

## تحلیل اقتصادی اثرات زیست‌محیطی ناشی از تغییر الگوی تولید انرژی برق در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه<sup>۱</sup>

مجید مداح

دانشیار اقتصاد دانشگاه سمنان، majid.maddah@semnan.ac.ir

محمد مهدی بریجانیان<sup>۲</sup>

دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه سمنان، mumberjanian@gmail.com

محمدصادق قاضی‌زاده

دانشیار برق دانشگاه شهید بهشتی، ghazizadeh.ms@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۱

### چکیده

مسئله حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی یکی از اولویت‌های برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور است. هدف از ارائه این مقاله، بررسی تغییر در اثرات زیست‌محیطی تولید برق ناشی از تغییر در الگوی تولید برق، بر تولید و رفاه خانوار در ایران با به کارگیری ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ و تعریف یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه بر مبنای آن است که در چارچوب آن با معرفی ۴ سناریو سیاستی متفاوت بر پایه ارزش پولی اثرات زیست‌محیطی منفی ناشی از تولید برق در ایران، مورد بررسی و تحلیل تجربی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند اولاً، اعمال هزینه‌های خارجی تولید برق دارای اثر مثبت بر رشد اقتصادی و اثر منفی بر رفاه خانوار است. ثانیاً، در ساختار فعلی تولید برق، اعمال هزینه‌های خارجی تولید برق، رشد ۰/۰۵۷۶ تا ۰/۰۷۳۶ درصدی به دنبال خواهد داشت و رفاه خانوار را بین ۱/۹۵۵- تا ۷/۱۷۱- درصد کاهش می‌دهد. ثالثاً، با تغییر الگوی تولید برق در کشور و حرکت به سمت تولید برق پاک و کاهش تولید برق از سوخت‌های فسیلی، میزان تأثیرگذاری هزینه‌های خارجی تولید برق بر رشد اقتصادی و رفاه کاهش خواهد یافت. طبق نتایج تحقیق، در صورت کاهش سهم تولید برق از سوخت‌های فسیلی به ۸۵ درصد، رشد اقتصادی و رفاه خانوار به ترتیب به ۰/۰۵۵۳ تا ۰/۰۷۲۷ و ۱/۷۳۳- تا ۶/۳۶۳- درصد تغییر پیدا می‌کنند.

طبقه‌بندی JEL: Q50, Q43, I31, H23, E01

کلید واژه‌ها: اثرات زیست‌محیطی تولید برق، رشد اقتصادی، رفاه خانوار، مدل CGE.

اقتصاد ایران

۱. مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری محمد مهدی بریجانیان تحت عنوان (بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید برق در اقتصاد ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه) در دانشگاه سمنان استخراج شده است.

۲. نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

یکی از اصلی ترین مسائلی که در دو دهه گذشته، به صورت روزافزونی، در حوزه مباحث اجتماعی و اقتصادی مطرح شده، مسئله حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از ایجاد آلودگی های زیست محیطی است. در همین راستا در تاریخ ۱۲ دسامبر ۲۰۱۵ پاریس، قراردادی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و جلوگیری از اقدامات علیه تغییر اقلیم و همچنین سرمایه گذاری در جهت اقتصادی کم کربن، مقاوم، انعطاف پذیر و پایدار توسط ۱۹۵ کشور، مورد توافق قرار گرفت. هدف اصلی این توافق جهانی جلوگیری از افزایش دمای کره زمین در قرن حاضر زیر ۲ درجه سانتی گراد و همچنین تلاش برای محدود کردن دما و افزایش آن به زیر ۱/۵ درجه سانتی گراد نسبت به سطح آن قبل از صنعتی شدن است. در ایران نیز بر اساس سند چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران و در پی آن سیاست های کلی برنامه های توسعه جمهوری اسلامی، توجه خاصی به مباحث و مشکلات زیست محیطی شده است. با توجه به این موضوع، گرچه لازم است صنایع آلاینده به دنبال کاهش ایجاد آلودگی های زیست محیطی باشند؛ اما در کنار توجه به مسائل محیط زیستی، به نظر می رسد آثار اقتصادی آن نیز باید در سطح سیاست گذاری مورد توجه قرار گیرد. هدف از ارائه این مقاله، بررسی و تحلیل تأثیر تغییر در الگوی تولید برق از طریق کاهش سهم تولید برق از سوخت های فسیلی و افزایش سهم تولید برق از انرژی های نو و تجدیدپذیر بر تولید و رفاه خانوارها در اقتصاد ایران است.

مرور مختصر مبانی نظری مرتبط با مسائل زیست محیطی و ارتباط آن با موضوعات اقتصادی، بررسی پیشینه تحقیق، ارائه روش تحقیق، تحلیل تجربی نتایج و نتیجه گیری از قسمت های بعدی مقاله هستند.

## ۲- ادبیات تحقیق

در این قسمت، ادبیات تحقیق در دو بخش بیان خواهد شد. ابتدا نقش برق به عنوان یک کالای واسطه و نهایی دارای اثرات خارجی<sup>۱</sup> منفی در اقتصاد بیان می شود و در

بخش دوم به صورت دقیق‌تر، اثرات خارجی منفی تولید برق را مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بر اساس یک مدل ساده اقتصاد کلان، همواره دو گروه اصلی از عوامل اقتصادی یعنی تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان یا خانوارها حضور دارند. هر یک از این بخش‌ها برای اینکه بتوانند عملکرد مناسبی در جهت رسیدن به هدف بهینگی پارتویی داشته باشند، نیازمند ابزارها و نهاده‌های متعددی هستند. به صورتی که در توابع تولید امروزی چه در سطح کلان و چه در سطح خرد برای یک بنگاه خاص، نمی‌توان تابع تولیدی که نهاده‌های مربوط به بخش انرژی، به خصوص برق را در خود ندارد، متصور شد. از سوی دیگر، با توجه به پیشرفت فراوان تکنولوژی در نیم قرن اخیر و در نتیجه تولید انواع مختلفی از لوازم مصرفی که نیاز به استفاده از نیروی برق دارند، در سمت مصرف‌کنندگان و خانوار و در سبد مصرفی آن‌ها، انرژی برق یکی از کالاهای مصرفی نهایی اساسی است که تأثیر قابل توجهی بر مطلوبیت افراد دارد.

با توجه به اینکه انرژی برق در سمت مصرف، چه مصرف به‌عنوان نهاده واسطه‌ای توسط تولیدکنندگان و چه مصرف توسط خانوار به‌عنوان یک کالای نهایی، یک انرژی پاک می‌باشد، همواره دولت‌ها در تلاش هستند تا مصرف این کالا و جایگزینی آن به جای اشکال دیگر انرژی را تشویق کنند؛ اما این نکته قابل توجه است که با وجود پاک بودن انرژی برق در سمت مصرف، انرژی برق در سمت تولید دارای اثرات خارجی منفی زیادی است.

در اقتصاد، حتی اگر رقابت کامل برقرار باشد، باز هم این امکان وجود دارد که سازوکار بازار نتواند کالاها را به میزان بهینه اجتماعی آن‌ها تولید و عرضه نماید و ممکن است کالایی بیشتر یا کمتر از میزان بهینه تولید شود. این عدم عرضه بهینه کالاها و خدمات از طریق سازوکار بازار تحت عنوان شکست بازار<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. یکی از عوامل اصلی شکست بازار، مسئله وجود اثرات خارجی است. در حقیقت هر فعالیت اقتصادی که سرریزهایی داشته باشد، (هزینه یا منفعت) و عوامل اقتصادی نتوانند آن منافع سرریز را جمع‌آوری کند یا هزینه‌های سرریز را وارد محاسباتش نکند، دارای آثار

خارجی است و نتایج بازار ناکارا خواهد بود (ناکارایی پارتویی<sup>۱</sup>). از آن جا که این منافع یا هزینه های خارجی در محاسبات مربوط به تصمیم گیری وارد نمی شوند، آن کالا یا بیش از حد کارا از نظر اجتماع تولید می شود (در حالت آثار خارجی منفی)، یا کمتر (در حالت آثار خارجی مثبت). به این صورت که وجود اثرات خارجی سبب ایجاد تفاوت میان عرضه بهینه یک کالا از نقطه نظر اجتماعی و میزان عرضه از نقطه نظر خصوصی می شود. در نتیجه از شرایط بهینه مورد نظر اجتماعی فاصله گرفته و کارایی سیستم اقتصادی دچار مشکل خواهد شد.

در صنعت برق و به صورت خاص در بخش تولید برق، ما شاهد ایجاد آثار خارجی منفی هستیم؛ زیرا در فرآیند تولید برق حجم بالایی از آلودگی های زیست محیطی ایجاد می شود که کمتر مورد توجه قرار می گیرد. به عبارت دیگر، با توجه به دو عامل اصلی اقتصادی؛ یعنی خانوارها و بنگاه ها، می توان اثرات صنعت برق را بر این دو گروه به صورت شفاف بیان کرد. در بخش خانوارها، از یک سو افراد با مصرف برق که یک کالای غیر خوراکی است، مطلوبیت کسب می کنند. از سوی دیگر با افزایش مصرف و به تبع آن افزایش تولید برق، آلودگی ناشی از تولید برق، اثرات زیان باری بر سلامت افراد خواهد داشت، که این اثرات خود را در قالب افزایش هزینه های بهداشتی و درمانی خانوار نشان می دهد و سبب کاهش مطلوبیت آن ها می گردد. از طرف دیگر، در بخش تولید، از یک سو، برق به عنوان یک نهاده تولید، توسط بنگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد و با افزایش مصرف برق تولید افزایش می یابد. همچنین با توجه به اینکه به کارگیری تکنولوژی های وابسته به انرژی برق، عموماً دارای بازدهی بالاتری نسبت به تکنولوژی های وابسته به سوخت های فسیلی هستند، بهره وری را در کلیه بخش های تولیدی افزایش می دهند و سبب افزایش تولید می گردند. اما از سوی دیگر، همان طور که در ادامه بیان خواهد شد، آلودگی های ناشی از تولید برق دارای اثرات سویی بر بخش های مختلف تولیدی است که منجر به کاهش تولید می گردد.

اثرات خارجی منفی تولید برق به کلیه اثرات منفی مرتبط با تکنولوژی، که در تولید برق به کار گرفته می شود اما به عنوان هزینه در قیمت برق لحاظ نمی گردند، اطلاق می گردد. این اثرات در کلیه مراحل طی شده برای تولید برق که شامل احداث نیروگاه،

1. Pareto Inefficiency

تأمین انرژی نیروگاه و دفع پسماندهای حاصل از تولید برق در نیروگاه است. ایجاد می‌شود. با توجه به این موضوع که در تولید برق روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اثرات خارجی منفی ناشی از تولید برق نیز با توجه به روش مورد استفاده متفاوت خواهد بود.

در حال حاضر روش‌های عمده تولید برق را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم نمود:

۱. استفاده از سوخت‌های فسیلی ۲. استفاده از انرژی هسته‌ای ۳. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر.

هر یک از موارد فوق شامل روش‌های مختلف تولید برق می‌باشند. از دیدگاه کلی، روش‌های تولید برق با سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، بیشترین آلودگی را تولید می‌کنند که برحسب روش تولید ممکن است گازها، ذرات معلق، انواع پس‌آب‌ها و یا مواد زاید جامد و خطرناک باشند. تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی ممکن است با یکی از انواع نیروگاه‌های دیزلی، توربین‌های گازی، حرارتی بخار، چرخه‌های ترکیبی و با استفاده از سوخت‌های گاز، نفت کوره یا زغال سنگ انجام گیرد. انرژی‌های نو به‌منظور تولید برق نیز شامل به‌کارگیری منابعی مانند باد، خورشید، زمین گرمایی، اقیانوس‌ها و جزر و مد می‌باشد. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به استفاده از انرژی آب و نیروگاه‌های برق آبی نیز اشاره نمود (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۴).

نیروگاه‌هایی که با استفاده از سوخت‌های فسیلی برق تولید می‌کنند، دارای مجموعه‌ای از آثار منفی بر محیط پیرامون خود هستند که بخش اعظم این آثار منفی ناشی از گازهای خروجی از این واحدهای تولیدی می‌باشد. علاوه بر آثار منفی ناشی از انواع گازهای خروجی، آلودگی ناشی از استفاده از انواع مواد شیمیایی و روغن‌ها در این نوع از نیروگاه‌ها، آلودگی حرارتی آب مصرفی توسط نیروگاه و آلودگی صوتی ناشی از احتراق سوخت در نیروگاه نیز قابل ذکر می‌باشد. البته بسته به نوع نیروگاه‌ها این اثرات نیز متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال یکی از جدیدترین روش‌های تولید برق از سوخت‌های فسیلی که بازدهی نسبتاً بالایی نیز دارد، استفاده از سیستم‌های تولید

همزمان حرارت و برق<sup>۱</sup> می باشد که در مطالعه آرندیان و محمدی اردهالی (۱۳۹۷) چگونگی بهینه سازی استفاده از این روش تولید برق مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول (۱) آثار و پیامدهای ناشی از انواع آثار منفی ناشی از نیروگاه های سوخت فسیلی آورده شده است.

جدول ۱. آثار منفی ناشی از نیروگاه های سوخت فسیلی

| نوع اثر  | آلاینده   | طبقه بندی اثر        |
|--|---|----------------------|
| کوتاه شدن طول عمر انسان، ایجاد سرطان، ایجاد بیماری های تنفسی، ایجاد بیماری های عصبی                              | ذرات معلق، دی اکسید سولفور، صدا، اکسیدهای نیتروژن و ازون        | اثر بهداشتی بر انسان |
| ایجاد خوردگی در فلزات و سنگ های ساختمانی، پاک شدن رنگ ساختمان ها و فلزات   | دی اکسید سولفور، ایجاد باران های اسیدی و ذرات ناشی از احتراق    | اثر بر مواد ساختمانی |
| کاهش در تولیدات کشاورزی نظیر گندم، افزایش نیاز جهت آهک زنی به منظور خنثی نمودن اسید موجود در خاک                 | اکسیدهای نیتروژن، ازون، ایجاد باران های اسیدی و دی اکسید سولفور | اثر بر کشاورزی       |
| اثر جهانی بر بالا آمدن آب سطح دریاها به زیر آب رفتن نقاط ساحلی، تأثیر سوء بر تولیدات کشاورزی و افزایش مصرف انرژی | دی اکسید کربن، متان، سولفور و نیترات                            | اثر بر گرمایش جهانی  |

منبع: سعیدی و همکاران، مدیریت زیست محیطی نیروگاه ها، (۱۳۸۴)

در رابطه با نیروگاه های سوخت هسته ای اثر منفی غالب، آلودگی محیط زیست ناشی از دفع پسماندهای هسته ای بعد از فرآیند تولید انرژی است؛ که در صورت دفع نادرست پیامدهای بسیار خطرناکی برای انسان ها و ساختار گیاهی و جانوری خواهد داشت. البته در این نوع از نیروگاه ها، همواره خطر رخ دادن وقایع طبیعی مانند زلزله که موجب آسیب رسیدن به نیروگاه و نشت مواد رادیواکتیو می شود، وجود دارد. در ارتباط با انرژی های تجدیدپذیر نیز اصلی ترین اثر منفی، حجم بالای تغییرات در اکوسیستم

1. Combined Heat and Power (CHP)

منطقه ناشی از فرآیند احداث این نوع از نیروگاه‌ها می‌باشد؛ زیرا برای احداث چنین نیروگاه‌هایی، به دلیل بازدهی پایین این نوع انرژی‌ها با توجه به تکنولوژی موجود، بایستی سطح وسیعی از محیط‌زیست جانوری و گیاهی تخریب گردد. نوع دیگری از انرژی‌های تجدیدپذیر که در یک دهه اخیر در سطح جهانی و نیز در کشور ما رو به گسترش است، روش تولید برق از زیست‌توده<sup>۱</sup> می‌باشد. در این روش از کلیه پسماندهایی که بتواند تولید گاز متان کند، به‌عنوان ورودی نیروگاه استفاده می‌شود، از قبیل پسماندهای فاضلاب شهری. اصلی‌ترین اثر خارجی ناشی از این روش بوی نامطبوع ایجادشده در محل نیروگاه و اطراف آن است.

براساس آمار جهانی ارائه شده توسط شورای انرژی جهانی<sup>۲</sup> برای سال ۲۰۱۶، ۲۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای تولید شده در این سال متعلق بخش تولید برق بوده که عمده آن توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی تولید می‌شود. لذا تغییر الگوی تولید انرژی برق و حرکت از تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی به سمت تولید آن از انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان داشته باشد. این روند تغییر الگوی تولید برق در طی دو دهه گذشته شتاب بیشتری به خود گرفته است. به‌عنوان مثال، در آمریکای شمالی، اروپا و آسیا در سال ۲۰۰۵ میلادی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ۲۴، ۲۰/۱ و ۱۳/۹ درصد از کل انرژی برق تولید شده، بوده است. این ارقام برای مناطق یاد شده، در سال ۲۰۱۵ به ۲۷/۷، ۳۴/۲ و ۲۰/۳ درصد رسیده است. این افزایش سهم تولید انرژی برق از منابع تجدیدپذیر علاوه بر ملاحظات زیست‌محیطی، دلایل اقتصادی نیز دارد. یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های اقتصادی مورد بررسی برای نشان دادن اثر تغییر یک متغیر در علم اقتصاد، رشد اقتصادی است. همچنین شاخص‌های دیگری نظیر رفاه و اشتغال نیز قابل بررسی هستند. مطالعات متعددی تأثیر مثبت استفاده از منابع تجدیدپذیر بر شاخص‌های اقتصادی را نشان داده‌اند. همچنین پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط نهادهای بین‌المللی نظیر آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>۳</sup> (IRENA) نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰ در صورت دو برابر شدن میزان بهره‌برداری از انرژی‌های

1. Biomass

2. World Energy Council

3. International Renewable Energy Agency (IRENA)

تجدیدپذیر در تولید برق نسبت به وضع موجود در سال ۲۰۱۶، در سطح جهانی شاهد رشد تولید ناخالص داخلی کشورها در بازه ۰/۲ درصد تا ۴ درصد خواهیم بود. همچنین میزان سرمایه‌گذاری شاهد رشدی بین ۱/۸ تا ۳/۱ درصد خواهد بود. به علاوه رفاه افزایشی ۲/۷ تا ۳/۷ درصدی خواهد داشت و اشتغال مستقیم و غیرمستقیم ایجادشده توسط بخش انرژی‌های تجدیدپذیر از ۹/۲ میلیون شغل در سال ۲۰۱۴ به ۱۳/۵ میلیون شغل در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. کلیه این آمار و ارقام نشان می‌دهد که تغییر الگوی تولید برق و حرکت به سمت منابع انرژی پاک تأثیرات مثبتی بر اقتصاد کشورهای جهان خواهد داشت.

### ۳- پیشینه پژوهش

در این قسمت مروری گذرا بر مطالعات تجربی صورت گرفته در حوزه تعیین میزان اثرات خارجی منفی تولید برق و تأثیر آن بر شاخص‌های اقتصادی خواهیم داشت. بر این اساس مطالعات تجربی صورت گرفته در خارج و داخل کشور بررسی شده است. استریمیکی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای، هزینه‌های خارجی تولید برق در کشورهای حوزه بالتیک را مورد بررسی قرار دادند. هزینه خارجی مرتبط با آلودگی هوا باید به صورت مناسب به منظور ترویج استفاده از انرژی‌های نو برای تولید برق در نظر گرفته شود. به این منظور در این پژوهش به دنبال محاسبه هزینه خارجی تولید برق در نیروگاه‌های سوخت فسیلی هستند. در این راستا از چارچوب مورد استفاده توسط اتحادیه اروپا بهره برده شده است. در این چارچوب، اثرات ناشی از کل چرخه فعالیت لازم برای عرضه برق در نظر گرفته می‌شود که یکی از بخش‌های اصلی آن فعالیت یک نیروگاه است.

ساکولنیونپورن و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در پژوهشی به بررسی اثرات خارجی منفی تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی پرداختند. هدف این تحقیق ارزیابی اثرات خارجی منفی مربوط به کاهش سلامت انسان ناشی از تولید برق از سوخت‌های فسیلی در کشور تایلند است که بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ رخ داده است. در این پژوهش از

1. Dalia Streimikiene et al.

2. Songsak Sakulniyomporn et al.



روش رویکرد گذرگاه اثرات<sup>۱</sup> (IPI) استفاده شده است. نتایج نشان داد که آلودگی محیطی سبب خسارت قابل ملاحظه‌ای در زمینه مرگ زودرس و شیوع بیماری‌ها می‌شود. هزینه متوسط این خسارت‌ها در سال ۲۰۰۵ در مجموع ۶۰۰ میلیون دلار آمریکا بوده است، که در این صورت نرخ بین ۰/۰۵ تا ۴/۱۷ سنت بسته به نوع سوخت به ازای هر کیلووات ساعت خواهند داشت. این موضوع دلالت بر آن دارد که اثرات خارجی منفی تولید برق نسبت به قیمت تعیین شده برق در بازار بسیار قابل توجه می‌باشد.

المولعلی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر بر رشد اقتصادی کشورهای آمریکای لاتین پرداختند. برای این منظور آن‌ها تولید ناخالص داخلی ۱۸ کشور آمریکای لاتین را در قالب داده‌های تابلویی برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از روش‌ها و آزمون‌های مختلف اثر متغیرهای فوق را بر رشد اقتصادی مطالعه کردند. به‌عنوان مثال برآوردهای آن‌ها به روش حداقل مربعات معمولی پویای تابلویی<sup>۳</sup> نشان داد که مصرف برق از منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر اثر مثبت بلندمدت بر رشد اقتصادی دارد؛ اما نکته مهم این نتایج این است که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثر قابل ملاحظه‌تری بر افزایش رشد اقتصادی نسبت به مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر چه در بلندمدت و چه در کوتاه‌مدت دارد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که کشورها بر روی توسعه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری بیشتری انجام دهند، تا سهم این انرژی‌ها در سبد مصرفی انرژی اقتصاد افزایش یافته و به دنبال آن اهدافی نظیر کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی، کاهش گرمایش جهانی و امنیت انرژی نیز تحقق یابد.

او و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) با توجه به نقش اساسی صنعت برق در اقتصاد، تحقیقی را با عنوان "اثرات اقتصادی کمبود برق" در اقتصاد چین انجام دادند. آن‌ها ارزیابی مقداری اثرات این کمبودها را برای حل این مشکل ضروری می‌دانند. آن‌ها با استفاده از یک الگوی تعادل عمومی ایستا<sup>۵</sup> و نیز ماتریس حسابداری اجتماعی<sup>۱</sup> هشت بخش اقتصادی

1. Impact Pathway Approach
2. Usama Al-mulali et al.
3. Panel Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS)
4. Peng Ou et al.
5. Computable General Equilibrium (CGE)

منتخب در سال ۲۰۰۷، به تحلیل اثرات کمبود انرژی برق سخت و نرم بر اقتصاد چین پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد اثرات منفی کمبود انرژی برق بر توسعه اقتصادی چین بسیار قابل ملاحظه است و این تأثیر نامطلوب در بخش‌های اقتصادی مختلف، متفاوت می‌باشد. به خصوص وجود کمبود انرژی برق سخت، تأثیر منفی شدیدی بر بخش صنعت خواهد داشت.

آتمز و هتالینگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) به مطالعه اثر تولید انرژی برق از منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر بر رشد اقتصادی پرداختند. این دو پژوهشگر با استفاده از داده‌های مربوط به ۱۷۴ کشور جهان در بازه سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲، برخلاف اکثر تحقیقات پیش از آن به جای استفاده از داده‌های مربوط به مصرف انرژی برق از داده‌های مربوط به تولید برق استفاده کردند؛ که این نیز به دلیل وجود تلفات در شبکه انتقال و توزیع برق و همچنین وجود سرقت برق است که سبب می‌شود تمام برق تولید شده به مصرف تبدیل نشود. برای انجام این مطالعه از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته<sup>۳</sup> (GMM) استفاده شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که یک رابطه مثبت قابل توجه و معنی‌دار به لحاظ آماری، میان تولید برق از منابع تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر و رشد اقتصادی وجود دارد. دنیچ و آکدوگان<sup>۴</sup> (۲۰۱۹) رابطه میان تولید انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی و رشد اقتصادی پایدار را با استفاده از رویکرد مدل تصحیح خطای برداری<sup>۵</sup> (VECM)، برای کشور ترکیه مورد بررسی قرار دادند. با بررسی رابطه علی میان این سه متغیر در کوتاه‌مدت و بلندمدت طی دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶ مشخص شد که چه در بلندمدت و چه در کوتاه‌مدت یک رابطه علی دو سویه مثبت میان تولید انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی وجود دارد. نتایج پژوهش آن‌ها بیان می‌کند که به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار در کشور ترکیه، لازم است تا تولید انرژی تجدیدپذیر افزایش و مصرف انرژی کاهش پیدا کند.

در داخل کشور نیز تحقیقات زیر انجام شده است:

حیدری، نجار فیروزجایی و سعیدیپور (۱۳۹۰) رابطه بین مصرف برق، قیمت برق و رشد اقتصادی در ایران را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور رابطه کوتاه‌مدت و

- 
1. Social Accounting Matrix (SAM)
  2. Atems & Hotaling
  3. Generalized Method of Moments (GMM)
  4. Dilek Temiz Dinç and Ece C. Akdogan
  5. Vector Error Correction Model (VECM)

بلندمدت بین مصرف برق و رشد اقتصادی را در چارچوب مدل طرف عرضه و همچنین نحوه تأثیرپذیری مصرف برق و رشد اقتصادی از قیمت آن را در چارچوب مدل طرف تقاضا طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۵۱ مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور از تکنیک اقتصادسنجی رهیافت آزمون کرانه‌ها استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل طرف عرضه، وجود رابطه بلندمدت یک طرفه از رشد اقتصادی به مصرف برق را با ضریب منفی نشان می‌دهند. نتایج کوتاه‌مدت نیز بر وجود رابطه دوطرفه و مثبت بین مصرف برق و رشد اقتصادی دلالت می‌کند.

شریفی و همکاران (۱۳۹۲) جایگزینی سوخت‌های فسیلی به‌وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر را با استفاده از روش کنترل بهینه در ایران مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش، یک مدل کنترل بهینه به‌منظور حداکثر کردن رفاه اجتماعی طراحی و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، مسیرهای بهینه جایگزینی انرژی خورشیدی و بادی به جای سوخت‌های فسیلی طی زمان در ایران ترسیم شد. نتایج تحقیق نشان داد در صورت ثابت ماندن هزینه تبدیل انرژی خورشیدی و بادی و در نظر گرفتن نرخ تنزیل اجتماعی ۵ درصد، انتقال از انرژی‌های فسیلی به سمت انرژی خورشیدی و بادی باید ۷۷ سال پس از سال مبنا یعنی در سال ۱۴۶۶ صورت پذیرد و در صورتی که هزینه تبدیل انرژی خورشیدی و بادی هر ده سال به میزان ۵۰ درصد کاهش یابد، این انتقال باید ۲۰ سال پس از سال مبنا یعنی در سال ۱۴۰۹ صورت گیرد.

مطهری و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی اقتصادی بهره‌گیری از نیروگاه‌های بادی در ایران با در نظر گرفتن اثر سیاست آزادسازی قیمت انرژی پرداختند. در این تحقیق اثر سیاست‌های آزادسازی قیمت تمام‌شده انرژی در مقرون به‌صرفه شدن نیروگاه‌های بادی نسبت به نیروگاه‌های گازی مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه هزینه تمام شده تولید برق از منابع مختلف شامل انرژی باد و سوخت‌های فسیلی از روش (هزینه هم‌تراز شده) استفاده شده است. به علاوه در محاسبات مربوط به هزینه تمام‌شده برق، نرخ‌های مختلف ارز، فناوری‌های مختلف نیروگاه‌های بادی و قیمت‌های متفاوت انواع سوخت در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که با هدفمند کردن قیمت سوخت در کشور، نیروگاه‌های بادی کاملاً مقرون به‌صرفه بوده است.

جعفری صمیمی و علیزاده (۱۳۹۵) تأثیر مالیات سبز بر رشد اقتصادی در ایران را با استفاده از روش تعادل عمومی قابل محاسبه شبیه‌سازی کردند. در این راستا از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۰ استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش نرخ مالیات سبز به عنوان مالیات غیرمستقیم در تمامی سناریوها، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد. همچنین در همه سناریوها با لحاظ اثر مثبت کاهش آلودگی، تغییرات رشد اقتصادی مثبت است و میزان آن با افزایش نرخ مالیات افزایش می‌یابد.

و سرانجام، مجدزاده طباطبایی و هادیان (۱۳۹۶) سیاست قیمت‌گذاری تعرفه‌ای را به منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران مورد بررسی قرار دادند. برای بررسی اثرات اقتصادی، رفاهی و زیست‌محیطی چنین سیاست‌هایی از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی در قالب یک الگوی تعادل عمومی پویای بازگشتی قابل محاسبه با رهیافت تلفیقی استفاده شده است. نتایج مستخرج از این پژوهش نشان می‌دهد که در صورت تعیین هدف کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن، قطعاً کاهش تولید ناخالص تعادلی بخش‌های مختلف اقتصاد ایران را به دنبال خواهد داشت و کاهش بیشتر آلودگی‌های محیط‌زیست با افزایش در کاهش تولید ناخالص تعادلی همراه خواهد بود.

#### ۴- روش تحقیق و داده‌ها

در این قسمت با توجه به محدودیت حجم مقالات، توضیح مختصری در رابطه با روش مورد استفاده در این پژوهش که روش تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) است، ارائه خواهد شد و اساسی‌ترین ارکان آن را به همراه برخی از معادلات اصلی به کار گرفته شده در این روش که در ارتباط با متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد، بیان می‌گردد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در مطالعات مربوط به صنعت برق، مدل‌های ریاضی متنوعی با توجه به اهداف پژوهش و نمونه مورد بررسی انتخاب می‌شود. به عنوان مثال در مطالعه خدادادکاشی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی پویایی کارایی در شرکت‌های توزیع برق ایران از رویکرد بی‌زین استفاده شده

است. در پژوهش حاضر نیز با توجه به کلان‌نگر بودن مطالعه و هدف بررسی شاخص‌های کلان اقتصادی، روش تعادل عمومی قابل محاسبه به کار گرفته شده است. الگوهای تعادل عمومی به فرمول‌بندی جریان چرخشی درآمد-مخارج یک اقتصاد می‌پردازند که در آن، تولیدکنندگان، عوامل تولید و مصرف‌کنندگان در نظر گرفته می‌شود. مبادلات در این مدل‌ها بر اساس رفتار بهینه‌سازی عاملین اقتصادی صورت می‌گیرد، به نحوی که مصرف‌کنندگان تابع مطلوبیت خویش را با توجه به سطح بودجه به حداکثر می‌رسانند و به این ترتیب طرف تقاضای مدل مشخص می‌شود. تولیدکنندگان نیز در پی حداکثر کردن سود خویش هستند که در نتیجه طرف عرضه مدل معین می‌شود. قیمت‌های بازار در وضعیت تعادلی شرایط لازم را برای تعادل فراهم می‌آورند. برای تمامی کالاها و خدمات، عرضه برابر تقاضا خواهد بود و در صورتی که بازده نسبت به مقیاس ثابت باشد، شرط سود صفر برای کلیه فعالیت‌ها صادق است (طیبی و مصری‌نژاد، ۱۳۸۵: ۱۳۲-۱۰۳).

از مزیت‌های اصلی این مدل این است که برخلاف مدل‌های اقتصادسنجی نیاز اندکی به داده‌های اقتصادی دارد و صرفاً با در اختیار داشتن جداول داده-ستانده یا ماتریس حسابداری اجتماعی یک سال به‌خصوص، می‌توان این مدل‌ها را به اجرا درآورد. در نتیجه با در اختیار داشتن داده مناسب، این مدل‌ها می‌توانند با در نظر گرفتن تمامی فعالیت‌های اقتصادی و پیوندهای میان این فعالیت‌ها به‌صورت همزمان، اثرات کمی یک شوک را بر اقتصاد در شرایط تعادلی نشان دهند.

در مجموع می‌توان یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه را در قالب چند بخش اصلی بیان نمود که عبارتند از ماتریس حسابداری اجتماعی، فعالیت‌های تولیدی، بازار عوامل تولید، نهادها، بخش خارجی اقتصاد و شرایط تعادلی اقتصاد. در ادامه با توجه به اهداف این پژوهش و نیز در نظر گرفتن محدودیت حجم مقاله تنها اشاره‌ای به ماتریس حسابداری اجتماعی و نیز معادلات مربوط به تولید و خانوار در بخش ساختار مدل می‌شود.

#### ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM)

ماتریس حسابداری اجتماعی یک چارچوب کلی از داده‌های اقتصادی است که جزئیات موجود در اقتصاد یک کشور را به‌صورت دقیق نشان می‌دهد. در حقیقت،

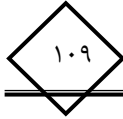
ماتریس حسابداری اجتماعی یک ماتریس مربع است که در آن هر حساب توسط یک سطر و ستون نشان داده می‌شود. بر این اساس هر سلول از این ماتریس، پرداختی را از حساب موجود در ستون به حساب موجود در سطر نمایش می‌دهد. در نتیجه درآمد یا ورودی یک حساب در طول سطر این ماتریس و مخارج یا خروجی آن حساب در طول ستون این ماتریس به نمایش در می‌آید. بر همین اساس، برای هر حسابی در ماتریس حسابداری اجتماعی، بایستی مجموع درآمدها با مجموع مخارج برابر باشد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ماتریس حسابداری اجتماعی به اشکال مختلفی با بلوک‌بندی‌های متفاوت تهیه می‌شوند. لذا ممکن است حساب‌ها و عوامل اقتصادی معرفی شده در هر ماتریس اجتماعی با ماتریس اجتماعی دیگر متفاوت باشد. همین تفاوت در ماتریس حسابداری اجتماعی سبب ایجاد تفاوت در ساختار معادلات موجود در مدل تعادل عمومی قابل محاسبه خواهد شد.

در پژوهش حاضر، از آخرین و به روزترین ماتریس حسابداری اجتماعی موجود در کشور که همان ماتریس حسابداری اجتماعی تهیه شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی جمهوری اسلامی ایران برای سال ۱۳۹۰ می‌باشد، استفاده شده است. در نتیجه ساختار معادلات مدل معرفی شده نیز با توجه به این ماتریس بیان شده‌اند.

### ساختار مدل

#### فعالیت‌های تولیدی

فعالیت‌های تولیدی نشان‌دهنده کلیه فعالیت‌های موجود در مرزهای داخلی یک کشور در جهت تولید کالاها و خدمات است. در یک ماتریس حسابداری اجتماعی، در بلوک فعالیت‌های تولیدی، زمانی که یک رشته فعالیت خاص را در نظر بگیریم، خواهیم دید که این رشته فعالیت یک سری خریدها از سایر فعالیت‌ها به‌عنوان نهاده واسطه دارد و نیز از عوامل تولید یعنی نیروی کار و سرمایه و... خرید می‌کند. نهایتاً جمع ستونی این موارد ارزش تولید ناخالص داخلی را برای ما مشخص خواهد نمود. لذا می‌توان این‌گونه در نظر گرفت که یک بنگاه تولیدی با استفاده از ترکیبی از نهاده‌های واسطه در غالب



یک تابع لئونتیف و نیز عوامل تولید مرکب در غالب یک تابع کاب داگلاس طی یک فرآیند حداکثرسازی سود، اقدام به تولید کالا و خدمات مربوط به خود می‌کند. در این راستا، بنگاه نوعی ز جهت استفاده از ترکیبی از نهاده‌های واسطه مسئله حداکثرسازی سود خود را با توجه به روابط (۱) و (۲) انجام می‌دهد:

$$\max_{Z_j, Y_j, X_{i,j}} \pi_j^z = p_j^z Z_j - (p_j^y Y_j + \sum_i p_i^q X_{i,j}) \quad (1)$$

با توجه به محدودیت

$$Z_j = \min \left( \frac{X_{i,j}}{ax_{i,j}}, \frac{Y_j}{ay_j} \right) \quad (2)$$

همچنین مسئله حداکثرسازی سود بنگاه با توجه به نهاده مرکب با استفاده از روابط (۳) و (۴) تعریف می‌گردد:

$$\max_{Y_j, F_{h,j}} \pi_j^y = p_j^y Y_j - \sum_h p_h^f F_{h,j} \quad (3)$$

با توجه به محدودیت

$$Y_j = b_j \prod_h F_{h,j}^{\beta_{h,j}} \quad (4)$$

متغیرهای موجود در روابط فوق عبارتند از:  $\pi_j^y$  سود ز امین بنگاه تولیدکننده نهاده مرکب  $\pi_j^z$ ،  $Y_j$  سود ز امین بنگاه تولیدکننده محصول ناخالص داخلی  $Z_j$ ،  $Y_j$  نهاده مرکب،  $F_{h,j}$  عامل تولید مورد استفاده توسط بنگاه ز ام،  $Z_j$  محصول ناخالص داخلی بنگاه ز ام،  $X_{i,j}$  نهاده‌های واسطه‌ای کالای  $i$  ام مورد استفاده توسط بنگاه ز ام،  $p_j^y$  قیمت نهاده مرکب ز ام،  $p_h^f$  قیمت عامل تولید  $h$  ام،  $p_j^z$  قیمت ز امین محصول ناخالص داخلی،  $p_i^q$  قیمت  $i$  امین کالای مرکب،  $\beta_{h,j}$  ضریب کشش در تابع تولید نهاده مرکب،  $b_j$  ضریب مقیاس در تابع تولید نهاده مرکب،  $ax_{i,j}$  ضرایب نهاده واسطه‌ای  $i$  ام در تابع لئونتیف برای تولید یک واحد از کالای ز ام و  $ay_j$  ضرایب کالای مرکب ز ام در تابع لئونتیف برای تولید یک واحد از کالای ز ام.

## رفتار خانوار و رفاه

هر خانوار دارای منابع مختلف درآمدی است. در مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه، معمولاً سه منبع اصلی درآمدی را برای خانوار در نظر می‌گیرند که عبارتند از درآمد نیروی کار، درآمد سرمایه و درآمد ناشی از پرداخت‌های انتقالی از سایر نهادها. می‌توان درآمد ناخالص خانوارها را در قالب رابطه زیر بیان نمود:

$$YH_h = YHL_h + YHK_h + YHTR_h \quad (5)$$

رابطه (۵) را به صورت زیر نیز می‌توان بازنویسی کرد:

$$YH_h = \sum_h p_h^f FF_h + \sum_{ag} TR_{h,ag} \quad (6)$$

بر اساس روابط (۵) و (۶) می‌توان میزان درآمد خانوار که صرف مصرف نهایی برای کالاها و خدمات می‌شود را طبق رابطه (۷) نوشت؛ به عبارت دیگر رابطه (۷) قید بودجه خانوار را نشان می‌دهد:

$$\sum_i p_i^q X_i^p = \sum_h p_h^f FF_h + \sum_{ag} TR_{h,ag} - S^p - T^d \quad (7)$$

هدف اصلی خانوار حداکثرسازی مطلوبیت است. بر همین اساس خانوارها به دنبال حداکثرسازی تابع مطلوبیت زیر با توجه به قید بودجه مطرح شده در رابطه (۷) هستند.

$$\max_{X_i^p} UU = \prod_i (X_i^p)^{\alpha_i} \quad (8)$$

با حل این مسئله بهینه‌سازی می‌توان تابع تقاضای خانوار را نیز مطابق رابطه (۹) استخراج نمود:

$$X_i^p = \frac{\alpha_i}{p_i^q} \left( \sum_h p_h^f FF_h + \sum_g TR_{h,ag} - S^p - T^d \right) \quad (9)$$

متغیرهای موجود در روابط (۵) تا (۹) به شرح زیر است:  $YH_h$  کل درآمد خانوار  $h$ ،  $YHL_h$  درآمد حاصل از سرمایه خانوار  $h$ ،  $YHK_h$  درآمد حاصل از نیروی کار خانوار  $h$ ،  $YHTR_h$  درآمد خانوار از پرداخت‌های انتقالی،  $FF_h$  موجودی  $h$  امین عامل تولید در اختیار خانوار،  $TR_{h,ag}$  پرداخت انتقالی از نهاد  $ag$  به خانوار  $h$ ،  $S^p$  پس‌اندازهای خانوار،  $T^d$  مالیات‌های مستقیم،  $X_i^p$  مصرف خانوار از کالای  $i$ ،  $p_i^q$  قیمت امین کالای مرکب،



قیمت  $h$  امین عامل تولید،  $UU$  مطلوبیت و  $\alpha_i$  پارامتر نشان‌دهنده سهم در تابع مطلوبیت ( $0 \leq \alpha_i \leq 1$  و  $\sum_i \alpha_i = 1$ ).

حال به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در رفاه خانوار، بایستی از یک شاخص معین استفاده نمود. معیار اساسی در بررسی‌های مرتبط با رفاه افراد تابع مطلوبیت است. بر اساس چگونگی تعریف تابع مطلوبیت می‌توان با استفاده از شاخص‌های مختلف تغییرات در رفاه افراد را اندازه‌گیری کرد. یکی از متداول‌ترین این شاخص‌ها، تغییرات معادل<sup>۱</sup> (EV) است. اولین بار این شاخص توسط جان هیکس<sup>۲</sup> (۱۹۳۹) معرفی شد. این شاخص بیان می‌کند که یک مصرف‌کننده یا مطابق موضوع این پژوهش، خانوارها، حداکثر حاضر هستند چه میزان از درآمد خود را پرداخت کنند تا از افزایش قیمت‌ها جلوگیری شود. لذا می‌توان این معیار را برحسب تابع مخارج خانوار و در نظر گرفتن تابع مطلوبیت، به شکل زیر بیان کرد:

$$EV = E(P^b, u^p) - E(P^b, u^b) \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)،  $E$  تابع مخارجی است که مصرف‌کننده با توجه به بردار قیمت‌های  $P$  برای دستیابی به سطح مطلوبیت  $u$  با آن مواجه است. عبارت  $E(P^b, u^p)$  تابع مخارج پس از اعمال سناریوها و  $E(P^b, u^b)$  تابع مخارج قبل از اعمال سناریوها را نشان می‌دهد.

البته شایان ذکر است که با توجه به ماتریس حسابداری اجتماعی در دسترس برای اقتصاد ایران در سال ۱۳۹۰، در طراحی مدل تعادل عمومی قابل محاسبه و نگارش معادلات مربوط به آن در این پژوهش، نوآوری‌ها و ملاحظات اساسی در نظر گرفته شده است. به‌عنوان نمونه، اولاً، معادلات مربوط به نهاده مختلط در مدل منظور شده است. ثانیاً چگونگی اثرگذاری بخش خارجی بر خانوارها و نهاده‌ها تبیین شده است. ثالثاً با توجه به اینکه عایدی از محل نهاده‌های تولید به واسطه ساختار نسبتاً دولتی اقتصاد ایران تماماً به حساب خانوار منظور نمی‌شود بلکه بخشی به حساب دولت و بخشی نیز به حساب برخی بنگاه‌های دیگر منظور می‌گردد، لذا هم معادلات بخش دولت با توجه به عایدی از محل عرضه منابع (سهم دولت) اصلاح و هم حسابی تحت عنوان حساب بنگاه

1. Equivalent Variation  
2. John Hicks

در مدل لحاظ شده است. همچنین، مدل پایه مورد استفاده در این پژوهش بر اساس روابط مالی بین نهادی توسعه داده شده و پرداخت‌های انتقالی بین نهادی موجود در ماتریس حسابداری اجتماعی موجود نیز در مدل لحاظ شده است.

### بستار کلان، شروط تسویه بازارها و کالیبراسیون مدل

بستار کلان در مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه به مجموعه‌ای از فروض اطلاق می‌شود که نحوه تعیین متغیرهای برون‌زا در مدل رامشخص می‌کند. این بستارهای کلان در مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه تعیین‌کننده محدودیت‌های مورد نظر بر روی پس‌انداز و سرمایه‌گذاری، دولت و تراز پرداخت‌ها هستند. در این پژوهش نیز پس‌انداز توسط دو معادله (۱۱) و (۱۲) در داخل مدل تعیین می‌شود. سرمایه‌گذاری نیز باید به نحوی تعدیل گردد که برابری پس‌انداز و سرمایه‌گذاری حفظ شود.

$$SS^P = SS^P \sum_h p_h^f FF_h \quad (11)$$

$$SS^G = SS^G \left( T^d + \sum_j T_j^z + \sum_j T_j^m \right) \quad (12)$$

در روابط فوق،  $SS^P$  میل متوسط به پس‌انداز توسط خانوار،  $SS^G$  پس‌انداز دولت،  $T_j^m$  و  $T_j^z$  به ترتیب مالیات بر تولید و تعرفه واردات بر روی کالای  $z$  ام هستند. در رابطه با دولت نیز بستار مورد نظر ثابت بودن ترکیب مخارج دولت است. درآمدهای دولت و پس‌انداز آن در درون مدل تعیین می‌گردد. در مورد تراز پرداخت‌ها نیز دو محدودیت مطرح می‌باشد؛ اول آنکه پس‌انداز خارجی برون‌زا و دوم اینکه نرخ ارز درون‌زا است و در داخل مدل تعیین می‌شود.

شروط تسویه بازارها نیز به منظور برقراری برابری عرضه و تقاضا در کلیه بازارها مطرح می‌شود. در مدل ارائه شده در این پژوهش نیز دو شرط تسویه بازار به شکل زیر مطرح است:

$$Q_i = X_i^P + X_i^G + X_i^V + \sum_j X_{i,j} \quad \forall_i \quad (13)$$

$$\sum_j F_{h,j} = FF_h \quad \forall_h \quad (14)$$

که رابطه (۱۳) بیانگر شرط تسویه بازار کالاها و رابطه (۱۴) شرط تسویه بازار نهاده‌ها است؛ که در این روابط  $Q_i$  امین کالای مرکب آرمینگتون<sup>۱</sup> که توسط خانوار، دولت، سرمایه‌گذاری و کالای واسطه مصرف می‌شود،  $X_i^g$  تقاضای مصرفی دولت از کالای  $i$  ام و  $X_i^v$  تقاضای سرمایه‌گذاری از کالای  $i$  ام است.

کالیبراسیون به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن پارامترهای نامشخص موجود در معادلات مدل با استفاده از داده‌های موجود در ماتریس حسابداری اجتماعی محاسبه می‌گردند، یا با استفاده از مطالعات انجام شده در گذشته، مقادیر آنها به صورت داده شده در مدل قرار می‌گیرد تا با استفاده از آنها در صورت اجرای مدل مقادیر ماتریس حسابداری اجتماعی را باز تولید کند. در پژوهش حاضر پارامترهای برون‌زای مدل با استفاده از مطالعات موجود در گزارش بهنگام سازی ماتریس حسابداری اجتماعی مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۳) تعیین شده است.

#### ارزش پولی اثرات منفی زیست‌محیطی تولید برق

عوامل متعددی در تعیین قیمت برق مؤثرند که تغییر آنها سبب تغییر قیمت برق خواهد شد. به عنوان مثال قیمت سوخت تحویلی به نیروگاه‌های تولید برق یکی از این عوامل است (تأثیر افزایش آن بر قیمت برق در مطالعه مشیری و همکاران (۱۳۹۷) مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفته است). همچنین می‌توان متغیرهای دیگری را نیز نام برد که در تعیین قیمت برق مؤثرند؛ اما غالباً در تعیین قیمت برق، آثار منفی ایجاد شده توسط صنعت برق نادیده گرفته می‌شود. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، با توجه به اینکه نقطه تمایز روش‌های تولید برق از منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در آثار خارجی منفی ایجاد شده توسط آنها است، لحاظ نمودن ارزش پولی این اثرات در قیمت برق تصویر کامل‌تری از اثرات تغییر الگوی تولید برق بر متغیرهای کلان اقتصادی ارائه خواهد کرد.

با توجه به انواع آلودگی‌ها و آسیب‌هایی که توسط روش‌های مختلف تولید برق برای محیط‌زیست و انسان ایجاد می‌شود، متخصصین مسائل زیست‌محیطی و بهداشتی در مطالعات و بررسی‌های خود تلاش می‌کنند با تعریف و تعیین انواع متفاوتی از توابع

1. Armington Composite Good

حیات ساختارهای گیاهی، جانوری و انسانی، تأثیر این آلودگی‌ها و آسیب‌ها را بر زندگی گیاهان، جانوران و انسان‌ها بررسی کنند. در این قسمت از نتایج چنین مطالعاتی به‌عنوان بخشی از داده‌های این پژوهش استفاده می‌گردد. یکی از مطالعات معتبر در زمینه برآورد ارزش پولی اثرات منفی یا هزینه‌های خارجی تولید برق، مطالعه انجام شده توسط اتحادیه اروپا است. در این مطالعه که با همکاری کشورهای مختلف و نیز تعداد زیادی از متخصصین حوزه سلامت و محیط‌زیست انجام شده است، هزینه خارجی ناشی از روش‌های مختلف تولید برق برحسب سنت یورو به ازای هر کیلووات انرژی برق تولید شده، محاسبه شده است. بر این اساس در هر روش تولید یک بازه از میزان هزینه خارجی تعیین می‌گردد.

از مزایای این مطالعه که تحت عنوان اکسترن<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) صورت گرفته این پژوهش این است که هم هزینه‌های جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و هم هزینه‌های منطقه‌ای و داخلی روش‌های مختلف تولید برق را در نظر می‌گیرد. همچنین به دلیل اینکه هزینه‌های داخلی مربوط به هر کشور با توجه به شرایط محیطی و ساختار طبیعی آن کشور متفاوت است، در این پژوهش با محاسبه یک بازه برای هزینه خارجی تولید برق تلاش شده است تا قابلیت تعمیم دادن نتایج پژوهش نیز حاصل گردد.

لازم به ذکر است با توجه به این که مطالعه مذکور در سال ۲۰۰۵ صورت گرفته و داده‌های مربوط به ماتریس حسابداری مورد استفاده در پژوهش حاضر مربوط به سال ۲۰۱۱ است، لازم است تا با استفاده از شاخص برابری قدرت خرید (PPP)<sup>۲</sup> نرخ یورو از سال ۲۰۰۵ به ۲۰۱۱ تعیین شود و سپس هزینه خارجی روش‌های مختلف تولید برق برحسب ریال محاسبه شود.

در جدول (۲) این ارقام آورده شده است:

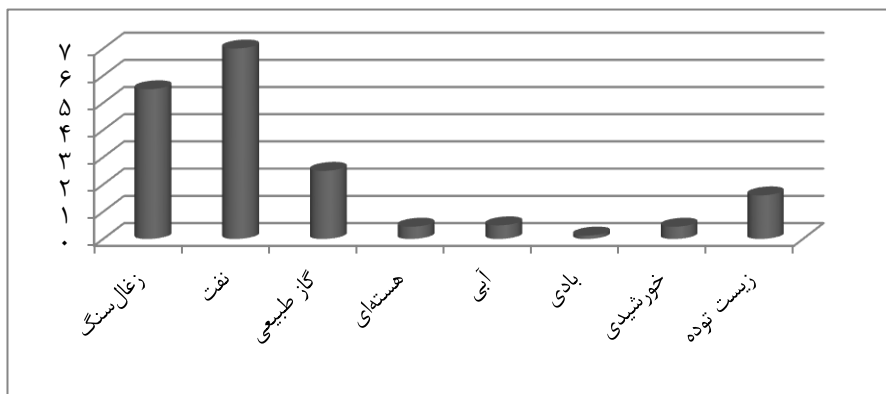
1. ExternE  
2. Purchasing Power Parity

جدول ۲. ارزش پولی اثرات خارجی منفی روش‌های مختلف تولید برق در سال ۱۳۹۰

| ارزش بر حسب ریال/kWh | ارزش بر حسب €/kWh | روش تولید برق |
|----------------------|-------------------|---------------|
| ۴۰۰-۱۷۹۸             | ۲-۹               | زغال‌سنگ      |
| ۶۰۰-۲۱۹۸             | ۳-۱۱              | نفت           |
| ۲۰۰-۸۰۰              | ۱-۴               | گاز طبیعی     |
| ۴۰-۱۴۰               | ۰/۲-۰/۷           | هسته‌ای       |
| <۱۹۹                 | <۱                | آبی           |
| <۵۰                  | <۰/۲۵             | بادی          |
| ۶۰-۱۲۰               | ۰/۳-۰/۶           | خورشیدی       |
| ۴۰-۶۰۰               | ۰/۲-۳             | زیست توده     |

منبع: اکسترن (۲۰۰۵) و یافته‌های تحقیق

برای درک واضح‌تر اینکه پیامدهای خارجی انرژی‌های نو به صورت نسبی چه میزان پیامد خارجی کمتر است، می‌توان ارقام محاسبه شده فوق را در قالب یک نمودار نمایش داد. بر اساس بازه‌های تعریف شده در جدول فوق می‌توان هزینه خارجی تولید برق در ایران را با توجه به سهم هر یک از روش‌های تولید برق در کل برق تولید شده در کشور، به صورت یک میانگین وزنی محاسبه نمود. نمودار (۱) ارزش پولی نسبی پیامدهای خارجی منفی روش‌های مختلف تولید برق را نمایش می‌دهد. در این نمودار بر روی محور عمودی ارزش پولی نسبی پیامدهای خارجی منفی و بر روی محور روش تولید برق نشان داده شده است.



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۱. ارزش پولی نسبی پیامدهای خارجی منفی روش‌های مختلف تولید برق

### ۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

همان گونه که در بخش ۳-۴ اشاره شد، نیاز است تا با توجه به ارقام موجود در جدول (۳)، هزینه خارجی تولید برق در ایران محاسبه شود تا از این طریق بتوان سناریوهای لازم جهت کاربرد در مدل CGE را مشخص نمود. در ساختار تولید برق کشور، دو روش عمده تولید (استفاده از نیروگاه‌های حرارتی و دوم استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر) وجود دارد. روش اول شامل چهار دسته از نیروگاه‌ها است که عبارتند از نیروگاه‌های بخاری، سیکل ترکیبی، گازی و نیروگاه‌های دیزلی این نیروگاه‌ها بر اساس آمار مربوط به سال ۱۳۹۰ جمعاً ۹۴/۷۵ درصد از برق تولیدی کشور را به خود اختصاص دارند. روش دوم در کشور به پنج گروه از نیروگاه‌ها تقسیم می‌گردد که شامل نیروگاه‌های برق آبی، هسته‌ای، بادی، زیست توده یا بیوگاز و خورشیدی می‌شود. این نیروگاه‌ها نیز در مجموع ۵/۲۵ درصد از تأمین برق کشور را بر عهده دارند. از سوی دیگر با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که هزینه خارجی تولید برق ناشی از نیروگاه‌های حرارتی، در قالب سه روش تولید با سوخت زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی آورده شده است. لازم به ذکر است تطبیق آمار موجود در کشور با این طبقه‌بندی با توجه به موجود بودن آمار مربوط به سهم انواع سوخت در تولید نیروگاه‌های حرارتی امکان پذیر می‌باشد. سوخت اصلی نیروگاه‌های حرارتی کشور از سه نوع سوخت عمده تشکیل می‌شود که عبارتند از گاز طبیعی، نفت کوره و گازوئیل. در سال ۱۳۹۰ سهم این سه نوع سوخت در تولید برق حرارتی کشور به ترتیب ۶۲، ۲۳/۷ و ۱۴/۳ درصد بوده است. اگر دو سوخت نفت کوره و گازوئیل را در قالب روش تولید برق از نفت در نظر بگیریم و نیز با توجه به سهم ۹۴/۷۵ درصدی نیروگاه‌های حرارتی در کل برق تولیدی کشور، سهم گاز طبیعی در تولید برق کشور برابر با ۵۸/۷۵ درصد و سهم نفت برابر با ۳۶ درصد خواهد بود.

با توجه به محاسبات فوق و ساختار تولید برق در کشور، می‌توان سهم روش‌های مختلف تولید برق را به تفکیک در قالب جدول ۳ نشان داد.

جدول ۳. سهم انواع نیروگاه‌ها در تأمین برق کشور

| سهم از تولید ناویژه (درصد) | روش تولید برق |
|----------------------------|---------------|
| ۵۸/۷۵                      | گاز طبیعی     |
| ۳۶                         | نفت           |
| ۵                          | برق آبی       |
| ۰/۱۴                       | هسته‌ای       |
| ۰/۰۸                       | بادی          |
| ۰/۰۲                       | زیست توده     |
| ۰/۰۱                       | خورشیدی       |

منبع: آمار بخش تولید برق شرکت توانیر (۱۳۹۱) و یافته‌های تحقیق

از ارقام موجود در جدول (۳) به‌عنوان وزن جهت محاسبه هزینه خارجی تولید برق در ایران به‌صورت میانگین وزنی ارقام جدول (۲) استفاده می‌گردد. در این صورت ارزش پولی هزینه خارجی تولید برق در ایران رقمی در بازه ۳۳۴ تا ۱۲۷۲ ریال به ازای هر کیلووات ساعت به دست می‌آید. از سوی دیگر، با توجه به اهداف پژوهش در جهت تغییر الگوی تولید برق و حرکت به سمت تولید برق پاک، سه سناریو مختلف تعریف می‌شود. در اولین سناریو فرض بر این است که سهم نیروگاه‌های حرارتی که از سوخت فسیلی برای تولید برق استفاده می‌کنند، از ۹۴/۷۵ درصد به ۹۰ درصد کاهش یابد و در مقابل سهم انرژی‌های نو و تجدیدپذیر از ۵/۲۵ درصد به ۱۰ درصد افزایش یابد. در این صورت با محاسبه مجدد ارزش پولی هزینه خارجی تولید برق در ایران بازه قیمتی جدید به دست می‌آید. در این حالت بازه به دست آمده به ۳۱۴ تا ۱۲۰۴ ریال به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی تغییر پیدا می‌یابد. در سناریوی دوم فرض می‌کنیم که سهم نیروگاه‌های حرارتی به ۸۷/۵ درصد کاهش و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ۱۲/۵ درصد افزایش یابد. در این سناریو بازه تعیین شده برای هزینه خارجی تولید برق به ۳۰۴ تا ۱۱۷۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت تغییر خواهد نمود. در نهایت سناریوی سوم بر اساس کاهش سهم نیروگاه‌های حرارتی به ۸۵ درصد و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ۱۵ درصد تعریف می‌شود. این تغییرات سبب خواهد شد تا هزینه خارجی تولید برق در بازه ۲۹۳ تا ۱۱۳۶ ریال به ازای هر کیلووات ساعت قرار گیرد. با توجه به تعیین بازه برای هزینه خارجی تولید برق، در هر یک از سناریوهای مورد بررسی، سه

حد پایین، وسط و بالای هر بازه با استفاده از مدل مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در جدول (۴) درصد تغییرات ایجاد شده در ستانده کل و رفاه مصرف‌کنندگان ناشی اعمال هزینه خارجی تولید برق در قیمت برق را در ساختار فعلی تولید برق و نیز سه سناریو تعریف شده، نسبت عدم اعمال این هزینه‌ها نشان می‌دهیم.

جدول ۴. درصد تغییرات ستانده کل و رفاه مصرف‌کنندگان

| حد بالا | حد وسط              |              | حد پایین            |              |        |             |
|---------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|--------|-------------|
|         | تغییرات رفاه ستانده | تغییرات رفاه | تغییرات رفاه ستانده | تغییرات رفاه |        |             |
| -۷/۱۷۱  | ۰/۰۷۳۶              | -۴/۴۸۴       | ۰/۰۶۹۵              | -۱/۹۵۵       | ۰/۰۵۷۶ | ساختار فعلی |
| -۶/۷۶۴  | ۰/۰۷۳۲              | -۴/۲۴۴       | ۰/۰۶۸۹              | -۱/۸۴۷       | ۰/۰۵۶۵ | سناریو اول  |
| -۶/۵۶۴  | ۰/۰۷۲۹              | -۴/۱۲۵       | ۰/۰۶۸۶              | -۱/۷۹۳       | ۰/۰۵۶  | سناریو دوم  |
| -۶/۳۶۳  | ۰/۰۷۲۷              | -۴/۰۰۵       | ۰/۰۶۸۳              | -۱/۷۳۳       | ۰/۰۵۵۳ | سناریو سوم  |

منبع: یافته‌های تحقیق

خروجی حاصل از مدل نشان می‌دهد که با توجه به وجود هزینه‌های خارجی در بخش تولید برق، همان‌گونه که نظریات مربوط به پیامدهای خارجی در اقتصاد بخش عمومی بیان می‌کنند، اقتصاد از تعادل بهینه اجتماعی خود فاصله دارد. با لحاظ نمودن این هزینه‌ها در قیمت برق، مشاهده می‌کنیم که ستانده کل اقتصاد افزایش یافته است. مطابق نتایج مدل، با اعمال بازه هزینه خارجی برق در ساختار فعلی تولید برق کشور، رشد اقتصادی در محدوده ۰/۰۵۷۶ تا ۰/۰۷۳۶ درصد حاصل می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که اعمال هزینه خارجی تولید برق ما را به نقطه بهینه از نظر اجتماعی نزدیک‌تر می‌کند. به عبارت بهتر، با افزایش قیمت برق که یک نهاد واسطه تولید است، نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که سایر بخش‌های اقتصاد به جز بخش برق، دارای رشد در ستانده هستند که از یک‌سو ناشی از جایگزینی نهاده‌های دیگر به جای برق و از سوی دیگر نتیجه افزایش بهره‌وری در فرآیند تولید است. این مسئله در بسیاری از تحقیقات داخلی و بین‌المللی در زمینه ارتباط میان افزایش قیمت حامل‌های انرژی،



تولید دی‌اکسیدکربن و رشد اقتصادی تأیید شده است و در اکثر این تحقیقات کاهش آلودگی دی‌اکسیدکربن ناشی از اصلاح قیمت‌ها، رشد اقتصادی را به دنبال داشته است. به علاوه، با توجه به رابطه ریاضی ارائه شده برای تابع مطلوبیت خانوارها، افزایش قیمت یک کالا سبب کاهش رفاه خانوار می‌گردد. آن‌گونه که در روابط (۸) و (۹) آمده است، مطابق رابطه (۹) مصرف خانوار از هر کالا رابطه عکس با قیمت کالا دارد. همچنین مطلوبیت خانوار تابعی مستقیم از میزان مصرف و سهم کالا در سبد مصرفی خانوار است که در رابطه با برق، طبق خروجی مدل، این سهم برابر با ۱ درصد می‌باشد؛ بنابراین با افزایش قیمت به هر میزان مطلوبیت و به تبع آن رفاه خانوار کاهش می‌یابد که خروجی مدل نیز کاهشی در محدوده ۱/۹۵۵- تا ۷/۱۷۱- درصدی را تأیید می‌کند. از سوی دیگر، در این پژوهش به دنبال بررسی تغییر الگوی تولید برق بر دو متغیر فوق نیز هستیم. این امر را از طریق تعریف سه سناریو دنبال نمودیم که در جدول (۴) نیز اثرات این سناریوها آورده شده است. تغییر الگوی تولید برق و حرکت به سمت تولید برق پاک در حقیقت همان نزدیک شدن به نقطه بهینه اجتماعی تولید برق است. طی سناریوهای حرکت از ساختار فعلی به سمت سهم ۹۰ درصدی، ۸۷/۵ درصدی و در نهایت ۸۵ درصدی نیروگاه‌های حرارتی بازه محاسبه شده برای درصد رشد اقتصادی به ترتیب (۰/۰۵۶۵ و ۰/۰۷۳۲)، (۰/۰۵۶ و ۰/۰۷۲۹) و (۰/۰۵۵۳ و ۰/۰۷۲۷) و بازه درصد کاهش رفاه خانوار (۱/۸۴۷- و ۶/۷۶۴-)، (۱/۷۹۳- و ۶/۵۶۴-) و (۱/۷۳۳- و ۶/۳۶۳-) به دست آمده است. لذا هر چه به این نقطه بهینه نزدیک می‌شویم، هزینه خارجی کاهش می‌یابد و به تبع آن افزایش در ستانده کل و نیز کاهش در رفاه خانوار نیز کاهش خواهد یافت.

#### ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی در سطح جهانی و نیز در سطح کشور، در این پژوهش، تأثیر صنعت برق و به‌طور خاص بخش تولید برق به‌عنوان یکی از صنایع عمده ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی بر رشد اقتصادی و رفاه خانوار مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با توجه جدیدترین ماتریس حسابداری اجتماعی ایران که برای سال ۱۳۹۰ تهیه شده، یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه معرفی شد تا از این طریق

بتوان تأثیر اعمال پیامدهای خارجی منفی تولید برق بر اقتصاد ایران و به‌طور مشخص بر دو متغیر فوق را بررسی نمود. به این منظور با استفاده از تحقیقات بین‌المللی صورت گرفته در زمینه تعیین ارزش پولی اثرات خارجی منفی ناشی از هر یک از روش‌های تولید برق و سپس تبدیل آن به ارزش ریالی قابل استفاده در ایران و همچنین تعیین سهم هر یک از روش‌های تولید برق در تأمین نیروی برق کشور، بازه معینی برای ارزش پولی اثرات خارجی تولید برق در ایران به دست آمد. سپس تحت چهار سناریو مختلف اثر اعمال این پیامدهای خارجی بر رشد اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت.

در مجموع می‌توان مشاهده کرد که اولاً لحاظ نمودن هزینه‌های خارجی تولید برق در قیمت آن، به رشد اقتصادی کمک خواهد کرد که دلیل آن حرکت از نقطه بهینه خصوصی به سمت نقطه بهینه اجتماعی است که در سطح بالاتری قرار دارد و البته کاهش در رفاه مصرف‌کنندگان که ناشی از افزایش قیمت یک کالای مصرفی و به تبع آن کاهش مصرف و کاهش مطلوبیت است. ثانیاً تغییر الگوی تولید برق و حرکت به سمت تأمین برق از منابع تجدیدپذیر و پاک، علاوه بر اینکه همچنان تأثیر مثبتی بر رشد اقتصادی خواهد داشت، اثرات منفی رفاهی ناشی از اعمال هزینه‌های خارجی تولید برق را کاهش می‌دهد که دلیل این امر نیز کاهش فاصله میان نقاط بهینه خصوصی و اجتماعی است.

بر اساس نتایج ذکر شده در بالا و همچنین اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی در دنیای امروز، نیاز است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در حوزه‌های اقتصاد کلان و صنعت برق تأکید بیشتری بر واقعی‌سازی قیمت‌ها نه تنها بر اساس قیمت تمام‌شده بلکه بر اساس کلیه هزینه‌های مرتبط با تولید یک کالا و به‌طور خاص برق داشته باشند. علاوه بر این، با توجه به اولویت‌بندی‌های موجود میان دو هدف رشد اقتصادی و افزایش رفاه در اهداف چشم‌انداز، نتایج این تحقیق می‌تواند نمایی از اثرات اعمال تغییرات قیمتی در کالای برق با تأکید بر بخش تولید آن را در اختیار مسئولین ذی‌ربط قرار دهد تا تصمیم‌گیری‌های مناسب‌تری در این حوزه اتخاذ گردد. نکته قابل توجه دیگر که نیاز به آن به‌شدت احساس می‌شود، وجود یک پروژه تحقیقاتی گسترده در زمینه محاسبه دقیق اثرات خارجی، نه تنها انرژی برق، بلکه کلیه حامل‌های انرژی و بخش‌های آلاینده است؛ که این امر خود نیازمند همکاری همه‌جانبه میان وزارت بهداشت، سازمان

محیط‌زیست و وزارت نیرو است تا بتوان رقم دقیق پیامدهای خارجی انواع مختلف انرژی با توجه به ویژگی‌های خاص ایران محاسبه نمود.

## منابع

- آرندیان، بهداد. محمدی اردهالی، مرتضی. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی اندازه، مکان و بهره‌برداری از فناوری‌های مختلف سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال چهاردهم، شماره پنجاه و هفتم، ۱-۳۷.
- اسلامی اندازگلی، مجید. (۱۳۸۹). آثار سیاست‌های قیمتی برق بر تولید ناخالص داخلی و سطح عمومی قیمت‌ها در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی.
- اکرمی، عطیه. صادقی، مهدی. (۱۳۸۷). ارزیابی اقتصادی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دهم، شماره دوم، ۴۳-۵۰.
- بهبودی، داود. برقی گلعدانی، اسماعیل. (۱۳۸۷). اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران، فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره پنجم، شماره چهارم، ۳۵-۵۳.
- جعفری صمیمی، احمد. علیزاده ملفه، الهام. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی مالیات سبز بر رشد اقتصادی در ایران با کاربرد روش تعادل عمومی قابل محاسبه، فصلنامه علمی پژوهشی، پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، سال ششم، شماره بیست و دوم، ۵۷-۷۰.
- حقیقی، ایمان. مرتضوی کاخکی، مرتضی. (۱۳۹۱). آثار باز توزیع فرصت‌ها بر نابرابری درآمدی: تحلیل تعادل عمومی، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۷، ۵۲-۷۳.
- حیدری، حسن. نجارفیروزجایی، محمد. سعیدپور، لسیان. (۱۳۹۰). بررسی رابطه میان مصرف برق، قیمت برق و رشد اقتصادی در ایران، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال نوزدهم، شماره پنجاه و نهم، ۱۷۵-۲۰۰.

خداداد کاشی، فرهاد. قاضی‌زاده، محمدصادق. حیدری، کیومرث. اوشنی، محمد. (۱۳۹۶). پویایی کارایی در تنظیم شرکت‌های توزیع برق ایران (رویکرد بیزینس)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال سیزدهم، شماره پنجاه و پنجم، ۱۳۳-۱۵۹.

خوش اخلاق، رحمان. شریفی، علیمراد. پاروند، حامد. (۱۳۹۱). ارائه الگویی جهت محاسبه هزینه اجتماعی نهایی کوتاه‌مدت تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی (مطالعه موردی نیروگاه‌های شهید محمد منتظری و اسلام آباد اصفهان)، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره دهم، ۷۷-۹۷.

دادگر، یدالله. (۱۳۹۲). اقتصاد بخش عمومی، انتشارات دانشگاه مفید، چاپ سوم، قم.

دفتر برنامه‌ریزی کلان و برق کشور، ترازنامه انرژی (۱۳۹۰). وزارت نیرو.

دفتر فن‌آوری اطلاعات و آمار- آمار و اطلاع‌رسانی، چهل و پنج سال صنعت برق ایران در آیین آمار (۱۳۹۰-۱۳۴۶)، شرکت مادر تخصصی توانیر.

دفتر مطالعات اقتصادی، معاونت پژوهش‌های اقتصادی، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، بهنگام‌سازی جدول داده-ستانده، ماتریس حسابداری اجتماعی و طراحی الگوی CGE و کاربردهای آن‌ها در سیاست‌گذاری اقتصادی-اجتماعی، اسفند ماه ۱۳۹۳.

رنانی، محسن. (۱۳۸۹). بازار یا نابازار، مؤسسه آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، چاپ سوم، تهران.

سعیدی، محسن. کرباسی، عبدالرضا. سهراب، تیکا. صمدی، رضا. (۱۳۸۴). مدیریت زیست‌محیطی نیروگاه‌ها. وزارت نیرو- سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا). چاپ اول، تهران.

شریفی، علیمراد. کیانی، غلامحسین. خوش اخلاق، رحمان. باقری، محمدمهدی. (۱۳۹۲). ارزیابی جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در ایران: رهیافت کنترل بهینه، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱۱، ۱۲۳-۱۴۰.

طیپی، کمیل و شیرین مصری نژاد. (۱۳۸۵). روش‌شناسی مدل تعادل عمومی قابل محاسبه: تئوری و کاربرد. فصلنامه بررسی‌های اقتصادی (اقتصاد مقداری)، سال سوم، شماره اول، ۱۰۳-۱۳۱.



مجدزاده طباطبایی، شراره. هادیان، ابراهیم. (۱۳۹۶). بررسی اثرات اقتصادی، رفاهی و زیست‌محیطی سیاست قیمت‌گذاری تعرفه‌ای به‌منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران: کاربرد الگوی تعادل عمومی پویای محاسبه‌پذیر با رهیافت تلفیقی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال ششم، شماره ۲۴، ۱۵۱-۱۸۶.

مزرعتی، محمد. (۱۳۹۲). مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE): مدل‌سازی گام به گام یک اقتصاد دوبخشی با استفاده از نرم‌افزار (GAMS)، شرکت انتشاراتی پارس پیدورا، چاپ دوم، تهران.

مشیری، سعید. مروت، حبیب. نصیری، عباس. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر افزایش قیمت سوخت بر قیمت برق با استفاده از مدل‌سازی عامل بنیان بازار برق، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال چهاردهم، شماره پنجاه و ششم، ۱-۳۴.

مطهری، سید علی‌اکبر. احمدیان، مجید. عابدی، زهرا. غفارزاده، حمیدرضا. (۱۳۹۳). ارزیابی اقتصادی بهره‌گیری از نیروگاه‌های بادی در ایران با در نظر گرفتن اثر سیاست آزادسازی قیمت انرژی، فصلنامه اقتصاد انرژی ایران، سال سوم، شماره دهم، ۱۷۹-۲۰۰.

مهدوی، روح‌الله. (۱۳۹۳). بررسی سیاست‌های مکمل اصلاح قیمت انرژی در بخش حمل و نقل: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، فصلنامه اقتصاد انرژی ایران، سال سوم، شماره دوازدهم، ۱۴۵-۱۷۸.

Al-Mulali, U., Gholipour Fereidouni, H., Lee, J. (2014). "Electricity consumption from renewable and non-renewable sources and economic growth: Evidence from Latin American countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 30, 290-298.

AlShehabi, O. (2012). "Energy and labour reform: evidence from Iran", *Journal of Policy Modeling*, No. 34. 441-459.

Asgari, M. (2005). "Application of Computable General Equilibrium Model (CGE) for the Iranian Economy", Economic Research Centre at Allameh Tabatabaei University, Tehran (Research Project in Persian).

Atems, Bebonchu. And Hotaling, Chelsea. (2018). "The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth", *Energy Policy*, No. 112. 111-118.

ExternE-Pol (2004). Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications, The Externalities of Energy Insecurity, Final Report on Work Package 3, European Commission, 30 November, 34p.

ExternE-Pol, (2005). Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications: New Energy Technologies, Final Report on Work Package 6, European Commission, 15 July, 76p.

Hosoe, N, Gasawa, K and Hashimoto, N. (2010). “Textbook of Computable General Equilibrium Modelling; Programming and Simulations”, Palgrave Macmillan.

International Renewable Energy Agency, (2016). Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA, Abu Dhabi.

Ou, Peng., Huang, Rating., Yao, Xin. (2016). “Economic Impacts of Power Shortage”, Sustainability, Vol. 8 (7). 687 .

Rentizelas, Athanasios. And Georgakellos, Dimitrios. (2014). “Incorporating life cycle external cost in optimization of the electricity generation mix”, Energy Policy, No. 65. 134-149.

Sakulniyomporn, Songsak. Kubaha, Kuskana. And Chullabodhi, Chullapong. (2011). “External costs of fossil electricity generation: Health-based assessment in Thailand”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 15. 3470-3479.

Samadi, S. (2017). The Social Costs of Electricity Generation—Categorising Different Types of Costs and Evaluating Their Respective Relevance. Energies, 10(3), 1-37.

Streimikiene, Dalia. Roos, Inge. And Rekis, Janis. (2009). “External cost of electricity generation in Baltic States”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 13. 863-870.

Temiz Dinç, Dilek. And C. Akdogan, Ece. (2019). “Renewable Energy Production, Energy Consumption and Sustainable Economic Growth in Turkey: A VECM Approach”, Sustainability, 11, 1273.

World Energy Council, (2016). World Energy Resources|2016. London, United Kingdom.

## Economic Evaluation of Environmental Impacts of Changes in Electricity Production Pattern in Iran Using a CGE Model

Majid Maddah

Associate Professor of Economics, Department of Economics, Semnan University, Semnan, Iran. majid.maddah@semnan.ac.ir

Mohammad Mehdi Berijanian<sup>1</sup>

Ph.D. Candidate of Economics, Department of Economics, Semnan University, Semnan, Iran, mmemberijanian@gmail.com

Mohammad Sadegh Ghazizadeh

Associate Professor of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, ghazizadeh.ms@gmail.com

Received: 2018/11/07 Accepted: 2019/05/25

### Abstract

The issue of protecting the environment and preventing environmental pollution is one of the priorities of Iran's economic and social development plans. The purpose of this paper is to analyze changes in the environmental effects of electricity generation, as electricity production patterns change, on production and welfare of households in Iran by using the social accounting matrix of 2011 and a computable general equilibrium model based on that framework. We evaluate four different policy scenarios based on the monetary value of the negative environmental effects of electricity generation. The results indicate that application of electricity generation's negative externalities has a positive effect on economic growth and a negative effect on household welfare. Secondly, with the current structure of electricity generation, the application of external costs of electricity production will increase economic growth by 0.0576 to 0.0736 percent and will reduce household's welfare by -1.955 to -7.171 percent. Thirdly, by changing the pattern of electricity generation in Iran and moving towards clean electricity production and reducing electricity production from fossil fuels, the effect of electricity generation externalities on economic growth and welfare will be reduced. According to the research results, if the share of electricity production from fossil fuels is reduced to 85%, the economic growth and welfare of the household will respectively vary from 0.0553 to 0.0727 percent and from -1.733 to -6.363 percent.

**JEL Classification:** E01, H23, I31, Q43, Q50.

**Keywords:** Electricity Production Environmental effects, Economic Growth, Household's Welfare, CGE Model, Iran.

---

1. Corresponding Author