پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هشتم، شماره ۳۱، تابستان ۱۳۹۸ صفحات ۷۴-۳۱
نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی اقتصاد باز کوچک با لحاظ ساختار بازار برق در قالب مدل تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE)

نجمه خالقی‌فر[۱]
حسن خداویسی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

چکیده

انرژی الکتریکی یکی از عوامل ضروری برای توسعه اقتصادی در کشورهاست. از سویی دیگر مصرف روزافزون انرژی‌های پایانپذیر مانند سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی الکتریکی، خطر پایان یافتن آنها را در آیندهای نزدیک‌تر رغم میزند. همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی، یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و تغییرات آب و هوایی هستند. بنابراین استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همواره به عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مد نظر بوده است. در این تحقیق به طراحی یک اقتصاد باز کوچک با لحاظ ساختاری برای بازار برق آن در قالب مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی پرداخته شده است و در آن چهار بخش اصلی شامل خانوار، تولید، دولت و تجارت خارجی، در نظر گرفته شده و اثرات پویای شوک‌های موجود در اقتصاد بر روی متغیرهای کلان اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه سازی و تجزیه و تحلیل توابع عکس‌العمل آنی مدل، بیانگر آن است که شوک بهره‌وری تولید در صنعت برق اثرات معنی‌داری بر متغیرهای کلان اقتصادی بر جای می‌گذارد و تعدیل اثر این شوک در بلندمدت صورت می‌گیرد. در ضمن، مکانیزم اثرگذاری شوک ترجیحات مصرف‌کننده کاملاً متفاوت و حتی تعدیل اثر این شوک بر روی برخی از متغیرهای کلان اقتصادی در دوره زمانی طولانی‌تری نسبت به شوک‌های دیگر رخ می‌دهد.

طبقه‌بندی JEL: C15 , C61 , E27 , F17 , Q41 , Q43 , Q47

کلیدواژه‌ها: مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، چرخه تجاری حقیقی، انرژی الکتریکی، شوک ترجیحات مصرف‌کننده، شوک بهره‌وری تولید در صنعت برق.

---

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد بین‌الملل، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه
najmeh.khaleghifar@gmail.com
۲. دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه (نویسنده مسئول)
H.Khodavaisi@urmia.ac.ir

۱. مقدمه

در طول زمان تئوری‌های اقتصادی تلاش داشته‌اند تا ارتباط بین انرژی و اقتصاد کلان را توضیح دهند.[1] با این وجود مدل‌های اولیه اقتصاد کلان، انرژی را به عنوان یک نهاده لازم در فرآیند تولید درنظر نگرفته‌اند. اما تسانی[2] بیان می‌کند که در مطالعات اولیه، انرژی می‌تواند به عنوان یک نهاده واسطه در تولید به کار گرفته شود. بارتلیت و گوندر[3] نیز در تحقیق خود وجود مکانیزم‌های مشخص که از طریق آنها رشد اقتصادی علی‌رغم وجود منابع محدود انرژی می‌تواند وجود داشته باشد را مورد بحث قرار می‌دهند.

در حال حاضر دو مکتب فکری وجود دارد که در الگوسازی تعادل عمومی پویای تصادفی فعالیت و رقابت تنگاتنگی با یکدیگر دارند. نظریه چرخه تجاری حقیقی[4] (RBC) که بر مبنای مدل رشد نئوکلاسیک‌ها و بر اساس فرضیه انعطاف‌پذیری قیمت‌ها ساخته شده است و به مطالعه این مسئله می‌پردازد که چگونه شوک‌های حقیقی در اقتصاد می‌توانند زمینه را برای نوسانات چرخه‌های تجاری فراهم کنند. تحقیق کیدلند و پرسکات در سال ۱۹۸۲ میلادی را می‌توان نقطه آغاز ایجاد نظریه RBC و الگوسازی[5] $DSGE$ دانست. کولی و پرسکات[6] دیدگاه RBC را مورد مطالعه قرار داده و به طراحی مدل رشد نئوکلاسیک‌ها جهت توضیح چرخه‌های تجاری با شوک حقیقی تکنولوژی پرداخته‌اند.

اصل اساسی در رویکرد RBC این است که یک مدل معیار از اقتصاد بدون اصطکاک و کاملاً رقابتی، که از عامل‌های اقتصادی عقلایی با هدف حداکثرسازی مطلوبیت و سود خود با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و محدودیت‌های تکنولوژیکی تشکیل شده است و این مدل پایه‌ای، زمانیکه شوک‌های تصادفی بهره‌وری و یا هر نوع شوک برون‌زای دیگری رخ دهد، می‌تواند تداعی‌کننده تعدادی از حقایق چرخه تجاری باشد. اغلب مدل‌های $DSGE$ از ساختار عمومی یک مدل RBC با افزودن نوعی از چسبندگی دستمزد یا قیمت جهت انطباق با دنیای واقعی استفاده می‌کنند. به این معنی که

1. Finn, M.G. (2000)
2. Tsani, S.Z. (2010)
3. Bartleet, M., and Gounder, R.(2010)
4. Real Business Cycle
5. Dynamic Stochastic General Equilibrium
6. Cooley, T.F., and. Prescott, E.C.(1995)

این مدل‌ها یک ساختار پاسخ آنی ساخته شده حول عوامل بهینه‌کننده در یک تعادل عمومی را مورد استفاده قرار می‌دهند. در اقتصاد کلان مدرن، اقتصاد به صورت یک سیستم تعادل عمومی پویای تصادفی که انعکاس‌دهنده تصمیمات تجمیع‌شده از افراد بر روی متغیرهایی که مربوط به گذشته و آینده هستند توصیف می‌شود.[1] در مطالعات داخل کشور تاکنون ساختار بازار برق را وارد مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی نکرده‌اند که این مطالعه در صدد رفع این نقص می‌باشد.

در تحقیق پیش رو، در بخش دوم مبانی نظری ارائه‌شده و در بخش سوم ساختار مدل طراحی شده بیان شده است. بخش چهارم به حل مدل به صورت غیر خطی در قالب مدل‌های *DSGE*، گزارش نتایج شبیه‌سازی شده مدل و تجزیه و تحلیل توابع عکس‌العمل آنی متغیرهای کلان نسبت به شوک‌های موجود پرداخته شده و در بخش پنجم نتیجه‌گیری اثرات این شوک‌ها ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و مطالعات تجربی

مطالعاتی که در حوزه *RBC* و *DSGE* صورت گرفته‌اند دارای دو شاخه اصلی می‌باشند. در یک سمت مطالعات تجربی هستند که تمرکز اصلی آنها بر روی دستیابی به معیارهای مناسب برای توصیف افزایش قیمت انرژی و کمّی‌سازی اثرات واقعی این افزایش‌ها در قیمت انرژی بر روی تولید ناخالص داخلی می‌باشد. از جمله مهم‌ترین مطالعات انجام شده در این حوزه، شامل مقالات همیلتون[2]، برنانکه و همکاران[3] و کیلیان[4] می‌باشد.

در سمت دیگر، مطالعات مبتنی بر تئوری قرار دارند که تلاش داشته‌اند در کنار مطالعات تجربی صورت گرفته مدل‌هایی مبتنی بر تئوری برای انرژی تعریف کنند تا این مدل‌ها جایگزین نتایج تجربی‌شده و از این طریق نقش انرژی در مدل‌های مبتنی بر تئوری برای انرژی نهایی گردد. به طور مثال افرادی همچون فین[5]، داوان و جسک[6]، دی میگوئل

1. Wickens, M. (2007)
2. Hamilton, J.D., (2003), (2009)
3. Bernanke, B. S. et al., (1997)
4. Kilian, L., (2008)
5. Finn, M.G. (2000)
6. Dhawan, R., and Jeske, K. (2007)

و همکاران[۱] و تان[۲] اثرات شوک‌های قیمت انرژی را بر تغییرات تولیدات در ساختار *RBC* مورد بررسی قرار داده‌اند.

تسانی[۳]، پین[۴]، داگر و یکوبین[۵] و کارانفیل و لی[۶] مطالعاتی را بر روی رابطه علیت بین مصرف انرژی (از جمله انرژی الکتریکی) و رشد اقتصادی با استفاده از روش‌های متفاوت برای چندین کشور در حال توسعه با این هدف که تعیین جهت صریح علیت یکی از دلایل مهم سیاست‌گذاری‌ها می‌باشد، انجام داده‌اند.

فیشر و هویتل[۷] در تحقیق خود به بررسی چگونگی تطابق سیاست‌های زیست‌محیطی با مدل‌های چرخه تجاری پرداخته‌اند و در چارچوب یک مدل *DSGE* به این نتیجه رسیده‌اند که مالیات‌های موجود بر انتشار گازهای گلخانه‌ای انعطاف‌پذیری زیادی نسبت به طیف وسیعی از شوک‌ها از خود نشان می‌دهند.

جانگ و اکانو[۸] انتقال شوک بین دو کشور را بررسی می‌کنند. آنها معتقدند که در مدل‌های *RBC/DSGE* بهره‌وری خارجی می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های نهایی شود و سطح تولید طبیعی در کشور خارجی را افزایش دهد و همچنین منجر به کاهش سطح قیمت‌ها در کوتاه‌مدت و کاهش نرخ بهره اسمی نیز گردد.

تیومن و همکاران[۹] مکانیسم‌هایی را که از طریق آن مالیات‌های زیست‌محیطی می‌توانند بر متغیرهای اصلی اقتصاد کلان آمریکا در قالب یک مدل DSGE اثر گذارند، را مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد در صورتی که هیچ ذخیره‌کننده انرژی (دلال) در اقتصاد وجود نداشته باشد سیاست پولی در پاسخ به تولید و تورم به منظور حداقل‌سازی کاهش رفاه اجتماعی در نتیجه مالیات‌های زیست‌محیطی، کارا خواهد بود اما با وجود این دلالان، کارایی سیاست پولی در پاسخ به تولید کاهش خواهد یافت.

---

1. De Miguel, C. et al., (2003), (2005)
2. Tan, B. H., (2012)
3. Tsani, S. Z., (2010)
4. Payne, J. E., (2010)
5. Dagher, L., and Yacoubian, T., (2012)
6. Karanfil, F., and Li, Y., (2015)
7. Fisher and Heutel. (2013)
8. Jang, T.S., and Okano, E., (2013)
9. Tumen, S. et al., (2015)

نیو و همکاران[1] در مدل خود به ارزیابی واکنش انتشار کربن به شوک‌های مالیاتی زیست‌محیطی از طریق رویکرد *DSGE* پرداخته‌اند. با استفاده از تجزیه و تحلیل توابع پاسخ آنی و تجزیه واریانس، دریافته‌اند که سیاست‌های مالیاتی زیست‌محیطی می‌توانند باعث کاهش انتشار کربن در چین شوند.

آرجنتیرو و همکاران[2] در صدد تعیین اثربخشی یک استراتژی جامع برای منابع انرژی تجدیدپذیر در منطقه اروپا و با استفاده از مدل *DSGE* هستند. یافته‌هایشان نشان می‌دهد که سیاست‌های زیست‌محیطی مبتنی بر اقدامات تکنولوژی محور ممکن است اثرات پویای بهتری را نسبت به اقدامات تقاضا محور داشته باشد و قیمت تعادلی منابع انرژی تجدیدپذیر با پیاده‌سازی اقدامات مبتنی بر تکنولوژی سریع‌تر رخ دهد.

مطالعات داخلی متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته است از جمله فرازمند و همکاران (۱۳۹۵) یک الگوی تعادل عمومی تصادفی پویا با چسبندگی‌های اسمی و حقیقی جهت بررسی اثرات اصلاح قیمت انرژی بر اقتصاد کلان ایران را طراحی کرده‌اند. نتایج توابع واکنش تکانه‌ای نشان می‌دهد، یک شوک در قیمت حقیقی انرژی منجر به کاهش تولید، افزایش تورم و کاهش مصرف خصوصی و سرمایه‌گذاری می‌گردد.

مهینی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود به بررسی آثار ناشی از آزادسازی قیمت بر کارایی انرژی برق در صنایع تولیدی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد که با سطح اطمینان ۹۵ درصد، صنایع تولیدی ایران در کاهش میزان مصرف برق به طور معنی‌داری انعطاف پذیر هستند. اما وضعیت کارایی انرژی برق در دوره زمانی پس از هدفمندسازی یارانه‌ها در مقایسه با قبل از آن به طور معنی‌داری وخیم‌تر شده است. به عبارت دیگر قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، بر خلاف انتظارات حداقل در کوتاه‌مدت نتوانسته است به بهبود کارایی مصرف برق در صنایع تولیدی کشور منجر شود.

سالم و اکابری (۱۳۹۶) در تحقیق خود به منظور برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری از روش کشش قیمتی تقاضای انرژی برق و فرم تبعی سیستم معادلات تقاضا استفاده نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که اثر

1. Niu, T. et al., (2018)
2. Argentiero A. et al., (2018)

بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق برابر با ۸۱ درصد است که در مقایسه با این اثر در زمینه با سایر انرژی‌های مورد استفاده خانوار رقم بسیار بالایی می‌باشد. همچنین محاسبه این اثر در بین گروه‌های درآمدی، نشان‌دهنده بالا بودن آن در بین خانوارهای ثروتمند است.

اصغری و همکاران (۱۳۹۷) هدف خود را بررسی کاربرد و مطالعه روش‌های یادگیری تقویتی در مدل چندعاملی بازار برق ایران و مقایسه آنها با دو استراتژی تصادفی و حریصانه بیان می‌کنند که میزان سود واحدها و زمان رسیدن به حالت تعادل را به عنوان ملاک ارزیابی در نظر گرفته‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استراتژی یادگیرنده، سود عامل‌ها را افزایش می‌دهد و سرعت همگرایی به حالت تعادل را بیشتر می‌کند.

صادقی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی امکان ایجاد یکپارچگی سیستم‌های قدرت در پنج کشور هم مرز ایران (پاکستان، ترکیه، قزاقستان، روسیه و عمان) پرداخته‌اند. بدین منظور رفتار پویای سناریوهای خودکفایی و بازار آزاد با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی *Vensim* تا سال ۲۰۳۰ را ارزیابی کرده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه دو سناریوی خودکفایی و بازار آزاد حاکی از آن است که ایجاد بازار یکپارچه در منطقه مورد بررسی منجر به کاهش قیمت برق بدلیل کاهش هزینه‌های ظرفیت می‌گردد.

رهبر و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود تابع هزینه کل بلندمدت را برای صنعت برق کشور به فرم ترانسلوگ و به صورت مستقیم تخمین زده‌اند. قیمت‌گذاری رمزی، قیمت‌گذاری بلوکی، بازپرداخت تسهیلات اخذ شده از دولت در مقابل تعهدات دولت بابت تفاوت نرخ، استفاده از ظرفیت خصوصی‌سازی و اقساط بخش خصوصی با طلب آنان در مقابل فروش برق به شرکت‌های مادر تخصصی دولتی از جمله عمده‌ترین راه‌حل‌هایی می‌باشند که به منظور جبران کسری پیشنهاد گردیده است.

مجدزاده و هادیان (۱۳۹۷) در تحقیق خود به دنبال بررسی اثرات سیاست قیمت‌گذاری تعرفه‌ای[1] (*FIT*) در اقتصاد ایران بوده و در این راستا از یک الگوی سه جانبه اقتصاد – انرژی – محیط زیست(*E*3) از نوع *CGE*[2] با رهیافت تلفیقی استفاده کرده‌اند.

1. Feed in Tariff
2. Computable General Equilibrium

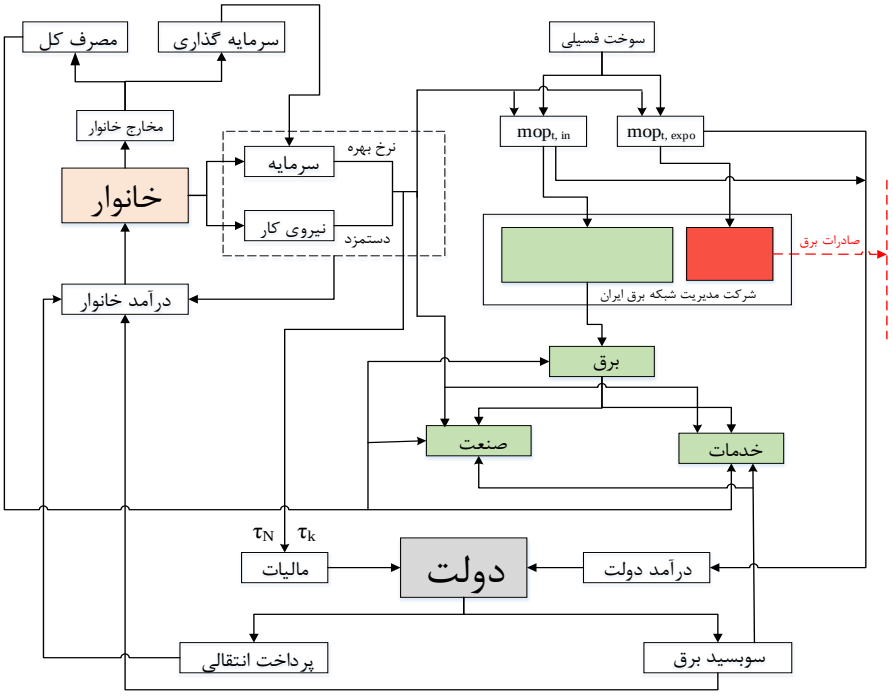
نتایج بیانگر آن است که دستیابی به هدف کاهش بیشتر در آلودگی و هزینه اجتماعی ناشی از آن، به ازاء کاهش بیشتر در تولید ناخالص تعادلی بخش‌ها به دست خواهد آمد.

در مطالعات داخلی بازار برق، استفاده از رویکرد مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی چندان مد نظر قرار نگرفته است. بدین منظور ما در تحقیق خود با استفاده از مدل‌های RBC/DSGE به تحلیل اقتصادی که شامل بازار برق است، می‌پردازیم و با حل غیرخطی این مدل و تجزیه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی به دست آمده، به بررسی اثرات شوک‌های ترجیحات مصرف‌کننده و بهره‌وری تولید در صنعت برق بر روی متغیرهای کلان اقتصادی خواهیم پرداخت.

۳. ساختار مدل

در این تحقیق یک اقتصاد باز کوچک را با لحاظ بازار برق در قالب مدل‌های RBC/DSGE مدلسازی کرده‌ایم. در این اقتصاد ۴ بخش اصلی شامل خانوار، تولید، دولت و بخش تجارت خارجی، وجود دارند. تمام این بخش‌ها از طریق شرایط تعادل بازار به هم مرتبط می‌شوند اما با این حال لازم است که دولت نیز در بازار دخالت کند. عامل‌های اقتصادی، در تمام بازارها قیمت‌پذیر هستند و فرض می‌شود که این عوامل، پیش‌بینی کامل داشته باشند. این اقتصاد باز و کوچک بوده به طوری که رفتار آن مابقی جهان را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. این مسئله بیان می‌کند که قیمت بین‌المللی، نرخ بهره خارجی و تقاضای خارجی از تصمیمات عامل‌های داخلی تأثیر نمی‌پذیرد. در این مطالعه کشور ایران و کشور خارجی که با آن تبادلات تجاری انجام می‌دهد را کاملاً یکسان فرض کرده‌ایم و از آنجا که قیمت‌های حقیقی در این دو کشور مشابه یکدیگر می‌باشند در نتیجه نرخ ارز حقیقی را در این مدل برابر با یک درنظر می‌گرفته‌ایم.

به منظور درک بهتر ساختار مدل طراحی شده، شکل ۱ بیان‌کننده تعامل عوامل موجود با یکدیگر در قالب یک اقتصاد باز کوچک است.



شکل ۱. ساختار مدل

۳-۱. خانوار

زنجیره‌ای از خانوارها وجود دارد که به وسیله (۱ و ۰) $i \leq$ نشان داده می‌شود. یک خانوار نماینده در دوره t از مصرف کل خود $C_t^T(i)$ (که شامل مصرف کالاهای انرژی e و کالاهای غیر انرژی c است) نسبت به عادت مصرفی‌اش $hC_{t-1}^T(i)$ و فراغت $1 - N_t(i)$ که در واقع $N_t(i)$ همان ساعات کاری خانوار می‌باشد، مطلوبیت کسب می‌نماید. خانوار بر اساس مطلوبیت انتظاری که از تمام فعالیت‌های زندگی خود به دست می‌آورد، تابع مطلوبیت خود را به شکل زیر تشکیل می‌دهد.

$$U_t(i) = E_{\cdot} \sum_{t=\cdot}^{\infty} \beta^t [\varepsilon_t^{C^T} InC_t^T(i) - hC_t^T(i)] - \frac{N_t^{1+\sigma}(i)}{1+\sigma} \qquad (1)$$

که در آن $۰ \leq \beta \leq ۱$ بیانگر نرخ تنزیل، $\sigma \geq ۱$ عکس کشش عرضه نیروی کار Frisch، $۰ \leq h \leq ۱$ درجه عادت مصرفی و $\varepsilon_t^{C^T}$ شوک ترجیحات بین‌دوره‌ای مصرف‌کننده است که از فرآیند $AR(۱)$ زیر تبعیت می‌کند.

$$\varepsilon_t^{C^T} = (\varepsilon_t^{C^T})^{\psi_c t}\, expo(\Gamma_{t,C} t) \quad \Gamma_{t,C} t \quad N(۰,۱) \tag{۲}$$

مصرف کل خانوارهای اقتصاد C_t^T که به صورت ضابطه CES از مصرف کل کالاهای انرژی e و کالاهای غیر انرژی c است را به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$C_t^T = [(۱-\rho_c)^{\frac{۱}{\eta_c}} c_t^{\frac{\eta_c - ۱}{\eta_c}} + \rho_c^{\frac{۱}{\eta_c}} e_t^{\frac{\eta_c - ۱}{\eta_c}}]^{\frac{\eta_c}{\eta_c - ۱}} \tag{۳}$$

که $۰ < \rho_c < ۱$ سهم کالاهای انرژی و $۰ < \eta_c < \infty$ کشش جانشینی مصرف بین این دو نوع کالا می‌باشد. مصرف کل این کالاها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$c_t = (\int_۰^۱ c_t(i)^{\frac{\varepsilon_c - ۱}{\varepsilon_c}} di)^{\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - ۱}} \tag{۴}$$

$$e_t = (\int_۰^۱ e_t(i)^{\frac{\varepsilon_c - ۱}{\varepsilon_c}} di)^{\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - ۱}} \tag{۵}$$

پارامتر $\varepsilon_c > ۰$ کشش جانشینی بین‌دوره‌ای در میان کالاهای همان بخش را نشان می‌دهد. $c_t(i)$ و $e_t(i)$ به ترتیب بیانگر مصرف کالاهای غیرانرژی و کالاهای انرژی توسط خانوار نماینده است که با انجام بهینه‌یابی مورد نظر به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$c_t(i) = [\frac{p_c(i)}{p_c}]^{-\varepsilon} c_t \qquad , \qquad e_t(i) = [\frac{p_e(i)}{p_e}]^{-\varepsilon} e_t \tag{۶}$$

مصرف کالاهای انرژی (برق) توسط خانوار نماینده از طریق برق تولیدی نیروگاه‌های داخل کشور $e_{t,in}(i)$ و برق وارداتی $e_{t,impo}(i)$ در ساعات پیک صورت می‌گیرد. همچنین فرض می‌شود که سود سهام به شکل یکسان بین تمام خانوارها توزیع شده است در نتیجه $DIV_t(i) = DIV_t$ خواهد بود. بنابراین قید بودجه خانوار نماینده که بیان می‌کند در هر بازه زمانی هزینه‌های خانوار باید با منابع وی برابر باشد به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$K_{t+۱}(i) + C_t^T(i) = (۱-\tau_N) w_t N_t(i) + (۱-\tau_K) r_t K_t(i) + (۱-\delta) K_t(i) + TR_t + DIV_t \tag{۷}$$

مسئله بهینه‌سازی خانوار نماینده، انتخاب سطوح مصرف و ساعات نیروی کار می‌باشد که به صورت معادله اولر مصرف و نیروی کار به ترتیب به شکل زیر به دست می‌آیند:

$$\frac{\frac{\varepsilon^{C^T}_{t+1}}{C^T_{t+1}(i)-hC^T_t(i)}-\beta h\frac{\varepsilon^{C^T}_{t+2}}{C^T_{t+2}(i)-hC^T_{t+1}(i)}}{\frac{\varepsilon^{C^T}_{t}}{C^T_{t}(i)-hC^T_{t-1}(i)}-\beta h\frac{\varepsilon^{C^T}_{t+1}}{C^T_{t+1}(i)-hC^T_{t}(i)}}=\frac{1}{\beta[(1-\tau_k)r_t+(1-\delta)]} \quad (8)$$

$$N^{\sigma}_t=[\frac{\varepsilon^{c^T}_t}{C^T_t(i)-hC^T_{t-1}(i)}-\beta h\frac{\varepsilon^{c^T}_{t+1}}{C^T_{t+1}(i)-hC^T_t(i)}](1-\tau_N)w_t \quad (9)$$

تمام خانوارهایی که بهینه‌سازی انجام می‌دهند با شرایط یکسانی روبرو هستند و رفتار مشابهی دارند. تا اینجا مسائل مربوط به یک عامل اقتصادی مطرح شده است که شامل محدودیت‌ها و تصمیمات فردی آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، برخی از روش‌های تجمعی نیز اعمال می‌شوند چراکه به کمک آنها می‌توان رفتار کل اقتصاد را بررسی کرد. بنابراین شاخص i را می‌توان از تصمیمات مربوط به مخارج خانوار حذف کرد.

به منظور بررسی کل اقتصاد، ابتدا با انجام بهینه‌یابی مخارج مصرفی کل خانوارهای اقتصاد، توابع تقاضای کل برای کالاهای غیرانرژی، کالاهای انرژی و شاخص قیمت مصرف‌کننده *(CPI)* به صورت زیر به دست می‌آید:

$$c_t=(1-\rho_c)[p_c]^{-\eta_c}C^T_t \quad (10)$$

$$e_t=\rho_c[p_e]^{-\eta_c}C^T_t \quad (11)$$

$$1=[(1-\rho_c)p_c^{1-\eta_c}+\rho_c p_e^{1-\eta_c}]^{\frac{1}{1-\eta_c}} \quad (12)$$

مصرف کل کالاهای انرژی (برق) توسط کل خانوارهای موجود در اقتصاد به صورت تابع *CES* زیر تجمیع می‌شود:

$$e_t=[(1-\rho_e)^{\frac{1}{1-\eta_c}}e_{t,in}^{\frac{\eta_e-1}{\eta_e}}+\rho_e^{\frac{1}{\eta_e}}e_{t,impo}^{\frac{\eta_e-1}{\eta_e}}]^{\frac{\eta_e}{\eta_e-1}} \quad (13)$$

که $0 < \rho_e < 1$ بیانگر سهم برق وارداتی و $0 < \eta_e < \infty$ کشش جانشینی مصرف این انرژی بین برق تولید داخل و برق وارداتی می‌باشد. توابع تقاضا برای برق تولیدی توسط نیروگاه‌های داخل کشور، برق وارداتی و همچنین شاخص قیمت انرژی الکتریکی با انجام بهینه‌یابی موردنظر به ترتیب به صورت زیر به دست می‌آید:

$$e_{t,in} = [(1-\rho_e)(\frac{p_e^m}{p_e}]^{-\eta_e} e_t \qquad (14)$$

$$e_{t,impo} = \rho_e [\frac{p_{t,elec}^{impo} p_{t,\$}}{p_e}]^{-\eta_e} e_t \qquad (15)$$

$$p_e = [(1-\rho_e)(p_e^{in})^{1-\eta_e} + \rho_e (p_{t,elec}^{impo} \rho_{t,\$})^{1-\eta_e}]^{\frac{1}{1-\eta_e}} \qquad (16)$$

۳-۲. بخش تولید

در این مدل سه بخش تولید از جمله بخش انرژی که تولیدکننده برق است، بخش صنعت و خدمات که در آن کالاهای نهایی این دو بخش با استفاده از برق به عنوان یک نهاده مولد تولید می‌شوند.

۳-۲-۱. بخش انرژی

در این بخش زنجیره‌ای از بنگاه‌های وزارت نیرو که با $0 \le b \le 1$ نشان داده می‌شود، وجود دارد. یک بنگاه نماینده با استفاده از نهاده نیروی کار $N_{t,mopin}(b)$، سرمایه $K_{t,mopin}(b)$ و سوخت فسیلی $EF_{t,mopin}(b)$، برق خود را تولید می‌کنند:

$$mop_{t,in}(b) = A_{t,mopin} N_{t,mopin}^{\alpha_{mopin}}(b) K_{t,mopin}^{\gamma_{mopin}}(b) EF_{t,mopin}^{1-\alpha_{mopin}-\gamma_{mopin}}(b) \qquad (17)$$

که در آن $A_{t,mopin}$ از فرآیند $AR(1)$ به صورت زیر تبعیت می‌کند.

$$A_{t,mopin} = (A_{t-1,mopin})^{\psi_{mopin}} expo(\Gamma_{t,mopin})\ \Gamma_{t,mopin} \quad N(0,1) \qquad (18)$$

بنگاه‌ها با توجه به قیمت داده شده نهاده‌های تولید خود، در بازار عوامل تولید به صورت رقابت کامل عمل می‌کنند. از طرف دیگر این بنگاه‌ها تولیدکننده کالایی هستند که کاملاً

همگن است و قدرت قیمت‌گذاری بر روی انرژی الکتریکی را ندارند، زیرا قیمت خرید این انرژی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به ازای هر کیلووات ساعت ۷۰۰ تا ۸۰۰ ریال و قیمت خرید آن از نیروگاه‌های گازی بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ ریال می‌باشد. در این مدل، فرض بر این است که تمامی نیروگاه‌های متعلق به وزارت نیرو از نوع نیروگاه‌های سیکل ترکیبی هستند. بنابراین این بنگاه‌ها در بازار محصول خود نیز در شرایط رقابت کامل فعالیت می‌کنند. همچنین تابع سود نیروگاه نماینده وزارت نیرو به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\pi_{t,mopin}(b)=p_{mopin}A_{t,mopin}N_{t,mopin}^{\alpha_{mopin}}(b)K_{t,mopin}^{\gamma_{mopin}}(b)EF_{t,mopin}^{1-\alpha_{mopin}-\gamma_{mopin}}(b) \qquad (۱۹)$$

$$-w_t N_{t,mopin}(b)-r_t K_{t,mopin}(b)-p_{t,ef}^{mopin}EF_{t,mopin}(b)$$

حال با توجه به شرایط موجود، نیروگاه نماینده وزارت نیرو مسئله حداکثرسازی سود خود را حل نموده و به شرایط مرتبه اول زیر می‌رسد:

$$N_{t,mopin}(b)=p_{mopin}\alpha_{mopin}\frac{mop_{t,in}(b)}{w_t} \qquad (۲۰)$$

$$K_{t,mopin}(b)=p_{mopin}\gamma_{mopin}\frac{mop_{t,in}(b)}{r_t} \qquad (۲۱)$$

$$EF_{t,mopin}(b)=p_{mopin}(1-\alpha_{mopin}-\gamma_{mopin})\frac{mop_{t,in}(b)}{p_{t,ef}^{mopin}} \qquad (۲۲)$$

تجمیع‌کننده که همان شرکت مدیریت شبکه برق است، برق تولیدی تمام نیروگاه‌های متعلق به وزارت نیرو با هدف تأمین برق مورد نیاز داخل کشور را تجمیع می‌کند و آن را به عنوان نهاده تولید به بخش صنعت و خدمات، همچنین به عنوان کالای مصرفی خانوار به بخش خانگی عرضه می‌نماید. به دلیل فعالیت در بازار رقابت کامل، تجمیع‌کننده سود صفر را کسب خواهد نمود.

۳-۲-۲. بخش صنعت

در این بخش زنجیره‌ای از بنگاه‌های کالای صنعتی که با $j \le (0,1)$ مشخص می‌شود، وجود دارد. یک بنگاه نماینده، کالای صنعتی را با استفاده از سرمایه $K_{t,y}(j)$، نیروی کار

$N_{t,y}(j)$ و انرژی الکتریکی $E_{t,y}(j)$ تولید می‌کند. این تولید به وسیله یک تابع کاب‌داگلاس با بازدهی ثابت نسبت به مقیاس صورت می‌گیرد

$$y_t(j)=A_{t,y}\,N_{t,y}^{\alpha_y}(j)\,K_{t,y}^{\gamma_y}(j)\,E_{t,y}^{1-\alpha_y-\gamma_y}(j) \qquad (۲۳)$$

که در آن $A_{t,y}$ از فرآیند $AR(1)$ زیر تبعیت می‌کند.

$$A_{t,y}=(A_{t-1,y})^{\psi_y}\,expo(\Gamma_{t,y})\;\Gamma_{t,y}\quad N(0,1) \qquad (۲۴)$$

این بنگاه‌ها در بازار عوامل تولید خود و همچنین در بازار محصول خود در شرایط رقابت کامل فعالیت می‌کنند. از طرف دیگر تابع سودی که یک بنگاه نماینده با آن روبروست به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\pi_{t,y}(j)=p_y\,A_{t,y}\,N_{t,y}^{\alpha_y}(j)K_{t,y}^{\gamma_y}(j)E_{t,y}^{1-\alpha_y-\gamma_y}(j)-w_t\,N_{t,y}(j) \qquad (۲۵)$$
$$-r_t\,K_{t,y}(j)-p_{Ey}\,E_{t,y}(j)$$

همچنین با توجه به شرایط موجود، بنگاه نماینده مسئله حداکثرسازی سود خود را حل می‌نماید و به شرایط مرتبه اول زیر می‌رسد:

$$N_{t,y}(j)=p_y\,\alpha_y\,\frac{y_t(j)}{w_t} \qquad (۲۶)$$

$$K_{t,y}(j)=p_y\,\gamma_y\,\frac{y_t(j)}{r_t} \qquad (۲۷)$$

$$E_{t,y}(j)=p_y(1-\alpha_y-\gamma_y)\frac{y_t(j)}{p_{Ey}} \qquad (۲۸)$$

برق مصرفی بنگاه‌های موجود در بخش صنعت از طریق تولید برق داخلی توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو و در ساعات اوج بار به وسیله واردات برق تأمین می‌شود. تابع CES زیر بیانگر تجمیع برق تولید داخل و برق وارداتی برای کل اقتصاد می‌باشد.

$$E_{t,y}=[(1-p_{Ey})^{\frac{1}{\eta_{Ey}}}(E_{t,y}^{in})^{\frac{\eta_{Ey}-1}{\eta_{Ey}}}+\rho_{Ey}^{\frac{1}{\eta_{Ey}}}(E_{t,y}^{impo})^{\frac{\eta_{Ey}-1}{\eta_{Ey}}}]^{\frac{\eta_{Ey}}{\eta_{Ey}-1}} \qquad (۲۹)$$

با انجام بهینه‌یابی مورد نظر می‌توان به ترتیب به توابع تقاضای بـرق داخلـی و بـرق وارداتـی توسط این بنگاه‌هـا و همچنـین بـه شـاخص قیمـت انـرژی الکتریکـی در بخـش صـنعت بـه صورت زیر دست یافت:

$$E_{t,y}^{in} = (1-\rho_{Ey})[\frac{p_{Ey}^{in}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{t,\,Ey} \qquad (30)$$

$$E_{t,y}^{impo} = p_{Ey}[\frac{p_{t,elec}^{impo} p_{t,\$}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{t,y} \qquad (31)$$

$$p_{Ey} = [(1- p_{Ey})(p_{Ey}^{in})^{1-\eta_{Ey}} + p_{Ey}(p_{t,elec}^{impo}\ p_{t,\$})^{1-\eta_{Ey}}]^{\frac{1}{1-\eta_{Ey}}} \qquad (32)$$

تجمیع‌کننده بخش صنعت، کالاهای تولید شده توسط بنگاه‌های مختلـف در ایـن بخـش را تجمیع می‌کند و به دلیل فعالیت در بازار رقابت کامل، سود صفر را به دست خواهد آورد.

۳-۲-۳. بخش خدمات

برای بررسی بخش خدمات، زنجیره‌ای از بنگاه‌های کالای خدماتی وجود دارد کـه توسـط $0 \le n \le 1$ نشان داده می‌شود. بنگاه نماینده با استفاده از نهاده‌هـای نیـروی کـار $N_{t,D}(n)$، سرمایه $K_{t,D}(n)$، انرژی برق $E_{t,D}(n)$ و بـا بـه کـارگیری یـک تـابع کـاب‌داگـلاس بـا بازدهی ثابت نسبت به مقیاس کالای خود را تولید می‌کند.

$$D_t(n) = A_{t,D} N_{t,D}^{\alpha_D}(n) K_{t,D}^{\gamma_D}(n) E_{t,D}^{1-\alpha_D-\gamma_D}(n) \qquad (33)$$

که در آن $A_{t,D}$ از فرآیند $AR(1)$ به صورت زیر تبعیت می‌کند:

$$A_{t,D} = (A_{t-1,D})^{\psi_D} expo(\Gamma_{t,D}) \quad \Gamma_{t,D} \quad N(0,1) \qquad (34)$$

همچنین تابع سود بنگاه نماینده به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\pi_{t,D}(n) = p_{t,D} A_{t,D} N_{t,D}^{\alpha_D}(n) K_{t,D}^{\gamma_y}(n) E_{t,y}^{1-\alpha_D-\gamma_D}(n) - w_t N_{t,D}(n) - r_t K_{t,D}(n) - p_{ED}(n) E_{t,D}(n) \qquad (35)$$

و شرایط مرتبه اول این مسئله به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$N_{t,D}(n) = p_{t,D}\alpha_D \frac{D_t(n)}{w_t} \quad (۳۶)$$

$$K_{t,D}(n) = p_{t,D}\gamma_D \frac{D_t(n)}{r_t} \quad (۳۷)$$

$$E_{t,D}(n) = p_{t,D}(۱-\alpha_D-\gamma_D)\frac{D_t(n)}{p_{ED}} \quad (۳۸)$$

مشابه بخش صنعت، تابع تجمیع‌کننده برق وارداتی و برق تولید داخل، توابع تقاضای برق تولید داخل و برق وارداتی توسط بنگاه‌های موجود در بخش خدمات و همچنین شاخص قیمت انرژی الکتریکی در این بخش برای کل اقتصاد به ترتیب به شکل زیر به دست خواهند آمد:

$$E_{t,D} = [(۱-\rho_{ED})^{\frac{۱}{\eta_{ED}}}(E_{t,D}^{in})^{\frac{\eta_{ED}-۱}{\eta_{ED}}} + \rho_{ED}^{\frac{۱}{\eta_{ED}}}(E_{t,D}^{impo})^{\frac{\eta_{ED}-۱}{\eta_{ED}}}]^{\frac{\eta_{ED}}{\eta_{ED}-۱}} \quad (۳۹)$$

$$E_{t,D}^{in} = (۱-\rho_{ED})[\frac{p_{ED}^{in}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{t,D} \quad (۴۰)$$

$$E_{t,D}^{impo} = \rho_{ED}[\frac{p_{t,elec}^{impo} p_{t,\$}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{t,D} \quad (۴۱)$$

$$p_{ED} = [(۱-\rho_{ED})(p_{ED}^{in})^{۱-\eta_{ED}} + \rho_{ED}(p_{t,elec}^{impo} p_{t,\$})^{۱-\eta_{ED}}]^{\frac{۱}{۱-\eta_{ED}}} \quad (۴۲)$$

در بخش خدمات نیز تجمیع‌کننده، کالاهای بنگاه‌های مختلف این بخش را خریداری و سپس تجمیع می‌نماید. از آنجا که این تجمیع‌کننده در شرایط رقابت کامل فعالیت می‌کند، سود وی نیز برابر صفر خواهد بود.

۳-۳. بخش تجارت خارجی

ایران با ۸ کشور همسایه تبادلات انرژی الکتریکی دارد. بنابر آمار وزارت نیرو طی ۵ سال گذشته بیشترین صادرات برق به ترتیب به کشورهای عراق، ترکیه، افغانستان، پاکستان، نخجوان، ارمنستان، ترکمنستان و کشور آذربایجان صورت گرفته است و همچنین عمده

واردات برق کشور نیز از ترکمنستان انجام می‌شود. تراز صادرات برق در کشور حدودا سه برابر واردات بوده و بنابراین وجه غالب در صنعت برق به شکل صادرات است.

صادرات برق در ایران از سال ۱۳۶۸شروع شده است که تابعی از اختلاف تولید و مصرف (ذخیره شبکه) کشور ایران و کشور همسایه، ارزش افزوده بخش صنعتی در این دو کشور و همچنین هزینه انتقال برق به کشور همسایه است. به دلیل اینکه قیمت برق در ایران و بسیاری از کشورهای همجوار به صورت یارانه‌ای است، بنابراین انتظار می‌رود که صادرات برق بین کشورهای منطقه تابعی از قیمت‌های نسبی برق نباشد، بلکه تابعی از میزان ذخیره برق شبکه دو کشور که ناشی از اختلاف پیک روزانه و فصلی بار شبکه آنهاست می‌باشد.

صادرات برق می‌تواند زمینه مناسبی برای توسعه خصوصی سازی و ایجاد رقابت در صنعت برق کشور را فراهم سازد. هزینه پایین پیک‌سایی، هموارسازی منحنی بار و اصلاح ضریب بار از طریق تبادل برق با کشورهای همجوار در مقایسه با افزایش ظرفیت نیروگاه‌های پیک و یا استفاده از شیوه‌های نوین ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی ایجاب می‌کند تا اتصال به شبکه کشورهای همسایه بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

بدین منظور زنجیره‌ای از نیروگاه‌های وزارت نیرو که با $x\in(0,1)$ نشان داده می‌شود، در نظر گرفته شده است. یک بنگاه نماینده با استفاده از نهاده‌های نیروی کار $N_{t,\text{expo}}(x)$، سرمایه $K_{t,\text{expo}}(x)$، سوخت فسیلی $EF_{t,\text{expo}}(x)$ و تابعی با ضابطه کاب‌داگلاس، برق صادراتی خود را تولید می‌کند:

$$mop_{t,expo}(x)=A_{t,expo}N_{t,expo}^{\alpha_{expo}}(x)K_{t,expo}^{\gamma_{expo}}(x)EF_{t,expo}^{1-\alpha_{expo}-\gamma_{expo}}(x) \qquad (۴۳)$$

که در آن $A_{t,\text{expo}}$ از فرآیند AR(1) به صورت زیر تبعیت می‌کند.

$$A_{t,expo}=(A_{t-1,expo})^{\psi_{expo}}expo(\Gamma_{t,expo}) \quad \Gamma_{t,expo} \quad N(0,1) \qquad (۴۴)$$

تابع سود و شرایط مرتبه اول حاصل از بهینه‌یابی بنگاه نماینده وزارت نیرو با هدف حداکثرسازی سود خود به ترتیب به شکل زیر به دست می‌آیند:

$$\pi_{t,expo}(x)=p_{t,elec}^{expo}(x)p_{t,\$}A_{t,expo}N_{t,expo}^{\alpha_{expo}}(x)K_{t,expo}^{\gamma_{expo}}(x)EF_{t,expo}^{1-\alpha_{expo}-\gamma_{expo}}(x) \qquad (۴۵)$$

$$-w_t N_{t,expo}(x)-r_t K_{t,expo}(x)-p_{t,ef}^{mop\ expo}(x)EF_{t,expo}(x)$$

$$N_{t,expo}(x)=p_{t,elex}^{expo}(x)p_{t,\$}\alpha_{expo}\frac{mop_{ss,expo}(x)}{w_{ss}} \quad (۴۶)$$

$$K_{t,expo}(x)=p_{t,elec}^{expo}(x)p_{t,\$}\gamma_{expo}\frac{mop_{t,expo}(x)}{r_{ss}} \quad (۴۷)$$

$$EF_{t,expo}(x)=p_{t,elec}^{expo}(x)p_{t,\$}(۱-\alpha_{expo}-\gamma_{expo})\frac{mop_{t,expo}(x)}{p_{t,ef}^{mop\ expo}(x)} \quad (۴۸)$$

برق تولید شده توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو به منظور صادرات، توسط شرکت مدیریت شبکه برق تجمیع می‌شود و به دلیل اینکه شرکت مدیریت شبکه در بازار رقابت کامل فعالیت می‌کند در نتیجه سود صفر عاید وی خواهد شد.

۳-٤. تجمیع‌کننده برق

شرکت مدیریت شبکه، برق تولید شده در کل اقتصاد توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو برای تأمین برق داخل و صادرات انرژی الکتریکی را با استفاده از تابعی با ضابطه CES به صورت زیر تجمیع می‌کند.

$$mop_t=[(۱-\rho_{mop})^{\frac{۱}{\eta_{mop}}}mop_{t,in}^{\frac{\eta_{mop}-۱}{\eta_{mop}}}+\rho_{mop}^{\frac{۱}{\eta_{mop}}}mop_{t,expo}^{\frac{\eta_{mop}-۱}{\eta_{mop}}}]^{\frac{\eta_{mop}}{\eta_{mop}-۱}} \quad (۴۹)$$

که ρ_{mop} بیانگر سهم برق تولیدی توسط وزارت نیرو برای صادرات و η_{mop} کشش جانشینی بین برق تولیدی وزارت نیرو برای صادرات و تولید برق داخل است. با انجام بهینه‌یابی وزارت نیرو، توابع تقاضا و قیمت کل برق تولیدی توسط وزارت نیرو به دست می‌آیند

$$mop_{t,in}=(۱-\rho_{mop})[\frac{p_{mopin}}{p_{t,mop}}]^{-\eta_{mop}}mop_t \quad (۵۰)$$

$$mop_{t,expo}=\rho_{mop}[\frac{p_{t,elec}^{expo}p_{t,\$}}{p_{t,mop}}]^{-\eta_{mop}}mop_t \quad (۵۱)$$

$$p_{t,mop}=[(۱-\rho_{mop})(p_{mopin})^{۱-\eta_{mop}}+\rho_{mop}(p_{t,elec}^{expo}p_{t,\$})^{۱-\eta_{mop}}]^{\frac{۱}{۱-\eta_{mop}}} \quad (۵۲)$$

۳-۵. دولت

دولت با گرفتن مالیات بر درآمد نیروی کار $\tau_N w_t N_t$، مالیات بر سرمایه $\tau_K r_t K_t$، فروش برق تولیدی در داخل کشور $mop_{t,in}$ و برق صادراتی $mop_{t,expo}$، کسب درآمد می‌کند. از طرفی دیگر دولت برای تولید برق، متحمل پرداخت هزینه‌های عوامل تولید (نیروی کار، سرمایه و انرژی) نیز می‌باشد. پرداخت‌های انتقالی دولت به خانوار TR_t نیز از دیگر هزینه‌های دولت است.

بر اساس تعریف بین‌المللی که از یارانه وجود دارد، می‌توان دو نوع اصلی یارانه را که توسط دولت ارائه می‌شود، شناسایی کرد. نوع اول یارانه‌های طراحی شده برای کاهش هزینه مصرف انرژی الکتریکی و نوع دوم یارانه‌های سوختی با هدف حمایت از تولید داخلی است.[1] آژانس بین‌المللی انرژی، یارانه را اینگونه تعریف می‌کند که مصرف‌کنندگان قیمت پایین‌تری را برای انرژی (برق) تولید شده با استفاده از سوخت‌های فسیلی پرداخت کنند. در این تحقیق نیز مدل یارانه برق (S_t) را اینگونه تعریف شده است که دولت برق را با قیمت بالاتری از تولیدکنندگان خریداری می‌نماید و آن را با قیمت پایین‌تری بین مصرف‌کنندگان (بخش خانگی، صنعت و خدمات) توزیع می‌کند.

بنابراین قید بودجه دولت را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\tau_K r_t K_t + \tau_N w_t N_t + p_{t,mopin} mop_{t,in} + p_{t,elec}^{expo} p_{t,\$} mop_{t,expo} = \quad (۵۳)$$
$$TR_t + S_t + w_t N_{t,mopin} + r_t K_{t,mopin} + p_{t,ef}^{mopin} EF_{t,mopin} + w_t N_{t,expo}$$
$$+ r_t K_{t,expo} + p_{t,ef}^{mop\,expo} EF_{t,expo}$$

همچنین معادله سوبسید برق که دولت به بخش‌های صنعت، خدمات و بخش خانگی پرداخت می‌نماید از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$S_t = p_{t,elec}^{expo} p_{t,\$} mop_{t,expo} - p_{t,elec}^{impo} p_{t,\$} M_{t,impo} - p_{t,ef}^{impoin} EF_{t,impoin} \quad (۵۴)$$
$$- p_{t,ef}^{impo\,expo} EF_{t,impoexpo} - p_{Ey} E_{t,y} - p_{ED} E_{t,D}$$

1. Ellis, (2010)

۳-۶. شرط تسویه بازارها

یکی از ویژگی‌های مهم مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی، تسویه کامل بازارها می‌باشد. برای اینکه اطمینان حاصل شود که اقتصاد همیشه در تعادل است باید تمامی بازارها در تعادل باشند. تعادل در بازارهای نیروی کار، سرمایه، قید بودجه کلی اقتصاد و همچنین تعادل در بازار انرژی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$N_t = N_{t,y} + N_{t,D} + N_{t,mopin} + N_{t,expo} \quad (۵۵)$$

$$K_t = K_{t,y} + K_{t,D} + K_{t,mopin} + K_{t,expo} \quad (۵۶)$$

$$C_t^T + K_{t+1} = (1-\delta)K_t + p_{t,y}y_t + p_{t,D}D_t + p_e e_t - p_{t,ef}^{mopin} EF_{t,mopin} - p_{t,ef}^{mop\ expo} EF_{t,expo} \quad (۵۷)$$

$$e_t + E_{t,y} + E_{t,D} = (1-x)[mop_{t,in} + M_{t,impo}] \quad (۵۸)$$

$$e_t = e_{t,in} + e_{t,impo} \quad (۵۹)$$

$$E_{t,D} = E_{t,D}^{in} + E_{t,D}^{impo} \quad (۶۰)$$

$$E_{t,y} = E_{t,y}^{in} + E_{t,y}^{impo} \quad (۶۱)$$

$$mop_t = mop_{t,in} + mop_{t,expo} \quad (۶۲)$$

$$EF_t = EF_{t,mopin} + EF_{t,expo} \quad (۶۳)$$

$$M_{t,mopin} = e_{t,impo} + E_{t,y}^{impo} + E_{t,D}^{impo} \quad (۶۴)$$

۳-۷. معادلات شوک مدل

رفتار تصادفی مدل بر اساس ۵ شوک ساختاری که شامل ۴ شوک بهره‌وری و یک شوک ترجیحات مصرف‌کننده است به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\varepsilon_{t,i} = (\varepsilon_{t-1,i})^{\psi_i} e^{\Gamma_{t,i}} \quad \Gamma_{t,i} \sim N(0,\sigma_i^2) \quad (۶۵)$$

$$i = \{A_y, A_D, A_{expo}, A_{mopin}, \varepsilon^{c^T}\} \quad (۶۶)$$

که در این تحقیق اثرات پویای شوک‌های ترجیحات مصرف‌کننده و شوک بهره‌وری تولید برق صادراتی بر روی متغیرهای کلان اقتصادی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

٤. حل مدل

در این قسمت با توجه به شرایط مرتبه اول به دست آمده از حداکثرسازی مطلوبیت خانوارها، حداکثرسازی سود بنگاه‌ها و شرط تسویه بازار، مدل را در اطراف steady state به صورت غیرخطی حل شده است، بدین منظور تمامی معادلات موجود را به صورت زیر نوشته و از حل همزمان معادلات، مقادیر پارامترها و متغیرهای درون‌زای مدل به دست می‌آیند.

$$\frac{\frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T} - \beta h \frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T)}}{\frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T} - \beta h \frac{\varepsilon_{t+1}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T}} = \frac{1}{\beta[(1-\tau_k)r_{ss} + (1-\delta)]} \quad (8)$$

$$N_{ss}^{\sigma} = [\frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T} - \beta h \frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^T - hC_{ss}^T}](1-\tau_N) w_{ss} \quad (9)$$

$$c_{ss} = (1-\rho_c)[p_c]^{-\eta_c} C_{ss}^T \quad (10)$$

$$e_{ss} = \rho_c [p_e]^{-\eta_c} C_{ss}^T \quad (11)$$

$$e_{ss,in} = [(1-\rho_e)[\frac{p_e^{in}}{p_e}]^{-\eta_e} e_{ss} \quad (14)$$

$$e_{ss,impo} = \rho_e [\frac{p_{ss,elec}^{impo}}{p_e}]^{-\eta_e} e_{ss} \quad (15)$$

$$mop_{ss,in} = A_{ss,mopin} N_{ss,mopin}^{\alpha_{mopin}} K_{ss,mopin}^{\gamma_{mopin}} EF_{ss,mopin}^{1-\alpha_{mopin}-\gamma_{mopin}} \quad (17)$$

$$y_{ss} = A_{ss,y} N_{ss,y}^{\alpha_y} K_{ss,y}^{\gamma_y} E_{ss,y}^{1-\alpha_y-\gamma_y} \quad (23)$$

$$E^{in}_{ss,y} = (1-\rho_{Ey})[\frac{p^{in}_{Ey}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{ss,y} \quad (۳۰)$$

$$E^{impo}_{ss,y} = p_{Ey}[\frac{p^{impo}_{ss,elec}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{ss,y} \quad (۳۱)$$

$$D_{ss} = A_{ss,D} N^{\alpha_D}_{ss,D} K^{\gamma_D}_{ss,D} E^{1-\alpha_D-\gamma_D}_{ss,D} \quad (۳۳)$$

$$E^{in}_{ss,D} = (1-\rho_{ED})[\frac{p^{in}_{ED}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{ss,D} \quad (۴۰)$$

$$E^{impo}_{ss,D} = \rho_{ED}[\frac{p^{impo}_{ss,elec}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{ss,D} \quad (۴۱)$$

$$mop_{ss,expo} = A_{ss,expo} N^{\alpha_{expo}}_{ss,expo} K^{\gamma_{expo}}_{ss,expo} EF^{1-\alpha_{expo}-\gamma_{expo}}_{ss,expo} \quad (۴۳)$$

$$mop_{ss,in} = (1-\rho_{mop})[\frac{p_{mopin}}{p_{ss,mop}}]^{-\eta_{mop}} mop_{ss} \quad (۵۰)$$

$$mop_{ss,expo} = \rho_{mop}[\frac{p^{expo}_{ss,elec}}{p_{ss,mop}}]^{-\eta_{mop}} mop_{ss} \quad (۵۱)$$

$$TR_{ss} = p_e e_{ss} + p_{Ey} E_{ss,y} + p_{ED} E_{ss,D} + \tau_N w_{ss} N_{ss} + \tau_K w_{ss} K_{ss} - \quad (۶۷)$$

$$- w_{ss} N_{ss,mopin} - r_{ss} K_{ss,mopin} - p^{mopin}_{ss,ef} EF_{ss,mopin} - w_{ss} N_{ss,expo} - r_{ss} K_{ss,expo}$$
$$- p^{mop\,expo}_{ss,ef} EF_{t,expo}$$

$$N_{ss} = N_{ss,y} + N_{ss,D} + N_{ss,mopin} + N_{ss,expo} \quad (۵۵)$$

$$K_{ss} = K_{ss,y} + K_{ss,D} + K_{ss,mopin} + K_{ss,expo} \quad (۵۶)$$

$$C^T_t + K_{ss} = (1-\delta)K_{ss} + p_y y_{ss} + p_{ss,D} D_{ss} + p_e e_{ss} - p^{mopin}_{ss,ef} EF_{ss,mopin} \quad (۵۷)$$
$$- p^{mop\ expo}_{ss,ef} EF_{ss,expo}$$

$$e_{ss} + E_{ss,y} + E_{ss,D} = (1-x)[mop_{ss,in} + M_{ss,impo}] \quad (۵۸)$$

$$e_{ss} = e_{ss,in} + e_{ss,impo} \quad (۵۹)$$

$$E_{ss,D} = E^{in}_{ss,D} + E^{impo}_{ss,D} \quad (۶۰)$$

$$E_{ss,y} = E^{in}_{ss,y} + E^{impo}_{ss,y} \quad (۶۱)$$

$$mop_{ss} = mop_{ss,in} + mop_{ss,expo} \quad (۶۲)$$

$$EF_{ss} = EF_{ss,mopin} + EF_{ss,expo} \quad (۶۳)$$

$$M_{ss,mopin} = e_{ss,impo} + E^{impo}_{ss,y} + E^{impo}_{ss,D} \quad (۶۴)$$

$$N_{ss,y} = p_y \alpha_y \frac{y_{ss}}{w_{ss}} \quad (۲۶)$$

$$N_{ss,D} = p_{ss,D} \alpha_D \frac{D_{ss}}{w_{ss}} \quad (۳۶)$$

$$N_{ss,mopin} = p_{mopin}\ \alpha_{mopin} \frac{mop_{ss,in}}{w_{ss}} \quad (۲۰)$$

$$N_{ss,expo} = p^{expo}_{ss,elex}\ \alpha_{expo} \frac{mop_{ss,expo}}{w_{ss}} \quad (۴۶)$$

$$K_{ss,y} = p_y \gamma_y \frac{y_{ss}}{r_{ss}} \quad (۲۷)$$

$$K_{ss,D} = p_{ss,D} \gamma_D \frac{D_{ss}}{r_{ss}} \quad (۳۷)$$

$$K_{ss,mopin} = p_{mopin} \gamma_{mopin} \frac{mop_{ss,in}}{r_{ss}} \quad (۲۱)$$

$$K_{ss,expo} = p^{expo}_{ss,elec} \gamma_{expo} \frac{mop_{ss,expo}}{r_{ss}} \quad (۴۷)$$

$$E_{ss,y} = p_y (۱ - \alpha_y - \gamma_y) \frac{y_{ss}}{p_{Ey}} \quad (۲۸)$$

$$E_{ss,D} = p_{ss,D} (۱ - \alpha_D - \gamma_D) \frac{D_{ss}}{p_{ED}} \quad (۳۸)$$

$$EF_{ss,mopin} = p_{mopin} (۱ - \alpha_{mopin} - \gamma_{mopin}) \frac{mop_{t,in}}{p^{mopin}_{ss,ef}} \quad (۲۲)$$

$$EF_{ss,expo} = p^{expo}_{ss,elec} (۱ - \alpha_{expo} - \gamma_{expo}) \frac{mop_{ss,expo}}{p^{mop\ expo}_{ss,ef}} \quad (۴۸)$$

انحراف معیار شوک‌های برون‌زا در این مدل مانند اکثر تحقیقات انجام شده معادل ۰/۰۱ در نظر گرفته شده و همچنین در ادامه مقادیر پارامترهای کالیبره شده مدل نیز در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای کالیبره شده مدل

پارامتر	توصیف پارامتر	مقدار پارامتر	مرجع
β	نرخ تنزیل	۰/۹۶	توکلیان (۱۳۹۱)
α_y	سهم نیروی کار در بخش صنعت	۰/۳۲	مرکز آمار ایران
γ_y	سهم سرمایه در بخش صنعت	۰/۳۴۴	مرکز آمار ایران
α_D	سهم نیروی کار در بخش خدمات	۰/۴۵	مرکز آمار ایران
γ_D	سهم سرمایه در بخش خدمات	۰/۳۹	مرکز آمار ایران
$1-\alpha_{mopin}-\gamma_{mopin}$	سهم سوخت فسیلی (گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی) در تولید برق وزارت نیرو برای تأمین برق داخل	۰/۳۹۵۳۸	ترازنامه انرژی
δ	نرخ استهلاک	۰/۰۲۵	محاسبات محقق
χ	تلفات برق در سیستم انتقال از نیروگاه تولیدکننده تا مصرف‌کننده نهایی	۰/۲۲	سایت شبکه برق
τ_K	نرخ مالیات بر سرمایه	۰/۱۹۹	مرکز آمار ایران
τ_N	نرخ مالیات بر نیروی کار	۰/۱	مرکز آمار ایران
p_{Ey}	قیمت برق در بخش صنعت	۰/۹۳۶۴۶	ترازنامه انرژی
p_e	قیمت برق در بخش خانگی	۰/۶۰۲۷۴	ترازنامه انرژی
p_{mopin}	قیمت برق تولید داخل وزارت نیرو	۰/۵	ترازنامه انرژی

منبع: یافته های پژوهش

جدول (۲) نیز بیانگر مقادیر متغیرهای درون‌زای به کار رفته در مدل با توجه به داده‌های موجود در شرایط Steady State می‌باشد. از طرفی به منظور حل مدل مقدار قیمت کالای بخش صنعت، به یک نرمال شده است.

جدول (۲): مقادیر وضعیت پایدار متغیرهای درون‌زای مدل با توجه به داده‌های موجود

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر	مرجع
$mop_{t,in}$	تولید برق توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو جهت تأمین برق داخل کشور	۱/۵۱۶۴	ترازنامه انرژی
$EF_{t,mopin}$	سوخت فسیلی به کار رفته در تولید برق داخل	۱/۰۱۵۷۸	ترازنامه انرژی
$mop_{t,\text{expo}}$	تولید برق توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو جهت صادرات	۰/۷۵۱۴۶۳	ترازنامه انرژی
$EF_{t,\text{expo}}$	سوخت فسیلی به کار رفته در تولید برق صادراتی	۰/۳۴۷۹۸۹	ترازنامه انرژی
y_t	تولید بخش صنعت	۱/۰۰۰۰۰۲	بانک مرکزی
D_t	تولید بخش خدمات	۱/۱۱۳۹۵	بانک مرکزی
$E_{t,D}$	انرژی الکتریکی به کار رفته در تولید بخش خدمات	۰/۱۴۲۹۸۴	ترازنامه انرژی
e_t	برق مصرفی بخش خانگی	۱/۲۶۷۱۸	ترازنامه انرژی
c_t	مصرف کالای غیر انرژی توسط خانوار	۱/۲۰۹۹۹	بانک مرکزی

منبع: یافته‌های پژوهش

برای حل مدل، مقادیر شوک‌ها در وضعیت تعادل پایدار، برابر با یک قرار داده و با استفاده از جداول (۱) و (۲) و همچنین با در نظر گرفتن تمامی معادلات و برقراری تعادل به صورت همزمان، مقادیر پارامترها و متغیرهای درون‌زای مجهول مدل در شرایط تعادل پایدار به صورت زیر به دست آمده است.

r_{ss} با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\beta[(1-\tau_K)r_{ss}+(1-\delta)]$$

همچنین $K_{ss,y}$ نیز با استفاده از رابطه زیر

$$K_{ss,y}=p_y\gamma_y\frac{y_{ss}}{r_{ss}}$$

$E_{ss,y}$ از رابطه زیر

$$E_{ss,y} = p_y(1-\alpha_y-\gamma_y)\frac{y_{ss}}{p_{Ey}}$$

$N_{ss,y}$ از رابطه زیر

$$y_{ss} = A_{ss,y} N_{ss,y}^{\alpha_y} K_{ss,y}^{\gamma_y} E_{ss,y}^{1-\alpha_y-\gamma_y}$$

w_{ss} از رابطه زیر

$$N_{ss,y} = p_y\ \alpha_y \frac{y_{ss}}{w_{ss}}$$

متغیرهای درون‌زای $K_{ss,D}$، $N_{ss,D}$، $p_{ss,D}$ و همچنین پارامتر p_{ED} از حل همزمان روابط زیر به دست می‌آیند:

$$D_{ss} = A_{ss,D} N_{ss,D}^{\alpha_D} K_{ss,D}^{\gamma_D} E_{ss,D}^{1-\alpha_D-\gamma_D}$$

$$N_{ss,D} = p_{ss,D}\,\alpha_D \frac{D_{ss}}{w_{ss}}$$

$$K_{ss,D} = p_{ss,D}\,\gamma_D \frac{D_{ss}}{r_{ss}}$$

$$E_{ss,D} = p_{ss,D}(1-\alpha_D-\gamma_D)\frac{D_{ss}}{p_{ED}}$$

N_{ss} از رابطه زیر

$$N_{ss} = N_{ss,y} + N_{ss,D} + N_{ss,mopin} + N_{ss,expo}$$

که در آن

$$N_{ss,elec} = N_{ss,mopin} + N_{ss,expo}$$

و $N_{ss,elec}$ بیانگر نیروی انسانی شاغل در بخش تولید برق می‌باشد و میزان آن با توجه به آمار ۵۰ ساله صنعت برق ایران موجود در سایت مدیریت شبکه برق، به دست می‌آید.

$M_{ss,impo}$ از رابطه زیر

$$e_{ss} + E_{ss,y} + E_{ss,D} = (1-x)[mop_{ss,in} + M_{ss,impo}]$$

EF_{ss} از رابطه زیر

$$EF_{ss} = EF_{ss,mopin} + EF_{ss,expo}$$

mop_{ss} از رابطه زیر

$$mop_{ss} = mop_{ss,in} + mop_{ss,expo}$$

پارامترهـای ρ_e، η_e، p_e^{in}، ρ_{Ey}، η_{Ey}، p_{Ey}^{in}، ρ_{ED}، η_{ED}، p_{ED}^{in} و همچنـین متغیرهـای $p_{ss,elec}^{impo}$، $E_{ss,y}^{impo}$، $E_{ss,D}^{impo}$، $e_{ss,impo}$ از حل همزمان معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$e_{ss} = [(۱-\rho_e)^{\frac{۱}{\eta_e}} (e_{ss} - e_{ss,impo})^{\frac{\eta_e - ۱}{\eta_e}} + \rho_e^{\frac{۱}{\eta_e}} e_{ss,impo}^{\frac{\eta_e - ۱}{\eta_e}}]^{\frac{\eta_e}{\eta_e - ۱}}$$

$$e_{ss} - e_{ss,impo} = (۱-\rho_e)[\frac{p_e^{in}}{p_e}]^{-\eta_e} e_{ss}$$

$$e_{ss,impo} = \rho_e [\frac{p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$}}{p_e}]^{-\eta_e} e_{ss}$$

$$p_e = [(۱-\rho_e)(p_e^{in})^{۱-\eta_e} + \rho_e (p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$})^{۱-\eta_e}]^{\frac{۱}{۱-\eta_e}}$$

$$E_{ss,y} = [(۱-p_{Ey})^{\frac{۱}{\eta_{Ey}}} (E_{ss,y} - E_{ss,y}^{impo})^{\frac{\eta_{Ey}-۱}{\eta_{Ey}}} + \rho_{Ey}^{\frac{۱}{\eta_{Ey}}} (E_{ss,y}^{impo})^{\frac{\eta_{Ey}-۱}{\eta_{Ey}}}]^{\frac{\eta_{Ey}}{\eta_{Ey}-۱}}$$

$$E_{ss,y} - E_{ss,y}^{impo} = (۱-\rho_{Ey})[\frac{p_{Ey}^{in}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{ss,Ey}$$

$$E_{ss,y}^{impo} = \rho_{Ey} [\frac{p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$}}{p_{Ey}}]^{-\eta_{Ey}} E_{ss,y}$$

$$p_{Ey} = [(۱-\rho_{Ey})(p_{Ey}^{in})^{۱-\eta_{Ey}} + \rho_{Ey}(p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$})^{۱-\eta_{Ey}}]^{\frac{۱}{۱-\eta_{Ey}}}$$

$$E_{ss,D} = [(۱-\rho_{ED})^{\frac{۱}{\eta_{ED}}} (E_{ss,D} - E_{ss,D}^{impo})^{\frac{\eta_{ED}-۱}{\eta_{ED}}} + \rho_{ED}^{\frac{۱}{\eta_{ED}}} (E_{ss,D}^{impo})^{\frac{\eta_{ED}-۱}{\eta_{ED}}}]^{\frac{\eta_{ED}}{\eta_{ED}-۱}}$$

$$E_{ss,D} - E_{ss,D}^{impo} = (۱-\rho_{ED})[\frac{p_{ED}^{in}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{ss,D}$$

$$E_{ss,D}^{impo} = \rho_{ED}[\frac{p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$}}{p_{ED}}]^{-\eta_{ED}} E_{ss,D}$$

$$p_{ED} = [(1-\rho_{ED})(p_{ED}^{in})^{1-\eta_{ED}} + \rho_{ED}(p_{ss,elec}^{impo} p_{ss,\$})^{1-\eta_{ED}}]^{\frac{1}{1-\eta_{ED}}}$$

$$E_{ss,D}^{impo} = M_{ss,impo} - e_{ss,impo} - E_{ss,y}^{impo}$$

$e_{ss,in}$ از رابطه زیر

$$e_{ss,in} = e_{ss} - e_{ss,impo}$$

$$e_{ss,in} = e_{ss} - e_{ss,impo}$$

$E_{ss,y}^{in}$ از رابطه زیر

$$E_{ss,y}^{in} = E_{ss,y} - E_{ss,y}^{impo}$$

$E_{ss,D}^{in}$ از رابطه زیر

$$E_{ss,D}^{in} = E_{ss,D} - E_{ss,D}^{impo}$$

پارامترهای ρ_{mop}، η_{mop} و متغیرهای درون‌زای $p_{ss,mon}$ ، $P_{ss,elec}^{expo}$ با استفاده از معادلات زیر حاصل می‌شوند:

$$mop_{ss} = [(1-\rho_{mop})^{\frac{1}{\eta_{mop}}} mop_{ss,in}^{\frac{\eta_{mop}-1}{\eta_{mop}}} + \rho_{mop}^{\frac{1}{\eta_{mop}}} mop_{ss,expo}^{\frac{\eta_{mop}-1}{\eta_{mop}}}]^{\frac{\eta_{mop}}{\eta_{mop}-1}}$$

$$mop_{ss,in} = (1-\rho_{mop})[\frac{p_{mopin}}{p_{ss,mop}}]^{-\eta_{mop}} mop_{ss}$$

$$mop_{ss,expo} = \rho_{mop}[\frac{p_{ss,elec}^{expo}}{p_{ss,mop}}]^{-\eta_{mop}} mop_{ss}$$

$$p_{ss,mon} = [(1-\rho_{mon})(p_{mopin})^{1-\eta_{mop}} + \rho_{mop}(p_{ss,elec}^{expo} p_{ss,\$})^{1-\eta_{mop}}]^{\frac{1}{1-\eta_{mop}}}$$

ρ_c و η_c و p_c و C_{ss}^T از روابط زیر

$$C_{ss}^{T}=[(۱-\rho_c)^{\frac{۱}{\eta_c}} c_{ss}^{\frac{\eta_c-۱}{\eta_c}}+\rho_c^{\frac{۱}{\eta_c}} e_{ss}^{\frac{\eta_c-۱}{\eta_c}}]^{\frac{\eta_c}{\eta_c-۱}}$$

$$c_{ss}=(۱-\rho_c)[p_c]^{-\eta_c} C_{ss}^{T}$$

$$e_{ss}=\rho_c[p_e]^{-\eta_c} C_{ss}^{T}$$

$$۱=[(۱-\rho_c)p_c^{۱-\eta_c}+\rho_c p_e^{۱-\eta_c}]^{\frac{۱}{۱-\eta_c}}$$

و σ نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N_{ss}^{\sigma}=[\frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^{T}-hC_{ss}^{T}}-\beta h\frac{\varepsilon_{ss}^{c^T}}{C_{ss}^{T}-hC_{ss}^{T}}](۱-\tau_N)w_{ss}$$

همچنین سهم سوخت فسیلی به کار رفته در تولید برق نیروگاه‌های متعلق به وزارت نیرو به منظور تأمین برق داخل را می‌توان با توجه به ترازنامه انرژی معادل ۰/۳۹۵۳۸ به دست آورد بنابراین:

$$۱-\alpha_{impo}-\gamma_{impo}=۰/۳۹۵۳۸ \qquad \alpha_{impo}+\gamma_{impo}=۰/۶۰۴۶۲$$

حال می‌توان پارامتر α_{impo}، و متغیرهای $N_{ss,\text{impo}}$، $K_{ss,\text{impo}}$، $p_{ss,ef}^{mopin}$ را به شکل زیر به دست آورد:

$$mop_{ss,impo}=A_{ss,impo}\, N_{ss,impo}^{\alpha_{impo}} K_{ss,elec}^{۰/۶۰۴۶۲-\alpha_{impo}} EF_{ss,impo}^{۰/۳۹۵۳۸}$$

$$N_{ss,impo}=p_{ss,elec}^{impo}\,\alpha_{impo}\frac{mop_{ss,impo}}{w_{ss}}$$

$$K_{ss,impo}=P_{ss,elec}^{impo}(۰/۶۰۴۶۲-\alpha_{impo})\frac{mop_{ss,impo}}{r_{ss}}$$

$$EF_{ss,impo}=P_{ss,elec}^{impo}(۰/۳۹۵۳۸)\frac{mop_{ss,impo}}{P_{ss,ef}^{mop\,expo}}$$

و سپس پارامتر γ_{impo}، از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\gamma_{impo}=۰/۶۰۴۶۲-\alpha_{impo}$$

$N_{\text{ss,expo}}$ نیز از رابطه زیر

$$N_{ss,expo}=N_{ss}-N_{ss,y}-N_{ss,\,D}-N_{ss,mopin}$$

پارامترهای α_{expo}، γ_{expo} و متغیرهای $K_{ss,expo}$، $P_{ss,ef}^{mopexpo}$ از حل همزمان معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$mop_{ss,expo}=A_{ss,expo}N_{ss,expo}^{\alpha_{expo}}K_{ss,expo}^{\gamma_{expo}}EF_{ss,expo}^{1-\alpha_{expo}-\gamma_{expo}}$$

$$N_{ss,expo}=p_{ss,elex}^{expo}\,\alpha_{expo}\frac{mop_{ss,expo}}{w_{ss}}$$

$$K_{ss,expo}=p_{ss,elec}^{expo}\,\gamma_{expo}\frac{mop_{ss,expo}}{r_{ss}}$$

$$EF_{ss,expo}=P_{ss,elec}^{expo}(1-\alpha_{expo}-\gamma_{expo})\frac{mop_{ss,expo}}{P_{ss,ef}^{mopexpo}}$$

K_{ss} از رابطه زیر

$$K_{ss}=K_{ss,y}+K_{ss,D}+K_{ss,mopin}+K_{ss,expo}$$

و در نهایت TR_{ss} را می‌توان با استفاده از معادله زیر به دست آورد:

$$TR_{ss}=p_e e_{ss}+p_{Ey}E_{ss,y}+p_{ED}E_{ss,D}+\tau_N w_{ss}N_{ss}+\tau_K w_{ss}K_{ss}-w_{ss}N_{ss,mopin}$$

$$-r_{ss}K_{ss,mopin}-p_{ss,ef}^{mopin}EF_{ss,mopin}-w_{ss}N_{ss,expo}-r_{ss}K_{ss,expo}-p_{ss,ef}^{mopexpo}EF_{t,expo}$$

حال با توجه به حل مدل، مقادیر پارامترهای محاسبه شده به صورت جدول (۳) به دست خواهند آمد.

جدول (۳): پارامترهای محاسبه شده مدل

پارامتر	توصیف پارامتر	مقدار پارامتر	مرجع
α_{mopin}	سهم نیروی کار در تولید برق وزارت نیرو جهت تأمین برق داخل	۰/۱۵۴۶۲	محاسبات محقق
γ_{mopin}	سهم سرمایه در در تولید برق وزارت نیرو جهت تأمین برق داخل	۰/۴۵	محاسبات محقق
α_{expo}	سهم نیروی کار در تولید برق وزارت نیرو جهت صادرات برق	۰/۱۳۱۱۰	محاسبات محقق
γ_{expo}	سهم سرمایه در تولید برق وزارت نیرو جهت صادرات برق	۰/۸۳	محاسبات محقق
ρ_{Ey}	سهم مصرف برق وارداتی توسط بخش صنعت	۰/۰۰۲۵۰	محاسبات محقق

ادامه جدول (۳)

پارامتر	توصیف پارامتر	مقدار پارامتر	مرجع
η_{Ey}	کشش جانشینی بین مصرف برق وارداتی و برق داخلی در بخش صنعت	۱	محاسبات محقق
ρ_{ED}	سهم مصرف برق وارداتی توسط بخش خدمات	۰/۰۰۳۲۴	محاسبات محقق
η_{ED}	کشش جانشینی بین مصرف برق وارداتی و برق داخلی در بخش خدمات	۱	محاسبات محقق
ρ_{e}	سهم مصرف برق وارداتی توسط بخش خانگی	۰/۰۱۱۲۱	محاسبات محقق
η_{e}	کشش جانشینی بین مصرف برق وارداتی و برق داخلی در بخش خانگی	۱	محاسبات محقق
ρ_{mop}	سهم برق تولیدی توسط وزارت نیرو جهت صادرات	۰/۱۴۴۱۹	محاسبات محقق
η_{mop}	کشش جانشینی بین برق تولیدی جهت صادرات و تولید برق داخل	۱	محاسبات محقق
ρ_{c}	سهم مصرف کالای انرژی از مصرف کل	۰/۳۸۷۰۱	محاسبات محقق
η_{c}	کشش جانشینی بین مصرف کالای انرژی و کالای غیرانرژی	۱	محاسبات محقق
h	عادت مصرفی	۰/۸۱	محاسبات محقق
δ	نرخ استهلاک	۰/۰۲۵	محاسبات محقق
σ	عکس کشش جانشینی نیروی کار	۱/۰۷	محاسبات محقق
p_{c}	قیمت کالای غیر انرژی	۰/۹۹۹۸۳	محاسبات محقق
p_{e}^{in}	قیمت برق داخلی در بخش خانگی	۰/۶۵۹۶۳	محاسبات محقق
p_{Ey}^{in}	قیمت برق داخلی در بخش صنعت	۰/۹۶۶۴۳	محاسبات محقق
p_{ED}	قیمت برق در بخش خدمات	۰/۹۵۳۴۱	محاسبات محقق
p_{ED}^{in}	قیمت برق داخلی در بخش خدمات	۰/۹۹۴۱۷	محاسبات محقق

منبع: یافته‌های پژوهش

مقادیر مربوط به انحراف معیار شوک‌های موجود نیز بر اساس جدول (۴) کالیبره می‌شوند.

جدول (٤): پارامترهای مربوط به انحراف معیار شوک‌های مدل

پارامتر	توصیف پارامتر	مقدار پارامتر	مرجع
$\Gamma_{t,y}$	انحراف معیار شوک تکنولوژی در بخش صنعت	۰/۰۰۰۱	محاسبات محقق
$\Gamma_{t,D}$	انحراف معیار شوک تکنولوژی در بخش خدمات	۰/۰۰۰۴	محاسبات محقق
$\Gamma_{t,mopin}$	انحراف معیار شوک تکنولوژی در نیروگاه‌های تولیدکننده برق داخل	۰/۰۹	محاسبات محقق
$\Gamma_{t,mopexpo}$	انحراف معیار شوک تکنولوژی در نیروگاه‌های تولیدکننده برق صادراتی	۰/۰۰۰۱	محاسبات محقق
$\Gamma_{t,CT}$	انحراف معیار شوک ترجیحات مصرف‌کننده	۰/۰۱	محاسبات محقق

منبع: یافته‌های پژوهش

همچنین مقادیر متغیرهای درون‌زای مدل در شرایط تعادل پایدار نیز طبق جدول (۵) به دست می‌آیند. هدف این مطالعه بررسی اثرات پویای شوک‌های تصادفی موجود بر روی متغیرهای کلان اقتصادی است.

جدول (۵): مقادیر وضعیت پایدار محاسبه شده متغیرهای درون‌زای مدل

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
$A_{t,mopin}$	شوک بهره‌وری در تولید برق داخل	۱
$K_{t,mopin}$	سرمایه به کار رفته در تولید برق داخل	۴/۰۹۹۵۲
$N_{t,mopin}$	نیروی کار استفاده شده در تولید برق داخل	۰/۲۳۳۷۸۳
$p_{t,ef}^{mopin}$	قیمت سوخت فسیلی جهت تولید برق داخل	۰/۲۹۵۱۲۸
$A_{t,\text{expo}}$	شوک بهره‌وری در تولید برق صادراتی	۱
$K_{t,\text{expo}}$	سرمایه به کار رفته در تولید برق صادراتی	۱/۲۷۳۹۶
$N_{t,\text{expo}}$	نیروی کار استفاده شده در تولید برق صادراتی	۰/۰۳۳۳۹۷۵
$p_{t,ef}^{mop\,\text{expo}}$	قیمت سوخت فسیلی جهت تولید برق صادراتی	۰/۰۱۴۲۸۰۴

ادامه جدول (۵)

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
mop_t	تولید برق توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو	۲/۲۶۷۹۱
$p_{t,mop}$	قیمت برق تولیدی وزارت نیرو	۰/۳۹۰۶۵۵
$A_{t,y}$	شوک بهره‌وری در بخش صنعت	۱
$K_{t,y}$	سرمایه به کار رفته در بخش صنعت	۴/۱۳۳۱۶
$N_{t,y}$	نیروی کار استفاده شده در بخش صنعت	۰/۶۳۸۱۲۵
$E_{t,y}$	انرژی الکتریکی به کار رفته در تولید بخش صنعت	۰/۳۵۸۷۹۶
$E_{t,y}^{in}$	تأمین برق مصرفی بخش صنعت از طریق تولید داخل	۰/۳۴۶۸۰۲
$E_{t,y}^{impo}$	تأمین برق مصرفی بخش صنعت از طریق واردات در ساعات پیک بار	۰/۰۱۱۹۹۳۶
$A_{t,D}$	شوک بهره‌وری در بخش خدمات	۱
$K_{t,D}$	سرمایه به کار رفته در بخش خدمات	۳/۹۹۲۴۳
$N_{t,D}$	نیروی کار استفاده شده در بخش خدمات	۰/۷۶۴۵۷۲
$p_{t,D}$	قیمت کالای بخش خدمات	۰/۷۶۴۸۶۰
$E_{t,D}^{in}$	تأمین برق مصرفی بخش خدمات از طریق تولید داخل	۰/۱۳۶۶۷۸
$E_{t,D}^{impo}$	تأمین برق مصرفی بخش خدمات از طریق واردات در ساعات پیک بار	۰/۰۰۶۳۰۵۸
$e_{t,in}$	تأمین برق مصرفی بخش خانگی از طریق تولید داخل	۱/۱۴۴۹۳
$e_{t,impo}$	تأمین برق مصرفی بخش خانگی از طریق واردات در ساعات پیک بار	۰/۱۲۲۲۵۵
ef_t	سوخت فسیلی موجود در اقتصاد	۱/۳۶۳۷۷
W_t	دستمزد نیروی کار	۰/۵۰۱۴۶۸
R_t	نرخ بهره سرمایه	۰/۰۸۳۲۲۹۲

ادامه جدول (۵)

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
TR_t	پرداخت انتقالی دولت به خانوار	۰/۶۵۷۴۵۸
N_t	کل نیروی کار موجود در اقتصاد	۱/۶۶۹۸۷
K_t	کل سرمایه موجود در اقتصاد	۱۳/۴۹۹۰
C_t^T	مصرف کل خانوار	۱/۹۷۳۵۷
$\varepsilon_t^{C^T}$	شوک ترجیحات مصرف‌کننده	۱
$M_{t,elec}$	واردات برق در ساعات اوج بار	۰/۱۴۰۵۵۴
$p_{t,elec}^{impo}$	قیمت برق وارداتی	۰/۰۷
$p_{t,elec}^{expo}$	قیمت برق صادراتی	۰/۱۷

منبع: یافته‌های پژوهش

نسبت متغیرهای درون‌زای مدل به تولید ناخالص داخلی در جدول (۶) نشان داده می‌شود.

جدول (٦): نسبت متغیرهای درون‌زای مدل به GDP

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
$\frac{A_{t,mopin}}{GDP}$	نسبت شوک بهره‌وری در تولید برق داخل به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{K_{t,mopin}}{GDP}$	نسبت سرمایه به کار رفته در تولید برق داخل به GDP	۱/۶۸۷۷۶
$\frac{N_{t,mopin}}{GDP}$	نسبت نیروی کار استفاده شده در تولید برق داخل به GDP	۰/۰۹۶۲۴
$\frac{p_{t,ef}^{mopin}}{GDP}$	نسبت قیمت سوخت برای تولید برق داخل به GDP	۰/۱۲۱۵۰
$\frac{A_{t,expo}}{GDP}$	نسبت شوک بهره‌وری در تولید برق صادراتی به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{K_{t,expo}}{GDP}$	نسبت سرمایه به کار رفته در تولید برق صادراتی به GDP	۰/۵۲۴۴۸

ادامه جدول (٦)

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
$\frac{N_{t,expo}}{GDP}$	نسبت نیروی کار استفاده شده در تولید برق صادراتی به GDP	۰/۰۱۳۷۴
$\frac{p_{t,ef}^{mopexpo}}{GDP}$	نسبت قیمت سوخت برای تولید برق صادراتی به GDP	۰/۰۰۵۸۷
$\frac{mop_t}{GDP}$	نسبت تولید برق توسط نیروگاه‌های وزارت نیرو به GDP	۰/۹۳۳۶۹
$\frac{p_{t,mop}}{GDP}$	نسبت قیمت برق تولیدی وزارت نیرو به GDP	۰/۱۶۰۸۳
$\frac{y_t}{GDP}$	نسبت تولید بخش صنعت به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{A_{t,y}}{GDP}$	نسبت شوک بهره‌وری در بخش صنعت به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{K_{t,y}}{GDP}$	نسبت سرمایه به کار رفته در بخش صنعت به GDP	۱/۷۰۱۶۱
$\frac{N_{t,y}}{GDP}$	نسبت نیروی کار استفاده شده در بخش صنعت به GDP	۰/۲۶۲۷۱
$\frac{E_{t,y}}{GDP}$	نسبت انرژی الکتریکی به کار رفته در تولید بخش صنعت به GDP	۰/۱۴۷۷۱
$\frac{E_{t,y}^{in}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش صنعت از طریق تولید داخل به GDP	۰/۱۴۲۷۷
$\frac{E_{t,y}^{impo}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش صنعت از طریق واردات در ساعات پیک بار به GDP	۰/۰۰۴۹۳
$\frac{A_{t,D}}{GDP}$	نسبت شوک بهره‌وری در بخش خدمات به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{K_{t,D}}{GDP}$	نسبت سرمایه به کار رفته در بخش خدمات به GDP	۱/۶۴۳۶۷
$\frac{N_{t,D}}{GDP}$	نسبت نیروی کار استفاده شده در بخش خدمات به GDP	۰/۳۱۴۷۷
$\frac{P_{t,D}}{GDP}$	نسبت قیمت کالای بخش خدمات به GDP	۰/۳۱۴۸۹
$\frac{E_{t,D}^{in}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش خدمات از طریق تولید داخل به GDP	۰/۰۵۶۲۷

ادامه جدول (٦)

متغیر	توصیف متغیر	مقدار متغیر
$\frac{E_{t,D}^{impo}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش خدمات از طریق واردات در ساعات پیک بار به GDP	۰/۰۰۲۵۹
$\frac{e_{t,in}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش خانگی از طریق تولید داخل به GDP	۰/۴۷۱۳۶
$\frac{e_{t,impo}}{GDP}$	نسبت تأمین برق مصرفی بخش خانگی از طریق واردات در ساعات پیک بار به GDP	۰/۰۵۰۳۳
$\frac{ef_t}{GDP}$	نسبت سوخت فسیلی موجود در اقتصاد به GDP	۰/۵۶۱۴۶
$\frac{W_t}{GDP}$	نسبت دستمزد نیروی کار به GDP	۰/۲۰۶۴۵
$\frac{R_t}{GDP}$	نسبت نرخ بهره سرمایه به GDP	۰/۰۳۴۲۶
$\frac{TR_t}{GDP}$	نسبت پرداخت انتقالی دولت به GDP	۰/۲۷۰۶۷
$\frac{N_t}{GDP}$	نسبت کل نیروی کار موجود در اقتصاد به GDP	۰/۶۸۷۴۸
$\frac{K_t}{GDP}$	نسبت کل سرمایه موجود در اقتصاد به GDP	۵/۵۵۷۵۲
$\frac{P_{t,S}}{GDP}$	نسبت نرخ ارز به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{C_t^T}{GDP}$	نسبت مصرف کل خانوار به GDP	۰/۸۱۲۵۱
$\frac{\varepsilon_t^{C^T}}{GDP}$	نسبت شوک ترجیحات مصرف‌کننده به GDP	۰/۴۱۱۶۹
$\frac{M_{t,elec}}{GDP}$	نسبت واردات برق در ساعات اوج بار به GDP	۰/۰۵۷۸۶
$\frac{p_{t,elec}^{impo}}{GDP}$	نسبت قیمت برق وارداتی به GDP	۰/۰۲۸۸۱
$\frac{p_{t,elec}^{expo}}{GDP}$	نسبت قیمت برق صادراتی به GDP	۰/۰۶۹۹۸

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه با به کارگیری مقادیر متغیرهای درون‌زای مدل در وضعیت پایدار و پارامترهای محاسبه شده، با استفاده از Dynare تحت نرم‌افزار MATLAB به شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل پویای شوک‌های مدل غیرخطی طراحی شده، پرداخته شده است.

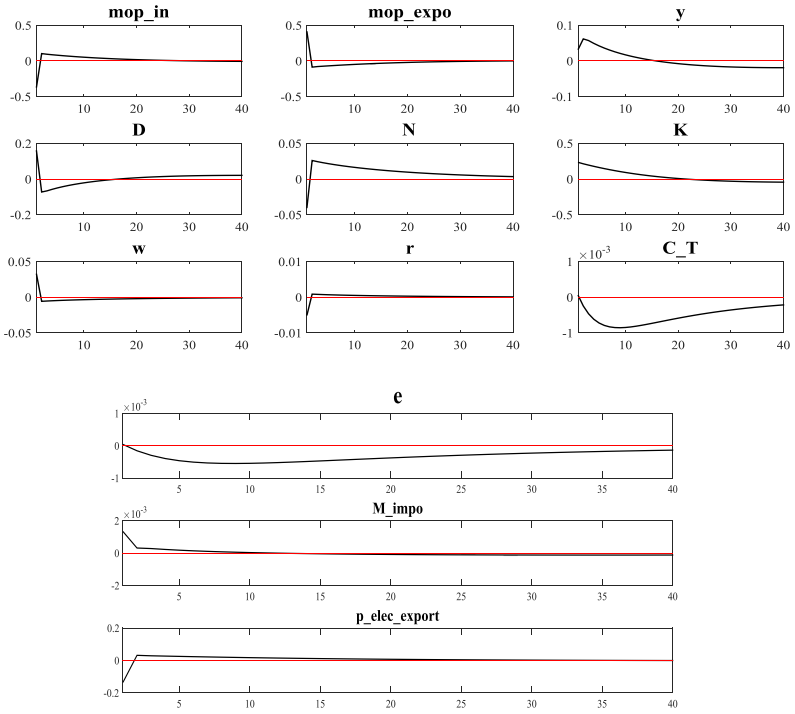
با توجه به توابع عکس‌العمل آنی شوک ترجیحات مصرف‌کننده که در شکل ۲ نشان داده شده است، یک شوک مثبت ترجیحات مصرف‌کننده در سال اول بر تولید بخش خدمات، صنعت و برق صادراتی تأثیر مثبت و بر تولید برق داخلی تأثیر منفی خواهد گذاشت. در نتیجه این شوک، تولید برق به منظور تأمین مصارف داخلی توسط نیروگاه‌های متعلق به وزارت نیرو افزایش خواهد یافت و با توجه به ظرفیت‌های یکسان، میزان تولید برق صادراتی کاهش می‌یابد تا این نیروگاه‌ها در بلندمدت به سطح پایدار خود برسند.

از طرفی دیگر این شوک باعث افزایش تولید در بخش صنعت و کاهش تولید در بخش خدمات می‌گردد. طی پانزده سال اول، ترجیحات مصرف‌کننده به سمت مصرف بیشتر کالاهای صنعتی می‌باشد اما در بلندمدت ترجیحات به سمت مصرف هرچه بیشتر خدمات سوق داده خواهد شد. تقریباً میزان شدت افزایش و کاهش تولید در این دو بخش یکسان می‌باشد. شوک مثبت ترجیحات مصرف‌کننده در سال اول موجب کاهش تقاضای نیروی کار توسط بنگاه‌های تولیدی در اقتصاد می‌شود و سپس افزایش می‌یابد که این تعدیل نیز در بلندمدت صورت می‌پذیرد. اثر این شوک بر روی سرمایه در بیست سال ابتدایی به شکل افزایش تقاضا برای سرمایه و در بلندمدت به صورت کاهش تقاضای آن خواهد بود. همچنین مصرف کل در تمام دوران تا رسیدن به سطح پایدار خود، کاهش می‌یابد. دستمزد نیز ابتدائاً افزایش و سپس تا رسیدن به تعادل پایدار کاهش خواهد یافت در صورتی که واکنش نرخ بهره به این شوک برعکس واکنش دستمزد می‌باشد.

واردات برق در ابتدا افزایش و سپس کاهش خواهد یافت. در مجموع با توجه به تغییر سبک زندگی و نقش اساسی که انرژی الکتریکی در توسعه اقتصادی دارد و نیاز روز افزونی که به این انرژی احساس می‌شود، در کنار افزایش تولید برق توسط نیروگاه‌های داخل کشور برای تأمین نیاز بخش صنعت، خدمات و بخش خانگی در ساعات اوج بار،

واردات برق نیز طی سال‌های اولیه افزایش می‌یابد اما پس از آن صنعت برق از طریق افزایش سرمایه‌گذاری در احداث نیروگاه‌های جدید و افزایش بهره‌وری نیروگاه‌های موجود در تولید و کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع با شرایط جدید وفق پیدا می‌کند و در نتیجه واردات کاهش خواهد یافت.

تحت تأثیر این شوک، مبادلات انرژی الکتریکی با کشورهای همسایه در طی زمان کاهش یافته و همچنین قیمت برق صادراتی در سال اول کاهش پیدا کرده و بعد از آن افزایش خواهد یافت و در بلندمدت به تعادل پایدار خود برمی‌گردد.



شکل (۲): توابع عکس‌العمل آنی شوک ترجیحات مصرف‌کننده

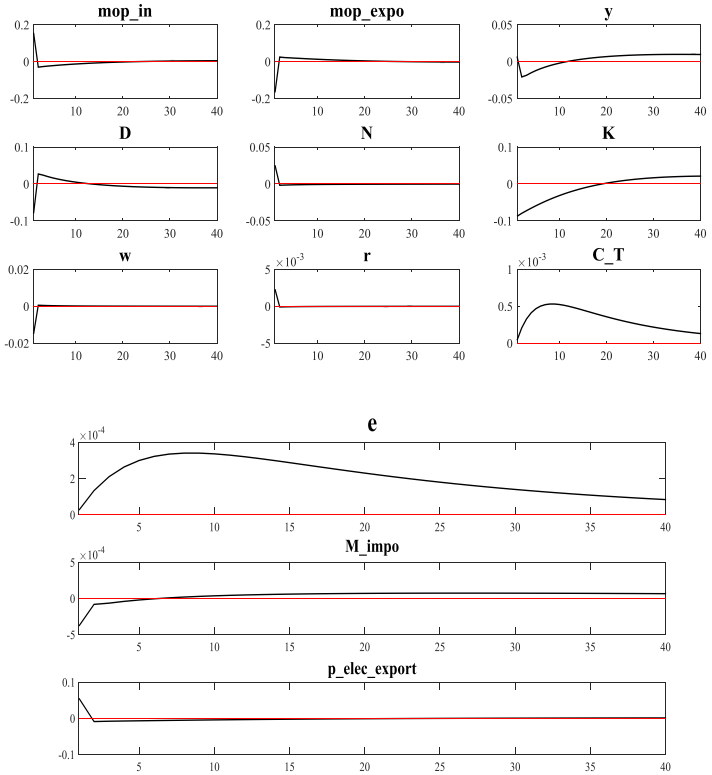
منبع: محاسبات محقق

واکنش متغیرهای کلان اقتصادی نسبت به شوک بهره‌وری تولید برق صادراتی را می‌توان در شکل ۳ مشاهده نمود. عکس‌العمل این متغیرها نسبت به شوک بهره‌وری تولید

برق داخل تقریباً مشابه واکنشی است که این متغیرها نسبت به شوک بهره‌وری تولید برق صادراتی از خود نشان می‌دهند با این تفاوت که تعدیل اثر شوک بهره‌وری تولید برق صادراتی نسبت به شوک بهره‌وری تولید برق داخل سریع‌تر شکل می‌گیرد و با گذشت زمان کمتری متغیرها به سطح میرای خود باز می‌گردند و بعد از آن در سطح پایدار خود باقی می‌مانند. تأثیر این شوک در بلندمدت بر روی بخش تولید به صورت افزایش تولید برق صادراتی و افزایش تولید بخش صنعت بوده و همچنین منجر به کاهش تولید برق داخل و تولید بخش خدمات تا رسیدن به وضعیت پایدارشان می‌شود. با وجود شوک مثبت بهره‌وری در تولید برق صادراتی مشاهده می‌کنیم که صادرات برق در سال اول یک روند کاهشی را در طی زمان سپری می‌کند و سپس در بلندمدت برای رسیدن به سطح پایدار خود افزایش می‌یابد.

دستمزدها در سال اول کاهش و سپس اندکی افزایش می‌یابند در نتیجه، تقاضای نیروی کار توسط بخش تولید در طی زمان ابتدا افزایش و سپس تارسیدن به تعادل پایدار خود اندکی کاهش خواهند یافت زیرا تولید در بخش صنعت و تولید برق داخل در طی زمان با افزایش روبرو بوده است بنابراین با توجه به کاهش دستمزدها به عنوان هزینه عوامل تولید، به نهاده نیروی کار بیشتری برای افزایش تولیداتشان نیاز خواهند داشت.

شوک بهره‌وری طی سال‌های اولیه باعث افزایش قیمت برق صادراتی می‌شود اما در بلندمدت افزایش بهره‌وری در تولید برق صادراتی منجر به کاهش قیمت آن تا رسیدن به سطح پایدار خود و افزایش قدرت رقابت‌پذیری در مبادلات برون مرزی انرژی الکتریکی خواهد شد. واردات برق عکس‌العملی کاملاً متضاد قیمت برق صادراتی، نسبت به شوک مربوطه از خود نشان می‌دهد و در بلندمدت برای رسیدن به سطح میرای خود به دلیل تأمین برق مورد نیاز کشور در ساعات پیک بار و همچنین افزایش تولید داخل به سبب افزایش سرمایه‌گذاری در این صنعت و احداث نیروگاه‌های جدید، به صورت کاهنده افزایش خواهد یافت.



شکل(۳): توابع عکس‌العمل آنی شوک بهره‌وری تولید در صنعت برق

منبع: محاسبات محقق

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای یک اقتصاد باز کوچک با لحاظ ساختار بازار برق در قالب مدل‌های RBC/DSGE، مدلسازی انجام شد و اثرات پویای شوک بهره‌وری تولید در صنعت برق و شوک ترجیحات مصرف‌کننده بر روی متغیرهای کلان اقتصادی مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی از طریق توابع عکس‌العمل آنی نشان می‌دهند که تولید در صنعت برق اگر با هدف صادرات برق به کشورهای همجوار و یا به منظور تأمین برق داخل کشور صورت گیرد، واکنش‌های کاملاً متفاوت و متضاد با یکدیگر نسبت به شوک‌های موجود در اقتصاد از خود نشان می‌دهند. واکنش‌های تولید در بخش صنعت تقریباً همسو

با عکس‌العمل‌های تولید برق داخل توسط نیروگاه‌های وابسته به وزارت نیرو در پاسخ به شوک‌های اقتصاد است با این تفاوت که مدت زمان تعدیل اثر شوک‌ها در بخش صنعت سریع‌تر رخ می‌دهد. بخش خدمات عکس‌العملی متضادی نسبت به بخش صنعت در برابر شوک‌ها از خود نشان می‌دهد اما تولید در این دو بخش در زمان تقریباً یکسانی به سطح میرای خود باز خواهد گشت.

متغیرهای دستمزد و نرخ بهره نیز نسبت به شوک‌ها، اثرات پویای متضادی دارند در صورتی که از سرعت تعدیل تقریباً مشابهی برخوردارند. سرمایه در واکنش نسبت به شوک‌ها در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به متغیر نیروی کار به حالت پایدار خود باز می‌گردد. تحت‌تأثیر شوک ترجیحات مصرف‌کننده، متغیر قیمت برق صادراتی در سال اول کاهش یافته اما در بلندمدت برای رسیدن به تعادل پایدار خود به دلیل کاهش تولید برق صادراتی و همچنین دارا بودن قدرت رقابت‌پذیری در بازار مبادلات برون‌مرزی انرژی الکتریکی، افزایش می‌یابد. تأثیر این شوک بر روی متغیرهای قیمت برق صادراتی و مصرف کل خانوارها کاملاً متضاد اثر شوک بهره‌وری در تولید برق صادراتی می‌باشد. به‌گونه‌ای که مصرف کل، تحت‌تأثیر شوک ترجیحات مصرف‌کننده کاهش می‌یابد اما به دلیل افزایش بهره‌وری در تولید برق صادراتی، افزایش خواهد یافت. با این حال مدت زمان تعدیل اثر شوک‌های مذبور بر روی متغیرهای مورد نظر در اقتصاد یکسان می‌باشد.

٦. منابع

الف) فارسی

اصغری اسکوئی، محمدرضا و فلاحی، فرهاد و دوستی‌زاده، میثم و مشیری، سعید (۱۳۹۷)، «کاربرد یادگیری تقویتی در یک مدل‌سازی عامل‌محور برای بازار عمده‌فروشی برق ایران»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۵، صفحات ۴۰-۱.

رهبر، فرهاد و حیدری، کیومرث و قهرمانی، هادی (۱۳۹۷)، «تعیین قیمت بهینه برق: مطالعه موردی شرکت توانیر»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۴، صفحات ۸۸-۵۷.

سالم، علی‌اصغر و اکابری‌تفتی، مهدی (۱۳۹۶)، «برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۲، صفحات ۷۴-۴۵.

صادقی، زین‌العابدین و بهادرمایوان، سحر و نجاتی، مهدی (۱۳۹۷)، «شبیه‌سازی یکپارچگی بازار برق (سیستم‌های قدرت) در کشورهای هم‌مرز ایران»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۴، صفحات ۱۴۹-۱۲۳.

فرازمند، حسن و آرمن، سید عزیز و افقه، سید مرتضی و قربان‌نژاد، مجتبی (۱۳۹۵)، «اصلاح قیمت انرژی و سیاست پولی: رویکرد تعادل عمومی تصادفی پویا (DSGE)، *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*»، شماره۲، صفحات۶۹-۴۱.

مجدزاده طباطبائی، شراره و هادیان، ابراهیم (۱۳۹۷)، «بررسی اثرات اقتصادی، رفاهی و زیست‌محیطی سیاست قیمت‌گذاری تعرفه‌ای به منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران: کاربرد الگوی تعادل عمومی پویای محاسبه‌پذیر با رهیافت تلفیقی»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۴، صفحات ۱۸۶-۱۵۱.

مهینی‌زاده، منصور و فیض‌پور، محمدعلی و عابدی، مریم (۱۳۹۶)، «تجزیه و تحلیل کارایی نهاده برق در صنایع تولیدی ایران با تأکید بر هدفمندسازی یارانه‌ها»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۲، صفحات ۲۰۳-۱۶۵.

ب) انگلیسی

Argentiero, A. and Bollino, CA. and Micheli, S. and Zopounidis, C. (2018), "Renewable energy sources policies in a Bayesian DSGE model", *Renewable Energy*, no.120, pp.60-68.

Bartleet, M. and Gounder, R. (2010), "Energy Consumption and Economic Growth in New Zealand: Results of Trivariate and Multivariate Models", *Energy Policy* , no.38, pp. 3508-3517.

Bernanke, B.S. and Gertler, M. and Watson, M. (1997), "Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shock", *Brookings Papers on Economic Activity*, no. 1, pp. 91-157.

Cooley, T.F. and Prescott, E.C. (1995), "Economic Growth and Business Cycle", *In Frontier of Business Cycle Research*, Princeton, NJ.

Dagher, L. and Yacoubian, T. (2012), "The Causal Relationship between Energy Consumption and Economic Growth in Lebanon", *Energy Policy*,no. 50, pp. 795-801.

De Miguel, C. and Manzano, B. and Martín-Moreno, J.M. (2003), "Oil Price Shocks and Aggregate Fluctuations", *the Energy Journal*, no. 24(2), pp. 47-61.

De Miguel, C. and Manzano, B. and Martín-Moreno, J.M. (2005), "Oil Shocks and the Business Cycle in Europe", *The Energy Journal*, no.24(2), pp.47-62

Dhawan, R. and Jeske, K. (2007), "Energy Price Shocks and the Macroeconomy: The Role of Consumer Durables", Mimeo, Federal Reserve Bank of Atlanta.

Ellis, J. (2010), "The Effects of Fossil Fuel Subsidy Reform: A Review of Modelling and Empirical Studies", *Geneva: Global Subsidies Initiative of the International Institute for Sustainable Development*, Available at: (http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/effects_ffs.pdf)

Finn, M.G. (2000), "Perfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity," *Journal of Money, Credit and Banking*,vol.32, no.3, pp.400-416

Fischer, C. and Heutel, G. (2013), "Environmental Macroeconomics: Environmental Policy, Business Cycles, and Directed Technical Change" *Annual Review of Resource Economics,no*. 5 (1), pp.197–210.

Hamilton, J.D. (1996), "This Is What Happened to the Oil Price-Macroeconomy Relationship," *Journal of Monetary Economics*,no. 38,pp.215-220.

Hamilton, J.D. (2003a), "What Is an Oil Shock?", *Journal of Econometrics*, no.113, pp. 363-398.

Hamilton, J.D. (2009), "Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08", *Brookings Papers on Economic Activity*,no. 2009(1), pp. 215-261.

Jang, T.S. and Okano, E. (2013), "Productivity Shocks and Monetary Policy in a Two-Country Model", *Dynare Working Papers* 29, CEPREMAP.

Karanfil, F. and Li, Y. (2015), "Electricity Consumption and Economic Growth: Exploring Panel-Specific Differences", *Energy Policy*, no. 82, pp. 264-277.

Kilian, L. (2008), "The Economic Effects of Energy Price Shocks", *CEPR Discussion Paper*, No. DP6559.

Kim, I. M. and Loungani, P. (1992), "The Role of Energy in Real Business Cycles", *Journal of Monetary Economics*, no.29, pp. 173-189.

Niu, T. et al.(2018), "Environmental Tax Shocks and carbon emission: An estimated DSGE model". *Structure Change Economic Dynomic*, vol.47, pp.9-17

Payne, J.E. (2010), "A Survey of the Electricity Consumption-Growth Literature", *Applied Energy*, no. 87, pp. 723-731.

Rotemberg, J.J. and Woodford, M. (1996), "Imperfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity", *Journal of Money, Credit and Banking*, no.28, pp. 549-577.

Tan, B.H. (2012), "RBC Model with Endogenous Energy Production", *School of Economics*, Singapore Management University.

Tobin, J., (1980) "Stabilization Policy Ten Years After", *Brookings Papers on Economic Activity*, no. 1, pp. 19-71.

Tsani, S.Z. (2010), "Energy Consumption and Economic Growth: A Causality Analysis for Greece", *Energy Economics*,no. 32, pp. 582-590.

Tumen, S. et al., "Taxing fossil fuels under speculative storage", *Energy Economics*,no.53, pp.64-75

Wickens, M. (2008), "Macroeconomic Theory: A Dynamic General Equilibrium Approach", Princeton University Press.2end edition.

Wijnbergen, S.V. and Martin, R. (1988), "Efficient Pricing of Natural Gas: A Case Study of Egypt", *Journal of Public Economics*,no. 36, pp. 177-196.