

تأثیر افزایش قیمت‌های برق بر اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی برق در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه

فاطمه رفیعی

دکتری اقتصاد نفت و گاز دانشگاه علامه طباطبائی

fatemehrafiei170@gmail.com

هدف اصلی سیاست‌های افزایش کارایی حامل‌های انرژی، کاهش مصرف انرژی است، اما این هدف به دلیل وجود اثرات بازگشتی محدود می‌شود. در ادبیات اقتصاد انرژی دو دسته از ابزارهای غیرقیمتی و قیمتی برای کاهش اثرات بازگشتی مطرح می‌شود. در میان ابزارهای قیمتی اعمال مالیات بر انرژی به عنوان یک روش مطلوب مطرح می‌شود. در این مقاله تلاش شده است با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ و مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر اثرات بازگشتی در دو سناریو افزایش ۱۰ درصد کارایی برق و افزایش همزمان ۱۰ درصد کارایی و ۱۰ درصد قیمت برق، اثرات بازگشتی برآورد شود. نتایج مدل حاکی از آن است که اثرات بازگشتی انرژی در صورت افزایش کارایی، ۱۱۲ درصد است و میزان مصرف انرژی نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه ۱/۲ درصد افزایش می‌یابد اما در صورت افزایش قیمت و کارایی، اثرات بازگشتی به ۹۹ درصد کاهش می‌یابد. اثرات بازگشتی بالای مشاهده شده در صورت اعمال سیاست افزایش کارایی به تنهایی، به دلیل کاهش قیمت نسبی انرژی و در نتیجه افزایش مصرف آن است چراکه سیاست افزایش کارایی سبب ترغیب ۰/۰۴ درصدی سطح فعالیت‌های اقتصادی بخش‌های تولیدی نیز می‌شود همچنین صادرات در این سناریو نیز ۰/۳ درصد رشد می‌کند. در مقابل در سیاست افزایش همزمان کارایی و قیمت برق، سطح مصرف ۰/۱ درصد و سطح فعالیت بخش‌های تولیدی ۰/۰۸ درصد و صادرات ۰/۰۵ درصد کاهش خواهد یافت.

طبقه‌بندی JEL: Q43, Q41, D58, D21, C68

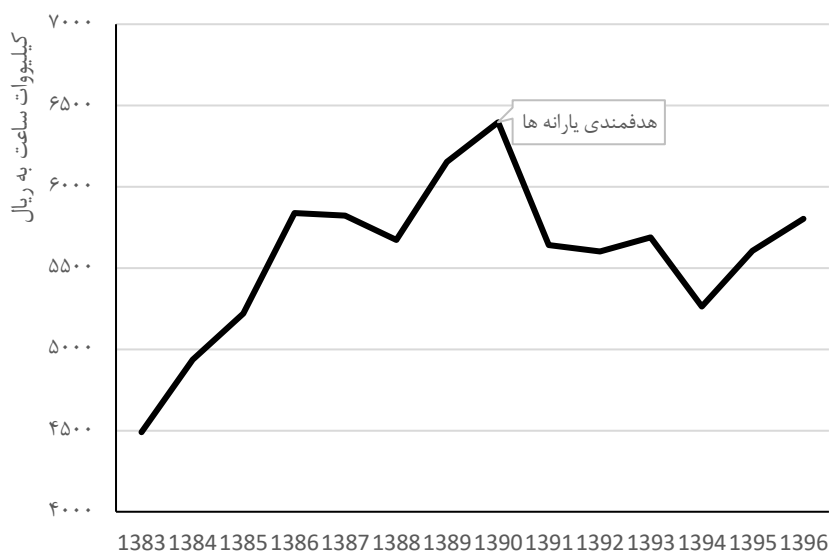
واژگان کلیدی: اثرات بازگشتی، تعادل عمومی قابل محاسبه، قیمت انرژی، کارایی

۱. مقدمه

کشورهای در حال توسعه صادرکننده نفت از جمله ایران همواره جزء کشورهای با مصرف سرانه انرژی بالا هستند. این درحالی است که علیرغم اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها که در آن بهینه‌سازی مصرف انرژی و اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی توجه شده، وضعیت ایران هم از منظر مصرف انرژی و هم انتشار آلاینده‌ها نامناسب بوده و مصرف برق طی سال‌های اخیر کاهش نیافته است. نکته قابل توجه آن که علیرغم رشد اقتصادی اندک و حتی منفی طی این سال‌ها، روند صعودی مصرف متوقف نشده و اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها که هدف اصلی آن اصلاح ساختار مصرف بوده نیز نتوانسته روند مذکور را متوقف سازد. بدین ترتیب انتظار می‌رود در صورت عدم انجام اصلاحات ساختاری در زمینه مصرف بهینه انرژی، هزینه‌های اقتصادی اجتماعی گسترده‌ای بر اقتصاد ایران تحمیل شود. یکی از بهینه‌ترین روش‌ها برای محدود کردن مصرف انرژی واحدهای مختلف جامعه، سیاست‌های بهبود کارایی انرژی است چراکه با اجرای این سیاست در عین حال که مصرف انرژی کاهش می‌یابد، میزان تولید بنگاه و یا مطلوبیت خانوار کاهش نخواهد یافت. اما سیاست افزایش کارایی به دلیل پدیده‌ای تحت عنوان اثرات بازگشتی محدود می‌شود. اثرات بازگشتی، افزایش مصرف ناشی از افزایش کارایی انرژی است. مکانیزم اصلی این اثر این است که با افزایش کارایی انرژی، به میزان انرژی کمتری برای تولید هر واحد محصول نیاز است و لذا مخارج صرف شده روی انرژی پایین می‌آید. بدین ترتیب برای مصرف‌کننده به صورت ضمنی مانند آن است که قیمت نسبی انرژی پایین آمده است و لذا مصرف انرژی وی افزایش می‌یابد. این مکانیزم همانند زمانی که دولت قیمت نهاده‌های انرژی را به صورت دستوری پایین نگه داشته و روی آنها یارانه می‌پردازد. اساساً مکانیزم افزایش مصرف انرژی ناشی از پرداخت یارانه‌ها و افزایش مصرف ناشی از اثر بازگشتی کارایی انرژی یکی است، لذا می‌توان آنها را در یک چهارچوب دید. شکل (۱) مکانیزم اثرگذاری سیاست افزایش کارایی و محدود شدن این اثرات مطلوب به دلیل اثرات بازگشتی

شکل ۱. رابطه بین اثرات بازگشتی و افزایش قیمت انرژی

در ایران نیز می‌توان با استفاده از شدت مصرف برق که میزان مصرف برق به ازای تولید ناخالص داخلی، می‌توان پیشرفت کارایی برق را نشان داد. به طوری که با بهبود کارایی انرژی شاخص شدت انرژی کاسته خواهد شد، یعنی برای تولید ناخالص داخلی به میزان کمتری مصرف برق نیاز است و برعکس. نمودار (۱) شدت مصرف برق که از تقسیم مصرف برق به ازای تولید ناخالص داخلی به قیمت پایه سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. براساس این نمودار شدت انرژی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ روند فزاینده داشت اما با هدفمندی یارانه‌ها، شدت مصرف برق تا سال ۱۳۹۴ کاهش یافته و سپس بار دیگر با کاهش قیمت نسبی برق، بار دیگر شدت مصرف برق روند فزاینده به خود می‌گیرد.



نمودار ۱. شدت مصرف برق (نماینده‌ای از معکوس کارایی)

پرسش اصلی این تحقیق این است که با وجودی که اثرات بازگشتی و قیمت‌های انرژی به صورت ذاتی بایکدیگر در ارتباط هستند، افزایش قیمت برق تا چه حد خواهد توانست که اثرات بازگشتی را کاهش دهد. برای پاسخ به این سؤال در ابتدای امر تلاش خواهد شد در چهارچوب یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه، اثرات بازگشتی را در حالتی که قیمت برق تغییر نکرده است محاسبه شده و در سناریویی با افزایش قیمت برق باردیگر برآورد می‌شود تا بررسی شود که افزایش قیمت برق بر میزان اثرات بازگشتی چه تأثیری دارد و شاخص‌های مصرف انرژی را چگونه تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۲. مبانی نظری؛ تخمین اثرات بازگشتی

قبل از بیان تئوریک اثرات بازگشتی بهتر است کارایی تعریف شود. به طور کلی کارایی بیان این مفهوم است که یک بنگاه تا چه اندازه از منابع خود به منظور بهترین تولید به خوبی استفاده کرده

است (پیرس^۱، ۱۹۹۷) و کارایی انرژی، خروجی مفید هر فرآیند به ازای یک واحد انرژی دریافت شده در آن فرآیند است و منظور از کارایی در این مقاله کارایی مصرف انرژی در بنگاه‌های تولیدی است و افزایش تولید بخش‌های تولیدکننده انرژی و یا به عبارت دیگر افزایش کارایی در تولید انرژی در اقتصاد مدنظر نیست.

زمانی که کارایی انرژی افزایش می‌یابد، قیمت خدمات انرژی تغییر می‌کند و سبب می‌شود مصرف‌کننده یک سری از تطبیق‌ها را برای سبد مصرف خود اعمال کند که در نهایت بر تقاضای خدمات انرژی وی اثر می‌گذارد. اول، مصرف‌کننده محصولات کارا تر انرژی که باعث کاهش هزینه خدمات انرژی می‌شود جانشین سایر کالاها می‌کند. دوم، مصرف‌کننده به دنبال افزایش مصرف کالاهای کارا تر انرژی، کالاهای مکمل آن را نیز بیشتر مصرف می‌کند. سوم، کاهش قیمت مؤثر خدمات انرژی سبب افزایش قدرت خرید مصرف‌کننده می‌شود که همین مسئله سبب می‌شود که محصولات کارا تر انرژی بیشتر مصرف شود (اگر فرض شود که کالاهای کارا تر انرژی نرمال هستند). در نهایت، افزایش قدرت خرید مصرف‌کننده سبب می‌شود از سایر کالاهای نرمال بیشتر خریداری شود. برآیند چهار اثر تطبیقی مصرف‌کننده می‌تواند مصرف انرژی وی را کاهش یا افزایش دهد. اثرات بازگشتی برای مصرف‌کننده را می‌توان به دو دسته اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی کرد. در تخمین اثر بازگشتی مستقیم، تمامی تغییرات در تقاضای کالاهای دیگر در ارتباط با تغییر ضمنی قیمت انرژی و یا افزایش قدرت خرید مصرف‌کننده را نادیده می‌گیرد. به عبارت بهتر، اثر بازگشتی مستقیم اولین واکنش مصرف‌کننده به کاهش ضمنی قیمت را اندازه‌گیری می‌کند (گیلینگهام، راپسون و وانگر^۲، ۲۰۱۶). اثر افزایش کارایی انرژی بر تقاضای سایر کالاها و به دنبال آن تغییر در مصرف انرژی را اثر بازگشتی غیرمستقیم می‌گویند گرچه در ادبیات این موضوع بر سر تعریف و استفاده از این اثر اتفاق نظر وجود ندارد. برخی از مطالعات اثر بازگشتی غیرمستقیم را هر تغییری در استفاده از انرژی ناشی از تغییرات تکنولوژی در تقاضای سایر کالاها

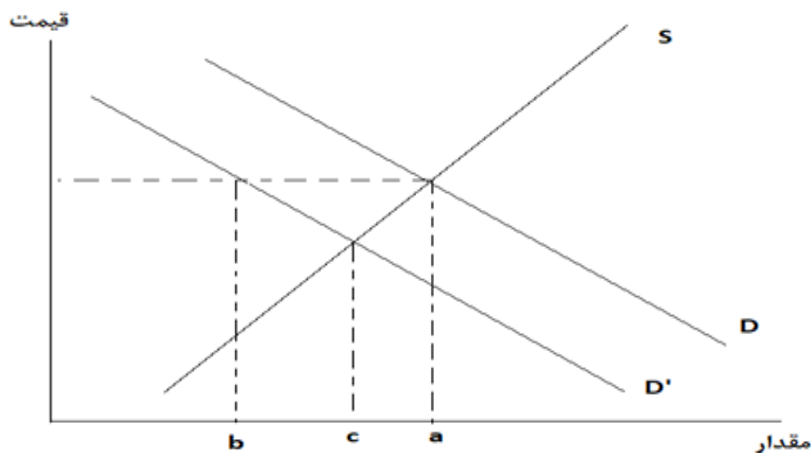
1. Pierce

2. Gillingham, Rapson, & Wagner

ناشی از اثرات جانشینی و درآمدی می‌داند (آزودو^۱، ۲۰۱۴) سایر مطالعات اثر بازگشتی غیرمستقیم را گسترده‌تر می‌داند و شامل اثرات کلان بازگشتی هم تعریف می‌کنند (سورل، دیمیتروپولوس و سومرویل^۲، ۲۰۰۹). با این وجود رویکرد رایج در ادبیات آن است که اثر بازگشتی غیرمستقیم را اثر درآمدی بر مصرف انرژی سایر کالاها تعریف می‌کنند. علاوه بر اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم، اثرات بازگشتی کلان نیز وجود دارد که محاسبه آن بسیار پیچیده‌تر از اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم است، زیرا زمانی که تقاضا برای منابع انرژی تغییر می‌کند، بازارها دوباره باید به تعادل برسند و یک افزایش در کارایی انرژی می‌تواند بر تقاضای کلی انرژی از کانال‌های مختلف اثر بگذارد. اثرات کلان قیمتی همانند تحلیل اثر بازگشتی مستقیم است با این تفاوت که در آن تمام قیمت‌ها را در نظر می‌گیرد. زمانی که کارایی انرژی افزایش می‌یابد منحنی تقاضای بازار انرژی جابه‌جا می‌شود و مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان خود را با وضعیت جدید تطبیق می‌دهند تا تعادل جدید حاصل شود. برای مثال در بازار جهانی نفت، یک بهبود انرژی در ایالات متحده قیمت جهانی نفت را کاهش می‌دهد که همین امر سبب افزایش تقاضای جهانی نفت می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، افزایش اولیه در کارایی انرژی، تقاضای جهانی را از D به D' منتقل می‌کند و چون a-b میزان انتقال تقاضا و a-c تغییر در مقدار تعادلی است اثر کلان قیمت برابر خواهد بود با $1 - (a-c)/(a-b)$ بنابراین اثرات بازگشتی تابعی است از شیب منحنی‌های عرضه و تقاضا و اگر عرضه و تقاضا بی‌کشش‌تر باشند، اثر بازگشتی بیشتر می‌شود.

1. Azevedo

2. Sorrell, Dimitropoulos, & Sommerville



شکل ۲. افزایش کارایی انرژی و اثرات کلان قیمتی
منبع: گیلینگهام، راپسون و وانگر (۲۰۱۶)

برای تخمین اثرات بازگشتی (R) افزایش کارایی به میزان p درصد، خواهیم داشت:

$$R = \left[1 + \frac{\dot{E}}{\rho} \right] * 100 \quad (۱)$$

که در رابطه $\dot{E}$ درصد تغییر در مصرف انرژی است.

چنانچه اثرات بازگشتی را، درصد شکست در کاهش دادن تقاضای انرژی در نتیجه بهبود کارایی بدانیم، می‌توانیم چهار تحلیل زیر را از مقادیر مختلف اثرات بازگشتی داشته باشیم:

الف) اگر $R=0$ باشد به این معنی است که بهبود کارایی انرژی، باعث کاهش کامل مصرف انرژی شده است.

ب) اگر $R>0$ باشد به این معنی است که بهبود کارایی انرژی باعث کاهش ناقص مصرف انرژی شده است.

ج) اگر $R=100$ باشد به این معنی است که بهبود کارایی انرژی باعث عدم تغییر مصرف انرژی شده است.

د) اگر $R>100$ باشد به این معنی است که بهبود کارایی انرژی باعث افزایش مصرف انرژی شده است.

در ادبیات تجربی روش‌های کاهش اثرات بازگشتی عمدتاً همان روش‌ها و ابزارهای حفاظت از انرژی است. به عبارت دیگر، همان ابزارهای افزایش کارایی و ایجاد انگیزه برای صرفه جویی در

انرژی است. کاهش مؤثر اثرات بازگشتی نیاز به بسته از ابزارها دارد و یک سیاست خاص به تنهایی نمی‌تواند اثرات بازگشتی را کم کند. در ادبیات اقتصاد محیط زیست غالباً بین دو دسته از سیاست‌گذاری‌ها تفکیک قائل می‌شوند که عبارتند از: ابزارهای تنظیم‌گری و ابزارهای مبتنی بر بازار (بوراس و ادکوئیست^۱، ۲۰۱۳؛ استرنر و کوریا^۲، ۲۰۱۳).

ابزارهای تنظیم‌گری شامل مقرراتی است که دامنه اقدامات فعال اقتصادی را محدود می‌کند که می‌تواند اشکال جیره‌بندی، ممنوعیت یا اجبار برای یک تکنولوژی خاص باشد. سقف انتشار کربن و استانداردهای کارایی انرژی در محصولات خاص ابزارهای اصلی تنظیم‌گری برای مقابله با اثرات بازگشتی است که در ادبیات مورد بحث قرار می‌گیرد. برای مثال اگر سقف انتشار کربن برای استفاده از خدمات انرژی تعیین شود آنگاه به لحاظ نظری سیاست افزایش کارایی، هیچ اثر بازگشتی نخواهد داشت، اما از آنجا که دامنه فعالیت‌هایی که سقف انتشار کربن برای آنها تعریف شده است محدود است، اثر بخشی سیاست سقف انتشار کربن برای کاهش اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی کاهش خواهد یابد (لانج و همکاران^۳، ۲۰۱۹).

ابزارهای مبتنی بر بازار یا ابزارهای اقتصادی از بازارها، قیمت‌ها و سایر سازوکارهای اقتصادی برای ایجاد انگیزه برای کاهش مصرف انرژی استفاده می‌کنند و می‌توانند اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی را محدود کنند. مثال اصلی مالیات بر کربن یا انرژی، اعطای یارانه و تحفیف برای کالاهای کارا تر، تجارت انتشار کربن و سایر سیستم‌های مجوز قابل تجارت است. در ادبیات اثرات بازگشتی، بسیاری از محققان ادعا می‌کنند که مالیات مناسب یکی از بهترین ابزارها برای محدود کردن اثرات بازگشتی است (ساندرز، ۲۰۱۱). از آنجا که اقتصاد ایران از یارانه‌های بالای حامل‌های انرژی برای سالیان متوالی رنج می‌برد به نظر می‌رسد قبل از هرگونه مالیاتی بر حامل‌های انرژی یا مالیات بر انتشار آلاینده بهتر است قیمت حامل‌های انرژی واقعی شود. در تعریف سازمان همکاری اقتصادی OECD یکی از مصادیق یارانه‌های انرژی کنترل قیمت‌های نسبی است که اقتصاد ایران مدت طولانی

1. Borras & Edquist

2. Sterner & Coria

3. Lange et al

است که قیمت حامل‌های انرژی را به صورت دستوری پایین‌تر از قیمت بین‌المللی قرار داده است و بنابراین یارانه انرژی را به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌پردازد. انحراف قیمت‌های نسبی از مقادیر تعادلی، سبب تخصیص ناکارای منابع می‌شوند. زمانی که قیمت‌های انرژی ناکارا باشد سبب می‌شود هزینه‌های بالایی بر عملکرد اقتصادی و زیست محیطی یک کشور وارد کند.

در تئوری اقتصادی، یارانه‌های انرژی همانند اثر بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی، قیمت نهایی انرژی را کاهش می‌دهد و از این کانال سبب افزایش مصرف و افزایش تخریب محیط زیست می‌شود (آژانس بین‌المللی انرژی^۱، ۱۹۹۹). بر همین اساس، اصلاح یارانه‌های انرژی یک راه مؤثر برای کاهش اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی است و سبب خواهد شد که سیاست‌های افزایش کارایی انرژی مؤثرتر باشند و به میزان بیشتری مصرف انرژی و تخریب محیط زیست را کاهش بدهد.

۳. پیشنهاد تحقیق

اگرچه مطالعات زیادی برای بررسی میزان اثرات بازگشتی صورت گرفته است اما تعداد کمی از مطالعات اثرات وضع مالیات (یا کاهش یارانه) را بر کاهش اثرات بازگشتی بررسی کرده‌اند. ساندرز (۲۰۱۱)^۲ از یک روش کلان سنجی برای تخمین مالیات انرژی بر یک بخش خاص برای جبران اثرات بازگشتی مستقیم در ایالات متحده استفاده کرده است. این مطالعه نشان می‌دهد که مالیات مورد نیاز برای بخش‌های مختلف اقتصاد بین ۱۰ تا بیش از ۳۰۰ درصد است. هونگ و دی (۲۰۱۳)^۳ ابتدا با استفاده از رویکرد شکاف قیمت میزان یارانه‌های پرداختی در بخش انرژی کشور چین را برای سال ۲۰۰۷ تخمین زده و سپس با استفاده از جدول داده-ستانده و جریان انرژی اثرات بازگشتی این کشور را تعیین نموده‌اند. آنها نشان دادند با حذف یارانه‌های انرژی اثرات بازگشتی این کشور کاهش می‌یابد.

1. International energy agency

2. Saunders

3. Hong, Liang and Di

لویز (۲۰۱۹)^۱ در پاسخ به این ادعا که سیاست افزایش مالیات بر انرژی در مقایسه با سیاست افزایش کارایی هزینه کمتری را بر اقتصاد تحمیل می‌کند و سبب می‌شود خانوارهای ضعیف‌تر بار مالی کمتری را به دوش بکشند از یک مدل ساده ایستا با دو کالا و یک خانوار نوعی استفاده کرد و نشان داد که سیاست افزایش کارایی در مقایسه با سیاست اعمال مالیات هم هزینه کمتری برای اقتصاد دارد و هم در کاهش انرژی اثربخش‌تر است.

گونزالس (۲۰۱۹)^۲ می‌گوید: استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویا، به دنبال راه حلی برای حل مشکل اثرات بازگشتی است. وی دریافته است با نرخ مالیات ۳/۷۶ درصدی اثرات بازگشتی افزایش ۵ درصد کارایی انرژی در اسپانیا از بین می‌رود. براساس معادله وی اثرات بازگشتی ۸۲/۸ درصد برآورد شده بود.

لین و ژیا (۲۰۱۹)^۳ با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بازگشتی برای اقتصاد چین اثرات سیاست مالیات بر صنایع انرژی را بر تقاضای این صنایع و انتشار کربن دی اکسید نشان دادند. آنها بر افزایش نرخ مالیات طی زمان معتقدند و دریافته‌اند که در صورت عدم کنترل قیمت‌ها، کارایی انرژی افزایش خواهد یافت که سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود.

در میان مطالعات داخلی تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر اثر بازگشتی صورت نگرفته است. اما مطالعات ذیل اثرات بازگشتی در ایران را تخمین زده‌اند.

منظور و همکاران با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۰ و یک مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، اثرات بازگشتی افزایش کارایی در مصارف برق را ۱۴/۲ درصد برآورد کرده‌اند. این مقاله به سیاست‌گذاران توصیه می‌کند در تدوین راهبردهای بهینه‌سازی تولید و مصرف انرژی، اثرات بازگشتی و رفاهی مترتب بر آن را مدنظر قرار دهند.

خوش‌کلام (۱۳۹۷) با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر بر مبنای داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۵ اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی بنزین و گازوئیل را در بخش

-
1. Levinson
 2. Freire-González
 3. Lin and Jia

حمل و نقل بررسی کرده‌اند و اثر بازگشتی بنزین را به اثرات جانشینی و تولیدی تجزیه کرده است. وی دریافته است که اثر بازگشتی در همه زیر بخش‌های اقتصادی مثبت است و بخش‌های تولید عوامل اصلی در شکل‌گیری اثرات بازگشتی دارند و سهم اصلی از اثر بازگشتی گستره اقتصاد را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به مثبت بودن اثرات بازگشتی بخشی از اثرات مطلوب سیاست افزایش کارایی خنثی شده است.

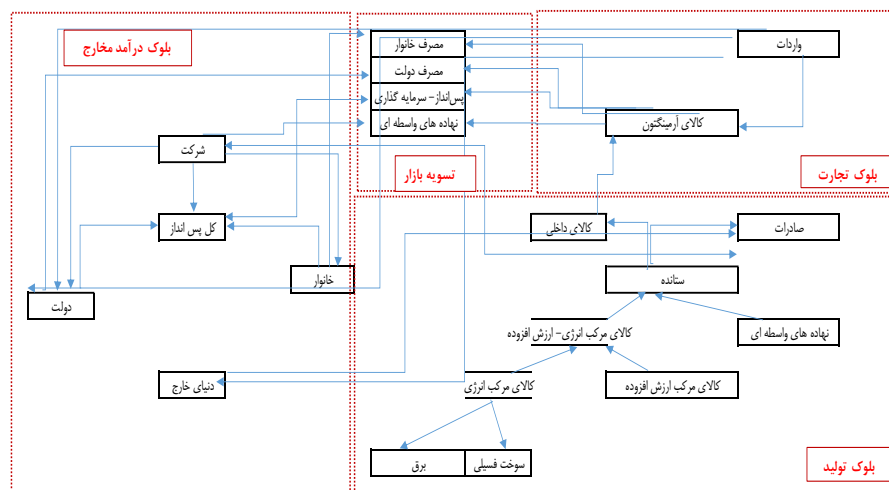
هادیان و بهزادی (۲۰۱۹) به منظور محاسبه اثرات بازگشتی با استفاده از مدل CGE دریافته‌اند که به جز الکترونیک در مورد حامل‌های انرژی دیگر اثرات معکوس مشاهده شده است و بنابراین سیاست افزایش کارایی به هدف مطلوب خود که کاهش مصرف انرژی نخواهد رسید.

۴. مدل تحقیق

برای محاسبه اثر بازگشتی از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه لافگرین و همکاران (۲۰۰۲)^۱ استفاده شده است. در این مدل روابط کلان اقتصادی مدلسازی می‌شود به طوری که درآمد گروه‌های مختلف، الگوی تقاضا، تراز تجاری و ساختار تولید چندبخشی را دربردارد. این گونه مدل‌ها، معادلات مربوط به رفتار کارگزاران اقتصادی از قبیل معادلات مربوط به مطلوبیت و تکنولوژی و دیگر قیده‌های سیستمی را شامل می‌شود. مدل در تعادل عمومی است زیرا مجموعه مقادیر و قیمت‌ها در مدل به گونه‌ای تعیین می‌شود که مازاد تقاضا و عرضه وجود نداشته باشد. تعادل بازارها هم در مقادیر اسمی و هم در مقادیر حقیقی برقرار است. قیمت‌های نسبی و مقادیر همگی درون‌زا هستند و مصرف نیز به درآمد وابسته است، لذا مصرف نیز درون‌زا محسوب می‌شود. عمومی بودن مدل از آنجا ناشی می‌شود که تمام بخش‌های اقتصادی در مدل وجود دارند و لذا دیگر نیازی به فرض "سایر شرایط ثابت" که در مطالعات جزئی مورد نیاز است، نیست. نتایج مدل معمولاً از مقایسه یک تعادل با تعادل دیگر در نتیجه تغییر در متغیرهای برون‌زا مدل به دست می‌آیند. نحوه کار بدین ترتیب است که یک سال پایه در نظر گرفته می‌شود سپس به دلیل وجود شوک‌های برون‌زای مدل به تعادل جدیدی می‌رسند که نتیجه با مقادیر سال پایه مقایسه می‌گردد.

1. Lofgren et.al

شکل (۳) رابطه بین بخش‌های مختلف اقتصادی در یک مدل CGE نشان می‌دهد. مدل شامل سه کارگزار اصلی دولت، خانوار و تولیدکننده و سه بازار اصلی؛ بازار عوامل تولید، بازار کالاهای داخلی و بازار بین‌المللی و چهار بلوک، تولید، تجارت، تسویه بازار و تساوی درآمد و مخارج است. تولیدکننده، نیروی کار را از بازار کار و نهاده‌های تولید را از بازار کالا می‌گیرد. کالا نیز در بازار داخلی و بین‌المللی معامله می‌شود. خانوار نیز نیروی کار را در بازار کار عرضه کرده و در عوض کالا را از بازار کالا تقاضا می‌کند. هم خانوار و هم تولیدکننده به دولت مالیات می‌دهد. دولت خود تقاضاکننده کالا و توزیع کننده یارانه‌ها است. در بازار بین‌المللی نیز صادرات و واردات صورت می‌گیرد. وقتی همه بازارها در تعادل باشند گفته می‌شود مدل به تعادل عمومی رسیده است.



شکل ۳. رابطه بین بخش‌های مختلف اقتصادی

مأخذ: لین و ژیا^۱ (۲۰۱۹)

مدل حاضر، براساس ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس، دارای ۱۱ بخش تولیدی است که هر کدام از بخش‌ها تولیدکننده یک کالا در نظر گرفته می‌شود. عوامل تولید شامل نیروی کار و سرمایه، خانوارها نیز شامل خانوار شهری و روستایی است. نهاده‌های تولید شامل سرمایه، نیروی کار، کالای مرکب انرژی و مواد واسطه است. این نهاده‌ها در توابع تولید با

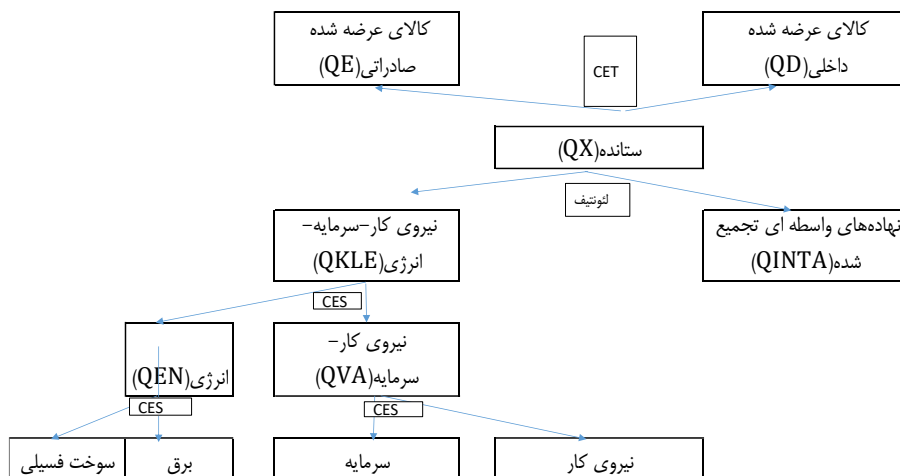
کشش جانشینی ثابت CES با یکدیگر ترکیب شده و محصول را تولید می‌کنند. خانوار شهری و روستایی نیز دارنده نیروی کار و سرمایه است و مطلوبیت خود را از طریق مصرف کالا حداکثر می‌سازد. عرضه نیروی کار و سرمایه برون‌زا است.

بلوک تولید

برای محاسبه اثر بازگشتی ساختار لایه‌ای تولید را بر مبنای مطالعه خیابانی (۱۳۸۷) شکل داده شده است به طوری که بخش‌های تولید کننده انرژی از سایر بخش‌های غیرانرژی تفکیک می‌گردد. هر بخش می‌تواند تولید کننده چند محصول بوده و از سوی دیگر تولید هر کالا توسط یک بخش می‌تواند عنوان عامل واسطه‌ای توسط بخش‌های دیگر و یا به عنوان مصرف نهایی توسط نهادهای خانوار، دولت و غیره استفاده گردد. شکل (۴) ساختار الگوی تولیدی را به نمایش می‌گذارد. بر اساس نمودار ذیل تولید بر اساس ساختار سه مرحله‌ای مشخص می‌شود. به طوری که تولید بر اساس ترکیب نهادهای واسطه‌ای و نهادهای اولیه به دست می‌آید. نهادهای اولیه خود شامل دو زیرگروه می‌گردد. گروه اول شامل نهادهای نیروی کار و سرمایه است و گروه دوم شامل نهادهای انرژی است. طبق نظریات ساتو (۱۹۶۷)^۱، عامل تولید جدا شده، بایستی دارای کشش جانشینی کمتری نسبت به دو عامل دیگر باشد (که فرض اساسی تابع تولید می‌باشد) با این فرض ساتو نهادهای سرمایه و نیروی کار را با هم و مواد اولیه را به صورت جداگانه در تابع CES تعمیم یافته در نظر می‌گیرد. براین اساس در این قسمت به منظور بیان ریاضی با توجه به مطالعات قبلی^۲ عوامل L (نهادهای نیروی کار) و k (نهادهای سرمایه) را با هم و عامل E (نهادهای انرژی) را به صورت جداگانه مد نظر قرار می‌دهیم.

1. Sato

۲. مطالعات زیادی به مکمل بودن انرژی و سرمایه و جانشینی نیروی کار و سرمایه پرداختند که از آن جمله می‌توان به مطالعه کازرانی با عنوان "برآورد کشش جانشینی بین نهادهای تولید در صنایع ایران" اشاره نمود.



شکل ۴. ساختار الگوی تولیدی

در لایه سوم بلوک تولید، نهاد مرکب انرژی براساس تابع تولید CES تشکیل می‌شود. در این لایه حامل‌های انرژی EN که شامل برق و سایر سوخت‌های فسیلی است ترکیب شده و نهاد مرکب انرژی را تشکیل می‌دهند. تابع تولید نهاد انرژی مرکب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$QEN_C = \alpha EN_C * \left(\sum_{EN} \delta EN_C * \left(\frac{1}{\eta_{EN.C}} * QN_{EN.C} \right)^{-\rho_{EN.C}} \right)^{-1/\rho_{EN.C}} \quad (2)$$

که در آن δEN_C سهم هر یک از انواع انرژی است، $\rho_{EN.C}$ توان تابع CES و $\eta_{EN.C}$ کارایی مصرف انرژی هر یک از انواع انرژی به ازای هر فعالیت است.

براساس شرط نسبت بهینه نهاد (شرط مرتبه اول) و پیروی تابع CES از قضیه اولر، تقاضا و قیمت را مشخص می‌نماید و تابع تقاضا برای کالای مرکب انرژی (QEN_C) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$QEN_C = \alpha EN_C * \left(\sum_{EN} \delta EN_C * \left(\frac{1}{\eta_{EN.C}} * QN_{EN.C} \right)^{-\rho_{EN.C}} \right)^{-1/\rho_{EN.C}} \quad (3)$$

که در این معادله $rhoEN_C$ ، $QN_{EN.C}$ ، $deltaEN_C$ ، $alphaEN_C$ به ترتیب پارامتر بهره‌وری عوامل تولید، سهم نهاده‌های تولید، میزان نهاده‌های انرژی (برق، سوخت فسیلی) و پارامتر کشش جانشینی بین نهاده‌های انرژی است. حال با حداکثر کردن سود نسبت به قید معادله بالا، معادله تقاضا برای هر یک از نهاده‌های انرژی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$QN_{EN.C} = QEN_C * \left[\frac{PN_{EN.C}}{PEN_C} * \frac{(\alpha EN_C)^{rho EN_C}}{\delta EN_{EN.C}} * \left(\frac{1}{\eta_{EN.C}} \right)^{rho EN_C} \right]^{\frac{-1}{1+rho EN_C}} \quad (۴)$$

همچنین قیمت نهاده‌های انرژی مرکب به صورت زیر به دست می‌آید:

$$PEN_C * QEN_C = \sum_{EN} PN_{EN.C} * QN_{EN.C} \quad (۵)$$

بنابراین براساس معادلات بالا تغییرات کارایی انرژی و قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضا و قیمت نهاده مرکب انرژی اثر گذاشته و از این کانال بر روی سایر متغیرهای اقتصادی درون مدل اثر می‌گذارد. معادلات مربوط به سایر بلوک‌ها در انتهای مقاله به صورت پیوست آورده شده است.

۵. داده‌ها و نتایج تجربی

با استفاده از مدل تعادل عمومی می‌توان اثرات شوک‌های برون‌زا را بر متغیرهای مختلف در سطح کلان و بخشی بررسی کرد که این اثرات از طریق مکانیزم بازار بر این متغیرها وارد می‌شود. در این تحقیق ابتدا اثر بازگشتی افزایش کارایی برق محاسبه می‌شود، سپس با زمانی که قیمت و کارایی برق هم‌زمان افزایش می‌یابد، مقایسه می‌شود. برای این کار ابتدا شوک کارایی به صورت افزایش ۱۰ درصدی متغیر $\eta_{EN.C}$ که در معادله ۲ (تابع تولید انرژی) و معادله ۳ (تقاضای انرژی) به کار رفته است، به سیستم وارد می‌شود. سپس اثرات بازگشتی محاسبه می‌شود. در سناریو جایگزین علاوه بر شوک افزایش کارایی، شوک افزایش ده درصدی قیمت انرژی از کانال مالیات بر انرژی و با تغییر قیمت حامل انرژی PEN_C به صورت هم‌زمان وارد می‌شود که در این صورت در ابتدا معادلات ۳ و ۴ متأثر می‌شوند در نتیجه قیمت نهاده انرژی افزایش یافته و از کانال نهاده مرکب ارزش افزوده-انرژی موجب افزایش هزینه‌های تولید و افزایش قیمت ستانده خواهد شد.

ابتدا تغییر در متغیرهای اقتصاد کلان در سه سناریو افزایش ده درصدی کارایی، افزایش ده درصدی قیمت برق و سناریو افزایش همزمان قیمت برق و افزایش کارایی مقایسه می‌شود. جدول (۱) نتایج مدل را نشان می‌دهد. براساس این جدول با افزایش ۱۰ درصدی کارایی برق، مصرف برق و کل انرژی در کشور کاهش نمی‌یابد بلکه مصرف برق ۴/۱۷ درصد افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده اثرات بازگشتی ۱۴۱/۷ درصدی برای این حامل است. همچنین مصرف کل انرژی نیز ۱/۲۰ درصد افزایش می‌یابد که نشان از اثر بازگشتی ۱۱۲ درصدی است. بنابراین سیاست افزایش کارایی به هدف غایی خود که کاهش مصرف انرژی است نخواهد رسید. اما نکته مطلوب این سیاست آن است که تحت این سناریو سطح تولید فعالیت اقتصادی بخش‌های مختلف اقتصادی ۰/۰۴ درصد افزایش می‌یابد. همزمان با افزایش سطح تولید، صادرات کشور نیز به ترتیب ۰/۳ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان دلیل افزایش مصرف برق و انرژی را افزایش سطح فعالیت‌های تولیدی و صادرات دانست. با اعمال این سیاست نرخ ارز کشور ۰/۳۵ درصد کاهش یافته که موجب ترغیب ۰/۴ درصدی واردات شده است.

در سناریو دوم که سناریو افزایش ده درصدی برق است، مصرف برق و مصرف کل انرژی به ترتیب ۲/۴۸ و ۱/۳۸ درصد کاهش می‌یابد بنابراین این سیاست برای کاهش مصرف انرژی موفق است اما سطح تولید فعالیت‌های اقتصادی تمام بخش‌ها نیز ۰/۴۶ درصد کاهش یافته و صادرات نیز ۰/۶۵- درصد افت می‌کند. در این سناریو اگرچه نرخ ارز ۱/۲۲ درصد افت می‌کند اما بازهم واردات ۰/۸۴ درصد کاهش خواهد داشت. بنابراین سناریو افزایش قیمت برای کاهش مصرف مناسب است اما صادرات و تولید را هم کاهش می‌دهد بنابراین سناریو سوم مطرح می‌شود.

در سناریو سوم، ۱۰ درصد کارایی و ۱۰ درصد قیمت برق افزایش می‌یابد. در این حالت مصرف برق ۱/۴۳ درصد کاهش می‌یابد و اثر بازگشتی ۸۶ درصد است اما مصرف کل انرژی ۰/۱ درصد کاهش می‌یابد و اثر بازگشتی کل انرژی ۹۹ درصد است. در این سناریو، سطح فعالیت‌های اقتصادی ۰/۰۸ درصد افت کرده همچنین صادرات نیز به ترتیب ۰/۰۵ درصد کاهش خواهد یافت اما واردات ۰/۷۸ درصد افزایش می‌یابد.

همان‌طور که پیدا است در صورت افزایش قیمت برق و افزایش کارایی، اثرات بازگشتی برای حامل برق از ۱۴۱/۷ به ۸۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین اثرات بازگشتی کل انرژی نیز از ۱۱۲ به ۹۹ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین اگر همزمان با سیاست افزایش کارایی برق، قیمت این حامل نیز افزایش یابد، اثرات بازگشتی کاهش یافته و اثربخشی سیاست افزایش کارایی بهبود می‌یابد.

جدول ۱. مقایسه سه سناریوی افزایش کارایی، افزایش قیمت و افزایش همزمان قیمت و کارایی برق

سناریو افزایش کارایی	سناریو افزایش قیمت	سناریو افزایش همزمان قیمت برق و افزایش کارایی	
۴/۱۷	-۲/۴۸	-۱/۴۳	تغییر در مصرف برق
۱/۲۰	-۱/۳۸	-۰/۱۰	تغییر در مصرف کل انرژی
۰/۰۴	-۰/۴۶	-۰/۰۸	تغییر در سطح تولید فعالیت تمام بخش‌ها
۰/۳۰	-۰/۶۵	-۰/۰۵	تغییر صادرات
۰/۴۰	-۰/۸۴	۰/۷۸	تغییر واردات
-۰/۳۵	-۱/۲۲	-۰/۲۶	تغییر در نرخ ارز
۱۴۱/۷	--	۸۶	اثرات بازگشتی مصرف برق
۱۱۲		۹۹	اثرات بازگشتی کل مصرف انرژی

مأخذ: یافته‌های محقق

جدول (۲) اثرات سیاست افزایش کارایی برق با افزایش کارایی همزمان با افزایش برق را در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی نشان می‌دهد. اثرات بازگشتی بخش‌های تولید کانی‌های غیرفلزی، سایر صنایع، حمل و نقل، سوخت‌های فسیلی، سایر خدمات، تولید مواد و محصولات شیمیایی و تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری با افزایش قیمت و کارایی نسبت به حالتی که قیمت‌ها بدون تغییر هستند کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه آنکه با افزایش قیمت برق همزمان با افزایش کارایی، اثرات بازگشتی بخش برق افزایش می‌یابد چراکه سطح فعالیت در این بخش افزایش یافته و مصرف برق در فعالیت تولید برق افزایش می‌یابد.

جدول ۱. مقایسه اثرات سیاست افزایش ده درصدی کارایی برق
با افزایش ده درصدی قیمت برق در بخش‌های مختلف اقتصادی

سناریو افزایش کارایی برق			سناریو افزایش کارایی برق			
تغییر در تولید	اثرات بازگشتی	مصرف انرژی	تغییر در تولید	اثرات بازگشتی	مصرف انرژی	
۰/۲۹	۱۲۵/۰۹	۲/۵۰	-۰/۵	۷۴/۶	-۲/۵	کشاورزی
-۰/۴۷	۸۳/۱۳	-۱/۶۸	-۰/۳	۹۱/۱	-۰/۹	تولید کانی‌های غیر فلزی
-۰/۳۴	۸۳/۷۱	-۱/۶۲	-۰/۳	۸۷/۷	-۱/۲	سایر صنایع
-۰/۴۷	۸۵/۷۷	-۱/۴۲	۳/۰	۱۱۱/۵	۱/۲	برق
-۰/۴۲	۸۴/۰۸	-۱/۵۹	-۱/۳	۴۸/۸	-۵/۱	تولید منسوجات
-۰/۵۳	۷۵/۵۷	-۲/۴۴	-۰/۵	۷۴/۸	-۲/۵	تولید فلزات اساسی
۰/۶۱	۱۲۱/۸	۲/۱۸	۱/۳	۱۴۹/۶	۵/۰	حمل و نقل
۰/۴۳	۱۰۱/۲۲	۰/۱۲	۰/۳	۱۰۹/۹	۱/۰	سوخت‌های فسیلی
-۰/۲۰	۹۶/۴۴	-۰/۳۵	-۰/۳	۱۰۴/۲	۰/۴	سایر خدمات
-۱/۲۸	۸۳/۷۸	-۱/۶۲	۱/۱	۱۱۹/۷	۰/۲	تولید مواد و محصولات شیمیایی
-۰/۱۸	۸۸/۰۸	-۱/۱۹	-۰/۲	۷۷/۰	-۲/۳	تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری

منبع: یافته‌های محقق

تحلیل حساسیت

اصلی‌ترین انتقادی که به استفاده از الگوهای تعادل عمومی وارد می‌شود این است که نمی‌توان درجه پایداری پارامترها و نتایج شبیه‌سازی را آزمون کرد برای پاسخ به این انتقاد از روش تحلیل حساسیت مدل به پارامترهای کلیدی استفاده می‌شود در تحلیل حساسیت مدل‌های تعادل عمومی محاسبه پذیر، میزان دقت یافته‌ها ارزیابی می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در بین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های تعادل عمومی با محوریت انرژی، کشش جانشینی حامل‌های انرژی اصلی‌ترین پارامتر در نتایج شبیه‌سازی است.

در ادامه تحلیل حساسیت نتایج به دست آمده نسبت به تغییر کشش جانشینی انرژی با سرمایه و کار پرداخته می‌شود. نتایج این تحلیل حساسیت در جدول (۳) آمده است که نشان می‌دهد با تغییر کشش جانشینی ۲۰ درصد بالاتر و ۲۰ درصد پایینتر از کشش جانشینی نیروی کار- سرمایه با انرژی است، میزان متوسط تغییر مصرف انرژی در حالت پایه افزایش کارایی ۰/۵- است که با افزایش ۲۰ درصدی کشش به طور متوسط ۰/۳- و در حالت کاهش ۲۰ درصدی کشش به طور متوسط ۰/۹- درصد است. همچنین در سناریو افزایش همزمان قیمت و کارایی، تغییر مصرف انرژی در حالت پایه ۰/۶۴- درصد و در حالت افزایش ۲۰ درصدی کشش تغییر مصرف انرژی ۲/۴۸- درصد و در حالت کاهش ۲۰ درصدی کشش تغییر انرژی ۰/۰۲ درصد بوده است.

جدول ۳. تحلیل حساسیت تغییر مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی

نسبت به کشش جانشینی انرژی با سرمایه و کار در دو سناریو افزایش کارایی و افزایش همزمان کارایی و قیمت

تحلیل حساسیت			سناریو افزایش کارایی برق		سناریو افزایش کارایی همراه با افزایش قیمت برق
حالت پایه	۲۰ درصد کاهش کشش	۲۰ درصد افزایش کشش	درصد کاهش در مصرف انرژی	۲۰ درصد کاهش کشش	۲۰ درصد افزایش کشش
کشاورزی	-۲/۵	۲/۷	۱/۱	۲/۳۲	۴/۰۸
تولید کانی‌های غیر فلزی	-۰/۹	-۰/۹	-۰/۵	-۱/۶۸	-۲/۲۳
سایر صنایع	-۱/۲	-۵/۹	-۰/۴	-۱/۶۲	-۱۳/۰۵
برق	۱/۲	-۰/۹	-۹/۱	-۱/۴۲	-۲/۵۰
تولید منسوجات	-۵/۱	-۹/۵	۱/۸	-۱/۵۹	-۵/۱۳
تولید فلزات اساسی	-۲/۵	-۰/۸	۱/۷	-۲/۴۴	-۳/۸۴
حمل و نقل	۵/۰	۶/۵	۰/۱	۲/۱۸	-۰/۱۱
سوخت‌های فسیلی	۱/۰	-۱/۴	-۱/۶	۰/۱۲	۰/۰۰
سایر خدمات	۰/۴	۱/۸	۰/۳	-۰/۳۵	-۰/۲۹
تولید مواد و محصولات شیمیایی	۰/۲	۱/۸	۰/۸	-۱/۶۲	-۳/۳۷
تولید وسائل نقلیه و ترابری موتوری	-۲/۳	۱/۶	۲/۸	-۱/۱۹	-۰/۹۴
متوسط	-۰/۵	-۰/۹	-۰/۳	-۰/۶۴	-۲/۴۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۶. نتیجه‌گیری

یکی از نگرانی‌های اصلی سیاست‌گذاران مصرف بالای مصرف انرژی است که سبب خواهد شد منابع انرژی محدود و با هزینه فرصت بالا، به صورت ناکارا استفاده شود. بنابراین یافتن راهی برای کاهش مصرف انرژی در اقتصاد ایران ضروری است. یکی از مهمترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی، افزایش کارایی است اما اثرات مطلوب سیاست افزایش کارایی به دلیل وجود اثرات بازگشتی کاهش می‌یابد بنابراین یافتن راهی برای کاهش اثرات بازگشتی، می‌تواند نیل به هدف کاهش انرژی را هموارتر کند. در همین راستا تلاش شده است تا تأثیر افزایش قیمت برق بر اثرات بازگشتی برآورد شود. بدین منظور، با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر از داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌ها استفاده شده است و اثرات بازگشتی را ابتدا در حالتی که قیمت‌های انرژی تغییر نکرده است برآورد شده است. در این حالت اثرات بازگشتی برق و کل انرژی به ترتیب ۱۴۱ و ۱۱۲ برآورد شده است دلیل اصلی افزایش مصرف برق پس از افزایش کارایی آن است که با افزایش کارایی قیمت ضمنی برق برای احاد مختلف اقتصادی کاهش می‌یابد و به دلیل اثرات جانشینی و درآمدی برای خانوار و اثرات جانشینی و تولیدی برای مصرف‌کننده مصرف برق افزایش می‌یابد. همچنین کاهش ضمنی قیمت برق سبب ترغیب تولیدکنندگان به افزایش سطح فعالیت خود به میزان ۰/۰۴ درصد و افزایش ۰/۳ درصدی صادرات می‌شود. بنابراین در این مطالعه شاهد اثرات معکوس هستیم، بدین معنا که سیاست افزایش کارایی نه تنها باعث کاهش مصرف نشده بلکه مصرف برق و انرژی را افزایش داده است.

سپس در گام دوم، به منظور بررسی اثر افزایش قیمت برق بر اثرات بازگشتی و اثرات افزایش کارایی در مدل دو شوک همزمان افزایش ۱۰ درصدی قیمت و افزایش ۱۰ درصدی کارایی اعمال می‌شود. در این حالت مشاهده می‌شود اثرات بازگشتی برق و کل انرژی به ترتیب از ۱۴۱ و ۱۱۲ به ۸۶ و ۹۹ درصد کاهش می‌یابد. اگرچه اعمال بسته سیاستی افزایش کارایی و افزایش برق سبب کاهش مصرف انرژی و برق شده است اما سطح فعالیت‌های اقتصادی بخش‌های تولیدی و صادرات را نیز به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۰۵ درصد کاهش می‌دهد.

به طور کلی به سیاست‌گذار توصیه می‌شود باتوجه به پایین بودن قیمت انرژی و برق در ایران بهتر است قبل و یا همزمان با اعمال سیاست افزایش کارایی، قیمت حامل‌های انرژی را به قیمت‌های واقعی نزدیک کند تا اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی محدود شود.

منابع

- منظور، داوود؛ آقابائی، محمد ابراهیم و ایمان حقیقی (۱۳۹۰). "تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصارف برق در ایران: الگوی تعادل عمومی محاسبه پذیر"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۲۸، صص ۲۳-۱.
- خوشکلام، موسی (۱۳۹۳). "اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل در ایران با تأکید بر بخش حمل و نقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه". *پروژه‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۳(۱۱)، صص ۱۵۹-۱۹۴.
- خوشکلام خسروشاهی، موسی (۱۳۹۷). "تجزیه اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین به اثرات جانشینی و تولیدی با تأکید بر بخش حمل و نقل: مدل CGE. سیاست گذاری پیشرفت اقتصادی"، *دوفصلنامه سیاست گذاری پیشرفت اقتصادی*. ۶(۱)، صص ۶۷-۴۹.
- مهدوی، روح‌الله (۱۳۹۳). "ارزیابی سیاست‌های مکمل اصلاح قیمت انرژی در بخش حمل و نقل: الگوی تعادل عمومی محاسبه پذیر". *پروژه‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۳(۱۲)، صص ۱۷۸-۱۴۵.
- سلیمیان، زهره؛ بزازان، فاطمه و میرحسین موسوی (۱۳۹۶). "اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بین زمانی". *پروژه‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۶(۲۱)، صص ۲۰۰-۱۶۳.
- خیابانی، ناصر (۱۳۸۷)، "یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه برای ارزیابی اثرات افزایش قیمت تمام حامل‌های انرژی در ایران"، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۵(۱۶)، صص ۳۴-۱.
- خیابانی، ناصر (۱۳۹۵). "یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا برای ارزیابی آثار سیاست‌های انرژی: شواهدی از ایران". *پروژه‌های اقتصادی ایران*، ۲۱(۶۹)، صص ۴۶-۱.
- Azevedo, I.M. (2014). "Consumer end-use energy efficiency and rebound effects". *Annual Review of Environment and Resources*, No. 39, pp. 393-418.
- Borrás S. and C. Edquist (2013). "The Choice of Innovation Policy Instruments". *Technological forecasting and social change*, 80(8), pp. 1513-1522.
- Gillingham K., Rapson D. and G. Wagner (2016). "The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy". *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), pp.68-88.

- Hadian E., Behzadi, Z.** (2019). "The Estimation of the Rebound Effects in Household Sector: The Case of Iran". *Iranian Economic Review*, 23(2), pp. 451-468. DOI: 10.22059/ier.2019.70305
- Hong L., Liang D. and W. Di** (2013). "Economic and Environmental Gains of China's Fossil Energy Subsidies Reform: A Rebound Effect Case Study with EIMO model". *Energy Policy*, No. 54, pp. 335-342.
- Freire-González J.** (2019). "Energy Taxation Policies can Counteract the Rebound Effect: Analysis within a General Equilibrium Framework". *Energy Efficiency*, pp. 1-10.
- International Energy Agency** (1999). *World Energy Outlook 1999: Looking at Energy Subsidies—Getting the Prices Right*.
- Lange S., Banning M., Berner A., Kern F., Lutz C., Peuckert J. ... & R. Arbeitsbericht** (2019). "Economy-Wide Rebound Effects: State of the art, a new taxonomy, policy and research gaps". *Discussion Paper*. Berlin: *Institut für ökologische Wirtschaftsforschung*.
- Levinson A.** (2019). "Energy Efficiency Standards are more Regressive than Energy Taxes: Theory and Evidence". *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 6(S1), pp. 7-36.
- Lin B. and Z. Jia** (2019). "How does Tax System on Energy Industries Affect Energy Demand, CO2 Emissions, and Economy in China?". *Energy Economics*, 104496.
- Lofgren H., Harris R.L. and S. Robinson** (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) model in GAMS* (Vol. 5). Intl Food Policy Res Inst.
- Pierce, J.** (1997). "Efficiency Progress in the New South Wales Government". *NSW Treasury Research & Information Paper*, No. TRP97-8, NSW Treasury, Sydney.
- Sato K.** (1967). "A two-level Constant-elasticity-of-substitution Production Function". *The Review of Economic Studies*, 34(2), pp. 201-218.
- Saunders H.** (2009). *Theoretical Foundations of the Rebound Effect*. Chapters.
- Saunders H.D.** (2011). *Mitigating rebound with energy taxes*, the selected works of Harry D. Saunders
- Sorell S.** (2007). *The Rebound Effect. An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UK Energy Research Centre, London.
- Sorrell S. and J. Dimitropoulos** (2007). *UKERC review of evidence for the rebound effect: supplementary note: graphical illustrations of rebound effects*. London : UK Energy Research Centre.
- T. and J. Coria** (2013). *Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management*. Routledge.
- Koesler S., Swales K. and K. Turner** (2016). "International Spillover and Rebound Effects from Increased Energy Efficiency in Germany". *Energy economics*, No.54, pp. 444-452.

ضمیمه: معادلات مدل تعادل عمومی قابل محاسبه

بلوک قیمت	
$PM_C = PWM_C \times EXR$	۱
$PE_C = PWE_C \times EXR$	۲
$PDD_C = PDS_C$	۳
$PQ_C \times QQ_C = PDD_C \times QD_C + PM_C \times QM_C$	۴
$PX_C \times QX_C = PDS_C \times QD_C + PE_C \times QE_C$	۵
$PINTA_C = \sum_{NEN} PQ_{NEN} \times ica_{nen.c}$	۶
$PX_C \times (1 - ta_c) \times QX_C = PKLE_C \times QKLE_C + \sum_{NEN} QINT_{NEN.C} \times PQ_{EN} + PM_C \times QM_C$	۷
$CPI = \sum_{CD} cwts_C \times PQ_C$	۹
$DPI = \sum_{CD} dwts_{CD} \times PDS_{CD}$	۱۰
بلوک تجارت	
$QX_C = alphas_C (deltat_C \times QE_C^{rho_C} + (1 - deltat_C) \times QD_C^{rho_C})^{1/rho_C}$	۱۱
$QE_C = QD_C \left(\frac{PE_C}{PDS_C} \right) \times \left(\frac{1 - deltat_C}{deltat_C} \right)^{1/(rho_C - 1)}$	۱۲
$QQ_C = alphaq_C \times (deltaq_C \times QM_C^{-rhoq_C} + (1 - deltaq_C) \times QD_C^{-rhoq_C})^{-1/rhoq_C}$	۱۳
$QM_C = QD_C \times \left(\frac{PDD_C}{PM_C} \right) \times \left(\frac{1 - deltaq_C}{deltaq_C} \right)^{1/(rhoq_C + 1)}$	۱۴
بلوک موسسات	
$YF_F = \sum_C WF_F \times wfdist_{F.C} \times QF_{F.C}$	۱۵
$YIF_{INSDF} = shif_{INSDF} \times YF_F$	۱۶
$YI_{INSNG} = \sum_F YIF_{INSNG.F} + \sum_{INSNG} TRII_{INSNG.INSNG} + trnsfr_{INSNG.GOV} * CPI + trnsfr_{INSNG.ROW} \times EXR$	۱۷

$EH_H = \left(1 - \sum_{INS DNG} shii_{INS DNG.H}\right) \times (1 - MPS_H) \times (1 - TINS_H) \times YI_H$	۱۸
$TRII_{INS DNG.INS DNG} = shii_{INS DNG.INS DNG} \times (1 - MPS_{INS DNG}) \times (1 - TINS_{INS DNG}) \times YI_{INS DNG}$	۱۹
$PQ_C \times QH_{C.H} = PQ_C \times gammam_{C.H} + betam(C.H) \times (EH_H - \sum_C PQ_C \times gammam_{C.H})$	۲۰
$QINV_C = IADJ \times qbarinv_C$	۲۱
$QG_C = GADJ \times qbarg_C$	۲۲
$YG = \sum_F YIF_{GOV.F} + \sum_{INS D} tins_{INS DNG} \times YI_{INS DNG} + EXR \times trnsfr_{gov.ROW}$	۲۳
$EG = \sum_C PQ_C \times QG_C + \sum_{INS D} trnsfr_{INS DNG.gov}$	۲۴
بلوک قیود مدل	
$\sum_C pwm_C \times QM_C + \sum_F trnsfr_{ROW.F} + \sum_{INS D} trnsfr_{ROW.F}$	۲۵
$GS AV = YG - EG$	۲۶
$\sum_{i \in INS DNG} (MPS_i \times (1 - tins_i) \times YI_i + GS AV = \sum_C PQ_C \times QINV_C + FINV \times EXR$	۲۷
$QA_C = \sum_H QH_{H.C} + QINV_C + QG_C + \sum_C QINT_C$	۲۸
$\sum_C QF_{F.C} = QFS_F$	۲۹

متغیرها و پارامترها^۱

قیمت متوسط عامل تولید F	WF_F	قیمت کالای وارداتی	PM_C
متغیر برونزا و عامل تولید F استفاده شده در بخش C	$wf_{dist_{F.C}}$	قیمت جهانی کالای وارداتی	PWM_C
تقاضای مقداری عامل تولید F توسط بخش C	$QF_{F.C}$	نرخ ارز	EXR
درآمد موسسه داخلی از عامل F	$YIF_{INS D.F}$	قیمت کالای صادراتی	PE_C
سهم موسسه داخلی از عامل تولید	$shif_{INS D.F}$	قیمت جهانی کالای صادراتی	PWE_C

۱. متغیرها با حروف بزرگ و پارامترها با حروف کوچک نشان داده شده است.

درآمد موسسه داخلی غیردولتی	YI_{INSNG}	قیمت تقاضای کالای تولید شده و مصرف شده در داخل	PDD_C
پرداخت‌های انتقالی بین موسسه ای	$TRII_{INSNG.INSNG}$	قیمت عرضه کالای تولید شده و مصرف شده در داخل	PDS_C
پرداخت انتقالی عامل موسسه داخلی غیر دولتی به دولت	$transfr_{INSNG.GOV}$	قیمت کالای ترکیبی	PQ_C
هزینه مصرفی خانوار	EH_H	مقدار عرضه شده کالای ترکیبی	QQ_C
سهم موسسه α از درآمد موسسه β بعد از کسر پس انداز و مالیات	$shii_{INSNG.H}$	مقدار کالای وارداتی	QM_C
میل نهایی به پس‌انداز	MPS	مقدار فروش کالای داخلی	QD_C
مالیات مستقیم	$TINS$	متوسط قیمت محصول	PX_C
میزان تقاضای خانوار	QH	مقدار کالای عرضه شده در بازار	QX_C
حداقل معیشت سرانه کالای بازاری	$gamam_{C.H}$	مقدار کالای صادراتی	QE_C
سهم نهایی مصرف خانوار از کالا	$betam(C.H)$	قیمت مجموع نهاده‌های واسطه‌ای برای کالای C	$PINTA_C$
مقدار تقاضای سرمایه‌گذاری ثابت	$QINV_C$	نهاده واسطه‌ای C برای هر واحد از نهاده واسطه‌ای	$ica_{nen.c}$
پارامتر مقیاس برای سرمایه‌گذاری	$IADJ$	نرخ مالیات بر کالا	ta_c
تقاضای برونزای سرمایه‌گذاری	$qbarinv_C$	شاخص قیمت مصرف کننده	CPI
مقدار مصرف دولت	QG_C	وزن کالا در شاخص قیمت مصرف کننده	$cwts_C$
پارامتر مقیاس برای تقاضای دولت	$GADJ$	شاخص قیمت تولید کننده	DPI
تقاضای برونزای دولت	$qbar g_C$	وزن کالا در شاخص قیمت تولید کننده	$dwts_{CD}$
هزینه مصرفی دولت	EG	پارامتر تکنولوژی CET	$alphanat_C$

مقدار مصرف دولت	QG_C	پارامتر سهم تابع CET	$deltat_c$
پس انداز دولت	$GSAV$	توان تابع CET	$rhoc_c$
درآمد جاری دولت	YG	پارامتر تکنولوژی آرمینگتون	$alphaq_c$
مخارج کل جاری دولت	EG	پارامتر سهم تابع آرمینگتون	$deltaq_c$
سرمایه‌گذاری خارجی	$FINV$	توان تابع آرمینگتون	$rhoq_c$
مقدار عرضه عامل تولید	QFS_F	درآمد عامل تولید F (نیروی کار و سرمایه)	YF_F

	اندیس		اندیس
نهادهای داخلی (شرکت‌ها، خانوار و دولت)	INSD	کالا	C
نهادهای داخلی غیر دولتی	INSDNG	کالای غیر انرژی	NEN
خانوار	H	عامل تولید (نیروی کار و سرمایه)	F