





دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست

انجام تحلیل ریسک مواجهه با آلاینده‌های هوای شهر تبریز

با استفاده از نرم‌افزار BenMAP-CE

نگارنده:

علی شمس محمدی

اساتید راهنما:

دکتر رمضان واقعی

دکتر خسرو اشرفی

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۴۹۵/ع=

تاریخ: ۱۳۰۰/۳/۶

باسمه تعالی



جمهوری اسلامی ایران

### فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و پاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای علی شمس محمدی با شماره دانشجویی ۹۶۰۹۱۶۴ رشته مهندسی عمران گرایش محیط زیست تحت عنوان انجام تحلیل ریسک مواجهه با آلاینده های هوای شهر تبریز با استفاده از نرم افزار BenMAP-CE که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

|                                                                                   |                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹                               | <input checked="" type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۸/۹۹ |
| <input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۷-۱۶/۹۹                               | <input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴/۹۹               |
| <input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد     |                                                                     |
| نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی |                                                                     |

| عضو هیأت داوران           | نام و نام خانوادگی        | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------|---------------------------|------------|-------|
| ۱- استاد اهدامای اول      | رمضان واقعی               | استادیار   |       |
| ۲- استاد اهدامای دوم      | خسرو اشرفی                | دانشیار    |       |
| ۳- استاد مشاور            |                           |            |       |
| ۴- نماینده تحمیلات تکمیلی | جلیل شقایبی               | استادیار   |       |
| ۵- استاد امتحن اول        | مطهره تقی زاده فیروز جایی | استادیار   |       |
| ۶- استاد امتحن دوم        | مهدی معینی                | استادیار   |       |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: **دکتر رضا نادری**  
 نام و نام خانوادگی: **مهندس عمران**  
 تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

## درود بی پایان، سپاس فراوان به درگاه فرزنانگان، پیروان خرد و تجربه

در نگارش این پایان نامه پیش از همه ستایش گر کوشش های همه آموزگاران خویش، از آغاز تا امروز می باشم که نه تنها علم خود را به من آموختند که ادب خود را نیز.

هر چند واژگان در مدحشان ناتوان و زبان در وصفشان قاصر و قلم در خطشان باطل است؛ که تنها خاطر در یادشان قادر و عاشق در مهرشان خالص.

همچنین مراتب سپاس را از اساتید راهنمای ارجمند، آقای دکتر رمضان واقعی و آقای دکتر خسرو اشرفی دارم که با راهنمایی و سخت گیری هایشان، راه را به اینجانب شناسانیده و با شکیبایی فراوان که در جریان نگارش پایان نامه از خود نشان دادند به من این شانس را دادند که راه های گوناگون را آزموده تا سرانجام به مسیری که باید سمت و سو یافته و کار را به انجام رسانم.

## تعهدنامه

این جانب علی شمس محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه انجام تحلیل ریسک مواجهه با آلاینده های هوای شهر تبریز با استفاده از نرم افزار BenMAP-CE تحت راهنمایی جناب آقای رمضان واقعی و جناب آقای خسرو اشرفی متعهد می شوم.

. تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

. در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

. مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.

. کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

. حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

. در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن ( مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

تبریز کلان‌شهری با جمعیت رو به افزایش می‌باشد که دارای صنایع و کارخانجات بزرگی است. به دلیل شرایط طبیعی این شهر و مکان‌یابی نامناسب صنایع، شهر تبریز جز چند شهر آلوده کشور به حساب می‌آید. در این مطالعه، ضمن معرفی تابع جدید غلظت-پاسخ مدل جهانی مواجهه-مرگ‌ومیر (GEMM) و تشریح مراحل و نحوه استفاده از نرم‌افزار ترسیم و ارزیابی مزایای محیط‌زیستی (BenMAP-CE)، برای اولین بار تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز از این طریق محاسبه شده و هزینه‌های اقتصادی مرتبط با سلامتی محاسبه گردیده‌است. داده‌های غلظت ساعتی  $PM_{2.5}$  ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تبریز، جهت محاسبه میزان غلظت  $PM_{2.5}$  برای مناطق ۱۰ گانه تبریز استفاده شده است. علاوه بر تحلیل غلظت  $PM_{2.5}$  و اثرات آن بر سلامت عمومی برای سال ۱۳۹۶، پنج سناریو نسبت به وضعیت میانگین سالیانه غلظت  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۶ ( $\mu g/m^3$ ) (۲۲/۹) بررسی شد که شامل افزایش به ۳۵، کاهش به ۲۵، کاهش به ۱۵، کاهش به ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب و یک سناریو کاهش به حداقل ( $2/4 \mu g/m^3$ ) می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار BenMAP-CE و توابع مدل جهانی مواجهه-مرگ (GEMM) در مجموع ۸۸۶ (۹۳۵-۸۱۴) مرگ ناشی از مواجهه بلندمدت با آلاینده  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۶ برای غلظت بالاتر از  $2/4 \mu g/m^3$  در بزرگسالان (سن ۲۵ سال) تخمین زده می‌شود که از این تعداد، بیشترین مرگ‌ومیر، ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی ۴۳۵ (۴۱۹-۴۴۶)، سکتة مغزی ۱۰۲ (۷۹-۱۱۸)، عفونت‌های مجاری تحتانی تنفسی ۷۱ (۵۳-۸۰)، بیماری مزمن انسداد ریوی ۴۵ (۳۳-۵۳) و سرطان ریه ۳۳ (۲۸-۳۶) است.

کل مزایای اقتصادی سالیانه (۱۳۹۶) کاهش غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  شهر تبریز به سطح حداقل ( $2/4 \mu g/m^3$ )، با استفاده از روش ارزش یک سال زندگی (VOLY) برابر ۸۶/۷ میلیون دلار، با استفاده از روش زندگی آماری (VSL) برابر ۳۷۲ میلیون دلار و با استفاده از روش دیه، برابر ۶۷ میلیون دلار محاسبه شد.

کلید واژگان: آلودگی هوای تبریز؛ آلاینده هوا؛  $PM_{2.5}$ ؛ ارزیابی پیامدهای بهداشتی؛ ارزیابی اقتصادی.

## فهرست مطالب

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| فصل ۱:                                            | ۱  |
| کلیات تحقیق                                       | ۱  |
| ۱-۱- مقدمه                                        | ۲  |
| ۱-۲- تعریف مسئله                                  | ۳  |
| ۱-۳- ضرورت انجام تحقیق                            | ۴  |
| ۱-۳-۱- هزینه آلودگی هوا در ایران                  | ۵  |
| ۱-۳-۲- جمع بندی ضرورت تحقیق                       | ۶  |
| ۱-۴- فرضیه، پرسش ها و اهداف تحقیق                 | ۶  |
| ۱-۴-۱- فرضیه پژوهش                                | ۶  |
| ۱-۴-۲- پرسش های پژوهش                             | ۷  |
| ۱-۴-۳- اهداف پژوهش                                | ۷  |
| ۱-۵- رویکرد پژوهش                                 | ۷  |
| ۱-۶- فصل بندی پایان نامه                          | ۹  |
| فصل ۲:                                            | ۱۱ |
| مبانی نظری و پیشینه تحقیق                         | ۱۱ |
| ۲-۱- مقدمه                                        | ۱۲ |
| ۲-۲- اندازه گیری و مدل سازی های مرتبط             | ۱۲ |
| ۲-۳- اثرات بر سلامت عمومی                         | ۱۴ |
| ۲-۴- اثرات اقتصادی                                | ۲۲ |
| ۲-۵- تعریف آلودگی هوا                             | ۲۷ |
| ۲-۶- طبقه بندی آلاینده های هوا براساس اندازه ذرات | ۲۸ |
| ۲-۷- ذرات معلق                                    | ۲۹ |
| ۲-۷-۱- اجزای شیمیایی ذرات معلق هوا                | ۳۰ |
| ۲-۷-۲- یون های محلول در آب ذرات معلق هوا          | ۳۱ |
| ۲-۷-۳- کربن عنصری و آلی ذرات معلق هوا             | ۳۱ |

|    |                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------|
| ۳۲ | ۲-۷-۴- فلزات(عناصر) ذرات معلق هوا                         |
| ۳۲ | ۲-۷-۵- اثرات ذرات معلق بر سلامت                           |
| ۳۴ | ۲-۸-۸- ازن                                                |
| ۳۵ | ۲-۹-۹- اکسیدهای نیتروژن                                   |
| ۳۶ | ۲-۱۰-۱۰- اکسیدهای گوگرد                                   |
| ۳۶ | ۲-۱۱-۱۱- منواکسیدکربن                                     |
| ۳۷ | ۲-۱۲-۱۲- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای               |
| ۳۸ | ۲-۱۳-۱۳- اثرات و هزینه های آلودگی هوا                     |
| ۳۹ | فصل ۳:                                                    |
| ۳۹ | مراحل انجام پژوهش                                         |
| ۴۰ | ۳-۱-۱- مقدمه                                              |
| ۴۰ | ۳-۲-۲- شهر مورد مطالعه                                    |
| ۴۳ | ۳-۳-۳- سال مورد مطالعه                                    |
| ۴۴ | ۳-۴-۴- داده های مورد استفاده                              |
| ۴۴ | ۳-۴-۱- جمعیت در معرض آلاینده                              |
| ۴۴ | ۳-۴-۲- غلظت آلاینده PM <sub>2.5</sub>                     |
| ۴۶ | ۳-۴-۳- دلایل مرگ و میر                                    |
| ۴۷ | ۳-۴-۴- نرخ مرگ و میر پایه                                 |
| ۵۰ | ۳-۴-۵- سایر داده های مورد نیاز                            |
| ۵۰ | ۳-۵-۵- محاسبه مرگ و میر ناشی از آلاینده PM <sub>2.5</sub> |
| ۵۴ | ۳-۶-۶- کاربرد نرم افزار BenMAP-CE                         |
| ۵۵ | ۳-۷-۷- معرفی نرم افزار BenMAP-CE                          |
| ۵۶ | ۳-۷-۱- تاریخچه                                            |
| ۵۷ | ۳-۷-۲- برنامه نویسی کامپیوتری نرم افزار BenMAP-CE         |
| ۵۷ | ۳-۷-۳- روش تحلیل نرم افزار BenMAP-CE                      |
| ۵۹ | ۳-۸-۸- منوهای نرم افزار                                   |
| ۶۰ | ۳-۸-۱- منوی تعریف و ویرایش داده ها                        |

|    |                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| ۶۱ | ۳-۸-۲- تعریف شبکه                                                  |
| ۶۳ | ۳-۸-۳- تعریف آلاینده‌ها                                            |
| ۶۳ | ۳-۸-۴- داده‌های ایستگاه‌های سنجش                                   |
| ۶۵ | ۳-۸-۵- نرخ‌های بروز و ممانعت پایه                                  |
| ۶۷ | ۳-۸-۶- داده‌های جمعیت                                              |
| ۶۷ | ۳-۸-۷- توابع اثرات سلامت                                           |
| ۶۸ | ۳-۹-۹- مراحل اجرای تحلیل                                           |
| ۶۸ | ۳-۹-۱- اعمال داده‌های کیفیت هوا                                    |
| ۷۱ | ۳-۹-۲- اثرات بهداشتی: انتخاب دلایل، میزان پایه مرگ‌وبیماری و جمعیت |
| ۷۳ | ۳-۹-۳- تجمیع، تلفیق و ارزش‌گذاری                                   |
| ۷۷ | ۳-۱۰- محدودیت‌های نرم‌افزار BenMAP-CE                              |
| ۷۸ | ۳-۱۱- ارزیابی اقتصادی اثرات بهداشتی                                |
| ۷۸ | ۳-۱۱-۱- انواع هزینه‌های ناشی از بیماری‌ها                          |
| ۷۸ | ۳-۱۱-۱-۱- هزینه‌های مستقیم پزشکی                                   |
| ۷۹ | ۳-۱۱-۱-۲- هزینه‌های مستقیم غیرپزشکی                                |
| ۷۹ | ۳-۱۱-۱-۳- هزینه‌های غیرمستقیم                                      |
| ۷۹ | ۳-۱۱-۱-۴- هزینه‌های نامحسوس                                        |
| ۸۰ | ۳-۱۱-۲- روش‌های برآورد هزینه‌های غیرمستقیم                         |
| ۸۱ | ۳-۱۱-۳- ارزش زندگی آماری (VSL)                                     |
| ۸۲ | ۳-۱۱-۴- ارزش یک سال زندگی (VOLY)                                   |
| ۸۳ | ۳-۱۱-۵- روش دیه اسلامی                                             |
| ۸۵ | فصل ۴:                                                             |
| ۸۵ | نتایج تحقیق                                                        |
| ۸۶ | ۴-۱- مقدمه                                                         |
| ۸۶ | ۴-۲- جمعیت شهر تبریز                                               |
| ۸۹ | ۴-۳- غلظت $PM_{2.5}$ سالیانه                                       |
| ۹۴ | ۴-۴- مرگ‌ومیر و سال‌های ازدست رفته ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$      |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۹۸  | ۴-۴-۱- مرگومیر سنین مختلف                                 |
| ۱۰۰ | ۴-۵- توزیع منطقه‌ای مرگومیر در شهر تبریز                  |
| ۱۰۲ | ۴-۶- تعداد مرگومیر قابل اجتناب ناشی از افزایش و کاهش غلظت |
| ۱۰۳ | ۴-۷- خسارات اقتصادی                                       |
| ۱۰۳ | ۴-۷-۱- ارزش زندگی آماری (VSL)                             |
| ۱۰۴ | ۴-۷-۲- ارزش یک سال زندگی (VOLY)                           |
| ۱۰۵ | ۴-۷-۳- روش اسلامی دیه                                     |
| ۱۰۷ | فصل ۵:                                                    |
| ۱۰۷ | نتیجه‌گیری و پیشنهادات                                    |
| ۱۰۸ | ۵-۱- مقدمه                                                |
| ۱۰۸ | ۵-۲- جمع‌بندی                                             |
| ۱۰۹ | ۵-۳- پیشنهادها                                            |
| ۱۰۹ | ۵-۴- مطالعات آینده                                        |
| ۱۱۱ | فهرست منابع                                               |

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. غلظت سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  در کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۷ ----- ۱۷
- شکل ۲-۲. مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در ایران در سال ۲۰۱۲ (WHO, 2016) ----- ۲۱
- شکل ۳-۲. اثرات بهداشتی آلودگی هوا بر سلامت انسان (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۷) ----- ۳۳
- شکل ۱-۳. موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و محدوده کلان‌شهر تبریز ----- ۴۲
- شکل ۲-۳. مناطق ۱۰ گانه کلان‌شهر تبریز ----- ۴۳
- شکل ۳-۳. تعریف دامنه همسایگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا ----- ۴۶
- شکل ۴-۳. روند تغییرات مرگ‌ومیر تبریز در گروه‌های سنی بزرگسال برای علل مرگ انتخابی در سال ۱۳۹۶ ----- ۴۹
- شکل ۵-۳. نرم افزار BenMAP-CE ----- ۵۵
- شکل ۶-۳. نحوه‌ی استخراج تابع HIF از مطالعات اپیدمیولوژی ----- ۵۸
- شکل ۷-۳. صفحه اصلی برنامه BenMAP-CE ----- ۵۹
- شکل ۸-۳. منو تعریف و ویرایش داده‌ها در نرم‌افزار BenMAP-CE ----- ۶۱
- شکل ۹-۳. منوی بارگذاری نقشه‌ها ----- ۶۲
- شکل ۱۰-۳. منوی تعریف نوع آلاینده ----- ۶۳
- شکل ۱۱-۳. نمونه فرمت داده‌های ایستگاه‌های سنجش ورودی به مدل ----- ۶۴
- شکل ۱۲-۳. ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تبریز ----- ۶۴
- شکل ۱۳-۳. منوهای ورود داده‌های بروز پایه در BenMAP-CE ----- ۶۶
- شکل ۱۴-۳. فرمت داده‌های ورودی نرخ بروز پایه ----- ۶۶
- شکل ۱۵-۳. فرمت داده‌های جمعیتی ورودی به BenMAP-CE ----- ۶۷
- شکل ۱۶-۳. فرمت تابع اثرات سلامت استفاده شده در BenMAP-CE ----- ۶۸
- شکل ۱۷-۳. صفحه تنظیم نوع تغییر توزیع آلودگی تبریز، ۱۰۰ درصد کاهش ----- ۷۰
- شکل ۱۸-۳. نمایش توزیع تغییرات غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  تحت سناریوی رسیدن به حداقل غلظت ----- ۷۰
- شکل ۱۹-۳. انتخاب تابع اثرات سلامت برای شروع اجرای تحلیل ----- ۷۲
- شکل ۲۰-۳. تنظیمات پیشرفته حداقل غلظت قبل از شروع تحلیل ----- ۷۲
- شکل ۲۱-۳. نمایش خروجی‌های محاسبه شده و تجمیع آن‌ها برای کل شبکه ----- ۷۳
- شکل ۲۲-۳. تجمیع مکانی نتایج از سطح مناطق به کل تبریز ----- ۷۴

- شکل ۳-۲۳. مراحل تلفیق نتایج (الف) ----- ۷۵
- شکل ۳-۲۴. مراحل تلفیق نتایج (ب) ----- ۷۵
- شکل ۳-۲۵. استفاده از منوی تلفیق نتایج برای سنین مختلف (پ) ----- ۷۶
- شکل ۳-۲۶. تلفیق نتایج اجرای تحلیل برای کل تبریز و یک گروه سنی بزرگسال ----- ۷۷
- شکل ۴-۱. هرم جمعیت شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۸۶
- شکل ۲-۲. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از داده‌های BenMAP-CE طبق استاندارد WHO (۳ رنگ) ----- ۹۱
- شکل ۴-۳. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از داده‌های BenMAP-CE (۵ رنگ) ----- ۹۱
- شکل ۴-۴. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش Kriging طبق استاندارد WHO (۳ رنگ) ----- ۹۲
- شکل ۴-۵. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش Kriging (۵ رنگ) ----- ۹۲
- شکل ۴-۶. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش IDW طبق استاندارد WHO (۳ رنگ) ----- ۹۳
- شکل ۴-۷. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش IDW (۵ رنگ) ----- ۹۳
- شکل ۴-۸. تغییرات درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در سنین مختلف در تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۹۸
- شکل ۴-۹. تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  به تفکیک سن و علت مرگ در شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۹۹
- شکل ۴-۱۰. نرخ مرگ‌ومیر (در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت) ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۱۰۱

## فهرست جداول

- جدول ۳-۱. جمعیت و مساحت مناطق تبریز (شهرداری تبریز) ----- ۴۱
- جدول ۳-۲. تعداد موارد مرگ (غیرتصادفات) شهر تبریز به تفکیک علت مرگ و گروه سنی در سال ۱۳۹۶ ----- ۴۸
- جدول ۳-۳. پارامترهای تخمین مرگ به روش GEMM برای سنین مختلف (Burnett et al., 2018) ----- ۵۲
- جدول ۳-۴. نرخ دیه در کشور ایران در سال ۱۳۹۶ (سایت تابناک، ۱۳۹۸) ----- ۸۴
- جدول ۳-۵. نرخ ارز در سال ۱۳۹۶ ----- ۸۴
- جدول ۴-۱. جمعیت شهر تبریز به تفکیک سن و جنس برای سال ۱۳۹۶ (مرکز آمار ایران و محاسبات نویسنده) --- ۸۷
- جدول ۴-۲. اطلاعات پردازش شده ایستگاه‌های سازمان محیط‌زیست شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۸۹
- جدول ۴-۴. تخمین YLL ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  به تفکیک سن در شهر تبریز برای سال ۱۳۹۶، بر اساس مرگ‌ومیر GEMM و امید به زندگی IHME ----- ۹۶
- جدول ۴-۵. تعداد موارد مرگ افراد بزرگسال (بزرگتر از ۲۵ سال) ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  هوای آزاد در شهر تبریز --- ۹۷
- جدول ۴-۶. تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در بین بزرگسالان به تفکیک علت مرگ در مناطق تبریز در سال ۱۳۹۶ ----- ۱۰۰
- جدول ۴-۷. نرخ مرگ ناشی از آلاینده در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت ----- ۱۰۱
- جدول ۴-۸. تعداد مرگ‌ومیر قابل اجتناب ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در بزرگسالان در سناریوهای مختلف تغییر آلودگی در سال ۱۳۹۶ ----- ۱۰۲
- جدول ۴-۹. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در تبریز براساس VSL و به تفکیک علت مرگ ----- ۱۰۳
- جدول ۴-۱۰. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  تبریز سال ۱۳۹۶ براساس VSL ----- ۱۰۴
- جدول ۴-۱۱. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  تبریز از سه روش VSL، VOLY و دیه ----- ۱۰۶

## فهرست علایم

|                   |                                                                    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|
| AAP               | آلودگی هوای آزاد                                                   |
| AQI               | شاخص کیفیت هوا                                                     |
| BenMAP            | نرم افزار ترسیم و ارزیابی مزایای محیط زیستی                        |
| BIR               | نرخ بروز پایه                                                      |
| COD               | علل مرگ                                                            |
| COPD              | بیماری مزمن انسداد ریوی                                            |
| DALY              | تعداد سال های ازدست رفته عمر به واسطه مرگ و یا ناتوانی (شاخص دالی) |
| EPA               | آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا                                       |
| GEMM              | مدل جهانی مواجهه-مرگ                                               |
| GBD               | مطالعه ی جهانی بار بیماری ها                                       |
| GDP               | تولید ناخالص داخلی                                                 |
| HIF               | تابع تاثیر سلامت                                                   |
| IDW               | وزن دهی شده با معکوس فاصله                                         |
| IHD               | بیماری ایسکمیک قلبی                                                |
| IHME              | انیستیتو معیارها و ارزیابی سلامت                                   |
| LC                | سرطان ریه                                                          |
| LRI               | عفونت های حاد مجاری تنفسی تحتانی                                   |
| NCD               | بیماری های غیرواگیر                                                |
| OECD              | کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه                          |
| PM <sub>2.5</sub> | ذرات جامد با قطر آیرودینامیکی کمتر و مساوی ۲.۵ میکرومتر            |
| PPP               | برابری قدرت خرید                                                   |
| VNA               | میانگین همسایگی ورونویی                                            |
| VSL               | ارزش زندگی آماری                                                   |
| WHO               | سازمان جهانی بهداشت                                                |
| WTP               | تمایل به پرداخت                                                    |
| YLL               | سال های ازدست رفته عمر به واسطه مرگ                                |

# فصل ۱:

## کلیات تحقیق

## ۱-۱- مقدمه

آلودگی هوا در عصر حاضر یکی از معضلات کلان شهرها می باشد. این مشکل به خصوص در کشورهای توسعه یافته یا در حال توسعه بسیار شدید است. به دلیل اینکه آلودگی هوا باعث آسیب رسیدن به سلامتی شهروندان شده و همچنین اثرات مخرب بر روی محیط زیست می گذارد، این معضل بایستی بسیار جدی گرفته شود و همچنین باید اقدامات پیشگیرانه جهت محدود کردن آن صورت گیرد؛ مطابق آمار ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup> (WHO)، آلودگی هوای آزاد که پنجمین عامل مرگ و میر زودرس در جهان بوده، تنها در سال ۲۰۱۷ منجر به مرگ بیش از ۴/۹ میلیون نفر و از دست دادن ۱۴۷ میلیون سال زندگی سالم<sup>۲</sup> در جهان شده است [۱].

در بسیاری از شهرهای بزرگ جهان و از جمله در کشورمان ایران، شهرهای تهران، تبریز، اصفهان، مشهد، کرج، اراک، اهواز و شیراز، غلظت برخی از آلاینده های هوا از استانداردهای ملی و بین المللی به مراتب بیشتر می باشد و برآورد می شود که با احتساب پدیده طوفان های گرد و غبار، جمعیتی بالغ بر چهل میلیون نفر، یعنی حدود نیمی از جمعیت کل کشور در معرض درجاتی از آلودگی هوا قرار داشته باشند [۲].

امروزه بحث آلودگی هوا یک موضوع مهم در ارتباط با بهداشت و سلامتی انسان ها مطرح است. اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا روز به روز افزایش یافته و نگرانی های زیادی به همراه دارد [۳].

نتایج مطالعه برآورد بار جهانی بیماری های ناشی از آلودگی هوا توسط سازمان جهانی بهداشت نشان می دهند که ۸۹٪ از کل مرگ ها ناشی از بیماری های قلبی-تنفسی بوده اند [۴]. با توجه به اینکه منابع زیست محیطی به تمامی نسل ها تعلق دارد و حفظ آن برای نسل های آینده وظیفه همگانی است. لذا باید تعادلی در زمینه استفاده از منابع

---

<sup>1</sup> World Health Organization

<sup>2</sup> Years of healthy life lost

زیست‌محیطی و همچنین توسعه فعالیت‌های تولیدی در افق بلندمدت برقرار نمود. لذا برای جلوگیری از وخیم شدن شرایط و کاهش اثرات سو این آلودگی هوا باید مطالعات بیشتری انجام گیرد [۵]. از آنجا که میزان آلودگی در دهه‌های اخیر در برخی از کلان‌شهرهای ایران به خاطر توسعه غیر اصولی صنایع، وسایل نقلیه و استفاده‌های زیاد از سوخت‌های فسیلی به مرز بحران رسیده است. ضرورت دارد تا با مدل‌سازی اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا، یک راهنمای مناسب جهت مدیران و برنامه‌ریزان کشور ارائه گردد [۶].

## ۱-۲- تعریف مسئله

یکی از مهم‌ترین خطراتی که در راستای پیشرفت‌های انسان در سال‌های اخیر، شرایط زندگی وی را نیز به خطر انداخته است، آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. در این میان آلودگی هوا از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۷]. از زمان ایجاد آتش، آلودگی هوا با انسان بوده است. منشا عمده آلودگی هوا در اوایل انقلاب صنعتی عمدتاً صنایع و سوخت زغال سنگ بوده است اما در قرن بیست و یک مسئولیت آلودگی هوا در شهرها با حمل و نقل درون شهری می‌باشد [۸]. آلودگی هوا یکی از تبعات رشد زندگی شهری، استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی، به کار نگرفتن تکنولوژی‌های سازگار با محیط‌زیست و از همه مهم‌تر نبود مدیریت صحیح محیط‌زیست است [۹]. امروزه با افزایش جمعیت شهرها و همچنین صنعتی شدن اغلب شهرهای بزرگ غلظت آلاینده‌های هوا به سرعت افزایش یافته است و میزان آن را بیش از حد ظرفیات قابل تحمل محیط نموده است و باعث بروز انواع بیماری‌های تنفسی و تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی در ساکنان شهرها شده است. براساس نتایج مطالعات همه گیرشناسی طی دو دهه اخیر در سراسر جهان کلیه اشکال آلاینده‌ها از خطرات جدی سلامت انسان‌ها به حساب می‌آیند [۱۰]. اگر چه در کشورهای توسعه یافته با استفاده از سرمایه گذاری‌ها و فناوری‌های نوین، پیشرفت زیادی در زمینه کنترل آلودگی هوای شهرها حاصل شده است اما کشورهای در حال توسعه در این رابطه با مشکلات

جدی مواجهه هستند [۵]. با توجه به اینکه کشور ایران در حال توسعه بوده، روز به روز بیشتر متاثر از تمدن ماشینی شدن می‌شود، لذا در زمینه مربوط به آلودگی هوا وضعیت خوبی ندارد و از این نظر دچار مشکلات زیادی است [۹]. امروزه مهم‌ترین مشکل زیست‌محیطی و بهداشتی شهرهای بزرگ و کلان‌شهرهایی مثل تبریز، آلودگی هوا می‌باشد و زندگی افراد جامعه شهری تحت تاثیر این مساله قرار گرفته‌است [۱۱]. مطابق نتایج گزارش سال ۲۰۱۶ سازمان جهانی بهداشت، تعداد مرگ‌های زودهنگام منتسب به آلودگی هوای آزاد در ایران، سالیانه بیش از ۲۶۰۰۰ مرگ تخمین زده شده، که با توجه به جمعیت و آلودگی بالای کلان‌شهر تبریز، درصد قابل توجهی از این مرگ‌ها مربوط به شهر تبریز است. این تعداد مرگ‌ومیر و اثرات منفی آلودگی هوا که به تبع، هزینه‌های اجتماعی فراوانی را به کلان‌شهرها تحمیل می‌کند، لزوم اجرای برنامه‌های کاهش و کنترل تولید آلودگی را جهت به حداقل رساندن هزینه‌ها به شدت نشان می‌دهد. اما در ابتدا می‌توان با ابزارهای مدل‌سازی وضعیت موجود و آتی، در خصوص آلودگی هوا و تغییرات مکانی و زمانی آن، آثار این آلودگی بر سلامت شهروندان و تعداد مرگ‌ومیر و هزینه‌های منتسب، به نتایج قابل اتکایی رسیده و با تعریف سناریوهای مختلف کاهش یا افزایش تولید آلودگی، تغییرات بر توزیع غلظت‌ها، تعداد مرگ‌ومیرها و منافع یا مضرات حاصل از این تغییرات را پیش‌بینی کرد [۱۲].

### ۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

پدیده آلودگی هوا از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی می‌باشد که سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند، تاثیر آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های بهداشتی و یک معضل و مشکل جهانی است [۱۳]. مساله آلودگی هوا و کنترل آن بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در این خصوص استفاده از برنامه‌های مدیریتی برای کنترل و کاهش آلودگی هوا از مهم‌ترین راهکارهای اجرایی محسوب می‌شود [۱۱]. قرارگرفتن در معرض آلاینده‌های هوا تا حدی خارج از کنترل افراد است و نیاز به اقدام مقامات دولتی در سطوح منطقه‌ای، ملی و حتی بین‌المللی

می‌باشد [۱۳]. اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا روز به روز افزایش می‌یابد و نگرانی‌های زیادی را به همراه دارد [۳]. در تمام جوامع، نظارت و کنترل کیفیت هوا به عنوان امری اجتناب ناپذیر در راس مسایل ملی مطرح است [۱۴]. طبق محاسبات سازمان بهداشت جهانی تقریباً هر سال ۱۵۰۰۰۰ نفر در جنوب آسیا در اثر بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و سرطان ریه ناشی از آلودگی هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند. لذا آگاه نمودن تصمیم‌گیران و عموم مردم از میزان اثرات بهداشتی آلودگی هوا اولین مرحله اصلی در توسعه برنامه‌های راهبردی موفق کنترل آلاینده‌ها محسوب می‌شود [۱۵]. از آنجایی که آلودگی هوا باعث ایجاد خطرات و مشکلات سلامتی برای انسان‌ها و جانداران می‌شود مسئولان و محققان با اندازه‌گیری شاخص‌های آلودگی هوا اقدام به بررسی کیفیت هوا می‌نمایند تا با استفاده از نتایج حاصل از آن به ارزیابی خطرات و اعمال راهکارهای مدیریتی بپردازند. با توجه به افزایش آلودگی در شهرها آگاهی از کیفیت هوا در دوره‌های زمانی و روند تغییرات آلاینده‌های هوا می‌تواند نقش موثری در مدیریت سلامت شهری داشته باشد [۱۶].

### ۱-۳-۱- هزینه آلودگی هوا در ایران

برآورد دقیق هزینه‌های آلودگی هوای تبریز مستلزم انجام مطالعات وسیع اپیدمیولوژیک و در نظر گرفتن انواع خسارات جانی و مالی آن است. تعیین تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از آلودگی هوا، تعداد سال‌های ازدست‌رفته‌ی عمر و تعداد سال‌های زندگی توأم با ناتوانی، ازجمله پارامترهای موردنیاز است. همچنین میزان مراجعات به مراکز درمانی و نیز هزینه‌های سالیانه درمانی مرتبط به بیماری‌ها و عوارض ناشی از آلودگی هوا باید محاسبه و برآورد شود؛ لیکن با توجه به عدم امکان تهیه آسان این اطلاعات، می‌توان با استفاده از اطلاعات و گزارش‌های ملی و بین‌المللی موجود، جهت تخمین و محاسبه هزینه‌های خارجی آلودگی هوای تبریز اقدام نمود.

### ۱-۳-۲- جمع بندی ضرورت تحقیق

با توجه به مطالب ارائه شده، در جمع بندی ضرورت تحقیق، علت انتخاب جنبه های مختلف موضوع را می توان در موارد زیر برشمرد:

- آلودگی هوای تبریز: مهم ترین مشکل محیط زیستی شهر
- ذرات معلق: آلاینده اصلی ناسالم شدن روزهای آلوده
- مدیریتی: مسأله بیشتر مدیریتی است تا کارشناسی
- اقتصادی: هزینه آلودگی هوای تبریز شفاف نیست
- کاربردی: از صرف وقت، منفعت کاربردی حاصل شود
- اولویت های پژوهشی: اولویت مدیریت شهری محسوب می شود

### ۱-۴-۲- فرضیه، پرسش ها و اهداف تحقیق

#### ۱-۴-۱- فرضیه پژوهش

- وضعیت غلظت آلاینده های هوای شهر تبریز در مناطق مختلف شهری طی سال های اخیر افزایش یافته است.
- تعداد بیماران قلبی و عروقی و تنفسی ناشی از آلاینده های هوا در مناطق مختلف شهری طی سال های اخیر افزایش یافته است.
- تعداد مرگ و میر ناشی از آلاینده های هوا در مناطق مختلف شهری طی سال های اخیر افزایش یافته است.
- هزینه های اقتصادی ناشی از آلودگی هوا در مناطق مختلف شهری با افزایش غلظت آلاینده ها افزایش می یابد.

- ابزارهای نرم‌افزاری مانند AirQ تعداد بیماری‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده‌های هوا را در مناطق مختلف شهر تبریز آمار بالایی نشان می‌دهند.

#### ۱-۴-۲- پرسش‌های پژوهش

- آلودگی هوای ( $PM_{2.5}$ ) سطح شهر در وضعیت موجود چه میزان مرگ‌ومیر زودرس ایجاد کرده و هزینه‌های آن چه میزان برآورد می‌گردد؟
- کاهش و افزایش غلظت آلودگی ( $PM_{2.5}$ ) در متوسط غلظت‌ها و توزیع‌های مکانی مختلف، چه تأثیری بر سلامت افراد ساکن در تبریز دارد؟

#### ۱-۴-۳- اهداف پژوهش

هدف اصلی :

آشکارشدن ارتباط بین کاهش غلظت ذرات معلق و کاهش تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آن.

اهداف عملیاتی:

بررسی وضعیت موجود کمی و کیفی آلودگی ذرات معلق شهر تبریز و محاسبه میزان خسارات مرگ‌ومیر ناشی از آن براساس داده‌ها و اطلاعات موجود.

#### ۱-۵- رویکرد پژوهش

یکی از روش‌های مورد استفاده جهت محاسبه خسارات آلودگی هوا، تعیین تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از آلودگی هوا و تبدیل آن به معادل پولی است. با استفاده از مطالعات کوهورت<sup>۱</sup> که طی سال‌های متمادی و بر تعداد افراد متعدد انجام می‌گیرد، رابطه‌ای تجربی ما بین تغییرات غلظت آلودگی آلاینده، که افراد در معرض آن قرار دارند و

---

<sup>1</sup> Cohort

تغییرات مرگومیر به دست می‌آید. با توجه به معتبر بودن این روابط، در گزارش‌های جهانی از آن‌ها استفاده می‌شود. در این پایان‌نامه نیز با استفاده از آخرین روابط ارائه شده و جمع‌آوری و داده‌های مورد نیاز دیگر هم‌چون جمعیت و غلظت آلاینده و مطابق مراحل زیر، سعی در برآورد و محاسبه خسارات شده است.

مطالعات مرتبط با موضوع از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و جستجوهای کامپیوتری جمع‌آوری و نکات مهم و مرتبط با موضوع پایان‌نامه ثبت شد. داده‌های مورد نیاز تحقیق از سازمان‌های مربوطه اخذ شد. جمعیت سرشماری‌های انجام شده از سایت مرکز آمار ایران و شهرداری تبریز و هم‌چنین غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  از سازمان محیط زیست تبریز اخذ شد. از دیگر داده‌های مورد نیاز، تعداد مرگومیر پایه، تولید سرانه ملی و نرخ دیه است. با توجه به مطالعات پیشین انجام شده، داده‌های مرتبط اخذ شده، پس از انجام تحلیل‌های آماری لازم، داده‌های مرحله قبل به اطلاعات تبدیل شده و تصویر روشنی از وضعیت و تغییرات آلودگی هوای تبریز و اثرات و هزینه‌های مرتبط با آن ارائه شده است. در تخمین تعداد مرگومیر از نرم افزار 'BenMAP-CE' استفاده شد. در این مرحله سناریوهای کاهش یا افزایش غلظت آلودگی و توزیع‌های مختلف آن در سطح شهر و در ایستگاه‌های مختلف تعیین شده و محاسبات اثرات بر سلامت و اثرات اقتصادی برای هر سناریو تکرار شده و روند تغییرات اثرات بر حسب تغییرات غلظت آلاینده و هم‌چنین تغییرات زمانی این اثرات به دست آمد.

---

<sup>1</sup> Environmental Benefits Mapping and Analysis Program

## ۱-۶- فصل بندی پایان نامه

این پایان نامه در ۵ فصل ارایه گردیده که در این بخش معرفی خواهند شد.

• در فصل اول **کلیات تحقیق** ارایه شده که در آن به بیان موضوع، اهمیت و ضرورت انجام تحقیق و در پایان به اهداف تحقیق پرداخته شده است.

• در فصل دوم با عنوان **مبانی نظری و پیشینه تحقیق**، پس از بیان تعاریف، اصول و مبانی نظری موضوع و بررسی مدل های متداول تعیین اثرات، مطالعات مرتبط، در هر یک از سه موضوع اندازه گیری ها، اثرات بر سلامت عمومی و اثرات اقتصادی، به ترتیب زمانی تشریح شده است.

• در فصل سوم با عنوان **مراحل انجام پژوهش**، پس از بیان محدوده زمانی و مکانی پژوهش یعنی مناطق ۱۰ گانه تبریز در سال ۱۳۹۶، ابتدا داده های مورد نیاز و روش تهیه و تحلیل آن ها بیان شده و نحوه برآورد خسارات ناشی از آلودگی هوا با استفاده از داده ها تشریح و ابزار نرم افزاری استفاده شده معرفی گردیده است.

• در فصل چهارم با عنوان **نتایج تحقیق**، پس از ارایه نتایج حاصل از تعیین جمعیت در معرض آلودگی و غلظت آلاینده در سال ۱۳۹۶، تعداد مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا برای سال ۱۳۹۶، علل مختلف مرگ، ارایه و بررسی شده و همچنین نتایج برآورد خسارات از سه روش ارزش زندگی آماری، ارزش یک سال زندگی و روش اسلامی دیه تشریح شده است.

در فصل پنجم با عنوان **نتیجه گیری و پیشنهادات**، به طور خلاصه به جمع بندی نتایج و پیشنهادات و همچنین محدودیت های پیش آمده برای انجام پژوهش پرداخته شده است.



## فصل ۲:

### مبانی نظری و پیشینه تحقیق

## ۲-۱- مقدمه

در فصل قبل به کلیات تحقیق پرداخته شد. بدین معنی که بیان مساله و ضرورت بررسی موضوع در محدوده مورد مطالعه، و همچنین فرضیات و اهداف تحقیق به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت. در هر مطالعه و تحقیقی به منظور اطلاع محقق از کارهای انجام شده در گذشته، مطالعاتی صورت می‌گیرد که این مطالعات انجام شده باعث جلوگیری از انجام تحقیقات تکراری می‌شود و همچنین کم و کیف کارهای انجام شده را در اختیار محقق قرار می‌دهد. با توجه به این موضوع در این تحقیق نیز به دنبال آگاهی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان به موارد ذیل می‌پردازیم:

## ۲-۲- اندازه‌گیری و مدل‌سازی‌های مرتبط

در سال ۱۳۹۳ در تحقیقی که توسط وحید یونسی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر با عنوان "بررسی تأثیر سناریوهای مختلف کاهنده‌ی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از مدل ترکیبی WRF-CAMx" انجام گرفت، از داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر جهت اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی استفاده شد و با تغییر در پارامترهای مدل، سناریوهای استفاده از کاتالیزور در آگروز وسایل نقلیه، گازسوز کردن آن‌ها و تغییر کاربری اراضی در اطراف شهر تهران به صورت کمی بررسی گردیده است. مطابق نتایج این تحقیق، تغییر در کاربری‌ها نقش بسیار کم، و استفاده از کاتالیزور و سوخت پاک تأثیر بسیار زیادی در کاهش غلظت آلاینده‌ها در سطح شهر خواهد داشت [۱۷].

در سال ۲۰۱۶ در تحقیقی با عنوان "ارزیابی منافع کاهش آلودگی هوای شهری" که توسط میراندا<sup>۱</sup> و همکاران برای سال ۲۰۱۲ در شهر پرتو<sup>۲</sup> کشور پرتغال انجام شد، با اجرای مدل TAPM<sup>۳</sup> در دامنه‌ای به ابعاد ۸۰ × ۸۰ کیلومتر مربع و دقت ۱ × ۱ کیلومتر مربع، تاثیرات چهار سناریوی زیر بر کاهش غلظت آلاینده‌های PM<sub>10</sub> و NO<sub>2</sub> مورد بررسی قرار گرفت. چهار سناریو عبارت‌اند از ۱- جایگزینی ۱۰ درصد از وسایل نقلیه زیر کلاس EURO3 با وسایل نقلیه هیبریدی ۲- اجرای ممنوعیت تردد وسایل نقلیه زیر کلاس EURO3 در یک محدوده پر ترافیک ۳- تعویض ۵۰ درصد از اجاق‌های خانگی چوبی با تجهیزات پیشرفته‌تر ۴- استفاده از تکنولوژی‌های پاک‌تر در صنایع احتراقی و کارخانه‌های تولیدی، به طوری که موجب کاهش ۱۰ درصدی انتشار آلاینده PM<sub>10</sub> گردد. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از سناریوها، تغییر قابل ملاحظه‌ای در کیفیت هوای شهر نخواهند داشت و با اجرای همزمان کلیه سناریوها، ۴/۵ درصد از آلودگی دو آلاینده فوق کاهش خواهد یافت [۱۸].

در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۰ در شهر تبریز با عنوان "بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز براساس تحلیل مولفه‌های اصلی" انجام شد، از مدل رگرسیون چند متغیره برای تعیین وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر غلظت آلودگی هوا در مرکز شهر تبریز می‌توان به عوامل انسانی مانند تراکم جمعیت روزانه، ترافیک سنگین در طول روز، کمبود فضای سبز و حجم بالای خودروهای ترددکننده اشاره نمود که موجب افزایش میانگین غلظت آلاینده‌های PM<sub>10</sub>، SO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub> و O<sub>3</sub> می‌گردد. همچنین عواملی چون سرعت باد در سه فصل تابستان، پاییز و زمستان، جهت باد در فصل‌های سرد سال و دما در فصل زمستان، داده‌های اقلیمی تاثیرگذار در افزایش غلظت آلاینده‌ها در شهر تبریز بوده‌اند [۱۹].

---

<sup>1</sup> Miranda

<sup>2</sup> Porto

<sup>3</sup> The Air Pollution Model (TAPM)

## ۲-۳- اثرات بر سلامت عمومی

در سال ۱۳۹۵ در تحقیقی که توسط حسن خرسندی و همکاران با عنوان "ارزیابی اثرات بهداشتی مواجهه با آلاینده‌های ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و دی‌اکسید گوگرد هوای شهر ارومیه با استفاده از مدل AirQ" که برای سال ۱۳۹۲ با استفاده از مدل کامپیوتری AirQ انجام شد، تعداد کل مرگ ناشی از آلاینده دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون به ترتیب ۱۲۱ و ۱۵۸ نفر برآورد گردیدند. تعداد بستری در بیمارستان به دلیل بیماری‌های تنفسی و قلبی ناشی از آلاینده دی‌اکسید گوگرد ۲۵ و ۴۶ نفر و تعداد موارد بستری در بیمارستان به دلیل بیماری‌های تنفسی و قلبی ناشی از ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون به ترتیب ۴۸۲ و ۱۸۷ نفر تعیین شدند [۲۰].

در تحقیقی که در سال ۱۳۹۳ توسط گودرزی و همکاران با عنوان "برآورد اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از مدل AirQ در شهر اهواز در سال ۱۳۸۸" انجام شد، با توجه به نتایج، تعداد موارد تجمعی مرگ قلبی-عروقی با توجه به برآورد حد وسط خطر نسبی در اثر تماس با آلاینده PM<sub>10</sub> طی یکسال ۶۱۲ نفر بوده است که ۵۲ درصد این تعداد مربوط به غلظت کمتر از ۳۰۰ میکروگرم برمترمکعب است. همچنین تعداد موارد تجمعی مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی با توجه به برآورد حد وسط خطر نسبی در اثر تماس با آلاینده PM<sub>10</sub> طی یکسال ۱۱۴ نفر بوده است. تعداد تجمعی موارد مراجعه سرپایی به علت بیماری تنفسی ناشی از آلاینده PM<sub>10</sub> در یکسال ۱۵۵۱ نفر بوده است [۲۱].

در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۵ با عنوان "ارزیابی اثرات بهداشتی ناشی از PM<sub>2.5</sub> در هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۲" با استفاده از مدل AirQ2-3-3 انجام شد، در این مطالعه ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای انتخاب شده ۴ ایستگاه بودند، که در مجموع تعداد داده‌های جمع‌آوری شده از این ایستگاه‌ها ۶۹۹۵ بود. نتایج نشان داد که

فصول سرد سال بالاترین میزان آلودگی هوا را دارند و در بعضی موارد میزان  $PM_{2.5}$  از میزان استاندارد بیشتر شده بود. همچنین نتایج نشان داد که تعداد موارد کل مرگ و میر، مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و مرگ ناشی از بیماری تنفسی به ترتیب ۳۳۱، ۲۶۳ و ۳۲ بوده است [۲۲].

در یک مطالعه انجام شده با عنوان " ترکیب مدل رگرسیون کاربری زمین<sup>۱</sup> و نرم افزار BenMAP-CE برای برآورد منافع سلامت عمومی ناشی از کاهش آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تیانجین<sup>۲</sup> کشور چین"، بر طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، میزان غلظت  $PM_{2.5}$  سالیانه در تیانجین ۸۶ میکروگرم بر متر مکعب بوده است که ۴ روز اول سال بین ۰ تا ۱۵ میکروگرم بر مترمکعب، ۵۴ روز بعد بین ۱۶ تا ۳۵ میکروگرم بر مترمکعب، ۱۳۷ روز بعد بین ۳۶ تا ۷۵ میکروگرم بر مترمکعب و ۱۷۰ روز بعد بالای ۷۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. بر طبق تحلیل انجام شده توسط نرم افزار BenMAP-CE، اگر میزان غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  از ۸۶ میکروگرم بر مترمکعب به ۷۵ میکروگرم بر مترمکعب کاهش یابد میزان مراجعه به بیمارستان ۸۵۰۰۰ نفر و میزان مرگ ناشی از آلودگی هوا ۳۰۰۰ نفر کاهش می‌یابد، و اگر غلظت  $PM_{2.5}$  به ۳۵ میکروگرم بر مترمکعب کاهش یابد بر طبق برآورد BenMAP-CE ۱۸۰ میلیون یوان در هزینه‌های بیمارستانی صرفه‌جویی می‌شود [۲۳].

تحقیقی در سال ۲۰۱۶ در شهر گوانگجو<sup>۳</sup> چین که یکی از بزرگترین و آلوده‌ترین شهرهای چین می‌باشد با عنوان " ارزیابی اثرات ناشی از آلودگی‌های ایجاد شده در مسابقات آسیایی سال ۲۰۱۰ با استفاده از نرم‌افزار BenMAP-CE " انجام شد. در سال ۲۰۱۰ بازی‌های آسیایی در آن شهر برگزار شد. سال ۲۰۱۰ میزان آلودگی در این شهر به سبب بازی‌های آسیایی و جمعیت وارد شده در این شهر به بالاترین سطح خود رسید. به همین جهت طبق برآورد این تحقیق اگر میزان غلظت روزانه  $PM_{2.5}$  نسبت به سال ۲۰۰۹، ۳.۵ میکروگرم بر متر مکعب کاهش یابد،

<sup>1</sup> land use regression (LUR) model

<sup>2</sup> Tianjin

<sup>3</sup>Guangzhou

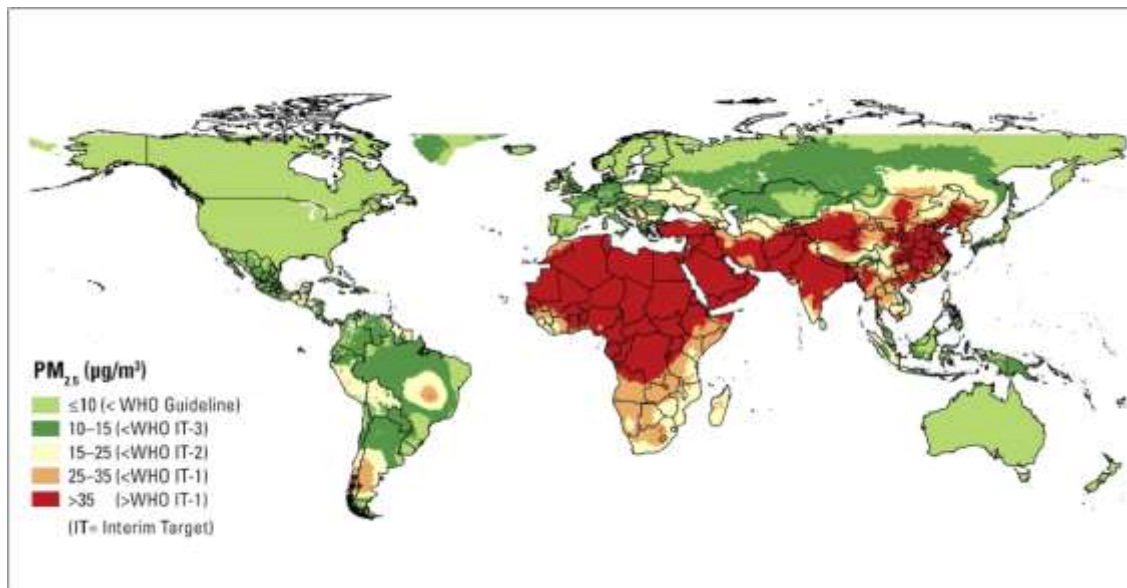
نرخ مرگومیر روزانه ۱۰۶ نفر، تعداد افراد بستری شده در بیمارستان ۱۸۶۹ نفر و تعداد افراد معالجه شده به صورت سرپایی ۲۰۰۲۶ نفر در روز کاهش می یابد، و طبق برآورد نرم افزار BenMAP-CE میزان بودجه کل صرفه جویی شده در روز ۱۶۵ میلیون یوان چین کاهش می یابد [۲۴].

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ با عنوان "مواجهه با ذرات معلق ( $PM_{2.5}$ ) در سطح ملی و استانی و بیماری‌های ناشی از آن در ایران از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶" انجام شد، نتایج نشان می‌دهد که فقط در سال ۲۰۱۶ به علت مواجهه بلندمدت با آلاینده  $PM_{2.5}$ ، ۴۱۰۰۰ مرگ و ۳۰۰۰۰۰۰۰ میلیون سال از دست رفته رخ داده‌است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ در مناطق و استان‌های غربی ایران میزان مرگومیر زیاد می‌باشد. داده‌های غلظت  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  در این تحقیق از ۹۱ ایستگاه سطح کشور جمع‌آوری شده‌است [۲۵].

در گزارشی که در سال ۲۰۱۹ از سوی انستیتو اثرات سلامت و بهداشت<sup>۱</sup> و همچنین انستیتو سنجش و ارزیابی سلامت<sup>۲</sup> با عنوان گزارش وضعیت جهانی هوا منتشر شد، تهدیدات مؤثر بر سلامتی انسان، براساس تعداد مرگومیر در گروه‌های مختلف سنی مردان و زنان، طبقه‌بندی شده‌است و با توجه به این گزارش آلاینده  $PM_{2.5}$  پنجمین عامل مرگومیر زودرس در جهان است. در شکل ۱-۲ وضعیت غلظت سالیانه ( $PM_{2.5}$ ) در کشورهای مختلف جهان با رنگ‌های مختلف نشان داده شده‌است. رنگ سبز روشن کشورهایی را نشان می‌دهد که غلظت این آلاینده در محدوده مجاز سازمان جهانی بهداشت قرار داشته و رنگ قرمز مربوط به کشورهایی است (از جمله ایران) که میزان غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$ ، بالاتر از حداقل‌ترین استانداردهای سازمان جهانی بهداشت است. این گزارش نشان می‌دهد، ۹۲ درصد جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که غلظت سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  در آن‌ها بیشتر از استانداردهای سازمان جهانی بهداشت قرار داشته‌است [۱].

<sup>1</sup> Health Effects Institute

<sup>2</sup> IHME



شکل ۱-۲. غلظت سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  در کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۷ (Health Effects institute, 2019)

در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۲ با عنوان "اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در هوای کلان‌شهر تبریز" به چاپ رسید، میزان اثرات بهداشتی ناشی از  $PM_{10}$  توسط مدل AirQ2-2-3 محاسبه و برآورد شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به طور متوسط ۵/۹۴ درصد موارد مرگ طبیعی، ۶/۳۹ درصد مرگ ناشی از عارضه قلبی-عروقی، ۹/۲۸ درصد موارد مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی، ۷/۱۳ درصد موارد پذیرش در بیمارستان‌ها بواسطه بیماری قلبی-عروقی و ۶/۳۹ درصد پذیرش بیمارستانی بر اثر بیماری تنفسی به آلاینده  $PM_{10}$  موجود در هوا با غلظت بالای ۱۰ میکروگرم برمترمکعب نسبت داده می‌شود [۲۶].

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۹ با عنوان "اثرات سلامت و هزینه‌های مربوط به آلودگی هوای محیط تهران" انجام شد از مدل BenMAP-CE برای برآورد و محاسبه میزان مرگ‌ومیر و هزینه‌های ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  استفاده شد. نتایج بدست آمده از تحقیق نشان داد که با استفاده از تابع  $GEMM^1$  مرگ منتسب به  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۷

<sup>1</sup> Global Exposure Mortality Model

برای بزرگسالان ۶۴۱۸ نفر برآورد گردید. هم‌چنین کل مزایای اقتصادی سالانه (۱۳۹۷) کاهش غلظت  $PM_{2.5}$  به سطح ۲/۴ میکروگرم برمترمکعب با استفاده از روش یک سال زندگی برابر ۰/۶۴۴ میلیارد دلار و با استفاده از روش زندگی آماری برابر ۲/۶۹۱ میلیارد دلار برآورد شد [۲۷].

در سال ۲۰۱۸ پژوهشی با عنوان " روند طولانی مدت و اثرات سلامت  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  در تهران، ۲۰۱۵-۲۰۰۶ " انجام شد. در این پژوهش از نرم افزار  $AirQ^+$  استفاده شده‌است. در این مطالعه تعداد موارد مرگ منتسب به مواجهه با  $PM_{2.5}$  هوای آزاد، برای میانگین غلظت سالیانه بیش از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۰ میکروگرم برمترمکعب) را از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ با استفاده از روش IER برآورد کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شهروندان تهرانی در کل دوره مورد مطالعه در معرض غلظت سالانه  $PM_{2.5}$  بیش از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۰ میکروگرم برمترمکعب) و سطح استاندارد ایران (۱۲ میکروگرم برمترمکعب) بودند. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض طولانی مدت  $PM_{2.5}$  مسبب ۲۴/۵٪ تا ۳۶/۲٪ مرگ‌ومیر ناشی از سکته مغزی، ۱۹/۸٪ تا ۲۴/۱٪ مرگ‌ومیر ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی و ۱۳/۶٪ تا ۱۹/۲٪ مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه است. با توجه به نتایج به عنوان مثال برای سال ۲۰۱۵، با فرض جمعیت در معرض ۴،۷۰۰،۰۰۰ (افراد بزرگ‌تر از ۳۰ سال) و میانگین سالیانه غلظت ۳۵/۲ میکروگرم برمترمکعب، کل مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  را ۳۷۵۵ نفر برآورد نمودند [۲۸].

مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۵ با عنوان " کمی‌سازی پیامدهای بهداشتی مواجهه با آلاینده  $PM_{2.5}$  در هوای شهر تبریز با استفاده از مدل  $AirQ$  در سال ۱۳۹۳ " چاپ شد. در این مطالعه جهت برآورد تعداد مرگ، پذیرش بیمارستانی و بیماری قلبی-عروقی و تنفسی ناشی از مواجهه با  $PM_{2.5}$  از نرم افزار  $AirQ2.2.3$  ارایه شده توسط دفتر اروپایی محیط‌زیست و سلامت سازمان جهانی بهداشت استفاده شد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تعداد موارد کل مرگ، مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و پذیرش بیمارستانی به دلیل بیماری قلبی-عروقی و تنفسی ناشی

از آلاینده  $PM_{2.5}$  موجود در هوای شهر تبریز به ترتیب ۱۹۹،۱۶،۷۸،۲۷۹ نفر در سال ۱۳۹۳ برآورد گردید. متوسط غلظت سالیانه  $PM_{2.5}$  برابر ۲۲/۵۲ میکروگرم برمترمکعب است که تقریباً ۲ برابر استاندارد ملی هوای پاک ایران و رهنمود WHO می‌باشد [۲۹].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۴ در خصوص مدل‌سازی کیفیت هوا و تأثیر ذرات معلق بر میزان مرگ‌ومیر در کشور اسپانیا، به چاپ رسید. در این تحقیق با استفاده از شبکه‌بندی  $۱۶ \times ۱۶$  کیلومترمربع، از CMAQ جهت تعیین غلظت‌های ذرات معلق ریز در مناطق مختلف، از مدل‌های SMOKE جهت برآورد میزان انتشار آلودگی منابع، و از نرم‌افزار BenMAP-CE برای تعیین میزان اثرات آلودگی بر جمعیت، در نقاط مختلف کشور اسپانیا، با جمعیت حدود ۳۱ میلیون نفر بالای ۳۰ سال استفاده‌شده و کاهش غلظت آلودگی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفته‌است. با استفاده از توابع غلظت-پاسخ<sup>۱</sup> مختلف حاصل‌شده از مطالعات گروهی در شمال آمریکا، اروپا و...، مرگ‌های مرتبط با آلودگی ذرات معلق ریز برآورد و مقایسه گردیده‌است. با توجه به نتایج، با فرض کاهش میانگین غلظت ذرات معلق ریز به میزان  $۱ \mu g/m^3$ ، مرگ‌های سالیانه از ۸ تا ۱۵ مرگ در هر ۱۰۰۰۰۰ مورد یعنی ۲۳۶۵ تا ۴۱۶۳ مرگ، و ۰/۷ تا ۱/۱ درصد از کل مرگ‌ومیر به تأخیر خواهد افتاد [۳۰].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۵ با عنوان "منافع سلامت ناشی از کاهش آلودگی هوا در سیدنی<sup>۲</sup> استرالیا" انجام شد. غلظت آلاینده‌های هوا در این شهر معمولاً از حد استاندارد پایین‌تر است؛ هم‌چنین غلظت آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و ازن<sup>۳</sup> در شهر سیدنی در مقایسه با شهرهای صنعتی دیگر بسیار کم است، به‌طوری‌که متوسط سالیانه  $PM_{2.5}$  تا به امروز از  $۸ \mu g/m^3$  بیشتر نبوده است. با این وجود با توجه به در دسترس بودن داده‌های سال ۲۰۰۷، با استفاده از توزیع آلودگی به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، و با استفاده از نرم‌افزار BenMAP-

<sup>۱</sup> concentration-response

<sup>۲</sup> Sydney

<sup>۳</sup> Ozone

CE، محاسبات اثرات سلامت و اقتصادی ناشی از آلاینده‌های هوا انجام شد. در این شهر، سوزاندن خانگی سوخت جامد با ۵۱ درصد اصلی‌ترین منشا تولید آلودگی است. مطابق نتایج این تحقیق، مرگ‌های زودهنگام ناشی از  $PM_{2.5}$  با منشأ انسانی، تعداد ۴۳۰ مرگ، و سال‌های ازدست‌رفته عمر ناشی از این آلودگی در این سال ۵۸۰۰ سال یعنی معادل ۲/۱ درصد از کل مرگ‌ها و ۱/۸ درصد از کل سال‌های ازدست‌رفته عمر در سیدنی در سال ۲۰۰۷ تخمین زده شد. همچنین تعداد مراجعات بیمارستانی بیماری‌های تنفسی و قلبی ناشی از آلودگی آلاینده  $PM_{2.5}$  و ازن در این سال ۶۳۰ مورد برآورد گردید. با فرض سناریوی کاهش ۱۰ درصد آلودگی آلاینده  $PM_{2.5}$  در طول ۱۰ سال در این شهر، از ۶۵۰ مرگ زودهنگام، ۳۵۰۰ سال ازدست‌رفته عمر و ۷۰۰ مراجعه بیمارستانی برای مشکلات تنفسی و قلبی جلوگیری خواهد شد [۳۱].

در سال ۲۰۱۶ سازمان جهانی بهداشت، گزارشی تحت عنوان "آلودگی هوای محیط: ارزیابی جهانی قرارگیری در معرض آلودگی و بیماری‌های ناشی از آن" منتشر نمود. با توجه به این گزارش که بر مبنای آمار سال ۲۰۱۲ است، یک مرگ از هر نه مرگ جهان ناشی از آلودگی هوا است، و تقریباً ۳ میلیون از مرگ‌های سالیانه جهان، مربوط به آلودگی هوای محیط است. در این گزارش که با استفاده از جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری زمینی، اطلاعات ماهواره‌ای و نیز مدل‌سازی تهیه شده‌است، نتایج برای ذرات معلق هوا و معادل آلودگی  $PM_{2.5}$  و برای ۳۰۰۰ شهر در سراسر جهان برآورد شده و سایر آلودگی‌ها لحاظ نشده‌است. تعداد بیماری‌های منتسب به آلودگی هوای آزاد از روش‌های ارزیابی ریسک مقایسه‌ای<sup>۱</sup> و با استفاده از نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک و فقط برای بیماری‌های با شواهد کاملاً مرتبط به آلودگی هوا انجام شده‌است.

---

<sup>1</sup> Comparative Risk Assessment methods



شکل ۲-۲. مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در ایران در سال ۲۰۱۲ (WHO, 2016)

ایران در این گزارش، مطابق طبقه‌بندی بانک جهانی جزو کشورهای با درآمد پایین و متوسط<sup>۱</sup> محسوب شده است. مطابق نتایج مدل‌سازی، ۹۲ درصد از جمعیت جهان در معرض  $PM_{2.5}$  با غلظت متوسط سالیانه بالاتر از حد  $42 \mu g/m^3$  (رهنمود کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت<sup>۲</sup>) هستند. غلظت متوسط برآورد شده برای ایران  $42 \mu g/m^3$  است. با توجه به نتایج این گزارش برای کشور ایران، تعداد مرگ‌های منتسب به آلودگی هوا ۲۶۲۶۷ مرگ (۱۱۳۰۶ زن و ۱۴۹۶۱ مرد)، شامل ۶۰۰ مرگ از عفونت‌های حاد مجاری تحتانی تنفسی<sup>۳</sup>، ۴۳۴ مرگ از بیماری مزمن انسداد ریوی<sup>۴</sup>، ۱۴۶۰ مرگ از سرطان ریه، ۱۶۴۸۴ مرگ از ایسکمیک قلبی<sup>۵</sup> و ۷۲۹۰ مرگ از سکته مغزی است (شکل ۲-۲). تعداد سال‌های ازدست‌رفته عمر به واسطه‌ی مرگ<sup>۶</sup> برابر ۷۰۳۲۰۷ سال، و تعداد سال‌های

<sup>1</sup> Low-and middle-income countries

<sup>2</sup> WHO Air Quality Guidelines

<sup>3</sup> acute lower respiratory infections (ALRI)

<sup>4</sup> chronic obstructive pulmonary disease (COPD)

<sup>5</sup> ischemic heart disease (IHD)

<sup>6</sup> years of life lost (YLLs)

از دست‌رفته‌ی عمر به واسطه‌ی مرگ و یا ناتوانی که با شاخص دالی<sup>۱</sup> نشان داده می‌شود برابر ۷۲۶۶۶۴ سال برای ایران تعیین شده است [۳۲].

سال‌های زندگی همراه با ناتوانی + سال‌های از دست‌رفته عمر به دلیل مرگ زودهنگام = شاخص دالی

تحقیقی در سال ۱۳۹۴ با عنوان "برآورد اثرات بهداشتی مواجهه با دو آلاینده  $PM_{2.5}$  و CO در هوای هشت شهر صنعتی ایران توسط مدل AirQ در سال ۱۳۹۰" انجام شد. در این تحقیق ابتدا داده‌های مورد نیاز از سازمان‌های محیط‌زیست شهرهای مورد مطالعه ( تبریز، مشهد، اصفهان، شیراز، تهران، اراک، ارومیه، اهواز) اخذ گردید. طبق نتایج، به ازای هر  $10 \mu g/m^3$  افزایش غلظت  $PM_{2.5}$  و  $1 mg/m^3$  افزایش CO، میزان خطر مرگ به ترتیب ۱.۵٪ و ۰.۷٪ افزایش می‌یابد. تعداد کل مرگ منتسب به  $PM_{2.5}$  در اصفهان و شیراز به ترتیب حدود ۵۸۵ و ۴۵۴ مورد برآورد گردید. با توجه به نتایج، در شهر اهواز کم‌ترین مقادیر مرگ منتسب به CO و بیشترین موارد مرگ ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  است [۳۳].

## ۲-۴- اثرات اقتصادی

در تحقیقی که در سال ۱۳۸۷ با عنوان "هزینه خسارات آلودگی هوا و ضرورت اجرای مالیات سبز" انجام شد، آثار زیست‌محیطی آلاینده‌ها و تخمین هزینه‌های نهایی آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در این تحقیق روش مورد بررسی، روش کنترل هزینه است. در این روش هزینه نهایی کاهش یک واحد آلودگی به روش اقتصادسنجی و براساس تخمین تابع هزینه مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج حاصله به‌صورت سه سناریوی کاهش آلودگی هوا ارائه شده است. بدین صورت که، در سناریوی اول، هزینه نهایی کاهش آلودگی هوا با فرض تحقق هدف برنامه سوم، سناریوی دوم با فرض کاهش آلودگی در حد مجاز و سناریوی سوم با فرض کاهش آلودگی تا حد صفر در نظر

<sup>1</sup> disability-adjusted life years (DALYs)

گرفته شد. با توجه به تخمین‌های تابع هزینه کنترل آلودگی در سناریوی اول هزینه کاهش آلودگی در حد ۰.۲ درصد GDP<sup>۱</sup> برآورد گردید. در سناریوی دوم در حد ۳/۸ درصد GDP و ۵/۸ درصد GDP بدون بخش‌های نفت و کشاورزی برآورد گردید و در سناریوی سوم نسبت هزینه کاهش آلودگی به GDP ۱۴ معادل درصد می‌باشد. علاوه بر این، هزینه کنترل آلودگی برای هر لیتر بنزین ۱۰۶۶/۴۵ ریال، برای هر لیتر نفت گاز معادل ۱۶۲۰/۴۲ ریال و برای هر لیتر نفت کوره ۱۶۹۲/۷۵ ریال برآورد گردید. هزینه هر تن کاهش آلاینده‌های SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub> و CO، به ترتیب معادل ۱۶/۲، ۴۲/۶ و ۳/۱۴ میلیون ریال تخمین زده شد. آلاینده‌های PM<sub>10</sub>، HC و CO<sub>2</sub> نیز به ترتیب از هزینه‌ای معادل ۲/۶، ۲/۶۹ و ۰/۲ میلیون ریال برخوردار است [۳۴].

تحقیقی در سال ۲۰۱۸ با عنوان "ارزیابی تاثیرات آلودگی هوا و آلاینده PM<sub>2.5</sub> بر اقتصاد چین" انجام شد. در این تحقیق تاثیر آلاینده PM<sub>2.5</sub> بر تولید ناخالص داخلی<sup>۲</sup> برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به محاسبات انجام شده توسط معادلات ریاضی و روش رگرسیون، کاهش آلاینده PM<sub>2.5</sub> به میزان ۱٪ باعث افزایش سرانه تولید ناخالص داخلی در حدود ۴۰۰e۱۵۰ یوان (۶۴e۲۴ دلار آمریکا) می‌شود. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که آلودگی هوا توسط آلاینده PM<sub>2.5</sub> در واقع تأثیر منفی قابل توجهی بر توسعه اقتصادی دارد. محاسبات نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ به ازای افزایش ۵ میلی گرم بر مترمکعب در غلظت آلاینده PM<sub>2.5</sub> ممکن است باعث کاهش تقریباً ۲۵۰۰ یوان در تولید ناخالص داخلی شود. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که رشد اقتصادی پایدار ممکن است به کاهش غلظت PM<sub>2.5</sub> کمک کند، که به نوبه خود به نفع توسعه اقتصادی است [۳۵].

بانک جهانی<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۶ گزارشی با عنوان "هزینه‌های آلودگی هوا" منتشر کرده است. با توجه به این گزارش، به ترتیب ۸۷ درصد و ۳۵ درصد جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که میانگین سالیانه آلاینده PM<sub>2.5</sub>

<sup>۱</sup> Gross Domestic Product

<sup>۲</sup> GDP

<sup>۳</sup> World Bank

بیش از مقادیر استاندارد  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. براساس این مطالعه، آلودگی هوا سالیانه بیشتر از ۵/۵ میلیون نفر کشته و بیشتر از ۵ تریلیون دلار هزینه برای اقتصاد جهانی به همراه دارد. بیش از ۵/۳ درصد از مرگ‌های سال ۲۰۱۳ جهان به دلیل قرارگیری در معرض آلاینده  $\text{PM}_{2.5}$  بوده و کودکان زیر ۵ سال در کشورهای با درآمد کم، ۶۰ برابر بیشتر از کشورهای با درآمد بالا در معرض خطر مرگ بر اثر آلودگی هوا هستند. مطابق این گزارش، مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا و تبعات اقتصادی آن در ایران در دو دهه گذشته از رقم ۱۷ هزار نفر در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲۱ هزار نفر در سال ۲۰۱۳ رسیده است. تبعات اقتصادی این معضل نیز در سال ۲۰۱۳ معادل ۳۰/۵۹۹ میلیارد دلار به کشور خسارت وارد کرده است. براساس این گزارش، آلودگی هوا برای ایالات متحده آمریکا، انگلستان و آلمان به ترتیب ۴۵۴، ۷۶ و ۱۸۰ میلیارد دلار هزینه سالیانه در بردارد. بانک جهانی بدون به حساب آوردن هزینه‌های بیمارستانی برای درمان بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا، تخمین زده است. اقتصاد جهانی در سال ۲۰۱۳ هزینه‌ای حدود ۲۲۵ میلیارد دلار درآمد از دست‌رفته طی روزهای کاری که در اثر آلودگی هوا تعطیل شده، از دست داده است. [۳۶].

سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup> مطالعه‌ای تحت عنوان "هزینه‌های اقتصادی آلودگی هوا بر سلامت در کشورهای اروپایی" در سال ۲۰۱۵ منتشر نمود. برای تهیه این گزارش ۵۳ کشور اروپایی مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش با استفاده از روش ارزش یک جان و بر مبنای تمایل مردم به پرداخت<sup>۲</sup> به‌منظور کاهش هزینه خطر مرگ، هزینه‌های سالیانه اقتصادی مرگ‌ومیر زودرس ناشی از آلودگی هوا در کشورهای اروپایی عضو سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۲ حدود ۱/۴۳ تریلیون دلار برآورد شده که با در نظر گرفتن هزینه‌های ناشی از بیماری، معادل ۱۰ درصد هزینه‌های مرگ، هزینه‌ها مجموعاً ۱/۵۷ تریلیون دلار محاسبه شده است [۳۷].

---

<sup>۱</sup> WHO

<sup>۲</sup> WTP

در پژوهشی که در سال ۱۳۹۳ با عنوان "رابطه علیت بین رشد اقتصادی و آلودگی هوا" منتشر گردید، با استفاده از مدل علیت هیسائو<sup>۱</sup>، که این مدل رشد اقتصادی را تابعی از کیفیت زیست محیطی در نظر می گیرد، رابطه‌ی بین متغیرهای اقتصاد ایران با آلودگی هوا بین سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق نتایج تحلیل توصیفی داده‌ها در این مطالعه، میزان سرانه نشر  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_2$  و  $\text{CO}_2$  و  $\text{CO}$  در ایران به ترتیب از ۱۵/۴، ۱۸/۲، ۴۶۸۵/۰ و ۹۲/۸ کیلوگرم در سال ۱۳۸۰ به ۲۴/۹، ۲۲/۰، ۷۲۰۹/۵ و ۱۲۳/۶ کیلوگرم در سال ۱۳۸۷ افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه دو طرفه بین رشد اقتصادی و آلودگی هوا وجود دارد، همچنین بین متغیرهای منتخب موثر بر آلودگی هوا، رشد اقتصادی بیشترین تاثیر را دارد، به طوری که مثلاً رشد اقتصادی باعث انتشار دی‌اکسید کربن و مواد آلاینده می‌شود. [۳۸].

تحقیقی در سال ۱۳۸۶ توسط پژوهیان و همکاران با عنوان "بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا" به چاپ رسید. در این مطالعه تلاش می‌شود با استفاده از روش داده‌های تلفیقی (پانل)، اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا در قالب فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس<sup>۲</sup> برای ۶۷ کشور با گروه‌های درآمدی متفاوت (شامل ایران) مورد آزمون قرار گیرد. بدین منظور اثر رشد اقتصادی، جمعیت شهری، قوانین زیست محیطی، تعداد خودرو و درجه باز بودن اقتصاد بر میزان آلودگی هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد. اساس فرضیه زیست محیطی کوزنتس چنین می‌باشد که طبق آن، ارتباط میان سطح درآمد کشورها و میزان تخریب زیست محیطی به صورت یک U وارونه تعریف می‌شود. نتایج این تحقیق، فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس را تایید نمود؛ به گونه‌ای که میتوان گفت: رشد اقتصادی، وضعیت محیط زیست را در سطوح پایین درآمد بدتر می‌کند و در سطوح بالای درآمد بهبود می‌بخشد. [۳۹].

---

<sup>1</sup> Hisiao

<sup>2</sup> Environmental Kuznets Curve

پژوهشی در سال ۱۳۹۲ با عنوان " تحلیل تجربی رابطه بین آلودگی هوا و هزینه‌های عمومی سلامت: رویکرد داده‌های تابلویی پویا" توسط فتاحی و همکاران انجام شد. در این تحقیق ضمن بررسی تاثیر آلودگی هوا بر هزینه‌های عمومی سلامت، مهم‌ترین عوامل موثر بر رابطه‌ی بین آلودگی هوا و هزینه‌های عمومی سلامت شناسایی و تحلیل شده است. دامنه مطالعه، کشورهای در حال توسعه برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۵ می‌باشد و از مدل پانل پویا و گشتاورهای تعمیم یافته برای تخمین روابط تجربی استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد طی دوره مورد بررسی، آلودگی هوا، درآمد سرانه، نرخ شهرنشینی، تاثیر مثبت و معنادار، و بیکاری تاثیر منفی بر هزینه‌های سلامت عمومی داشته است. یعنی کشورهایی که از سطح درآمد سرانه و نرخ شهرنشینی بالاتر و سطح آموزش پایین‌تر برخوردار هستند، میزان اثرات آلودگی هوا بر هزینه‌های عمومی سلامت در این کشورها به طور معنادار بالاتر از سایر کشورها است [۴۰].

تحقیقی در سال ۱۳۹۰ با عنوان " تخمین اقتصاد سایه‌ای و بررسی اثرات آن روی آلودگی هوا مطالعه موردی: اقتصاد ایران" به چاپ رسید. در این تحقیق برای نخستین بار به بررسی تاثیر متغیرهای شاخص سیاسی و نسبت جمعیت فعال به کل جمعیت بر متغیر پنهان اقتصاد سایه‌ای (شامل تمامی فعالیت‌های معینی است که هم از جنبه اقتصادی مولد، و هم کاملاً قانونی می‌باشد اما به دلایل مختلفی مانند اجتناب از پرداخت مالیات و ... از چشم مقامات دولتی پنهان نگه‌داشته می‌شود) می‌پردازد. اولین مطالعه‌ای است که علاوه بر بررسی اثرات مستقیم متغیرهای اقتصاد سایه‌ای، به بررسی اثر برهم‌کنش این متغیرها بر روی متغیر پنهان اقتصاد سایه‌ای به منظور تخمین روند و حجم آن با کاربرد نرم افزار مدلسازی لیزرل<sup>۱</sup> می‌پردازد؛ و با توجه به اینکه در ایران، موضوع اثرات منفی فعالیت‌های اقتصاد سایه‌ای روی محیط‌زیست تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است. نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که میانگین نسبت حجم اقتصاد سایه‌ای به تولید ناخالص داخلی طی دوره مورد بررسی ( ۱۳۸۶-

---

<sup>1</sup> Lisrel

۱۳۵۴) معادل ۱۲/۲۵ درصد بوده و به طور متوسط، به ازای هر یک واحد افزایش در اندازه اقتصاد سایه‌ای، آلودگی هوا به مقدار ۰/۱۷ درصد افزایش می‌یابد [۴۱].

## ۲-۵- تعریف آلودگی هوا

در تعریف کوتاه، آلودگی هوا را چنین بیان کرده‌اند: حضور مواد نامطلوب در هوا به مقدار و مدت زمانی که بتواند به انسان‌ها، حیوانات، گیاهان، محیط‌زیست و اموال و دارایی‌ها آسیب برساند [۴۲]. آلودگی هوا در عباراتی دیگر این‌گونه تعریف شده است: وجود هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز یا تشعشع پرتوزا و غیر پرتوزا در هوا به مقدار و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر جانداران به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد [۴۳].

در قانون هوای پاک جمهوری اسلامی ایران مصوب ۱۳۹۶/۰۴/۲۵ در تعریف اصطلاحات آمده است: آلودگی هوا عبارت است از انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز، بو و صدا در هوای آزاد، به‌صورت طبیعی یا انسان ساخت، به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به‌گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرآیندهای بوم‌شناختی (اکولوژیکی) یا آثار و ابنیه زیان‌آور بوده و یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی گردد [۴۴].

آلاینده‌های هوا عمدتاً به دو گروه آلاینده‌های ذره‌ای و گازی طبقه‌بندی می‌شوند که بر این اساس آلاینده‌های عمده عبارت‌اند از: مواد معلق، ترکیبات حاوی گوگرد، ترکیبات آلی، ترکیبات حاوی نیتروژن، مونوکسیدکربن، ترکیبات هالوژن، ترکیبات رادیواکتیو، اکسیدهای فتوشیمیایی و دیگر ترکیبات غیر آلی. این عناوین را می‌توان به دو گروه اصلی طبقه‌بندی نمود: آلاینده‌های اولیه و ثانویه. آلاینده‌های اولیه آن‌هایی را شامل می‌شوند که به‌طور مستقیم از منابع منتشر می‌شوند، درحالی‌که آلاینده‌های ثانویه دسته‌ای را شامل می‌شوند که در جو از طریق

واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌های اولیه و گونه‌های شیمیایی که به‌طور معمول در جو یافت می‌شوند تشکیل می‌شوند [۴۵].

## ۲-۶- طبقه‌بندی آلاینده‌های هوا براساس اندازه ذرات

طبقه‌بندی‌های متعددی برای آلاینده‌های هوا وجود دارد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

. بر مبنای منبع انتشار: آلاینده‌های انسان ساخت و طبیعی.

. بر مبنای محیط پذیرنده: آلاینده‌های هوای آزاد و داخل.

. بر مبنای شکل انتشار: آلاینده‌های اولیه و ثانویه؛ آلاینده‌های اولیه آن‌هایی را شامل می‌شوند که به‌طور مستقیم از منابع تولیدکننده آلودگی منتشر می‌شوند، در حالی که آلاینده‌های ثانویه گروهی از آلاینده‌ها هستند که در اتمسفر و از طریق واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌های اولیه و گونه‌های شیمیایی که به‌طور معمول در اتمسفر یافت می‌شوند، بوجود می‌آیند.

. بر مبنای حالت آلاینده: آلاینده‌های ذره‌ای و گازی.

از دیدگاه دیگر می‌توان آلاینده‌های هوا را به ذره‌ای و گازی و همچنین به صورت زیر طبقه‌بندی کرد.

این نوع دیگر طبقه‌بندی مرتبط با آلاینده‌های هواست که تحت عنوان آلاینده‌های معیار (criteria) شامل شش آلاینده‌ی ازن، ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، سرب، مونواکسید کربن و آلاینده‌های خطرناک هواست. در ادامه هر کدام از شش آلاینده‌ی معیار به صورت خلاصه شرح داده می‌شوند.

## ۲-۷- ذرات معلق

ذرات معلق هوا (PM) بیش از هر نوع دیگر از آلاینده‌ها، هوای مردم را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اجزای اصلی تشکیل دهنده ذرات معلق هوا عبارت‌اند از سولفات‌ها، نیترات‌ها، آمونیوم، سدیم کلرید، کربن سیاه، ذرات معدنی و آب. به عبارت دیگر ذرات معلق هوا مخلوط پیچیده‌ای از ذرات جامد و مایع متشکل از مواد آلی و معدنی معلق در هوا هستند که مواجهه مزمن با این ذرات معلق در هوا سبب بیماری‌های قلبی عروقی، ریوی و همچنین سرطان ریه می‌شود.

ذرات معلق هوا اصطلاحی است که برای توصیف ذرات جامد و مایع پراکنده شده در هوا به کار می‌رود که بزرگتر از مولکول‌های مجزا (مولکول‌هایی با قطر تقریباً ۱ nm و کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر هستند). ذراتی در این گستره، دارای زمان ماندگاری به حالت تعلیق متغیری از چند ثانیه تا چندین ماه هستند. ذرات بزرگتر از ۱ میکرومتر و کوچکتر از ۲۰ میکرومتر تمایل به پیروی از حرکت سیالی دارند که آن‌ها را حمل می‌کنند. ذراتی که قطر آن‌ها بیشتر از ۲۰ میکرومتر است، سرعت‌های ته‌نشینی بیشتری دارند و توسط نیرو ثقل و دیگر فرآیندهای اینرسی از هوا حذف می‌شوند.

ذرات معلق هوا با توجه به اندازه‌ی آن‌ها به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- ذرات درشت (coarse particle) یا PM<sub>10</sub>

- ذرات ریز (Fine particles) یا PM<sub>2.5</sub>

- ذرات بسیار ریز (Ultra fine particles) یا PM<sub>0.1</sub>

بیشترین تعداد ذرات، در گروه ذرات بسیار ریز قرار می‌گیرند که شامل ذرات معلق با قطر ۰/۱ میکرون و کمتر (PM<sub>0.1</sub>) هستند. این ذرات از نظر مساحت سطح، غالب‌ترین ذرات معلق هوا هستند، ولی سهم اندکی در میزان

جرم کلی ذرات معلق هوا دارند. این بخش از ذرات معلق به طور عمده از احتراق ناشی شده و در مرحله دوم به عنوان ذرات ثانویه از تبدیل گاز به ذره ایجاد می‌شوند. این ذرات به خودی خود ناپایدار هستند و از طریق انعقاد و فشردگی به ذرات بزرگتر تبدیل می‌شوند. سولفات‌ها و نیترات‌ها از جمله ترکیبات غالب در این ذرات هستند. ذرات ریز شامل ذراتی هستند که اندازه آن‌ها بین ۰/۱ تا ۲/۵ میکرون است و به همراه ذرات بسیار ریز تحت عنوان PM<sub>2.5</sub> شناخته می‌شوند.

گستره‌ی اندازه ذرات معلق هوا، به مکانیسم‌های تشکیل آن‌ها بستگی دارد. از طریق شناخت مکانیسم‌های تشکیل، امکان برآورد حدود اندازه ذرات معلق هوا وجود دارد. عمده‌ترین ساز و کارهای تشکیل ذرات معلق هوا عبارتند از: عملیات فیزیکی یا مکانیکی، احتراق، تشکیل هسته‌ی همگن، تشکیل هسته غیرهمگن و تبخیر قطرات آب [۴۶،۴۷].

## ۲-۷-۱- اجزای شیمیایی ذرات معلق هوا

اگرچه مطالعات متعددی ارتباط میان مواجهه با ذرات معلق هوا و اثرات بهداشتی را اثبات کرده‌اند، اما مشخصه‌های شیمیایی از ذرات که سبب چنین اثراتی شده به درستی شناخته نشده است و ممکن است سمی بودن ذرات معلق هوا با توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها متفاوت باشد. بنابراین شناسایی اجزای شیمیایی ذرات معلق هوا سبب درک بهتر سمی بودن ذرات خواهد شد. در مطالعه‌ای که روی حیوانات صورت گرفت مشخص شد که صرف مواجهه با غلظت زیاد PM نمی‌تواند باعث ایجاد اثرات بیولوژیکی شود. برخی از اجزای شیمیایی PM شامل یون‌های محلول در آب، فلزات، ترکیبات آلی و دیگر اجزا هستند که در ادامه به برخی از این مشخصه‌ها به صورت خلاصه اشاره می‌شود.

## ۲-۷-۲- یون‌های محلول در آب ذرات معلق هوا

متداول‌ترین یون‌های محلول در آب ذرات معلق هوا شامل آمونیوم، سولفات، نیتрат، کلراید، سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم است که سهم نسبی آنها در ذرات معلق با توجه به اندازه و شرایط محلی متفاوت خواهد بود. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده‌است که سولفات‌ها یا دیگر آئروسول‌های اسیدی به تنهایی یا با ترکیب ازن، میزان مرگ‌ومیر را افزایش می‌دهند. واکنش بین سولفات‌ها و دیگر آلاینده‌ها می‌تواند اندازه، خواص شیمیایی و اندازه سطحی ذرات را تغییر دهد و در نتیجه، بر پتانسیل اثرات بهداشتی ذرات تاثیر عمده‌ای داشته باشد [۴۶، ۴۷].

## ۲-۷-۳- کربن عنصری و آلی ذرات معلق هوا

بخش عظیمی از PM هوای شهری، طی فرآیندهای احتراق ایجاد می‌شود و حاوی مقدار در خور توجهی کربن، عنصری که به صورت کربن سیاه (BC: Black Carbon) و کربن آلی (OC: Organic Carbon) است. هم چنین آئروسول‌های کربنی از منابع بیولوژیکی (نظیر ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، پلن‌ها، زایعات گیاهی و غیره) ایجاد می‌شوند و حاوی آئروسول‌های آلی ثانویه ناشی از اکسیداسیون مواد هیدروکربنی بیولوژیکی و مواد هیدروکربنی انسان ساخت هستند. نه تنها حضور همزمان BC و OC در PM، وجود یک سلسله ترکیبات را نشان می‌دهد، بلکه بیانگر این است که زنجیره‌ی دینامیکی بین ذرات کربن با ترکیبات آلی فرار و ترکیبات آلی نیمه فرار وجود دارد. اگر چه ترکیبات OC و BC بخش عمده‌ای از جرم PM را به خود اختصاص داده‌اند، ولی به دلیل ماهیت پیچیده‌ی این مواد و نیز طبیعت و ساختار ناهمگن آنها هنوز ابهامات بسیاری در خصوص اثرات بهداشتی این ترکیبات وجود دارد. بیش از ۲۰۰ ترکیب مختلف آلی در PM شناسایی شده است که شامل آلکان‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، ترکیبات اکسیژن‌دار، ترکیبات آمونیومی، نیترات‌ها و مشتقات PAHS هستند.

## ۲-۷-۴- فلزات (عناصر) ذرات معلق هوا

ترکیبات فلزی PM، به خصوص فلزات موجود در PM<sub>2.5</sub> اغلب به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر سلامتی انسان در نظر گرفته می‌شوند. این ترکیبات معمولاً در نتیجه وجود ناخالصی و آلودگی سوخت‌ها و مواد منتشره‌ی غیراگزوزی (ناشی از خوردگی و استهلاک خودروها) انتشار می‌یابند. فلزات واسطه‌ای از قبیل آهن، وانادیوم، نیکل، کروم و مس به دلیل پتانسیل تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در بافت‌های بیولوژیکی، پیوسته مورد توجه بوده‌اند. نحوه عملکرد این فلزات دارای خاصیت اکسایش کاهش است؛ بدین صورت که فلزات واسطه‌ای در اوربیتال d دارای الکترون غیر جفت هستند و قادرند با عوامل احیاکننده بیولوژیکی و از طریق مکانیسم‌های اکسایش کاهش گونه‌های رادیکال آزاد تولید کنند.

## ۲-۷-۵- اثرات ذرات معلق بر سلامت

در برآورد اثرات آلاینده‌های هوا بر سلامت، هر یک از آلاینده‌ها به‌طور جداگانه بررسی می‌شوند و تاکنون محققین قادر به ارائه مدلی جهت برآورد هم‌افزایی<sup>۱</sup> آلاینده‌ها نبوده‌اند. بنابراین تعداد مرگ‌ومیرها و سایر اثرات هر آلاینده بر سلامت جامعه قابل جمع نیست. بنابراین معمولاً اثرات مهم‌ترین آلاینده که اکثراً آلاینده PM<sub>2.5</sub> است بررسی و ارائه می‌گردد. در شکل ۲-۳ برخی اثرات بهداشتی آلودگی هوا بر سلامت انسان ترسیم شده‌است.

---

<sup>1</sup> Synergistic



شکل ۲-۳. اثرات بهداشتی آلودگی هوا بر سلامت انسان (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۷)

به طور کلی ذرات معلق بخصوص ذرات کوچکتر از  $2.5/\mu m$  (PM<sub>2.5</sub>) مشتمل بر ذرات کوچک میکروسکوپی یا قطرات مایع بوده که آنقدر کوچک هستند که می توانند وارد ریه ها شده و مشکلات جدی را به وجود آورند. برخی از این مشکلات عبارتند از مرگ زودرس در افراد مبتلا به بیماری های قلبی و ریوی، افزایش حملات قلبی، نامنظم شدن ضربان قلب، تشدید بیماری آسم، کاهش عملکرد ریه ها و افزایش علائم تنفسی مانند سوزش مجاری تنفسی، سرفه یا ایجاد مشکل در تنفس. از سال ۲۰۱۳، کارشناسان مرکز جهانی تحقیقات سرطان<sup>۱</sup> ذرات معلق هوای آزاد را از هراندازه یا ترکیبات شیمیایی، جزو گروه ۱ مواد سرطانزا برای انسان ها تقسیم بندی نموده اند [۵۰].

یافته های مطالعات اپیدمیولوژیک در سال های اخیر با اصطلاحات ریسک نسبی<sup>۲</sup> و مواجهه شاخص های مواد معلق همانند TSP و PM<sub>10</sub> گزارش شده است. ریسک نسبی اغلب به صورت افزایش میزان مرگ و میر و بیماری، بیش از مقدار مبنا، به واسطه ی افزایش مشخص در غلظت ذرات بیان می گردد. به عنوان مثال ریسک نسبی ۱/۰۵ در مرگ و میر برای افزایش PM<sub>10</sub> به میزان  $50 \mu g/m^3$  به این معنی است که همراه با افزایش میانگین غلظت سالیانه

<sup>1</sup> International Agency for Research on Cancer

<sup>2</sup> Relative Risk

PM<sub>10</sub> به میزان  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، مرگومیر ۵ درصد افزایش یافته است. اسناد معیار کیفیت هوای سال ۱۹۹۶ آمریکا برای مواد ذره‌ای حاکی از این است که ریسک نسبی برای کل مرگومیرهای غیرتصادفی در صورت افزایش متوسط ۲۴ ساعته PM<sub>10</sub> به میزان  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در محدوده‌ای بین ۱/۰۱۵ تا ۱/۰۸۵ قرار گرفته است (یعنی ۱/۵ تا ۸/۵ درصد افزایش مرگومیر). ریسک‌های بالاتر برای افراد سالمند و کسانی که از ابتدا بیماری تنفسی داشته‌اند مشاهده شده است. در مطالعه شش شهر در هاروارد مشخص شد که به ازای هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  افزایش PM<sub>10</sub> بر اساس غلظت‌های متوسط دوازده، میزان مرگومیر روزانه حدود ۰/۸ درصد افزایش می‌یابد. برای ذرات PM<sub>2.5</sub> این شش شهر افزایش ۱/۵ درصدی در میزان مرگومیر روزانه برای هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  را نشان داد [۴۵].

## ۲-۸- ازن

دو نوع ازن ( $\text{O}_3$ ) در اتمسفر وجود دارد که شامل ازن خوب (لایه ازن یا ازن موجود در استراتوسفر) و ازن بد (ازن موجود در تروپوسفر یا سطح زمین) می‌شود. آنچه در ادامه به آن پرداخته شده است، ازن سطح زمین است. ازن یکی از اجزای اصلی اسمگ فتوشیمیایی و در گروه اکسیدان‌های فتوشیمیایی هواست که از واکنش اکسیدان‌های نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) در حضور نور خورشید (واکنش فتوشیمیایی) تشکیل می‌شود. بنابراین بیشترین مقادیر ازن در شرایط آفتابی تشکیل می‌شود.

عوامل اکسیدکننده‌ای همانند ازن، پراکسی‌نیترات (PAN)، پراکسی‌بنزوییل‌نیترات (PBN)، پراکسید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )، اسیدفرمیک ( $\text{HCOOH}$ )، و دیگر مواد جزیی که می‌توانند یدید پتاسیم را اکسید کنند، تحت عنوان اکسیدان‌های فتوشیمیایی شناخته می‌شوند. ازن اکسیدکننده‌ای بسیار قوی است که شاخص اکسیدان‌های فتوشیمیایی است. غلظت‌های حداکثر ازن در هنگام ظهر رخ می‌دهد و به طور کلی یک آلاینده تابستانه است. مواجهه با ازن سبب مشکلات تنفسی متعددی، نظیر حملات آسمی، کاهش عملکرد ریه و

بیماری‌های ریوی می‌شود. امروزه یکی از آلاینده‌های هوا که در اروپا بیشترین نگرانی را به خود اختصاص داده ازن است. حدود ۴۰ درصد از ازن در بینی و حنجره جذب می‌شود و ۶۰ درصد آن به عمق ریه می‌رسد. حقایق زیر درباره اثرات دریافت ازن بر دستگاه تنفسی به اثبات رسیده است:

. ازن می‌تواند در هر قسمت از بافت ریه نفوذ کند و عمر آن در بافت ریه به غلظت اولیه آن بستگی دارد.

. بیشترین مقدار در سطوح بافت در منطقه بین نایژه و حبابچه است.

. اندکی از ازن وارد جریان خون می‌شود [۴۶، ۴۷].

## ۲-۹- اکسیدهای نیتروژن

هفت نوع اکسیدنیتروژن در هوای آزاد حضور دارند که شامل اکسیدنیتریک (NO)، دی‌اکسیدنیتروژن ( $\text{NO}_2$ )، اکسیدنیتروس ( $\text{N}_2\text{O}$ )،  $\text{NO}_3$ ،  $\text{N}_2\text{O}_3$ ،  $\text{N}_2\text{O}_4$ ،  $\text{N}_2\text{O}_5$  می‌شوند. اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن جمعا به  $\text{NO}_x$  معروف‌اند که این به دلیل قابلیت تبدیل متقابل این دو در واکنش‌های اسماگ فتوشیمیایی است. در بین اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسیدنیتروژن بالاترین غلظت را در هوای آزاد دارد. این گاز خورنده، اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تحتانی تنفسی و سمی است. مهم‌ترین منابع انسانی انتشار  $\text{NO}_2$  فرایندهای احتراق، نظیر وسایل نقلیه، سیستم‌های گرمایش و نیروگاه‌هاست.  $\text{NO}_2$  در هوای آزاد همراه با رطوبت اسیدنیتریک بوجود می‌آورد که می‌تواند سبب خوردگی قابل توجه در سطوح فلزی شود. دی‌اکسیدنیتروژن در غلظت‌های مساوی زیان‌آورتر از منواکسیدنیتروژن است. اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید با VOCهای خاصی واکنش می‌دهند و اکسیدان‌های فتوشیمیایی شامل ازن تولید می‌کنند.

## ۲-۱۰- اکسیدهای گوگرد

دی‌اکسیدگوگرد و تری‌اکسیدگوگرد اکسیدهای گازی غالب گوگرد موجود در اتمسفر هستند. دی‌اکسیدگوگرد، گازی غیرقابل اشتعال، غیرقابل انفجار و بی‌رنگ است که در غلظت‌های ۰.۳ ppm تا ۱ ppm در هوا حس می‌شود. در غلظت‌های بیشتر از ۰.۳ ppm به طور متوسط این گاز بوی تند و محرکی دارد. بیش از ۸۰ درصد اکسیدهای گوگرد به دست بشر در جریان احتراق سوخت‌های فسیلی از منابع ثابت آلوده‌کننده تولید می‌شود. بخشی از دی‌اکسیدگوگرد به تری‌اکسیدگوگرد یا اسید سولفوریک تبدیل می‌شود و از طریق واکنش‌های فتوشیمیایی یا فرآیندهای کاتالیزوری در جو، نمک‌های سولفات تولید می‌کند. تقریباً تمامی سوخت‌های فسیلی گوگرد دارند که در جریان احتراق به صورت دی‌اکسیدگوگرد وارد هوا می‌شود. تقریباً همه دی‌اکسیدگوگرد انسان ساخت، ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. ترکیبات گوگردی، عامل اصلی تخریب مصنوعات هستند. دی‌اکسیدگوگرد مهم‌ترین آلاینده مخربی است که باعث خوردگی فلزات می‌شود. از اثرات بهداشتی دی‌اکسیدگوگرد، تنگ شدن راه‌های هوایی تنفسی، سرفه شدید، سوزش چشم و مجاری تنفسی، کاهش کارایی تنفسی و تنگی نفس، کم شدن عمق تنفس و در نهایت تشدید عوارض قلبی-عروقی است [۴۵،۴۶].

## ۲-۱۱- منواکسیدکربن

منواکسیدکربن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بسیار پایدار است که علت تولید آن احتراق ناقص هر نوع سوخت حاوی کربن می‌باشد. منبع اصلی منواکسیدکربن مربوط به بخش حمل و نقل است. البته عمل گرمایش در مناطق مسکونی به اندازه فرآیندهای صنعتی، سهم قابل توجهی در کل نشر CO را به خود اختصاص می‌دهد. منواکسیدکربن اساساً بر روی گیاهان و مواد بی‌اثر است اما می‌تواند اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان داشته باشد. منواکسیدکربن یک ماده قابل استنشاق سمی است که بافت‌های بدن را از اکسیژن لازم بی‌نصیب می‌کند. اثرات CO بر روی انسان بسته به

غلظت آن و زمان تماس می‌تواند شامل سردردهای خفیف تا حالت تهوع و مرگ باشد [۴۶،۴۷].

## ۲-۱۲- هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای گروه بزرگی از ترکیبات آلی دارای دو تا چند حلقه‌ی بنزنی است. گروه وسیعی از آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که ناشی از احتراق ناقص مواد آلی، نظیر سوخت‌های فسیلی هستند. مشخصه‌های فیزیکی PAHs با توجه به وزن مولکولی و ساختار آن‌ها متفاوت می‌باشد. فشار بخار PAHs با افزایش وزن مولکولی کاهش می‌یابد. PAHs بسیار چربی دوست بوده و بنابراین در حلال‌های آلی حل می‌شوند. همچنین حلالیت آن‌ها با افزایش تعداد حلقه‌ها کاهش می‌یابد. برخی از PAHs دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی هستند و خطر جدی برای سلامتی دارند و بدین سبب نگرانی درباره‌ی وجود PAHs در هوای آزاد رو به افزایش است. PAHs از هر دو منابع طبیعی و انسان ساخت وارد محیط می‌شوند. حضور وسیع PAHs ناشی از تولید آن‌ها توسط تمامی انواع فرآیندهای احتراق مواد آلی است. منابع انسان ساخت PAHs و مشتقات آن‌ها بسیار متفاوت بوده و شامل احتراق ناقص سوخت، پسماند یا دیگر مواد آلی مانند تنباکو و مواد گیاهی است. آتش سوزی جنگل‌ها و فوران آتش‌فشان‌ها نیز از جمله منابع طبیعی انتشار PAHs محسوب می‌شوند. PAHs منتشره به اتمسفر، قبل از ترسیب بر روی خاک، گیاهان یا آب، در فواصل بسیار طولانی از منبع انتشار منتقل می‌شوند. با افزایش وزن مولکولی، سرطان‌زایی PAHs افزایش یافته و سمیت حاد آن‌ها کاهش می‌یابد. مسیر اصلی مواجهه با PAHs برای عموم افراد استنشاق هوای آزاد و داخل، خوردن غذاهای حاوی PAHs، کشیدن سیگار و استنشاق دود حاصل از اجاق گاز است. برای افراد غیرسیگاری مسیر اصلی مواجهه از طریق مواد غذایی است. پردازش فرآوری (خشک کردن و دودی کردن) و پختن غذاها در درجه حرارت‌های زیاد عامل عمده‌ی تولید PAHs در مواد غذایی است. سرعت ورود PAHs به بدن تحت تاثیر حضور ترکیباتی است که شخص به طور همزمان در معرض آن‌ها قرار می‌گیرد. جذب PAHs در اثر

خوردن معمولاً کند است. PAHs می‌توانند در همه بافت‌های دارای چربی وارد شوند [۴۶،۴۷].

## ۲-۱۳- اثرات و هزینه‌های آلودگی هوا

کلیه اثرات مخرب آلودگی هوا بر سلامت، اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی، ابنیه و میراث فرهنگی منجر به هزینه‌های فراوان مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی خواهد شد. از نمونه‌های بارز اثرات آلودگی هوا بر اقتصاد شامل: کاهش بهره‌وری کشاورزی، کاهش دید، آسیب ناشی از آلودگی درازمدت هوا به مکان‌های فرهنگی و زیرساخت‌ها، کاهش کیفیت زندگی و تعطیلی مراکز آموزشی به دلیل آلودگی هوا می‌باشند [۴۸].

هزینه آلودگی هوا ناشی از تولید و انتشار آلاینده‌ها به وجود می‌آید و شامل هزینه‌های درمانی، خسارات وارده به ساختمان‌ها و کلیه مواد و مصالحی است که به‌نوعی این آلاینده‌ها باعث خرابی و از بین رفتن آن‌ها می‌شوند. همچنین هزینه‌های از دست دادن جان انسان‌ها و خسارات آتی که به اکوسیستم (آب، خاک و بیوسفیر) وارد می‌شود و هزینه‌های ناشی از کاهش درآمد توریستی شامل هزینه‌های آلودگی هوا است. هزینه‌های فوت و درمان مهم‌ترین بخش این هزینه‌ها را شامل می‌شود. از طرفی بایستی با دیدی بلندمدت در این هزینه‌ها، تا حد امکان تأثیر آلودگی هوا بر گرم شدن کره زمین را نیز در نظر گرفت [۴۹].

## فصل ۳:

### مراحل انجام پژوهش

### ۳-۱- مقدمه

در این فصل شهر مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی، جمعیت، مناطق ۱۰ گانه، ویژگی‌های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از داده‌ها و اطلاعات بدست آمده، روش‌ها و نرم‌افزارهای به‌کار گرفته‌شده، نتایج مورد نظر از تحقیق بدست می‌آید.

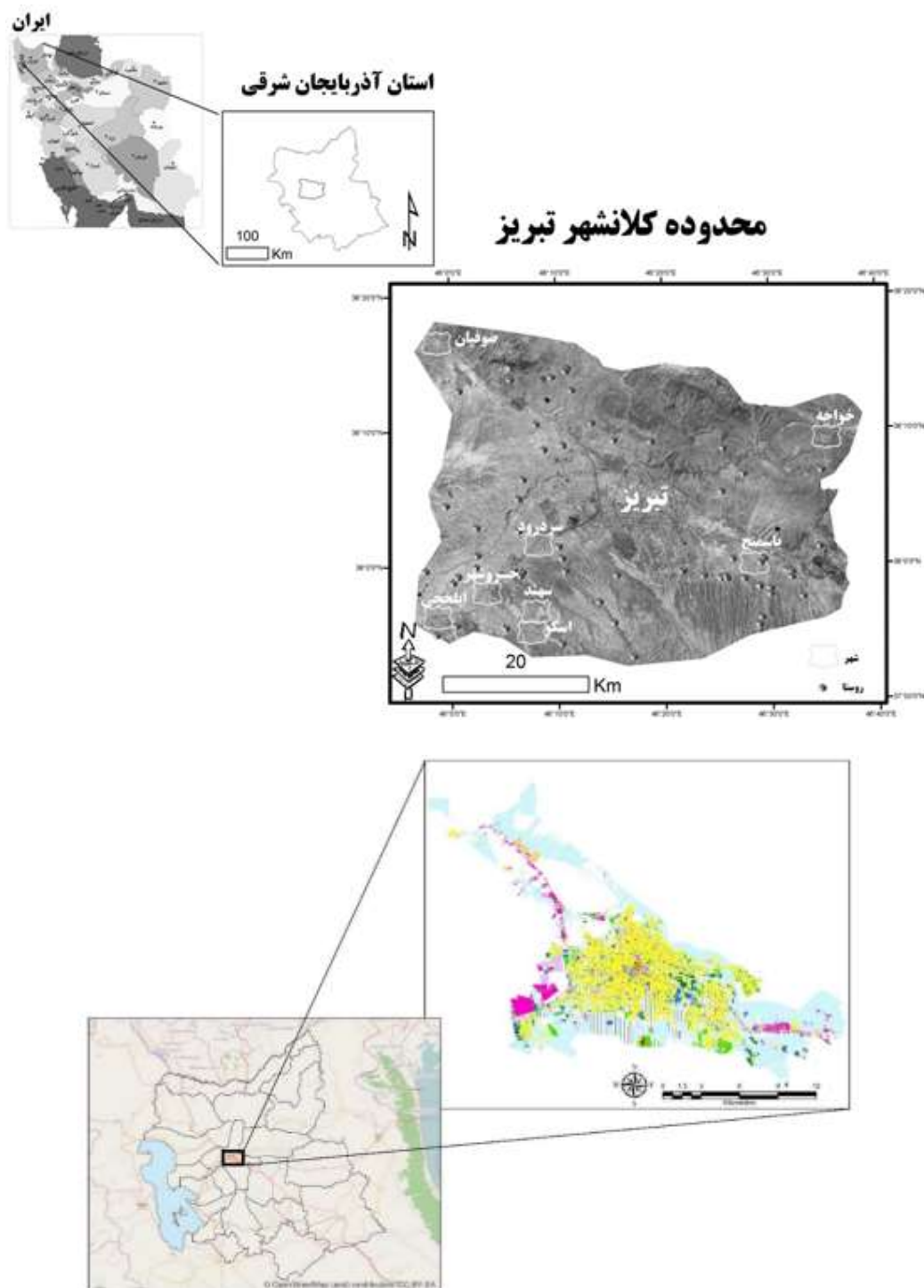
### ۳-۲- شهر مورد مطالعه

تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی و در ۶۳۰ کیلومتری غرب تهران، ۱۳۵ کیلومتری جلفا و ۵۰ کیلومتری شمال غربی کوه‌های سهند قرار گرفته است (شکل ۳-۱). تبریز در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است، ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۰ متر می‌باشد. مساحت شهر ۲۲۱۷۷ هکتار می‌باشد. جمعیت تبریز بیش از یک و نیم میلیون نفر می‌باشد (جدول ۳-۱). تبریز از سمت جنوب به رشته کوه منفرد همیشه پر برف سهند و از شمال شرقی به کوه سرخ فام عون‌علی (عینالی) محدود می‌شود. رودخانه آجی‌چای (تلخه رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد و مهران‌رود از میانه تبریز می‌گذرد که اکثراً در فصول مختلف سال بی‌آب است. تبریز زمانی دارای باغات و مزارع فرح انگیز و پرآوازه‌ای بود، به همراه قنات‌ها و چشمه‌های متعدد، که امروزه تمامی آن همه باغات و مزارع از میان رفته یا در حکم از میان رفتن است و گستره شهر پیرامون خود را به مناطق مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی و خدماتی مبدل ساخته است. آب و هوای تبریز در زمستان‌ها بسیار سرد و در تابستان‌ها خشک و گرم است؛ در واقع سردترین ماه سال به ماه دی تعلق دارد و گرم‌ترین ماه سال نیز در مرداد ماه می‌باشد، اگرچه حرارت به دلیل نزدیکی به کوه سهند و وجود باغ‌های زیادی در پیرامون شهر تعدیل می‌گردد. براساس آمار ثبت شده از میزان بارش، در طول سال به طور میانگین ۲۸۹.۰۲ میلی‌متر بارندگی در شهر

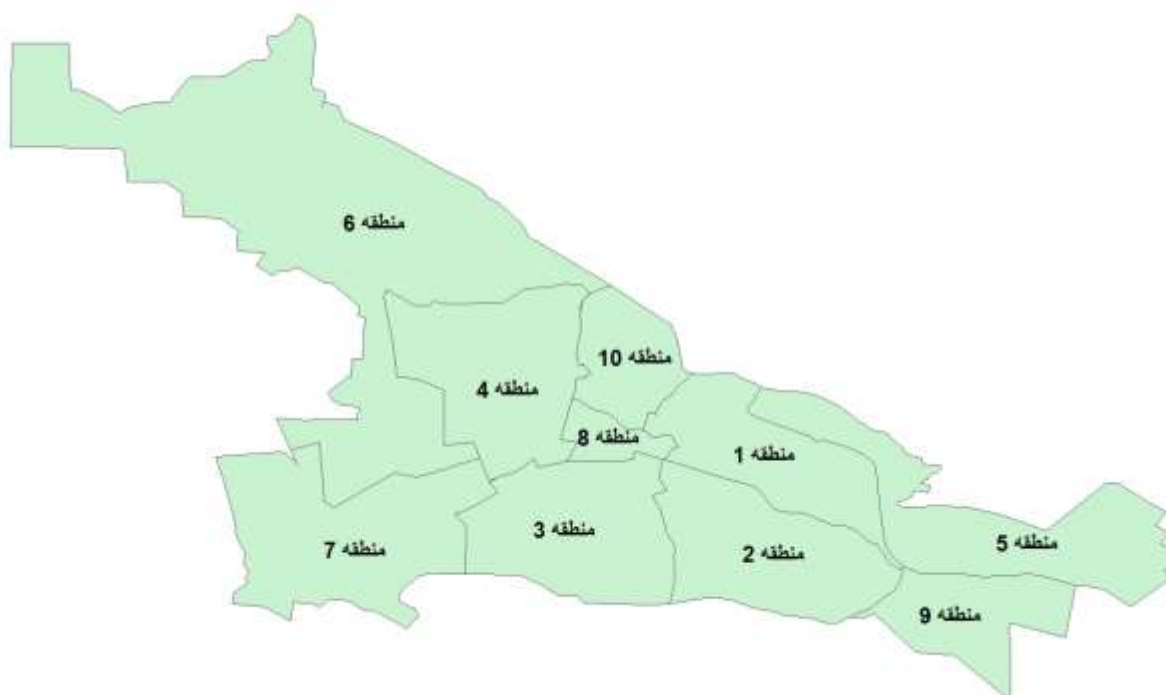
تبریز رخ می‌دهد. متوسط درصد رطوبت نسبی شهر تبریز ۵۲ درصد و سرعت متوسط سالانه باد در شهر تبریز ۵.۹ متر بر ثانیه می‌باشد. این شهر به دلیل جای دادن بسیاری از کارخانجات مادر و بزرگ صنعتی در خود مانند تراکتورسازی تبریز، پالایشگاه تبریز، نیروگاه حرارتی تبریز و نیز وجود چندین شرکت بزرگ قطعه‌ساز خودرو یکی از شهرهای آلوده و مهاجرپذیر کشور محسوب می‌شود. براساس تقسیمات سیاسی کلانشهر تبریز به ۱۰ منطقه تقسیم می‌شود (شکل ۳-۲).

جدول ۳-۱. جمعیت و مساحت مناطق تبریز (شهرداری تبریز)

| منطقه ۱ | منطقه ۲ | منطقه ۳ | منطقه ۴ | منطقه ۵ | منطقه ۶ | منطقه ۷ | منطقه ۸ | منطقه ۹ | منطقه ۱۰ |                  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------------------|
| ۱۵۰۸    | ۲۲۴۴    | ۲۷۸۹    | ۲۵۳۷    | ۲۶۲۰    | ۶۰۹۹    | ۲۲۰۹    | ۳۸۷     | ۸۰۲     | ۹۸۲      | مساحت<br>(هکتار) |
| ۲۱۸۶۴۷  | ۱۹۶۵۰۷  | ۲۲۹۴۷۴  | ۳۱۵۱۸۳  | ۱۲۶۱۲۴  | ۹۸۹۱۰   | ۱۵۵۸۷۲  | ۲۹۳۸۴   | ۶۳۴     | ۱۸۷۹۵۸   | جمعیت<br>سال ۹۵  |



شکل ۳-۱. موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و محدوده کلانشهر تبریز



شکل ۳-۲. مناطق ۱۰ گانه کلان شهر تبریز

### ۳-۳- سال مورد مطالعه

روش این پایان نامه در تعیین غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$ ، استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سنجش سطح شهر تبریز است. مطابق داده‌های گرفته شده از سازمان محیط‌زیست شهر تبریز، اندازه‌گیری این آلاینده از اواسط سال ۱۳۹۳ آغاز شده و از سال ۱۳۹۴، داده‌های ثبت شده برای کل سال، برای تعدادی از ایستگاه‌ها موجود است. بنابراین در این پایان نامه سال بررسی اثرات آلاینده  $PM_{2.5}$ ، (۲۰۱۷) ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد.

### ۳-۴- داده‌های مورد استفاده

جهت برآورد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز برای سال ۱۳۹۶ این چهار نوع داده مورد نیاز است:

(۱) اطلاعات جمعیت در معرض آلاینده  $PM_{2.5}$ ، (۲) غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  (۳) دلایل مرگ ناشی از آلودگی هوا (۴) نرخ مرگ‌ومیر پایه.

#### ۳-۴-۱- جمعیت در معرض آلاینده

داده‌های جمعیتی برای مناطق ۱۰ گانه تبریز با استعلام از شهرداری تبریز به‌دست آمد. داده‌های جمعیتی به تفکیک سن که از طریق سرشماری ملی در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ و همچنین جمعیت میان‌دوره سال ۱۳۹۰ توسط مرکز آمار ایران تهیه شده و در گروه‌های ۵ ساله طبقه‌بندی شده، جمع‌آوری شده است. برای برآورد جمعیت سال ۱۳۹۶ با داشتن جمعیت سرشماری سال ۱۳۹۵، مطابق نرخ رشد سال ۹۰ تا ۹۵، جمعیت کلی سال ۹۶ تعیین شد.

#### ۳-۴-۲- غلظت آلاینده $PM_{2.5}$

در سال ۱۳۹۶ سازمان محیط‌زیست شهر تبریز با استفاده از ۶ ایستگاه فعال، اندازه‌گیری و پایش هوای شهر تبریز را انجام داده است. در این ایستگاه‌ها غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل؛ ذرات معلق با قطر کم‌تر و مساوی ۱۰ میکرومتر و ذرات معلق با قطر کم‌تر و مساوی ۲/۵ میکرومتر، مونواکسید کربن، ازن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، اندازه‌گیری می‌شود.

با استفاده از روش ترمیم داده‌های  $PM_{2.5}$  از طریق داده‌های  $PM_{10}$  و پاک‌سازی زمانی-مکانی داده‌ها، بخشی از داده‌ها به‌عنوان داده‌های خارج از محدوده‌ی زمانی-مکانی شناسایی شده و بنابراین حذف شده‌اند. داده‌های ساعتی

غلظت آلاینده‌های هوای شهر تبریز، در فرمت اکسل دریافت شده و با ماکرونویسی و ویژوال بیسیک در محیط اکسل، ساعات و تاریخ‌هایی که حذف شده بود، شناسایی و سلول خالی درج گردید تا تعداد داده‌های کلیه ایستگاه‌ها به عدد ۸۷۶۰ (یعنی ۳۶۵ ضربدر ۲۴ ساعت) برسد و داده‌های ساعت‌های یکسان، در کنار هم قرار گرفته و قابل مقایسه شوند.

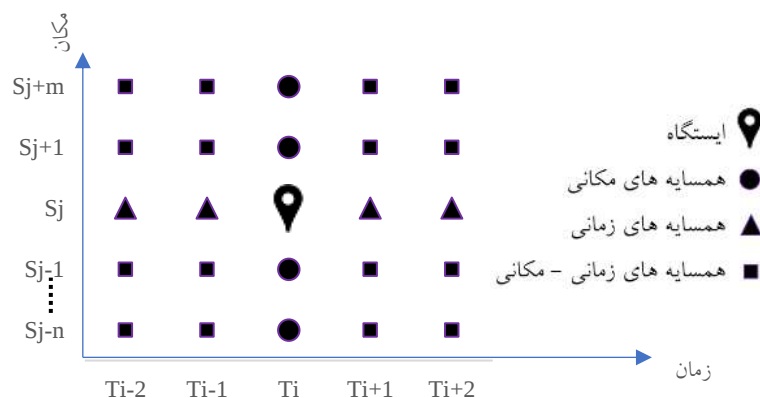
به‌عنوان مثال برای ۶ ایستگاه دارای داده برای سال ۱۳۹۶، جهت ترمیم داده‌های  $PM_{2.5}$  با استفاده از داده‌های  $PM_{10}$ ، با درج غلظت‌های  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  کلیه ۶ ایستگاه در دو صفحه اکسل، بانک داده ارزشمندی جهت تحلیل نتایج به دست آمد. در صفحه سوم فایل اکسل، برای کلیه ایستگاه‌ها، برای ساعاتی از سال که هر دو غلظت  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  موجود بود، این نسبت به‌دست آمد و در صفحه چهارم، میانگین ماهیانه‌ی این اعداد برای ۶ ایستگاه تعیین شد. در صفحه پنجم غلظت‌های  $PM_{2.5}$  برای ساعات دارای غلظت، درج گردید و برای ساعات دیگری که  $PM_{10}$  داشتند، ضریبی از این غلظت، به‌عنوان تخمین  $PM_{2.5}$  برآورد شد. این ضریب در صورت وجود نسبت ماهیانه، برابر این عدد و در غیر این صورت برابر نسبت سالیانه دو آلاینده و از صفحه چهارم تعیین شد؛ در صورت عدم وجود نسبت سالیانه (یعنی در آن ایستگاه مشخص،  $PM_{2.5}$  اندازه‌گیری نشده است) از نسبت میانگین غلظت دو آلاینده در شهر تبریز در سال ۹۶، یعنی ۰/۴۰ استفاده شده است. از این طریق، تعداد داده‌های موجود برای غلظت  $PM_{2.5}$  بسیار بهبود یافت.

در مرحله بعد جهت پاک‌سازی داده‌های  $PM_{2.5}$ ، داده‌های خارج از محدوده (outlier) شناسایی و حذف شدند. برای پاک‌سازی داده‌ها از روش مقاله Zoest، که براساس بررسی قرار گرفتن غلظت پایش شده در فاصله‌ی اطمینان معادله (۳-۱) است استفاده شد [۵۱]. بدین ترتیب که اگر مقدار پایش شده در یک ایستگاه، در فاصله اطمینان زیر قرار نداشت، خارج از محدوده فرض شده و حذف شد.

$$\mu \pm s \times \sigma$$

(۱-۳)

که در آن  $\mu$ ، میانگین وزنی (متناسب با معکوس فاصله) غلظت  $PM_{2.5}$  برحسب میکروگرم برمترمکعب، محاسبه شده به روش IDW از ایستگاه‌های همسایگی است.  $\sigma$  انحراف استاندارد در مجموعه متشکل از مقادیر غلظت مشاهده شده در هر دو همسایگی مکانی و زمانی است و  $s$  یک شاخص از بزرگی فاصله اطمینان است. مطابق شکل ۳-۳، مقادیر یک و دو ساعت قبل و بعد از پایش برای همه ایستگاه‌های با کمتر از ۱۱ کیلومتر مسافت (۰/۱ درجه) همسایگان زمانی و مکانی در نظر گرفته شدند [۵۲]. بسته به میزان دقت لازم، مقدار  $s$  برای سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۱/۹۶ و برای سطح اطمینان ۹۹/۷٪ برابر ۲/۹۷ فرض می‌شود [۵۳] که در این مطالعه از  $s = ۱/۹۶$  استفاده شد.



شکل ۳-۳. تعریف دامنه همسایگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا

### ۳-۴-۳- دلایل مرگ‌ومیر

تجزیه و تحلیل این مطالعه بر مرگ‌ومیرهای طبیعی (به‌استثنای تصادفات) تمرکز کرده‌است. تقریباً تمام مرگ‌ومیرهای غیر تصادفات در بزرگسالان (بیش از ۹۹ درصد) به‌علت بیماری‌های غیرواگیر ( $NCDs^1$ ) به‌علاوه

<sup>1</sup> Non-Communicable Diseases (NCDs)

عفونت حاد سیستم تنفسی تحتانی (<sup>1</sup>LRI) است. بنابراین محاسبه مرگ ناشی از مرگومیر غیر تصادفی به این زیرگروه (NCD + LRI) محدود شد. همچنین برآوردهای جداگانه‌ای برای هر یک از پنج علت مرگ (<sup>2</sup>COD-<sup>5</sup>) که مرگومیر منتسب به آلودگی هوا از طریق آن علل اثبات شده و برآورد مرگ مرتبط با GBD را شامل می‌شود ارائه شد که عبارت‌اند از: بیماری‌های ایسکمیک قلبی (<sup>3</sup>IHD)، سکته مغزی (Stroke)، بیماری انسداد مزمن ریه (<sup>4</sup>COPD)، سرطان ریه (<sup>5</sup>LC)، و عفونت حاد سیستم تنفسی تحتانی (LRI) [۵۴]. در نتایج این تحقیق، تعداد مرگومیر ناشی از آلودگی هوا که از این پنج علت و مجموع علل ایجادشده، ارائه‌شده است.

### ۳-۴-۴- نرخ مرگومیر پایه

نرخ مرگومیر ایران از سایت «موسسه معیارها و ارزیابی سلامت» (<sup>6</sup>IHME) برای سال ۲۰۱۷ (سال ۱۳۹۶) دانلود شده است. این مجموعه، برآوردهای سالیانه را به تفکیک ۵ ساله ارائه می‌دهد. برای اندازه‌گیری مرگومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub>، میزان مرگومیر بزرگسالان (بزرگ‌تر از ۲۵ سال) به تفکیک این شش زیرگروه (NCD + LRI و <sup>5</sup>COD-<sup>5</sup>) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین میزان مرگومیر پایه برای تمام علل مرگ (شامل آسیب‌ها) نیز دریافت شد. تعداد مرگومیر تبریز در گروه‌های سنی بزرگسال برحسب علت مرگ در سال ۱۳۹۶ در جدول ۲-۳ و اشکل ۳-۴ محاسبه و ارائه شده‌است.

<sup>1</sup> Lower Respiratory Infections (LRIs)

<sup>2</sup> Causes of Death (COD)

<sup>3</sup> Ischemic Heart Disease (IHD)

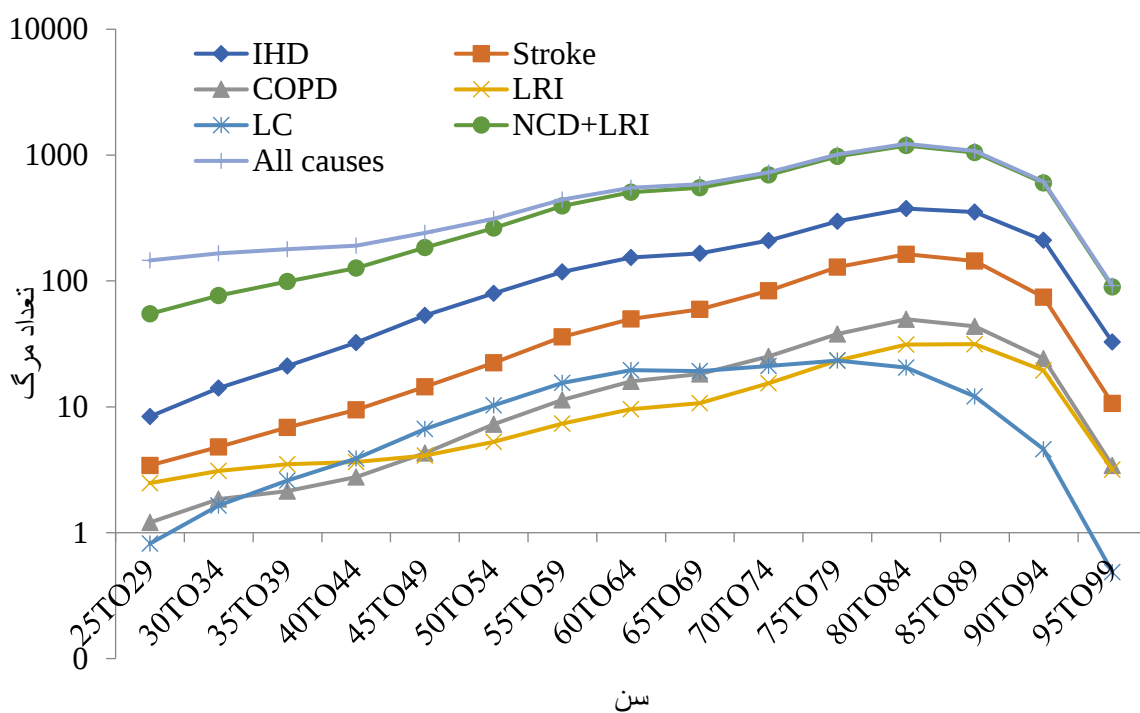
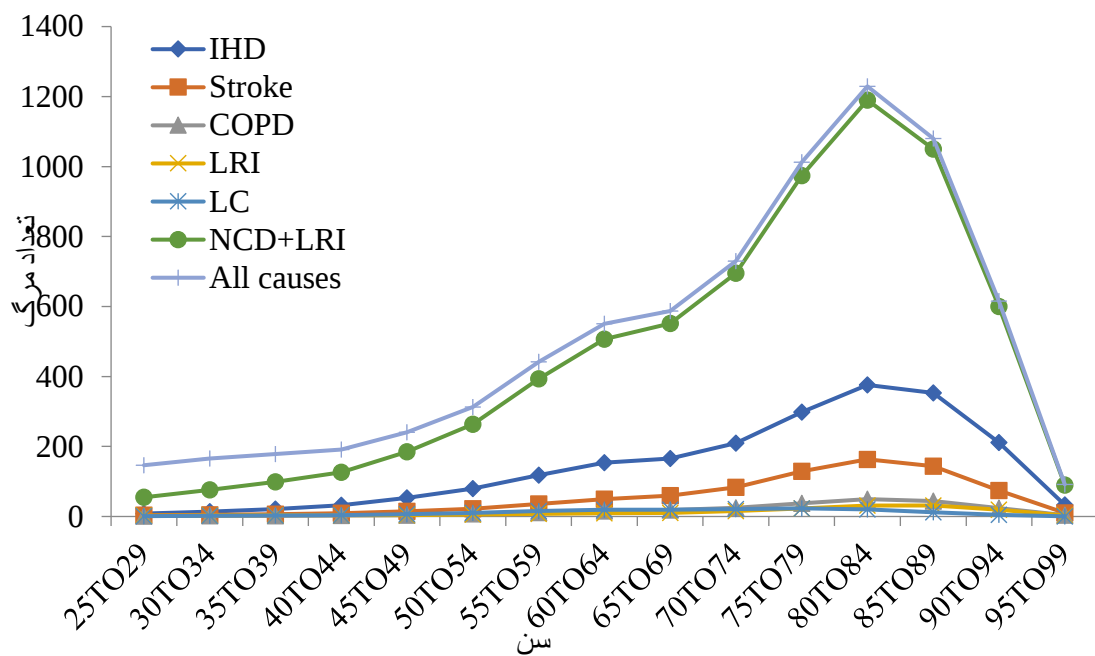
<sup>4</sup> Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)

<sup>5</sup> Lung Cancer (LC)

<sup>6</sup> Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)

جدول ۳-۲. تعداد موارد مرگ (غیرتصادفات) شهر تبریز به تفکیک علت مرگ و گروه سنی در سال ۱۳۹۶

| جنسیت  | رده سنی | IHD  | STROKE | COPD | LC  | LRI | NCD+LRI | تمام علل |
|--------|---------|------|--------|------|-----|-----|---------|----------|
| مردوزن | ۲۹تا۲۵  | ۸    | ۳      | ۱    | ۱   | ۲   | ۵۵      | ۱۴۶      |
| مردوزن | ۳۴تا۳۰  | ۱۴   | ۵      | ۲    | ۲   | ۳   | ۷۶      | ۱۶۶      |
| مردوزن | ۳۹تا۳۵  | ۲۱   | ۷      | ۲    | ۳   | ۴   | ۹۹      | ۱۷۹      |
| مردوزن | ۴۴تا۴۰  | ۳۲   | ۹      | ۳    | ۴   | ۴   | ۱۲۷     | ۱۹۱      |
| مردوزن | ۴۹تا۴۵  | ۵۳   | ۱۴     | ۴    | ۷   | ۴   | ۱۸۵     | ۲۴۱      |
| مردوزن | ۵۴تا۵۰  | ۸۰   | ۲۲     | ۷    | ۱۰  | ۵   | ۲۶۳     | ۳۱۳      |
| مردوزن | ۵۹تا۵۵  | ۱۱۸  | ۳۶     | ۱۱   | ۱۶  | ۷   | ۳۹۴     | ۴۴۲      |
| مردوزن | ۶۴تا۶۰  | ۱۵۳  | ۵۰     | ۱۶   | ۲۰  | ۱۰  | ۵۰۷     | ۵۵۱      |
| مردوزن | ۶۹تا۶۵  | ۱۶۶  | ۶۰     | ۱۸   | ۱۹  | ۱۱  | ۵۵۱     | ۵۸۷      |
| مردوزن | ۷۴تا۷۰  | ۲۱۰  | ۸۴     | ۲۵   | ۲۱  | ۱۵  | ۶۹۵     | ۷۳۰      |
| مردوزن | ۷۹تا۷۵  | ۲۹۸  | ۱۲۹    | ۳۸   | ۲۳  | ۲۳  | ۹۷۴     | ۱۰۱۳     |
| مردوزن | ۸۴تا۸۰  | ۳۷۶  | ۱۶۳    | ۵۰   | ۲۱  | ۳۱  | ۱۱۹۰    | ۱۲۲۹     |
| مردوزن | ۸۹تا۸۵  | ۳۵۳  | ۱۴۴    | ۴۴   | ۱۲  | ۳۲  | ۱۰۵۰    | ۱۰۸۰     |
| مردوزن | ۹۴تا۹۰  | ۲۱۱  | ۷۴     | ۲۴   | ۵   | ۲۰  | ۶۰۰     | ۶۱۶      |
| مردوزن | ۹۹تا۹۵  | ۳۳   | ۱۱     | ۳    | ۰   | ۳   | ۹۰      | ۹۲       |
| مردوزن | ۹۹تا۲۵  | ۲۱۲۷ | ۸۱۲    | ۲۴۹  | ۱۶۲ | ۱۷۴ | ۶۸۵۶    | ۷۵۷۶     |



شکل ۳-۴. روند تغییرات مرگ و میر تبریز در گروه‌های سنی بزرگسال برای علل مرگ انتخابی در سال ۱۳۹۶

### ۳-۴-۵- سایر داده‌های مورد نیاز

از دیگر داده‌های موردنیاز و بدست آمده عبارت‌اند از سرانه تولید ناخالص داخلی ایران و کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه، متوسط VSL کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه، نرخ دیه در کشور در سال ۱۳۹۶، نرخ ارز دولتی و بازار آزاد در سال ۱۳۹۶ و امید به زندگی کشور در سنین مختلف.

### ۳-۵- محاسبه مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub>

برای محاسبه اثرات بهداشتی، از تابع مدل جهانی مواجهه-مرگ (GEMM) استفاده شد که در مقاله Burnett و همکاران ارائه شده است. ارتباط بین میانگین غلظت سالیانه PM<sub>2.5</sub> محیط (نشان داده شده با  $z [\mu\text{g} / \text{m}^3]$ ) و مرگ‌ومیر در هر گروه سنی با استفاده از تابع نسبت خطر معادله (۲-۳) بیان شده است [۵۵].

$$\text{GEMM}(z) = \exp \left\{ \frac{\theta \ln\left(\frac{z+1}{\alpha}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{z-\mu}{\nu}\right)} \right\} \quad (2-3)$$

پارامترهای GEMM ( $\theta, \mu, \alpha, \nu$ ) که شکل تابع پاسخ را توصیف می‌کنند، برای NCD + LRI و پنج علل خاص مرگ، توسط مقاله Burnett و همکاران توصیف شده است. در این تحقیق از پارامترهای جدول ۳-۳ برای برآورد تعداد مرگ‌ومیر مرتبط با PM<sub>2.5</sub> برای تبریز استفاده شده است. برای IHD، سکتة مغزی، و NCD + LRI، GEMM پارامترهای مربوط به هر گروه سنی (۵ سال) و برای همه بزرگسالان (۲۵ سال به بالا) را جداگانه منتشر کرده است؛ ولی برای COPD، LC، و LRI، پارامترها به تفکیک سن نیست. بنابراین پارامترهای GEMM بزرگسالان (بزرگ‌تر از ۲۵ سال) استفاده شد. برای برآورد تعداد مرگ‌ومیر  $\Delta Y$  ناشی از آلودگی هوا برای هر منطقه تبریز، معادله (۳-۳) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

$$\Delta Y = (1 - \text{GEMM}(z_0)/\text{GEMM}(z)) \times Y_0 \times \text{Pop} \quad (3-3)$$

که در آن  $z$  و  $z_0$  به ترتیب غلظت آلودگی هوای آزاد اولیه و ثانویه هستند؛  $Y_0$  مرگومیر پایه به تفکیک سن است و  $\text{Pop}$  جمعیت در معرض آلودگی هوا است که برای هر یک از ۱۰ منطقه شهر تبریز (سال ۱۳۹۶) محاسبه شده است. در میان مطالعات کوهورت  $\text{GEMM}$ ، مطالعه‌ای بر روی مردان چینی [۵۶] با مواجهه  $\text{PM}_{2.5}$  درازمدت در فضای باز تا ۸۴ میکروگرم بر مترمکعب انجام شده است. Burnett و همکاران تمامی پارامترهای  $\text{GEMM}$  را با و بدون در نظر گرفتن آن مطالعه ارائه داده‌اند. نتایج این پایان‌نامه براساس مجموعه اول پارامترها (با کوهورت روی مردان چینی) محاسبه شد.

تعداد کل سال‌های زندگی از دست‌رفته ( $\text{YLL}$ ) نیز با معادله (۳-۴) محاسبه شد [۵۷].

$$\text{YLL} = \sum \text{YLL}_i, \quad \text{YLL}_i = \Delta Y_i \times L_i \quad (4-3)$$

که در آن  $\text{YLL}_i$ ،  $\text{YLL}$  مربوط به مواجهه با  $\text{PM}_{2.5}$ ؛  $Y_i$  مرگومیر ناشی از آلاینده  $\text{PM}_{2.5}$ ، و  $L$  امید به زندگی باقی‌مانده است که همه برای یک گروه سنی  $i$  است. در این مطالعه، از جدول‌های امید به زندگی سایت IHME برای ۲۰۱۷ GDB ایران استفاده شده است [۵۸].

جدول ۳-۳. پارامترهای تخمین مرگ به روش GEMM برای سنین مختلف (Burnett et al., 2018)

| N    | $\mu$ | A   | St. Err $\theta$ | $\Theta$ | Age Range | Cause of Death |
|------|-------|-----|------------------|----------|-----------|----------------|
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01807          | 0.143    | >25       | NCD+LRI        |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01477          | 0.1585   | 27.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.0147           | 0.1577   | 32.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01463          | 0.157    | 37.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.0145           | 0.1558   | 42.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01425          | 0.1532   | 47.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01394          | 0.1499   | 52.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01361          | 0.1462   | 57.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01325          | 0.1421   | 62.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01284          | 0.1374   | 67.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01234          | 0.1319   | 72.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01174          | 0.1253   | 77.5      |                |
| 36.8 | 15.5  | 1.6 | 0.01071          | 0.1141   | 85        |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01787          | 0.2969   | >25       | IHD            |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.02458          | 0.507    | 27.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.02309          | 0.4762   | 32.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.0216           | 0.4455   | 37.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.02011          | 0.4148   | 42.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01862          | 0.3841   | 47.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01713          | 0.3533   | 52.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01564          | 0.3226   | 57.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01415          | 0.2919   | 62.5      |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01266          | 0.2612   | 67.5      |                |

| N    | $\mu$ | A   | St. Err $\theta$ | $\Theta$ | Age<br>Range | Cause of Death |
|------|-------|-----|------------------|----------|--------------|----------------|
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.01117          | 0.2304   | 72.5         |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.00968          | 0.1997   | 77.5         |                |
| 40.2 | 12    | 1.9 | 0.00745          | 0.1536   | 85           |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.07697          | 0.272    | >25          | Stroke         |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.11919          | 0.4513   | 27.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.11197          | 0.424    | 32.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.10475          | 0.3966   | 37.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.09752          | 0.3693   | 42.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.0903           | 0.3419   | 47.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.08307          | 0.3146   | 52.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.07585          | 0.2872   | 57.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.06863          | 0.2598   | 62.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.0619           | 0.2325   | 67.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.05418          | 0.2051   | 72.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.04695          | 0.1778   | 77.5         |                |
| 23.7 | 16.7  | 6.2 | 0.03611          | 0.1368   | 85           |                |
| 32   | 2.5   | 6.5 | 0.06762          | 0.251    | >25          | COPD           |
| 29.8 | 9.3   | 6.2 | 0.06147          | 0.2942   | >25          | LC             |
| 8.4  | 5.7   | 6.4 | 0.11735          | 0.4468   | >25          | LRI            |

### ۳-۶- کاربرد نرم افزار BenMAP-CE

نرم افزار BenMAP-CE شکل ۳-۵ جهت محاسبه و برآورد تعداد مرگ و میر ناشی از تغییرات غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  ما بین وضعیت موجود و حداقل فرض شده مورد نظر برای هر منطقه شهر تبریز مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه، از نسخه ی V1.5.0 نرم افزار BenMAP-CE جهت محاسبه اثرات تغییر کیفیت هوا بر سلامت شهروندان در شهر تبریز استفاده شده است. این نرم افزار که توسط EPA<sup>1</sup> تهیه شده، از انواع روابط غلظت-پاسخ جهت برآورد و محاسبه بار بیماری با استفاده از ابزارهای مکانی، استفاده می کند. در زیر نحوه استفاده از مدل و مراحل تحلیل برای یک سال تبریز بصورت گام به گام توضیح داده شده است.

در این پایان نامه، هدف محاسبه تعداد مرگ و میر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز برای سال ۱۳۹۶ است. تعداد کاهش مرگ و میر حاصل از کم کردن غلظت آلودگی آلاینده  $PM_{2.5}$  سال ۱۳۹۶ به غلظت میانگین سالیانه ۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب و به تفکیک عوامل مختلف ایجاد مرگ محاسبه می شود. عوامل مرگ و میر اتفاق افتاده بر اثر آلودگی هوا عبارتند از: مرگ و میر غیر تصادفی، بیماری های ایسکمیک قلبی، سکته مغزی، بیماری انسداد مزمن ریه، سرطان ریه، و عفونت حاد سیستم تنفسی تحتانی.

---

<sup>1</sup> U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

### ۳-۷- معرفی نرم افزار BenMAP-CE



شکل ۳-۵. نرم افزار BenMAP-CE

وجود ابزار ارزیابی اثرات بهداشتی و اقتصادی آلودگی هوا، جهت تصمیم‌گیری بهتر مدیران دولتی و تحلیلگران شهری ضروری است [۵۹]. ممکن است این ابزارها که در مقاله Anenberg و همکاران، ۱۲ مورد از آنها با هم مقایسه شده‌اند، پیچیدگی‌های متفاوتی داشته باشند، ولی همه نرم‌افزارها با توجه به این اطلاعات، محاسبه و برآورد را انجام می‌دهند: با توجه به اطلاعات و داده‌های بدست آمده در تحقیقات اپیدمیولوژیک آلودگی هوا، تعداد اثرات

بهداشتی ناشی از آلودگی هوا را محاسبه و برآورد می‌کنند. این برنامه‌ها رابط کاربری گرافیکی (GUI) دارند و همچنین بسیاری از داده‌های موردنیاز سلامت و حتی اقتصادی بعضی از کشورها را دارند [۶۰].

در طول سالیان گذشته، تعداد این نوع ابزارها افزایش یافته‌است. یکی از دلایل این افزایش، رشد مطالعات اپیدمیولوژیکی است که پارامترهای کمیتی آلودگی هوا را فراهم می‌کند و علت دیگر افزایش علاقه در میان مدیران دولتی، جهت اطلاع‌رسانی از سیاست‌های بهداشت عمومی است [۶۱] این برنامه‌ها پیچیدگی‌های متفاوتی دارند. به‌عنوان مثال، برنامه‌هایی مانند AirQ سازمان جهانی بهداشت و Aphekom (ارتقاء دانش و ارتباطات برای تصمیم‌گیری در مورد آلودگی هوا و سلامت در اروپا) برای طیف گسترده‌ای از کاربران قابل‌استفاده بوده و می‌توانند به وسیله این نرم‌افزارها اثرات ناشی از آلودگی هوا در سطح کل شهر را محاسبه و برآورد کنند [۶۲،۶۳].

### ۳-۷-۱- تاریخچه

آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) در اواسط دهه ۱۹۹۰، توسعه ابزارهای محاسبه و برآورد اثرات بهداشتی و اقتصادی ناشی از آلودگی هوا را شروع کرد. نرم‌افزاری که آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در ابتدا برای محاسبه و برآورد اثرات بهداشتی و اقتصادی ناشی از آلودگی هوا استفاده می‌کرد، سیستم معیارهای آلاینده‌های هوا (CAPMS) بود. ابزار CAPMS دارای رابط کاربری گرافیکی و داده‌های جمعیتی، نرخ‌های پایه مرگ‌وبیماری و ضرایب بتا بود که از قبل به پایگاه داده آن وارد شده بود. بارگذاری داده‌های غلظت آلاینده‌ها به CAPMS کار آسانی نبود. با توجه به این مشکلات، آژانس در سال ۲۰۰۳ به نرم‌افزار (BenMAP) روی آورد [۶۴]. BenMAP در مقایسه با CAPMS، به کاربران جهت ویرایش داده‌های کیفیت هوا، جمعیت، نرخ‌های پایه مرگ‌وبیماری‌ها و توابع مربوطه، دسترسی می‌داد. ابزار BenMAP-CE در دلفی<sup>۱</sup> نوشته شده و شامل یک سیستم

---

<sup>1</sup> Delphi

ابتدایی اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای انجام محاسبات مکانی و نمایش نتایج روی نقشه بود. بین سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲، سازمان به‌طور مرتب ابزار را برای اطلاعات جدید آلودگی هوا به‌روزرسانی می‌کرد [۶۶، ۶۵، ۶۰]. نسخه جدید این نرم‌افزار در ماه مارس ۲۰۱۵ و با نام نسخه‌ی عمومی نرم‌افزار ترسیم و ارزیابی مزایای محیط‌زیستی (BenMAP-CE)، به‌صورت عمومی و رایگان عرضه شد.

نرم‌افزار بصورت رایگان از سایت EPA<sup>۱</sup> قابل دانلود است: <https://www.epa.gov/benmap>

### ۳-۷-۲- برنامه‌نویسی کامپیوتری نرم‌افزار BenMAP-CE

BenMAP-CE با استفاده از #C در Net. فریم ورک نوشته‌شده و از Firebird به‌عنوان پایگاه داده ارتباطی و از DotSpatial برای تحلیل مکانی و ترسیم نقشه استفاده می‌کند. همچنین BenMAP-CE به کاربران اجازه می‌دهد اطلاعات و داده‌های مربوط به اشکالات نرم‌افزاری یا سایر توصیه‌ها را گزارش دهند.

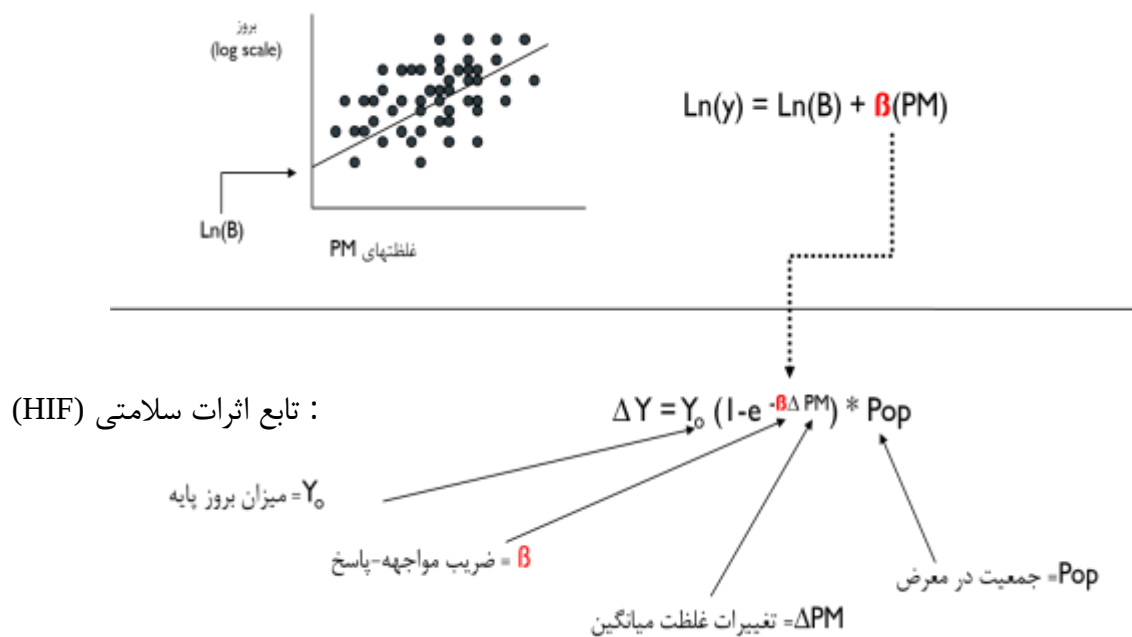
### ۳-۷-۳- روش تحلیل نرم‌افزار BenMAP-CE

کاربران نرم‌افزار BenMAP-CE برای برآورد و محاسبه تعداد مرگ‌ومیر و ارزش اقتصادی ناشی از آلودگی هوا، این هفت نوع داده را باید جمع‌آوری کنند: (۱) تغییر کیفیت هوا؛ (۲) جمعیت در معرض آلاینده‌های هوا؛ (۳) نرخ پایه مرگ‌وبیماری در میان جمعیت در معرض؛ (۴) ضریب بتا؛ (۵) شکل عملکرد تابع تأثیر سلامت؛ (۶) سال تحلیل؛ و (۷) تابع ارزش اقتصادی.

---

<sup>1</sup> Environmental Protection Agency

فرمول محاسبه اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا، یک تابع تأثیر سلامت<sup>۱</sup> (HIF) نامیده می‌شود. شکل تابع HIF براساس رویکرد آماری که در مطالعه اپیدمیولوژیک استفاده شده است و ضریب بتا از آن به دست آمده (و اغلب یک مدل آماری لگاریتمی-خطی است) معمولاً به صورت معادله ارائه شده در شکل ۳-۶ است.

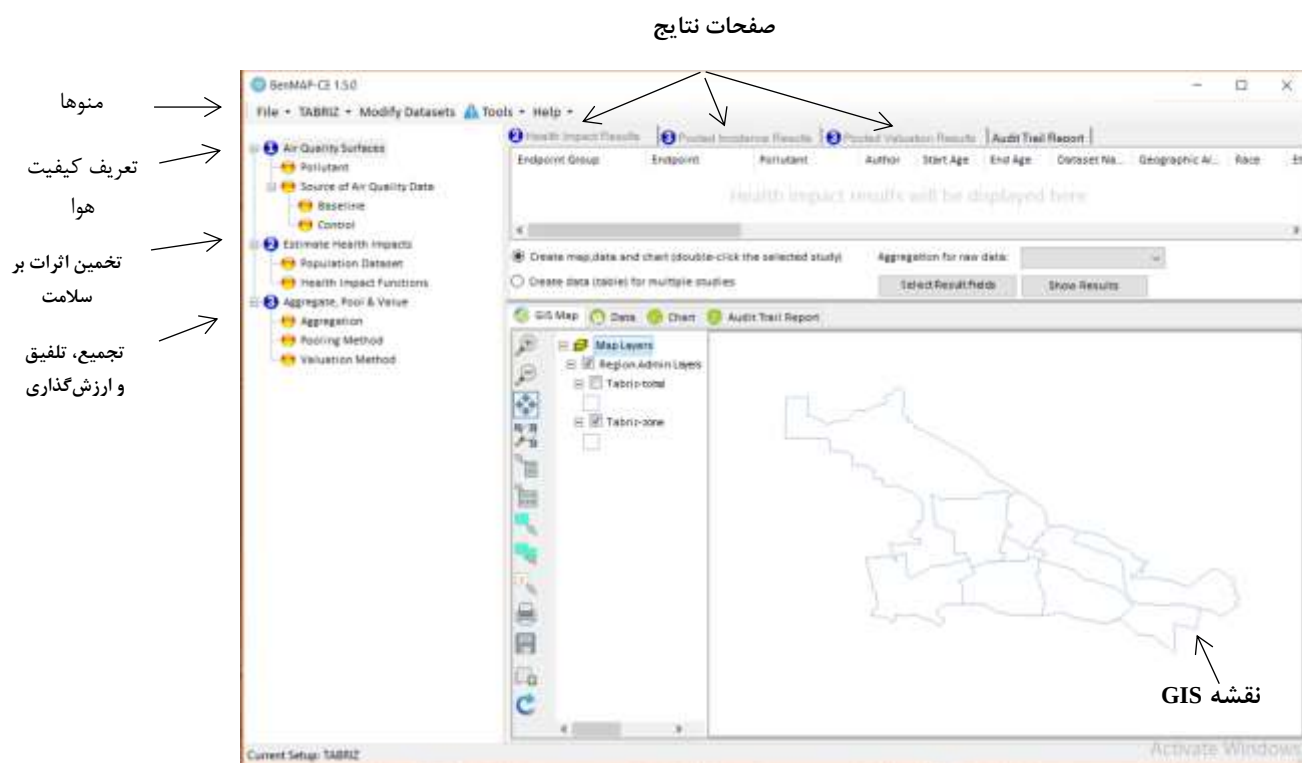


شکل ۳-۶. نحوه‌ی استخراج تابع HIF از مطالعات اپیدمیولوژی

<sup>1</sup> Health Impact Function

### ۳-۸- منوهای نرم افزار

در شکل ۳-۷ بخش‌های مختلف BenMAP-CE نشان داده شده است. به هنگام اجرای بار اول، به صورت پیش فرض اطلاعات ایالات متحده آمریکا بارگذاری می‌شود، که بعد از وارد کردن اطلاعات شهر یا کشور مورد نظر، می‌توان آن را تغییر داد.

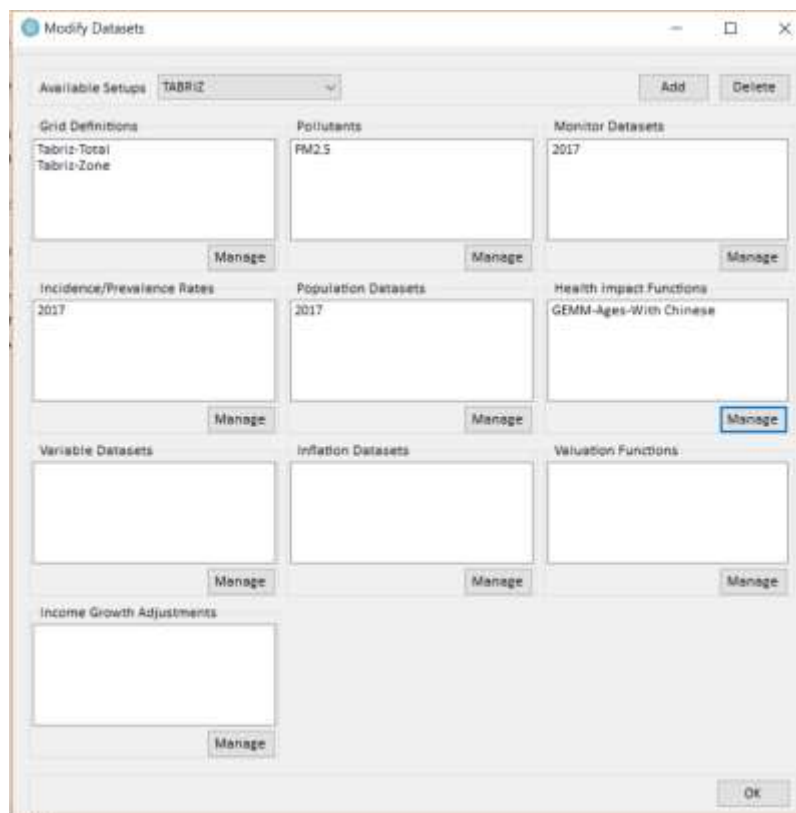


شکل ۳-۷. صفحه اصلی برنامه BenMAP-CE

### ۳-۸-۱- منوی تعریف و ویرایش داده‌ها

در مرحله اول، محقق باید شهر یا کشور مورد نظر، برای تحلیل را انتخاب کند یا داده‌های شهر مورد نظر را برای نرم افزار تعریف کند، چون نرم افزار BenMAP-CE مجموعه‌ای از داده‌ها را در "Setup" برای تحلیل اثرات بهداشتی آلودگی هوا در کشورهای ایالات متحده آمریکا، چین و همچنین به‌طور خاص برای شهرهای دیترویت، میشیگان جمع‌آوری کرده‌است. قبل از شروع تحلیل باید داده‌های موردنیاز را در منوی مربوطه (شکل ۳-۸)، مطابق زیر وارد کنیم. ۱۰ نوع داده در این بخش قابل تعریف است:

- تعریف شبکه‌بندی (نقشه) شهر یا کشور
- تعریف آلاینده
- داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها
- نرخ‌های بروز و ممانعت
- داده‌های جمعیت
- توابع اثرات سلامت
- متغیرهای اقتصادی-اجتماعی
- نرخ‌های تورم
- توابع ارزش‌گذاری
- داده‌های رشد درآمد

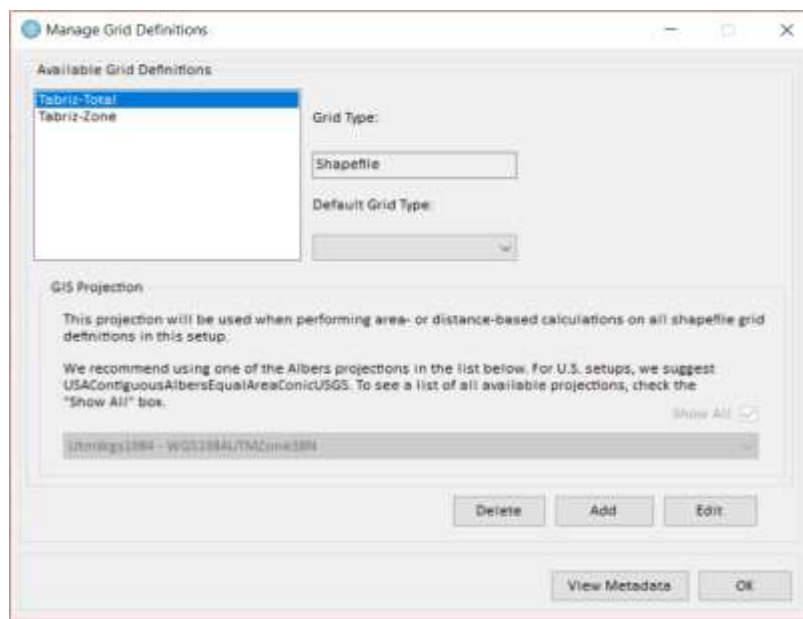


شکل ۳-۸. منو تعریف و ویرایش داده‌ها در نرم‌افزار BenMAP-CE

### ۳-۸-۲- تعریف شبکه

برنامه BenMAP-CE از ساختار شبکه‌ای مکانی برای انجام محاسبات استفاده می‌کند. شبکه‌ها یا به شکل منظم (مانند دامنه مدل‌سازی کیفیت هوا که اغلب به مربع‌های یکنواخت شکسته می‌شود) و یا نامنظم (مثل مرزهای سیاسی و منطقه‌ای مکان مورد نظر) هستند. هر مجموعه داده شامل غلظت آلاینده مورد نظر، جمعیت، و نرخ‌های پایه مرگ و بیماری‌ها به سلول‌های شبکه اختصاص داده می‌شوند. مثلاً ممکن است جمعیت هر سلول شبکه مشخص باشد ولی نرخ مرگ و میر پایه، برای کل شهر یا کشور مشخص بوده و به کل شبکه، و نه به هر سلول به‌طور جداگانه، نسبت داده می‌شود. داده‌های کیفیت هوا را معمولاً می‌توان به سلول‌های شبکه منظم، اغلب ۱۲ کیلومتر در ۱۲ کیلومتر، نسبت داد؛ در حالی که داده‌های جمعیتی را معمولاً در سطح بلوک، محله، ناحیه و یا منطقه شهری، و نرخ

پایه مرگ و یا بیماری را در سطح شهر نسبت می‌دهیم. با این حال نتایج کلی سلامت برای وضوح مکانی داده‌های کیفیت هوا برآورد و ارائه می‌شود (یعنی هر سلول شبکه) و سپس می‌تواند به یک وضوح مکانی بزرگ‌تر (به‌عنوان مثال، شهرستان، کشور، و غیره) تعمیم داده شود. به‌عنوان یک نتیجه جنبی از این وضوح مکانی متفاوت، GIS تعبیه‌شده در BenMAP-CE، برآورد وزن‌دهی شده با مساحت را انجام می‌دهد که داده‌ها را از یک شبکه‌بندی منظم (به‌عنوان مثال ۱۲ کیلومتر در ۱۲ کیلومتر شبکه کیفیت هوا) به شبکه‌بندی دیگر (به‌عنوان مثال مناطق شهری) مرتبط می‌کند. در این پایان‌نامه که بر مبنای داده‌های پایش ایستگاه‌ها است و از نتایج مدل‌سازی استفاده نمی‌شود، از شبکه‌بندی نامنظم استفاده می‌شود. برای شهر تبریز از یک فایل منطقه‌ای و یک فایل مرزکلی شهر استفاده شد. در ورود نقشه‌ها باید توجه داشت که طرح جی‌آی‌اس<sup>۱</sup> برای تبریز WGS1984UTMZone38N (شکل ۳-۹) تعریف شود.

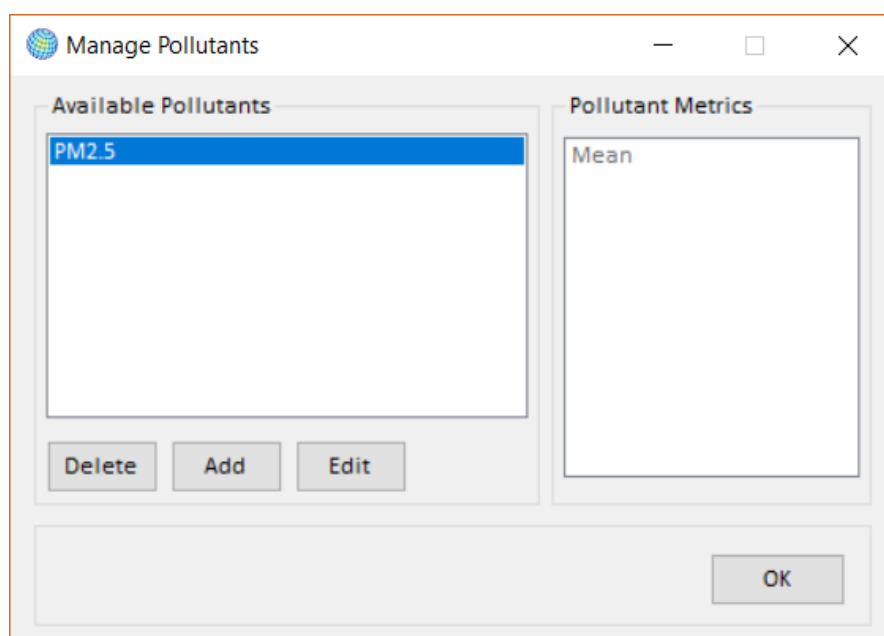


شکل ۳-۹. منوی بارگذاری نقشه‌ها

<sup>1</sup> GIS Projection

### ۳-۸-۳- تعریف آلاینده‌ها

در این بخش انواع آلاینده‌هایی که در تحلیل استفاده خواهد شد و همچنین، ساعت، فصل و سال تحلیل نیز در این بخش باید معرفی شوند. به عنوان مثال برای تیریز داده‌های میانگین سالیانه غلظت ذرات معلق ریز با نام  $PM_{2.5}$  معرفی می‌گردد و نحوه اندازه‌گیری آن Mean به معنی میانگین سالیانه غلظت ذرات معلق، درج می‌شود. شکل ۳-۱۰.



شکل ۳-۱۰. منوی تعریف نوع آلاینده

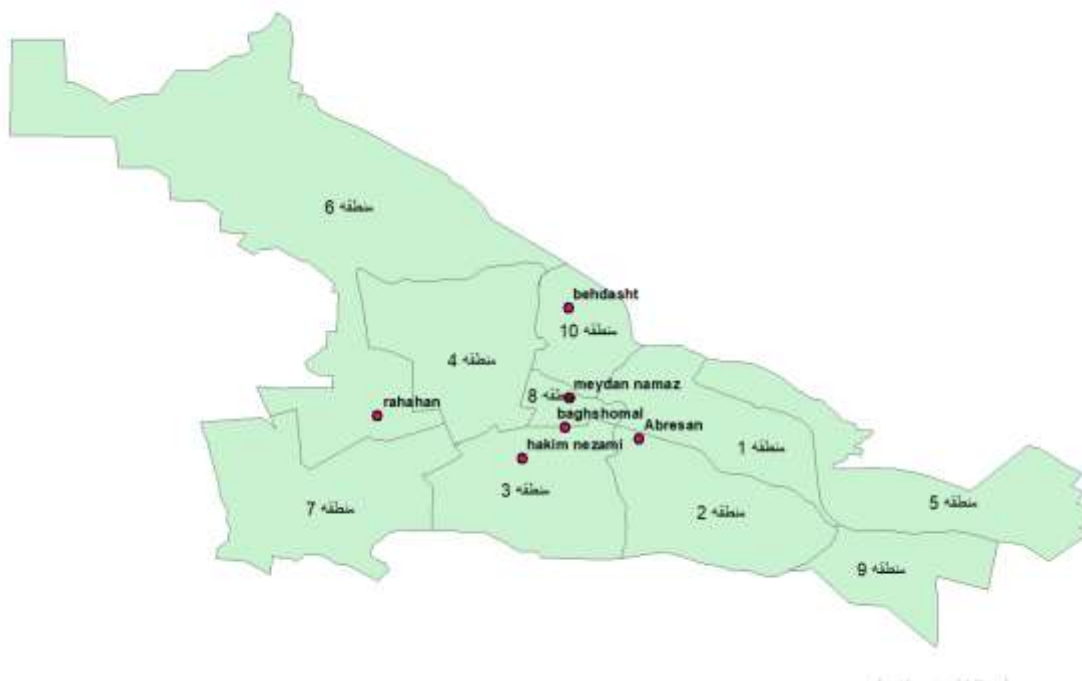
### ۳-۸-۴- داده‌های ایستگاه‌های سنجش

در این قسمت داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا (شکل ۳-۱۲)، در فرمت اکسل (شکل ۳-۱۱) به نرم‌افزار BenMAP-CE وارد می‌شود.

Tabriz-new-Mean-2017.xls

|   | A            | B                   | C         | D         | E      | F               | G         | H      | I |
|---|--------------|---------------------|-----------|-----------|--------|-----------------|-----------|--------|---|
|   | Monitor Name | Monitor Description | Latitude  | Longitude | Metric | Seasonal Metric | Statistic | Values |   |
| 2 | Abresan      | Urban               | 38.063969 | 46.322334 |        |                 | Mean      | 23.6   |   |
| 3 | baghshomal   | Urban               | 38.067918 | 46.297121 |        |                 | Mean      | 26.9   |   |
| 4 | hakim nezami | Urban               | 38.057246 | 46.282502 |        |                 | Mean      | 23     |   |
| 5 | meydan namaz | Urban               | 38.078059 | 46.298611 |        |                 | Mean      | 26.1   |   |
| 6 | rahahan      | Urban               | 38.072006 | 46.233009 |        |                 | Mean      | 16.2   |   |
| 7 | behdasht     | Urban               | 38.108813 | 46.298186 |        |                 | Mean      | 20.9   |   |
| 8 |              |                     |           |           |        |                 |           |        |   |

شکل ۳-۱۱. نمونه فرمت داده‌های ایستگاه‌های سنجش ورودی به مدل



شکل ۳-۱۲. ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تبریز

### ۳-۸-۵- نرخ‌های بروز و ممانعت پایه

نرخ بروز پایه عبارت است از تعداد بروز یک عارضه (مثلاً سرطان ریه) بر نفر در جمعیت و دوره زمانی مورد بررسی. در زیر منوی تعریف بروز پایه نشان داده شده است. این اعداد معمولاً تعداد در ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت ارائه می‌شوند و باید بر ۱۰۰۰۰۰ تقسیم شده تا نرخ بر واحد نفر به دست آید. این اعداد بر مبنای مطالعات اپیدمیولوژیک، برای نژاد، قومیت، جنس و سنین مختلف و در هر سلول شبکه قابل اعمال هستند؛ لیکن باید به شبکه مکانی مطالعه اعمال شود. به عنوان مثال نرخ بروز پایه در تبریز به تفکیک منطقه وجود ندارد و به تفکیک کشوری موجود است، بنابراین این اعداد به بزرگ‌ترین شبکه موجود در تحلیل یعنی مرز کلی شهر تبریز اعمال می‌شود. در شکل ۳-۱۳، اعمال نرخ بروز پایه، بر شبکه‌ی مرز کلی شهر تبریز مشخص شده است. در شکل ۳-۱۴ فرمت داده‌های ورودی نرخ بروز پایه که در فرمت اکسل است ارائه شده است.

Incidence Dataset Definition

Dataset Name: 2017

Grid Definition: Tabco-Total

Dataset Incidence Rates

Filter Endpoint Group: [Dropdown] Filter Endpoint: [Dropdown] Filter: [Text] [Group] [X]

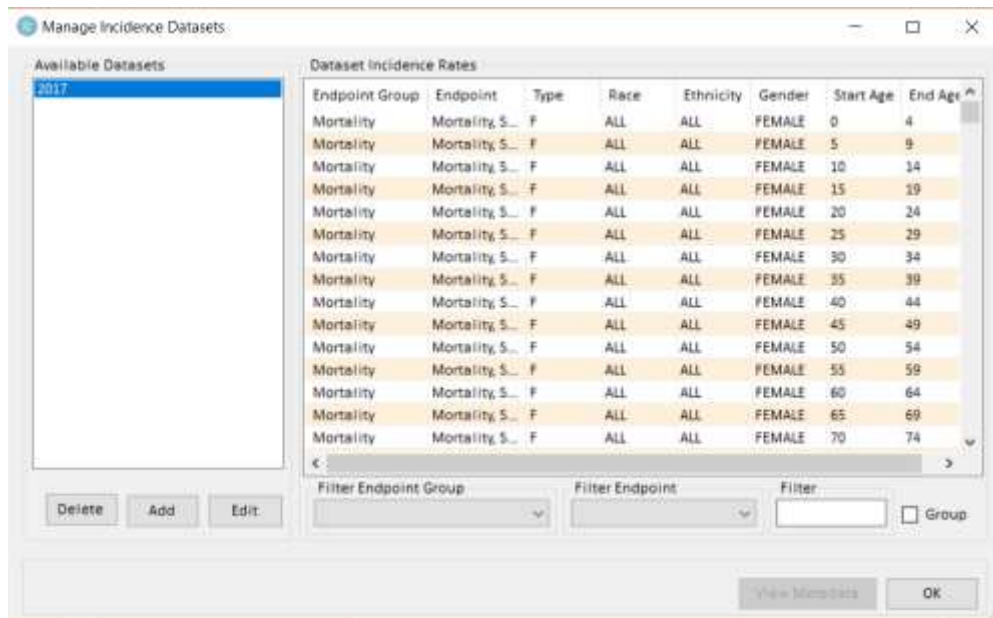
| Endpoint Group | Endpoint     | Type      | Race | Ethnicity | Gender | Start Age | End Age |
|----------------|--------------|-----------|------|-----------|--------|-----------|---------|
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 0         | 4       |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 5         | 9       |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 10        | 14      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 15        | 19      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 20        | 24      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 25        | 29      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 30        | 34      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 35        | 39      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 40        | 44      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 45        | 49      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 50        | 54      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 55        | 59      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 60        | 64      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 65        | 69      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 70        | 74      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 75        | 79      |
| Mortality      | Mortality S. | Incidence | ALL  | ALL       | FEMALE | 80        | 84      |

Output Sample File [Load From File] [Delete]

Column Row Value

This list is empty

OK



شکل ۳-۱۳. منوهای ورود داده‌های بروز پایه در BenMAP-CE

| Endpoint Group | Endpoint          | Race | Ethnicity | Type      | Gender | Start Age | End Age | Column | Row | Value     |
|----------------|-------------------|------|-----------|-----------|--------|-----------|---------|--------|-----|-----------|
| 1 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 0         | 4       | 1      | 1   | 0.000003  |
| 2 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 5         | 9       | 1      | 1   | 0.000004  |
| 3 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 10        | 14      | 1      | 1   | 0.000007  |
| 4 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 15        | 19      | 1      | 1   | 0.000011  |
| 5 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 20        | 24      | 1      | 1   | 0.000014  |
| 6 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 25        | 29      | 1      | 1   | 0.000018  |
| 7 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 30        | 34      | 1      | 1   | 0.000025  |
| 8 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 35        | 39      | 1      | 1   | 0.000037  |
| 9 Mortality    | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 40        | 44      | 1      | 1   | 0.000069  |
| 10 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 45        | 49      | 1      | 1   | 0.000110  |
| 11 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 50        | 54      | 1      | 1   | 0.000199  |
| 12 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 55        | 59      | 1      | 1   | 0.000386  |
| 13 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 60        | 64      | 1      | 1   | 0.000758  |
| 14 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 65        | 69      | 1      | 1   | 0.001427  |
| 15 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 70        | 74      | 1      | 1   | 0.002620  |
| 16 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 75        | 79      | 1      | 1   | 0.003748  |
| 17 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 80        | 84      | 1      | 1   | 0.004743  |
| 18 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 85        | 89      | 1      | 1   | 0.005692  |
| 19 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 90        | 94      | 1      | 1   | 0.0061925 |
| 20 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | FEMALE | 95        | 99      | 1      | 1   | 0.004894  |
| 21 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 0         | 4       | 1      | 1   | 0.000004  |
| 22 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 5         | 9       | 1      | 1   | 0.000005  |
| 23 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 10        | 14      | 1      | 1   | 0.000008  |
| 24 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 15        | 19      | 1      | 1   | 0.000012  |
| 25 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 20        | 24      | 1      | 1   | 0.000025  |
| 26 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 25        | 29      | 1      | 1   | 0.000028  |
| 27 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 30        | 34      | 1      | 1   | 0.000035  |
| 28 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 35        | 39      | 1      | 1   | 0.000058  |
| 29 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 40        | 44      | 1      | 1   | 0.000096  |
| 30 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 45        | 49      | 1      | 1   | 0.000171  |
| 31 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 50        | 54      | 1      | 1   | 0.000340  |
| 32 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 55        | 59      | 1      | 1   | 0.000617  |
| 33 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 60        | 64      | 1      | 1   | 0.001047  |
| 34 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 65        | 69      | 1      | 1   | 0.001730  |
| 35 Mortality   | Mortality, Stroke | ALL  | ALL       | Incidence | MALE   | 70        | 74      | 1      | 1   | 0.003017  |

شکل ۳-۱۴. فرمت داده‌های ورودی نرخ بروز پایه

### ۳-۸-۶- داده‌های جمعیت

داده‌های جمعیت در معرض آلودگی هوا، برای هر سلول شبکه قابل تعریف است. نژاد، قومیت، جنس و رده‌ی سنی و دوره‌ی زمانی قابل تعریف است. در شکل ۳-۱۵ نمونه فرمت داده‌ی جمعیت ارائه شده است. به عنوان مثال، جمعیت ۷۴ تا ۷۰ مرد در منطقه یک تبریز در سال ۱۳۹۶ تعداد ۱۹۸۴ نفر بوده است.

|    | A    | B         | C      | D        | E      | F   | G          | H    | I |
|----|------|-----------|--------|----------|--------|-----|------------|------|---|
|    | Race | Ethnicity | Gender | AgeRange | Column | Row | Population | Year |   |
| 1  | All  | All       | MALE   | 0T04     | 1      | 1   | 9448.697   | 2017 |   |
| 2  | All  | All       | MALE   | 5T09     | 1      | 1   | 8878.941   | 2017 |   |
| 3  | All  | All       | MALE   | 10T14    | 1      | 1   | 7865.709   | 2017 |   |
| 4  | All  | All       | MALE   | 15T19    | 1      | 1   | 7692.771   | 2017 |   |
| 5  | All  | All       | MALE   | 20T24    | 1      | 1   | 8470.138   | 2017 |   |
| 6  | All  | All       | MALE   | 25T29    | 1      | 1   | 10798.25   | 2017 |   |
| 7  | All  | All       | MALE   | 30T34    | 1      | 1   | 11366.57   | 2017 |   |
| 8  | All  | All       | MALE   | 35T39    | 1      | 1   | 10190.82   | 2017 |   |
| 9  | All  | All       | MALE   | 40T44    | 1      | 1   | 8439.888   | 2017 |   |
| 10 | All  | All       | MALE   | 45T49    | 1      | 1   | 7324.919   | 2017 |   |
| 11 | All  | All       | MALE   | 50T54    | 1      | 1   | 5892.041   | 2017 |   |
| 12 | All  | All       | MALE   | 55T59    | 1      | 1   | 4968.56    | 2017 |   |
| 13 | All  | All       | MALE   | 60T64    | 1      | 1   | 3825.481   | 2017 |   |
| 14 | All  | All       | MALE   | 65T69    | 1      | 1   | 2545.137   | 2017 |   |
| 15 | All  | All       | MALE   | 70T74    | 1      | 1   | 1983.942   | 2017 |   |
| 16 | All  | All       | MALE   | 75T79    | 1      | 1   | 1588.267   | 2017 |   |
| 17 | All  | All       | MALE   | 80T84    | 1      | 1   | 1137.799   | 2017 |   |
| 18 | All  | All       | MALE   | 85T89    | 1      | 1   | 547.7816   | 2017 |   |
| 19 | All  | All       | MALE   | 90T94    | 1      | 1   | 186.0659   | 2017 |   |
| 20 | All  | All       | MALE   | 95UP     | 1      | 1   | 15.69575   | 2017 |   |
| 21 | All  | All       | FEMALE | 0T04     | 1      | 1   | 8803.744   | 2017 |   |
| 22 | All  | All       | FEMALE | 5T09     | 1      | 1   | 8371.968   | 2017 |   |
| 23 | All  | All       | FEMALE | 10T14    | 1      | 1   | 7487.299   | 2017 |   |
| 24 | All  | All       | FEMALE | 15T19    | 1      | 1   | 7063.514   | 2017 |   |
| 25 | All  | All       | FEMALE | 20T24    | 1      | 1   | 7958.457   | 2017 |   |
| 26 | All  | All       | FEMALE | 25T29    | 1      | 1   | 10228.63   | 2017 |   |
| 27 | All  | All       | FEMALE | 30T34    | 1      | 1   | 11167.38   | 2017 |   |
| 28 | All  | All       | FEMALE | 35T39    | 1      | 1   | 9982.067   | 2017 |   |
| 29 | All  | All       | FEMALE | 40T44    | 1      | 1   | 8178.911   | 2017 |   |

شکل ۳-۱۵. فرمت داده‌های جمعیتی ورودی به BenMAP-CE

### ۳-۸-۷- توابع اثرات سلامت

توابع اثرات سلامت، تعداد موارد اثرات سلامت ناشی از تغییر کیفیت هوا در یک جمعیت مشخص را برآورد می‌کند. در این مطالعه از تابع پیشرفته GEMM استفاده می‌شود. شکل ۳-۱۶ یک نمونه فرمت تابع اثرات سلامت استفاده شده را نمایش می‌دهد.

|    | A              | B                                 | C                | D               | E             | F     | G       | H     | I        | J     | K               | L              | M   | N      | O     | P   |     |     |                                                         |
|----|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|---------------|-------|---------|-------|----------|-------|-----------------|----------------|-----|--------|-------|-----|-----|-----|---------------------------------------------------------|
| 1  | Endpoint Group | Endpoint                          | Pollutant/Metric | Seasonal/Metric | Statistic     | Study | Year    | Study | Location | Other | Qualifier       | Reference      | Rao | Gender | Start | Age | End | Age | Function                                                |
| 2  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 25    | 29  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 3  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 30    | 34  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 4  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 35    | 39  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 5  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 40    | 44  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 6  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 45    | 49  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 7  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 50    | 54  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 8  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 55    | 59  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 9  | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 60    | 64  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 10 | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 65    | 69  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 11 | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 70    | 74  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 12 | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 75    | 79  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 13 | Mortality      | Mortality, Stroke                 | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 80    | 89  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ16.2-10)H |
| 14 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 25    | 29  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 15 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 30    | 34  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 16 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 35    | 39  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 17 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 40    | 44  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 18 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 45    | 49  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 19 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 50    | 54  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 20 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 55    | 59  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 21 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 60    | 64  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 22 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 65    | 69  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 23 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 70    | 74  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 24 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 75    | 79  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 25 | Mortality      | Mortality, Ischemic Heart Disease | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 80    | 89  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 26 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 25    | 29  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 27 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 30    | 34  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 28 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 35    | 39  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 29 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 40    | 44  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 30 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 45    | 49  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 31 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 50    | 54  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 32 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 55    | 59  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |
| 33 | Mortality      | Mortality, Non-Accidental         | PM2.5            | 024hour/Year    | Quartile/Mean | Mean  | Burnett | 2018  | Global   |       | Pooled estimate | Burnett et al. | AI  | AI     | 60    | 64  |     |     | $\ln(IQ_4)$ then result = (HIE/PBesa) * LOG(IQ11.9-10)H |

شکل ۳-۱۶. فرمت تابع اثرات سلامت استفاده شده در BenMAP-CE

### ۳-۹- مراحل اجرای تحلیل

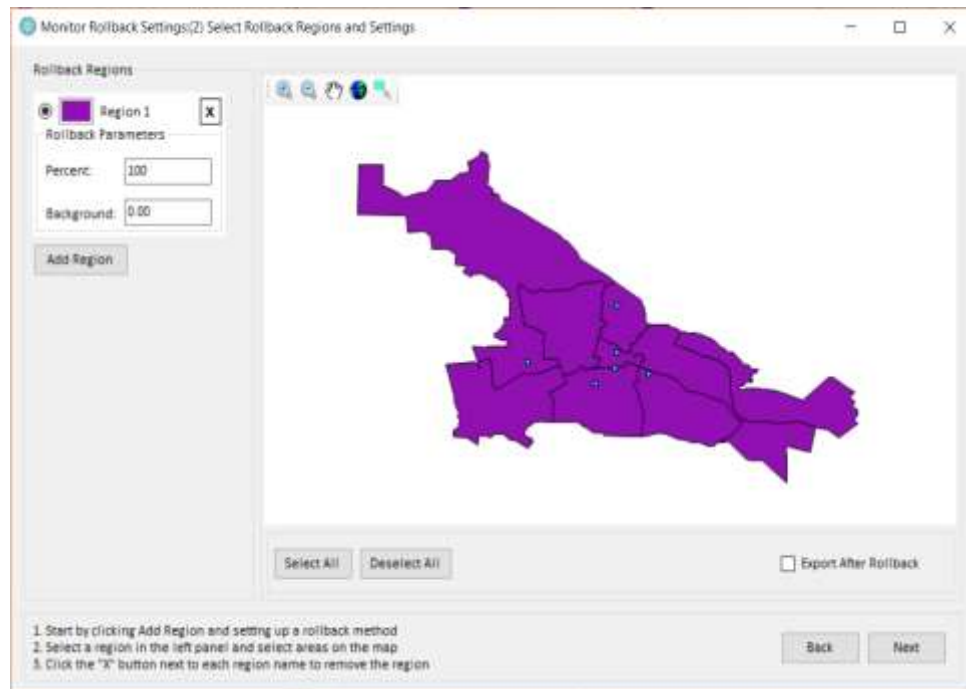
#### ۳-۹-۱- اعمال داده‌های کیفیت هوا

در مرحله اول یک تحلیل در برنامه BenMAP-CE، کاربر شبکه کیفیت هوای پایه (Baseline) و شبکه کیفیت هوای کنترل (Control) را در قالب فایل‌های aqgx ایجاد می‌کند. شبکه پایه به طور کلی وضعیت فعلی یا وضعیت قبل از اعمال تغییرات را نشان می‌دهد؛ در حالی که شبکه کنترل، تغییرات در کیفیت هوا را پس از اعمال سناریو نشان می‌دهد. ابزار BenMAP-CE تعداد موارد آثار بهداشتی آلودگی هوا را که ممکن است از تغییر در کیفیت هوا ایجاد شود، در سطح سلول‌های شبکه، برآورد می‌کند. برنامه، لایه تفاوت (Delta) را از اختلاف بین داده‌های پایه و کنترل کیفیت هوا برآورد می‌کند و سه نقشه کیفیت پایه، کنترل و تفاوت را با استفاده از DotSpatial GIS ایجاد

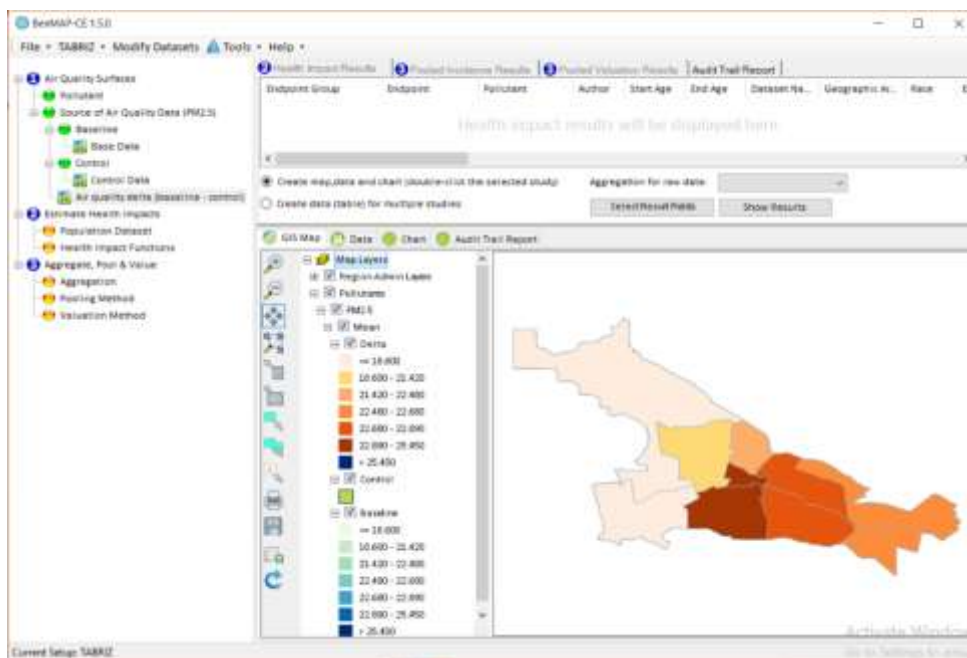
می‌کند. این برنامه شامل یک الگوریتم درونیابی با روش وزن معکوس فاصله به نام میانگین‌گیری همسایگی ورونوی<sup>۱</sup> است. این الگوریتم برای تعیین کیفیت هوای سلول‌های شبکه از داده‌های ایستگاه‌های پایش استفاده می‌کند. هنگامی که کاربر تحلیلی را طراحی می‌کند، محقق باید تصمیم بگیرد که آیا از داده‌های کیفیت هوای از پایش بارگذاری شده استفاده می‌کند یا از داده‌های نتایج مدلسازی و یا داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا استفاده می‌کند. BenMAP-CE می‌تواند داده‌های کیفیت هوا را از منابع مختلف به فرمت فایل‌های csv یا xlsx دریافت کند. در صورت وارد کردن داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، BenMAP-CE نیاز به طول و عرض جغرافیایی موقعیت هر ایستگاه دارد. در این پایان‌نامه، تحلیل برای آلاینده PM<sub>2.5</sub> انجام می‌شود. بنابراین، اطلاعات پایش PM<sub>2.5</sub> شهر تبریز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه برای تولید شبکه‌های کیفیت هوای پایه و کنترل، ویژگی کاهش مقادیر ایستگاه اجرا شده است. این روش مستلزم ایجاد یک سطح کیفیت هوای پایه، با استفاده از داده‌های پایش آلاینده PM<sub>2.5</sub> (سال ۱۳۹۶) و سپس کاهش مقادیر (یا تنظیم) این داده‌های پایش جهت ایجاد لایه کنترل است (شکل ۳-۱۸)؛ به‌طوریکه غلظت‌های محیطی PM<sub>2.5</sub>، بالاتر از حداقل سالیانه ۲.۴ میکروگرم بر مترمکعب نباشد. شکل ۳-۱۷ صفحه تنظیم نوع تغییر توزیع آلودگی را برای تبریز و با سناریوی کاهش ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد.

---

<sup>1</sup> Voronoi Neighbor Averaging (VNA)



شکل ۳-۱۷. صفحه تنظیم نوع تغییر توزیع آلودگی تبریز، ۱۰۰ درصد کاهش

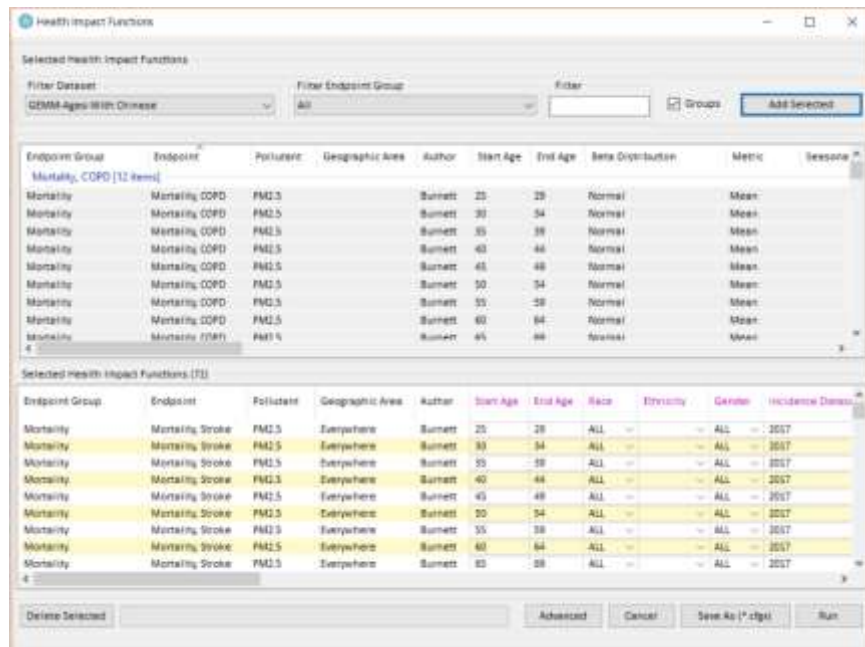


شکل ۳-۱۸. نمایش توزیع تغییرات غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  تحت سناریوی رسیدن به حداقل غلظت

### ۳-۹-۲- اثرات بهداشتی: انتخاب دلایل، میزان پایه مرگ و بیماری و جمعیت

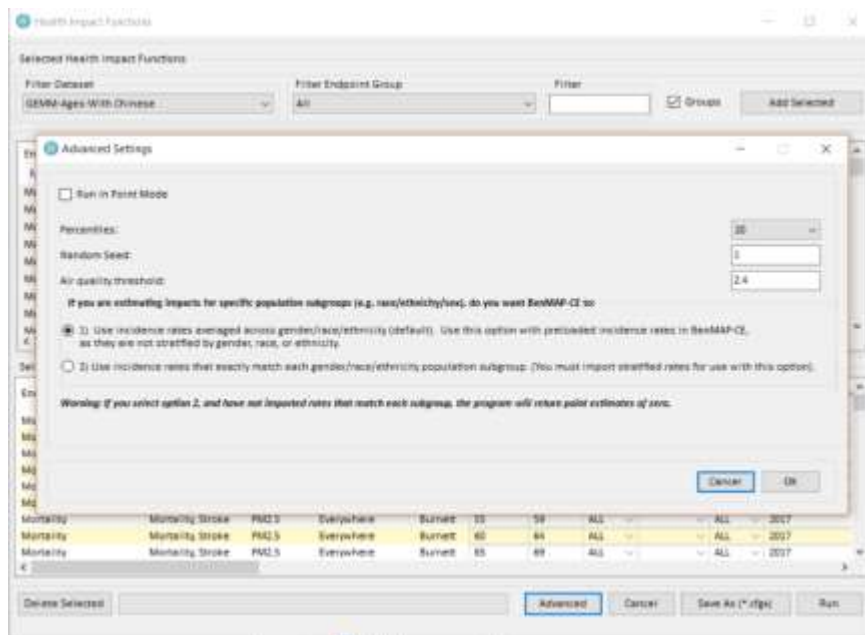
در مرحله دوم تحلیل BenMAP-CE، کاربر تعداد اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا را که در مرحله اول تحلیل، تخمین زده شده را برآورد و محاسبه می‌کند. برای رسیدن به این هدف، کاربر ابتدا باید داده‌های جمعیتی را تعریف کند، که برای شهر تبریز، داده‌های جمعیتی برای سال ۱۳۹۶ بارگذاری می‌شود.

یک اصل ضروری در محاسبه اثرات بهداشتی ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$ ، فرآیند تعیین HIF در تحلیل است. BenMAP-CE از ضرایب بتا که نشان‌دهنده ارتباط بین آلودگی هوا و اثرات سلامتی گزارش شده در مطالعات اپیدمیولوژیک و همچنین عنصر اصلی ایجاد HIF ها و سپس برآورد شمار مرگ و میر و بیماری ناشی از آلودگی هوا است، استفاده می‌کند. در پایان نامه مورد نظر، جمعیت سال ۱۳۹۶ را انتخاب کردیم که مربوط به همان زمان جمع‌آوری داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلاینده  $PM_{2.5}$  است. سپس از طریق فرآیند انتخاب HIF هایی که برای تخمین مرگ و میر مرتبط با  $PM_{2.5}$  است، ادامه دادیم. هنگامی که HIF ها انتخاب می‌شوند، یک فایل پیکربندی cfigx می‌تواند ذخیره شود که به کاربران اجازه می‌دهد تحلیل‌های آینده را با استفاده از همان مجموعه HIF ها انجام دهیم (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹. انتخاب تابع اثرات سلامت برای شروع اجرای تحلیل

در این مرحله از تحلیل باید با استفاده از تنظیمات پیشرفته، حداقل غلظت را مشخص نمود. مبنای این مطالعه حداقل غلظت ۲/۴ میکروگرم برمترمکعب است (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۲۰. تنظیمات پیشرفته حداقل غلظت قبل از شروع تحلیل

پس از انجام تحلیل، نتایج برای هر سطح از شبکه‌های تعریف شده قابل ارائه است. به عنوان مثال برای نمونه موردی تبریز، نتایج یعنی تعداد کاهش مرگ و میر حاصل از کم کردن غلظت آلودگی PM<sub>2.5</sub> وضع موجود سال ۱۳۹۶ به غلظت میانگین سالیانه ۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب برآورد می گردد. (شکل ۳-۲۱).

| Exposure Group | Exposure | Parameter | Author | Start Age | End Age | Disease Name | Geographic Area | Base | Structure | Geo |
|----------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|--------------|-----------------|------|-----------|-----|
| Marital        | Marital  | PM2.5     | BenMAP | 25        | 25      | COPD-Alpha   | Environment     | All  | All       | All |
| Marital        | Marital  | PM2.5     | BenMAP | 30        | 34      | COPD-Alpha   | Environment     | All  | All       | All |
| Marital        | Marital  | PM2.5     | BenMAP | 35        | 39      | COPD-Alpha   | Environment     | All  | All       | All |

شکل ۳-۲۱. نمایش خروجی‌های محاسبه شده و تجمیع آن‌ها برای کل شبکه

### ۳-۹-۳- تجمیع<sup>۱</sup>، تلفیق<sup>۲</sup> و ارزش گذاری<sup>۳</sup>

در این مرحله از تحلیل با نرم افزار BenMAP-CE، چون پارامترهای GEMM به تفکیک گروه‌های سنی مختلف در دسترس بود، نتایج مرگ‌های منتسب برای گروه‌های سنی، به روش جمع مستقل<sup>۴</sup> باهم تلفیق شد و نتایج برای

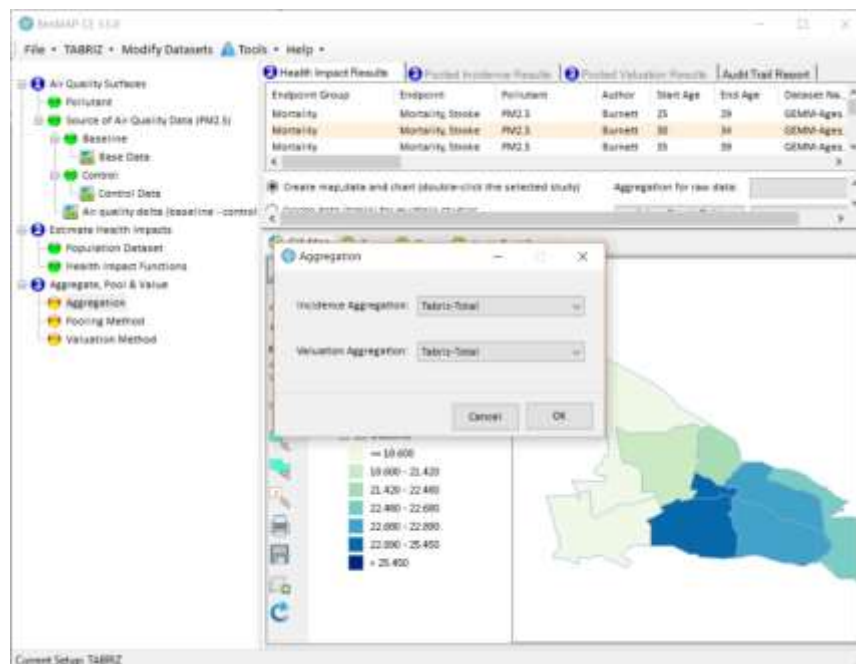
<sup>1</sup> Aggregating

<sup>2</sup> Pooling

<sup>3</sup> Valuing

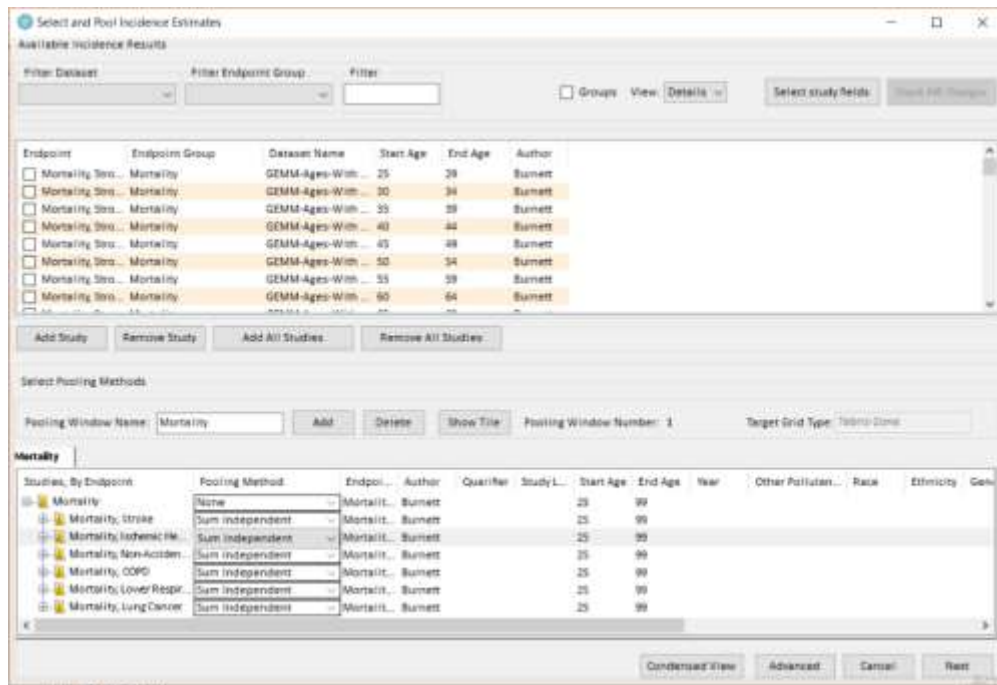
<sup>4</sup> Sum independent

یک گروه سنی بزرگسال یعنی ۲۵ تا ۹۹ سال ارائه شد. این کار در سطح کلیه‌ی مناطق تبریز انجام شد. برای تلفیق نتایج در سطح کل تبریز، ابتدا نتایج با منوی تجمیع، مطابق شکل ۳-۲۲ برای شبکه کل تبریز، تجمیع مکانی شد.

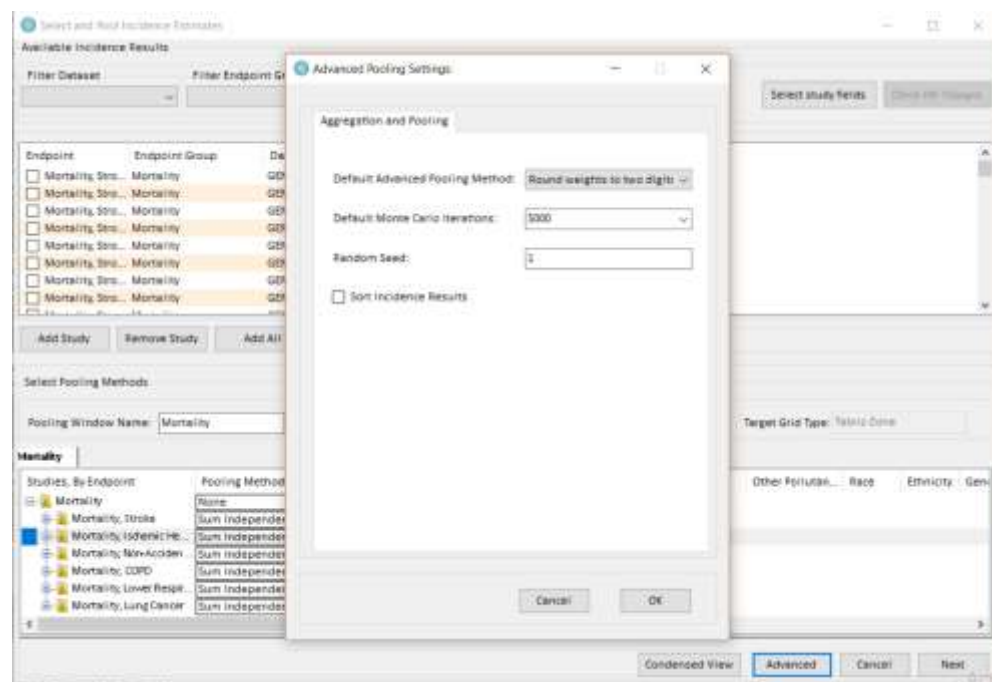


شکل ۳-۲۲. تجمیع مکانی نتایج از سطح مناطق به کل تبریز

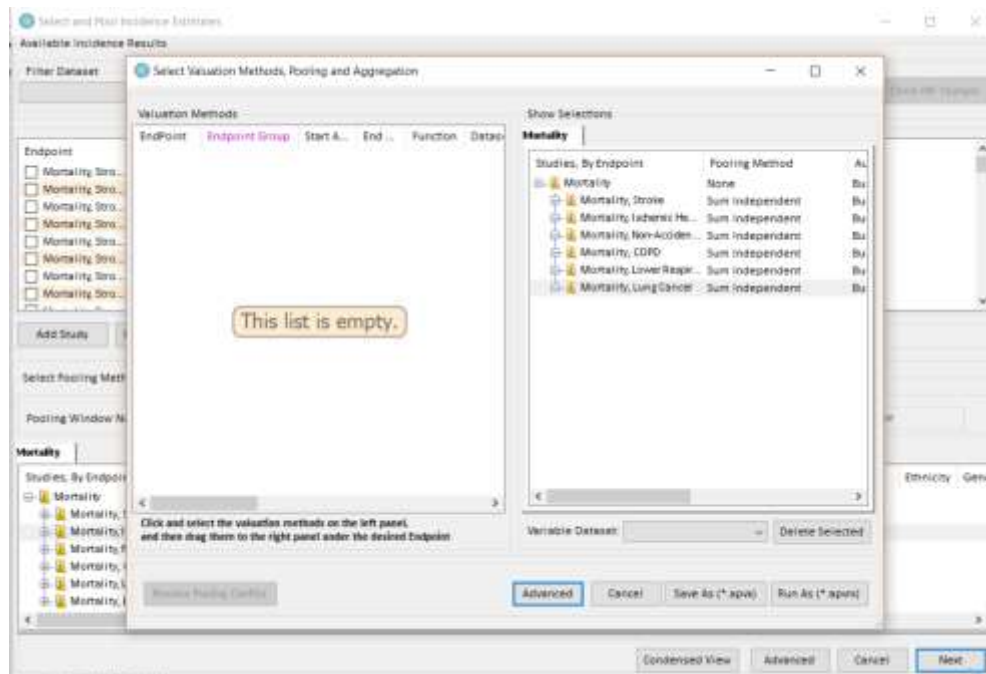
سپس برای تلفیق نتایج سنین مختلف به یک رده‌ی سنی واحد، از منوی تلفیق مطابق (شکل ۳-۲۳، ۳-۲۴، ۳-۲۵) استفاده شد.



شكل ٣-٢٣. مراحل تلفيق نتائج (الف)

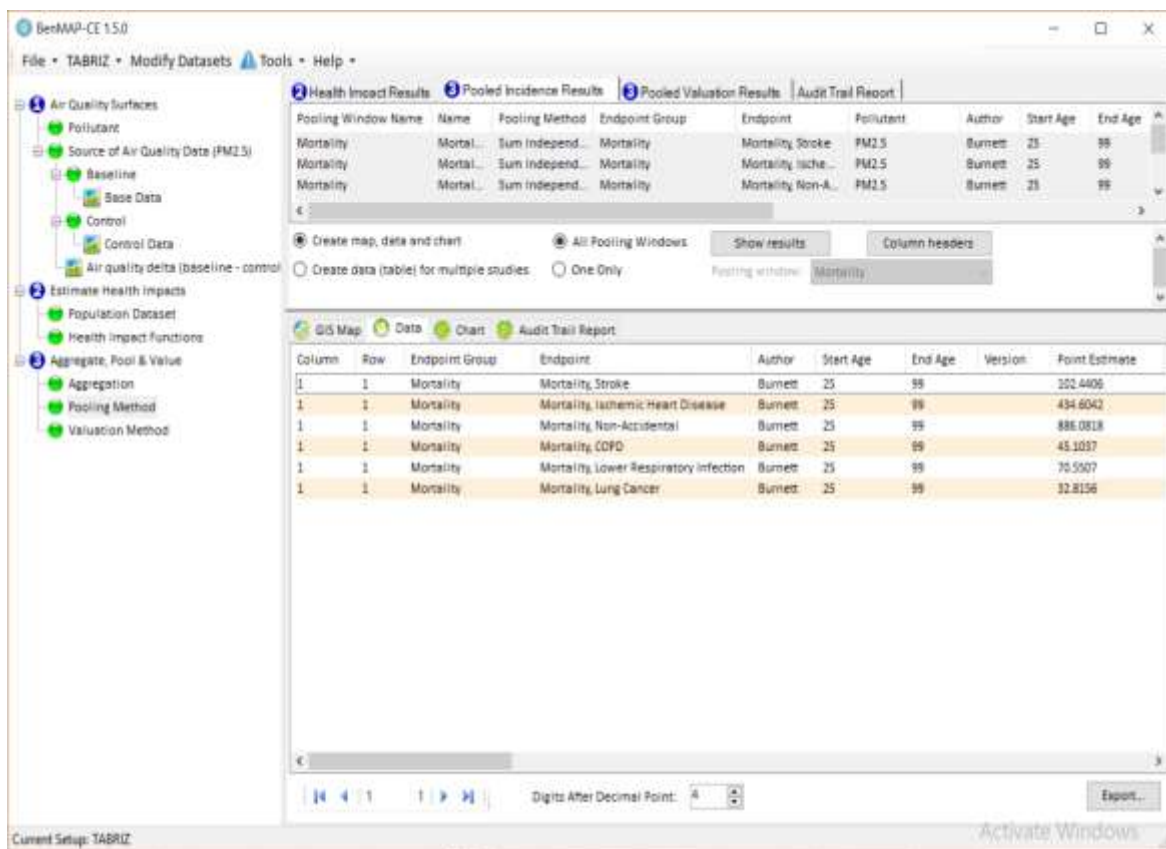


شكل ٣-٢٤. مراحل تلفيق نتائج (ب)



شکل ۳-۲۵. استفاده از منوی تلفیق نتایج برای سنین مختلف (پ)

با توجه به تجمیع و تلفیق نتایج، برای هر یک از عوارض آلودگی هوا برای شهر تبریز، مطابق شکل ۳-۲۶، گزارش خلاصه‌ای از نتایج به دست می‌آید. به عنوان مثال مرگ عوامل غیر تصادفی ناشی از آلودگی هوا تعداد ۸۸۶ نفر محاسبه شده است. سایر اعداد در فصل نتایج به طور کامل توضیح داده شده است.



شکل ۳-۲۶. تلفیق نتایج اجرای تحلیل برای کل تبریز و یک گروه سنی بزرگسال

### ۳-۱۰- محدودیت‌های نرم‌افزار BenMAP-CE

- این ابزار توانایی محاسبه و برآورد اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا را دارد، اما سایر اثرات مانند کاهش دید، اثرات منفی بر اکوسیستم، را نمی‌تواند تحلیل و محاسبه کند.
  - این نرم‌افزار وابسته به نتایج مدل‌سازی‌ها و یا داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا است.
  - تعریف اولیه داده‌های ورودی، نیاز به دقت فراوان دارد.
- از ابزارهای GIS موجود در برنامه، به‌واسطه‌ی محدودیت‌های گرافیکی و تحلیل آماری، استفاده چندانی نمی‌شود و ناگزیر به ذخیره و انتقال داده‌ها به محیط‌هایی چون ArcGIS جهت تحلیل مکانی نتایج و ارائه نقشه‌ها هستیم.

### ۳-۱۱- ارزیابی اقتصادی اثرات بهداشتی

هزینه‌های بیماری‌ها را از جهات متفاوتی می‌توان محاسبه کرد که شامل: هزینه‌های بیمار و خانواده‌اش، هزینه بیمارستان‌ها، بیمه‌ها. با توجه به دیدگاهی که برای محاسبه هزینه بیماری انتخاب می‌شود، نوع روش مطالعه و نوع منابع اطلاعاتی مورد استفاده متفاوت خواهد بود. اگر هزینه‌ها از دیدگاه بیمارستان‌ها و یا پرداخت‌کننده شخص ثالث محاسبه شود، فقط هزینه‌های مستقیم پزشکی محاسبه می‌شود. اما اگر از دیدگاه بیمار و یا جامعه هزینه‌ها در نظر گرفته شود، هم هزینه‌های مستقیم و هم هزینه‌های غیرمستقیم محاسبه می‌شوند. معمولاً دیدگاه اجتماعی به‌طور جامع‌تر به محاسبه هزینه‌ها می‌پردازد و نتایج آن برای سیاست‌گذاران نظام‌های بهداشت و سلامت مفیدتر است [۶۹،۷۰].

#### ۳-۱۱-۱- انواع هزینه‌های ناشی از بیماری‌ها

یکی از پرکاربردترین تقسیم‌بندی‌ها در مطالعات هزینه‌های ناشی از بیماری‌ها، تقسیم هزینه‌ها به سه گروه مستقیم، غیرمستقیم و نامحسوس است [۷۱،۷۲].

هزینه‌های مستقیم: هزینه‌های مستقیم خود به دو گروه مستقیم پزشکی و مستقیم غیرپزشکی تقسیم می‌شوند.

#### ۳-۱۱-۱-۱- هزینه‌های مستقیم پزشکی<sup>۱</sup>

این هزینه‌ها شامل هزینه‌های سازمان‌دهی و هزینه‌های مراقبت‌های سرپایی و بستری از قبیل: آزمایش‌های تشخیصی، ویزیت‌های سرپایی، جراحی، داروها، هزینه‌های بستری، هزینه‌های مراقبت و پرستاری در منزل، غربالگری، رادیوتراپی، شیمی‌درمانی، هورمون درمانی، جزء هزینه‌های مستقیم پزشکی محسوب می‌شود. برآورد

---

<sup>۱</sup> Medical Direct Costs

این هزینه‌ها معمولاً با محاسبه پرداخت‌های انجام‌شده توسط بیمه‌ها و پرداخت‌های مستقیم بیمار صورت می‌گیرد. [۷۰، ۷۳].

### ۳-۱۱-۲- هزینه‌های مستقیم غیر پزشکی<sup>۱</sup>

این هزینه‌ها شامل قسمتی از پرداخت‌هایی است که توسط بیمار و خانواده‌اش انجام می‌گیرد. هزینه‌های مربوط به رفت‌وآمد بیمار و خانواده‌اش به مراکز درمانی، داروخانه‌ها، اقامت در شهر به منظور تشخیص بیماری و دریافت درمان، درمان‌ها، سنتی (مانند طب سنتی)، رژیم‌های غذایی خاص، مراقبت از فرد بیمار در منزل، در این گروه قرار می‌گیرند [۷۲].

### ۳-۱۱-۳- هزینه‌های غیرمستقیم<sup>۲</sup>

هزینه‌های غیرمستقیم در نتیجه از دست دادن فرصت‌ها و درآمد اقتصادی ناشی از ابتلا به بیماری ایجاد می‌شود. این هزینه‌ها خود به دو بخش تقسیم می‌شوند: هزینه‌های ناشی از ابتلا به بیماری<sup>۳</sup> و هزینه‌های ناشی از مرگ زودرس<sup>۴</sup> [۷۴، ۷۵].

### ۳-۱۱-۴- هزینه‌های نامحسوس

ابتلا به انواع بیماری به خصوص از نوع سرطان و مرگ زودرسی که ناشی از بیماری سرطان اتفاق می‌افتد باعث درد و رنج فرد بیمار و خانواده‌اش شده و بر روی سلامت و رفاه آن‌ها اثر می‌گذارد. هزینه‌های روانی و نامحسوس سرطان در اثر از دست دادن کیفیت زندگی برای فرد بیمار و خانواده‌اش ایجاد می‌شود. از دست دادن کیفیت زندگی

---

<sup>1</sup> Non Medical Direct Costs

<sup>2</sup> Indirect Costs

<sup>3</sup> Morbidity Costs

<sup>4</sup> Mortality Costs

ممکن است در اثر درد و رنج ناشی از بیماری، از دست دادن شغل و جایگاه اجتماعی، از دست دادن تناسب اندام و اعتماد به نفس ایجاد شود. اگرچه برآورد این هزینه‌ها مشکل‌تر است با این حال می‌توان از طریق برآورد سال‌های از دست رفته زندگی سالم، هم از بعد کمی و هم از بعد کیفی، که به عنوان بار بیماری‌ها شناخته می‌شود، این هزینه‌ها را برآورد نمود [۷۰، ۷۶].

در این پایان‌نامه تأکید بر هزینه‌های غیرمستقیم یعنی هزینه‌های مرگ و میر زودرس و هزینه‌های زندگی توأم با ناتوانی است و هر جا منافع سلامت مطرح شده، منظور هزینه‌های غیرمستقیم است.

### ۳-۱۱-۲- روش‌های برآورد هزینه‌های غیرمستقیم

در مطالعات بار اقتصادی بیماری‌ها عموماً دو روش برای برآورد هزینه‌های غیرمستقیم استفاده می‌شود: ۱- روش سرمایه انسانی<sup>۱</sup> ۲- روش تمایل به پرداخت<sup>۲</sup>.

متداول‌ترین روش مورد استفاده برای محاسبه ارزش پولی درآمد از دست رفته در مطالعات هزینه بیماری‌ها، روش سرمایه انسانی است. در این روش فرض می‌شود که درآمد از دست رفته فرد در اثر ناتوانی یا مرگ زودرس برابر با دستمزد فرد قبل از ناتوانی و مرگ است. برای محاسبه درآمد از دست رفته فرد در اثر ناتوانی، تعداد روزهای ناتوانی و از کارافتادگی را در متوسط دستمزد روزانه فرد ضرب می‌کنند و مقدار به دست آمده را به عنوان درآمد از دست رفته ناشی از مرگ یا ناتوانی در نظر می‌گیرند. درآمد از دست رفته افراد بیکار و زنان خانه‌دار نیز با روش‌های مختلفی ارزش گذاری می‌شود مثلاً ممکن است حداقل دستمزد مورد انتظار یک فرد شاغل را برای این افراد لحاظ کنند که در واقع ارزش پولی کار بدون مزد زنان خانه‌دار و یا ارزش پولی اوقات فراغت افراد بیکار را منعکس می‌کند [۷۷، ۷۸].

---

<sup>1</sup> Human Capital Method

<sup>2</sup> Willingness To Pay Method

روش دیگر برای برآورد هزینه‌های غیرمستقیم روش تمایل به پرداخت<sup>۱</sup> است. در روش تمایل به پرداخت از افراد سؤال می‌شود که چقدر حاضرند بپردازند تا از خطر بیماری و مرگ در امان باشند یا یک سال بیشتر عمر کنند. در این روش به‌منظور برآورد هزینه درآمد ازدست‌رفته، تعداد سال‌های ازدست‌رفته ناشی از مرگ زودرس را در ارزش ضمنی یک سال زندگی ضرب می‌کنند. روش‌های متنوعی برای تعیین تمایل به پرداخت افراد و تعیین ارزش زندگی وجود دارد. در برخی مطالعات از سرانه تولید ناخالص داخلی برای تعیین ارزش زندگی استفاده شده‌است [۷۹،۸۰].

دو روش دراکثر مطالعات به‌طور مداوم در تعیین هزینه‌های اقتصادی مرگ‌ومیر زود هنگام مورد استفاده قرار گرفته‌اند: ارزش زندگی آماری ( $VSL^2$ ) و ارزش یک سال زندگی ( $VOLY^3$ ). هر دو روش برای عمرهایی که ازدست‌داده یا به‌دست آورده شده، ارزش‌های پولی را اختصاص می‌دهند. مقدار  $VSL$  معمولاً براساس پرسش‌گری تمایل افراد به پرداخت ( $WTP^4$ ) برای کاهش خطر مرگ استوار است؛ و  $VOLY$  از تمایل به پرداخت برای یک سال افزایش در امید زندگی فرد تعیین می‌شود. در برخی منابع،  $VOLY$  ضریبی از سرانه تولید ناخالص داخلی ( $GDP^5$ ) در نظر گرفته می‌شود [۸۱]. روش سوم مورد استفاده، روش دیه است. در زیر هر یک از روش‌ها توضیح داده شده‌اند.

### ۳-۱۱-۳- ارزش زندگی آماری ( $VSL$ )

ساده‌ترین روش برای تعیین تأثیر اقتصادی مرگ‌ومیر زودرس، ضرب کردن تعداد مرگ‌ومیر پیش‌بینی‌شده، در یک برآورد محلی  $VSL$  است. در حالت ایده‌آل، باید از نتایج مطالعات ملی یا منطقه‌ای، که ارزش زندگی آماری را برآورد کرده‌اند، در ارزش‌گذاری اقتصادی زندگی ازدست‌رفته استفاده شود؛ اما در غیاب چنین مطالعات ملی، با

---

<sup>1</sup> WTP

<sup>2</sup> Value of a Statistical Life (VSL)

<sup>3</sup> Value of a Life Year (VOLY)

<sup>4</sup> Willingness To Pay (WTP)

<sup>5</sup> Gross Domestic Product (GDP)

استفاده از روش‌های خاصی می‌توان از نتایج مطالعات انجام‌شده در سایر کشورها به‌منظور تخمین VSL هر کشور استفاده کرد. یکی از این روش‌ها استفاده از معادله ۳-۵ است. با توجه به اینکه مقایسه نتایج مطالعات انجام‌شده در کشورهای مختلف نشان داده‌است که بین سرانه تولید ناخالص داخلی و VSL هر کشور رابطه وجود دارد؛ لذا با کمک معادله ۳-۵ از متوسط VSL کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه (OECD<sup>1</sup>) پس از تعدیل آن بر اساس تولید ناخالص داخلی هر کشور، می‌توان برای تخمین VSL استفاده کرد [۸۲].

برای به‌دست آوردن VSL برای ایران از طریق این رویکرد، VSL کشورهای عضو OECD،  $VSL_{OECD}$  به‌عنوان نقطه شروع استفاده شد. آخرین برآورد VSL برای کشورهای OECD مبلغ ۳/۸۳ میلیون دلار است (با لحاظ برابری قدرت خرید (PPP<sup>2</sup>)) [۸۱]. این برآورد با استفاده از معادله زیر تعدیل می‌شود:

$$VSL_{IRAN} = VSL_{OECD} \times \left( \frac{Y_{IRAN}}{Y_{OECD}} \right)^b \quad (۳-۵)$$

که در آن  $VSL_{IRAN}$  برای ایران، Y سرانه تولید ناخالص داخلی و b کشش درآمدی VSL است. معادله به‌طور کلی تمایل به پرداخت بیشتر برای سلامت در کشورهای با درآمد بالاتر را نشان می‌دهد. برای کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط، b از ۱/۰ تا ۱/۴ متغیر است و برآورد میانه ۱/۲ مورداستفاده قرار گرفت [۸۲].

### ۳-۱۱-۴- ارزش یک سال زندگی (VOLY)

روش دوم مورد استفاده در این پایان‌نامه جهت محاسبه هزینه‌های مرگ‌ومیر زودرس، محاسبه ارزش اقتصادی تعداد سال‌های زندگی ازدست‌رفته به علت مواجهه با آلودگی هوا است. مقادیر تجربی VOLY با استفاده از مطالعات

<sup>1</sup> The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

<sup>2</sup> Purchasing Power Parity (PPP)

WTP تعیین می‌شود و یا به‌طور تقریبی به‌صورت ضربی از سرانه تولید ناخالص داخلی تعیین شده است. در تحلیل‌های این پایان‌نامه، VOLY برابر با سرانه GDP کشور در نظر گرفته شده است [۸۳، ۸۴].

### ۳-۱۱-۵- روش دیه اسلامی

در این روش، مقادیر تعیین شده از طرف دادگاه اسلامی، برای بستگان درجه اول مقتول که در اثر جنایت یا تصادف فوت شده، به‌عنوان نشانه‌هایی از ارزش جان یک انسان یا هزینه‌ی فوت آن تلقی می‌شود. مبنای کار دادگاه‌ها در ایران، قوانین اسلامی است. در این قوانین، مقادیر جبران خسارت بستگان مقتول در یک حادثه‌ی جنایی یا تصادفی به‌عنوان دیه خوانده می‌شود [۸۰].

معیار محاسبه نرخ دیه ارزش ۱۰۰ شتر است. البته معیار محاسبه دیه در دین اسلام علاوه بر ۱۰۰ شتر، موارد دیگری را هم شامل می‌شود که عبارت‌اند از ۲۰۰ گاو، هزار گوسفند، ۲۰۰ دست لباس از حله‌های یمن، هزار دینار و ۱۰ هزار درهم. وزارت دادگستری به‌منظور تعیین و تثبیت نرخ دیه با استفاده از نظر کارشناسان، قیمت سوقیه احشام (گاو، گوسفند و شتر) را یک سال یک‌بار تعیین و مراتب را به‌صورت بخشنامه به دادگستری‌های سراسر کشور ابلاغ می‌کند. علت تقویم سالیانه دیه انسان بر اساس قیمت شتر که به‌وسیله قوه قضاییه هر سال ابلاغ می‌شود هم این است که شتر در بین همه این موارد قیمت کمتری دارد. نرخ دیه در ۴ ماه حرام، یعنی یک‌سوم مواقع، ۳۳/۳۳ درصد (یک‌سوم) افزایش می‌یابد. جدول ۳-۴ نرخ دیه در کشور در سال ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴. نرخ ديه در کشور ايران در سال ۱۳۹۶ (سایت تابناک، ۱۳۹۸)

| سال  | نرخ ديه در ماه عادی (میلیون تومان) | نرخ ديه در ماه حرام (میلیون تومان) |
|------|------------------------------------|------------------------------------|
| ۱۳۹۶ | ۲۱۰                                | ۲۸۰                                |

جهت مقایسه نتایج سه روش بیان شده، باید نرخ‌های ریالی به دلار تبدیل شود. جدول ۳-۵ نرخ‌های ریال و دلار را در سال ۱۳۹۶ در دو بازار دولتی و آزاد نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵. نرخ ارز در سال ۱۳۹۶

| سال  | نرخ دولتی | نرخ بازار آزاد |
|------|-----------|----------------|
| ۱۳۹۶ | ۳۴۲۱۴     | ۴۰۴۵۳          |

برای محاسبه خسارت‌های کامل اقتصادی ناشی از ابتلا به بیماری‌ها، علاوه بر هزینه‌های مرگ‌ومیر باید سایر هزینه‌های ایجادشده به دلیل بیماری (هزینه‌های ابتلا) از قبیل هزینه‌های منابع صرف شده (مانند هزینه‌های مالی جهت اجتناب از بیماری‌های مربوط به آلودگی یا درمان بیماری‌ها)، هزینه‌های وقت و زمان (مانند هزینه‌های غیرمستقیم از دست دادن وقت کار و اوقات استراحت) و هزینه‌های درد، رنج و ناراحتی نیز برآورد شود [۸۵].

با توجه به سختی برآورد تمام انواع خسارت‌ها و همچنین بر اساس نتایج حاصل از مطالعات انجام‌شده در چند کشور عضو OECD، دستورالعمل‌های اخیر، هزینه‌های ابتلای بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا را حدود ۱۰ درصد هزینه‌های مرگ‌ومیرهای منتسب در نظر می‌گیرند [۸۶، ۸۲]. در این مطالعه نیز به دلیل کمبود اطلاعات و داده‌های کافی، هزینه‌های ابتلای بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا در شهر تبریز، بر اساس این قاعده‌ی سرانگشتی برآورد شد و معادل ۱۰ درصد هزینه‌های مرگ‌ومیر در نظر گرفته شد.

## فصل ٤:

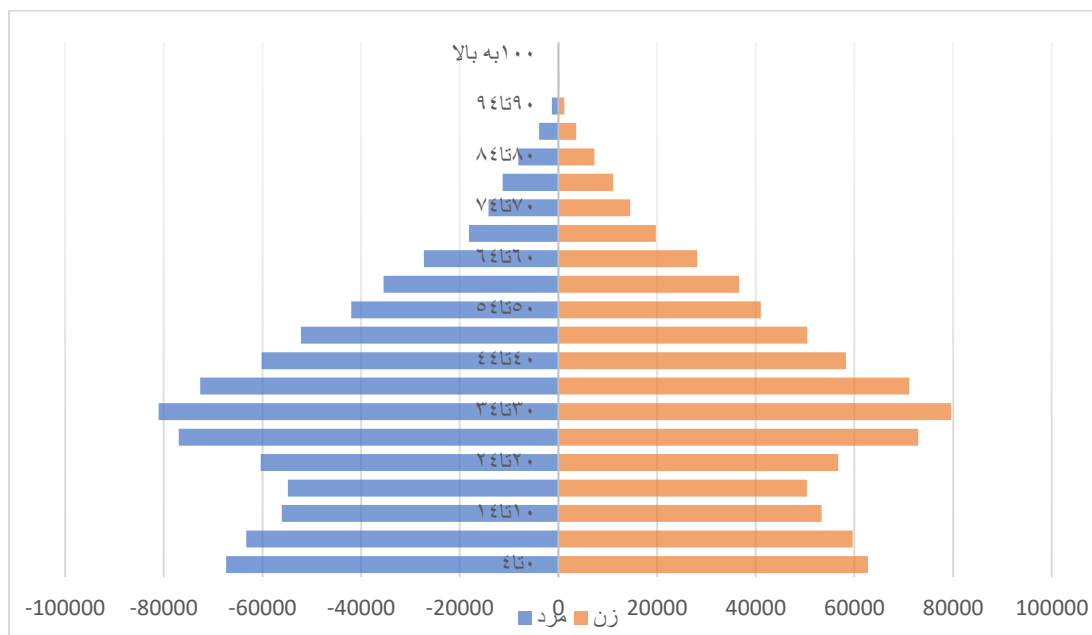
### نتایج تحقیق

#### ۱-۴- مقدمه

در این فصل پس از ارائه نتایج حاصل از تعیین جمعیت‌های در معرض آلودگی و تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا برای سال ۱۳۹۶، عوامل مختلف مرگ، سنین مختلف و مناطق مختلف تبریز ارائه و بررسی شده و روندهای آن‌ها به وسیله نمودار به نمایش درآمده است. در بخش بعد نتایج برآورد خسارات از سه روش ارزش زندگی آماری، ارزش یک سال زندگی و روش اسلامی، و روش دیه افراد محاسبه شده است.

#### ۲-۴- جمعیت شهر تبریز

جمعیت سرشماری تبریز در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۱,۴۹۴,۹۸۸ و ۱,۵۵۸,۶۹۳ اظهار شده است. نرخ رشد متوسط سالیانه ۱.۷۲ درصد است. جمعیت شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ (شکل ۱-۴) با توجه به نرخ رشد، برابر ۱,۵۸۵,۵۰۳ نفر (جدول ۱-۴) است.



شکل ۱-۴. هرم جمعیت شهر تبریز در سال ۱۳۹۶

با داشتن جمعیت سرشماری سال ۱۳۹۵ و نرخ رشد جمعیت، جمعیت سنین مختلف برای شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ مطابق جدول زیر بدست آمد.

جدول ۴-۱. جمعیت شهر تبریز به تفکیک سن و جنس برای سال ۱۳۹۶ (مرکز آمار ایران و محاسبات نویسنده)

| جنس | سن        | جمعیت سال ۱۳۹۶ |
|-----|-----------|----------------|
| مرد | ۰ تا ۴    | ۶۷۳۵۸          |
| مرد | ۵ تا ۹    | ۶۳۲۹۶          |
| مرد | ۱۰ تا ۱۴  | ۵۶۰۷۳          |
| مرد | ۱۵ تا ۱۹  | ۵۴۸۴۰          |
| مرد | ۲۰ تا ۲۴  | ۶۰۳۸۲          |
| مرد | ۲۵ تا ۲۹  | ۷۶۹۷۸          |
| مرد | ۳۰ تا ۳۴  | ۸۱۰۳۰          |
| مرد | ۳۵ تا ۳۹  | ۷۲۶۴۸          |
| مرد | ۴۰ تا ۴۴  | ۶۰۱۶۶          |
| مرد | ۴۵ تا ۴۹  | ۵۲۲۱۸          |
| مرد | ۵۰ تا ۵۴  | ۴۲۰۰۳          |
| مرد | ۵۵ تا ۵۹  | ۳۵۴۲۰          |
| مرد | ۶۰ تا ۶۴  | ۲۷۲۷۱          |
| مرد | ۶۵ تا ۶۹  | ۱۸۱۴۴          |
| مرد | ۷۰ تا ۷۴  | ۱۴۱۴۳          |
| مرد | ۷۵ تا ۷۹  | ۱۱۳۲۲          |
| مرد | ۸۰ تا ۸۴  | ۸۱۱۱           |
| مرد | ۸۵ تا ۸۹  | ۳۹۰۵           |
| مرد | ۹۰ تا ۹۴  | ۱۳۲۶           |
| مرد | ۹۵ تا ۹۹  | ۱۱۲            |
| مرد | بالای ۱۰۰ | ۲۱             |
| زن  | ۰ تا ۴    | ۶۲۷۶۰          |

|           |           |    |
|-----------|-----------|----|
| ۵۹۶۸۲     | ۵۵۹       | زن |
| ۵۳۳۷۶     | ۱۰ تا ۱۴  | زن |
| ۵۰۳۵۴     | ۱۵ تا ۱۹  | زن |
| ۵۶۷۳۴     | ۲۰ تا ۲۴  | زن |
| ۷۲۹۱۸     | ۲۵ تا ۲۹  | زن |
| ۷۹۶۱۰     | ۳۰ تا ۳۴  | زن |
| ۷۱۱۶۰     | ۳۵ تا ۳۹  | زن |
| ۵۸۳۰۶     | ۴۰ تا ۴۴  | زن |
| ۵۰۴۱۰     | ۴۵ تا ۴۹  | زن |
| ۴۱۰۱۲     | ۵۰ تا ۵۴  | زن |
| ۳۶۶۰۲     | ۵۵ تا ۵۹  | زن |
| ۲۸۰۹۱     | ۶۰ تا ۶۴  | زن |
| ۱۹۷۴۷     | ۶۵ تا ۶۹  | زن |
| ۱۴۵۶۶     | ۷۰ تا ۷۴  | زن |
| ۱۱۰۶۴     | ۷۵ تا ۷۹  | زن |
| ۷۲۹۷      | ۸۰ تا ۸۴  | زن |
| ۳۶۲۹      | ۸۵ تا ۸۹  | زن |
| ۱۲۲۹      | ۹۰ تا ۹۴  | زن |
| ۱۵۱       | ۹۵ تا ۹۹  | زن |
| ۳۱        | بالای ۱۰۰ | زن |
| ۱,۵۸۵,۵۰۳ | مجموع     |    |

### ۴-۳- غلظت PM<sub>2.5</sub> سالیانه

داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر تبریز (جدول ۴-۲) برای سال ۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. از ۶ ایستگاه با داده معتبر در سال ۱۳۹۶ به طور میانگین ۷۵۰۵ از ۸۷۶۰ (۸۵.۵ درصد) داده غلظت PM<sub>2.5</sub> موجود بود و میانگین تمامی غلظت‌های موجود برای سال ۱۳۹۶ برابر ۲۲.۸ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شد.

جدول ۴-۲. اطلاعات پردازش شده ایستگاه‌های سازمان محیط‌زیست شهر تبریز در سال ۱۳۹۶

| شماره | نام ایستگاه | میانگین سالیانه | تعداد داده ساعتی | درصد وجود داده | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|-------|-------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|---------------|
| ۱     | آبرسان      | ۲۳.۶            | ۸۲۵۵             | ۹۴٪            | ۶۱۵۹۹۹        | ۴۲۱۳۷۳۸       |
| ۲     | باغ شمال    | ۲۶.۹            | ۸۲۸۹             | ۹۵٪            | ۶۱۳۷۸۱        | ۴۲۱۴۱۴۵       |
| ۳     | حکیم نظامی  | ۲۳              | ۶۱۴۹             | ۷۰٪            | ۶۱۲۵۱۵        | ۴۲۱۲۹۴۳       |
| ۴     | میدان نماز  | ۲۶.۱            | ۷۷۰۷             | ۸۸٪            | ۶۱۳۸۹۶        | ۴۲۱۵۲۷۲       |
| ۵     | راه آهن     | ۱۶.۲            | ۷۶۷۱             | ۸۷٪            | ۶۰۸۱۵۱        | ۴۲۱۴۵۲۲       |
| ۶     | بهداشت      | ۲۰.۹            | ۶۹۶۱             | ۷۹٪            | ۶۱۳۸۱۱        | ۴۲۱۸۶۸۴       |

امروزه روش‌های مختلفی برای تخمین آلودگی هوا وجود دارد. یکی از این روش‌ها تلفیق اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی و روش‌های تحلیل فضایی است. یکی از روش‌های تحلیل فضایی روش وزن‌دهی معکوس فاصله (<sup>1</sup>IDW) است. هدف اصلی ما در درون‌یابی مشخص نمودن میزان یک پارامتر در مناطقی است که در آن‌ها نمونه‌برداری انجام نشده‌است، به همین جهت در روش درون‌یابی IDW فرض ما این است که تاثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله است، بنابراین تاثیر پدیده‌ی مورد نظر با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. یکی

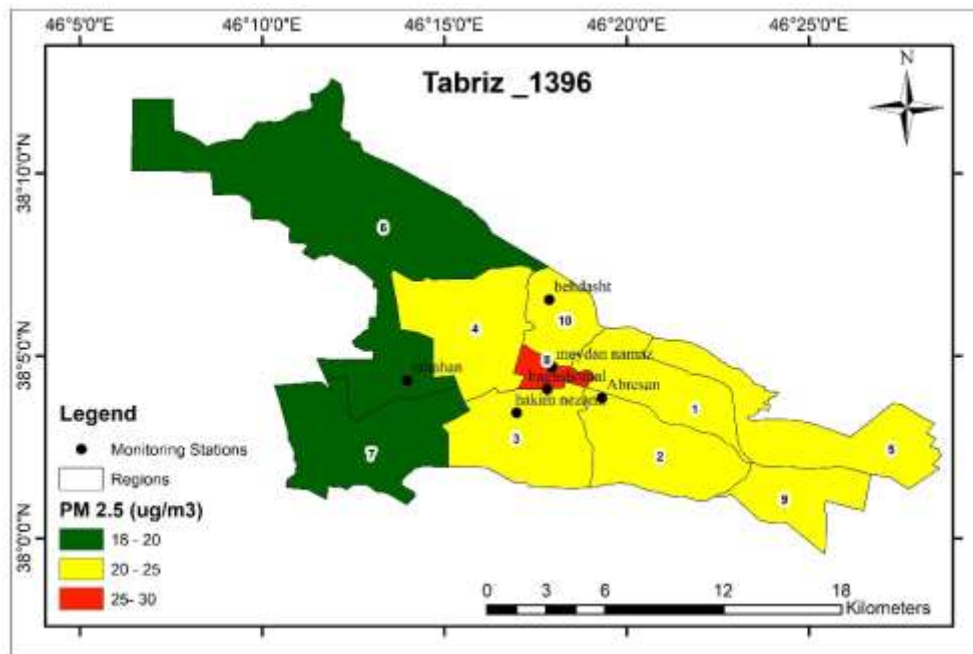
<sup>1</sup> Inverse distance weighting

دیگر از روش‌های مورد استفاده در تحلیل فضایی استفاده از مدل کریجینگ<sup>۱</sup> است. این روش درونیابی جز روش‌های زمین آمار است که مبتنی بر مدل‌های آماری شامل خود هم‌بستگی می‌باشند. در روش Kriging مقدار وزن‌هایی که به ارزش نقاط نمونه‌برداری شده ورودی اختصاص داده می‌شود نه تنها مبتنی بر فاصله بین هر نقطه نمونه‌برداری شده است بلکه علاوه بر آن به نحوه چیدمان و نظم کلی پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری شده و هم‌چنین مقدار ارزش‌های آن‌ها بستگی دارد [۸۷].

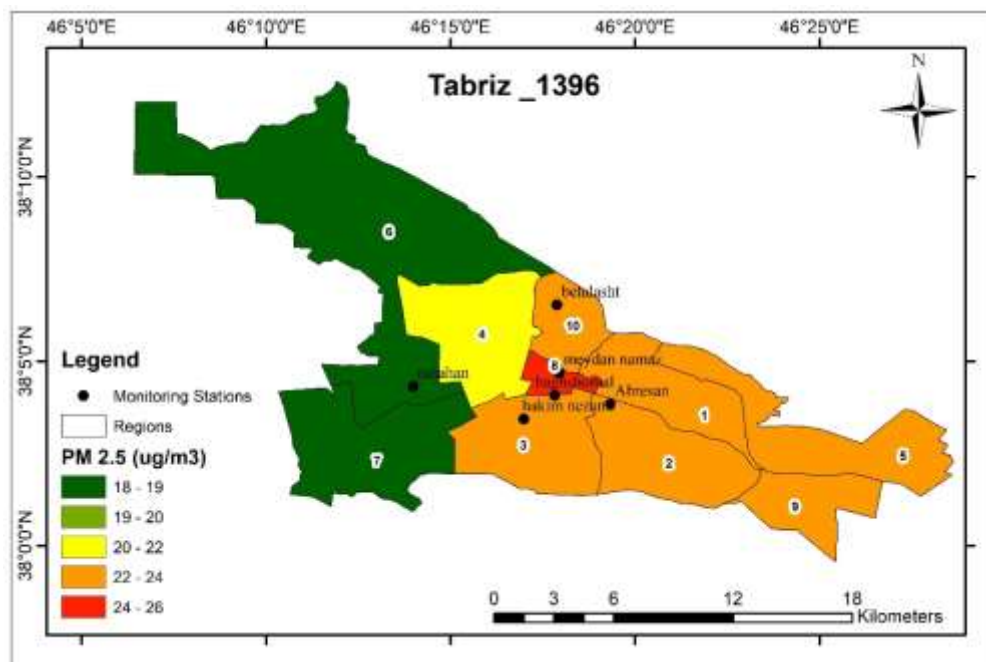
جهت نمایش توزیع مکانی غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  در سطح شهر تبریز، در شکل‌های (۴-۲، ۴-۳، ۴-۴، ۴-۵، ۴-۶، ۴-۷) با استفاده از داده‌های بدست آمده از نرم‌افزار BenMAP-CE و هم‌چنین روش‌های Kriging و IDW، توزیع میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  برای مناطق ۱۰ گانه تبریز در سال ۱۳۹۶ برآورد گردید. رنگ نقشه‌ها نشان‌دهنده بازه غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  می‌باشد. در این شکل‌ها برای نشان دادن جزییات غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  از دو رده‌بندی رنگی یعنی ۳ رنگ (استاندارد WHO) و ۵ رنگ استفاده شده است. با توجه به همه نقشه‌ها و روش‌های استفاده شده در تخمین غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$ ، آلوده‌ترین منطقه شهر تبریز منطقه ۸ می‌باشد.

---

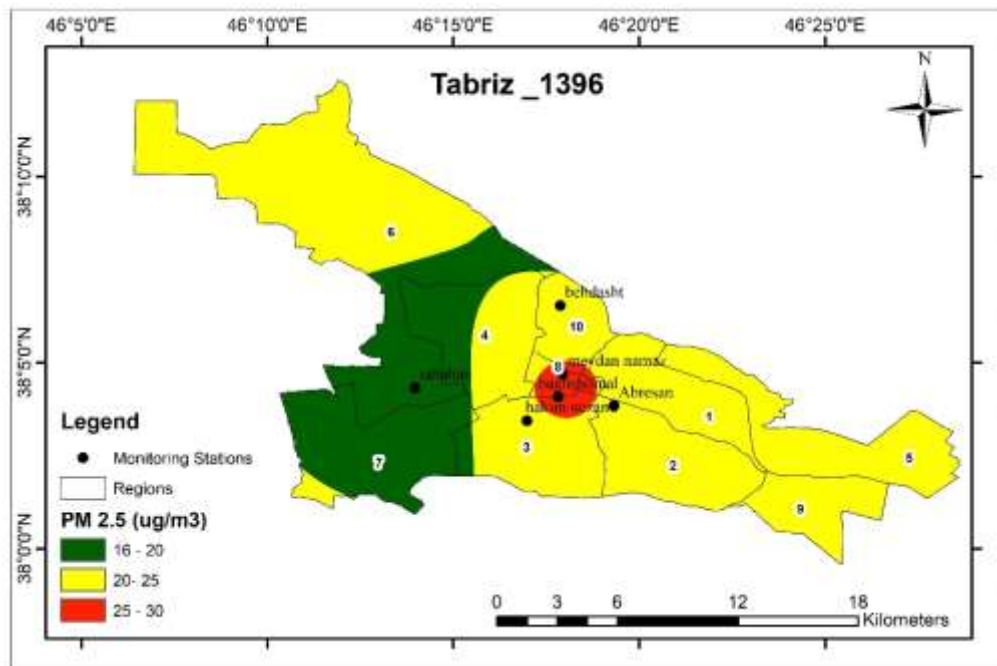
<sup>1</sup> kriging



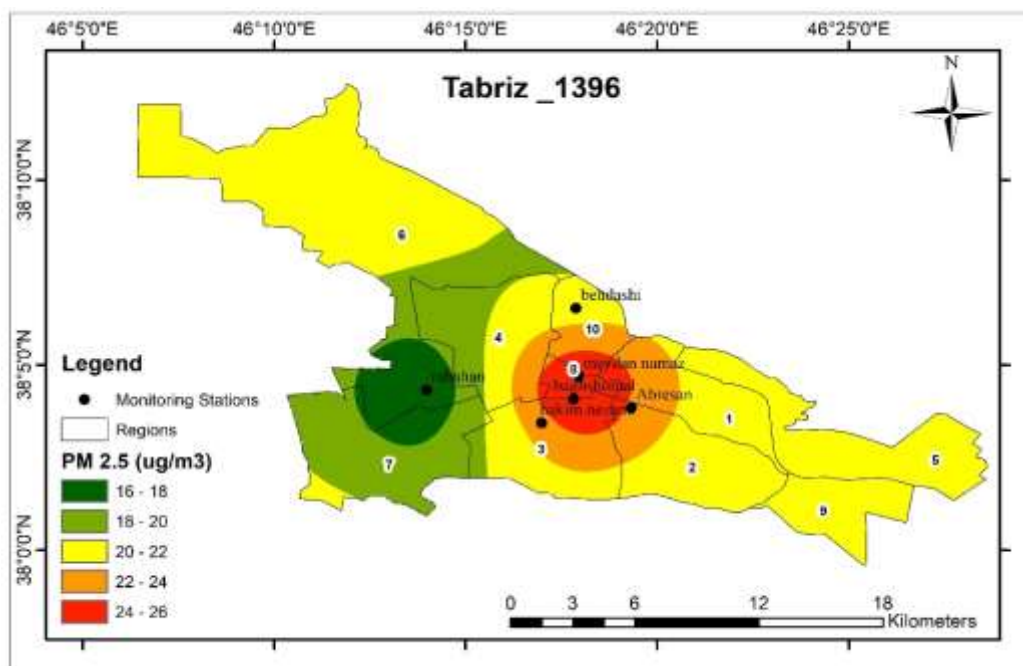
شکل ۴-۲. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از داده‌های BenMAP-CE طبق استاندارد WHO (۳ رنگ)



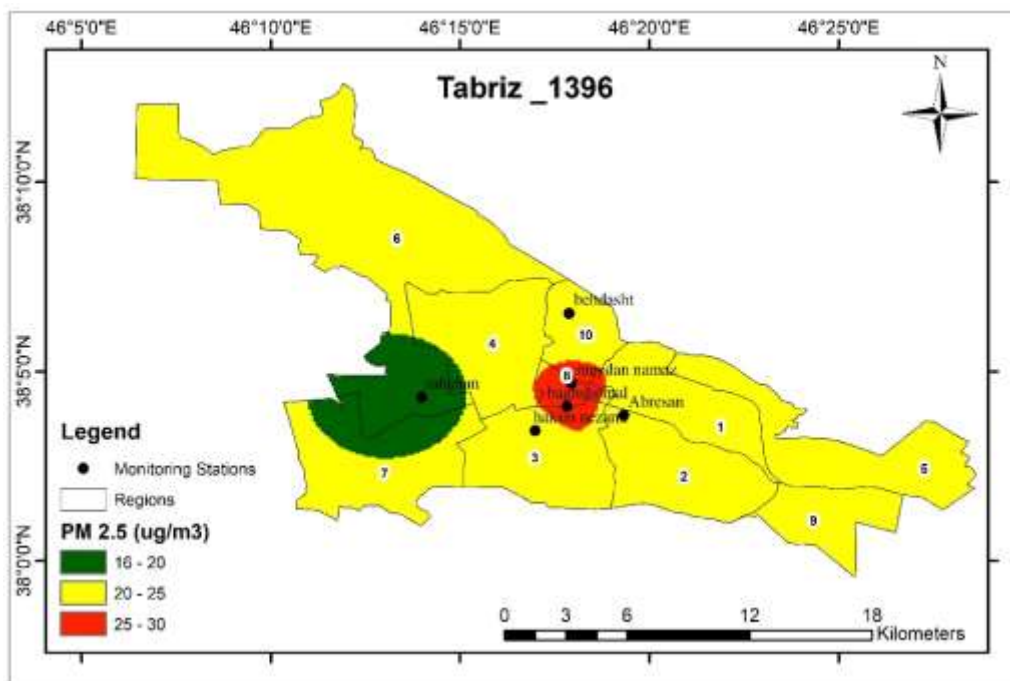
شکل ۴-۳. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از داده‌های BenMAP-CE (۵ رنگ)



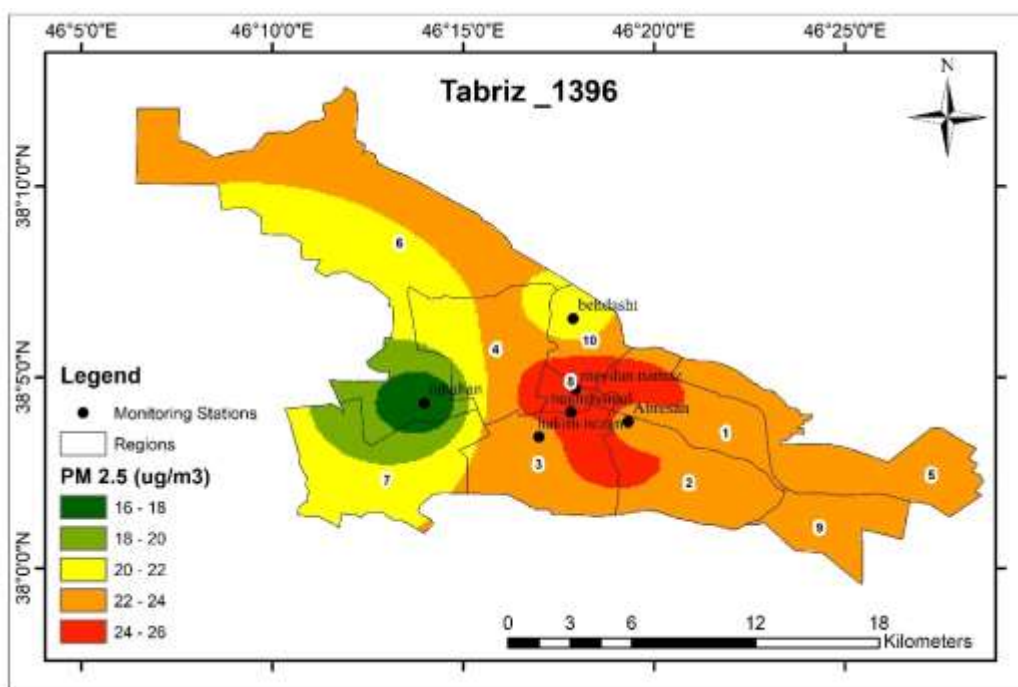
شکل ۴-۴. میانگین سالیانه PM<sub>2.5</sub> در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش Kriging طبق استاندارد WHO (۳ رنگ)



شکل ۴-۵. میانگین سالیانه PM<sub>2.5</sub> در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش Kriging (۵ رنگ)



شکل ۴-۶. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش IDW طبق استاندارد WHO (۳ رنگ)



شکل ۴-۷. میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در مناطق ۱۰ گانه تبریز با استفاده از روش IDW (۵ رنگ)

#### ۴-۴- مرگومیر و سال‌های ازدست رفته ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$

تحت سناریو کاهش قابل توجه ذرات معلق ریز تا غلظت  $2/4$  میکروگرم بر مترمکعب، تعداد مرگومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۶ عامل  $1/7$  درصد (۸۸۶ از ۷۵۷۶ نفر) از کل مرگومیر در میان بزرگسالان یا  $12/92$  درصد (۸۸۶ از ۶۸۵۶ نفر) از تمام مرگومیر غیرتصادفی تبریز است (جدول ۳-۴). هم‌چنین جدول ۴-۴ نشان می‌دهد که به دلیل مواجهه با آلاینده  $PM_{2.5}$  هوای آزاد شهر تبریز در سال ۱۳۹۶، ۱۴۰۸۶ سال از دست رفته است.

جدول ۳-۴. تعداد و درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در بین بزرگسالان در سال ۱۳۹۶ به تفکیک سن و علت مرگ

| درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM <sub>2.5</sub> |         |        |       | مرگ PM <sub>2.5</sub> |        |      |     | کل مرگ‌ها   |         |        |      | جمعیت     | رده سنی  |
|-------------------------------------------------|---------|--------|-------|-----------------------|--------|------|-----|-------------|---------|--------|------|-----------|----------|
| All                                             | NCD+LRI | Stroke | IHD   | NCD+LRI               | Stroke | IHD  | LRI | All         | NCD+LRI | Stroke | IHD  |           |          |
| ۶/۱۶                                            | ۱۶/۴    | ۳۳/۳۳  | ۳۷/۵  | ۹                     | ۱      | ۳    | ۱   | ۱۴۶         | ۵۵      | ۳      | ۸    | ۱۴۹۹۰۰    | ۲۹ تا ۲۵ |
| ۷/۲۳                                            | ۱۵/۸    | ۲۰/۰   | ۴۲/۹  | ۱۲                    | ۱      | ۶    | ۱   | ۱۶۶         | ۷۶      | ۵      | ۱۴   | ۱۶۰۶۴۴    | ۳۴ تا ۳۰ |
| ۸/۳۸                                            | ۱۵/۱۵   | ۲۸/۶   | ۳۸/۱  | ۱۵                    | ۲      | ۸    | ۱   | ۱۷۹         | ۹۹      | ۷      | ۲۱   | ۱۴۳۸۱۲    | ۳۹ تا ۳۵ |
| ۱۰/۵                                            | ۱۵/۷۵   | ۲۲/۲۲  | ۳۴/۴  | ۲۰                    | ۲      | ۱۱   | ۱   | ۱۹۱         | ۱۲۷     | ۹      | ۳۲   | ۱۱۸۴۷۶    | ۴۴ تا ۴۰ |
| ۱۱/۶                                            | ۱۵/۱۴   | ۲۱/۴۳  | ۳۴/۰  | ۲۸                    | ۳      | ۱۸   | ۲   | ۲۴۱         | ۱۸۵     | ۱۴     | ۵۳   | ۱۰۲۶۳۲    | ۴۹ تا ۴۵ |
| ۱۲/۵                                            | ۱۴/۸۳   | ۱۸/۱۸  | ۳۱/۲۵ | ۳۹                    | ۴      | ۲۵   | ۳   | ۳۱۳         | ۲۶۳     | ۲۲     | ۸۰   | ۸۳۰۱۹     | ۵۴ تا ۵۰ |
| ۱۳/۱                                            | ۱۴/۷۲   | ۱۹/۴۴  | ۲۸/۹  | ۵۸                    | ۷      | ۳۴   | ۳   | ۴۴۲         | ۳۹۴     | ۳۶     | ۱۱۸  | ۷۲۰۲۶     | ۵۹ تا ۵۵ |
| ۱۳/۱                                            | ۱۴/۲    | ۱۶/۰   | ۲۶/۸  | ۷۲                    | ۸      | ۴۱   | ۴   | ۵۵۱         | ۵۰۷     | ۵۰     | ۱۵۳  | ۵۵۳۶۶     | ۶۴ تا ۶۰ |
| ۱۳/۱                                            | ۱۴/۰    | ۱۵/۰   | ۲۴/۱  | ۷۷                    | ۹      | ۴۰   | ۵   | ۵۸۷         | ۵۵۱     | ۶۰     | ۱۶۶  | ۳۷۸۹۵     | ۶۹ تا ۶۵ |
| ۱۲/۷                                            | ۱۳/۴    | ۱۴/۳   | ۲۲/۰  | ۹۳                    | ۱۲     | ۴۶   | ۶   | ۷۳۰         | ۶۹۵     | ۸۴     | ۲۱۰  | ۲۸۷۱۱     | ۷۴ تا ۷۰ |
| ۱۲/۱                                            | ۱۲/۶۳   | ۱۲/۴   | ۱۹/۱۳ | ۱۲۳                   | ۱۶     | ۵۷   | ۹   | ۱۰۱۳        | ۹۷۴     | ۱۲۹    | ۲۹۸  | ۲۲۳۸۸     | ۷۹ تا ۷۵ |
| ۱۱/۳                                            | ۱۱/۶    | ۹/۴۴   | ۱۵/۰  | ۳۴۰                   | ۳۷     | ۱۴۶  | ۳۵  | ۳۰۱۷        | ۲۹۳۰    | ۳۹۲    | ۹۷۳  | ۲۵۷۶۰     | ۹۹ تا ۸۰ |
| ۱۱/۷                                            | ۱۲/۹۲   | ۱۲/۶   | ۲۰/۵  | ۸۸۶                   | ۱۰۲    | ۴۳۵  | ۷۱  | ۷۵۷۶        | ۶۸۵۶    | ۸۱۲    | ۲۱۲۷ | ۱,۰۰۰,۶۲۹ | مجموع    |
| درصد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM <sub>2.5</sub> |         |        |       | مرگ PM <sub>2.5</sub> |        |      |     | تمام مرگ‌ها |         |        |      | جمعیت     | رده سنی  |
| -                                               | LRI     | LC     | COPD  | LRI                   | LC     | COPD | -   | -           | LRI     | LC     | COPD |           |          |
| -                                               | ۴۰/۸    | ۲۰/۴   | ۱۸/۱  | ۷۱                    | ۳۳     | ۴۵   | -   | -           | ۱۷۴     | ۱۶۲    | ۲۴۹  | ۱,۰۰۰,۶۲۹ | ۹۹ تا ۲۵ |

جدول ۴-۴. تخمین YLL ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> به تفکیک سن در شهر تبریز برای سال ۱۳۹۶، بر اساس مرگ‌ومیر GEMM و امید به زندگی IHME

| رده سنی  | کلیه مرگ‌ها | مرگ PM <sub>2.5</sub> |         |          | امید به زندگی | YLL کل | YLL PM <sub>2.5</sub> |         |          |
|----------|-------------|-----------------------|---------|----------|---------------|--------|-----------------------|---------|----------|
|          |             | متوسط                 | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ |               |        | متوسط                 | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ |
| ۲۹ تا ۳۵ | ۱۴۶         | ۹                     | ۷       | ۱۰       | ۵۴/۳          | ۷۹۲۸   | ۴۸۹                   | ۳۸۰     | ۵۴۳      |
| ۳۴ تا ۳۰ | ۱۶۶         | ۱۲                    | ۱۰      | ۱۴       | ۴۹/۵          | ۸۲۱۷   | ۵۹۴                   | ۴۹۵     | ۶۹۳      |
| ۳۹ تا ۳۵ | ۱۷۹         | ۱۵                    | ۱۳      | ۱۸       | ۴۴/۸          | ۸۰۱۹   | ۶۷۱                   | ۵۸۲     | ۸۰۶      |
| ۴۴ تا ۴۰ | ۱۹۱         | ۲۰                    | ۱۶      | ۲۳       | ۴۰/۰          | ۷۶۴۰   | ۸۰۰                   | ۶۴۰     | ۹۲۰      |
| ۴۹ تا ۴۵ | ۲۴۱         | ۲۸                    | ۲۳      | ۳۳       | ۳۵/۳          | ۸۵۰۷   | ۹۸۹                   | ۸۱۲     | ۱۱۶۵     |
| ۵۴ تا ۵۰ | ۳۱۳         | ۳۹                    | ۳۳      | ۴۶       | ۳۰/۷          | ۹۶۰۹   | ۱۱۹۸                  | ۱۰۱۳    | ۱۴۱۲     |
| ۵۹ تا ۵۵ | ۴۴۲         | ۵۸                    | ۴۸      | ۶۷       | ۲۶/۳          | ۱۱۶۲۵  | ۱۵۲۲                  | ۱۲۶۲    | ۱۷۶۲     |
| ۶۴ تا ۶۰ | ۵۵۱         | ۷۲                    | ۶۰      | ۸۴       | ۲۲/۰          | ۱۲۱۲۲  | ۱۵۸۳                  | ۱۳۲۰    | ۱۸۴۸     |
| ۶۹ تا ۶۵ | ۵۸۷         | ۷۷                    | ۶۳      | ۸۹       | ۱۸/۰          | ۱۰۵۶۶  | ۱۳۸۴                  | ۱۱۳۴    | ۱۶۰۲     |
| ۷۴ تا ۷۰ | ۷۳۰         | ۹۳                    | ۷۷      | ۱۰۸      | ۱۴/۲          | ۱۰۳۶۶  | ۱۳۲۱                  | ۱۰۹۴    | ۱۵۳۴     |
| ۷۹ تا ۷۵ | ۱۰۱۳        | ۱۲۳                   | ۱۰۲     | ۱۴۴      | ۱۰/۸          | ۱۰۹۴۰  | ۱۳۲۵                  | ۱۱۰۲    | ۱۵۵۵     |
| ۹۹ تا ۸۰ | ۳۰۱۷        | ۳۴۰                   | ۲۸۰     | ۳۹۸      | ۶/۵           | ۱۹۶۱۱  | ۲۲۱۰                  | ۱۸۲۰    | ۲۵۸۷     |
| مجموع    | ۷۵۷۶        | ۸۸۶                   | ۷۳۲     | ۱۰۳۴     | -             | ۱۲۵۱۵۰ | ۱۴۰۸۶                 | ۱۱۶۴۷   | ۱۶۴۱۸    |

YLL = سال‌های ازدست‌رفته عمر ؛ GEMM = مدل جهانی مواجهه - مرگ ؛ IHME = انیستیتو شاخص‌ها و ارزیابی سلامت

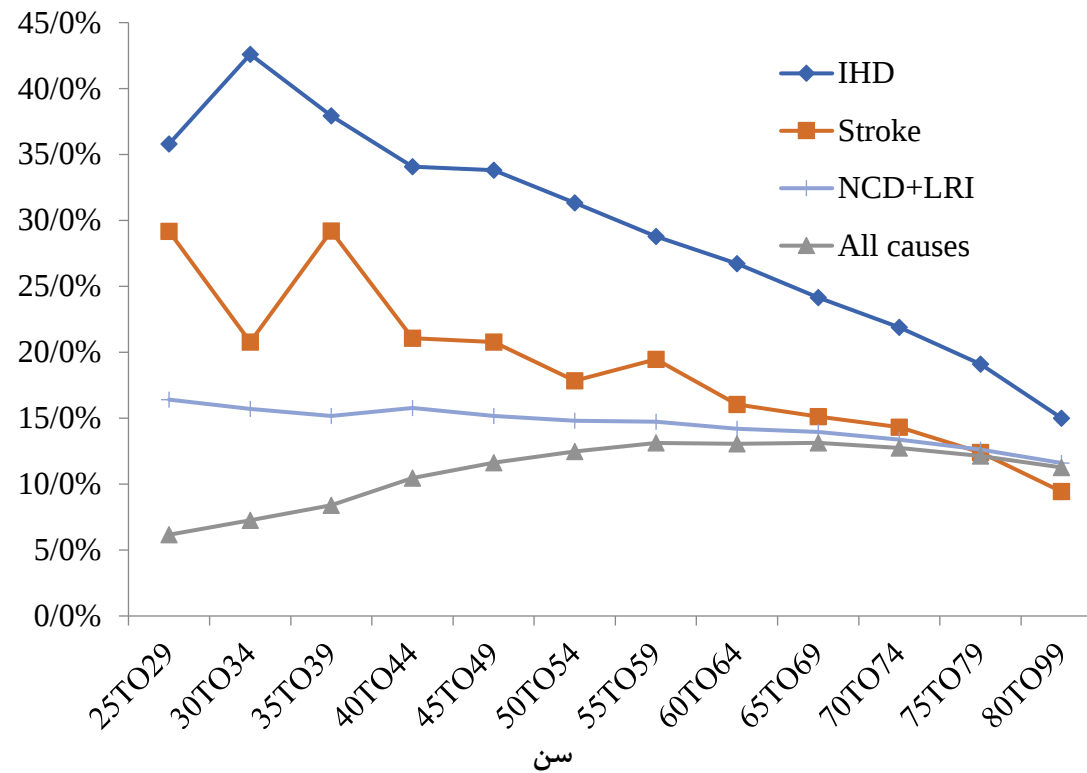
در جدول ۴-۵ خلاصه‌ای از روند سالیانه برآورد تعداد موارد مرگ افراد بالای ۲۵ سال ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  هوای آزاد در شهر تبریز و پارامترهای مرتبط به آن ارایه شده‌است.

جدول ۴-۵. تعداد موارد مرگ افراد بزرگسال ( بزرگتر از ۲۵ سال) ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  هوای آزاد در شهر تبریز

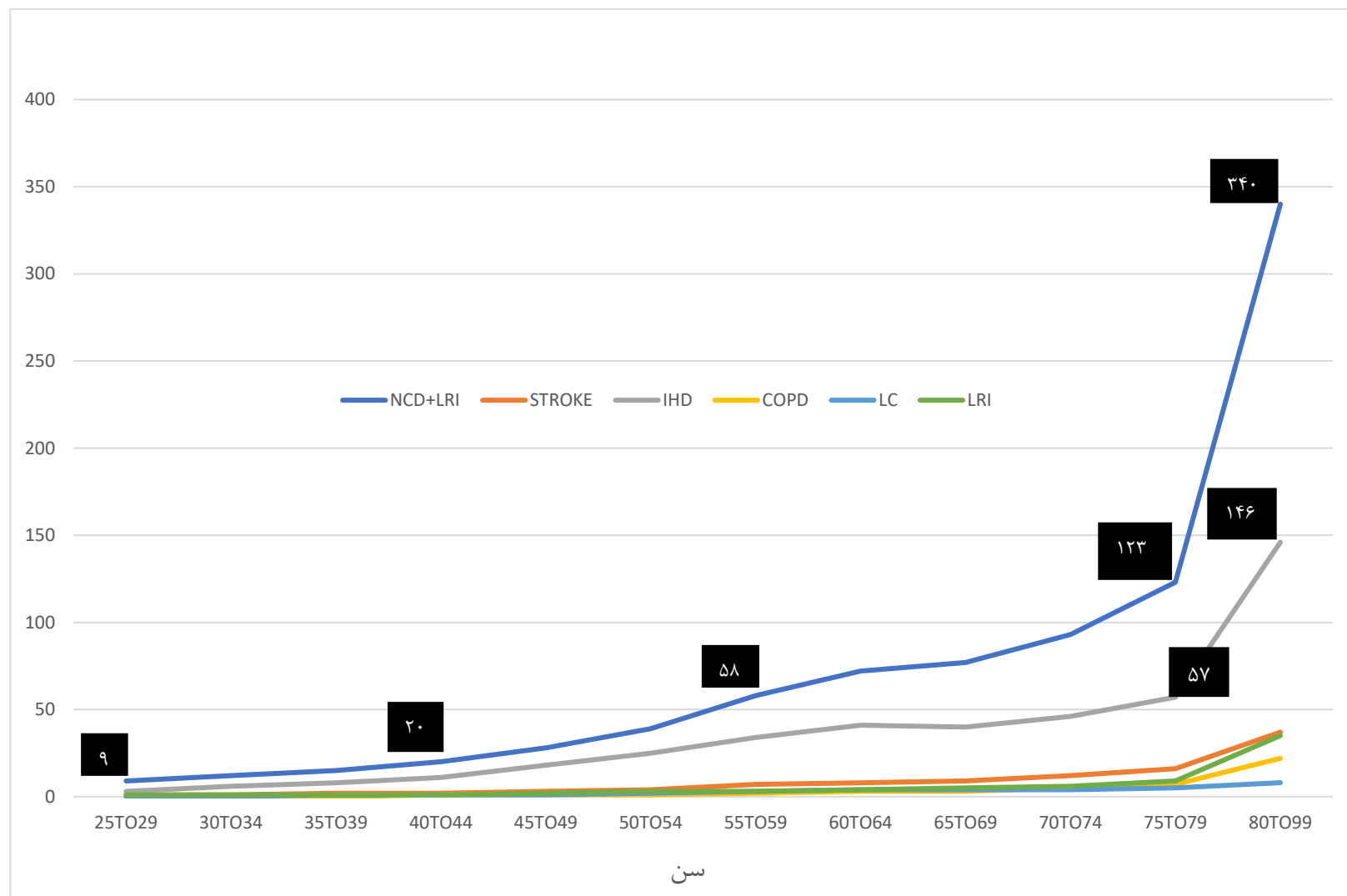
| سال                                                                   | ۱۳۹۶      |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| جمعیت                                                                 | ۱,۵۸۵,۵۰۳ |
| جمعیت بزرگسال                                                         | ۱,۰۰۰,۶۲۹ |
| امید به زندگی                                                         | ۷۷/۴      |
| تعداد کل مرگ                                                          | ۷۵۷۶      |
| تعداد مرگ در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت از هر سنی                            | ۴۷۸       |
| تعداد مرگ در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت بزرگسال                              | ۷۵۷       |
| مرگ‌های ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$                                    | ۸۸۶       |
| درصد مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ به کل مرگ‌ها                         | ۱۱/۷      |
| تعداد مرگ ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$ در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت از هر سنی | ۵۶        |
| تعداد مرگ ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$ در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت بزرگسال   | ۸۹        |
| کل سال‌های ازدست‌رفته                                                 | ۱۲۵۱۵۰    |
| سال‌های ازدست‌رفته ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$                         | ۱۴۰۸۶     |
| درصد سال‌های ازدست‌رفته $PM_{2.5}$ به کل                              | ۱۱/۳      |

#### ۱-۴-۴- مرگومیر سنین مختلف

علاوه بر جداول ۳-۴ و ۴-۴ که نتایج را به تفکیک سن نشان می‌دهند، شکل ۸-۴ تغییرات درصد مرگومیر ناشی از آلودگی هوا در سنین مختلف را نشان می‌دهد، و همچنین شکل ۹-۴ تعداد مرگومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در شهر تبریز در سال ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۴. تغییرات درصد مرگومیر ناشی از آلودگی هوا در سنین مختلف در تبریز در سال ۱۳۹۶



شکل ۴-۹. تعداد مرگ و میر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  به تفکیک سن و علت مرگ در شهر تبریز در سال ۱۳۹۶

#### ۴-۵- توزیع منطقه‌ای مرگ‌ومیر در شهر تبریز

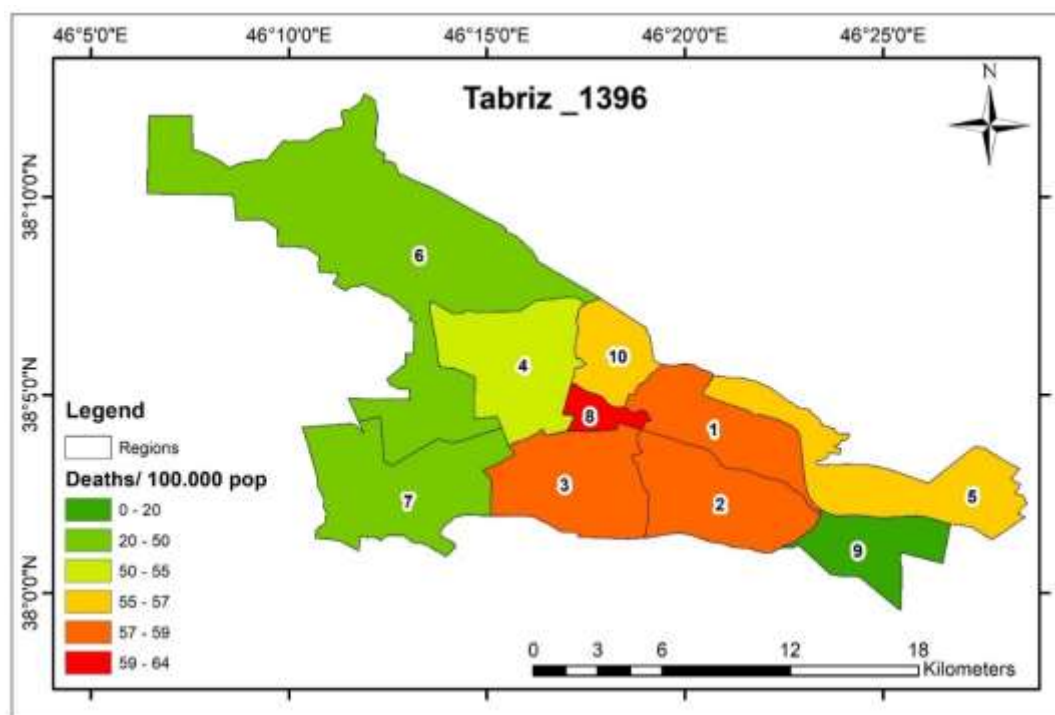
با تجمیع نتایج مناطق مختلف تبریز، تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در بین بزرگسالان به تفکیک علت مرگ در مناطق ۱۰ گانه تبریز در سال ۱۳۹۶ محاسبه و برآورد گردید (جدول ۴-۶ و ۴-۷). و همچنین در شکل ۴-۷ توزیع مکانی تعداد مرگ‌های ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در مناطق شهر تبریز، برای سال ۱۳۹۶ نشان داده شده‌است.

جدول ۴-۶. تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در بین بزرگسالان به تفکیک علت مرگ در مناطق تبریز در سال ۱۳۹۶

| منطقه | جمعیت   | تعداد موارد مرگ ناشی از $PM_{2.5}$ به تفکیک علت آن (فاصله اطمینان صدک ۲/۵ و ۹۷/۵) |               |              |                              |                         |
|-------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|------------------------------|-------------------------|
|       |         | همه علل                                                                           | ایسکمیک قلبی  | سکته مغزی    | عفونت حاد سیستم تنفسی تحتانی | بیماری مزمن انسداد ریوی |
| ۱     | ۲۲۲۴۰۸  | ۱۲۹ (۱۱۸-۱۳۵)                                                                     | ۶۳ (۶۱-۶۴)    | ۱۵ (۱۲-۱۷)   | ۱۰ (۸-۱۲)                    | ۷ (۵-۸)                 |
| ۲     | ۱۹۹۸۸۷  | ۱۱۶ (۱۰۶-۱۲۲)                                                                     | ۵۷ (۵۵-۵۸)    | ۱۴ (۱۰-۱۶)   | ۹ (۷-۱۰)                     | ۶ (۴-۷)                 |
| ۳     | ۲۳۳۴۲۱  | ۱۳۷ (۱۲۶-۱۴۴)                                                                     | ۶۷ (۶۴-۶۹)    | ۱۶ (۱۲-۱۸)   | ۱۱ (۸-۱۲)                    | ۷ (۵-۸)                 |
| ۴     | ۳۲۰۶۰۴  | ۱۷۶ (۱۶۲-۱۸۶)                                                                     | ۸۷ (۸۳-۸۹)    | ۲۰ (۱۶-۲۳)   | ۱۴ (۱۱-۱۶)                   | ۹ (۷-۱۱)                |
| ۵     | ۱۲۸۲۹۳  | ۷۳ (۶۸-۷۸)                                                                        | ۳۶ (۳۵-۳۷)    | ۸ (۷-۱۰)     | ۶ (۵-۷)                      | ۴ (۳-۴)                 |
| ۶     | ۱۰۰۶۱۱  | ۴۹ (۴۵-۵۲)                                                                        | ۲۴ (۲۳-۲۵)    | ۵ (۴-۶)      | ۴ (۳-۵)                      | ۲ (۲-۳)                 |
| ۷     | ۱۵۸۵۵۳  | ۷۸ (۷۲-۸۲)                                                                        | ۳۹ (۳۷-۴۰)    | ۹ (۷-۱۰)     | ۶ (۵-۷)                      | ۳ (۳-۵)                 |
| ۸     | ۲۹۸۸۹   | ۱۹ (۱۷-۲۰)                                                                        | ۹ (۸-۹)       | ۲ (۲-۳)      | ۲ (۱-۲)                      | ۱ (۰-۱)                 |
| ۹     | ۶۴۵     | ۰ (۰-۰)                                                                           | ۰ (۰-۰)       | ۰ (۰-۰)      | ۰ (۰-۰)                      | ۰ (۰-۰)                 |
| ۱۰    | ۱۹۱۱۹۲  | ۱۰۹ (۱۰۰-۱۱۵)                                                                     | ۵۳ (۵۲-۵۵)    | ۱۳ (۱۰-۱۵)   | ۹ (۷-۱۰)                     | ۶ (۴-۷)                 |
| مجموع | ۱۵۸۵۵۰۳ | ۸۸۶ (۸۱۴-۹۳۵)                                                                     | ۴۴۵ (۴۱۹-۴۴۶) | ۱۰۲ (۷۹-۱۱۸) | ۷۱ (۵۳-۸۰)                   | ۴۵ (۳۳-۵۳)              |

جدول ۴-۷. نرخ مرگ ناشی از آلاینده در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت

| نرخ مرگ در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| منطقه ۱                    | منطقه ۲ | منطقه ۳ | منطقه ۴ | منطقه ۵ | منطقه ۶ | منطقه ۷ | منطقه ۸ | منطقه ۹ | منطقه ۱۰ |
| ۵۸                         | ۵۸      | ۵۹      | ۵۵      | ۵۷      | ۴۹      | ۵۰      | ۶۴      | ۰       | ۵۷       |



شکل ۴-۱۰. نرخ مرگ و میر (در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت) ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز در سال ۱۳۹۶

#### ۴-۶- تعداد مرگومیر قابل اجتناب ناشی از افزایش و کاهش غلظت

در جدول ۴-۸ برای بررسی اثرات افزایش و کاهش غلظت آلاینده PM<sub>2.5</sub> بر سلامت انسان، پنج سناریو برای سال ۱۳۹۶ تعریف شد که شامل غلظت‌های میانگین سالیانه‌ی PM<sub>2.5</sub> برابر ۳۵، ۲۵، ۱۵ میکروگرم برمترمکعب و همچنین دستیابی به مقدار راهنمای کیفیت هوای WHO یعنی ۱۰ میکروگرم برمترمکعب و نیز کاهش کامل میانگین سالیانه‌ی غلظت آلاینده PM<sub>2.5</sub> تا رسیدن به حداقل غلظت ۲/۴ میکروگرم برمترمکعب.

جدول ۴-۸. تعداد مرگومیر قابل اجتناب ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در بزرگسالان در سناریوهای مختلف تغییر آلودگی در سال ۱۳۹۶

| روش محاسبه | علل مرگ | افزایش به ۳۵ µg/m <sup>3</sup> |         |          | افزایش به ۲۵ µg/m <sup>3</sup> |         |          | کاهش به ۱۵ µg/m <sup>3</sup> |         |          | کاهش به ۱۰ µg/m <sup>3</sup> |         |          | کاهش به ۲/۴ µg/m <sup>3</sup> |         |          |
|------------|---------|--------------------------------|---------|----------|--------------------------------|---------|----------|------------------------------|---------|----------|------------------------------|---------|----------|-------------------------------|---------|----------|
| GEMM       |         | متوسط                          | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ | متوسط                          | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ | متوسط                        | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ | متوسط                        | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ | متوسط                         | صدک ۲/۵ | صدک ۹۷/۵ |
|            | Stroke  | (۶۱)                           | (۴۷)    | (۷۰)     | ۱۱                             | ۸       | ۱۲       | ۴۰                           | ۳۱      | ۴۶       | ۶۴                           | ۵۰      | ۷۴       | ۱۰۲                           | ۷۹      | ۱۱۸      |
|            | COPD    | (۲۵)                           | (۱۸)    | (۳۰)     | ۴                              | ۳       | ۵        | ۱۶                           | ۱۲      | ۱۹       | ۲۷                           | ۱۹      | ۳۲       | ۴۵                            | ۳۳      | ۵۳       |
|            | IHD     | (۲۲۲)                          | (۲۱۴)   | (۲۲۸)    | ۳۷                             | ۳۵      | ۳۸       | ۱۴۱                          | ۱۳۶     | ۱۴۵      | ۲۳۹                          | ۲۳۰     | ۲۴۵      | ۴۳۵                           | ۴۱۹     | ۴۴۶      |
|            | LRI     | (۴۶)                           | (۳۴)    | (۵۳)     | ۸                              | ۶       | ۹        | ۳۰                           | ۲۲      | ۳۵       | ۴۹                           | ۳۶      | ۵۶       | ۷۱                            | ۵۳      | ۸۰       |
|            | LC      | (۱۹)                           | (۱۶)    | (۲۰)     | ۳                              | ۲       | ۴        | ۱۲                           | ۱۰      | ۱۳       | ۲۰                           | ۱۷      | ۲۲       | ۳۳                            | ۲۸      | ۳۶       |
|            | NCD+LRI | (۴۴۶)                          | (۴۰۹)   | (۴۷۱)    | ۷۳                             | ۶۷      | ۷۷       | ۲۸۲                          | ۲۵۹     | ۲۹۹      | ۴۸۰                          | ۴۴۱     | ۵۰۶      | ۸۸۶                           | ۸۱۴     | ۹۳۵      |

#### ۷-۴- خسارات اقتصادی

در این بخش نتایج برآورد خسارات از سه روش ارزش زندگی آماری، ارزش یک سال زندگی و روش اسلامی دیه تشریح شده است.

#### ۷-۴-۱- ارزش زندگی آماری (VSL)

بر طبق محاسبات انجام شده، VSL برای ایران برابر ۳۸۱۲۱۲ دلار به دست آمده است. با فرض یکسان بودن VSL در سراسر ایران و تبریز، با داشتن تعداد مرگومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در تبریز و ضرب نمودن این تعداد در VSL، برآوردی از خسارات ناشی از مرگومیر حاصل شده و با اضافه کردن ۱۰ درصد بابت هزینه‌های بیماری، خسارات مرگومیر و بیماری ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> محاسبه شد. جدول ۹-۴ خسارات ناشی از هریک از علل مرگ ناشی از آلودگی هوا را ارائه داده است.

جدول ۹-۴. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در تبریز براساس VSL و به تفکیک علت مرگ

| علت مرگ | ۱۳۹۶  |
|---------|-------|
| Stroke  | ۰.۰۴۳ |
| COPD    | ۰.۰۱۹ |
| IHD     | ۰.۱۸۲ |
| LRI     | ۰.۰۳  |
| LC      | ۰.۰۱۴ |
| NCD+LRI | ۰.۳۷۲ |

(واحد: میلیارد دلار در سال)

با استفاده از روش VSL، محاسبه می‌شود که سطوح آلودگی PM<sub>2.5</sub> تبریز در سال‌های ۱۳۹۶، خسارت ۰/۳۷۲ میلیارد دلار در سال را نسبت به پایین‌ترین سطح آلودگی (غلظت سالیانه‌ی ۲/۴ میکروگرم در مترمکعب) ایجاد کرده است. سهم هریک از علل مرگ در خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در جدول ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> تبریز سال ۱۳۹۶ براساس VSL

| سال  |         |       |         |          |
|------|---------|-------|---------|----------|
| ۱۳۹۶ |         |       |         |          |
| روش  | علت مرگ | متوسط | صدک ۲.۵ | صدک ۹۷.۵ |
| GEMM | Stroke  | ۴۳    | ۳۳      | ۵۰       |
|      | COPD    | ۱۹    | ۱۴      | ۲۲       |
|      | IHD     | ۱۸۲   | ۱۷۶     | ۱۸۷      |
|      | LRI     | ۳۰    | ۲۲      | ۳۴       |
|      | LC      | ۱۴    | ۱۲      | ۱۵       |
|      | NCD+LRI | ۳۷۲   | ۳۴۱     | ۳۹۲      |

(واحد پولی بر حسب میلیون دلار)

#### ۴-۷-۲- ارزش یک سال زندگی (VOLY)

هزینه‌های مرگ‌ومیر و بیماری ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub>، مبتنی بر روش VOLY<sub>IRAN</sub> نیز تعیین شده است. VOLY معادل یک برابر سرانه تولید ناخالص داخلی یعنی ۵,۵۹۴ دلار فرض شد [۸۶]. با داشتن تعداد سال‌های زندگی

از دست‌رفته به علت مواجهه با آلاینده‌های هوا و اضافه کردن ۱۰ درصد بابت هزینه‌های ابتلا به بیماری، خسارات مرگ‌ومیر و بیماری ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> برای سال‌های مختلف به دست می‌آید.

تعداد سال‌های زندگی از دست‌رفته به علت قرارگرفتن در معرض آلودگی هوا در سال ۱۳۹۶ برابر ۱۴۰۸۶ به دست آمد. بنابراین با افزودن ۱۰ درصد بابت هزینه‌های ابتلا به بیماری، خسارات مرگ‌ومیر و بیماری ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub>، در سال ۱۳۹۶ با استفاده از این روش برابر ۰/۰۸۶۷ میلیارد دلار محاسبه شده است.

#### ۴-۷-۳- روش اسلامی دیه

با توجه به داشتن نرخ دیه سال‌های گذشته و میانگین‌گیری وزنی برای لحاظ نمودن ماه‌های حرام مطابق توضیحات ارائه‌شده در فصل سوم، میانگین وزنی دیه محاسبه می‌شود؛ میزان دیه برای سال ۱۳۹۶ برابر است با:

$$\text{میلیون تومان } 2/3 * 210 + 1/3 * 280 = 233/3$$

این نرخ دیه در انتهای سال ۹۶ برآورد شده و بنابراین مطابق شرایط سال ۱۳۹۶ است و برای تبدیل آن به دلار، در صورت تبدیل این نرخ با نرخ دلار آزاد سال ۱۳۹۶، قیمت معادل دیه برحسب دلار آمریکا و برای سال ۱۳۹۶ برابر است با:

$$\text{دلار آمریکا } 233/3 * 10^6 / (4045/3) = 57672$$

با داشتن قیمت معادل دیه از روش فوق و افزودن ۱۰ درصد بابت هزینه‌های ابتلا به بیماری برای سال‌های مختلف و همچنین با داشتن تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> در هر سال، خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> از این روش محاسبه می‌شود. به عنوان مثال تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آلاینده PM<sub>2.5</sub> تبریز برای سال ۱۳۹۶ برابر ۸۸۶ نفر بوده و خسارات چنین برآورد می‌شود:

دلار آمریکا  $56/2 = 10^6 / [(1/1) * 57672 * 886]$

در جدول ۱۱-۴ محاسبات به طور کامل نوشته شده است.

جدول ۱۱-۴. برآورد خسارات بهداشتی ناشی از آلاینده  $PM_{2.5}$  تبریز از سه روش VSL، VOLY و دیه

| سال                                              | ۱۳۹۶    |
|--------------------------------------------------|---------|
| مرگ‌های ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$               | ۸۸۶     |
| برآورد خسارات بر اساس روش VSL (میلیون دلار)      | ۳۷۲     |
| سال‌های از دست‌رفته متناسب به $PM_{2.5}$         | ۱۴۰۸۶   |
| برآورد خسارات بر اساس روش VOLY (میلیون دلار)     | ۸۶/۷    |
| نرخ دیه (میلیون ریال)                            | ۲۱۰۰    |
| دیه ماه حرام                                     | ۲۸۰۰    |
| دیه معادل                                        | ۲۳۳۳    |
| دیه معادل شده در انتهای سال                      | ۲۵۶۷    |
| میانگین قیمت دلار آزاد (ریال)                    | ۴۰۴۵۳   |
| قیمت جان (دلار آزاد)                             | ۵۷۶۸۴/۳ |
| برآورد خسارات بر اساس روش دیه (میلیون دلار-آزاد) | ۵۶/۲    |
| میانگین قیمت دلار رسمی (ریال)                    | ۳۴۲۱۴   |
| قیمت جان به (دلار رسمی)                          | ۶۸۱۹۸/۲ |
| برآورد خسارات بر اساس روش دیه (میلیون دلار رسمی) | ۶۷      |

## فصل ۵:

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۵-۱- مقدمه

این تحقیق اثرات آلاینده  $PM_{2.5}$  هوای آزاد بر سلامت شهروندان و در نتیجه خسارات ناشی از آن را که مانع پیشرفت و رفاه شهروندان تبریز می‌شود را تایید می‌نماید. در این پایان‌نامه با استفاده از آخرین روابط تعداد مرگ‌ومیر ناشی از  $PM_{2.5}$ ، و همچنین جمع‌آوری کلیه داده‌های موردنیاز هم‌چون توزیع جمعیت مکانی و زمانی و توزیع غلظت آلودگی، سعی در برآورد خسارات آلودگی هوای شهر تبریز شده‌است. داده‌های موردنیاز پایان‌نامه از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شده است. جمعیت مناطق ۱۰ گانه شهر از مرکز آمار و شهرداری تبریز، غلظت‌های آلاینده  $PM_{2.5}$  از سازمان محیط‌زیست تبریز اخذ شد. از دیگر داده‌های موردنیاز، تعداد مرگ‌ومیر پایه، تولید سرانه ملی و نرخ دیه است. با توجه به مطالعات قبلی انجام‌شده، و داده‌های مرتبط اخذ شده، پس از انجام تحلیل‌های آماری لازم، تصویر روشنی از وضعیت و تغییرات آلودگی هوای تبریز و اثرات و هزینه‌های مرتبط با آن ارائه شد. در محاسبه تعداد مرگ‌ومیر از نرم‌افزار BenMAP-CE استفاده شد. در مرحله بعد سناریوهای کاهش و افزایش غلظت آلودگی و توزیع‌های مختلف آن در سطح شهر تعیین‌شده و محاسبات اثرات بر سلامت و اثرات اقتصادی برای هر سناریو تکرار شد و روند تغییرات اثرات برحسب تغییرات غلظت و همچنین تغییرات زمانی این اثرات به‌دست آمد. این مطالعه، پایه مفیدی برای کنترل تأثیر سیاست‌های آتی اتخاذشده در حوزه آلودگی هوا بر اثرات منفی آن خواهد بود [۸۹].

## ۵-۲- جمع‌بندی

جواب سوالات مطرح شده در پایان‌نامه، یعنی "آلاینده  $PM_{2.5}$  در شهر تبریز سبب چه میزان مرگ‌ومیر زودرس می‌شود، و همچنین هزینه‌های اقتصادی آن چقدر خواهد بود؟" پاسخ داده شد: تعداد ۸۸۶ مرگ زودرس در بزرگسالان در سال ۱۳۹۶ را می‌توان ناشی از آلودگی هوای شهر تبریز دانست. کل خسارات سالیانه (۱۳۹۶) آلودگی

آلاینده PM<sub>2.5</sub> شهر تبریز، با استفاده از روش ارزش یک سال زندگی ۸۶/۷ میلیون دلار، با استفاده از روش ارزش زندگی آماری برابر ۳۷۲ میلیون دلار و با استفاده از روش دیه، برابر ۶۷ میلیون دلار محاسبه شد.

### ۵-۳- پیشنهادها

در این پایان نامه، مبنای محاسبات نتایج پایش‌های زمینی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای سطح شهر بود که با روش‌های پاک‌سازی داده دقت آن افزایش یافت. پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگری چون مدل‌سازی انتشار و داده‌های ماهواره‌ای، جهت بهبود داده‌ها استفاده شود. خصوصاً انجام محاسبات برای کشور ایران که در بسیاری از نواحی، ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا موجود نیست، جهت کامل کردن داده‌ها می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌سازی بهره برد.

### ۵-۴- مطالعات آینده

• در این پایان نامه با داشتن داده‌های آلودگی هوای شهر تبریز، اثرات ناشی از آن بر ساکنین مناطق ۱۰ گانه تبریز محاسبه شد، درحالی‌که جمعیت چند هزار نفری غیرساکن، روزانه وارد تبریز شده و در معرض آلودگی تبریز قرار می‌گیرند؛ بنابراین جهت برآورد دقیق‌تر اثرات آلودگی هوای شهر تبریز، اثرات آلودگی بر جمعیت غیرساکن نیز باید محاسبه شود.

• قابلیت محاسبه تعداد بیماران مراجعه کننده به مراکز درمانی، به خاطر مشکلات ناشی از آلودگی هوا در نرم‌افزار وجود دارد که هنوز در روش GEMM پارامترهای آن محاسبه نشده و پس از تعیین آن‌ها، در نرم‌افزار قابل محاسبه هستند.

• داده‌های مرگ‌ومیر پایه، بر مبنای اطلاعات ارائه‌شده برای کل ایران اخذ شد، درحالی‌که احتمالاً برای تبریز، اعداد مرگ‌ومیر پایه متفاوت خواهد بود. پیشنهاد می‌شود این اعداد با استفاده از مطالعات جداگانه برای تبریز تهیه و در محاسبات تکمیلی استفاده شود.

• نرم‌افزار BenMAP-CE مانند یک ماشین حساب، محاسبات ساده ولی متعدد را انجام می‌دهد. قابلیت‌های مدیریت محاسبات مالی را نیز در شرایطی که پارامترهای اقتصادی موجود باشد می‌تواند انجام دهد، اما در این مطالعه به دلیل کامل نبودن داده‌های اقتصادی به آن پرداخته نشده است و می‌توان در مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد.

## فهرست منابع

1. Health Effects Institute. (2019). State of Global Air/2019. Special Report, Boston.

۲. کلیشادی ر، (۱۳۹۵) "آلودگی هوا و سلامت: مروری بر مطالعات و تحقیقات جهانی درباره اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان" چاپ اول، انتشارات نشر شهر، تهران.

۳. قنبری قوزیکلی م، مسافری م، ندافی ک، (۱۳۹۳) "کمی سازی اثرات ناشی از آلاینده های ازن بر سلامت مردم در کلان شهر تبریز با استفاده از مدل AirQ" مجله علوم پزشکی ارومیه، شماره ۶، دوره ۲۵، ص ۵۳۰-۵۲۱.

۴. سیف آ، ملک افضلی ش، رضایی ر، (۱۳۸۵) "برآورد تعداد مرگ های قلبی و تنفسی منتسب به آلودگی هوای شهر تهران بر حسب ذرات" مجله طب و تزکیه، شماره ۷۵، دوره ۱۷، ص ۳۷-۴۷.

۵. کاریزک ب، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "برآورد هزینه اجتماعی مرگ ومیر ناشی از آلودگی هوا در اثر مصرف سوخت های فسیلی به ویژه گازوییل در شهر مشهد"، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۶. کرمانی م، دولتی م، جنیدی ا، رضایی کلانتری ر، (۱۳۹۵) "برآورد موارد مرگ قلبی-عروقی، سکته قلبی و بیماری انسداد مزمن ریوی منتسب به ذرات معلق و دی اکسید گوگرد موجود در هوای کلان شهر تهران" مجله پژوهش در بهداشت محیط، شماره ۲، دوره ۲، ص ۱۱۶-۱۲۶.

۷. پناهی ع، (۱۳۹۵) "بررسی الگوهای همدیدی براساس دوره های بحرانی آلودگی هوا در وارونگی دمایی شدید شهر تبریز" مجله پژوهش های جغرافیای محیط، شماره ۴، دوره ۴۸، ص ۶۰۷-۶۲۵.

۸. امام قلی پور س، کبری ع، غضنفری ص، (۱۳۹۴) "تاثیر آلاینده‌های هوا بر پذیرش‌های اورژانسی سکنه‌های قلبی در شهر تهران طی دوره زمانی ۹۱-۸۶" مجله بهداشت و توسعه، شماره ۳، دوره ۴، ص ۱۹۹-۱۹۰.
۹. اکبری ا، فاخری م، عفت‌پور غ، اکبری ز، (۱۳۹۴) "پهنه‌بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، مجله محیط‌زیست طبیعی، شماره ۴، دوره ۶۸، ص ۵۴۷-۵۳۳.
۱۰. عرب ن، و میرکریمی ح، (۱۳۹۴) "بررسی تغییرات ازن، مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدنیتروژن در ایستگاه اقدسیه در طول سال ۱۳۹۱ در شهر تهران" مجله انسان و محیط‌زیست، شماره ۳۳، دوره ۱۳، ص ۴۳-۳۵.
۱۱. محمدی ن، ظروفچی ب، شاکر خطیبی م، (۱۳۹۵) "پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های گازی در هوای شهر تبریز با استفاده از شبکه مصنوعی" مجله مهندسی عمران و محیط‌زیست، شماره ۲، دوره ۴۶، ص ۹۴-۸۷.
۱۲. لک س، فضل زاده م، قنبری م، (۱۳۹۵) "کمی‌سازی پیامدهای بهداشتی مواجهه با آلاینده PM<sub>2.5</sub> در هوای شهر تبریز با استفاده از مدل AirQ در سال ۱۳۹۳" مجله سلامت محیط و کار، شماره ۳، دوره ۲، ص ۲۱۹-۲۱۰.
۱۳. صحرایی پ، (۱۳۹۲)، "بررسی مروری رابطه آلودگی هوا با بیماری‌های قلبی-عروقی و مرگ‌ومیر ناشی از آن"، همایش ملی آلودگی‌های محیط‌زیست و روش‌های کنترل آن، ص ۲۰۰-۱۹۳، سندج.
۱۴. مطلبی م، مظاهری ا، مسیبی م، تخت‌فیروزه م، (۱۳۹۴) "ارزیابی پیامدهای بهداشتی آلودگی هوای شهر کاشان در سال ۱۳۹۰" مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک، شماره ۵، دوره ۱۸، ص ۸۷-۷۷.
۱۵. غلامپور ا، نبی‌زاده ر، حسنوند م، تقی‌پور ح، (۱۳۹۳) "بررسی تغییرات ذرات معلق هوای آزاد و ارزیابی اثرات بهداشتی منتسب به آن‌ها در شهر تبریز" مجله سلامت و محیط، شماره ۴، دوره ۷، ص ۵۵۶-۵۴۱.

۱۶. عرب ن، (۱۳۹۳) پایان نامه ارشد: " بررسی اثر ترافیک شهری بر روی کیفیت هوا به کمک روش ماتریس متقابل در شهر تهران"، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۱۷. شریفی ح، یونسی و، دبیر ب، برومندی پ، (۱۳۹۳)، " بررسی تاثیر سناریوهای مختلف کاهنده‌ی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از مدل ترکیبی WRF-CAMx"، سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران.

18. Miranda A. Ferreira J. Silveira C. Relvas H. Duque L. (2016) "A cost-efficiency and health benefit approach to improve urban air quality" Science of the Total Environment., 569–570, pp 342–351.

۱۹. قربانی ر، حسین زاده ک، شکری پ، (۱۳۹۰) " بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز براساس تحلیل مولفه‌های اصلی" مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۳۹، دوره ۱۶، ص ۸۹-۱۰۸.

۲۰. خرسندی ح، کریم زاده س، آقایی م، آقاپور ع، موسوی س، کارگر ح، (۱۳۹۵) " ارزیابی اثرات بهداشتی مواجهه با آلاینده‌های ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و دی‌اکسید گوگرد هوای شهر ارومیه با استفاده از مدل AirQ" مجله پزشکی ارومیه، شماره ۵، دوره ۲۷، ص ۴۳۸-۴۴۸.

۲۱. گودرزی غ، گراوندی س، سعیدی مهر س، محمدی م، بابایی ع، (۱۳۹۳) " برآورد اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از مدل AirQ در شهر اهواز در سال ۱۳۸۸" مجله سلامت و محیط، شماره ۱، دوره ۸، ص ۱۱۷-۱۲۶.

۲۲. بنیادی ض، احرامپوش م، قانعیان م، (۱۳۹۵) " ارزیابی اثرات بهداشتی ناشی از PM<sub>2.5</sub> در هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۲" مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، شماره ۵، دوره ۱۵، ص ۳۸۹-۳۹۸.

23. Chen L. Shi M. Li S. Bai ZH. Wang ZH. (2017) " Combined use of land use regression and BenMAP-CE for estimating public health benefits of reducing PM<sub>2.5</sub> in Tianjin, China" *Atmospheric Environment.*, 152, pp 16-23.
24. Dind D. Zhu Y. Jang C. Wang SH. Fu J. (2016) " Evaluation of health benefit using BenMAP-CE With an integrated scheme of model and monitor data during Asian games" *Environmental Science.*, 42, pp 9-18.
25. Shamsipour M. Hassanvand M. Gohari K. Yunesian M. Fotouhi A. Naddafi K. Farzadfar F. (2019) " National and sub-national exposure to ambient fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and its attributable burden of disease in Iran from 1990 to 2016" *Environmental Pollution.*, 255, pp 113-173.
۲۶. قنبری م، مسافری م، ندافی ک، گودرزی غ، (۱۳۹۲) " اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در هوای کلانشهر تبریز" *مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز*، شماره ۲، دوره ۳۸، ص ۶۲-۷۱.
27. Bayat R. Ashrafi KH. Shafiepour M. Hassanvand M. Daroudi R. Fink G. (2019) " Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran" *Environmental Research.*, 176, pp 108-547.
28. Faridi S. Shamsipour M. Krzyzanowski M. Künzli N. Amini H. Azimi F. Naddafi K. (2018) " Long-term trends and health impact of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> in Tehran, Iran" 2006–2015" *Environment International.*, 114, pp 37–49.
۲۹. لک س، فضل زاده م، قنبری م، (۱۳۹۵) " کمی سازی پیامدهای بهداشتی مواجهه با آلاینده PM<sub>2.5</sub> در هوای شهر تبریز با استفاده از مدل AirQ در سال ۱۳۹۳" *مجله سلامت محیط و کار*، شماره ۳، دوره ۲، ص ۲۱۹-۲۱۰.
30. Boldo E. Linares C. Aragonés N. Lumbreras J. Borge R. (2014) "Air quality modeling and mortality impact of fine particles reduction policies in Spain" *Environmental Research.*, 128, pp15–26.

31. Broome R, Fann N, Cristina T, Fulcher C, Duc H, (2015) "The health benefits of reducing air pollution in Sydney, Australia" *Environmental Research.*, 143, pp 19–25.

32. WHO, (2016) "Ambiant air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease".

۳۳. کرمانی م، آقایی م، غلامی م، کریم زاده س، دولتی م، (۱۳۹۴) "برآورد اثرات بهداشتی مواجهه با دو آلاینده PM<sub>2.5</sub> و CO در هوای هشت شهر صنعتی ایران توسط مدل AirQ در سال ۱۳۹۰" *مجله سلامت کار ایران*، شماره ۴، دوره ۱۳.

۳۴. اسدی م، (۱۳۸۷) "هزینه خسارات آلودگی هوا و ضرورت اجرای مالیات سبز" *مجله تخصصی مالیات*، شماره ۳، دوره جدید، ص ۱۹۹-۲۳۴.

35. Hao Y, Peng H, Mao j, Chen H, (2018) "How harmful is air pollution to economic development? New evidence from PM<sub>2.5</sub> concentrations of Chinese cities" *Journal of Cleaner Production.*, 172, pp 743-757.

36. World Bank Group. (2016) "The cost of air pollution: Strengthening the economic case for action" The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation University of Washington-Seattle.

37. OECD. (2015) "Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth" Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

۳۸. حسن شاهی م، نیکوبخت ز، (۱۳۹۳) "رابطه علیّت بین رشد اقتصادی و آلودگی هوا" *مجله اقتصاد منابع طبیعی*، شماره ۱، دوره ۳، ص ۸۷-۱۰۰.

۳۹. پژویان ج، مراد حاصل ن، (۱۳۸۶) "بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا" *مجله پژوهش‌های اقتصادی*، شماره ۴، دوره ۷، ص ۱۴۱-۱۶۰.

۴۰. فتاحی م، عساری ع، صادقی ح، اصغریپور ح، (۱۳۹۴) "تحلیل تجربی رابطه بین آلودگی هوا و هزینه‌های عمومی سلامت: رویکرد داده‌های تابلویی پویا" مجله مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۳، دوره ۹، ص ۴۳-۶۰.
۴۱. نصراللهی ز، طالعی اردکانی س، (۱۳۹۰) "تخمین اقتصاد سایه‌ای و بررسی اثرات آن روی آلودگی هوا مطالعه موردی: اقتصاد ایران" مجله پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، شماره ۴، دوره ۱۲، ص ۲۷-۵۴.
42. Nevers N. (1977) "Air Pollution Control Philosophies" Journal of the Air Pollution Control Association., 27(3), pp 197-218.
۴۳. شفیعی پور م، (۱۳۷۹) "تدوین الگوی تهیه اقلام اطلاعاتی پایه برای مطالعه آلودگی هوا" پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
۴۴. مجلس شورای اسلامی، (۱۳۹۶) "قانون هوای پاک".
45. Wark K, & Warner C. (1998), "Air pollution: Its origin and control", Addison-Wesley., 3rd ed, pp 43.
۴۶. وارک ک، تی و، وارنر س، (۱۳۹۱)، "اصول و روش‌های کنترل آلودگی هوا" مترجم‌ها کشاورزی ه، کلهر م، چاپ دوم، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۴۲-۶.
۴۷. کوپر د، (۱۳۸۸) "کنترل آلودگی هوا (با رویکرد طراحی)" جلد اول، مترجم‌ها رحیمی ا، نیک سیر آ، چاپ اول، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ص ۷۴-۵۶.
48. Heger M. and Sarraf M. (2018) "Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies" THE WORLD BANK., pp 7-38.
۴۹. خشایی پور م، یزدان پناه ح، عابدینی م، بابایی ش، (۱۳۹۱)، "تعیین هزینه سفر با هر یک از مدهای حمل و نقل در شهر تهران"، دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، ص ۴-۱۵، تهران.

50. Loomis D. Grosse Y. Lauby-Secretan B. Ghissassi F. Bouvard V. Benbrahim-Tallaa L. Straif K. (2013) “The carcinogenicity of outdoor air pollution” *The Lancet Oncology.*, 14(13), pp1262–1263.
51. van Zoest V. M. Stein A. Hoek G. (2018) “Outlier Detection in Urban Air Quality Sensor Networks” *Water, Air, & Soil Pollution.*, 229, pp 1-13.
52. Shamsipour M. Farzadfar F. Gohari K. Parsaeian M. Amini H. Rabiei K. Yunesian M. (2014) “A framework for exploration and cleaning of environmental data—Tehran air quality data experience” *Arch Iran Med.*, 17(12), pp 821–829.
53. Kracht O. Gerboles M. Reuter H. (2014) “First evaluation of a novel screening tool for outlier detection in large scale ambient air quality datasets” *International Journal of Environment and Pollution.*, 55(1–4), pp 120–128.
54. Burnett R. Chen H. Szyszkowicz M. Fann N. Hubbell B. Pope C. (2018) “Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter” *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 115(38), pp 9592-9597.
55. Nasari M. Szyszkowicz M. Chen H. Crouse D. Turner M. Jerrett M. Burnett R. (2016) “A class of non-linear exposure-response models suitable for health impact assessment applicable to large cohort studies of ambient air pollution” *Air Quality, Atmosphere & Health.*, 9(8), pp 961–972.
56. Yin p. Brauer M. Cohen A. Burnett R. (2017) “Long-term Fine Particulate Matter Exposure and Nonaccidental and Cause-specific Mortality in a Large National Cohort of Chinese Men” *Environmental Health Perspectives.*, 125(11), pp 117002-11.
57. Huang J. Pan X. Guo X. Li G. (2018) “Health impact of China’s Air Pollution Prevention and Control Action Plan: An analysis of national air quality monitoring and mortality data” *The Lancet Planetary Health.*, 2(7), pp 313–323.
58. Global Burden of Disease Collaborative Network. (2018) “Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Population Estimates” 1950-2017.

59. Viana M. Fann N. Tobías A. Querol X. Rojas-Rueda D. Plaza A. Fernández C. (2015) “Environmental and Health Benefits from Designating the Marmara Sea and the Turkish Straits as an Emission Control Area (ECA)” *Environmental Science & Technology.*, 49(6), pp 3304–3313.
60. Anenberg S. Belova A. Brandt J. Fann N. Greco S. Guttikunda, S. Van Dingenen R. (2016) “Survey of Ambient Air Pollution Health Risk Assessment Tools” *Risk Anal*, 36(9), pp 1718–1736.
61. Burnett Richard T. Pope C. Ezzati M. Olives C. Lim Stephen S. Mehta S. Cohen A. (2014) “An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure” *Environmental Health Perspectives.*, 122(4), pp 397–403.
62. Goudarzi G. Mohammadi M. Ahmadi Angali K. Neisi A. Babaei A. Mohammadi B. Geravandi S. (2012) “Estimation of Health Effects Attributed to NO<sub>2</sub> Exposure Using AirQ Model” *Muq-Hygiene.*, 1(2), pp 59–66.
63. Pascal M. Corso M. Chanel O. Declercq C. Badaloni C. Cesaroni G. Medina S. (2013) “Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project” *Science of the Total Environment.*, 449, pp 390–400.
64. Davidson K. Hallberg A. McCubbin D. Hubbell B. (2007) “Analysis of PM<sub>2.5</sub> using the environmental benefits mapping and analysis program (BenMAP)” *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A.*, 70(3–4), pp 332–346.
65. Jesse B. Neal Fann J. Hollingsworth K. Pinkerton W. Rom A. Szema P. (2012) “Health Benefits from Large-Scale Ozone Reduction in the United States” *Environmental Health Perspectives.*, 120(10), pp 1404-1410.
66. Hubbell B. Hallberg A. McCubbin D. Post E. (2005) “Health-related benefits of attaining the 8-hr ozone standard” *Environmental Health Perspectives.*, 113(1), pp 73-82.
67. U.S. EPA. (2015a). “Regulatory Impact Analysis of the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Ground-Level Ozone”.

68. U.S. EPA. (2012) “Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter”.
69. Barron J. Quimbo R. Nikam P. Amonkar M. (2007) “Assessing the economic burden of breast cancer in a US managed care population” *Breast Cancer Research and Treatment.*, 109(2), pp 367–377.
70. Brown M. & Yabroff K. (2006), “Cancer Epidemiology and Prevention”, THIRD Edition, University of Oxford, UK, pp202–214.
71. Arozullah A. Calhoun E. Wolf M. Finley D. Fitzner K. Heckinger E. Bennett C. (2004) “The financial burden of cancer: Estimates from a study of insured women with breast cancer” *The Journal of Supportive Oncology.*, 2(3), pp 271–278.
72. Max W. Sung H. Stark B. (2008) “The economic burden of breast cancer in California” *Breast Cancer Research and Treatment.*, 116(1), pp 201–207.
73. Grover S. Coupal L. Zowall H. Rajan R. Trachtenberg J. Elhilali M. Goldenberg L. (2000) “The economic burden of prostate cancer in Canada: Forecasts from the Montreal Prostate Cancer Model” *Cmaj.*, 162(7), pp 987–992.
74. Yabroff K. Robin Davis W. Lamont E. Fahey A. Topor M. Brown M. Warren, J. (2007) “Patient Time Costs Associated With Cancer Care” *JNCI: Journal of the National Cancer Institute.*, 99(1), pp 14–23.
75. Yabroff K. Lund J. Kepka D. Mariotto A. (2011) “Economic Burden of Cancer in the United States: Estimates, Projections, and Future Research” *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention.*, 20(10), pp 2006–2014.
76. Kim S. Hahm M. Choi K. Seung N. Shin H. Park E (2008) “The economic burden of cancer in Korea in 2002” *European Journal of Cancer Care.*, 17(2), pp 136–144.
77. Max W. Rice D. Sung H. Michel M. Breuer W. Zhang X. (2003) “The economic burden of gynecologic cancers in California, 1998” *Gynecologic Oncology.*, 88(2), pp 96–103.

78. Bradley C. Yabroff K. Dahman B. Feuer E. Mariotto A. Brown M. (2008) "Productivity Costs of Cancer Mortality in the United States: 2000–2020" JNCI: Journal of the National Cancer Institute., 100(24), pp 1763–1770.

79. Yabroff K. Robin Bradley C. Mariotto A. Brown M. Feuer E. (2008) "Estimates and Projections of Value of Life Lost From Cancer Deaths in the United States" JNCI: Journal of the National Cancer Institute., 100(24), pp 1755–1762.

۸۰. آیتی ا، ( ۱۳۸۷ ) " هزینه تصادفات ترافیکی ایران " چاپ سوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

81. Chiabai A. Spadaro J. Neumann M. (2018) "Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems" Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change., 23(7), pp 1159–1176.

82. Narain U. & Sall C. (2016) "Methodology for valuing the health impacts of air pollution: Discussion of challenges and proposed solutions" World Bank Group., pp 28-45.

83. Bertram M. Lauer J. De Joncheere K. Edejer T. Hutubessy R. Kieny M. Hill S. (2016) "Cost-effectiveness thresholds: Pros and cons" Bulletin of the World Health Organization., 94(12), pp 925–930.

84. Marseille E. Larson B. Kazi D. Kahn J. Rosen S. (2015) "Thresholds for the cost-effectiveness of interventions: Alternative approaches" Bulletin of the World Health Organization., 93(2), pp 118–124.

85. Hunt A. & Ferguson J. (2010) "A review of recent policy-relevant findings from the environmental health literature" University Of Bath, Paris, pp 1-62.

86. Hunt A. Ferguson J. Hurley F. Searl A. (2016) "Social Costs of Morbidity Impacts of Air Pollution" OECD Environment Working Papers, 99, pp 1-78.

۸۷. میری م، قانعیان م، قلیزاده ع، یزدانی م، نیکونهاد ع، (۱۳۹۴) " تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوای شهر مشهد

با استفاده از مدل های مختلف حلیل فضایی " مجله مهندسی بهداشت محیط، شماره ۲، دوره ۳، ص ۱۴۳–۱۵۳

88. World Bank web site. (2018a). GDP per capita (current US\$) for Iran.

89. Brauer M. Freedman G. Frostad J. Van Donkelaar A. Martin R. Dentener F. Cohen A. (2016) "Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013" Environmental Science & Technology., 50(1), pp 79–88.

۹۰. بیات ر، (۱۳۹۸)، رساله دکتری: " بررسی رابطه بین کاهش غلظت  $PM_{2.5}$  در محیط‌های شهری و منافع سلامت منتسب ( پژوهش موردی: شهر تهران)"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

91. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>.

## **Abstract**

Tabriz is a metropolis with a growing population with large industries. Due to environmental condition of this city and the inappropriate location , the city of Tabriz is one of the few polluted cities in the country . in this study, while introducing a new function of concentration-response of the global model of exposure-death (GEMM) and explaining the steps and how to use the software for drawing and evaluating environmental benefits (benMAP-CE), for the first time number of deaths due to PM<sub>2.5</sub> pollutant in Tabriz has been calculated in this way and health-related economic costs were calculated. hourly PM<sub>2.5</sub> concentration data of air pollution measuring stations in Tabriz has been used to calculate the concentration of PM<sub>2.5</sub> for the 10 regions of Tabriz. In addition to the analysis of PM<sub>2.5</sub> and its effects on general health for 1396, five scenarios were compared to the average annual PM<sub>2.5</sub> concentration in 1396 (22.9µg/m<sup>3</sup>), which included an increase to 35, a decrease to 25, a decrease to 15, a decrease to 10 micrograms per cubic meter. A reduction scenario is at least (2.4µg/m<sup>3</sup>). in this study, using benMAP-CE software and the functions of the global model of exposure-death (GEMM), in total 886(814-935) death is estimated due to long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> pollutant in 1396 for concentration higher than 2.4µg/m<sup>3</sup> in adults and the highest number of deaths derived from ischemic heart disease was 435(419-446), brain stroke 102(97-188), lower respiratory tract infection 71(53-80), chronic obstructive pulmonary 45 (33-53) and lung cancer 33(28-36).

Total annual economic cost (1396), reduction of concentration of PM<sub>2.5</sub> pollutant in Tabriz to the minimum level 2.4µg/m<sup>3</sup> using the value of one year life (VOLY) equals \$8.7 million, using the statistical lifestyle method (VSL) equivalent to \$372 million and using the method of ransom 67 million dollars were calculated.

### **Key words:**

Air pollution in Tabriz, air pollutants , PM<sub>2.5</sub>, assessment of health consequences , economic evaluation.



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Civil Engineering**  
**M.Sc. Thesis in Environmental Engineering**

**Risk analysis of exposure to air pollutants**  
**in the city of Tabriz using the BenMAP-CE software**

By: Ali Shams Mohammadi

Supervisor:

Dr. Ramezan Vagheei

Dr. Khosro Ashrafi

February 2021