پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال ششم، شماره 24، پائیز 1396، صفحات56-33

تخمین منافع سلامت ناشی از بهبود سوخت نیروگاه حرارتی منتظر قائم با استفاده از SIMPACTS

مجتبی جورلی [1]
حسین صادقی [2]
علیرضا ناصری [3]
لطفعلی عاقلی [4]

تاریخ دریافت:1396/09/25 تاریخ پذیرش:1397/06/20

چکیده:

تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث آسیب‌های گوناگونی بر محیط زیست و سلامت انسان می‌شود. آلودگی هوا، مهمترین آسیب ناشی از تولید برق فسیلی بر سلامت می‌باشد. در این مطالعه با رویکرد مسیر اثرگذاری و روش انتقال مقادیر از مطالعات اصلی، SIMPACTS-2 به کار برده می‌شود و اثرات و هزینه‌های سلامت ناشی از آلودگی هوای نیروگاه حرارتی منتظر قائم در سال‌های 1390 و 1395 تخمین زده می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS جمعیت در معرض آلاینده‌های هوای این نیروگاه نیز به دقت محاسبه می‌گردد. مشاهده می‌شود که با حذف مازوت و افزایش سهم گاز، هزینه سلامت در سال 1390 از 164/9 میلیون به 36/4 میلیون (دلار سال 2000 میلادی) در سال 1395 کاهش یافته است. طی این دوره، هزینه سلامت به‌ازای برق تولیدی نیز از 18/1به 4/2 دلار بر مگاوات ساعت رسیده است. کیفیت پایین سوخت فسیلی و تراکم بالای جمعیت اطراف نیروگاه، از عوامل اصلی افزایش هزینه‌های سلامت این نیروگاه بوده است. با بهبود سوخت، می‌توان

1.دانشجوی دکترای اقتصاد سلامت، دانشگاه تربیت مدرس
m.jorly@modares.ac.ir
2.دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)
sadeghih@modares.ac.ir
3.عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس
nasseri@modares.ac.ir
4.عضو هیئت علمی پژوهشکده اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس
aghelik@modares.ac.ir

هزینه‌های بیرونی مربوطه را کاهش داد. با درونی سازی این هزینه‌های بیرونی به قیمت برق، می‌توان هزینه‌ی واقعی برق فسیلی را نشان داد و با اتخاذ تصمیمات مناسب، منافع به جامعه را افزایش داد.

طبقه‌بندی JEL: Q51، L94، D62

کلیدواژه‌ها: نیروگاه حرارتی منتظر قائم، آلودگی هوا، هزینه‌های بیرونی سلامت، رویکرد مسیر اثرگذاری

1. مقدمه

در حال حاضر تنوع زیادی در منبع تأمین انرژی الکتریکی به وجود آمده است اما سوخت‌های فسیلی هنوز سهم بزرگی در تولید برق دارند (آمار کلیدی انرژی جهان[1]، 2017). تولید برق فسیلی منجر به انتشار دی اکسید کربن (CO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، ذرات معلق و آلودگی‌های مایع و جامد می‌شود. این آلاینده‌ها برای محیط زیست و سلامت انسان زیان‌بار هستند. مهمترین اثر محیط زیستی ناشی از نیروگاه با سوخت فسیلی، آلودگی هوا می‌باشد (صمدی[2]، 2017). آلودگی هوا از راه‌های گوناگون می‌تواند اثرات زیان‌بار بلندمدت و کوتاه‌مدت بر سلامت انسان بگذارد (فتاحی و همکاران، 1392). انتخاب یک منبع انرژی از بین منابع گوناگون، می‌تواند بر جنبه‌های زیادی از جامعه و محیط زیست تأثیر بگذارد و جهت ایجاد بیشترین منفعت به اجتماع، می‌بایست این اثرات در نظر گرفته شود (شلایزنر[3]، 2000). درونی‌سازی هزینه‌های بیرونی به هزینه تولید انرژی، یک ابزار سودمند جهت نشان دادن هزینه واقعی انرژی است (ساکولدیوپرن و همکاران[4]، 2011).

1. Key World Energy Statistics
2. Samadi (2017)
3. Schleisner (2000)
4. Sakulniyomporn et al (2011)

در ایران نیز به دلیل ذخایر بالای گاز و نفت، قسمت اعظم تولید برق توسط نیروگاه‌های حرارتی و با مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. با نگاهی به گزارش‌های صنعت برق ملاحظه می‌گردد که همواره سهم سوخت فسیلی پاکتری مانند گاز طبیعی در نیروگاه‌ها رو به افزایش بوده ولی به دلایلی مانند اولویت مصارف خانگی در فصول سرد سال یا تولید فراوان مازوت در پالایشگاه‌ها، سهم گاز افت و خیزهایی نیز داشته است و با سوخت مایع جایگزین شده است (منظور و همکاران، 1393). نیروگاه شهید منتظر قائم کرج، بزرگترین نیروگاه حرارتی است که در پرتراکم‌ترین منطقه‌ی جمعیتی کشور قرار گرفته است و مشکلات زیست محیطی و سلامت متعددی ایجاد کرده است. این نیروگاه از سال 1395 مصرف مازوت را به صفر رسانیده است. هدف کلی این مطالعه، تخمین و مقایسه‌ی هزینه‌های سلامت ناشی از آلودگی هوای نیروگاه منتظر قائم با استفاده از رویکرد مسیر اثرگذاری در سال‌های 1390 و 1395 می‌باشد. بخش بعدی به توضیح چارچوب نظری تخمین اثرات بیرونی تولید برق فسیلی می‌پردازد. در بخش سوم، خلاصه‌ای از وضعیت تولید برق نیروگاه منتظر قائم و مدلسازی آثار بیرونی آن ارائه می‌شود. بخش چهارم نتایج را ارائه می‌دهد و در پایان، بخش پنجم به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌پردازد.

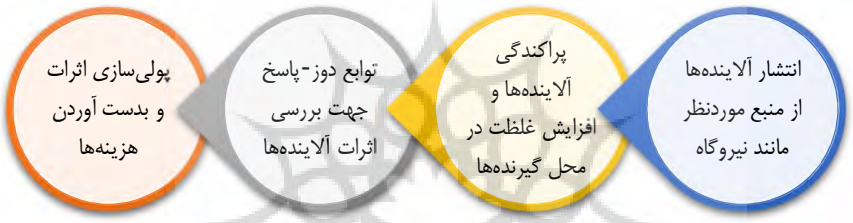
2. چارچوب نظری مدلسازی اثرات بیرونی در تولید برق

2-1. رویکرد مسیر اثرگذاری

یک رویکرد شناخته شده‌ی از پایین به بالا به نام رویکرد مسیر اثرگذاری[1] (IPA) وجود دارد که در پروژه اثرات بیرونی انرژی[2] اتحادیه‌ی اروپا (ExternE) به کار رفته است. این پروژه از اولین تلاش‌های جامع جهت ارزیابی هزینه‌های بیرونی تولید برق می‌باشد که چندین بار به روزرسانی شده است (بورتراو و همکاران[3]، 2012). شکل (1)

1. Impact Pathway Approach (IPA)
2. Externalities of Energy (ExternE)
3. Burtraw et al (2012)

مراحل اصلی محاسبه در IPA را نشان می‌دهد. این رویکرد با مشخص کردن منبع انتشار، مدلسازی پراکندگی جوی و تخمین اثرات آن به جامعه شروع می‌گردد (هینان و همکاران[1]، 2010). برای ارتباط دادن انتشار آلاینده‌های هوا به سلامت انسان از توابع دوز-پاسخ[2] استفاده می‌شود (اسپالدینگ-فچر و متیب[3]، 2003). این توابع ارتباط بین افزایش در غلظت آلاینده و میزان افزایش وقوع بیماری در انسان را نشان می‌دهند و در مطالعات گوناگونی از جمله رابیل[4] (2001)، بیکل و فردریک (2005) و پرایس و کلاتز[5] (2007) جمع‌آوری و بررسی گردیده‌اند.



شکل (1): مراحل IPA برای آلودگی هوا
منبع: بر اساس (بیکل و فریدریک، 2005)

در گام آخر IPA ، اثرات فیزیکی آلاینده‌ها، با عبارات پولی ارزشگذاری می‌شوند تا هزینه‌ها به دست آیند. برای کالاهای غیربازاری مانند سلامت انسان، ارزشگذاری بیشتر بر اساس رویکرد تمایل به پرداخت[6] می‌باشد (استریمیکین و همکاران[1]، 2009).

---

1. Hainoun et al (2010)
2. dose-response functions
3. Spalding-Fecher and Matibe (2003)
4. Rabl (2001)
5. Preiss and Klotz (2007)
6. willingness to pay

2-2. روش انتقال منافع یا انتقال مقادیر

انتقال منافع یعنی مقادیر اقتصادی از محلی گرفته و به محلی دیگر اِعمال گردد (پیرس و همکاران[2]، 2006). مطالعاتی که به روش انتقال مقادیر انجام می‌شوند هرگز نمی‌توانند به دقت مطالعات اصلی و پایه‌ای باشد ولی با استفاده از نتایج مطالعات اصلی، می‌توان همه‌ی مزیت‌های آن پژوهش‌های اصلی را به کار برد و تحلیل‌های سریعتر و کم‌هزینه‌تری داشت (روزنبرگر و لومیس[3]، 2001). در مطالعات انتقال منافع، رویکرد انتقال مقدار واحد با تعدیل درآمدی[4]، بیشترین کاربرد را داشته است (نوراد[5]، 2004). از آنجایی که این مقادیر، میزان تمایل به پرداخت افراد در اقتصادهای خودشان را نشان می‌دهند بنابراین جهت کاربرد در محل سیاستگذاری، با نسبت برابری قدرت خرید[6] تعدیل می‌شوند (بیوک و کن[7]، 2011).

اگر هزینه زیان برای محل مطالعه (Cs) موجود باشد، این مقدار برای محل سیاستگذاری (Cp) به طریق زیر برآورد می‌گردد:

$$C_p = C_s \left(\frac{Y_p}{Y_s} \right)^{\gamma} \qquad (1)$$

که Yp و Ys سطوح درآمدی هستند و γ کشش درآمدی تقاضا برای کالاهای زیست محیطی می‌باشد (تورتس کاربونل و همکاران[8]، 2007).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Streimikiene et al
2. Pearce et al (2006)
3. Rosenberger and Loomis (2001)
4. unit transfer with income adjustment
5. Navrud (2004)
6. purchasing power parity
7. Büke and Köne (2011)
8. Turtós Carbonell et al (2007)

2-3. مدل

پروژه‌ی ExternE جهت این محاسبات از بسته‌ی نرم‌افزاری EcoSense استفاده می‌کند. این مدل، داده‌های هواشناسی جهت مدلسازی پراکندگی و پایگاه داده‌ای برای کل اروپا را دارا می‌باشد. همچنین مدل SIMPACTS رویکرد ساده شده‌ی EcoSense برای تخمین اثرات زیست محیطی تولید برق می‌باشد که توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی[1] جهت کاربرد در کشورهای در حال توسعه ایجاد شده است و آلودگی رادیولوژیکی هوا و آب ناشی از تولید برق هسته‌ای، آلودگی هوای غیررادیولوژیکی ناشی از نیروگاه سوخت فسیلی و اثرات ساخت نیروگاه برقابی را شامل می‌شود.

در مطالعه‌ی حاضر، SIMPACTS-2 به کار برده می‌شود. این نسخه در مارس 2016 منتشر شده است. برای نیروگاه فسیلی، این نرم‌افزار نیاز به چندین ورودی دارد که عبارتند از:

- ویژگی‌های محل؛ که با موقعیت جغرافیایی نیروگاه مشخص می‌گردد.
- ویژگی‌های منبع انتشار؛ شامل مشخصه‌های دودکش و میزان انتشار آلاینده‌ها
- توزیع گیرنده‌ها در اطراف نیروگاه
- توابع دوز- پاسخ
- هزینه واحد اثر

آلاینده‌های اصلی شامل SO_2 ، NO_X و ذرات معلق با قطر کمتر از 10 میکرومتر (PM_{10}) به عنوان آلاینده‌های اولیه و همچنین سولفات و نیترات به عنوان آلاینده‌های ثانویه می‌باشند. هرچند آلاینده‌های زیان‌آور دیگری نیز توسط نیروگاه‌های فسیلی انتشار می‌یابند ولی با توجه به سهم خیلی کم آنها، در مدل از آن‌ها صرف‌نظر می‌شود (دیمیتریویک و همکاران[2]، 2011). نسخه‌ی جدید SIMPACTS دارای یک پایگاه داده‌ی جهانی برای زمین شناسی، کاربری اراضی و شرایط آب و هوایی است.

---

1. International Atomic Energy Agency (IAEA)
2. Dimitrijevic et al (2011)

در SIMPACTS ، اثر سلامت k ناشی از آلاینده‌ی i با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{ik} = G^2 . \sum_{x=1}^{41} \sum_{y=1}^{41} \rho_{xy} . erf_{ik} . C_{ixy} \qquad (2)$$

که G اندازه‌ی شبکه‌ی محدوده‌ی اثرگذاری است (بر حسب کیلومتر)، ρ_{xy} تراکم جمعیت درون شبکه است (نفر در هر کیلومتر مربع)، erf_{ik} اثر واحد سلامت k ناشی از آلاینده‌ی i می باشد (مورد در هر سال به ازای هر نفر در $\mu g/m^3$) [1] و C_{ixy} افزایش در غلظت آلاینده‌ی درون شبکه می‌باشد ($\mu g/m^3$).

همچنین برای پولی‌سازی اثرات سلامت، هزینه‌های بیرونی سالانه ناشی از اثر سلامت k و آلاینده‌ی i طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$ECY_{ik} = I_{ik} . U_k \qquad (3)$$

که I_{ik} تعداد موارد اثر سلامت k ناشی از آلاینده‌ی i (در هر سال) و U_k هزینه واحد (دلار به ازای هر مورد) برای اثر سلامت k می‌باشد.

در SIMPACTS می‌توان اندازه‌ی هر شبکه را 5×5 کیلومتر (برای تحلیل محلی) یا 50×50 کیلومتر (برای تحلیل منطقه‌ای) انتخاب کرد. سپس مدل، 1681 شبکه (به صورت یک مربع 41×41) ایجاد می کند. بنابراین مقیاس محلی یک مربع 205×205 کیلومتری و مقیاس منطقه‌ای یک مربع 2050×2050 کیلومتری به مرکزیت نیروگاه خواهد بود و غلظت آلاینده‌ها، اثرات و هزینه‌ها برای هر یک از این شبکه‌ها محاسبه می گردد.

2-4. پیشینه‌ی پژوهش

تاکنون مطالعات گوناگونی در کشورهای در حال توسعه، تأثیر آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تولید برق بر سلامت را بر اساس رویکرد مسیر اثرگذاری و روش انتقال مقادیر از مطالعات اصلی، با استفاده از مدل‌های مربوطه مورد بررسی قرار داده‌اند.

---

1. cases / (year person µg/m3)

با کمک مدل EcoSense ؛ بوزیسویک وروکک و همکاران[1] (2005) در کرواسی، استریمیکین و همکاران (2009) برای کشورهای بالتیک، جورگیکلوس[2] (2010) در یونان، دیمیتریویک و همکاران (2011) در بوسنی و هرزگوین، و همچنین با کمک مدل SIMPACTS ؛ تورتوس کاربونل (2007) در کوبا، هینان و همکاران (2010) برای سوریه و بیوک و کن (2011) در ترکیه، هزینه‌های بیرونی آلودگی هوای ناشی از تولید برق بر سلامت انسان را تخمین زده‌اند. نیروگاه‌های مورد بررسی در این مطالعات، سوخت‌های فسیلی گوناگونی مصرف می‌کنند. نتایج هزینه‌های بیرونی در این مطالعات به علت تفاوت در؛ اثرات منفی، ارزش پولی اثرات، توابع دوز-پاسخ و همچنین تفاوت در مکان و مشخصه‌های نیروگاه‌ها، متفاوت است. چنین مطالعاتی بیان می‌دارند، با وجود کافی نبودن اطلاعات و فقدان برخی داده‌های محلی، می‌توان به یک برآورد از هزینه‌های بیرونی تولید برق فسیلی با دقتی معقول دست یافت.

3. هزینه‌های بیرونی تولید برق در نیروگاه منتظر قائم

بهره‌برداری از نیروگاه منتظرقائم از سال 1350 آغاز گردیده و با تکمیل واحدهای سیکل ترکیبی، از سال 1379 با ظرفیت 1623 مگاوات، به تولید برق ادامه داده است. سوخت اصلی این نیروگاه مازوت بوده است اما با توجه به آلایندگی‌های این نیروگاه به ویژه آلودگی هوا و قرارگیری آن در بافت متراکم جمعیتی، در سال 1395 و با گاز سوز نمودن بویلر واحدهای بخار، مصرف مازوت را به صفر رسانیده است. از این رو و با توجه به نتایج سرشماری‌های اخیر موجود و با فرض ثبات سایر عوامل، این مطالعه به مقایسه‌ی اثرات و هزینه‌های سلامت ناشی از نیروگاه حرارتی منتظر قائم در سال‌های 1390 و 1395 می‌پردازد تا تأثیر بهبود سوخت نیروگاه در کاهش آسیب به سلامت را بررسی نماید. این

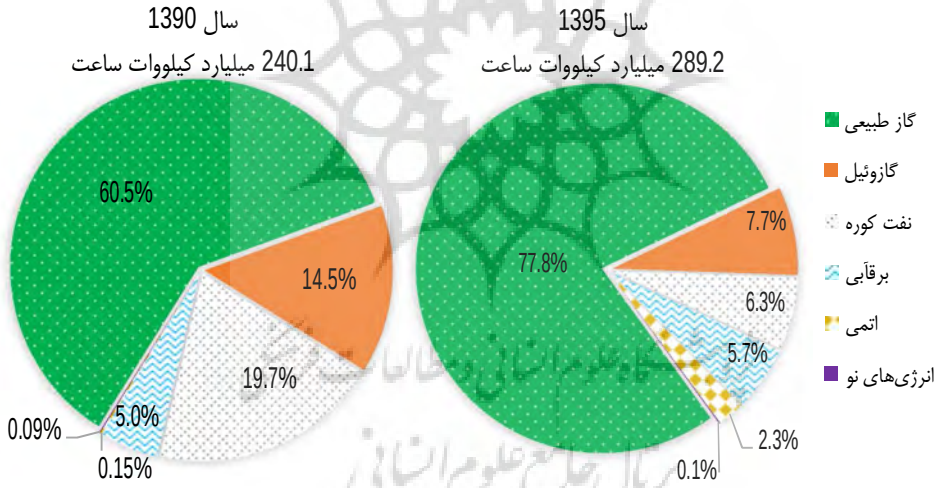
1. Bozicevic Vrhovcak et al. (2005)
2. Georgakellos (2010)

نیروگاه در سال 1390 ششمین و در سال 1395 هفتمین نیروگاه بزرگ کشور در تولید ناویژه‌ی برق بوده است.

شکل (2) به مقایسه‌ی سهم انواع سوخت در تولید نیروگاه‌های کشور در سال‌های 1390 و 1395 می‌پردازد و نشان می‌دهد که سهم گاز طبیعی افزایش و مجموع سهم سوخت‌های گوگرددار (گازوئیل و مازوت) به کمتر از 41٪ سهم قبلی است.

همچنین شکل (3) روند مصرف سوخت در نیروگاه منتظر قائم را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌گردد که این نیروگاه حجم بالایی از مازوت مصرف می‌کرده است که در سال 1395 این وضعیت تغییر یافته است.

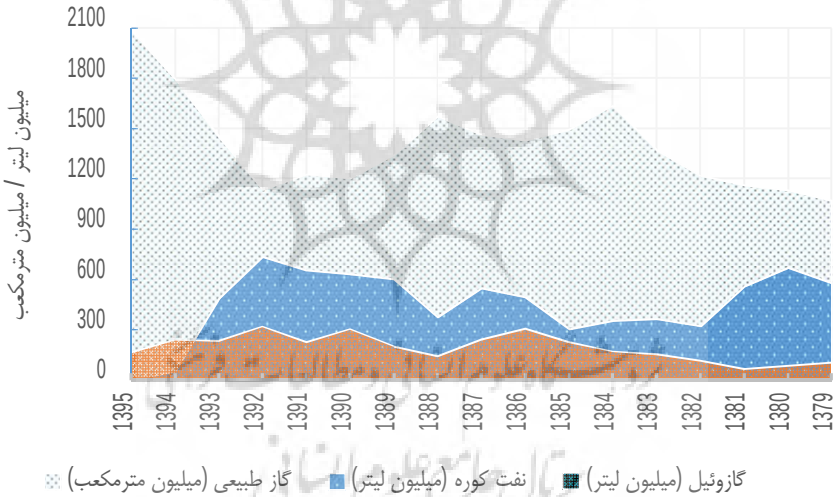
در مطالعه‌ی حاضر، مقیاس منطقه‌ای در مدل SIMPACTS انتخاب می‌گردد تا اثرات آلودگی هوای نیروگاه در پهنه‌ی کشور و بر جمعیت درون مرزهای ایران تخمین زده شود.



شکل (2): سهم انواع سوخت در تولید برق کشور در سال‌های 1390 و 1395

منبع: بر اساس گزارش‌های تولید برق توانیر سال 1390 و 1395

تعیین میزان جمعیت در معرض آلاینده‌های هوای ناشی از نیروگاه، یکی از مؤلفه‌های اصلی در محاسبه‌ی هزینه‌های بیرونی می‌باشد. مطالعات مشابه در این زمینه، جهت تخمین اثر سلامت در مقیاس منطقه‌ای، غالباً از تراکم جمعیت متوسط کشوری استفاده کرده‌اند (فولادی فرد و همکاران[1]، 2016). در این مطالعه جهت یافتن تخمینی بهتر، جمعیت هر شهرستان به کار رفته است. تقسیم بندی شهرستانی وزارت کشور برای سال 1390 و 1395 گردآوری شده و جمعیت هر شهرستان از نتایج سرشماری استخراج گردیده است. در سال 1390 جمعیت ۷۵،۱۴۹،۶۶۹ نفر و تعداد شهرستان‌ها 397 و در سال 1395 جمعیت برابر با ۷۹،۹۲۶،۲۷۰ نفر و تعداد شهرستان‌ها 429 بوده است. تراکم جمعیت متوسط کشور از سال 1390 به 1395 از عدد 46 به 49 نفر در هر کیلومتر مربع رسیده است. تراکم جمعیت شهرستان‌ها در سال 1390 از 1 تا 8145 نفر در هر کیلومترمربع متغیر است و در سال 1395 این مقدار از 1 تا 8343 نفر در کیلومترمربع می‌باشد.



شکل (3): روند مصرف انواع سوخت در نیروگاه منتظرقائم طی سال‌های 1379 تا 1395

منبع: بر اساس گزارش‌های تولید برق توانیر برای سال 1379 تا 1395

1.Fouladi Fard et al (2016)

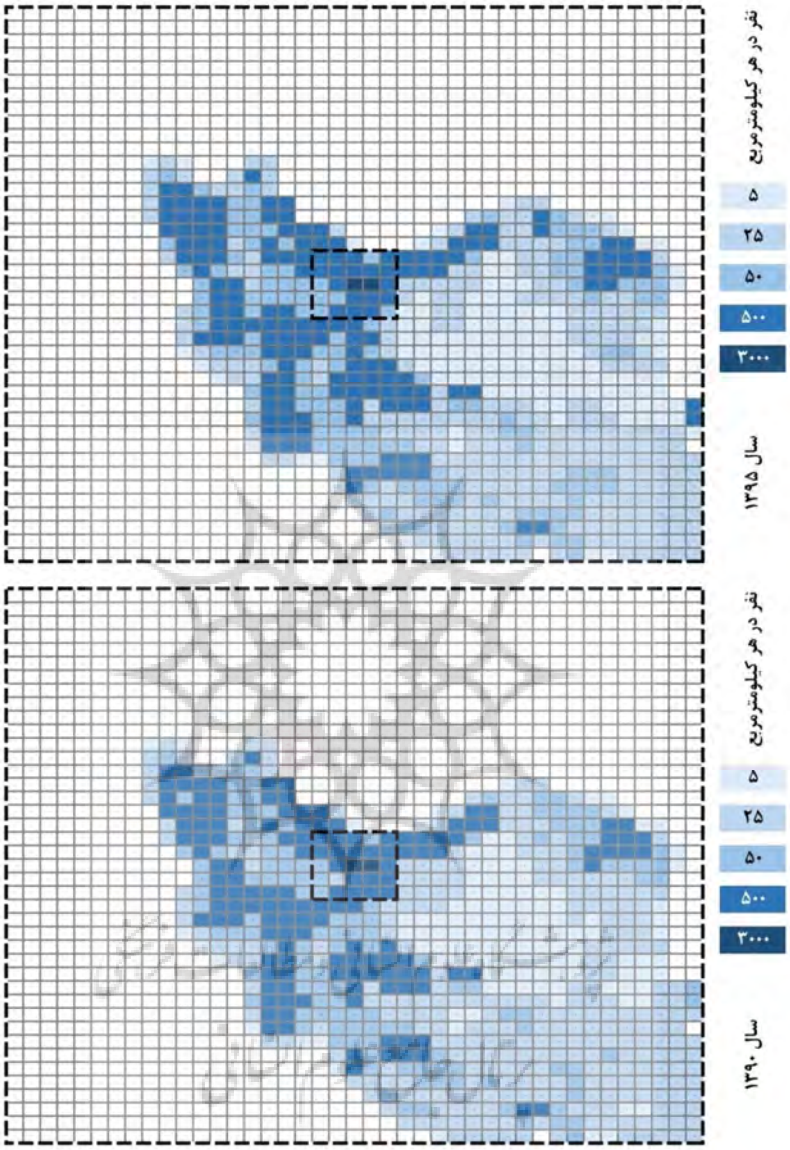
با استفاده از نرم افزار ArcGIS-10.5 ، تراکم جمعیت در 1681 شبکه‌ی 50×50 کیلومتری اطراف نیروگاه منتظر قائم محاسبه می‌گردد. شکل (4) این تراکم جمعیت محاسبه شده را نمایش می‌دهد. همچنین جمعیت در 25 شبکه‌ی اطراف نیروگاه (در یک مربع 250×250 کیلومتری که نیروگاه در مرکز آن واقع شده است) مشخص شده است تا نمایش بهتری از تراکم جمعیت در فاصله‌ی نزدیک به نیروگاه به نمایش گذاشته شود. در سال 1390 تعداد 17/50 میلیون نفر و در سال 1395 تعداد 19/22 میلیون نفر، جمعیت در محدوده‌ی نزدیک به نیروگاه سکونت داشته‌اند.

جهت به دست آوردن میزان انتشار آلاینده‌های هوا توسط نیروگاه، از ضرایب انتشار[1] استفاده شده است. با توجه به نتایج پروژه تدوین اطلس آلودگی نیروگاه‌های کشور، مقادیر متوسط ضرایب انتشار SO_2 و NO_X استفاده می‌گردد (نظری و همکاران[2]، 2010).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1.emission factors

2. Nazari et al (2010)



شکل (4): تراکم جمعیت در 250×250 و 2050×2050 کیلومتری نیروگاه منتظرقائم، 1390 و 1395

منبع: محاسبات پژوهش

از آنجایی که ضرایب کشوری برای انتشار PM_{10} موجود نمی‌باشد بنابراین از ارقام راهنمای سیاهه انتشار آلاینده‌ی هوای اروپا[1] (2016) استفاده شده است. مقادیر انتشار PM_{10} بر حسب گرم بر گیگاژول حرارت ورودی جهت تولید برق می‌باشند. جدول (1) این ضرایب را برای سه آلاینده و بر حسب نوع سوخت نشان می‌دهد. چون مقدار متوسط گوگرد در مازوت ایران 3 درصد می‌باشد، مقدار 45 گرم بر گیگاژول برای انتشار PM_{10} از مازوت در نظر گرفته شده است. همچنین مقادیر متوسط ارزش حرارتی سوخت نیروگاه‌های ایران برای گاز طبیعی، گازوئیل و مازوت به ترتیب 35/98 (مگاژول بر مترمکعب)، 38/63 و 40/96 (مگاژول بر لیتر) استفاده شده است.

جدول (1): میانگین ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا با توجه به نوع سوخت

سوخت	SO_2	NO_X	PM_{10}
	گرم در هر کیلووات ساعت		گرم در هر گیگاژول
گاز طبیعی	0/00	2/30	0/9
گازوئیل	3/08	4/79	3/2
مازوت	15/28	2/52	45

منبع: نظری و همکاران (2010) و راهنمای سیاهه انتشار اروپا (2016).

با توجه به راهنمای SIMPACTS، برای یک نیروگاه با چندین دودکش، آنها را می‌توان به عنوان یک دودکش در نظر گرفت و مقادیر متوسط برای دودکش را به کار برد. با توجه به گزارش‌های موجود بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های سوخت فسیلی کشور، ارتفاع و قطر متوسط دودکش به ترتیب 35 و 5 متر و سرعت گاز خروجی 30 متر بر ثانیه و دمای گاز خروجی 550 درجه‌ی کلوین در نظر گرفته می‌شود. ارتفاع این نیروگاه از سطح دریا 1246 متر می‌باشد. جدول (2) تولید برق، مصرف سوخت و میزان آلاینده‌ها را برای این نیروگاه نمایش می‌دهد.

1. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook

پروژه‌ی ExternE توابع دوز-پاسخ را از چندین مطالعه‌ی همه‌گیرشناسی[1] گردآوری کرده است که می‌توان در مدل به کار برد. در SIMPACTS ، توابع دوز-پاسخ جهت ساده‌سازی، خطی فرض شده‌اند (کریمزادگان و همکاران[2]، 2015).

جدول (2): تولید ناویژه، سوخت مصرفی و انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه منتظرقائم

سال	تولید ناویژه	سوخت مصرفی			انتشار آلاینده‌ها		
		گاز طبیعی	گازوئیل	مازوت	SO_2	NO_X	PM_{10}
	مگاوات ساعت	میلیون مترمکعب	میلیون لیتر		تُن در سال		
1390	9111384	1206/6	302/6	629/6	48433/1	24860/0	1237/0
1395	8739549	2088/3	164/8	0/0	2104/8	21787/9	88/0

منبع: محاسبات پژوهش براساس گزارش‌های آماری توانیر و ضرایب انتشار

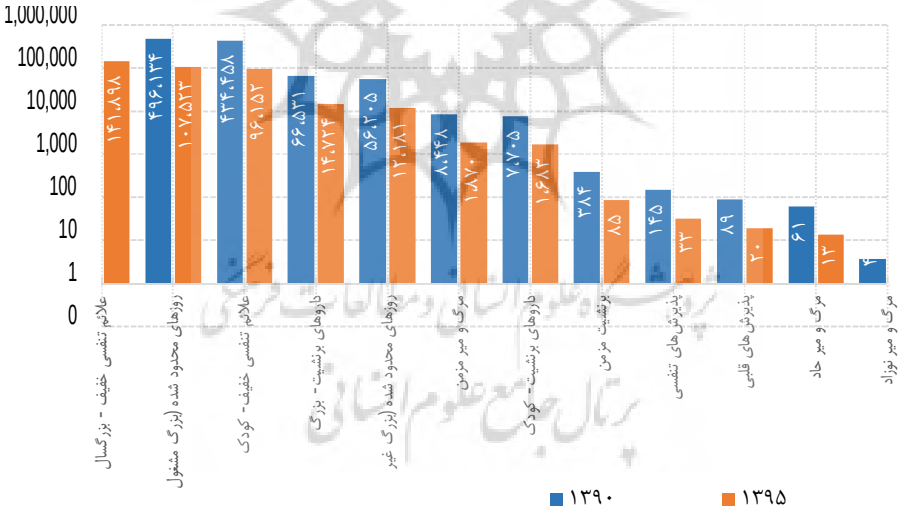
در ExternE با سولفات و نیترات مانند ذرات برخورد شده است و برای سولفات همان میزان آسیب ناشی از PM_{10} و برای نیترات نصف این مقدار به کار می‌رود. اثرات سلامت بررسی شده در این مطالعه شامل مرگ و میر (مزمن، حاد و نوزاد)[3]، برنشیت مزمن[4]، پذیرش‌های بیمارستانی (قلبی و تنفسی)[5]، استفاده از داروهای برنشیت[6]، علائم تنفسی خفیف[7] و روزهای فعالیت محدودشده[8] می‌باشد. در پیوست، جدول (3) این اثرات سلامت، جمعیت تحت تأثیر واقع شده و ضرایب دوز-پاسخ مربوطه را برای آلاینده‌ی PM_{10} بیان می‌دارد.

1. epidemiological studies
2. Karimzadegan et al (2015)
3. Mortality (Chronic, Acute & Infant)
4. Chronic Bronchitis
5. Hospital Admissions (Cardiac & Respiratory)
6. Bronchodilator Usage
7. Lower Respiratory Symptom
8. Restricted Activity Days

همچنین SIMPACTS امکان انتقال مقادیر هزینه‌های اثر سلامت از مطالعات اتحادیه‌ی اروپا را فراهم می‌کند. همانند رابطه (1) با استفاده از انتقال واحد با تعدیل درآمدی و با فرض کشش درآمدی تقاضا برابر یک، این مقادیر را می‌توان برای ایران به کار برد. درآمد سرانه (در برابری قدرت خرید) برای ایران و اتحادیه‌ی اروپا به ترتیب 5910 و 20269 دلار (سال 2000) می‌باشد. بدین روش جدول (4) در پیوست، هزینه‌ی واحد برای اثرات سلامت گوناگون برای ایران که در این مطالعه استفاده شده است را نشان می‌دهد.

4. نتایج

جدول (5) در پیوست اثرات و هزینه‌های سلامت این نیروگاه را نشان می‌دهد. در این جدول مشاهده می‌شود که تعداد موارد هر اثر سلامت ناشی از سه آلاینده، از سال 1390 به 1395 به طور متوسط 78 درصد کاهش یافته است. شکل (5) تعداد موارد اثرات سلامت ناشی از آلاینده‌های هوای نیروگاه منتظر قائم در این دو سال را مقایسه می‌کند که جهت نمایش بهتر، در مقیاس لگاریتمی رسم شده است.



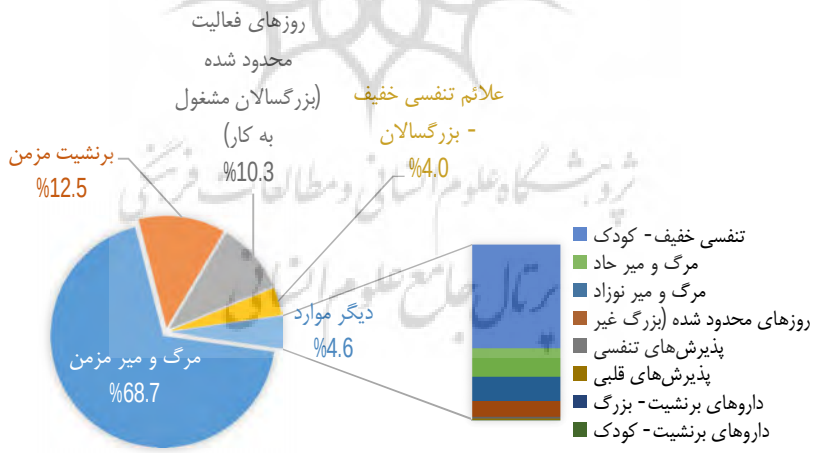
شکل (5): مقایسه تعداد موارد هر اثر سلامت ناشی از سه آلاینده‌ی نیروگاه منتظرقائم، 1390 و 1395

منبع: نتایج پژوهش

هزینه سلامت کل در سال 1395 کمتر از یک چهارم این هزینه در سال 1390 می‌باشد و از 164/9 میلیون به 36/4 میلیون (دلار سال 2000) کاهش یافته است.

با بررسی خروجی‌های مدل مشخص می‌گردد که 67٪ هزینه کل سلامت در سال 1390 در مربعی 250×250 کیلومتری اطراف نیروگاه اتفاق می‌افتد و در سال 1395 نیز 82٪ هزینه کل سلامت در این محدوده اتفاق می‌افتد. همچنین هزینه سلامت به ازای برق تولیدی در این نیروگاه، از سال 1390 به 1395 از 18/1 به 4/2 دلار بر مگاوات ساعت کاهش یافته است. البته این ارقام برای یک نیروگاه که سوخت عمده‌اش گاز طبیعی است، نسبت به مطالعات مشابه بالاتر می‌باشد که این به علت تراکم جمعیت زیاد اطراف این نیروگاه می‌باشد.

با توجه به تعداد موارد آسیب سلامت، این اثرات، سهم تقریبا مشابهی در هزینه کل سلامت در سال‌های 1390 و 1395 را دارند. شکل 6 سهم هر اثر سلامت در هزینه‌ی کل در سال 1395 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مرگ و میر مزمن بیشترین سهم در هزینه را داراست.



شکل (6): سهم هزینه‌ی هر اثر سلامت ناشی از آلودگی هوای نیروگاه منتظر قائم در سال 1395

منبع: نتایج پژوهش

نتایج بیان می‌دارد که آلاینده‌های هوای ناشی از نیروگاه اثرات منفی زیادی بر سلامت دارند. با این وجود، با کاهش انتشار SO_2 و PM_{10}، آسیب‌های سلامت نیز در طی این دوره، کاهش یافته است. همچنین جدول (5) در پیوست نشان می‌دهد که در سال 1390 سهم‌های PM_{10}، سولفات و نیترات در هزینه سلامت کل به ترتیب 26٪، 56٪ و 18٪ بوده است که این ارقام در سال 1395 به ترتیب به 10٪، 12٪ و 78٪ تغییر یافته است. این مقادیر بیانگر آن است که به دلیل مصرف بالای سوخت‌های گوگرددار، سولفات سهم بالایی در هزینه‌های سلامت 1390 را دارا بوده است و در سال 1395 و با حذف مازوت و افزایش مصرف گاز، سهم نیترات در هزینه سلامت کل، افزایش یافته است.

همانطور که اشاره شد در رویکرد IPA ، جهت یافتن تقریبی از هزینه‌های بیرونی ناشی از نیروگاه، چندین فرض ساده‌سازی پذیرفته و اعمال می‌شود. بنابراین در چنین مطالعاتی نااطمینانی‌های زیادی در کیفیت داده‌های ورودی، فرآیند تخمین و غیره وجود دارد. با این وجود، داشتن تخمینی از پیامدهای بیرونی بهتر از نادیده گرفتن کامل آنهاست. علیرغم نااطمینانی‌ها، امکان نتیجه‌گیری‌های کاربردی وجود دارد و همچنین نااطمینانی‌ها با پژوهش‌های بیشتر کاهش می‌یابد (زارنوسکا و فرنگوپولس[1]، 2012).

5. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

هزینه‌های بیرونی تولید برق بیانگر ارزش پولی جبران نشده‌ی آسیب‌های آن می‌باشد و این هزینه‌های مازاد، به جامعه تحمیل می‌شود. مهمترین و وسیعترین آسیب ناشی از برق بر سلامت، آلودگی هوای ناشی از تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

در این مطالعه با استفاده از رویکرد مسیر اثرگذاری و روش انتقال مقادیر از مطالعات پایه‌ای، اثرات و هزینه‌های سلامت ناشی از آلودگی هوای نیروگاه حرارتی منتظر قائم در سال‌های 1390 و 1395 تخمین زده شد. با استفاده از SIMPACTS-2 و محاسبه‌ی دقیقتر

1 Czarnowska and Frangopoulos (2012)

تراکم جمعیت اطراف نیروگاه تلاش گردید برآورد مناسبی از هزینه‌های بیرونی آلودگی هوای این نیروگاه بدست آید.

مشاهده می‌شود که در سال 1395 علیرغم رشد جمعیت، با حذف مازوت از سبد سوخت‌های نیروگاه، هزینه سلامت کل از 164/9 میلیون دلار به 36/4 میلیون دلار (2000) کاهش یافته است. همچنین هزینه سلامت به ازای برق تولیدی در این نیروگاه، از سال 1390 به 1395 از 18/1 به 4/2 دلار به ازای هر مگاوات ساعت کاهش یافته است.

کیفیت پایین سوخت فسیلی و جمعیت زیاد اطراف نیروگاه، از عوامل اصلی افزایش هزینه‌های سلامت ناشی از آلودگی هوای این نیروگاه می‌باشند. بنابراین بهبود سوخت می‌تواند هزینه‌های بیرونی مربوطه را کاهش دهد. البته در زمان برنامه‌ریزی برای ساخت نیروگاه‌ها، قرار دادن چنین نیروگاه‌های آلاینده‌ای در فواصلی دورتر از مراکز پرتراکم جمعیتی، آسیب‌های سلامت انسانی را کاهش خواهد داد.

در سال‌های اخیر، یکی از مهمترین اقدامات انجام شده جهت کاهش آلاینده‌های هوای ناشی از نیروگاه‌های حرارتی ایران، جایگزینی سوخت‌های مایع با گاز طبیعی، به ویژه در نیروگاه‌هایی نزدیک به شهرهای پرجمعیت، می‌باشد. این اقدام همچنان ادامه دارد ولی آمار تولید برق سال 1395 نشان می‌دهد که هنوز نیروگاه‌های بزرگی مانند نکا، بیستون کرمانشاه، شهید رجایی قزوین، شهید مفتح همدان هستند که در فاصله‌های نه چندان دور از مراکز جمعیتی قرار دارند و مصرف بالایی در سوخت‌های مایع به ویژه مازوت دارند. بنابراین پیشنهاد می‌شود، هزینه‌های بیرونی چنین نیروگاه‌هایی را تخمین زد و با توجه به اولویت آنها در کاهش آلاینده‌ها، با اقدامات مناسبی مانند بهبود بازده نیروگاه‌ها، به کار بردن تجهیزات مناسب جهت کاهش آلاینده‌ها و بهبود سوخت نیروگاه‌ها، آسیب‌های ناشی از آن‌ها را کاهش داد.

در مطالعات محاسبه‌ی اثرات بیرونی نیروگاه‌ها، نااطمینانی‌هایی وجود دارد که این نااطمینانی‌ها با پژوهش‌های بیشتر و با داده‌های دقیقتر کاهش می‌یابد. در کل با وجود نااطمینانی، می‌توان با دقتی قابل قبول به یک تخمین از این هزینه‌ها دست یافت.

درونی‌سازی این هزینه‌های بیرونی به قیمت برق، هزینه تولید از سوخت‌های فسیلی را افزایش می‌دهد و برق فسیلی نسبت به دیگر منابع انرژی مانند تجدیدپذیرها غیررقابتی‌تر می‌گردد.

7. منابع

الف) فارسی

شرکت *توانیر* (1379-1395). آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه‌ی تولید نیروی برق.

شرکت *توانیر* (1390-1395). گزارش‌های صنعت برق ایران.

فتاحی، مریم، عصاری، عباس، صادقی، حسین، اصغرپور، حسین (1392). «تأثیر آلودگی هوا بر هزینه‌های عمومی سلامت: مقایسه‌ی تطبیقی کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته». *فصلنامه تحقیقات توسعه اقتصادی*، شماره 11، صص 111-132.

منظور، داوود، فرمد، مجید، آریان پور، وحید، شفیعی، احسان الدین (1393). «ارزیابی ترکیب بهینه‌ی نیروگاه‌های کشور با لحاظ هزینه‌های زیست محیطی». *محیط شناسی*، دورهٔ 40 ، شماره 2 ، صص 415-430.

ب) انگلیسی

Bickel P. and Friedrich R. (2005). *ExternE, Externalities of Energy Methodology, Update 2005*, IER, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.

Bozicevic Vrhovcak M., Tomsic Z. and Debrecin N. (2005). "External costs of electricity production: case study Croatia". *Energy Policy*, 33(11), pp. 1385-1395.

Büke T. and Köne A. Ç. (2011). "Estimation of the health benefits of controlling air pollution from the Yatağan coal-fired power plant". *Environmental Science & Policy*, 14(8), pp. 1113-1120.

Burtraw D., Krupnick A. J. and Sampson G. (2012). *The True Cost of Electric Power: An Inventory of Methodologies to Support Future Decision making in Comparing the Cost and Competitiveness of Electricity Generation Technologies*, INIS, France.

Czarnowska L. and Frangopoulos C. A. (2012). "Dispersion of pollutants, environmental externalities due to a pulverized coal power plant and their effect on the cost of electricity". *Energy*, 41(1), pp. 212-219.

Dimitrijević Z., Tatić K., Knežević A. and Salihbegović I. (2011). "External costs from coal-fired thermal plants and sulphur dioxide emission limit values for new plants in Bosnia and Herzegovina". *Energy Policy*, 39(6), pp. 3036-3041.

European Environment Agency (EEA). (2016). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016*, EEA, Copenhagen, Denmark.

Fouladi Fard R., Naddafi K., Yunesian M., Nabizadeh Nodehi R., Dehghani M. H. and Hassanvand M. S. (2016). "The assessment of health impacts and external costs of natural gas-fired power plant of Qom". *Environ Sci Pollut Res Int*, 23(20), pp. 20922-20936.

Georgakellos D. A. (2010). "Impact of a possible environmental externalities internalisation on energy prices: The case of the greenhouse gases from the Greek electricity sector". *Energy Economics*, 32(1), pp. 202-209.

Hainoun A., Almoustafa A. and Seif Aldin M. (2010). "Estimating the health damage costs of syrian electricity generation system using impact pathway approach". *Energy*, 35(2), pp. 628-638.

Karimzadegan H., Rahmatian M., Farsiabi M. M. and Meiboudi H. (2015). "social cost of fossil-based electricity generation plants in Iran". *Environmental Engineering and Management*, 14(10), pp. 2373-2381.

International Energy Agency (2017). *Key World Energy Statistics 2017*, IEA, Paris, France.

Navrud S. (2004). *Value transfer and environmental policy*. In: Tietemberg.T and Folmer. H (eds) The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2004/2005: a survey of current issues, Edgar Elgar Publishers, London.

Nazari S., Shahhoseini O., Sohrabi-Kashani A., Davari S., Paydar R. and Delavar-Moghadam Z. (2010). "Experimental determination and analysis of CO2, SO2 and NOx emission factors in Iran's thermal power plants". *Energy*, 35(7), pp. 2992-2998.

Preiss P.; Klotz V. (2007). *Description of Updated and Extended Draft Tools for the Detailed Site-Dependent Assessment of External Costs*; Technical Paper; IER, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.

Rabl A. (2001). *Reference Database of Concentration-Response Functions for Health Impacts of Air Pollution*; Technical Report, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Rosenberger R. S., Loomis J. B. and Rocky Mountain Research S. (2001). *Benefit transfer of outdoor recreation use values: a technical document supporting the Forest Service Strategic Plan (2000 revision)*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA.

Sakulniyomporn S., Kubaha K. and Chullabodhi C. (2011). "External costs of fossil electricity generation: Health-based assessment in Thailand". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), pp. 3470-3479.

Samadi S. (2017). "The Social Costs of Electricity Generation—Categorising Different Types of Costs and Evaluating Their Respective Relevance". *Energies*, 10, pp. 1-37.

Schleisner L. (2000). "Comparison of methodologies for externality assessment". *Energy Policy*, 28(15), pp. 1127-1136.

Spalding-Fecher R. and Matibe D. K. (2003). "Electricity and externalities in South Africa". *Energy Policy*, 31(8), pp. 721-734.

Streimikiene D., Roos I. and Rekis J. (2009). "External cost of electricity generation in Baltic States". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), pp. 863-870.

Turtós Carbonell L., Meneses Ruiz E., Sánchez Gácita M., Rivero Oliva J. and Díaz Rivero N. (2007). "Assessment of the impacts on health due to the emissions of Cuban power plants that use fossil fuel oils with high content of sulfur. Estimation of external costs". *Atmospheric Environment*, 41(10), pp. 2202-2213.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست

جدول (3): اثرات سلامت و ضرایب دوز-پاسخ مربوطه برای آلاینده‌ی PM_{10}

اثر سلامت	جمعیت تحت تأثیر واقع شده	واحد	شیب تابع دوز-پاسخ مورد در هر سال در هر نفر به ازای هر میکروگرم بر مترمکعب
مرگ و میر مزمن	کل جمعیت	سال‌های از دست رفته‌ی زندگی	0/0004
مرگ و میر حاد			0/00000288
مرگ و میر نوزاد	کودکان کمتر از 12 ماه		0/00000018
استفاده از داروهای برنشیت	بزرگسالان آسمی بالای 20 سال	مورد استفاده	0/00315
	کودکان آسمی 5 تا 14 سال		0/0003663
علائم تنفسی خفیف	بزرگسالان با علائم تنفسی مزمن	روز	0/030756
	کودکان 5 تا 14 سال		0/02057
روزهای فعالیت محدود شده	بزرگسالان مشغول به کار 15 تا 64		0/0236379
	بزرگسالان غیرمشغول به کار 15 تا 64		0/00267786
پذیرش‌های قلبی	کل جمعیت	پذیرش	0/0000042
پذیرش‌های تنفسی			0/00000682
برنشیت مزمن	بزرگسالان بالای 27 سال	مورد	0/00001819

منبع: راهنمای SIMPACTS

جدول (4): هزینه واحد آسیب به سلامت برای اتحادیه‌ی اروپا و مقادیر تعدیل شده برای ایران

اثر سلامت	ارزش واحد (دلار سال 2000)	
	اتحادیه اروپا	ایران
مرگ و میر مزمن	45872	13375/28
مرگ و میر نوزاد	917431	267502/95
مرگ و میر حاد	68807	20062/63
استفاده از داروهای برنشیت	1	0/29
علائم تنفسی خفیف	35	10/21
روزهای فعالیت محدودشده (بزرگسالان مشغول به کار)	119	34/70
روزهای فعالیت محدودشده (بزرگسالان غیرمشغول به کار)	42	12/25
پذیرش‌های بیمارستانی (قلبی یا تنفسی)	1848	538/84
برنشیت مزمن	183486	53500/53

منبع: راهنمای SIMPACTS و محاسبات پژوهش

جدول (5): اثرات و هزینه‌های سلامت نیروگاه منتظر قائم در سال 1390 و 1395

آلاینده	نوع اثر	سال 1390		سال 1395	
		اثر سلامت	هزینه سلامت	اثر سلامت	هزینه سلامت
		مورد	دلار (سال 2000)	مورد	دلار (سال 2000)
PM_{10}	مرگ و میر مزمن	2194/0	29345401/5	192/4	2572792/8
سولفات		4722/6	63166266/1	220/4	2948526/5
نیترات		1531/8	20487853/0	1456/9	19487023/4
PM_{10}	مرگ و میر نوزاد	1/0	264106/0	0/1	23154/9
سولفات		2/1	568490/8	0/1	26536/5
نیترات		0/7	184388/9	0/7	175381/5
PM_{10}	مرگ و میر حاد	15/8	316925/8	1/4	27785/8
سولفات		34/0	682185/8	1/6	31843/6
نیترات		11/0	221265/6	10/5	210456/8
PM_{10}	استفاده از داروهای برنشیت - بزرگسالان	17277/8	5010/6	1514/8	439/3
سولفات		37190/6	10785/3	1736/0	503/4
نیترات		12062/7	3498/2	11473/4	3327/3
PM_{10}	استفاده از داروهای برنشیت - کودکان	2009/2	582/7	176/1	51/1
سولفات		4324/7	1254/2	201/9	58/5
نیترات		1371/5	397/7	1304/5	378/3
PM_{10}	علائم تنفسی خفیف - بزرگسالان	168696/9	1722395/1	14790/1	151007/2
سولفات		363121/7	3707472/4	16950/1	173060/4
نیترات		115814/8	1182469/5	110157/3	1124705/9
PM_{10}	علائم تنفسی خفیف - کودکان	112826/6	1151959/5	9891/8	100995/5
سولفات		242860/4	2479604/2	11336/4	115745/0
نیترات		78771/3	804254/7	74923/3	764966/9
PM_{10}	روزهای فعالیت محدودشده (بزرگسالان مشغول به کار)	129654/0	4498995/4	11367/1	394439/4
سولفات		279081/6	9684131/9	13027/2	452043/8
نیترات		87398/2	3032717/6	83128/8	2884569/7
PM_{10}	روزهای فعالیت محدودشده (بزرگسالان غیرمشغول به کار)	14688/1	179929/0	1287/7	15774/9
سولفات		31616/2	387298/9	1475/8	18078/7

نیترات		9901/1	121287/9	9417/4	115363/0
PM_{10}	پذیرش‌های بیمارستانی قلبی	23/0	12413/3	2/0	1088/3
سولفات		49/6	26719/7	2/3	1247/2
نیترات		16/1	8666/5	15/3	8243/1
PM_{10}	پذیرش‌های بیمارستانی تنفسی	37/4	20156/8	3/3	1767/2
سولفات		80/5	43387/7	3/8	2025/3
نیترات		27/1	14584/4	25/7	13872/0
PM_{10}	برنشیت مزمن	99/8	5339160/9	8/7	468099/1
سولفات		214/8	11492596/4	10/0	536460/8
نیترات		69/7	3727600/8	66/3	3545507/9
	جمع هزینه سلامت PM_{10}	-	42857036/4	-	3757395/4
	جمع هزینه سلامت سولفات	-	92250193/4	-	4306129/8
	جمع هزینه سلامت نیترات	-	29788984/9	-	28333795/9
هزینه سلامت کل		-	164896214/6	-	36397321/0

منبع: نتایج پژوهش

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی