



به نام ایزدیکتا

بررسی روش‌های محاسبه ریسک سلامت در همبست
با تمرکز بر همبست انرژی- آلودگی هوا - سلامت

محمد عرفان درکی

تیر ماه ۱۴۰۱

چکیده:

با توجه به رشد جمعیت و کمبود منابع در جهان، نیاز به وجود روش مناسبی که بتواند یک چالش را از زوایای مختلفی بررسی کند و اثرات آن چالش را بر سلامتی ببیند حس می‌شود؛ از این رو در این پژوهش به بررسی روش‌های متداول محاسبه ریسک سلامت پرداخته شد و یک نمونه محاسبه ریسک سلامت برای آلودگی هوا در کشور چین انجام شد و در نهایت روش سیستم دینامیک که یکی از جدیدترین روش‌های محاسبه ریسک است مورد بررسی قرار گرفت.

فهرست مطالب:

۱.....	مقدمه
۱.....	رویکرد NEXUS
۲.....	ریسک سلامت در اثر آلودگی هوا
۴.....	تحلیل ریسک سلامت در رویکرد Nexus
۶.....	مدل BenMAP
۱۰.....	محاسبه ریسک اثرات ذرات معلق با قطر ۲.۵ میکرومتر و کمتر بر شهر تهران با استفاده از BenMAP
۱۳.....	عدم قطعیت در محاسبه ریسک
۱۴.....	آلودگی هوا و ریسک سلامت ناشی از تردد وسایل نقلیه
۱۷.....	سیستم دینامیک
۱۷.....	محاسبه ریسک سلامت Nexus آب و انرژی با استفاده از سیستم دینامیک
۲۰.....	تابع Cupolas
۲۲.....	جمع بندی
۲۳.....	منابع

فهرست شکل‌ها:

.....	۲
.....	۸
.....	۸
.....	۹
.....	۱۲
.....	۱۲
.....	۱۳
.....	۱۵
.....	۱۶
.....	۱۶
.....	۱۸
.....	۱۹
.....	۲۰
.....	۲۱
.....	۲۱

۱- مقدمه:

ریسک سلامت معیاری است که با افزایش آن احتمال ابتلا انسان به بیماری‌ها افزایش می‌یابد. برای مثال در معرض آفتاب بودن باعث می‌شود تا ریسک ابتدا به سرطان پوست بالا رود و می‌توان این ریسک را با حفاظت از پوست در مقابل تابش کاهش داد.

با افزایش روزافزون جمعیت، تقاضا برای مصرف انرژی، غذا و آب افزایش می‌یابد و این افزایش تقاضا باعث افزایش ریسک سلامت، به علت کاهش امنیت انرژی، امنیت غذا و... می‌شود و در نتیجه آن نیاز به توسعه روش‌هایی برای محاسبه این افزایش ریسک‌های سلامتی در کنار دیگر مسائل و وجود روشی برای بررسی کردن مسائل به صورت چندگانه، به نحوی که اثرات تمامی جوانب یک مسئله را در کنار هم بتوان دید پدید می‌آید.

۱-۱ - رویکرد Nexus [۱]:

با توجه به رشد جمعیت، پیش‌بینی می‌شود تا تقاضای انرژی، غذا، آب تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود و چالش‌های جهانی زیادی به وجود آید. بسیاری از چالش‌های جهانی اگرچه با هم مرتبط هستند؛ اما به تنهایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و این قضیه در مواقعی باعث می‌شود که حل یک مشکل، ایجاد یک مشکل در دیگر بخش‌ها را در پی داشته باشد. از این رو نیاز به یک رویکرد که به طور همزمان تعاملات بین چندین بخش را بررسی کند حس شد و رویکرد Nexus به وجود آمد.

کلمه Nexus مدت‌ها پیش توسط فلاسفه و اقتصاددان‌ها برای مشخص کردن رابطه بین چند هدف استفاده شده است. از فواید این روش می‌توان موارد زیر را نام برد:

- کشف هم‌افزایی و منافع مشترک
- شناسایی تبادلات خطرناک بین عوامل
- پرده برداری از پیامدهای غیرمنتظره و تقویت برنامه ریزی یکپارچه

اما برای در پیش گرفتن این رویکرد نیاز به تخصص داشتن در همه بخش‌های مرتبط، برعکس روش‌های سنتی که نیاز تخصص در یک بخش دارد، است و همچنین این رویکرد به زمان و منابع مالی زیادتری نسبت به روش‌های سنتی به علت گستردگی فیلد مورد مطالعه نیاز دارد.

به عنوان مثال استفاده از رویکرد Nexus در تحلیل آب-غذا انرژی می‌تواند اثرات هر یک را بر دیگری دیده و ارتباط بین انرژی، غذا و آب را در چشم انداز زمانی بررسی شده، گزارش کند. و این پیوند می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم با تقویت هم‌افزایی، کاهش مبادلات و ایجاد اثرات آبشاری فراتر از بخش‌های غذا، انرژی و آب، بر دستیابی به همه اهداف توسعه پایدار^۱ تأثیر بگذارد.



شکل ۱ water-energy-food NEXUS

از این رو هدف از این پژوهش، تحلیل روش‌های محاسبه ریسک سلامت در رویکردهای Nexus به خصوص انرژی-آلودگی هوا - سلامت انسان است.

۲- ریسک سلامت در اثر آلودگی هوا

برای محاسبه ریسک سلامت اطلاعات زیر نیاز است:

- توابع تمرکز-پاسخ^۲
- آمار پایه سلامت

^۱ Sustainable Development Goals (SDGs)

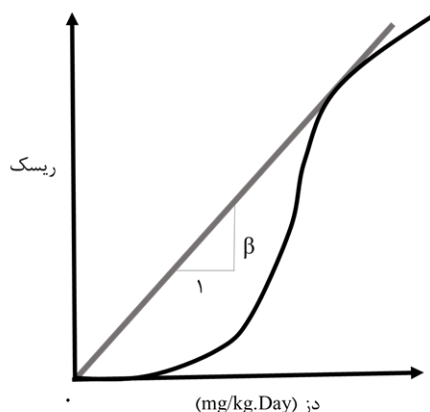
^۲ Dose-Response

توابع تمرکز-پاسخ توسط مطالعات اپیدمیولوژیک ایجاد شده است و برای محاسبه ریسک یا اثرات سلامتی در مقدار مشخص آلودگی استفاده می‌شود. مثلاً در رابطه با ریسک سلامت در آلودگی هوا، تابع تمرکز-پاسخ نشان دهنده رابطه بین غلظت یک آلاینده هوا که یک جمعیت در معرض آن قرار دارد و خطر یک پیامد سلامتی است و به این ترتیب، این توابع تأثیر سلامتی در واحد غلظت آلاینده هوا را کمی سازی می‌کنند.

ریسک نسبی ایی که این توابع محاسبه می‌کنند؛ افزایش مرگ و میر را نشان می‌دهد که می‌تواند به افزایش معینی در غلظت آلاینده هوا نسبت داده شود. ریسک‌های نسبی در سطح جمعیت (به عنوان میانگین‌های آماری) تعریف می‌شوند و نمی‌توان آنها را به افراد خاصی اختصاص داد. بنابراین در مورد مرگ و میر نمی‌توان تشخیص داد که کدام موارد فردی ناشی از آلودگی هوا هستند [۲].

توابع تمرکز-پاسخ به طور کلی خطی هستند، اما ممکن است که برای غلظت‌های خیلی کم یا خیلی زیاد درست نباشند. همچنین، شواهد در مورد تأثیرات غلظت‌های بسیار کم یا بسیار زیاد بر سلامت انسان ممکن است به اندازه غلظت‌های «متوسط» قوی نباشد.

مثالی از رابطه تمرکز-پاسخ در نمودار زیر آمده است، این منحنی عمومی‌ترین رابطه بین دوز-پاسخ (تمرکز-پاسخ) است که غیر خطی بودن آن و آستانه‌ای را نشان می‌دهد که زیر آن هیچ اثری رخ نمی‌دهد. با این حال، همانند روش استاندارد ارزیابی ریسک سرطان؛ این تابع ریسک اغلب یک رابطه خطی و بدون آستانه فرض می‌شود. رابطه تمرکز-پاسخ و بدون آستانه، کاملاً با شیب آن یا فاکتور قدرت (β) مشخص می‌شود. هر چه این شیب بیشتر باشد، به تبع آن سمیت آن ماده نیز بیشتر است.



هنگامی که یک تابع خطی بدون آستانه برای تخمین ریسک مزمن در طول عمر استفاده می‌شود، ریسک فردی در طول عمر (LIR) از میانگین غلظت روزانه ($LADD^*$) در معرض به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LIR = \beta \times LADD$$

* lifetime average daily dose

این رابطه احتمال ابتلا فرد به بیماری در طول زندگی خود را محاسبه می‌کند [۳]. β معمولاً از مطالعات تجربی محاسبه می‌شود.

آمار پایه سلامت شامل امید به زندگی خاص کشور، طبقه بندی شده بر اساس سن و جنس، و داده های کل مرگ و میر برای هر کشور، همچنین بر اساس سن و جنس است. این آمارها ویژگی های کل جمعیت است و نمی تواند در سطح فردی اعمال شود. به این ترتیب، تعداد تخمینی مرگ و میرهای زودرس که با استفاده از این آمار به دست می آید، معیاری از تأثیر کلی آلودگی هوا در یک جمعیت معین است [۲].

برای تخمین سال های از دست رفته زندگی، سنی که در آن مرگ های زودرس رخ داده است نیز در نظر گرفته می شود. برای هر مرگ، سن فعلی مرگ از امید به زندگی در آن سن کم می شود تا سال های زندگی از دست رفته به دلیل آن مرگ خاص بدست آید. جمع بندی سال های زندگی از دست رفته برای همه مرگ های زودرس به کل سال های زندگی از دست رفته برای جمعیت منجر می شود و در نهایت ریسک سلامت محاسبه می شود [۴].

مشخصه دادن به ریسک^۴ به عنوان آخرین مرحله از محاسبه ریسک سلامت مطرح می شود، خصوصیات ریسک خلاصه ای از ارزیابی ریسک را ارائه می دهد و میزان بروز اثر سلامتی را در جمعیت هدف تخمین می زند. در سال های اخیر، مفهوم توصیف ریسک گسترش یافته است تا شامل در نظر گرفتن طیف وسیعی از مسائل مرتبط با خطرات زیست محیطی، از جمله تأثیرات اجتماعی-اقتصادی و پیامدهای حقوق قانونی، رضایت آگاهانه، و اصول دموکراتیک باشد.

توصیف مشخصه های ریسک شامل خلاصه ای از موارد زیر است:

- تخمین نقطه ای برای مواجهه و ریسک فردی.
- برآورد جمعیت برای آلاینده های نگران کننده و نقاط پایانی مختلف بهداشتی، از جمله توزیع خطر تخمینی و بروز برای کل جمعیت و زیر گروه های مختلف جمعیت.
- تجزیه و تحلیل عدم قطعیت های کلیدی، تلاش مورد نیاز برای حل آنها و احتمال وقوع این امر در آینده نزدیک.

که هر یک در ادامه بررسی خواهند شد.

۳- تحلیل ریسک سلامت در رویکرد Nexus [۵]:

ارزیابی اثرات سلامت و ریسک سلامتی بسیار به شواهد موجود از اپیدولوژی آلودگی هوا و در معرض آلودگی هوا بودن بستگی دارد. و در دهه های گذشته این شواهد را در جمعیتی که در معرض آلودگی بالاتر نسبت به فردی که در معرض آلودگی کمتر است؛ مشخص کرده است. با توجه به این پیشرفت ها، ارزیابی کمی ریسک سلامت برای تحلیل های Nexus آلودگی هوا می تواند اکنون در مقیاس های مختلفی برای بسیاری از آلاینده های هوا انجام می شود.

^۴ RISK CHARACTERIZATION

ارزیابی ریسک سلامت، روش‌های مرسوم دارد و معمولاً با استفاده از داده‌هایی که از قبل آماده شدند و در پایگاه داده موجود هستند، تحلیل ریسک را انجام می‌دهند. معمولاً برای محاسبه تحلیل ریسک از مدل‌های آماده یا اینکه خود به توسعه مدلی مناسب می‌پردازند.

در ادامه به بررسی و مقایسه ۹ مدل مرسوم تحلیل ریسک سلامت در تحلیل‌های Nexus انرژی-آلودگی هوا-سلامت می‌پردازیم و آن‌ها را از زوایای نام برده شده در ادامه مقایسه می‌کنیم:

- منطقه قابل بررسی: بعضی از این مدل‌ها توانایی استفاده در مقیاس جهانی دارند و بعضی‌ها منعطف‌تراند و با توجه به کار و تحلیلی که مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ قابلیت تعمیم دارند.
- پایگاه داده‌ی در دسترس: هر مدل با توجه به پیچیدگی و اعتبار مدل به پایگاه داده‌هایی دسترسی دارد که این پایگاه‌های داده به خصوص در کشورهایی که در حال توسعه هستند و مطالعات اپیدمیولوژی کاملی در آن‌ها انجام نشده بسیار مهم است.
- نوع آلاینده‌هایی که می‌توانند بررسی کنند.
- نوع رابط کاربری: این مدل‌ها از لحاظ نوع کاربری و اینکه هر کدام از مدل‌ها چقدر برای افراد غیر متخصص قابل درک است هم مقایسه شده‌اند، به صورتی که بعضی از این مدل‌ها مانند یک نرم افزار دانلود و نصب می‌شوند؛ که این مدل‌ها از پایگاه داده‌های کامل و پیشرفته ایی بهره می‌برند و پیچیدگی-های زیادی دارند. بعضی از مدل‌ها هم تحت اکسل کار می‌کنند و ساده‌تر هستند و در نهایت بعضی از این مدل‌ها هم Web-based هستند که یعنی بدون نیاز به هرگونه دانلود یا نصب چیزی، توانایی تحلیل ریسک سلامت را به ما می‌دهند. این مدل‌ها از دسترس‌ترین و غیر تکنیکال‌ترین مدل‌های موجود به حساب می‌آیند. در زیر این ۹ مدل مقایسه شده و نتایج آن آورده شده است:

Characteristic	AirCounts™	AIRQ2.2	BenMAP	EBD	GMAPS	IOMLIFET	LEAP-IBC	SIM-Air	TM5-FASST
Spatial resolution:									
Regional		*	*	*		*		*	*
National	*	*	*	*	*	*	*		*
City-level		*	*	*	*	*		*	
Pollutants:									
PM _{2.5}	*	*	*	*		*			
PM ₁₀		*		*	*	*	*	*	*
Ozone		*	*			*		*	
NO ₂		*	*				*		*
SO ₂		*	*				*		*
CO			*						*
Other		Black smoke							

جدول ۱ مقایسه مدل‌ها از لحاظ نوع منطقه تحت بررسی و نوع آلاینده

Characteristic	AirCounts™	AIRQ2.2	BenMAP	EBD	GMAPS	IOMLIFET	LEAP-IBC	SIM-Air	TM5-FASST
Population data source:									
User-defined		*	*	*		*			
United Nations	*								*
Other			*						
Baseline incidence data source:									
User-defined	*	*	*	*		*			
WHO	*		*		*			*	*
Other							*	*	
Format:									
Software download		*	*						
Microsoft office				*	*	*	*	*	*
Web based	*								
Open source		*	*	*	*	*	*	*	

جدول ۲ مقایسه ۹ مدل از لحاظ پایگاه داده در دسترس و نوع کاربری

از این مقایسه متوجه می‌شویم که یکی از بهترین مدل‌های در دسترس برای محاسبه ریسک سلامت در تحلیل‌های Nexus مدل BenMAP است و در ادامه به بررسی این مدل پرداخته می‌شود و یک نمونه تحلیل ریسک با این نرم افزار انجام می‌شود.

۳-۱- مدل BenMAP [۶]:

مدل نقشه برداری و تجزیه و تحلیل مزایای زیست محیطی (BenMAP) یک برنامه کامپیوتری متن باز است که تعداد ارزش اقتصادی مرگ و میر و بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا را محاسبه می‌کند و ریسک سلامت را می‌سنجد. این مدل یکی از مدل‌های توسعه یافته توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۵ است.

^۵ United States Environmental Protection Agency (EPA)

این مدل می‌تواند برای کارهای زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- تولید نقشه‌های مواجهه با آلودگی محیط در سطح جمعیت/جامعه
- مقایسه مزایای برنامه‌های نظارتی متعدد
- برآورد اثرات بهداشتی مرتبط با قرار گرفتن در معرض غلظت‌های موجود آلودگی هوا
- برآورد مزایای سلامتی استانداردهای جایگزین کیفیت هوای محیط
- انجام تحلیل‌های حساسیت عملکردهای سلامت یا ارزش‌گذاری یا سایر ورودی‌ها
- تحلیل‌های انواع فرضیه‌های مرتبط با ریسک سلامت

مدل BenMAP به این صورت عمل می‌کند که رابطه‌ی غلظت آلودگی هوا که از تحلیل Nexus

محاسبه شده را با استفاده از روابط از قبل تعریف شده تحت عنوان تابع تاثیر سلامت^۶ در داخل مدل یا با استفاده از رابطه‌هایی که کاربرد، خود به مدل می‌دهد به ریسک سلامت مربوط می‌کند. این مدل می‌تواند برای تخمین اثرات بهداشتی مرتبط با آلودگی هوا در وضوح شبکه‌ای مورد استفاده قرار گیرد؛ به این صورت که منطقه‌ی مورد بررسی، شبکه بندی می‌شود و ریسک سلامت برای هر کدام از بخش‌های این شبکه به صورت جداگانه محاسبه می‌شود.

توابع تاثیر سلامت در این مدل، حالت‌های مختلفی شامل حالت خطی، لگاریتمی و لاجستیک دارند که تمام این حالت‌ها با استفاده از ریسک نسبی سلامت سنجیده می‌شوند. ریسک نسبی سلامت به این گونه سنجیده می‌شود که حالت پایه ریسک سلامت نسبت به حالت مورد مطالعه محاسبه می‌شود:

$$RR = \frac{y_i}{y_c}$$

و به عنوان مثال رابطه خطی محاسبه اثرات سلامتی در غلظت‌های مختلف به صورت زیر است:

$$y = \alpha + \beta \times PM$$

که در آن β و α ضریب‌های رگرسیون هستند

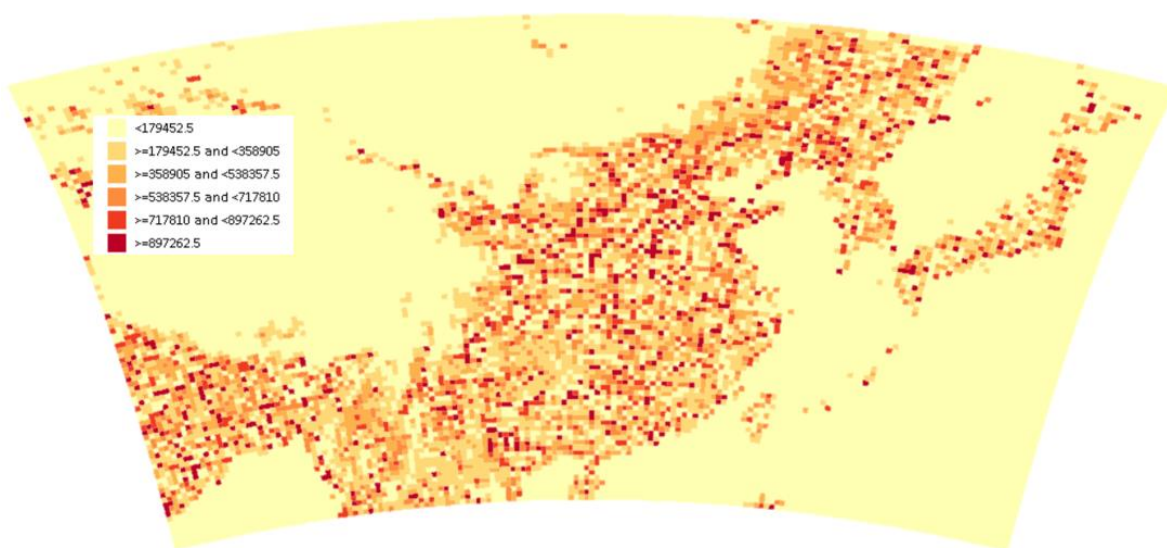
برای نمونه به بررسی موردی ریسک سلامت چین با استفاده از مدل BenMAP می‌پردازیم. برای این کار ابتدا نقشه مکان مورد مطالعه را وارد مدل می‌کنیم و سپس با استفاده از پایگاه داده‌های موجود در داخل مدل، اطلاعات غلظت ذرات $PM_{2.5}$ که در خود دیتابیس BenMAP برای نمونه موجود هستند را وارد می‌کنیم و با استفاده از تابع اثر سلامتی به محاسبه ریسک سلامتی می‌پردازیم.

^۶ health impact functions



شکل ۲ نقشه چین

داده‌های جمعیتی استفاده شده در این مدل با استفاده از بانک جهانی^۷ جمع آوری شده و به مدل وارد شده است.



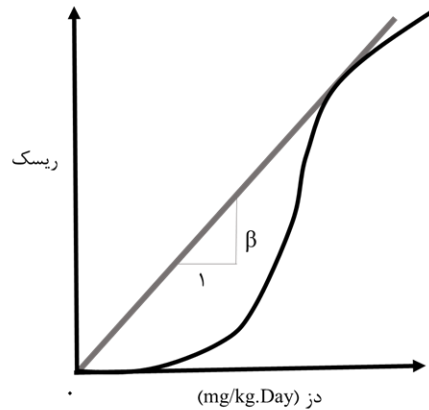
شکل ۳ جمعیت نقاط مختلف چین

^۷ The world bank

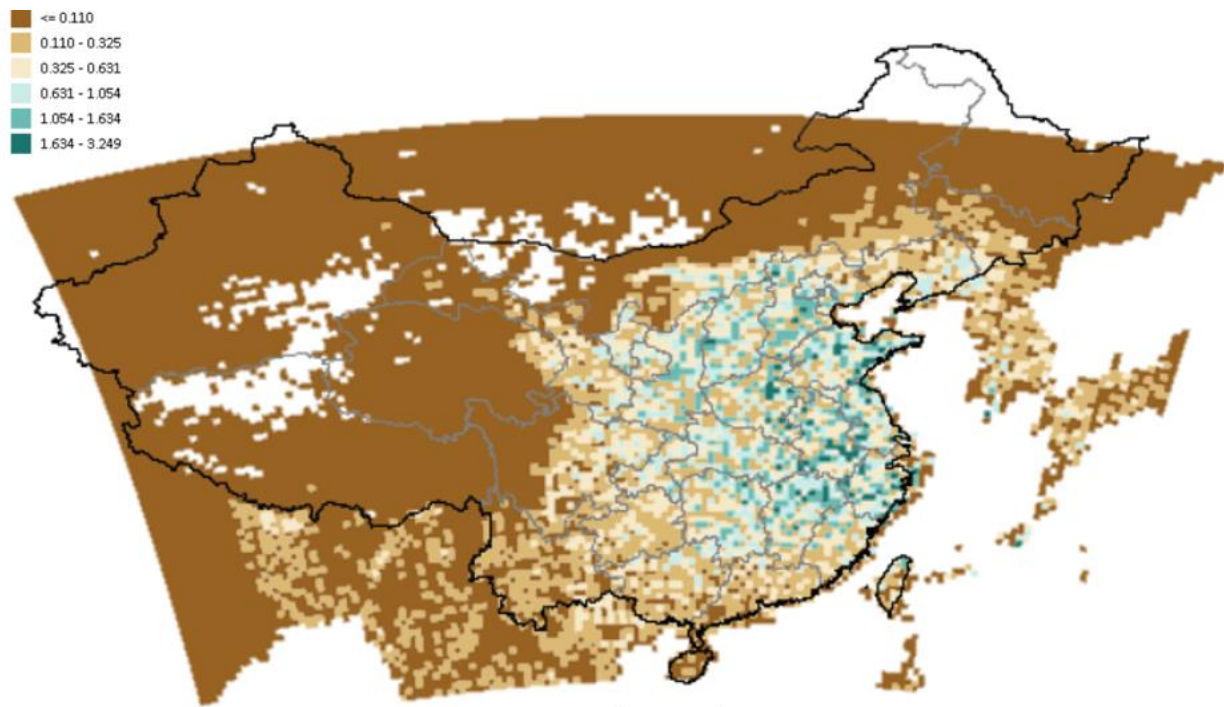
تابع تاثیر سلامتی استفاده شده در این مدل، تابع مشتق شده از مطالعه سائو و همکاران [۶] بود که به صورت زیر در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

$$\Delta y = \left(1 - \frac{1}{e^{\beta * \Delta PM}}\right) * y. * pop$$

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta Q}$$



و در نهایت ریسک سلامتی در نقاط مختلف کشور چین به صورت شکل ۴ گزارش شد.



شکل ۴ ریسک سلامتی در نقاط مختلف کشور چین

۳-۲- محاسبه ریسک اثرات ذرات معلق با قطر ۲.۵ میکرومتر و کمتر بر شهر تهران :

هدف از این بخش، برآورد تعداد مرگ و میر بالقوه و سال‌های از دست رفته عمر قابل پیشگیری منتسب به $PM_{2.5}$ در تهران و توزیع مکانی آن با استفاده از تابع GEMM و نرم افزار BenMAP برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ شمسی با استفاده از داده‌های مطالعه بیات و همکاران [۷] است. محدوده مکانی مطالعه، تهران، نوزدهمین شهر پرجمعیت جهان است. که به ۲۲ منطقه شامل ۳۴۹ محله با مساحت مجموع حدود ۶۲۲ کیلومتر مربع تقسیم شده است و محدوده زمانی مطالعه، دو سال متوالی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ است. داده‌های ساعتی غلظت آلاینده‌های هوا، در سایت شرکت کنترل کیفیت هوا موجود است. ۲۲ ایستگاه پایش شرکت کنترل کیفیت هوا در حال حاضر در تهران فعال هستند. در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در ۱۹ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه، ذرات معلق در بیش از ۵۰ درصد ساعات سال پایش شده است. که این داده‌ها با استفاده از روش‌های اصلاح داده مانند روش میانگین همسایگی و رونویسی، اصلاح و قابل استفاده شدند. محاسبه ریسک در این کار به مطالعه بر مرگ و میرهای طبیعی متمرکز است. تقریباً تمام مرگ و میر-های غیر از تصادفات در بزرگسالان به علت بیماری‌های غیرواگیر به علاوه عفونت حاد سیستم تنفس تحتانی است. بنابراین برآورد مرگ ناشی از مرگ و میر غیر از تصادفات به این زیرگروه محدود شد. در این تحقیق تعداد مرگ و میر منتسب به آلودگی هوا که از شش علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی، بیماری انسداد مزمن ریه، سرطان ریه و عفونت حاد سیستم تنفسی تحتانی ایجاد شده، بررسی گردیده است. برای کمی‌سازی تاثیرات بهداشتی، از تابع ریسک مدل جهانی مواجهه-مرگ^۸ استفاده شد. ارتباط بین میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ محیط (نشان داده شده با Z) و مرگ و میر در هر گروه سنی با استفاده از تابع ریسک زیر بیان شده است:

$$GEMM(Z) = \exp \left(\frac{\theta \ln \left(\frac{Z}{\alpha} + 1 \right)}{1 + \exp \left(-\frac{Z - \mu}{\sigma} \right)} \right)$$

پارامترهای این تابع در مقاله برنت و همکاران [۸] توصیف شده است که این پارامترها در جدول سه آورده شده است. برای برآورد تعداد مرگ و میر منتسب به آلودگی هوا برای هر محله تهران نیز از معادله زیر استفاده شد:

$$\Delta Y = \left(1 - \frac{GEMM(Z.)}{GEMM(Z)} \right) \times Y. \times Pop$$

^۸ GEMM

که در آن Z و Z به ترتیب غلظت آلودگی هوای آزاد اولیه و ثانویه هستند، Y مرگ و میر پایه به تفکیک سن است و Pop جمعیت مواجهه یافته با آلودگی هوا است که برای هر یک از ۳۴۹ محله برآورد شده است.

تعداد کل سال‌های از دست رفته (YLL) نیز با معادله زیر برآورده شد:

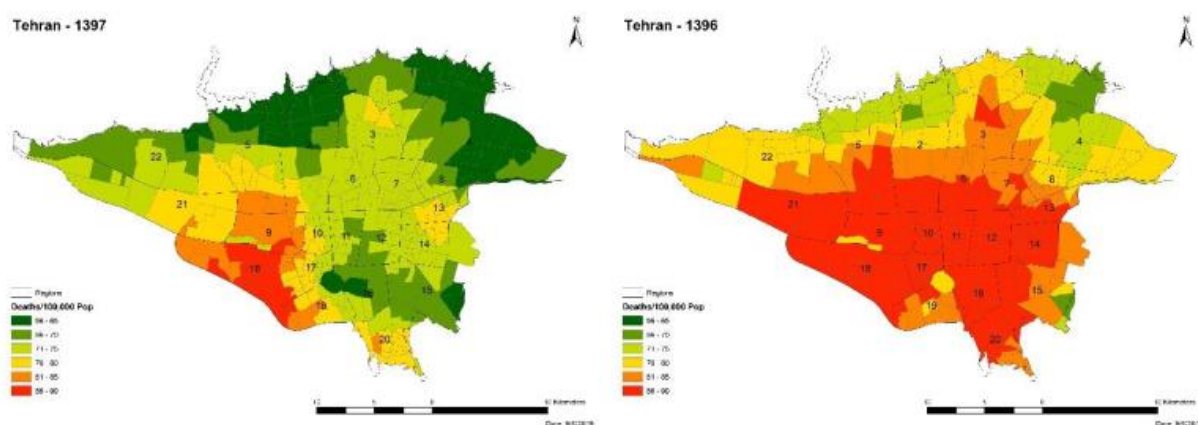
$$YLL = \sum YLL_i, YLL_i = \Delta Y_i \times L_i$$

که در آن YLL_i مربوط به مواجهه با $PM_{2.5}$ ، L_i امید زندگی باقی‌مانده است که برای همه گروه‌های سنی محاسبه شده است.

علل مرگ	رده سنی	θ	St. Err θ	α	μ	v
NCD+LRI	>۲۵	۰/۱۴۳	۰/۰۱۸۰۷	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۲۷/۵	۰/۱۵۸۵	۰/۰۱۴۷۷	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۳۲/۵	۰/۱۵۷۷	۰/۰۱۴۷	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۳۷/۵	۰/۱۵۷	۰/۰۱۴۶۳	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۴۲/۵	۰/۱۵۵۸	۰/۰۱۴۵	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۴۷/۵	۰/۱۵۳۲	۰/۰۱۴۲۵	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۵۲/۵	۰/۱۴۹۹	۰/۰۱۳۹۴	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۵۷/۵	۰/۱۴۶۲	۰/۰۱۳۶۱	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۶۲/۵	۰/۱۴۲۱	۰/۰۱۳۲۵	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۶۷/۵	۰/۱۳۷۴	۰/۰۱۲۸۴	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۷۲/۵	۰/۱۳۱۹	۰/۰۱۲۳۴	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۷۷/۵	۰/۱۲۵۳	۰/۰۱۱۷۴	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
	۸۵	۰/۱۱۴۱	۰/۰۱۰۷۱	۱/۶	۱۵/۵	۳۶/۸
IHD	>۲۵	۰/۲۹۶۹	۰/۰۱۷۸۷	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۲۷/۵	۰/۵۰۷	۰/۰۲۴۵۸	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۳۲/۵	۰/۴۷۶۲	۰/۰۲۳۰۹	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۳۷/۵	۰/۴۴۵۵	۰/۰۲۱۶	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۴۲/۵	۰/۴۱۴۸	۰/۰۲۰۱۱	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۴۷/۵	۰/۳۸۴۱	۰/۰۱۸۶۲	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۵۲/۵	۰/۳۵۳۳	۰/۰۱۷۱۳	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۵۷/۵	۰/۳۲۲۶	۰/۰۱۵۶۴	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۶۲/۵	۰/۲۹۱۹	۰/۰۱۴۱۵	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۶۷/۵	۰/۲۶۱۲	۰/۰۱۲۶۶	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۷۲/۵	۰/۲۳۰۴	۰/۰۱۱۱۷	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۷۷/۵	۰/۱۹۹۷	۰/۰۰۹۶۸	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
	۸۵	۰/۱۵۳۶	۰/۰۰۷۴۵	۱/۹	۱۲	۴۰/۲
Stroke	>۲۵	۰/۲۷۲	۰/۰۷۶۹۷	۶/۲	۱۶/۷	۲۳/۷
	۲۷/۵	۰/۴۵۱۳	۰/۱۱۹۱۹	۶/۲	۱۶/۷	۲۳/۷
	۳۲/۵	۰/۴۲۴	۰/۱۱۱۹۷	۶/۲	۱۶/۷	۲۳/۷
	۳۷/۵	۰/۳۹۶۶	۰/۱۰۴۷۵	۶/۲	۱۶/۷	۲۳/۷
	۴۲/۵	۰/۳۶۹۳	۰/۰۹۷۵۲	۶/۲	۱۶/۷	۲۳/۷

جدول ۳ پارامترهای تخمین ریسک سلامت به روش GEMM

نرم افزار BenMAP جهت برآورد تعداد مرگ و میر ناشی از تغییرات مرگ و میر ناشی از تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ مابین وضعیت موجود و حداقل فرض شده مورد نظر برای هر سلول شبکه با استفاده از شبکه سازی مونت کارلو مورد استفاده قرار گرفت. برای هر علت مرگ، BenMAP مقادیر محتمل حول ضریب θ و در همسایگی خطای استاندارد اعلام شده در به دست آوردن θ را به صورت تصادفی انتخاب کرده و میزان بروز براساس مقادیر انتخاب شده محاسبه می شود. سپس نقشه های منطقه ای مرگ و میر ناشی از کاهش غلظت $PM_{2.5}$ برای مناطق ۲۲ گانه تهران بدست آمد.

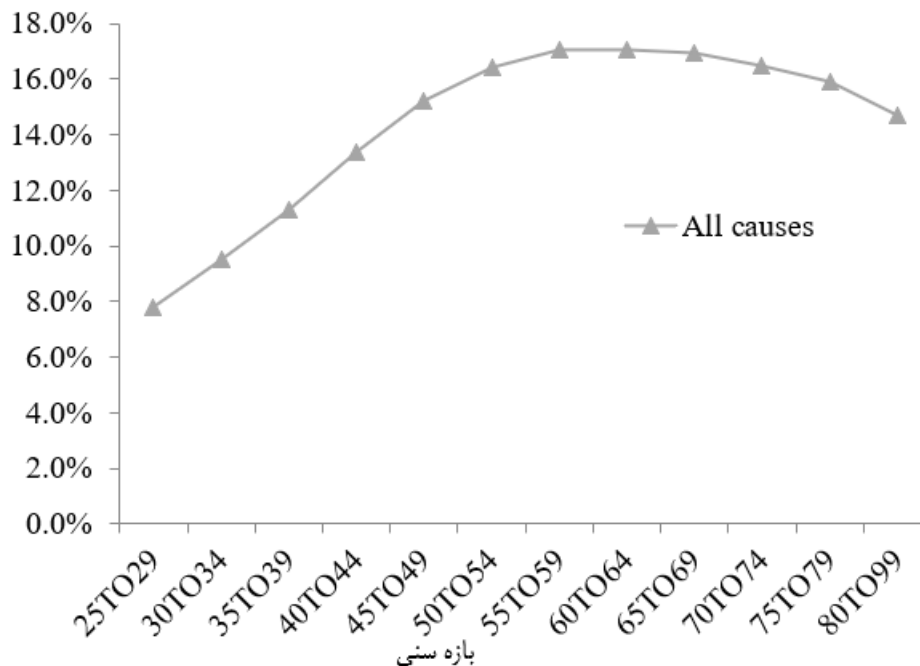


شکل ۵ نرخ مرگ و میر در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر متناسب به آلودگی هوا در تهران برای سالهای ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

و تغییرات درصد مرگ و میر متناسب به آلودگی هوا در سنین مختلف از برخی علل مرگ که ضرایب آن در روش GEMM موجود است، محاسبه شد و نشان داده شد که $PM_{2.5}$ در سال های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب عامل ۱۵.۶ درصد از مرگ و میر کل جمعیت و ۱۳.۵ درصد از کل مرگ و میر در میان بزرگسالان ۴۰ تا ۴۹ سال است. برای اعتبار سنجی نتایج نیز، از نتایج مقاله مطالعه بیات و همکاران [۷] استفاده شد و مشخص شد که نتایج بدست آمده، اختلاف اندکی با نتایج گزارش شده در این مطالعه دارد.

Age range	Population	Total mortality				PM _{2.5} mortality				Percentage of deaths attributable to PM _{2.5}			
		IHD	Stroke	NCD + LRI	All	IHD	Stroke	NCD + LRI	All	IHD	Stroke	NCD + LRI	All
25to29	840,429	46	19	304	801	24	7	62	93	51.1%	37.7%	20.5%	7.8%
30to34	1,013,810	88	30	479	1030	43	11	98	152	49.0%	35.8%	20.4%	9.5%
35to39	844,676	122	40	577	1039	57	14	117	188	46.6%	33.9%	20.3%	11.3%
40to44	645,840	175	52	688	1035	77	16	138	221	43.9%	31.9%	20.1%	13.4%
45to49	619,028	318	87	1108	1443	132	26	219	377	41.5%	29.9%	19.8%	15.2%
50to54	549,142	520	147	1728	2051	204	41	337	582	39.2%	28.0%	19.5%	16.4%
55to59	471,713	768	235	2569	2882	282	61	492	834	36.7%	26.0%	19.2%	17.1%
60to64	375,289	1041	338	3438	3738	349	80	638	1067	33.5%	23.7%	18.6%	17.1%
65to69	266,785	1172	420	3896	4149	359	91	702	1252	30.6%	21.5%	18.0%	16.9%
70to74	189,301	1386	552	4586	4814	381	106	795	1282	27.5%	19.2%	17.3%	16.5%
75to79	130,839	1742	753	5691	5914	423	127	940	1590	24.3%	16.9%	16.5%	15.9%
80to99	87,747	5747	2304	17229	17732	1105	305	2607	4017	19.2%	13.2%	15.1%	14.7%
Sum	6,034,599	13126	4977	42293	46628	3437	886	7146	12269	26.2%	17.8%	16.9%	15.3%
Age range	Population	Total mortality				PM _{2.5} mortality				Percentage of deaths attributable to PM _{2.5}			
		COPD	LC	LRI		COPD	LC	LRI		COPD	LC	LRI	
25to99	6,034,599	1522	1018	1063		364	274	531		23.9%	26.9%	49.9%	

شکل ۶ نتایج گزارش شده درصد مرگ و میر متناسب به آلودگی هوا در سنین مختلف در مطالعه بیات و همکاران



شکل ۷ تغییرات درصد مرگ و میر محاسبه شده، متناسب به آلودگی هوا در سنین مختلف

۳-۳- عدم قطعیت در محاسبه ریسک:

ارزیابی ریسک سلامت نیاز به اطلاعاتی از منابع مختلف از جمله، قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های تخمینی، جمعیت‌شناسی و رابطه بین غلظت محیط و پیامدهای سلامتی است. هر یک از این منابع اطلاعاتی از درجاتی از عدم قطعیت بهره می‌برند که بر دقت و اطمینان نتایج تحلیل ریسک اثر می‌گذارند. مشخص کردن این عدم قطعیت در نتایج تحلیل ریسک سلامتی و نشان دادن آن با روش‌هایی که در دسترس و دقیق باشند، چالش برانگیز است زیرا میزان عدم قطعیت هر یک از منابع اغلب ناشناخته است و تخمین زده نمی‌شود.

بسیاری از ارزیابی‌های ریسک سلامت در آلودگی هوا، سطح کمی عدم قطعیت را با محاسبه فاصله اطمینان با استفاده از خطای استاندارد از رابطه واکنش غلظت ناشی از مطالعات اپیدولوژیکی بیان می‌کنند. اما از آنجایی که این تفاوت بزرگ‌تر از عدم قطعیت واقعی است؛ برخی از ابزارها (مانند BenMAP) امکان استفاده از تکنیک‌های دیگر مانند تکنیک اثرهای تصادفی برای محاسبه این عدم قطعیت‌ها بهره می‌برند. با این حال، باز هم مشخص کردن این عدم قطعیت‌ها کار دشواری هست.

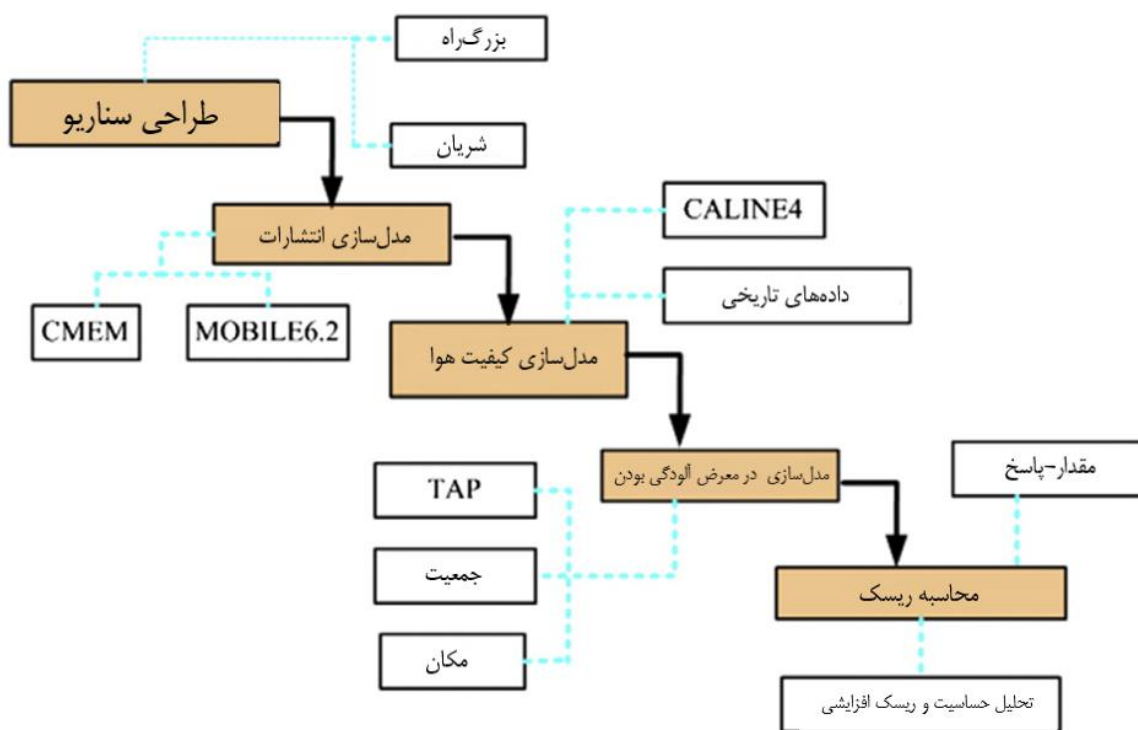
برای ارزیابی اثرات آتی ریسک سلامت، عدم قطعیت در مفروضات اقتصادی-اجتماعی مانند رشد اقتصادی و سلامت جمعیت نیز مهم است؛ به عنوان مثال، اگر چه ما در برآوردهایی مانند اندازه جمعیت و توزیع مکانی آن اطمینان داریم، سایر پارامترهای جمعیت‌شناسی از جمله، میزان مرگ و میر پایه و میزان عوارض همواره نامشخص هستند.

از آنجایی که تخمین این عدم قطعیت‌ها دشوار است؛ اغلب از در نتایج ریسک سلامت حذف می‌شوند که ممکن است تصور نادرستی در مورد دقت و اطمینان نتایج ایجاد کند. این امر به ویژه در ارزیابی‌هایی که ممکن است برخی از منابع کمی نشده برای نتایج اهمیت بیشتری نسبت به خطای استاندارد در ارتباط با غلظت-پاسخ داشته باشند، اهمیت دارد.

هیچ یک از این ۹ مدل بررسی شده در اینجا قادر به محاسبه کامل همه منابع عدم قطعیت نیستند، اگر چه این محدودیت عمدتاً به دلیل فقدان اطلاعات در مورد عدم قطعیت پارامتر ورودی در مقابل ایجاد توانایی ترکیب آماری چندین نوبت از عدم قطعیت‌ها در این مدل‌ها است. از این رو در غیاب برآوردهای کمی عدم قطعیت در هر پارامتر، تحلیلگران ریسک سلامت روش‌های دیگری را برای رسیدگی به خطا در پارامترهای ورودی در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال مقایسه غلظت‌های شبیه‌سازی شده آلودگی هوا در تحلیل Nexus با داده‌های ماهواره‌ای و سایر تکنیک‌های رصد غلظت آلودگی می‌تواند این عدم قطعیت را کاهش دهد [۹].

۴- آلودگی هوا و ریسک سلامت ناشی از حمل و نقل وسایل نقلیه

در بعضی از تحلیل‌های Nexus نیاز است تا اثرات آلودگی هوا ناشی از سیستم حمل و نقل را بر ریسک سلامت دیده شود. مانند تحلیل انرژی-آلودگی-سلامت که در آن، سیستم حمل و نقل نیز جزئی از قسمت انرژی تحلیل Nexus است. ازدحام ترافیک باعث افزایش انتشار وسایل نقلیه و کاهش کیفیت هوای محیط می‌شود، و مطالعات اخیر نشان داده است که رانندگان، مسافران و افرادی که در نزدیکی جاده‌های اصلی زندگی می‌کنند، عوارض و مرگ و میر بیش از حدی دارند اما در حال حاضر، درک ما از اثرات آلودگی هوا ناشی از ازدحام در جاده‌ها بسیار محدود است. از این رو زانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ مقاله‌ای برای بررسی ریسک سلامت آلودگی هوا ناشی از سیستم حمل و نقل منتشر کردند [۱۰]. در این مقاله روش‌های ارزیابی ریسک (شکل ۵) برای تخمین خطرات ناشی از ترافیک برای دو سناریو استفاده می‌شود. به طور خلاصه، انتشارات وسیله نقلیه به عنوان ورودی به مدل پراکندگی برای تخمین غلظت‌ها استفاده می‌شود که سپس با مدت زمان در معرض آلودگی هوا قرار گرفتن و یک عامل ریسک که نشان‌دهنده رابطه غلظت - پاسخ است ضرب می‌شود. در حالی که برخی از ارزیابی‌های مواجهه با ریسک از الگوهای فعالیت زمانی یا الگوهای فعالیت انسانی استفاده می‌کنند، برای سادگی فقط مدت زمان قرار گرفتن در معرض در ریزمحیط‌های ترافیکی در نظر گرفته شده است که شامل تأخیرهای ناشی از تراکم ترافیک می‌شود.



شکل ۸ نمودار مدل سازی خطرات سلامتی ناشی از ترافیک و ازدحام

این مقاله در ایالت میشیگان بررسی شده بود و دو سناریو برای بررسی حجم ترافیک، انتشارات و ریسک سلامت طراحی شد. سناریو اول، یک سناریو آزادراه که یک بخش ۸ کیلومتری از بزرگراه های بین ایالتی را مدلسازی می کند. که برای یک مطالعه میدانی انتخاب شد که در آن نرخ انتشار آبی مدل شد. در این بخش یک ضبط کننده ترافیک دائمی بود که توسط اداره حمل و نقل میشیگان اداره می شد. یک سناریو شریانی نیز مدل سازی شد. این از یک بخش در امتداد یکی از بلوارهای میشیگان به طول ۸.۵ کیلومتر استفاده کرد.

برای مدل سازی انتشارات ابتدا ضریب انتشار برای ناوگان خودرویی که با سرعت های مختلف حرکت می کنند با استفاده از مدل CMEM که یک مدل محاسبه انتشار آلودگی هوا برای وسایل نقلیه است؛ مدل شد.

CMEM یک مدل لحظه ای با تقاضای نیرو است که می تواند مصرف سوخت و انتشار آلاینده های همچون NO_x ، CO ، CO_2 را ثانیه به ثانیه پیش بینی می کند [۱۱]. و سپس با استفاده از مدل های پخش به محاسبه پخش آلودگی هوا در سطح شهر پرداخته شد.

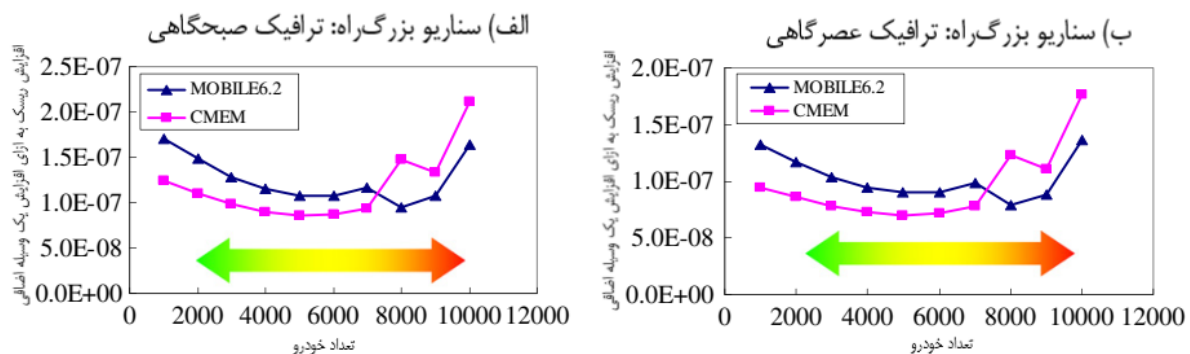
همچون مانند بقیه تحلیل های Nexus، خطرات سلامتی با پیوند دادن قرار گرفتن در معرض تخمینی به روابط مقدار-پاسخ^۹ مربوطه از ادبیات محاسبه شد و با استفاده از داده های تاریخی و داده های آژانس محیط زیست امریکا برای ریسک سلامتی ناشی از ترافیک استفاده شد [۱۲]. افزایش ریسک سلامت در اثر افزایش حجم ترافیک با تقسیم اختلاف

^۹ Dose-Response Assessment

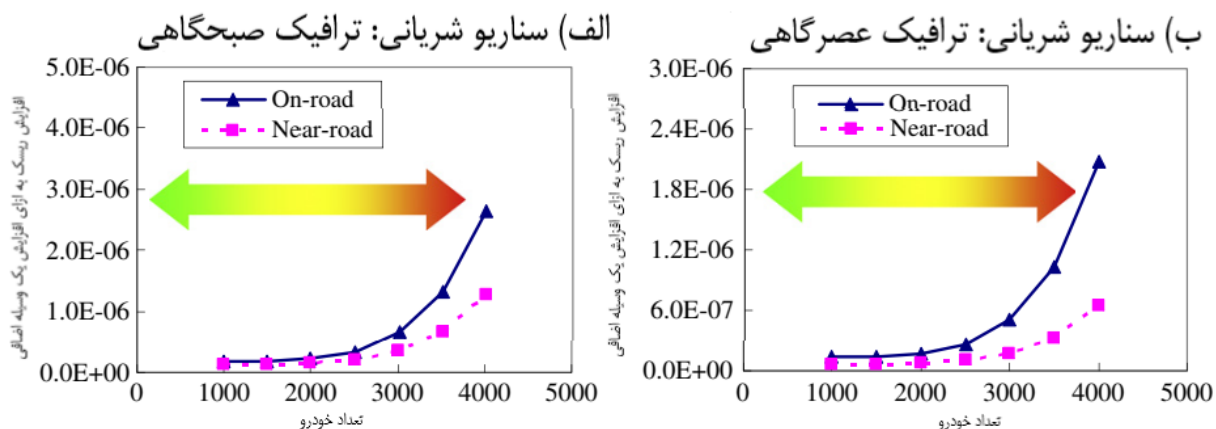
ریسک مربوط به حجم ترافیک به حجم ترافیک محاسبه می‌شود. این کار باعث می‌شود تا تغییر ریسک را برای یک فرد به ازای هر وسیله نقلیه اضافی در یک حجم ترافیک خاص محاسبه کنیم.

ارزیابی مقدار-پاسخ یک عنصر حیاتی در شناسایی خطر است. ارزیابی‌های مقدار-پاسخ هم داده‌های کیفی و داده‌های کمی را در بر می‌گیرد.

در نهایت نتیجه گرفته شد که ترافیک صبحگاهی ریسک سلامت را ۲۰ الی ۴۰ درصد نسبت به ترافیک عصرگاهی افزایش می‌دهد. شکل ۶ ریسک افزایشی (افزایش خطر برای یک فرد به ازای هر وسیله نقلیه اضافی) را برای پیامدهای مرگ و میر در سناریو آزادراه نشان می‌دهد و برای سناریوی شریانی، ریسک افزایشی در حجم‌های ترافیکی بالا به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۷). در این سناریو با افزایش حجم ترافیک، سرعت به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و در نتیجه آن عوامل انتشار به طور قابل توجهی افزایش می‌یابند که باعث افزایش ریسک سلامت می‌شود. روابط مقدار-پاسخ، توسعه و پیشرفت اثرات را در طیف وسیعی از دوره‌های مواجهه، از جمله اثرات حاد، مزمن، و مزمن مشخص می‌کند. هدف در نظر گرفته شده از ارزیابی مقدار-پاسخ، تعریف آستانه‌ای از مواجهه است که بالاتر از آن، باعث ایجاد اثرات نامطلوب می‌شود [۱۳].



شکل ۹ افزایش ریسک در سناریو آزادراه با استفاده از دو مدل انتشار



شکل ۱۰ افزایش ریسک در سناریو شریانی برای کنار و داخل جاده

۵- سیستم دینامیک^{۱۰}:

معمولا رویکردهای معمول تحلیل ریسک، به خصوص ریسک سلامت در تحلیل‌های Nexus، ماهیت پویای ریسک-ها را در طول دوره زمانی شبیه سازی نادیده می‌گیرند و با توجه به ماهیت سیستماتیک ریسک که ناشی از حلقه‌های علت و معلولی است، اغلب روش‌های رایج برای ارزیابی ریسک، پارامترهای تاثیرگذاری را نادیده می‌گیرند. و همچنین به علت اینکه تکنیک‌های سنتی اثرات غیر مستقیم ریسک‌ها را در نظر نمی‌گیرند؛ این تکنیک‌های تحلیل ریسک توانایی کمی کردن تاثیر کامل ریسک‌های مختلف را ندارند[۱۴].

سیستم دینامیک روشی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده دینامیکی با ساخت و بکارگیری مدل‌های شبیه-سازی است. این روش اولین بار در سال ۱۹۵۰ برای آنالیز سیستم‌های صنعتی ابداع شد. سیستم دینامیک برای مدلسازی سیستم‌هایی که وضعیت آن‌ها در طول زمان تغییر می‌کند و اجازه‌ی بازخورد و انتقال اطلاعات را بین مراحل مختلف یک سیستم می‌دهد؛ مناسب است. مثل تحلیل‌های Nexus که کاملا وابسته به زمان هستند[۱۵].

در مقایسه با روش‌های تحلیل ریسک مرسوم، رویکرد سیستم دینامیک این قابلیت را دارد که تاثیر کامل ریسک‌های مختلف را با در نظر گرفتن اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر ریسک از طریق حلقه بازخورد، کمی کند. در این تحلیل‌ها هم مانند روش‌های سنتی نیاز است تا فرآیند Nexus ابتدا شبیه سازی شود و سپس ریسک موجود سنجیده شود.

هر سیستم دینامیک به طور کل از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است:

- Stocks: سهم هر قسمت در مدل است
- Flows: جریان‌های بین سهم‌ها و نرخ تغییرات هر سهم است
- Converters: اطلاعات داخلی سیستم دینامیک را نمایش می‌دهند.
- Connecters: ارتباط بین سهم‌ها را با استفاده از فلش‌ها نشان می‌دهد.

برای توضیح بهتر این روش به شرح مقاله‌ی زیر که از این روش برای تحلیل ریسک Nexus آب و انرژی استفاده کرده؛ پرداخته شده است.

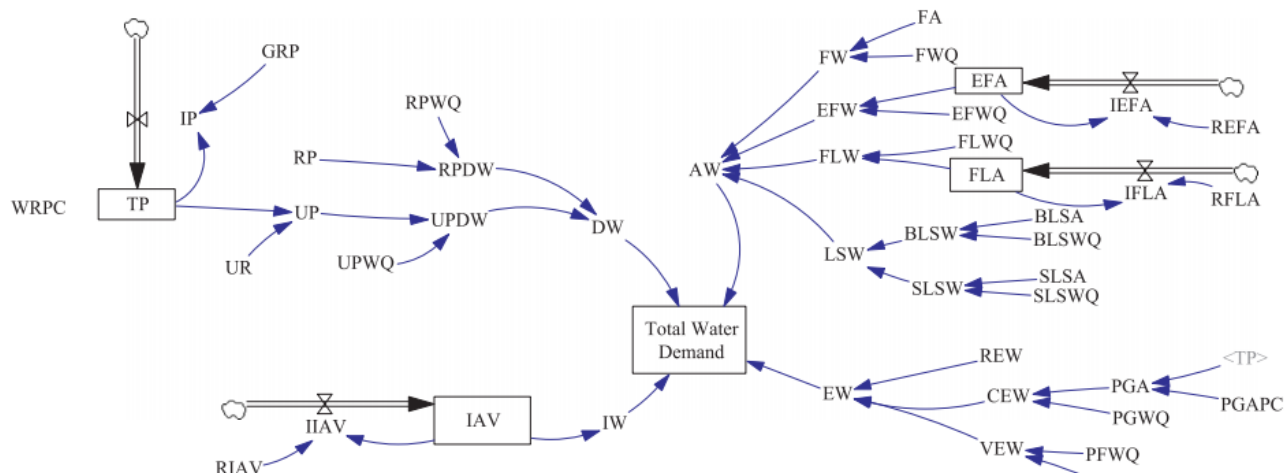
۵-۱- محاسبه ریسک Nexus آب و انرژی با استفاده سیستم دینامیک[۱۶]:

در این مقاله، ابتدا با استفاده از یک ماژول سیستم دینامیک به پیشبینی تقاضا آب در بخش‌های مختلف پرداخته شده و سپس با استفاده از ماژول سیستم دینامیک دیگری تقاضا انرژی در بخش‌های مختلف در بازه زمانی مورد بررسی تخمین زده می‌شود و در نهایت با استفاده از ماژول سوم به تحلیل ریسک در منطقه جینگ-جین-جی^{۱۱} چین پرداخته شده است.

تقاضای آب در این مقاله به چهار قسمت صنعتی (IW)، کشاورزی (AW)، خانگی (DW) و زیست محیطی (EW) تقسیم شده است.

^{۱۰} Dynamical system

^{۱۱} Jing-jin-ji



شکل ۱۱ مدل سیستم دینامیک تقاضا آب

تقاضا آب در بخش صنعت:

$$IW = IAV \times IAVWQ$$

که در آن IW تقاضا آب در بخش صنعت است و IAV ارزش صنعتی اضافه شده و $IAVWQ$ سهمیه آب به ازای هر $۱۰^۴$ ارزش افزوده صنعتی است.

تقاضا آب در بخش کشاورزی:

$$AW = FW + EFW + FLW + LSW$$

که در آن AW برابر تقاضا آب در بخش کشاورزی، FW تقاضا آب ماهیگیری، EFW تقاضا آب جنگل‌های اقتصادی، FLW تقاضا آب زمین‌های کشاورزی و LSW نیاز آب دام و طیور است.

تقاضا آب در بخش خانگی:

$$DW = RPDW + UPDW$$

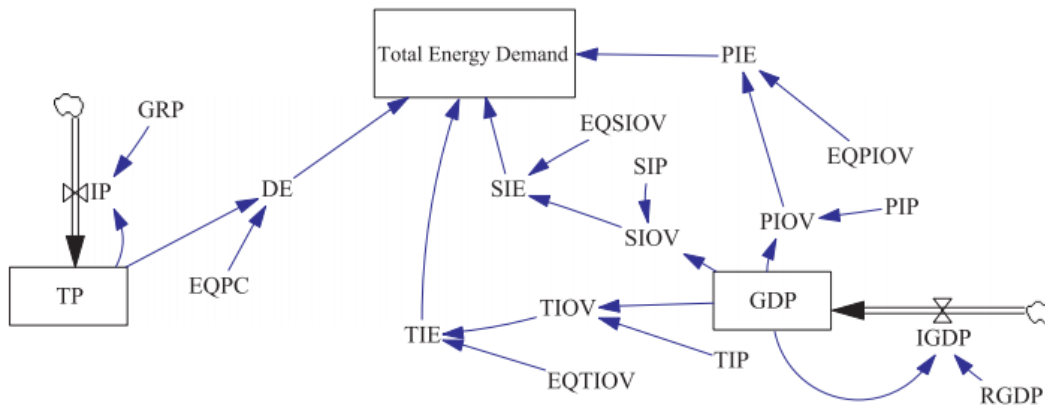
که در آن DW تقاضا آب در بخش خانگی، $RPDW$ تقاضا آب خانگی در منطقه روستایی و $UPDW$ تقاضا آب در منطقه شهری است.

تقاضا آب در بخش زیست محیطی:

$$EW = REW + CEW + VEW$$

که در آن EW تقاضا آب در بخش زیست محیطی، REW تقاضا آب زیست محیطی، CEW تقاضا زیست محیطی در منطقه شهری و VEW تقاضا زیست محیطی آب برای گیاهان است.

تقاضای انرژی نیز در این مقاله به چهار قسمت انرژی اولیه، انرژی ثانویه و انرژی مصرفی صنعتی و انرژی بخش خانگی تقسیم شده است.



شکل ۱۲ مدل سیستم دینامیک تقاضا انرژی

تقاضا انرژی اولیه:

$$PIE = PIOV \times EQPIOV$$

که در آن PIE تقاضا انرژی اولیه، $PIOV$ خروجی صنعتی انرژی اولیه، $EQPIOV$ سهمیه ارزش خروجی انرژی اولیه است.

تقاضا انرژی ثانویه:

$$SIE = SIOV \times EQSIOV$$

که در آن SIE تقاضا انرژی ثانویه، $SIOV$ خروجی صنعتی انرژی ثانویه، $EQSIOV$ سهمیه ارزش خروجی انرژی ثانویه است.

تقاضا انرژی مصرفی در صنعت:

$$TIE = TIOV \times EQTIOV$$

که در آن TIE تقاضا انرژی مصرفی، $TIOV$ خروجی صنعتی انرژی مصرفی، $EQTIOV$ سهمیه ارزش خروجی انرژی مصرفی است.

تقاضا انرژی در بخش خانگی:

$$DE = TP \times EQPC$$

که در آن DE تقاضا انرژی در بخش خانگی، TP جمعیت کل و $EQPC$ سرانه سهمیه انرژی است. در نهایت با استفاده از جدول‌های متعامد و تابع کوپلا به تعیین ریسک پرداخته شده است.

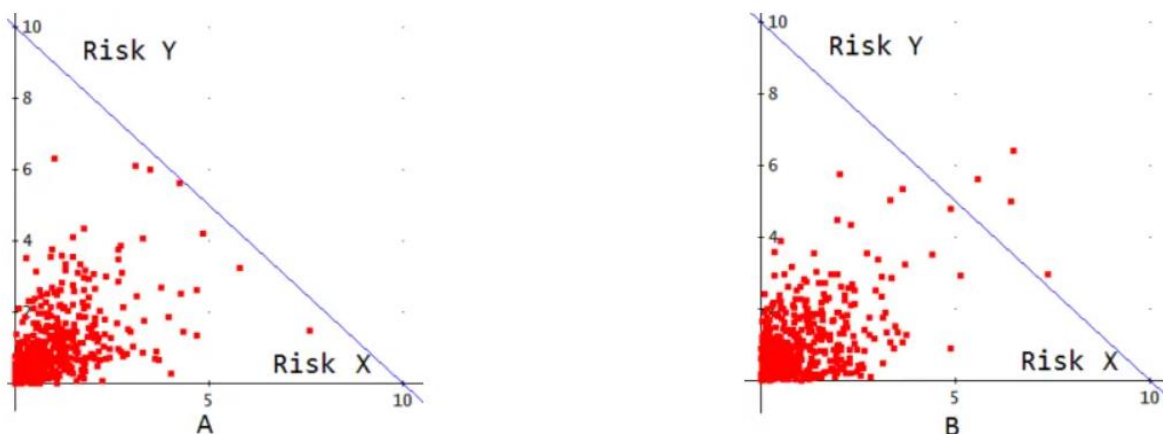
۱-۱-۴- تابع $Cupolas$ [۱۷]:

کوپلا یک رویکرد اکتشافی است که وابستگی بین متغیرهای درگیر را مشخص می‌کند. ممکن است در نگاه اول این تابع با ضریب همبستگی یکسان به نظر برسد؛ اما این دو در بیشتر موارد با یکدیگر شبیه نیستند.

به عنوان مثال در شکل ۷ هر کدام از این گراف‌ها ۵۰۰ شکست از دو ریسک X و Y را نشان می‌دهند. هر دو ریسک با یک تابع توزیع شبیه سازی شده‌اند و میانگین یکسانی نیز دارند. با این حال این دو نمودار در چیزی متفاوت‌اند و آن هم این است که در گران B مجموع بعضی از نقاط از ۱۰ فراتر رفته که این در نگاه اول نشان‌دهنده بالاتر بودن ضریب همبستگی در B است؛ در صورتی که ضریب همبستگی هر دو گراف نیز یکسان است.

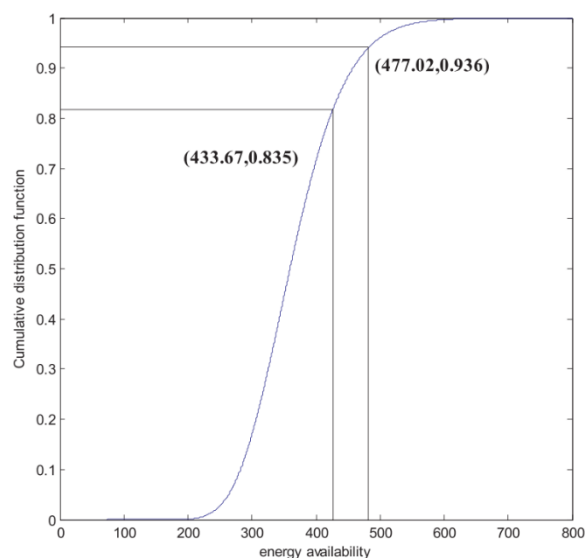
شدت بیشتر خطرات گراف B به این معناست که این خطرات با روش‌های متفاوتی نسبت به A به هم وابستگی دارند، چیزی که توسط ضریب همبستگی دیده نمی‌شود و نیاز به استفاده از توابع کوپلا برای دیدن این همبستگی‌ها حس می‌شود.

و در سیستم‌های با رویکرد $Nexus$ به علت وجود چنین همبستگی‌هایی استفاده از تابع کوپلا کاملاً منطقی و مناسب است به خصوص زمانی که از تحلیل سیستم دینامیک استفاده می‌شود

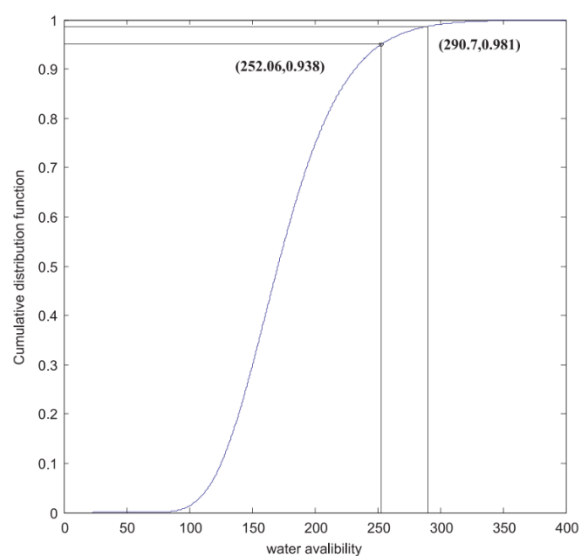


شکل ۱۳ مقایسه تابع کوپلا و ضریب همبستگی

مقاله مورد بحث نیز از تابع کوپلا برای تخمین ریسک استفاده کرده است و با تخمین تقاضا انرژی و آب تا سال ۲۰۳۰، احتمال اینکه آب کمتر از ۲۵۲ میلیون متر مکعب در دسترس باشد را برابر ۰.۹۹۸ و کمبود انرژی کمتر از ۴۴۳.۶ را برابر ریسک ۰.۸۳۵ محاسبه کرد (شکل ۸ و ۹)



شکل ۱۴ ریسک تقاضا انرژی



شکل ۱۵ ریسک تقاضا آب

روش سیستم دینامیک تاکنون برای تحلیل ریسک سلامتی در رویکردهای *Nexus* به کار گرفته نشده است؛ اما با توجه به پتانسیل‌های بسیار زیاد این روش، می‌توان در آینده از این روش برای تحلیل‌های دقیق‌تری در زمینه ریسک سلامت نسبت به روش‌های سنتی بهره برد.

۶- جمع‌بندی:

در این بررسی به مقایسه و تحلیل انواع تحلیل روش‌های تحلیل ریسک سلامت در رویکرد *Nexus* با تمرکز بر *Nexus* انرژی-آلودگی-هوا-سلامت پرداخته شد و مدل *BenMAP* را به عنوان کامل‌ترین مدل در دسترس برای تحلیل ریسک سلامت در تحلیل این *Nexus* انتخاب شد و به عنوان نمونه ریسک سلامت چین برای غلظت ذرات با قطر کمتر از ۲.۵ میکرون با استفاده از مدل *BenMAP* پرداخته شد. در نهایت اما با توجه به ماهیت پویای ریسک، به خصوص ریسک سلامت در رویکرد *Nexus* روش سیستم دینامیک برای محاسبه ریسک و دیدن تمامی زوایای مربوط به آن پیشنهاد شد و یک نمونه از استفاده از این روش برای محاسبه ریسک بررسی شد. این بررسی باعث شد تا خلا استفاده از تحلیل سیستم دینامیک در محاسبه ریسک سلامت در رویکرد *Nexus* حس شود و این نیاز حس شود که برای کارهای آینده این خلا را برطرف کرد.

٧- منابع:

١. Liu, J., et al., *Nexus approaches to global sustainable development*. Nature Sustainability, (٤٧٦-٤٦٦): p. ٩(١).
٢. Pollutants, C.o.t.M.E.o.A. and J. Ayres, *The Mortality Effects of Long-term Exposure to Particulate*.: Health Protection Agency٢٠١٠ *Air Pollution in the United Kingdom: A Report*.
٣. Ramaswami, A., J.B. Milford, and M.J. Small, *Integrated environmental modeling: pollutant*.: John Wiley & Sons Incorporated٢٠٠٥ *transport, fate, and risk in the environment*.
٤. Soares, J., et al., *Health Risk Assessment of Air Pollution in Europe Methodology description and*. , ATNI٢٠١٩ *results-Eionet Report-ETC*. ٢٠١٧
٥. Anenberg, S.C., et al., *Survey of ambient air pollution health risk assessment tools*. Risk analysis, (١٧٣٦-١٧١٨): p. ٩(٣٦. ٢٠١٦
٦. D., et al., *The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program–Community Edition*. Sacks, J (BenMAP–CE): *A tool to estimate the health and economic benefits of reducing air pollution*. ١٢٩-١١٨: p. ١٠٤. ٢٠١٨ Environmental Modelling & Software,
٧. al., *Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran*. Environmental Bayat, R., et (١٠٨٥٤٧: p. ١٧٦. ٢٠١٩ research,
٨. Burnett, R., et al., *Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor* -٩٥٩٢): p. ٣٨(١١٥. ٢٠١٨ of the National Academy of Sciences, *fine particulate matter*. Proceedings ٩٥٩٧
٩. -hr ozone standard. Environmental Hubbell, B.J., et al., *Health-related benefits of attaining the* (٨٢-٧٣): p. ١(١١٣. ٢٠٠٥ health perspectives,
١٠. Zhang, K. and S. Batterman, *Air pollution and health risks due to vehicle traffic*. Science of The (٣١٦-٣٠٧: p. ٤٥١-٤٥٠. ٢٠١٣ Total Environment,
١١. Zhang, K. and S.A. Batterman, *Time allocation shifts and pollutant exposure due to traffic congestion: an analysis using the national human activity pattern survey*. Science of the total (٥٥٠٠-٥٤٩٣): p. ٢١(٤٠٧. ٢٠٠٩ environment,
١٢. *primary national ambient* EPA, U., *Risk and exposure assessment to support the review of the NO* (٢٠٠٨a, ٠٠٨-٠٨/R-٤٥٢ *air quality standard*. EPA-
١٣. *Studies and Risk Management in Toxicologic Pathology: Addressing Risks in* Ochoa, R., *Design of* , Elsevier. p. ٢٠١٨ *Product Discovery and Development*, in *Fundamentals of Toxicologic Pathology*. (١٢٢-١٠٥
١٤. the Operational Coyle, R.G., *System dynamics modelling: a practical approach*. Journal of (٥٤٤-٥٤٤): p. ٥(٤٨. ١٩٩٧ Research Society,
١٥. : Wiley New York ١٩٩٠ Karnopp, D., D.L. Margolis, and R.C. Rosenberg, *System dynamics*.
١٦. Cai, Y., et al., *Integrated risk analysis of water-energy nexus systems based on systems dynamics*, : p. ٩٩. ٢٠١٩ *orthogonal design and copula analysis*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (١٣٧-١٢٥
١٧. : John Wiley & Sons ٢٠١٢. ٧٣٣ Hull, J., *Risk management and financial institutions*, + Web Site. Vol.