارش شده، باید ارتباط بین غلظت سرب در هوا با غلظت آن در خون به دست آید. از آن جا که روش‌های تعیین ارتباط بین این دو خارج از حیطه مطالعه حاضر است در این جا تنها ضریب برآورد شده برای منحنی دوز - پاسخ به صورت «کاهش ضریب هوشی به ازای قرار گیری هر نفر به مدت یک سال در معرض یک میکروگرم بر متر مکعب سرب در هوا» آورده شده است[۲۳]:

(رابطه ۱۰)

$$SCR = 1/43 \times 10^{-2}\ IQ\ points/(\ pers.yr.\frac{\mu g}{m^3})\ Pb$$

۲-۹- تابع دوز- واکنش برای شیوع بیماری‌های ناشی از نشر بنزن، بوتادین، بنزوپرین و فرمالدهید

بنزن، بوتادین، بنزوپرین و فرمالدهیدها از جمله ترکیبات سرطان‌زا هستند. ضریب واحد ریسک به دست آمده برای این آلاینده‌ها از مطالعات انجام شده در سازمان محیط زیست آمریکا[۲۴] در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول -۵ ضرایب برآورد اثرات سرطان زای بنزن، بوتادین، بنزوپرین و فرمالدهید [۲۴]

نوع ضریب	بنزن	بوتادین	بنزوپرین	فرمالدهید
ضریب واحد ریسک (تعداد سرطان / (نفر- ۷۰سال - میکروگرم بر مترکعب)	۸×۱۰-۶	۳×۱۰-۴	۱×۱۰-۷Z	۱×۱۰-۵

۳- رتبه‌بندی پروژه‌های حمل و نقلی

مقادیر آورده شده در بخش قبل می‌تواند در برآورد اثرات پروژه‌های حمل و نقلی و مقایسه پروژه‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گیرد. برای این امر نیاز به یک پایگاه داده است که در آن میزان مرگ و میر و بیماری‌ها در سال پایه موجود باشد. برای برخی از آلاینده‌ها که داده آن‌ها در شهر تهران موجود است، این اثرات برای سال ۱۳۹۰ محاسبه شده است.

در گام دوم، باید میزان تولید آلاینده توسط هر پروژه حمل و نقلی برآورد شود. روش‌های برآورد تولید آلاینده در بخش حمل و نقل خارج از حیطه مطالعه حاضر است و می‌تواند توسط نرم‌افزارهای مربوطه محاسبه گردد. در گام سوم با استفاده از مدل‌های نشر آلاینده باید مقادیر آلاینده تولید شده، که معمولاً بر حسب تن یا کیلوگرم در روز هستند، به غلظت تبدیل شود.

پس از برآورد میزان نشر آلاینده هر پروژه، باید اثرات هر آلاینده با توجه به مقادیر آورده شده در بخش قبل (شیب تابع دوز - واکنش) محاسبه گردد. پس از آن می‌توان به رتبه‌بندی پروژه‌ها اقدام نمود. این مراحل در شکل ۲ نشان داده شده است.

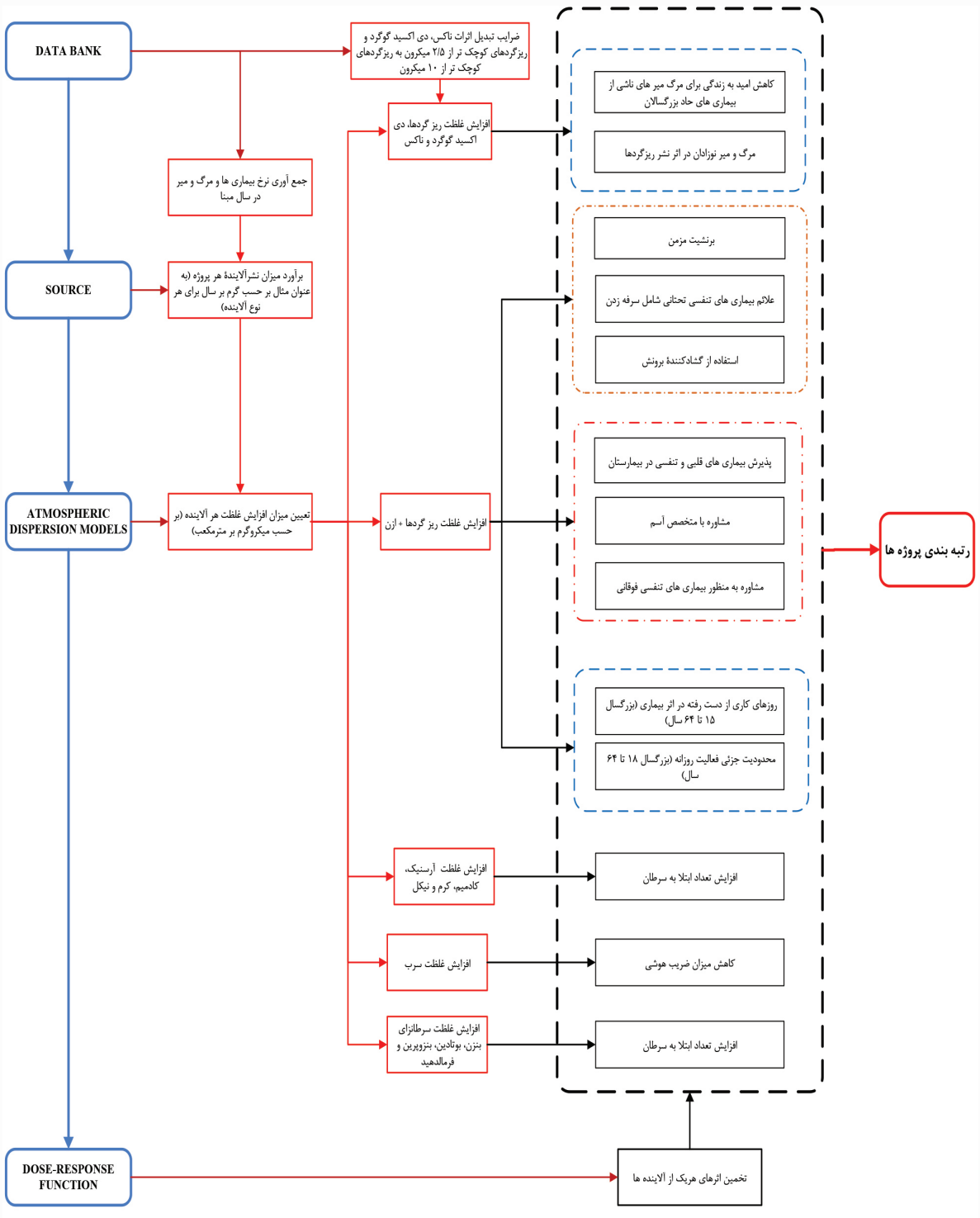
۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تاثیر انواع آلاینده‌های هوا بر روی سلامت انسان‌ها با استفاده از توابع دوز - واکنش پرداخته شد. در این مطالعه از دو مفهوم به منظور نشان دادن اثرات آلاینده‌ها استفاده گردید:

- شیب منحنی دوز - واکنش
- ریسک نسبی

برای هر یک از دو مقدار بالا مقادیری از معتبرترین مطالعات در این زمینه جمع‌آوری شده است. طیف وسیعی از اثرات مانند کاهش امید به زندگی، کاهش کارایی افراد جامعه و روزهای از دست رفته کاری، بیماری‌های مزمن و حاد به علاوه اثر زیان‌بار سرب بر روی کاهش ضریب هوشی افراد جامعه در این بخش مورد بررسی قرار گرفتند.

به منظور محاسبه تأثیر نشر آلاینده‌ها بر روی جامعه شهری و استفاده از آن‌ها در رتبه‌بندی پروژه‌ها باید مقادیر اولیه نرخ بیماری‌ها یا مرگ و میرها در دسترس باشد. به همین دلیل در این مطالعه کاهش امید به زندگی و تعداد بیماری‌های ناشی از



شکل ۲ - روند محاسبه اثرات انواع آلاینده های هوا

آلودگی هوا محاسبه شده است. این مقادیر از این پس می‌توانند به عنوان مقادیر پایه در سال ۱۳۹۰ به کار روند. همچنین چهارچوبی برای رتبه‌بندی پروژه‌ها در این مطالعه آورده شده که در شکل ۲ قابل مشاهده است.

از دیگر نتایج این مطالعه برآورد اثرات مخرب آلودگی هوا بر سلامتی شهروندان تهرانی است. بررسی انجام شده نشان دهنده نرخ بالای بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا و اثر بسیار شدید آلودگی بر کاهش طول عمر شهروندان تهرانی است. به گونه‌ای که با ادامه روند فعلی در آلودگی هوا، امید به زندگی در شهر تهران حداقل ۵ سال و حداکثر ۲۷/۸۸ سال کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، تعداد بالای بیماری‌های به وجود آمده در اثر آلودگی هوا که در این مطالعه بررسی شد، نشان می‌دهد که ادامه روند فعلی، می‌تواند هزینه‌های فراوانی را برای بخش بهداشت و درمان کشور در پی داشته باشد.

۵- قدردانی

در پایان لازم است از «سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران» برای تأمین مالی پژوهش تشکر شود. همچنین از نظرات اصلاحی آقایان مهندس غلامرضا طاهرنیا و مهندس رضا وثوقی قدردانی می شود.

۶- مراجع

[1] P. Bickel and R. Friedrich, ExternE: Externalities of Energy. Methodology 2005 Update: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.

[2] H. Anderson, C. Spix, S. Medina, J. Schouten, J. Castellsague, G. Rossi, et al., «Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project,» European respiratory journal, vol. 10, pp. 1064-1071, 1997.

[3] W. H. Organization, «Health Aspects of Air Pollution-answers to follow-up questions from CAFE,» in Report on a WHO working group meeting Bonn, Germany, 2004, pp. 15-16.

[4] «European Commission (1999). Externalities of Energy., Vol. 7 Methodology 1998 update. European Commission, DG XII, EUR 19083, Brussels «.

[5] C. A. Pope III, R. T. Burnett, M. J. Thun, E. E. Calle, D. Krewski, K. Ito, et al., «Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution,» JAMA: the journal of the American Medical Association, vol. 287, pp. 1132-1141, 2002.

[۶] «گزارش کیفیت هوای تهران» شرکت کنترل کیفیت هوای تهران. ۱۳۹۰.

[7] «Population Division. In: United Nations Department of Economic and Social Affairs. Available at: http://www.un.org/en/development/desa/population/.»

[۸] «گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن». ۱۳۹۰.

[۹] «میانگین ۴۹ سال سن مرگ در تهران»، دنیای اقتصاد، روزنامه صبح تهران. ۱۳۸۹.

[10] T. J. Woodruff, J. Grillo, and K. C. Schoendorf, «The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States,» Environmental health perspectives, vol. 105, p. 608, 1997.

[11] M. Holland, A. Hunt, F. Hurley, S. Navrud, and P. Watkiss, «Methodology for the Cost-Benefit Analysis for CAFE: Volume 1: Overview of Methodology. Didcot. UK: AEA Technology Environment,» ed, 2005.

[12] S. Hajat, A. Haines, S. Goubet, R. Atkinson, and H. Anderson, «Association of air pollution with daily GP consultations for asthma and other lower respiratory conditions in London,» Thorax, vol. 54, pp. 597-605, 1999.

[13] S. Hajat, H. Anderson, R. Atkinson, and A. Haines, «Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London,» Occupational and environmental medicine, vol. 59, pp. 294-299, 2002.

[14] B. D. Ostro, «Air pollution and morbidity revisited: a specification test,» Journal of Environmental Economics and Management, vol. 14, pp. 87-98, 1987.

[15] B. D. Ostro and S. Rothschild, «Air pollution and acute respiratory morbidity: an observational study of multiple pollutants,» Environmental Research, vol. 50, pp. 238-247, 1989.

[16] H. Anderson, R. W. Atkinson, J. Peacock, L. Marston, and K. Konstantinou, «Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3),» Report of a WHO Task Group. Copenhagen: World Health Organization, 2004.

[17] P. Burney, S. Chinn, C. Luczynska, D. Jarvis, E. Lai, P. Vermeire, et al., «Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medication in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS),» 1996.

[18] E. Boldo, S. Medina, A. Le Tertre, F. Hurley, H.-G. Mücke, F. Ballester, et al., «Apheis: Health impact assessment of long-term exposure to PM2. 5 in 23 European cities,» European journal of epidemiology, vol. 21, pp. 449-458, 2006.

[19] J. Just, C. Segala, F. Sahraoui, G. Priol, A. Grimfeld, and F. Neukirch, «Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children,» European respiratory journal, vol. 20, pp. 899-906, 2002.

[20] G. Hoek and B. Brunekreef, «Effect of photochemical air pollution on acute respiratory symptoms in children,» American journal of respiratory and critical care medicine, vol. 151, pp. 27-32, 1995.

[21] J. Schwartz, «Low-level lead exposure and children′ s IQ: a metaanalysis and search for a threshold,» Environmental research, vol. 65, pp. 42-55, 1994.

[22] B. P. Lanphear, K. Dietrich, P. Auinger, and C. Cox, «Cognitive deficits associated with blood lead concentrations< 10 microg/dL in US children and adolescents,» Public health reports, vol. 115, p. 521, 2000.

[23] Inorganic Lead. (1995). Available: http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm.

[24] Integrated Risk Information System (IRIS) | EPA. Available: http://www.epa.gov/iris/.