پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال ششم ، شماره ۲۱، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۲۰۰-۱۶۳

اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بین زمانی[۱]

زهره سلیمیان[۲]
فاطمه بزازان[۳]
میر حسین موسوی[۴]

تاریخ وصول: ۹۶/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲

چکیده:

صنایع انرژی‌بر بخش قابل توجهی از مصرف انرژی بخش صنعت را بخود اختصاص داده‌اند. لذا توجه به بهبود کارایی مصرف انرژی در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهبود کارایی انرژی پیامدهایی نظیر اثرات بازگشتی و اثرات معکوس خواهد داشت، چرا که کاهش مصرف انرژی متناسب با بهبود کارایی رخ نمی‌دهد و حتی ممکن است افزایش یازده به کاهش تقاضای انرژی در سال‌های نخست و افزایش آن در سال‌های آتی بیانجامد. مقاله حاضر به ارزیابی اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر با استفاده از مدل تعادل عمومی پویای بین‌زمانی می‌پردازد. شبیه‌سازی برای دوره بلندمدت (۶۰ سال) در دو سناریو بهبود کارایی به میزان ۳/۱ درصد برای صنایع انرژی بر(سناریوی اول) و برای تمام بخش‌ها (سناریوی دوم) به انجام رسیده است. نتایج بیانگر آن است که بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر به ایجاد اثرات بازگشتی و کاهش تقاضای سوخت های فسیلی در سناریوی اول منجر می‌شود. این در حالی‌است که بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در سناریوی دوم، به ایجاد اثرات بازگشتی در سال‌های نخست و اثرات معکوس عمدتا از سال‌های بیستم به بعد می‌انجامد. به‌عبارت دیگر، در بلندمدت در سناریوی دوم، تقاضای سوخت‌های فسیلی افزایش خواهد یافت. همچنین بهبود کارایی سبب کاهش قیمت‌های تولید انرژی و هزینه تولید محصولات در

---

۱. این مقاله از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «اثرات بهبود کارایی انرژی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویا» که با راهنمایی سرکار خانم دکتر بزازان و مشاوره آقای دکتر موسوی در دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا انجام شده، استخراج شده است.

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه الزهرا ¬نویسنده مسئول
Email:zohre_salimi@yahoo.com
۳. دانشیار گروه اقتصاد دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا
Email:fbazzazan@alzahra.ac.ir
۴. دانشیار گروه اقتصاد دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا
Email:hmousavi@alzahra.ac.ir

صنایع انرژی‌بر می‌شود. صنایع مواد و محصولات شیمیایی و کانی‌های غیر فلزی از بیشترین کاهش قیمت تمام شده در اثر کاهش هزینه‌های انرژی معادل با ۱/۱٪ و ۰/۷٪ برخوردار می‌باشند.

طبقه‌بندی . ..: .. ‘. .. ‘. .. . .

کلیدواژه‌ها: اثرات بازگشتی، صنایع انرژی‌بر، مدل تعادل عمومی پویا

۱. مقدمه

در ایران صنایع انرژی‌بر[۱] سهم قابل توجهی از مصرف انرژی بخش صنعت را بخود اختصاص داده‌اند. بر مبنای آمار سرشماری کارگاه‌های صنعتی مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰، صنایع انرژی‌بر در مجموع بیش از ۷۰ درصد فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت را مصرف می‌نمایند. همچنین دولت برنامه‌های متعددی را نیز برای توسعه صنایع انرژی‌بر نظیر احداث مجتمع‌های پتروشیمی و فولاد دارد که همین موضوع سهم مصرف انرژی صنایع انرژی‌بر را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. به همین علت تمرکز عمده‌ای بر کاهش شدت انرژی در این صنایع صورت پذیرفته است. در کشور ما، اهداف و سیاست-های بلندمدتی برای افزایش کارایی انرژی در بخش‌های مختلف از جمله بخش صنعت و بخصوص صنایع انرژی‌بر وجود دارد. با توجه به وجود اثرات بازگشتی، باید سیاست‌های ارتقا کارایی تکنولوژی‌های انرژی از منظر وجود اثرات بازگشتی و یا معکوس و نیز میزان این اثرات مد نظر قرار گیرند تا سیاستها از تاثیر مناسب برخوردار باشند. تفکر رایج حاکم بر اقتصاد این است که بهبود کارایی سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود. اما بحث مهمی در خصوص تاثیر بهبود کارایی در مصرف انرژی وجود دارد که بدان اثرات بازگشتی

۱.شاخص مشخصی برای تعریف و یا دسته‌بندی صنایع انرژی‌بر وجود ندارد و با مراجعه به سایت اطلاعات انرژی آمریکا (EIA) و نیز پرسش از کارشناسان بخش صنعت در سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) این نتیجه حاصل شد که اگرچه نهاده انرژی در تولیدات تمام صنایع استفاده می‌شود ولی صنایع انرژی‌بر به صنایعی اطلاق می‌شود که هزینه مصارف انرژی آنها به عنوان نهاده تولید قابل توجه و عمده است. بر مبنای مذاکره با کارشناسان بخش صنعت در سازمان بهره وری انرژی ایران، در این مطالعه، صنایع غذایی و آشامیدنی، ساخت کاغذ و محصولات کاغذی، لاستیک و پلاستیک ، محصولات شیمیایی، کانی‌های غیر فلزی، فلزات اساسی، چوب و محصولات چوبی و وسایل نقلیه موتوری بعنوان صنایع انرژی‌بر مورد توجه قرار گرفته اند.

اطلاق می‌شود. بدین ترتیب که اثرات بهبود کارایی انرژی، تحت تاثیر عکس‌العمل سیستم‌های اقتصادی به کاهش قیمت خدمات انرژی قرار می گیرد. بعبارت دیگر اثرات بازگشتی[1] (و یا اثرات معکوس[2]) زمانی رخ می‌دهد که بهبود کارایی مصرف انرژی، تقاضای انرژی را به میزان بهبود کارایی انرژی کاهش نمی‌دهد (و یا حتی آن را افزایش نیز می‌دهد). این اثرات بازگشتی سبب کاهش منافع حاصل از بهبود کارایی مصرف انرژی شده و حتی این امکان وجود دارد که اثر بخشی سیاست‌های بهبود کارایی انرژی از بین برود (خوشکلام، ۱۳۹۳). بعنوان نمونه تولیدکنندگان ممکن است از منفعت حاصل شده در اثر کاهش هزینه (که در اثر بهبود کارایی انرژی رخ داده) برای افزایش تولید محصول خود استفاده نموده و لذا این موضوع سبب افزایش استفاده از نهاده‌های نیروی‌کار، سرمایه و مواد خام خواهد شد و به تبع آن نیز سطح انرژی مصرفی برای تولید را افزایش خواهد داد. همچنین کاهش هزینه‌های انرژی ممکن است که سبب کاهش قیمت محصولات شده و لذا سبب افزایش مصرف محصول و افزایش مصرف انرژی گردد (سورل[3]، ۲۰۰۷).

به استناد پژوهش‌های انجام شده توسط بروکز[4] (۱۹۹۰) و خازوم[5](۱۹۸۰) ، سورل (۲۰۰۷) و ساندرز[6] (۲۰۱۳) فرضیه کوچک بودن اثرات بازگشتی و یا صرفنظر نمودن از اثرات بازگشتی بدلیل کوچک بودن آنها قابل پذیرش نمی‌باشد. حتی در برخی موارد پژوهش‌های انجام شده ¬که در بخش پیشینه موضوع بدانها اشاره می‌شود- حاکی از آن است که بهبود کارایی انرژی در برخی صنایع نظیر صنایع انرژی‌بر، سبب شده که اثرات بازگشتی حتی از ۵۰ درصد نیز فراتر رود. لذا اثرات بازگشتی بزرگتر در بلندمدت به افزایش قابل توجه مصرف انرژی منجر خواهد شد. رفتار اثرات بازگشتی در کوتاه‌مدت و

1. Rebound Effects
2. Backfire Effects
3. Sorrell (2007)
4. Brooks (1990)
5. Khazoom (1980)
6. Saunders (2013)

بلندمدت کاملا متفاوت می‌باشد. بنابراین پس از بررسی وجود یا عدم وجود اثرات بازگشتی در صنایع انرژی‌بر، مهمترین سوالاتی که در این پژوهش بدان پاسخ داده می‌شود بشرح زیر می‌باشد:

- آیا رفتار پویای اثرات بازگشتی در افق کوتاه‌مدت و بلندمدت با هم متفاوت می‌باشد؟

- آیا میزان اثرات بازگشتی در بلندمدت کمتر از اثرات بازگشتی در کوتاه‌مدت می‌باشد؟

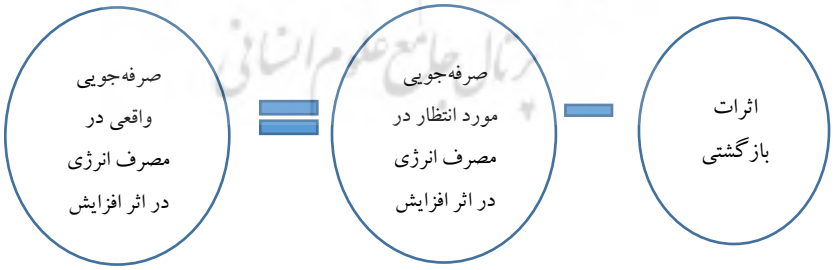
- تحت چه شرایطی در بلندمدت اثرات بازگشتی به اثرات معکوس بدل خواهند شد؟

- آیا امکان شبیه‌سازی رفتار متفاوت تقاضای نهاده انرژی در اثر تغییر در ضرایب فنی و کارایی انرژی در کوتاه‌مدت و بلندمدت وجود دارد؟

شواهد موجود در دیگر کشورها حاکی از آن است که اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت سیاست بهبود کارایی انرژی، باهم متفاوت بوده و اگرچه در افق کوتاه‌مدت ممکن است که ارتقای کارایی انرژی به کاهش مصرف انرژی بیانجامد، ولی حتی در درازمدت این سیاست اثرات معکوس را بدنبال داشته است. بنابراین بررسی تفاوت رفتار پویای اثرات بازگشتی در افق کوتاه‌مدت و دراز مدت از جمله مهمترین اهدافی است که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این مقاله از ۷ بخش اصلی تشکیل شده است. بخش‌های دوم و سوم به مرور ادبیات نظری و تجربی اثرات بازگشتی اختصاص دارد. در بخش ادبیات تجربی، مطالعات پیشین در قالب مطالعات تعادل عمومی ایستا و پویا مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش چهارم روش‌شناسی مدل‌های تعادل عمومی ایستا و پویا ارائه شده است. در این بخش، ویژگی‌های مدل‌های تعادل عمومی پویا به تفکیک مدل‌های بازگشتی و بین‌زمانی ارائه شده و در ادامه بلوک‌های مدل تعادل عمومی در این مقاله و روابط بخش پویا تبیین شده است. بخش پنجم به پایه‌های آماری مدل و کالیبراسیون و بخش ششم نیز به یافته‌ها و نتایج اختصاص دارد. در انتها نیز جمع‌بندی ارائه شده است.

۲. ادبیات نظری

ویلیام استنلی جونز[1] اولین محققی بود که مفهوم اثرات بازگشتی را در کتاب خود در سال ۱۸۶۵ مورد بررسی قرار داد. مشاهدات او حاکی از آن بود که در انگلستان با اختراع موتورهای پربازده بخار، مصرف ذغال افزایش یافته است. چرا که با استفاده از موتورهای پر بازده، ذغال در سایر بخشها و مصارف جدید مورد استفاده قرار گرفته است. او ادعا کرد که اگرچه مصرف ذغال در برخی بخش‌ها (نظیر حمل و نقل) کاهش یافته است ولی مصارف ذغال بطور کلی افزایش داشته است. این تناقض به عنوان تناقض جونز مطرح شد که در آن استفاده اقتصادی و به‌صرفه از سوخت لزوما به کاهش مصرف سوخت نمی-انجامد. اثرات بازگشتی (و یا اثرات معکوس) زمانی رخ می‌دهد که کاهش مصرف انرژی در اثر افزایش کارایی به میزان تخمین زده شده رخ نمی‌دهد. علت این موضوع برخی واکنش‌های رفتاری و استفاده بیشتر از سوخت در مصارف جدید است. علیرغم یافته‌های جونز، موضوع اثرات بازگشتی تا سال ۱۹۸۰ مغفول ماند تا اینکه خازوم و بروکز در دهه ۱۹۸۰ بصورت جداگانه در خصوص تناقض بین افزایش کارایی و افزایش مصرف انرژی یافته‌های پژوهش‌های خود را ارائه نمودند. بصورت کلی می‌توان رابطه اثرات بازگشتی و صرفه جویی در مصرف انرژی را بصورت مفهومی در قالب شکل (۱) نمایش داد (گاوانکار و گیر، ۲۰۱۰)[2].



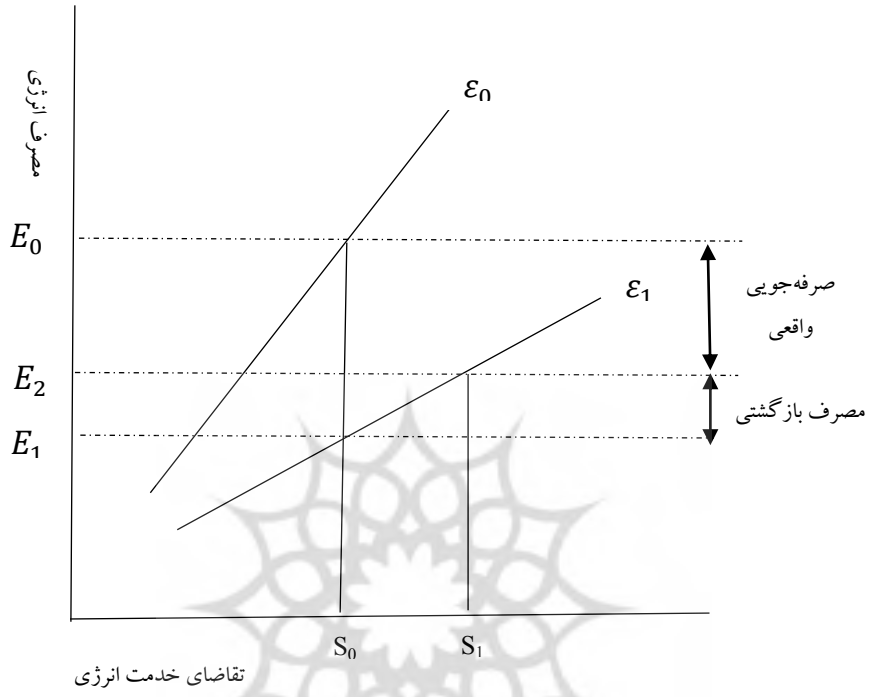
شکل ۱- قالب مفهومی اثرات بازگشتی (منبع: گاوانکار و گیر، ۲۰۱۰)

1. Stanley Jevons
2. Gavankar and Geyer (2010)

گرینینگ (۲۰۰۰) [1] سه نوع اثرات بازگشتی را مشتمل بر اثرات مستقیم، اثرات غیر مستقیم و اثرات بازگشتی کل اقتصاد معرفی نمود. اثرات بازگشتی مستقیم صرفا مربوط به خدمات انرژی و یا بخش انرژی می‌باشد. اثرات بازگشتی مستقیم بیانگر آن است که بهبود کارایی انرژی سبب افزایش تقاضای خدمات انرژی می‌گردد و لذا صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف انرژی کاهش می‌یابد. اثرات بازگشتی غیر مستقیم نیز به تغییر در تقاضای سایر خدمات انرژی پس از بهبود کارایی انرژی در یک بخش خاص از انرژی اشاره دارد. اثرات بازگشتی کل اقتصاد نیز به مجموع اثرات بازگشتی مستقیم و غیر مستقیم اطلاق می‌شود (وانگ و ژو، ۲۰۱۲) [2]. بعبارت دیگر در اثرات بازگشتی مستقیم، اثرات در سطح اقتصاد خرد مطرح است در حالیکه اثرات بازگشتی کل اقتصاد در سطح کلان مطرح می‌شود.

در شکل (۲)، فرض شده است که ε_0 و ε_1 نشان دهنده دو سطح از کارایی انرژی برای یک خدمت انرژی مشخص باشند. اگر تقاضای انرژی در S_0 بدون تغییر باقی بماند، بهبود کارایی انرژی از ε_0 به ε_1 سبب کاهش مصرف انرژی به میزان $E_0 - E_1$ می‌گردد. با این وجود، بهبود کارایی انرژی سبب کاهش هزینه هر واحد خدمت انرژی شده و تقاضای خدمت انرژی را از S_0 به S_1 افزایش می‌دهد. در نتیجه، صرفه‌جویی انرژی واقعی، به میزان $E_0 - E_2$ خواهد بود. این در حالی‌است که پتانسیل صرفه‌جویی محاسبه شده در اثر بهبود بازده برابر با $E_0 - E_1$ است(وانگ و ژو، ۲۰۱۲).

1. Greening (2000)
2. Wang and Zhou (2012)



شکل ۲- نمایی از اثرات بازگشتی مستقیم

۳. ادبیات تجربی

در خصوص مطالعه پیرامون اثرات بازگشتی انرژی در ایران به‌جز دو مورد، مطالعه دیگری وجود ندارد. تمرکز مطالعه اول بر بخش حمل و نقل بوده است که توسط خوشکلام (۱۳۹۳) به انجام رسیده است. مطالعه دوم برای اثرات بازگشتی بهبود کارایی مصرف برق توسط منظور (۱۳۹۰) به انجام رسیده که در این مطالعه بخش صنعت بصورت کلی مد نظر قرار گرفته و به اجزای مختلف تقسیم نشده است. همچنین مدل تعادل عمومی در هر دو مطالعه به صورت ایستا بوده و پویایی در آنها مد نظر قرار نگرفته است.

در این مقاله مطالعات خارجی با توجه به بکارگیری مدل‌های تعادل عمومی ایستا و پویا مورد بررسی قرار گرفته اند. در میان مطالعات انجام شده در خارج از ایران، کسلر و

همکاران (۲۰۱۶) [۱]، لو و همکاران (۲۰۱۷) [۲] و بروبرگ و همکاران (۲۰۱۵) [۳] اثرات بازگشتی را بر مبنای مدل تعادل عمومی ایستا محاسبه نموده اند. در سایر مطالعات یو و همکاران [۴] (۲۰۱۵)، آلن و همکاران [۵] (۲۰۰۷)، هنلی و همکاران [۶] (۲۰۰۹) و ترنر [۷] (۲۰۰۹) اثرات بازگشتی را بر مبنای مدل تعادل عمومی پویا مورد مطالعه قرار داده اند.

۳-۱. ادبیات تجربی مبتنی بر مدل تعادل عمومی پویا

آلن و همکاران [۱۹] (۲۰۰۷) در مقاله خود به بررسی اثرات بازگشتی در بخش‌های تولیدی انگلیس بر مبنای مدل تعادل عمومی پویا پرداخته‌اند. بر مبنای نتایج این پژوهش، بهبود پنج درصدی کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی به اثرات بازگشتی بین ۳۰ تا ۵۰ درصدی منجر می‌گردد. اثرات بازگشتی در بخش‌های تولید برق و انرژی غیرالکتریکی در کوتاه-مدت به‌ترتیب برابر با ۶۲ و ۵۵ درصد بوده است. اثرات بازگشتی در بلندمدت کاهش عمده‌ای می‌یابد. اثرات بازگشتی برای بخش‌های تولید برق و انرژی غیر الکتریکی در بلندمدت بترتیب ۲۷ و ۳۱ درصد بوده است.

هنلی و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله خود حالت‌هایی را بررسی کردند که در آنها افزایش کارایی و بهبود بهره‌وری انرژی باعث کاهش تقاضا (بطور متناسب با افزایش کارایی) نمی‌شود و در مواردی حتی به افزایش مصرف انرژی می‌انجامد. نتایج این مقاله بر مبنای بکارگیری یک مدل تعادل عمومی منطقه‌ای پویا و با در نظر گرفتن روابط بین انرژی، اقتصاد و محیط‌زیست در مدل تعادل عمومی حاصل شده است. این مطالعه برای زیر

1. Koesler et al. (2016)
2. Lu et al. (2017)
3. Broberg et al. (2015)
4. Yu et al. (2015)
5. Allan et al (2007)
6. Hanley et al. (2009)
7. Turner (2009)

بخش‌های تولیدی در اسکاتلند به انجام رسیده است. نتایج حاکی از آن است که بهبود کارایی در اقتصاد باز کوچک سبب افزایش تولید و مصرف انرژی و کاهش شاخص‌های زیست محیطی می‌گردد. در افق کوتاه‌مدت و در واکنش به بهبود ۵ درصدی کارایی انرژی ابتدا مصرف انرژی کمتر از ۵ درصد کاهش می‌یابد ولی در افق بلندمدت مصرف انرژی بدلیل وجود اثرات معکوس به بالاتر از مقدار پایه خود افزایش می‌یابد.

ترنر (۲۰۰۹) در مطالعه خود به بررسی و مطالعه حالت‌هایی پرداختند که در آنها اثرات بازگشتی یا معکوس در اقتصاد انگلیس و اسکاتلند رخ می‌دهد. این بررسی بر مبنای مدل تعادل عمومی پویا صورت پذیرفته است. نتایج حاکی از آن است که اگرچه فشار مثبتی برای ایجاد اثرات بازگشتی (حتی در حالتی که تقاضا برای قیمت‌های انرژی کشش ناپذیر است) در کوتاه‌مدت وجود دارد، این اثرات بازگشتی ممکن است که با اثرات منفی درآمدی و کاهش سرمایه‌گذاری[1] (این دو اثر در زمانی که قیمت‌های انرژی در اثر افزایش کارایی انرژی کاهش می‌یابند ظاهر می‌شوند) در بلندمدت خنثی شوند. نتایج این تحقیق دستاوردهای مطالعات قبلی در انگلیس که در آنها اثرات بازگشتی در بلندمدت نسبت به کوتاه‌مدت بزرگتر بوده را نقض نموده است.

یو و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثرات بازگشتی بر مبنای مدل تعادل عمومی پویای ایالت جرجیای امریکا پرداختند. نتایج مدل برای دوره آخر شبیه سازی (دوره دهم) ارائه شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در بخش‌های بخش‌های بالادستی و پایین دستی تولید انرژی، بخش حمل و نقل و یا بخش‌های با کشش‌های تولید قابل توجه، این اثرات بیشتر می‌باشد. نویسندگان در این مقاله دو سناریو را مد نظر قرار دادند. نتایج اجرای مدل در سناریوی اول حاکی از آن است که با افزایش کارایی انرژی به میزان ده درصد برای تمامی بخشها، اثرات بازگشتی بخش تولید به میزان ۱۵ است. در سناریوی دوم نیز با اعمال شوک به هر بخش به تنهایی، اثرات بازگشتی نسبت به سناریوی اول کوچکتر می‌باشد.

1. Disinvestment effect

۳-۲. ادبیات تجربی مبتنی بر مدل تعادل عمومی ایستا

کسلر و همکاران (۲۰۱۶) از یک مدل شبیه‌ساز تعادل عمومی جهانی (چند منطقه ای و چند بخشی) برای تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از اجرای سیاست‌های بهبود کارایی انرژی در آلمان استفاده نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که رفتار اثرات بازگشتی منجر به اثرات گسترده‌تری در سطح جهانی می‌گردد. به‌عبارت دیگر، بهبود کارایی در کشور آلمان نه تنها به اثرات بازگشتی در این کشور منجر می‌شود، بلکه اثرات بازگشتی در سایر کشورها را بدنبال دارد. بهبود کارایی در دو سناریو در نظر گرفته شده است. با اعمال بهبود کارایی انرژی ۱۰ درصدی در بخش ساخت و تولید آلمان در سناریوی اول، اثرات بازگشتی در سطح بخش، بخش‌های تولیدی کشور، کل کشور و در سطح کشورهای اتحادیه اروپا و کل جهان بترتیب معادل با ۵۶/۴۴ ٪، ۴۷/۶۳ ٪، ۵۱/۳۱ ٪، ۵۰/۲۲ ٪و ۴۸/۱۱ ٪ می‌باشد. اعمال بهبود کارایی ۱۰ درصدی در سناریوی دوم برای کلیه بخش‌ها به اثرات بازگشتی معادل با ۴۶/۶ ٪، ۵۰/۱۸ ٪، ۴۷/۲۸ ٪ و ۴۶/۵۸ ٪ در سطح بخش‌های تولیدی کشور، کل کشور و در سطح سایر کشورهای اتحادیه اروپا و سایر کشورهای جهان منجر می‌شود.

لو و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای اثرات بازگشتی مربوط به بهبود کارایی ۵٪ برای انواع حامل‌های انرژی در ۱۳۵ بخش تولیدی چین را بر مبنای مدل تعادل عمومی ایستا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از آن است بهبود کارایی برق از بیشترین اثر مثبت بر تولید ناخالص داخلی برخوردار می‌باشد. همچنین هیچ‌گونه اثرات معکوس در اثر بهبود کارایی برق مشاهده نمی‌شود. این بدین معناست که بهبود کارایی برق یک سیاست مناسب برای ساختار انرژی کشور چین می‌باشد. همچنین از آنجا که بهبود کارایی در بخش‌های با درجه جانشینی بالاتر منجر به اثرات بازگشتی بزرگتر می‌شود، باید بهبود کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی که جانشینی سوختها در آنها پایین‌تر است صورت پذیرد.

بروبرگ و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به بررسی اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی در مصرف انرژی صنایع سوئدی بر مبنای رویکرد تعادل عمومی ایستا پرداختند. آنها فرضیه‌های مختلف اثرگذار بر اندازه اثرات بازگشتی را مورد مطالعه قرار

دادند و دریافتند که با افزایش کارایی انرژی به میزان پنج درصد در صنایع کشور سوئد، اثرات بازگشتی در محدوده بین ۴۰ تا ۷۰ درصد در اقتصاد سوئد رخ می‌دهد. همچنین با افزایش کارایی انرژی در صنایع انرژی‌بر، میزان اثرات بازگشتی از این رنج نیز فراتر خواهد رفت.

٤. روش شناسی پژوهش

همانگونه که در مقدمه توضیح داده شد، اثرات بازگشتی (و یا اثرات معکوس) زمانی رخ می‌دهد که بهبود کارایی مصرف انرژی، تقاضای انرژی را به میزان بهبود کارایی انرژی کاهش نمی‌دهد (و یا حتی آن را افزایش نیز می‌دهد). برای محاسبه مقادیر اثرات بازگشتی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$RE = (1- \frac{\Delta EA_{actual}}{\Delta EA_{potential}}) * 100 \quad (۱)$$

RE : اثرات بازگشتی

ΔEA_{actual} : درصد تغییرات در مصرف انرژی پس از بهبود کارایی

$\Delta EA_{potentail}$: درصد بهبود کارایی

اثرات بازگشتی، عمدتا بر مبنای مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. بطور کلی "تعادل عمومی" به تعادل رقابتی والراس اطلاق می‌گردد، بطوری که در آنها بنگاه‌ها قیمت‌پذیر هستند و قیمت‌ها آزادنه تعدیل می‌شوند تا بازارها تسویه گردد. نتیجه این چارچوب به برابری عرضه و تقاضا می‌انجامد (خیابانی، ۱۳۹۲). مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) ساختار اقتصادی یک کشور را در چارچوب واقعی با لحاظ مکانیسم‌های بازار در تخصیص منابع نشان می‌دهند. تمرکز عمده این مدلها، بر بخش تولید اقتصاد و چگونگی روابط بین تقاضای نهاده و محصول در زیر بخش‌های اقتصادی در اثر اجرای سیاست‌های مختلف می‌باشد (بروکز، ۱۹۹۰). در واقع مدل‌های CGE شامل مجموعه‌ای از معادلات رفتاری است که حرکت اقتصادی عاملان تعریف شده در مدل و

محدودیت‌های فنی و نهادی آنها را توضیح می‌دهد. عملکرد اصلی این مدل‌ها شبیه‌سازی اثرات سیاست‌های اقتصادی است و به همین دلیل نیز دولت و یا بخش عمومی در مدل مد نظر قرار گرفته است. در این مدل‌ها، الگوهای پیچیده‌ای از عرضه و تقاضا (تولیدکننده و مصرف‌کننده) برای هر کالا وجود دارد که از تقابل آنها قیمت تعادلی حاصل می‌شود. همچنین برای هر کالا محدودیت منابع وجود دارد که تحت این شرایط بنگاه‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده بترتیب ماکزیمم کننده سود و مطلوبیت هستند. به این ترتیب حتی بازار عوامل و محصول به هم مرتبط شده و قیمت‌های تعادلی برای همه کالاها بصورت همزمان تعیین می‌گردد. بنابراین در این مدل‌ها قیمت‌های نسبی و مقادیر بصورت درونزا تعییین می‌شوند. همچنین بر خلاف مدل‌های تعادل جزئی که تک تک بخش‌های اقتصادی در آنها مورد توجه قرار می‌گیرد، رویکرد تعادل عمومی تمام روابط داخل اقتصاد را که شامل معادلات پول و کالا می‌باشد مدل می‌نماید (خیابانی، ۱۳۹۲). از مهمترین ویژگی‌های مدل‌های تعادل عمومی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (برخورداری و همکاران، ۱۳۸۹):

- بکارگیری اصول اقتصادی خرد: مدل‌های تعادل عمومی رفتار تمام کارگزاران اقتصادی را با بکارگیری اصول پذیرفته‌شده بهینه‌یابی و انتخاب[1] در اقتصاد خرد تصریح می‌کنند. این مدل‌ها، رفتار کارگزاران اقتصادی را در یک چارچوب مبتنی بر بازار و در شرایط تعادلی مورد بررسی قرار می‌دهند. چنین ویژگی موجب می‌شود که بررسی رفتار کارگزاران اقتصادی با شفافیت بالا برای محققین اقتصادی فراهم گردد. مدل‌های تعادل عمومی امکان شبیه‌سازی روابط پیچیده را برای تحلیلگران فراهم می‌کنند، نقش و اثر عوامل مختلف را شفاف می‌کنند و تحلیل‌های اقتصادی را با نتایج جدید و گاهی قابل تامل، تقویت می‌کنند.
- سازگاری درونی و شناسایی بازخوردها: مدل‌های تعادل عمومی سازگاری تحلیل را تضمین می‌کنند. سازگاری، بهم پیوستگی‌های درونی کل سیستم را نشان می‌دهد. بعنوان

1. Optimization & Choice

مثال در مدل تعادل عمومی بهینه‌سازی سود تولیدکننده و بیشینه سازی مطلوبیت مصرف-کننده در نظر گرفته می‌شود. لذا شرایط بهینه برای تولید و مصرف همزمان مد نظر قرار می‌گیرد تا ماکزیمم سازی تولید با در نظر گرفتن رفاه مصرف کننده صورت پذیرد. لذا سازگاری تضمین شده در مدل CGE عاملان و سیاستگذاران اقتصادی را قادر میسازد تا رخدادهای متفاوت اقتصاد را در قالب یک مدل یکپارچه بررسی کنند.

- انعطاف‌پذیری در الگوریتم حل مدل از طریق روش‌های عددی: از سوی دیگر، الگوریتم‌های حل مدل‌های تعادل عمومی دارای ویژگی انعطاف‌پذیری هستند و این امر امکان بررسی اثرات شوک‌های بیرونی بر ساختار اقتصادی یا رفتار کارگزاران اقتصادی را فراهم می‌کند.
- امکان بررسی اثرات رفاهی یا زیان ناشی از اتخاذ سیاست‌ها: با بکارگیری مدل‌های تعادل عمومی امکان بررسی اثرات رفاهی یا زیان ناشی از اتخاذ سیاست‌های مختلف وجود دارد. در تحلیل‌های رایج، معمولا اثر تصمیم‌های سیاستی براساس ارزیابی‌های رفاهی بسیار ناقص انجام می‌شود. مدل‌های تعادل عمومی چنین نیاز تحلیلگران اقتصادی را مرتفع می‌سازند.

لذا برای انجام این مطالعه، ابتدا مدل تعادل عمومی اقتصاد کلان ایران شده است. از آنجا که یکی از اهداف مهم این پژوهش بررسی رفتار اثرات بازگشتی در افق کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌باشد، لذا لازم است که ویژگی پویایی برای مدل‌های تعادل عمومی در نظر گرفته شود که در ادامه بیشتر بدان پرداخته می‌شود.

٤-١. مدل‌های تعادل عمومی ایستا و پویا

مدل‌های تعادل عمومی را می‌توان به دو بخش مدل‌های تعادل عمومی ایستا و پویا تقسیم نمود. مدل تعادل عمومی ایستا، متشکل از معادلات یک دوره ای است که وضعیت اقتصاد را در یک زمان خاص نشان می‌دهد. یکی از مهمترین انتقاداتی که به مدل‌های تعادل عمومی ایستا می‌شود، عدم امکان تفسیر نتایج مدل در قالب افق زمانی می‌باشد. به‌عبارت

دیگر عدم امکان شبیه‌سازی در دوره‌های مختلف از جمله مشکلات اصلی مدل‌های تعادل عمومی ایستا می‌باشد. در حالیکه مدل پویا، مجموعه ای از معادلات بین‌زمانی است که تصمیم گیری عاملین اقتصادی را در طول زمان نشان می‌دهد (گانینگ (۱۹۹۵)) [۱]. از مهمترین انتقاداتی که بر مدل‌های ایستا مطرح است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- عدم امکان تفسیر نتایج مدل در قالب افق زمانی و عدم امکان شبیه‌سازی در افق زمانی ((مک کیبین، ۱۹۹۸) [۲]و (گانینگ (۱۹۹۵))

- عدم امکان تعیین زمان مورد نیاز برای تسویه بازارها ((گانینگ (۱۹۹۵) و ،(دیکسون، ۲۰۱۲)) [۳]

- عدم امکان تخصیص بهینه بین مصرف و سرمایه‌گذاری در طول زمان (دواراجان، ۱۹۸۸) [٤]

- عدم امکان تعیین متغیرهای سرمایه‌گذاری و انباشت سرمایه در طول زمان: در مدل‌های ایستا فرض می‌شود که مصرف‌کنندگان سهم ثابتی از درآمد خود را پس انداز می‌کنند (اگرچه این نسبت بصورن درونزا و یا برونزا تعیین می‌شود) و یا تصمیمات سرمایه‌گذاری بر مبنای نرخ جاری بازگشت سرمایه بنا می‌شود. همچنین تقاضای نهاده‌ها بر مبنای تابع تولید یک دوره‌ای استخراج می‌شود (دواراجان،(۱۹۸۸)).

تلاش برای معرفی پویایی در مدل‌های تعادل عمومی به ایجاد رده جدیدی از مدل‌های تعادل عمومی منجر شده است که بدان‌ها مدل تعادل عمومی پویای بین‌زمانی اطلاق می‌شود. مهمترین عامل تفاوت بین مدل ایستا و مدل پویای بین‌زمانی استفاده از محدودیت بودجه و توابع هدف بین‌زمانی برای خانوارها و بنگاه‌ها می‌باشد و لذا زمان در این مدل‌ها

1.Gunning (1995)
2.McKibbin (1998)
3.Dixon (2012)
4.Devarajan (1988)

نقش مهمی را ایفا می‌نماید (خیابانی، (۱۳۹۲)). در ادامه مشخصات مدل‌های پویای بین-زمانی تشریح می‌گردد.

٤-۲. مدل‌های پویای بین‌زمانی

در مدل‌های پویای بین زمانی فرض بر آن است که کارگزاران اقتصادی بر اساس فرض آینده‌نگری کامل، مسیر زمانی سرمایه‌گذاری را بر اساس بهینه‌یابی بین‌زمانی از ارزش حال خالص درآمد خود بدست می‌آورند. همچنین مصرف‌کنندگان مطلوبیت خود را نه فقط بر اساس وضعیت جاری بلکه بر اساس رفاه آینده حداکثر می‌نمایند. ساختار پویایی الگودر مدل‌های تعادل عمومی بین‌زمانی، از مدل کردن مصرف بین‌زمانی و سرمایه‌گذاری در طول زمان بدست می‌آید. به‌عبارت دیگر رفتار سرمایه‌گذاری بین‌زمانی نتیجه حل پویای بهینه مدل بوده و مدل پویای تعادل عمومی از امکان شبیه‌سازی سیاست‌های بین زمانی مختلف نظیر وضع مالیات بر سرمایه‌گذاری نیز برخوردار می‌باشد. همچنین تنزیل درآمد در هر دوره بر مبنای نرخ تنزیل همان دوره و دوره‌های پیشین صورت پذیرفته و تابع رفاه خانوار نیز به عنوان یک متغیر انباشت از درآمدهای تنزیل شده دوره‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود. مصرف‌کننده نمونه نیز مجموع مطلوبیت تنزیل شده خود را نسبت به قید بودجه بین‌زمانی حداکثر می‌نماید. لذا در این مدل‌ها، آینده‌نگری کامل رفتار مصرف-کنندگان و تولیدکنندگان با ارتباط گذشته‌نگر انباشت سرمایه و سرمایه‌گذاری همراه شده است. لازم به ذکر است که در وضعیت تعادل در مدل‌های پویا، هم شروط تعادل عمومی و هم شروط تعادل بین‌زمانی مد نظر قرار خواهند گرفت. شروط بین‌زمانی تعادل تضمین می‌کنند که قیمت‌ها و مقادیر آتی بر رفتار مصرف و سرمایه‌گذاری اثرگذار می‌باشند. در مدل‌های تعادل عمومی ایستا فقط یک نقطه تعادل وجود دارد، در حالیکه در مدل‌های پویا کل مسیر معرف تعادل یا وضعیت پایدار اقتصاد می‌باشد و مسیر تعادل اقتصاد بوسیله دنباله‌ای از نقاط تعادل کوتاه‌مدت حاصل شده است. اما از آنجا که این مدل‌ها در افق

بلندمدت اجرا می‌شوند لذا باید برای آنها شرط پایانی[1] در نظر گرفته شود. ((خیابانی (۱۳۹۲))، (دواراجان (۱۹۸۸))، (مک کیبین (۱۹۹۸))، (دیکسون (۲۰۱۲))، (گانینگ (۱۹۹۵))).

٤-۳. تبیین بلوک‌های مدل

مدل تعادل عمومی در این مطالعه در قالب بلوک‌های زیر تدوین خواهد گردید:

بلوک تولید: بلوک تولید این مطالعه در قالب ساختار سه لایه‌ای تدوین می‌گردد. نهاده-های تولید در سه گروه عوامل تولید (شامل نیروی کار و سرمایه)، کالاهای واسطه و نهاده-های انرژی طبقه‌بندی شده است. نهاده کالاهای واسطه‌ای کل نیز از کالاهای واسطه‌ای بر اساس ساختار تابع تولید لئونتیف تشکیل شده است. هر کالای واسطه‌ای هم می‌تواند در داخل یا از طریق واردات براساس تابع آرمینگتون که یک تابع کشش جانشینی ثابت است (CES) تامین گردد. عوامل تولید از سرمایه و نیروی کار تشکیل شده که تحت یک تابع تولید CES با هم ترکیب شده است. نهاده انرژی کل از ترکیب حامل‌های انرژی متشکل از کالای مرکب فرآورده‌های نفتی و گاز با برق تشکیل شده که می‌تواند از داخل یا خارج خریداری شود که از طریق تابع آرمینگتون با هم ترکیب می‌شوند. در بخش تابع تولید مرکب سه گروه ارزش‌افزوده کل، نهاده انرژی کل و نهاده‌ی کالاهای واسطه با یکدیگر در دو سطح ادغام می‌گردند. در سطح پایین تر، ارزش‌افزوده ی کل و نهاده انرژی کل بوسیله ی تابع تولید CES با یکدیگر ترکیب شده و در لایه‌ی بالاتر تولید، مقدار ترکیبی ارزش‌افزوده ی کل و نهاده‌ی انرژی کل با نهاده‌ی کالاهای واسطه ادغام می‌شوند. در آخرین لایه‌ی تولیدی محصول تولیدی نهایی در بازار داخلی یا خارجی به فروش می‌رود. ساختار تولید در مدل این تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که معادلات بلوک تولید مرتبط با انرژی در پیوست (۱) ارائه شده است. همچنین در طراحی

1.Terminal Condition

ساختار درخت تولید این مطالعه از مطالعات انجام شده توسط لافگرن و همکاران (۲۰۰۲)، خیابانی (۱۳۹۲) و خوشکلام (۱۳۹۳) استفاده شده است.

برای محاسبه اثرات بازگشتی سوخت‌های فسیلی در درخت چند مرحله‌ای تولید شکل (۳)، اثرات بهبود کارایی برای تابع کشش جانشینی ثابت که در آن نهاده سوخت‌های فسیلی با برق باهم ترکیب می‌شوند صورت می‌پذیرد. تابع تولید انرژی (متشکل از سوخت‌های فسیلی و برق) بصورت رابطه ۱ می‌باشد. ضریب η نیز معرف میزان بهبود کارایی می‌باشد. در صورتی‌که مقدار این ضریب از یک بیشتر باشد، مقدار$-\eta$ ۱ نشان دهنده درصد بهبود کارایی خواهد بود. پارامترهای δ و ρ و A و σ بترتیب معرف پارامتر سهم، پارامتر کشش و پارامتر تکنولوژی و کشش جانشینی می‌باشند. با حداکثر سازی سود بنگاه مقید به شرط تابع تولید، تقاضای سوخت‌های فسیلی بصورت رابطه ۲ استخراج می‌شود[1]:

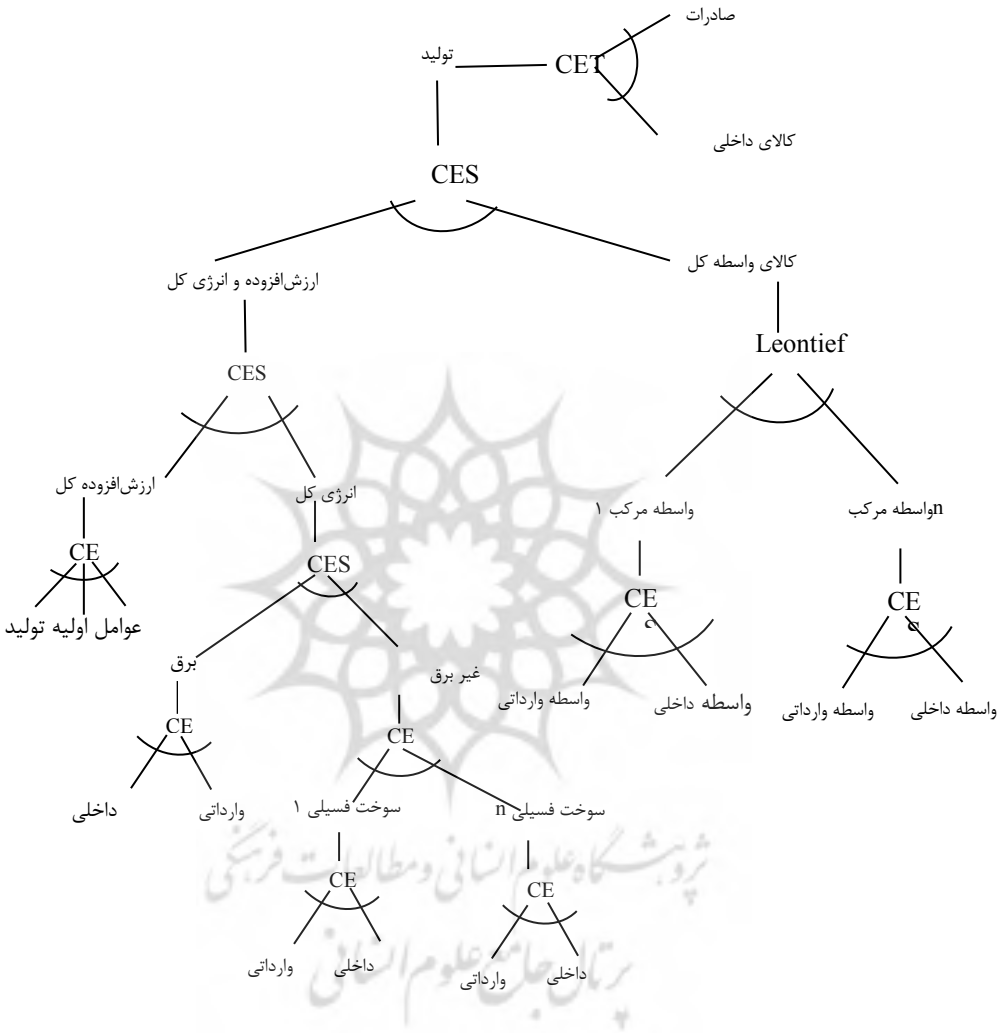
$$QVE_{it} = A(\delta_i(\frac{1}{\eta_{i,f}})QFF_{it}^{-\rho} + (1-\delta_i)QFEE_{it}^{-\rho})^{\frac{-1}{\rho}} \quad (۲)$$

$$QFF_{it} = QFEE_{it} * [\frac{PDEE_{it}}{PDFF_{it}} \frac{\delta_i}{1-\delta_i}]^{\sigma} \quad (۳)$$

$$\sigma = \frac{1}{1+\rho} \quad (۴)$$

بلوک مصرف: ساختار مصرف در این مقاله سه مرحله‌ای بوده و خانوار تصمیم‌گیری خود را در رابطه با مصرف در سه مرحله انجام می‌دهد. در مرحله‌ی اول خانوارها تصمیم مصرفی خود را بر اساس حداکثر سازی مطلوبیت CES بین دو کالای انرژی و کالاهای غیر انرژی انجام می‌دهند. در مرحله‌ی دوم تقاضای کالاهای غیر انرژی، از حداکثرسازی تابع مطلوبیت CES بدست می‌آید. همچنین مصرف کل انرژی تابعی از مصرف انرژی فسیلی و گاز و نیز مصرف برق است.

۱.توضیح متغیرها در پیوست (۱) ارائه شده است.



شکل ۳- ساختار تولید در مدل مورد استفاده در مطالعه حاضر (منبع: لافگرن و همکاران (۲۰۰۲)، خیابانی (۱۳۹۲) و خوشکلام (۱۳۹۳))

بلوک تجارت خارجی: بلوک تجارت خارجی در دو بخش صادرات و واردات مورد بررسی قرار می‌گیرد. در خصوص صادرات، تخصیص تولید داخلی به بازار داخلی و صادرات از طریق تابع CET[1] صورت می‌پذیرد که در شکل (۳) نیز بدان اشاره شده است. در خصوص کالاهای وارداتی نیز جانشینی ناقص بین کالاهای داخلی و واردات در قالب تابع آرمینگتون (که یک تابع با کشش جانشینی ثابت است) مد نظر قرار می‌گیرد.

بلوک‌های درآمد عوامل تولید و نهادهای اقتصادی: این بلوک مشتمل بر تخصیص درآمد عوامل تولید نظیر نیروی کار و درآمد سرمایه به نهادهای اقتصادی مختلف متشکل از خانوارها، دولت و شرکت‌ها می‌باشد. کل درآمد نیروی کار و یا جبران خدمات بطور کامل به خانوار تخصیص می‌یابد. درآمد سرمایه نیز بین خانوارها، شرکت‌ها و دولت بر مبنای سهم درآمد آنها در ماتریس حسابداری اجتماعی تخصیص می‌یابد. علاوه بر درآمد سرمایه، پرداخت‌های انتقالی به نهادهای خانوار، دولت و شرکت‌ها بخشی از درآمد آنها را تشکیل می‌دهد. همچنین دولت از درآمدهای مالیاتی (تعرفه مالیات بر واردات، مالیات بر صادرات، مالیات بر فروش کالاها، مالیات بر درآمد نهادها و مالیات بر تولید) نیز درآمد کسب می‌کند.

بلوک تعادل: در بلوک تعادل نیز تعادل تجارت خارجی، تعادل در بخش دولت، تعادل در بازار کالاها و خدمات و تعادل در بازار کار در نظر گرفته می‌شود.

تعادل در بودجه خانوار: تفاوت بین هزینه‌ها و درآمد خانوارها از طریق پس انداز خانوارها برقرار می‌شود که نشانگر تعادل در بودجه خانوار است.

تعادل در بودجه دولت: دولت می‌تواند با کسری و یا مازاد بودجه روبرو شود. در معادله تعادل بودجه دولت تفاوت درآمد و هزینه‌های دولت در حساب پس‌انداز دولت که می‌تواند منفی و یا مثبت باشد منظور می‌شود.

تعادل در بازار کالا و خدمات: تعادل در این بازار از طریق برابری کل پس‌انداز خصوصی و دولتی با سرمایه‌گذاری ناخالص بخش خصوصی برقرار می‌شود.

1.Constant Elasticity of Transformation

تعادل در بازار کالاهای مرکب: تعادل در این بازار از طریق برابری عرضه و تقاضای کالای مرکب آرمینگتون برقرار می‌شود.

تعادل در بازار خارجی: بر اساس معادله تراز حساب جاری، تفاوت بین هزینه‌ها و درآمدهای ارزی کشور از طریق پس‌انداز خارجیان برقرار می‌شود که تعادل بازار خارجی را بدنبال دارد.

بلوک معادلات پویای بین‌زمانی: در بخش پویای مدل تعادل عمومی در این مقاله، معادلات پویای بین‌زمانی برای مصرف و سرمایه‌گذاری بر مبنای مدل پویای دواراجان (۱۹۸۸) تدوین شده است. کلیه معادلات بخش پویا و توضیحات متغیرها در پیوست ۲ ارائه شده است. مصرف‌کننده مطلوبیت تنزیل شده خود را در طول زمان با توجه به قید بودجه بین‌زمانی بصورت زیر حداکثر می‌نماید:

$$\max U = \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1+\rho}\right)^{t+1} \left(\frac{C_t^{1-v}}{1-v}\right) \qquad (۵)$$

Subject to:

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r_1)(1+r_2)....(1+r_n)} (PC_t) C_t \le W \qquad (۶)$$

با توجه به مساله فوق تغییرات مصرف بین دو دوره متوالی بصورت تابعی از قیمت‌های نسبی و نرخ ترجیح زمانی و نرخ بهره حاصل می‌شود که به معادلات مدل افزوده خواهد گردید.

$$\frac{C_{t+1}}{C_t} = \left(\frac{PC_{t+1}(1+\rho)}{PC_t(1+r_{t+1})}\right)^{\frac{-1}{v}} \qquad (۷)$$

همچنین بنگاه بدنبال مسیری برای سرمایه‌گذاری است که مقدار سود تنزیل شده خالص بنگاه (V) را با توجه به معادله تغییر در انباشت سرمایه حداکثر نماید.

$$\max V = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r_1)(1+r_2).....(1+r_n)} R_t \qquad (۸)$$

Subject to:

$$K_{t+1} = (1-\sigma)K_t + I_t \qquad (۹)$$

لازم به ذکر است که در رابطه (۷) سود خالص بنگاه در زمان t (R_t) بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_t = \pi_t - J_t \qquad (۱۰)$$

که در آن مخارج سرمایه‌گذاری تحت تاثیر هزینه‌های جایگزینی سرمایه (PK_t) و نیز هزینه تعدیل $\theta(x)$ (هزینه‌های نصب و راه‌اندازی آن) قرار دارد.

$$J_t = I_t PK_t[1+\theta(x_t)] \qquad (۱۱)$$

هزینه‌های تعدیل سرمایه نیز بصورت تابعی صعودی از نسبت سرمایه‌گذاری به موجودی سرمایه در نظر گرفته می‌شود.

شروط بهینه بین زمانی حاصل از مساله فوق بصورت زیر می‌باشد:

۱- بنگاهها تا جایی سرمایه‌گذاری می‌کنند هزینه نهایی مخارج سرمایه‌گذاری ($J'(I)$) با قیمت سایه‌ای سرمایه (q) برابر باشد. بر مبنای این شرط نسبت سرمایه‌گذاری به موجودی سرمایه بصورت تابعی از q توبین حاصل خواهد شد.

۲- شرط دوم این است که بازگشت سرمایه ($R_t q_t$) با مجموع سود نهایی محصول (سود نهایی ناشی از افزایش سرمایه) R_k و عایدی سرمایه Δq بدون δq_{t+1} برابر خواهد بود. بعبارتی خواهیم داشت:

$$r_t q_t = R_k(t) + \Delta q - \delta q_{t+1} \qquad (۱۲)$$

حال در رابطه فوق هنگامی که $T \to \infty$ پس q_T نامتناهی می‌گردد. لذا شرط اینکه q_T متناهی شود این است که q_{T+1} به صفر میل نماید[۳۶]. بعبارت دیگر باید شرط تراگردی[1] به صورت شرط زیر برقرار باشد.

$$Lim \mu_T q_{T+1} K_T = 0 \qquad (۱۳)$$
$$T \to \infty$$

برای اینکه رابطه فوق برقرار شود وقتی $T \to \infty$ باید q متناهی باشد و به صفر میل کند. پس به این ترتیب باید $\frac{q_T}{PK}$ به صفر میل کند (PK هزینه جایگزینی سرمایه می‌باشد)

1.Transversality Condition

و یا اینکه باید $\mathbf{q}$ توبین به یک میل کند و این شرط معادل با این است که اقتصاد به تعادل پایدار[1] برسد. بعبارتی دیگر در دوره $\mathbf{T}$ که $\mathbf{q}$ توبین به یک میل می‌کند اقتصاد در شرایط تعادل پایدار قرار می‌گیرد.

۵- پایه‌های آماری مدل و کالیبراسیون

برای کالیبراسیون مدل به مجموعه‌ای از اطلاعات مقادیر اولیه متغیرها و پارامترهای توابع تولید، مصرف و ... نیاز می‌باشد. مقدار اولیه متغیرهای مدل بر پایه ماتریس عمومی حسابداری اجتماعی متعارف سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی تعیین شده است. مقادیر کشش‌ها در توابع تولید کشش جانشینی ثابت نیز از مراجع و مطالعات بیرونی استخراج شده است که در جدول (۱) به این مقادیر اشاره شده است. برای انتخاب کشش‌ها در این مطالعه، کلیه مطالعات تعادل عمومی مورد بررسی قرار گرفته و از بین آنها ساختار تولید و مصرف در مطالعات مربوط به برخورداری (۱۳۹۳) ، منظور(۱۳۸۹)، خوشکلام (۱۳۹۳) و خیابانی (۱۳۹۲) مشابه با ساختار این مطالعه بصورت لایه‌ای جزئی در نظر گرفته شده است. کشش‌های این مطالعات عمدتا در بازه‌های نزدیک به یکدیگر بوده و تفاوت چندانی با هم ندارند. برای اطمینان بیشتر در انتهای مقاله تحلیل حساسیت کشش-ها صورت پذیرفته است. لازم به ذکر است که نرخ رشد بلندمدت اقتصادی (g) برابر با ۳ درصد و کشش مطلوبیت نهایی معادل با ۰/۸ در نظر گرفته شده است (برخورداری، (۱۳۹۳)). همچنین نرخ ترجیح زمانی با توجه به مطالعه داوارجان معادل با ۰/۱ در نظر گرفته شده است. نرخ‌های استهلاک مورد استفاده برای بخش‌های مختلف نیز بر مبنای سه مطالعه مندرج در جدول (۲) استخراج شده است.

1.Steady State

جدول ۱- کشش جانشینی تولید و مصرف در این مطالعه

کشش‌های درخت تولید				
ترکیب انرژی ¬ارزش افزوده و کالای واسطه ای[(۱)]	کشش ارزش افزوده و انرژی[(۱)] .	کشش بین نیروی کار وسرمایه[(۱)] .	کشش جانشینی بین سوخت‌های فسیلی و برق[(۲)] .	کشش جانشینی بین سوخت‌های فسیلی[(۴)]
۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۵	۰/۵
کشش‌های درخت مصرف				
کشش جانشینی بین مصرف کالاهای غیر انرژی و انرژی[(۱)]	کشش جانشینی بین مصرف سوخت‌های فسیلی و برق[(۱)]	کشش جانشینی بین مصرف کالاهای غیر انرژی[(۱)]	کشش جانشینی بین مصرف فرآورده-های نفتی[(۳)]	
۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۳	۰/۷	

(۱): کششها از مطالعه خیابانی (۱۳۹۲) بر مبنای روش اقتصاد سنجی حاصل شده است. (۲): بر اساس مطالعه منظور (۱۳۸۹) استخراج شده است. (۳): بر اساس مطالعه شرزه‌ای (۱۳۹۳) استخراج شده است. (۴): بر اساس مطالعه خوشکلام (۱۳۹۳) استخراج شده است.

جدول ۲- خلاصه‌ای از نرخ‌های استهلاک در مطالعات مختلف

	امینی- نشاط (۱۳۸۴)	پژوهشکده آمار (۱۳۹۱)	نقیبی و کیانی (۱۳۹۴)	نرخ در نظر گرفته شده در این مطالعه
کشاورزی	۵/۹	۵/۶	۵/۸	۵/۸
نفت و گاز*	۶/۲		۶/۳	۱۰
صنعت و معدن	۴/۷	۷/۸	۴/۹	۵
آب و برق	۳/۹		۴/۱	۴
ساختمان	۷/۸	۸/۱	۷/۸	۷/۸
حمل و نقل*	۴/۶	۴/۴	۳/۵	۱۰
ارتباطات	۳/۶	۵/۲		۴
مستغلات	۳			
سایر خدمات	۴			
دوره مطالعه	۱۳۸۱-۱۳۳۸	۱۳۸۶-۱۳۵۰	۱۳۸۸-۱۳۳۸	

*لازم به ذکر است که به استناد جدول استهلاکات موضوع ماده ۱۵۱ قانون مالیات¬های مستقیم عمر تجهیزات حمل و نقل در حدود ده تا ۱۵ سال در نظر گرفته شده و لذا در این مطالعه نرخ استهلاک تجهیزات حمل و نقل ده درصد در نظر گرفته می¬شود. همچنین برای کلیه ماشین آلات و تجهیزات وجود در بخش صنایع استخراج نفت عمر ده سال در نظر گرفته شده است که لذا نرخ استهلاک این بخش در حدود ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

٦. یافته‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات اجرای سناریوهای ارتقای کارایی سوخت‌های فسیلی در افق‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت با استفاده از مدل تعادل عمومی پویای بین‌زمانی می‌باشد. در این راستا دو سناریو مد نظر قرار گرفته است:

- افزایش کارایی انرژی در صنایع انرژی‌بر معادل با ۳/۱ درصد (سناریوی اول)
- افزایش کارایی انرژی در تمامی بخش‌ها معادل با ۳/۱ درصد (سناریوی دوم)

سناریوهای بهبود کارایی مطرح شده در این پژوهش از مطالعه‌ای تحت عنوان «استراتژی-های پایدار انرژی برای ایران[1]» که توسط موسسه ووپرتال[2] آلمان تا افق ۲۰۳۰ برای ایران تدوین شده، استخراج شده است. در این مرجع فرض شده که علاوه بر احداث کارخانجات جدید با بهترین تکنولوژی، کلیه تکنولوژی‌های موجود نیز نوسازی می‌شوند و لذا نرخ کاهش شدت انرژی معادل با ۳/۱ درصد در نظر گرفته شده است.

میزان تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی در سناریوهای فوق‌الذکر در شکل‌های (۴) و (۶) ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۴) نیز مشاهده می‌شود، در سال‌های نخست (در دوره کوتاه‌مدت) و نیز در سال‌های بعد، میزان تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی در اثر افزایش کارایی، کمتر از سه درصد می‌باشد. بر طبق شکل (۶) نیز اگر کارایی انرژی در تمامی بخش‌ها افزایش یابد، در سال‌های اولیه، کاهش تقاضای سوخت‌های فسیلی در اثر بهبود کارایی مشاهده می‌شود ولی برای اغلب صنایع از دوره‌های بیستم تا سی‌ام به بعد افزایش تقاضا ایجاد شده است. لذا در دوره بلندمدت شاهد اثرات معکوس می‌باشیم. شکل (۷) نشان‌دهنده وجود اثرات بازگشتی در سال‌های اولیه و وجود اثرات معکوس در دوره-های نسبتا بلندمدت در صنایع انرژی‌بر در سناریوی دوم است. با این وجود همانگونه که در شکل (۵) نشان داده شده، اگر کارایی انرژی صرفا برای صنایع انرژی‌بر رخ دهد، تنها با

1.Sustainable Energy Strategy for Iran

2.Wuppertal

اثرات بازگشتی روبرو می‌باشیم. به دلیل محدودیت امکان نمایش نتایج، نتایج در شکل‌ها در دوره‌های اول، دهم، بیستم و دوره آخر نشان داده شده است.

آثار بازگشتی در سناریوی دوم که در آن بهبود بازده برای تمامی بخش‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود، نسبت به سناریوی اول بیشتر است. این نتیجه در تطابق با یافته‌های پژوهش‌های انجام شده نظیر یو و همکاران (۲۰۱۵) و بروبرگ و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. علت این رخداد آن است که اگر سهم هزینه نهاده انرژی در هزینه‌های تولید صنایع انرژی‌بر و کل بخش‌های تولیدی اقتصاد با هم مقایسه شوند، سهم هزینه انرژی در هزینه‌های کل بخش‌های تولیدی در قیاس با صنایع انرژی‌بر کمتر می‌باشد. این امر بدین معناست که بهبود کارایی انرژی برای تمامی بخش‌ها در سناریوی دوم، اثرات کمتری را نسبت به سناریوی اول خواهد داشت. بنابراین اثرات بهبود بازده بر کاهش تقاضا در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول کمتر است. هر چه کاهش تقاضا کمتر باشد، اثرات بازگشتی بزرگتر می‌گردد. بر طبق شکل‌های (۵) و (۷) نیز، آثار بازگشتی در سال‌های اولیه در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بزرگتر می‌باشد.

اما در قیاس بین صنایع، بیشترین آثار بازگشتی در سناریوی اول، بترتیب مربوط به صنایع شیمیایی و پتروشیمی (۸۳ درصد در دوره اول تا ۱۰۱ درصد در دوره ششم)، نقلیه موتوری (بین ۷۰ ٪ تا ۹۲٪)، کاغذ (بین ۶۶٪ تا ۸۷٪)، لاستیک و پلاستیک (بین ۶۵٪ تا ۸۶٪)،کانی غیر فلزی (بین ۶۴٪ تا ۸۱٪)، فلزات اساسی (۶۱٪ تا ۸۱٪) و مواد غذایی (۶۳٪ تا ۸۰٪) می‌باشد. کمترین تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی در اثر بهبود بازده در صنعت مواد و محصولات شیمیایی و بیشترین تغییر در صنایعی نظیر مواد غذایی، فلزات اساسی و کانی‌های غیر فلزی رخ می‌دهد. این در حالی‌است که در سناریوی دوم، تا زمانی که اثرات بازگشتی به اثرات معکوس تبدیل نشده است (تا قبل از سال بیستم)، ترتیب فوق‌الذکر برای آثار بازگشتی برقرار می‌باشد. بعنوان نمونه در دوره پانزدهم و در سناریوی دوم، صنایع شیمیایی از کمترین کاهش در تقاضای سوخت‌های فسیلی برخوردار است و لذا دارای بالاترین آثار بازگشتی می‌باشد. اما در دوره بلندمدت و پس از سال بیستم، اغلب صنایع با

افزایش تقاضای سوخت‌های فسیلی مواجه می‌شوند. از سال بیستم به بعد، افزایش تقاضای سوخت فسیلی در صنعت مواد شیمیایی کمتر از بقیه صنایع می‌باشد. با توجه به مثبت شدن تغییرات تقاضای سوخت‌های فسیلی برای صنعت مواد شیمیایی و نیز کمتر بودن درصد تغییرات نسبت به سایر صنایع، کمتر بودن مقادیر اثرات معکوس برای این صنعت نسبت به سایر صنایع در بلندمدت نتیجه شده است.

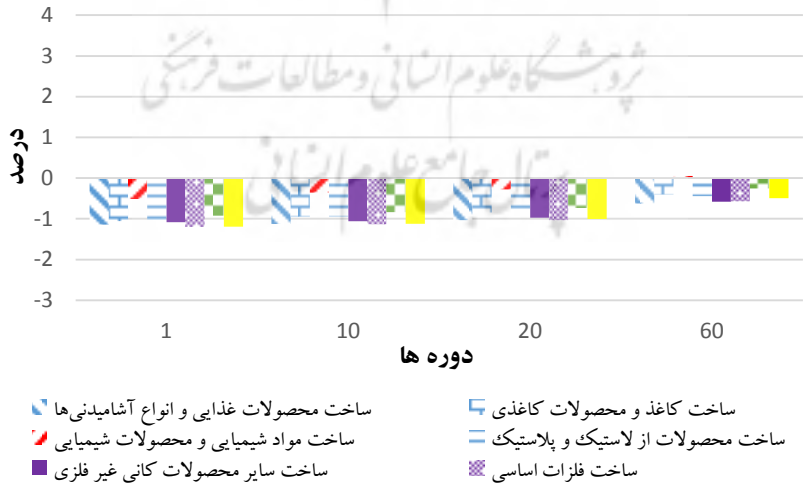
همانگونه که در بالا اشاره گردید اثرات بازگشتی در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بزرگتر می‌باشد. با توجه به آنچه در شکل (۷) مشاهده می‌شود، اثرات بازگشتی در درازمدت به اثرات معکوس منجر می‌شود. افزایش بهره‌وری انرژی در بخش‌های تولیدی سبب کاهش تقاضای انرژی در بخش تولید می‌شود و در نتیجه قیمت‌های انرژی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه از انرژی در تولید انرژی استفاده می‌شود، با افزایش بهره‌وری انرژی هزینه‌های تولید انرژی نیز کاهش می‌یابد. لذا افزایش کارایی انرژی سبب تولید انرژی با هزینه‌های پایین تر می‌گردد. این موضوع نیز سبب کاهش قیمت‌های انرژی می‌گردد. بعنوان نمونه در اثر افزایش کارایی انرژی در سناریوهای اول و دوم، هزینه تمام شده تولید فرآورده‌های نفتی کاهش می‌یابد. نتایج تغییر در هزینه تمام شده تولید فرآورده‌های نفتی برای دوره شصتم در جدول (۳) ارائه شده است. از سوی دیگر، کاهش قیمت‌های انرژی سبب افزایش مصرف توسط مصرف‌کنندگان نهایی خواهد گردید. همچنین سبب خواهد شد تا تولیدکنندگان، سایر عوامل تولید را با نهاده انرژی جایگزین نمایند. از سوی دیگر سبب افزایش تقاضا برای صادرات انرژی می‌گردد.

جدول ۳. تغییر در هزینه تمام شده تولید سوخت‌های فسیلی در سناریوهای بهبود کارایی (درصد)

سناریوها	تغییر در هزینه تمام شده تولید فرآورده‌های نفتی
سناریوی بهبود کارایی در صنایع انرژی‌بر (اول)	٪-۰/۲
سناریوی بهبود کارایی در تمامی بخش‌ها (دوم)	٪-۱/۱

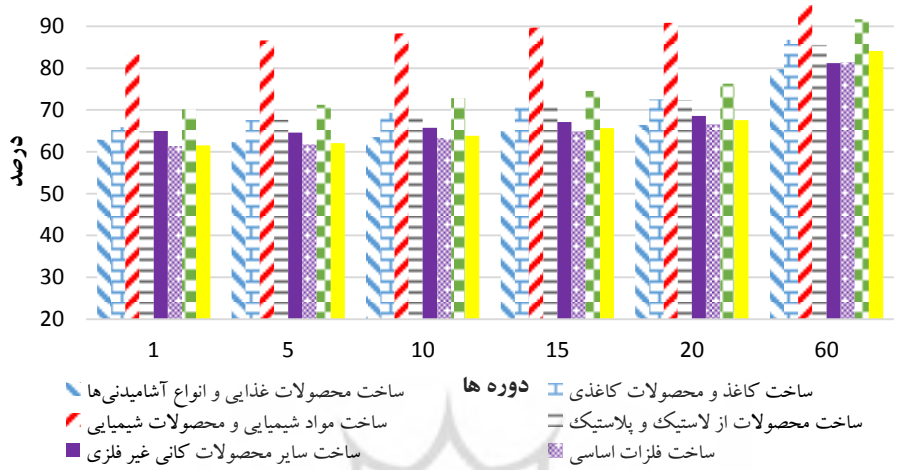
منبع: یافته‌های پژوهش

در سمت تولید نیز، افزایش کارایی انرژی سبب کاهش تقاضای حامل‌های انرژی شده و هزینه‌های انرژی کاهش یافته و این کاهش هزینه انرژی در صنایع انرژی‌بر سبب کاهش قیمت محصولات نهایی می‌گردد. کاهش هزینه‌های تولید محصولات در اثر افزایش کارایی در صنایع مختلف متفاوت می‌باشد. بیشترین کاهش هزینه تولید در اثر افزایش کارایی انرژی مربوط به مواد و محصولات شیمیایی است. بعنوان مثال ارتقای بهره‌وری به میزان ۳/۱ درصد در سناریوی تمامی بخشها، سبب می‌شود که هزینه‌های تولید در صنایع محصولات غذایی، محصولات چوبی، کاغذ و محصولات کاغذی، مواد شیمیایی، محصولات لاستیک و پلاستیک، کانی‌های غیر فلزی، فلزات اساسی، و وسایل نقلیه تریلر و نیم تریلر حداکثرمعادل با ۰/۷، ۰/۵، ۰/۲، ۱/۱، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۵ و ۰/۴ درصد کاهش یابد. کاهش هزینه‌های تولید سبب افزایش تقاضا شده و در نتیجه سطح تولید محصولات در صنایع انرژی‌بر و میزان صادرات آنها نیز افزایش می‌یابد. این موضوع نیز در بلندمدت سبب افزایش بکارگیری انواع عوامل تولید از جمله انرژی می‌گردد. میزان افزایش سطح تولید صنایع انرژی‌بر در اثر افزایش میزان کارایی در صنایع مختلف در شکل‌های (۸) و (۹) نمایش داده شده است.



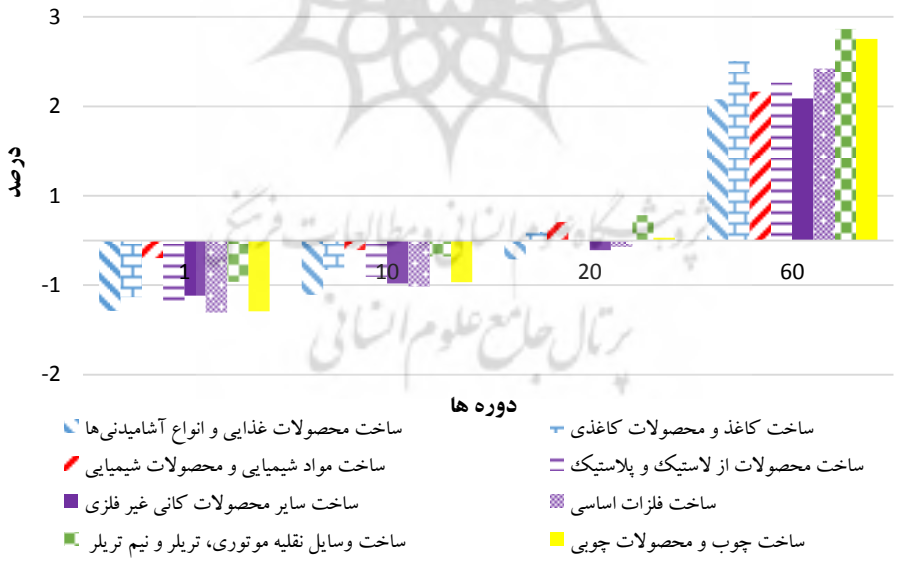
شکل ٤- تغییر تقاضای سوخت‌های فسیلی در اثر افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر (درصد)

منبع: یافته‌های پژوهش



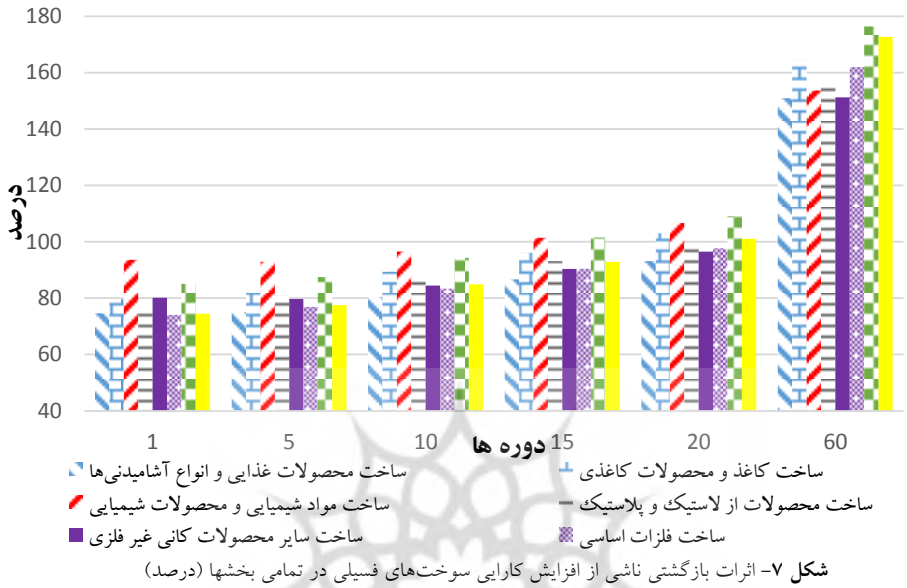
شکل ۵- اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر (درصد)

منبع: یافته‌های پژوهش



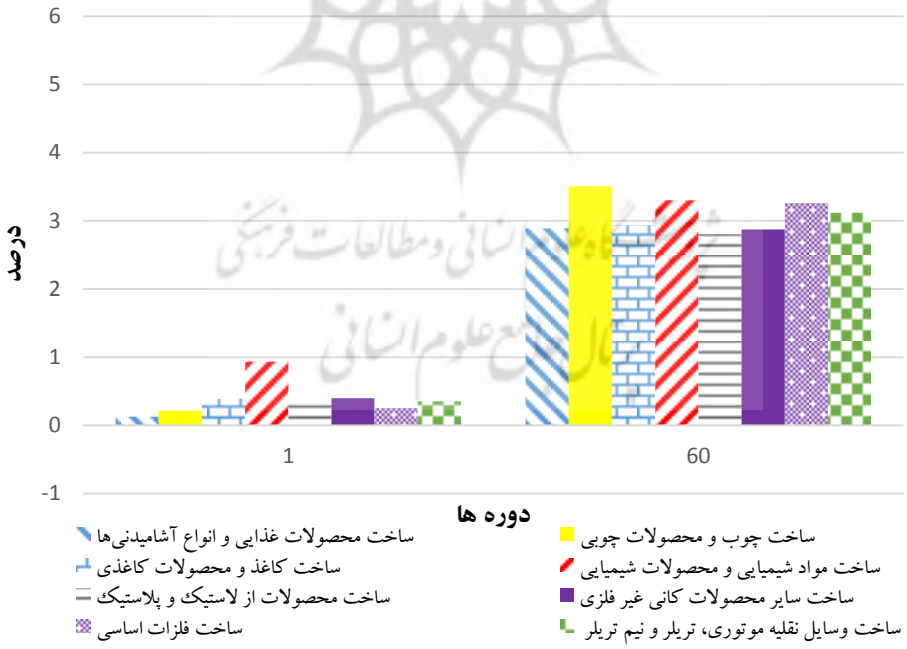
شکل٦- تغییر تقاضای سوخت‌های فسیلی در اثر افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی در تمامی بخشها (درصد)

منبع: یافته‌های پژوهش



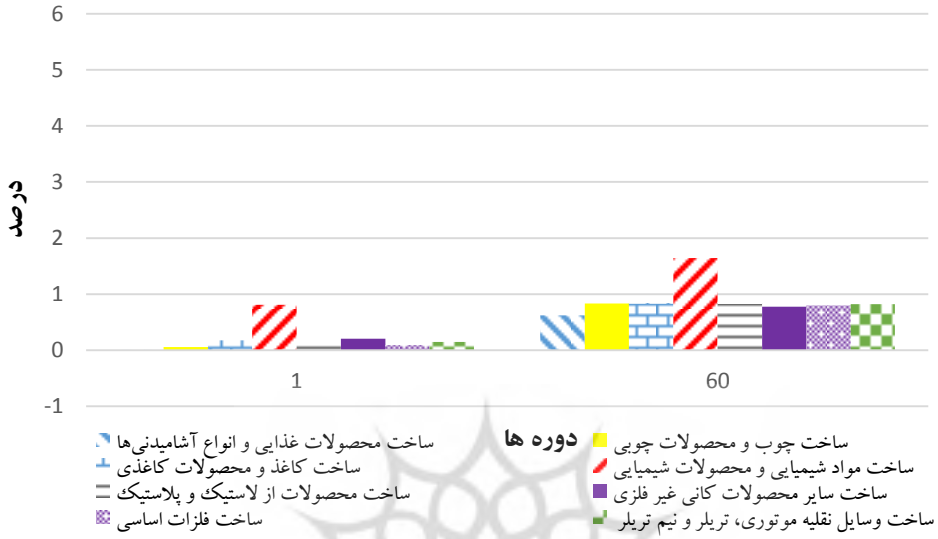
شکل ۷- اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی در تمامی بخشها (درصد)

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۸- درصد تغییرات تولید صنایع انرژی‌بر در سناریوی افزایش کارایی تمامی بخشها

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۹- درصد تغییرات تولید صنایع انرژی‌بر در سناریوی افزایش کارایی برای صنایع انرژی‌بر

منبع: یافته‌های پژوهش

۱-۶. تحلیل حساسیت .

تحلیل حساسیت در این مطالعه بر مبنای تغییر کشش‌های جانشینی تابع تولید مربوط به تقاضای انرژی صورت پذیرفته است. کشش جانشینی فرآورده‌های نفتی و برق در این تابع معادل با ۰/۵ می‌باشد. برای تحلیل حساسیت بازه۲۰ و ۲۰- درصد در نظر گرفته شده است. در جدول (۴) تغییرات تقاضای سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر نسبت به حالتی که کشش معادل با ۰/۵ بوده است، در دو سناریوی بهبود کارایی برای صنایع انرژی‌بر و برای تمامی بخش‌ها ارائه شده است. از آنجا که مدل در دوره‌های مختلف اجرا شده است و ارائه نتایج هر شصت دوره میسر نمی‌باشد، بعنوان نمونه نتایج تحلیل حساسیت اثرات بازگشتی برای دوره دهم ارائه می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود، علیرغم اینکه کشش‌های جانشینی در حدود ۲۰ درصد تغییر نموده است، تقاضا کمتر از ۱ درصد تغییر می‌نماید. از آنجا که تغییرات اثرات بازگشتی با تغییر در تقاضا در اثر بهبود کارایی کاملا

متناسب می‌باشد، لذا درصدهای ارائه شده در جدول (۴) بیانگر تغییرات در اثرات بازگشتی در اثر تحلیل حساسیت کشش در تابع انرژی نیز می‌باشد.

جدول ٤. نتایج تحلیل حساسیت کشش تابع تولید انرژی در سناریوهای بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در دوره دهم (درصد)

	تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی (نسبت به حالت کشش= ۰/۵) در سناریوی بهبود کارایی در صنایع انرژی‌بر (درصد)		تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی (نسبت به حالت کشش= ۰/۵) در سناریوی بهبود کارایی در تمامی بخشها (درصد)	
کشش در تابع تولید انرژی	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۶
ساخت محصولا غذایی و آشامیدنی‌ها	۰/۳	-۰/۴	۰/۱	-۰/۱
کاغذ و محصولات کاغذی	۰/۲	-۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۱
لاستیک و پلاستیک	۰/۲	-۰/۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴
فلزات اساسی	۰/۳	-۰/۳	۰/۰۲	-۰/۰۳
چوب و محصولات چوبی	۰/۲	-۰/۳	۰/۰۳	۰/۰۱
محصولات شیمیایی	۰/۱	-۰/۲	۰/۰۹	-۰/۰۹
کانی غیر فلزی	۰/۳	-۰/۴	۰/۰۶	-۰/۰۶
نقلیه موتوری	۰/۳	-۰/۴	۰/۰۴	-۰/۰۵
متوسط تغییرات تقاضا (متوسط تغییر در اثرات بازگشتی)	۰/۲	-۰/۳	۰/۰۵	-۰/۰۳

منبع: یافته های پژوهش

۷. جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی

در این مقاله، آثار اجرای راهکارهای بهبود کارایی ۳/۱ درصدی در سناریوی بهبود کارایی صنایع انرژی‌بر (سناریوی اول) و تمامی بخشها (سناریوی دوم) مورد بررسی قرار گرفته است.پس از ارائه نتایج در این بخش می‌توان به سوالات اساسی پژوهش که در بخش مقدمه مطرح شده اند، پاسخ داد.

در پاسخ به اولین سوال اساسی پژوهش باید به این نکته اشاره نمود که نتایج حاصل از اجرای مدل تعادل عمومی بیانگر تفاوت در رفتار پویای اثرات بازگشتی در افق کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌باشد. نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که بهبود کارایی در کوتاه‌مدت در هر دو سناریو منجر به ایجاد اثرات بازگشتی می‌گردد. اما نکته قابل توجه این است که بهبود کارایی در بلندمدت در سناریوی اول صرفا اثرات بازگشتی را بدنبال خواهد داشت، در حالی که در سناریوی دوم در بلندمدت اثرات معکوس ایجاد خواهد گردید. بعنوان نمونه، بهبود کارایی در سناریوی اول باعث ایجاد اثرات بازگشتی به میزان ۶۱٪ در دوره اول برای صنعت فلزات اساسی شده و میزان این اثرات بازگشتی در دوره انتهایی به ۸۱٪ افزایش یافته است. این در حالی است که در سناریوی دوم بهبود کارایی سبب ایجاد اثرات بازگشتی به میزان ۷۴٪ در سال نخست شده و در سال‌های آخر اثرات معکوس به میزان ۱۶۲٪ ایجاد خواهد شد. مطالب پیش گفته به روشنی پاسخ سوالات اول و دوم اساسی پژوهش را که در مقدمه بدان اشاره شده است، تبیین می‌نماید.

همچنین از آنجا که اثرات معکوس عمدتا در سناریوی دوم (بهبود کارایی تمامی بخشها) و در سال‌های بیستم به بعد رخ می‌دهد، لذا در پاسخ به سوال اساسی سوم مطرح شده برای پژوهش می‌توان گفت که در صورتی که بهبود کارایی برای تمامی بخشها صورت پذیرد، در بلند مدت اثرات بازگشتی به اثرات معکوس بدل می‌شود.

همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، برای محاسبه اثرات بازگشتی ابتدا بهبود کارایی از طریق تغییر ضرایب فنی در توابع کشش جانشینی ثابت صورت می‌پذیرد. سپس تقاضای سوخت‌های فسیلی پس از بهبود کارایی محاسبه می‌شود. در نهایت بر مبنای درصد تغییر در تقاضای سوخت‌های فسیلی اثرات بازگشتی محاسبه می‌گردد. از آنجا که تقاضای سوخت‌های فسیلی برای یک دوره شصت ساله مورد محاسبه قرار گرفته است، لذا مدل پویای تعادل عمومی امکان شبیه‌سازی رفتار متفاوت تقاضای نهاده سوخت‌های فسیلی را در اثر تغییر در ضرایب کارایی در کوتاه‌مدت و بلندمدت فراهم آورده است. بعنوان نمونه با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۶)، تغییرات تقاضای سوخت‌های فسیلی در دوره‌های

آغازین برای اغلب صنایع نظیر ساخت وسایل نقلیه موتوری منفی بوده است و در نهایت در دوره بیستم به بعد تغییرات تقاضا مثبت شده است. بیشترین آثار بازگشتی بترتیب مربوط به صنایع شیمیایی و پتروشیمی، نقلیه موتوری، کاغذ، کانی غیر فلزی، لاستیک و پلاستیک، کانی غیر فلزی، فلزات اساسی و مواد غذایی می‌باشد. بنابراین در تنظیم سیاست‌های بهبود بازده انرژی می‌توان دو نکته زیر را در نظر گرفت:

- برای جلوگیری از اثرات معکوس در بلندمدت، تمرکز عمده بر بهبود بازده انرژی برای سناریوی اول که در آن صنایع انرژی‌بر مد نظر قرار گرفته‌اند صورت پذیرد.
- بهبود بازده صنایعی که از آثار بازگشتی کمتری برخوردارند، نظیر لاستیک و پلاستیک، کانی غیر فلزی، فلزات اساسی و مواد غذایی، بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

همچنین بهبود کارایی علاوه بر تغییر تقاضا سبب کاهش قیمت‌های تولید انرژی و کاهش هزینه تولید محصولات در صنایع انرژی‌بر می‌شود. بر مبنای نتایج حاصله، صنایع مواد و محصولات شیمیایی و کانی‌های غیر فلزی از بیشترین کاهش قیمت تمام شده در اثر کاهش هزینه‌های انرژی معادل با ۱/۱٪ و ۰/۷٪ برخوردار می‌باشند.

۸. منابع: .

الف) فارسی

امینی، علیرضا،.نشاط، محمد (۱۳۸۴). برآورد.سری.زمانی.موجودی.سرمایه.در اقتصاد. ایران.طی.دوره.زمانی ۱۳۸۱-۱۳۳۸، *مجله برنامه و بودجه*، شماره ۹۰، صص ۸۶-۵۳.

برخورداری سجاد و مهرگان، نادر (۱۳۸۹)؛ *مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه و کاربرد آنها در اقتصاد*، دانشگاه علوم اقتصادی، ، صص ۱۹-۳۲.

خیابانی، ناصر (۱۳۹۲). *تدوین یک الگوی تعادل عمومی پویا برای ارزیابی سیاست‌های انرژی*. موسسه مطالعات بین المللی انرژی. .

خوشکلام خسروشاهی، موسی (۱۳۹۳). اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گزوئیل در ایران با تاکید بر بخش حمل و نقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۱، صص ۱۳۱-۱۵۸. .

شرزه‌ای، غلامعلی، خلیلی عراقی، منصور، و برخورداری، سجاد (۱۳۹۳). اصلاح یارانه‌های انرژی و مسیر زمانی مصارف انرژی (رهیافت مدل DCGE). *مجله تحقیقات اقتصادی.*، دوره ۴۹، شماره ۴، صص ۷۹۹-۸۳۳.

منظور، داود، شاهمرادی، اصغر و حقیقی، ایمان (۱۳۸۹). بررسی آثار حذف یارانهٔ آشکار و پنهان انرژی در ایران: مدلسازی تعادل عمومی محاسبه پذیر بر مبنای ماتریس داده‌های خرد تعدیل شده، *فصلنامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هفتم، شماره ۲۶، صص ۲۱-۵۴.

منظور، داود، آقابابایی، محمد ابراهیم و حقیقی، ایمان (۱۳۹۰). تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصارف برق در ایران: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، *فصلنامهٔ مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۲۸، صص ۲۳-۱.

هژبر کیانی، کامبیز، نقیبی، محمد (۱۳۹۴). برآورد موجودی سرمایه و بررسی کارآیی روشهای مختلف محاسبه آن در بخشهای عمده اقتصادی ایران، *فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، شماره ۲، صص ۷۳-۹۴.

هژبر کیانی، کامبیز (۱۳۹۱). برآورد موجودی سرمایه و مصرف سرمایه ثابت در بخش‌های عمده اقتصادی. پژوهشکده آمار، گروه پژوهشی آمارهای اقتصادی.

ب) انگلیسی

Allan, G., Hanley, N., & McGregor, P. (2007). The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom. Journal of Energy Economics. Vol.29, Issue.4, pp.779¬798.

Broberg, T., Samakovlis E., & Berg C. (2015). The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries¬A general equilibrium analysis. Journal of Energy Policy, Vol.83, pp.26¬37.

Brookes, L. (1990), The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution, Energy Policy, Vol.18, Issue.2, pp 199¬201.

Devarajan, S., & Go, Delfin S, (1988). The Simplest Dynamic General Equilibrium Model for Open Economy. Journal of Policy Modeling. Vol.20, Issue.6, pp. 677¬714.

Dixon, P., Jorgenson, D. W. (2012). Handbook of Computable General Equilibrium Modeling, Elsevier.

Gavankar, S., Geyer, R. (2010), The Rebound Effect: State of the Debate and Implications for Energy Efficiency Research, Bren School of Environmental Science and Management

Gillingham, K., Rapson, D., Wagner, G. (2015), The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy

(http://environment.yale.edu/gillingham/GillinghamRapsonWagner_Rebound.pdf)

Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C.(2000). Energy efficiency and consumption√ the rebound effect√ a survey. Energy Policy, Vol.28, pp. 389¬401.

Gunning, J. W, Keyzer, M. (1995). Handbook of Development Economics, Chapter 35: Applied General Equlibrium Models for Policy Analysis, Elsevier.

Hanley, N., McGregor, P. G., Swales, J. K., & Turner, K. (2009). Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? .Journal of Ecological Economics, Vol68, Issue.3, pp. 692¬709.

International risk governance council (2011). The Rebound Effect: Implications of Consumer Behaviour for Robust Energy Policies, A review of the literature on the rebound effect in energy efficiency and report from expert workshops (https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines_Azevedo/papers/IRGC_ReboundEffect-FINAL.pdf)

Khazzoom, J. D. (1980), Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances. The Energy Journal, Vol.1, Issue.4, pp 21¬40.

Koesler, S., Swales, K., Turner, K. (2016), International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany, Energy Economics, Vol.54, pp.444-452.

Lofgren, H., Robinson, S., Lee H., R. (2002), A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS, International Food Policy Research Institute.

Lu, Y., Liu, Y., Zhou, M. (2017). Rebound Effect of Improved Energy Efficiency for Different Energy Types: A General Equilibrium Analysis for China, Energy Economics, Vol.62, pp. 248-256.

McKibbin, W. J. (1998), Forecasting the World Economy Using Dynamic Intertemporal General Equilibrium Multi-Country Models

Moshiri, S., Lechtenböhmer, S. (2015), Sustainable Energy Strategy for Iran, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. (http://wupperinst.org/en/a/wi/a/s/ad/3502/)

Saunders, H. D. (2013). Historical Evidence for Energy Consumption Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysis. Journal of Technological Forecasting and Social Change, Vol.80, Issue.7, pp. 1317¬1330

Sorrell, S. (2007). The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency (http://www.ukerc.ac.uk/programmes/technology-and-policy-assessment/the-rebound-effect-report.html)

Turner, K. (2009). A computable general equilibrium analysis of the relative price sensitivity required to induce rebound effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy. Discussion papers in Economics, Department of Economics, University of Strathclyde Glascow.

(https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/145.pdf)

Wang, H., Zhou, P. (2012). An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China, Energy Economics, Vol.34, pp. 452-460.

Yu, X., Moreno-Cruz, J., & Crittenden, J. (2015). Regional energy rebound effect: The impact of economy-wide and sector level energy efficiency improvement in Georgia, USA . Journal of Energy Policy, Vol.87, pp.250¬259.

U.S. Energy Information Administration (EIA) (http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm/data/index.cfm?page=us_energy_industry)

پیوست ۱- معادلات بلوک تولید مرتبط با بخش انرژی

$$XST_{j,t} = B_j^{XST}\left[\beta_j^{XST} QVAE_{j,t}^{-\rho_j^{XST}} + \left(1-\beta_j^{XST}\right) CI_{j,t}^{-\rho_j^{XST}}\right]^{\frac{-1}{\rho_j^{XST}}}$$

$$QVAE_{j,t} = \left[\frac{\beta_j^{XST}}{1-\beta_j^{XST}} \frac{PCI_{j,t}}{PQVAE_{j,t}}\right]^{\sigma_j^{XST}} CI_{j,t}$$

$$PP_{j,t} = \frac{PQVAE_{j,t} QVAE_{j,t} + PCI_{j,t} CI_{j,t}}{XST_{j,t}}$$

$$QVAE_{j,t} = B_j^{QVAE}\left[\beta_j^{QVAE} QVE_{j,t}^{-\rho_j^{QVAE}} + \left(1-\beta_j^{QVAE}\right) VA_{j,t}^{-\rho_j^{QVAE}}\right]^{\frac{-1}{\rho_j^{QVAE}}}$$

$$QVE_{j,t} = \left[\frac{\beta_j^{QVAE}}{1-\beta_j^{QVAE}} \frac{PVA_{j,t}}{PQVE_{j,t}} \right]^{\sigma_j^{QVAE}} VA_{j,t}$$

$$PQVAE_{j,t} = \frac{PVA_{j,t} VA_{j,t} + PVE_{j,t} QVE_{j,t}}{QVAE_{j,t}}$$

$$QVE_{j,t} = B_j^{QVE} \left[\beta_j^{QVE} QFF_{j,t}^{-\rho_j^{QVE}} + \left(1-\beta_j^{QVE}\right) QFEE_{j,t}^{-\rho_j^{QVE}} \right]^{\frac{-1}{\rho_j^{QVE}}}$$

$$QFF_{j,t} = \left[\frac{\beta_j^{QVE}}{1-\beta_j^{QVE}} \frac{PDEE_t}{PDFF_t} \right]^{\sigma_j^{QVE}} QFEE_{j,t}$$

$$PVE_{j,t} = \frac{PFF_{j,t} QFF_{j,t} + PFEE_{j,t} QFEE_{j,t}}{QVE_{j,t}}$$

$CI_{j,t}$: کل مصرف کالای واسطه ای صنعت j در زمان t

$QVAE_{j,t}$: نهاده ترکیبی ارزش افزوده- انرژی صنعت jدر زمان t

$XST_{j,t}$: تولید کل صنعت j در زمان t

$PQVAE_{j,t}$:قیمت نهاده ترکیبی ارزش افزوده- انرژی صنعت jدر زمان t

$PP_{j,t}$: هزینه هر واحد تولید صنعت j در زمان t

$VA_{j,t}$: ارزش افزوده کل صنعت j

$QVE_{j,t}$: مصرف کالای انرژی مرکب صنعت j در زمان t

$PQVE_{j,t}$: قیمت کالای انرژی مرکب صنعت j در زمان t

$QFF_{j,t}$: تقاضای صنعت jبرای نهاده مرکب سوخت‌های فسیلی در زمان t

$QFEE_{j,t}$: تقاضای صنعت jبرای نهاده برق در زمان t

$PDEE_t$: قیمت برق در زمان t

$PDFF_{j,t}$: قیمت نهاده سوخت فسیلی مرکب در زمان t

پیوست ۲- معادلات بخش پویایی مدل

$$\frac{C_{t+1}}{C_t} = \left(\frac{PC_{t+1}(1+\rho)}{PC_t(1+r_{t+1})}\right)^{\frac{-1}{\nu}}$$

$$r_t q_t = R_k(t) + \Delta q - \delta q_{t+1}$$

$$\frac{I_t}{K_t} = \alpha + \frac{1}{\beta} Q_t^T$$

$$Q_t^T = \frac{q_t}{PK_t} - 1$$

$$J_t = I_t PK_t [1 + \theta(x_t)]$$

$$\theta(x_t) = \frac{\beta}{2} \frac{(x_t - \alpha)^2}{x_t}$$

$$x_t = \frac{I_t}{K_t}$$

ρ : نرخ ترجیح زمانی

ν: کشش مطلوبیت نهایی

PC_t : قیمت کالای مرکب مصرف کل در زمان t

r_t : نرخ بهره در زمان t

C_t: مصرف کل در زمان t

W: ثروت خانوار در طول دوره عمر آن

J_t : مخارج سرمایه گذاری بنگاه در زمان t

PK_t : هزینه جایگزینی سرمایه

$\theta(x_t)$: هزینه‌های نصب و راه اندازی

K_t :انباشت سرمایه در زمان t

I_t :سرمایه گذاری در زمان t

δ :نرخ استهلاک

q_t : قیمت سایه ای سرمایه

$R_k(t)$ درآمد حاشیه ای سرمایه

Q_t^T شاخص Q توبین منهای یک