



مقایسه سیاست افزایش کارایی با سیاست افزایش قیمت برق در ایران با

استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر

حمیدرضا ارباب^۱منوچهر عسگری^۲حمید آماده^۳فاطمه رفیعی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸

چکیده

یکی از هدف‌های سیاست‌گذاری در ایران، مصرف بهینه انرژی از جمله انرژی الکتریکی است که برای نیل به این هدف دو دسته سیاست افزایش کارایی و افزایش قیمت برق مطرح می‌شود. در این مقاله تلاش شده است دو سیاست فوق در غالب یک مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر با یکدیگر مقایسه شده و اثر هر سیاست بر متغیرهای کلیدی نظیر مصرف برق و انرژی، سطح فعالیت‌های تولیدی، نرخ ارز، صادرات و واردات بررسی شود. اگرچه انتظار می‌رود سیاست افزایش کارایی همانند سیاست افزایش قیمت برق سبب کاهش مصرف شود اما سیاست افزایش ده درصدی کارایی به دلیل وجود اثرات بازگشتی نه تنها سبب کاهش مصرف نشده بلکه باعث افزایش ۴/۷ درصدی مصرف برق شده این در حالی است که سیاست افزایش ده درصدی قیمت برق سبب کاهش ۰/۰۲ درصدی مصرف برق می‌شود. افزایش مصرف برق پس از افزایش کارایی این حامل به دلیل افزایش سطح فعالیت تولیدی بخش‌های اقتصاد و افزایش صادرات است. همچنین اثر این دو سیاست بر مصرف بخش‌های مختلف اقتصادی متفاوت است اما مصرف بخش‌های تولید برق، تولید فلزات اساسی و کشاورزی با اعمال هر دو سیاست، کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: مصرف برق، افزایش کارایی، اثرات بازگشتی، قیمت برق، تعادل عمومی محاسبه‌پذیر.

Keywords: Electricity Consumption, Improving Efficiency, Rebound Effect, Electricity Price, Computable General Equilibrium.

JEL Classification: Q43, Q41, D58, D21, C68.

hamidrezaarbab@gmail.com

^۱. دانشیار گروه اقتصاد بازرگانی، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

asgari99@hotmail.com

^۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

amadeh@gmail.com

^۳. دانشیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی

^۴. دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشگاه علامه طباطبایی (نویسنده مسئول)

۱- مقدمه

در میان حامل‌های انرژی، برق یکی از انواع انرژی است که با توجه به سهولت تبدیل، سهولت استفاده، کم‌خطر بودن همچنین ملاحظات زیست‌محیطی در مقایسه با سایر حامل‌های انرژی مورد توجه بوده است. در سال ۱۳۹۶، ۱۱ درصد از مصرف نهایی کل انرژی به برق اختصاص داشته است. برق که تامین‌کننده انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف اقتصادی است شاخصی برای رفاه اجتماعی نیز محسوب می‌شود؛ اما مصرف برق در سالیان اخیر به دلایلی نظیر رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، افزایش سطح زندگی و رفاه، واقعی نمودن تعرفه‌ها، تغییرات آب و هوایی و توسعه صنعتی و تجاری رشد کرده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰). حتی در برخی از سال‌ها که ایران رشد اقتصادی اندک و حتی منفی داشته است، روند صعودی مصرف برق متوقف نشده و اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها که هدف اصلی آن اصلاح ساختار مصرف بوده نیز نتوانسته روند مذکور را متوقف سازد. بنابراین در صورت عدم انجام اصلاحات ساختاری در زمینه مصرف بهینه انرژی الکتریکی، هزینه‌های اقتصادی اجتماعی گسترده‌ای بر اقتصاد ایران تحمیل خواهد شد چرا که سرعت بالای مصرف انرژی در ایران نگرانی‌های جدی در مورد توانایی کشورمان به صادرات انرژی طی دهه‌های آینده را افزایش می‌دهد (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۵). برای مثال، در سال‌های اخیر برای تامین برق مورد نیاز کشور از سیاست جایگزینی گاز طبیعی به جای سوخت مایع استفاده می‌شود و با افزایش مصرف برق، مصرف گاز نیز به عنوان خوراک تولید برق افزایش می‌یابد اما در صورت کاهش مصرف برق می‌توان گاز خوراک نیروگاه‌ها را برای صادرات استفاده کرد.

سیاست‌های کاهش مصرف برق را می‌توان به دو دسته سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی تقسیم کرد. سیاست‌های قیمتی در ایران نزدیک کردن قیمت برق به هزینه تمام شده و کاهش یارانه‌های آن است. یارانه‌های انرژی سبب انحراف قیمت‌های نسبی از مقادیر تعادلی می‌شود که این انحراف، تخصیص ناکارای منابع را به دنبال دارد. اختلال در قیمت‌ها توسعه در بخش انرژی یک کشور را کاهش می‌دهد زیرا انگیزه‌های کافی برای سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی را برای سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های به روز و افزایش کارایی انرژی کاهش می‌دهد. مصرف بیشتر از حد مطلوب ناشی از پایین بودن قیمت انرژی، سبب افزایش واردات یا کاهش صادرات انرژی یک کشور خواهد شد، در نتیجه ارزآوری یک کشور را کاهش می‌دهد. یارانه‌های انرژی موجب خواهد شد که هزینه‌های انرژی در قیمت کالاها لحاظ نشود، در نتیجه استفاده از انرژی و انتشار آلاینده‌های

ناشی از آن افزایش می‌یابد. در یک چشم‌انداز پویا، قیمت‌های کالا که در آن هزینه انرژی به درستی وجود دارد شفافیت و اطمینان لازم را در بازار ایجاد می‌کند و سرمایه‌گذار را به این بازار جذب می‌کند و به صورت ضمنی این اثرات پویا در میان‌مدت بسیار مهم‌تر خواهد بود. بنابراین یکی از مهم‌ترین سیاست‌های کاهش مصرف برق، کاهش یارانه و به عبارتی افزایش قیمت است (IEA, 1999).

از سیاست‌های غیر قیمتی کاهش مصرف برق نیز می‌توان به سیاست‌های بهبود کارایی اشاره کرد. افزایش کارایی عبارت است از افزایش خروجی مفید هر فرآیند به ازای یک واحد انرژی دریافت شده. تفکر رایج بر اقتصاد این است که بهبود کارایی انرژی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، اما هم در اقتصاد و هم در زمینه سیاست‌های انرژی بحث گسترده‌ای در مورد تاثیر واقعی چنین بهبودهایی در کارایی انرژی وجود دارد که متمرکز بر مفهوم اثر بازگشتی است که در آن، اثرات بازده انتظاری ناشی از بهبود کارایی انرژی روی شدت انرژی، در نتیجه عکس‌العمل سیستم‌های اقتصادی به کاهش در قیمت موثر (قیمت ضمنی) خدمات انرژی همزمان با بهبود کارایی انرژی کاهش می‌یابد. اثرات بازگشتی زمانی رخ می‌دهد که بهبود کارایی برق، تقاضا را برای انرژی الکتریکی بطور مستقیم یا غیر مستقیم در بخش‌های مختلف تولیدی و مصرفی افزایش دهد. اهمیت بررسی اثرات بازگشتی از آنجا ناشی می‌شود که تا حدودی منافع حاصل از بهبود کارایی مصرف انرژی کاسته شده و چه بسا اثربخشی چنین سیاست‌هایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (سورل، ۲۰۰۷)^۱. بنابراین اثر بازگشتی کاهش در مصرف برق را خنثی می‌کند و سبب می‌شود که افزایش کارایی برق نتواند به هدف غایی خود که حفاظت از محیط زیست همگام با افزایش رشد اقتصادی است برسد. از جمله اقدامات انجام شده برای افزایش کارایی به ویژه برای برق، می‌توان به پروژه‌های بهره‌برداری رسیده سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) در سال ۱۳۹۶ با عنوان طرح پایلوت جایگزینی یخچال فرسوده با محصولات با رتبه انرژی A و بالاتر و طرح افزایش کارایی و بهینه‌سازی واحدهای نیروگاهی و بهینه‌سازی شبکه توزیع برق اشاره کرد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶). در این مقاله تلاش شده است اثرات سیاست افزایش کارایی بر مصرف انرژی محاسبه شود.

این مطالعه در نه بخش ارائه می‌گردد. در ادامه و در بخش دوم به ادبیات موضوع و کارهای تجربی انجام شده اشاره خواهد شد. بخش سوم به مبانی نظری می‌پردازد. در بخش چهارم روند

^۱. Sorell (2007)

مصرف برق در ایران بررسی شده، بخش پنجم ساختار مدل تعادل عمومی و بخش ششم داده‌ها و کالیبراسیون مدل است. در بخش هفتم، نتایج مدل و در بخش هشتم تحلیل حساسیت نتایج آورده شده است و بالاخره در بخش پایانی به نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی بر اساس نتایج مدل پرداخته می‌شود.

۲- مطالعات پیشین

۲-۱- مطالعات خارجی

مقاله آلن و همکاران (۲۰۰۷)^۱ نشان داد بهبود پنج درصدی کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی در انگلستان اثرات بازگشتی ۳۰ تا ۵۰ درصدی را به دنبال دارد و لذا اثر افزایش کارایی بر مصرف انرژی محدود خواهد شد. در مطالعه گرپرود و راسموسن (۲۰۰۴)^۲ افزایش دو برابری نرخ رشد بهره‌وری انرژی در نروژ سبب اثرات بازگشتی کم برای نفت و بالای ۱۰۰ درصد برای برق شد و لذا سیاست افزایش کارایی نتوانست سبب کاهش مصرف برق شود.

لوینسن (۲۰۱۹)^۳ در مقاله خود با استفاده از یک مدل ساده ایستا با دو کالا و یک خانوار نوعی 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.

لین و ژیا (۲۰۱۹)^۴ 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.

گونزالس (۲۰۱۹)^۵ با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویا اثر مالیات بر انرژی را بر اثرات بازگشتی در اسپانیا بررسی کرده و دریافته است در صورت افزایش ۵ درصد کارایی انرژی به دلیل وجود اثرات بازگشتی کاهش مصرف انرژی به میزان ۵ درصد محقق نخواهد شد و لذا

1. Allan et al (2007)

2. Grepperud & Rasmussen (2004)

3. Levinson (2019)

4. Lin & Jia (2019)

5. González (2019)

نرخ مالیات ۳/۷۶ درصدی سبب مقابله با اثرات بازگشتی ۸۲/۸۲ درصدی اقتصاد اسپانیا می‌شود. همچنین سیاست اعمال مالیات سبب خواهد شد منافع اقتصادی افزایش کارایی باقی بماند.

۲-۲- مطالعات داخلی

منظور و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر مبتنی بر ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۰ اثرات بازگشتی افزایش کارایی در 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 مد نظر قرار دهند.

خیابانی (۱۳۹۵) بر اساس یک الگوی تعادل عمومی پویا سیاست حذف یارانه‌های انرژی و بهبود تکنولوژی در ایران را با استفاده از الگوی ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۰ مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه چهار سناریو در قالب سناریو پایه، حذف یک باره یارانه‌ها، حذف تدریجی یارانه‌ها، حذف تدریجی یارانه‌ها به همراه تکانه مثبت تکنولوژی مقایسه شده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که سیاست حذف یارانه‌های انرژی بدون فراهم آوردن بستر مناسب برای ورود تکنولوژی نوین غربی و بدون توجه به توانایی بنگاه‌های تولیدی در جایگزینی عوامل تولید و خارج کردن تکنولوژی فرسوده اقتصاد را وارد رکود تورمی می‌کند اما اگر حامل‌های انرژی به تدریج حذف شود، مکملی برای تکانه فوق محسوب شده و شدت انرژی در طول زمان کاهش خواهد یافت.

خوش کلام (۱۳۹۷) با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر سیاست افزایش کارایی بنزین را بررسی کرده است 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 الکتریسیته در مورد حامل‌های انرژی دیگر اثرات معکوس مشاهده شده است و بنابراین سیاست افزایش کارایی به هدف مطلوب خود که کاهش مصرف انرژی است نخواهد رسید.

مطالعات انجام شده در داخل به مقایسه دو راهبرد اصلی کاهش مصرف برق که شامل سیاست افزایش کارایی با لحاظ نمودن اثرات بازگشتی و سیاست افزایش قیمت برق در قالب الگوی تعادل عمومی است، نپرداخته‌اند. مقاله حاضر برای اولین بار سعی خواهد کرد با استفاده از یک الگوی تعادلی این دو سیاست مهم را با هم مقایسه کند.

جدول ۱ دو دسته از مطالعات انجام شده در ایران برای به دست آوردن اثر تغییر قیمت برق بر مصرف و همچنین محاسبه اثر بازگشتی ناشی از افزایش کارایی در برق را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خلاصه‌ای از نتایج مطالعات مشابه در ایران

نتیجه	دهه	روش برآورد	محقق
خلاصه‌ای از نتایج مطالعات محاسبه اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی برق			
اثر بازگشتی میان صنایع مختلف بین ۵۸ تا ۷۱ درصد	۱۳۹۰	CGE پویای بین زمانی	سلیمیان و همکاران (۱۳۹۵)
اثر بازگشتی مستقیم خانوار شهری ۸۱ درصد	۹۴-۱۳۸۵	معادلات تقاضای تقریباً ایده‌آل	سالم و تفتی (۱۳۹۶)
اثر بازگشتی مستقیم برق برای تولید ناخالص داخلی ۱۸۲۹۰ میلیارد ریال ۶۸ درصد و برای بیشتر ۷۶ درصد	۹۵-۱۳۵۷	سری زمانی آستانه‌ای	خوشکلام و مهدوی (۱۳۹۷)
خلاصه‌ای از نتایج مطالعات محاسبه کسش قیمتی تقاضای برق			
کسش قیمتی صنایع مختلف از ۰/۶- درصد تا ۱/۲- درصد	۱۳۸۰	CGE	طاهری فرد (۱۳۹۱)
کسش کوتاه‌مدت تقاضای خانگی، ۰/۱۶- و کسش بلندمدت ۰/۹۴-	۸۸-۱۳۸۱	داده‌های تابلویی استانی	جلایی و همکاران (۱۳۹۲)
کسش کوتاه‌مدت تقاضای صنعت ۰/۱- و در بلندمدت ۰/۳۱۸-	۹۱-۱۳۵۳	سری زمانی ساختاری	محمدی و همکاران (۱۳۹۳)
کسش صنعت ۰/۳-، کسش خانگی ۰/۱۴- و کسش کشاورزی ۰/۱۸-	۹۲-۱۳۵۵	OLS	قره‌باغی و امامی (۱۳۹۶)

منبع: یافته‌های پژوهش

۳- مبانی نظری

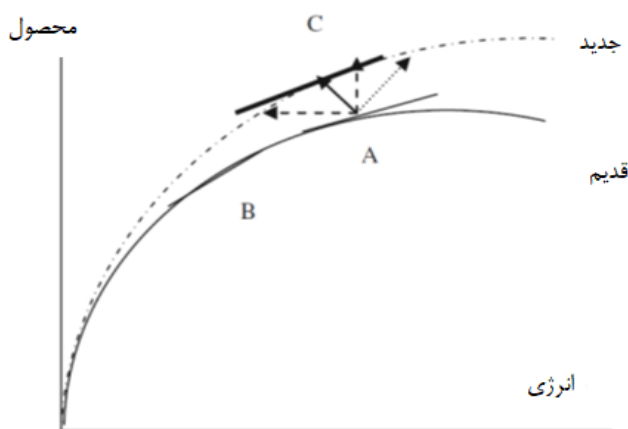
ساندرز^۱ بر اساس مطالعه هوگان و مانه^۲ یک چهارچوب ساده برای بررسی اثرات سیاست افزایش کارایی دارد. فرض کنید یک اقتصاد محصول Y را با استفاده از انرژی E و دیگر نهاده‌های R بر اساس تابع (۱) تولید می‌کند:

$$Y=f(E,R) \quad (1)$$

1. Saunders (2009)

2. Hogan and Manne (1977)

که این تابع تولید همان ویژگی‌های معمول توابع تولید را دارد. فرض کنید R ثابت است و اثر تغییر در نهاده انرژی بر تابع تولید را می‌توان بر اساس نمودار ۱ نشان داد که در آن هر نقطه از تولید اقتصاد متناظر با یک سطح از مصرف انرژی است. شیب منحنی در هر نقطه نیز بهره‌وری نهایی انرژی به ازای هر واحد از تولید را در بازار رقابت کامل نشان می‌دهد که باید با قیمت انرژی برابر باشد. هر حرکت به سمت چپ در این منحنی نظیر حرکت از B به A نشان دهنده افزایش قیمت انرژی و بنابراین کاهش مصرف انرژی و کاهش تولید است. اما کاهش در تولید به صورت یک به یک یا متناسب با نهاده انرژی نخواهد بود.



منبع: ساندرز (۲۰۰۹)

نمودار ۱: سیاست افزایش قیمت در مقایسه با سیاست افزایش کارایی

مرز امکانات تولید با تغییر در کارایی انرژی تغییر خواهد کرد. بنابراین تولید بیشتر می‌تواند با همان سطح از انرژی محقق شود که به وسیله نمودار خط چین نمایش داده شده است. در نقطه C شیب منحنی جدید برابر با شیب منحنی پایین در نقطه A است بنابراین قیمت انرژی در هر دو حالت برابر است و می‌توان نتیجه گرفت با سیاست افزایش کارایی می‌توان به تولید بالاتر دست یافت و مصرف انرژی کاهش، افزایش یا ثابت بماند که تغییرات مصرف انرژی در سیاست افزایش کارایی انرژی و یا سیاست افزایش قیمت انرژی به شرایط خاص هر اقتصادی وابسته است.

بهبود کارایی انرژی معمولاً به همان نسبتی که روابط فنی نشان می‌دهد موجب کاهش مصرف انرژی نمی‌شود زیرا ارتقاء کارایی، استفاده از خدمات انرژی را ارزان‌تر کرده و لذا مصرف این

خدمات افزایش خواهد یافت. برای مثال زمانی که کارخانه از انرژی به صورت کاراتری استفاده می‌کند برای کارخانه سودآور خواهد بود تا سرمایه‌گذاری خود را افزایش داده و سطح بیشتری از محصول را تولید کند، افزایش تولید سطح محصول باعث افزایش مصرف انرژی خواهد شد. بنابراین بخشی از کاهش مصرف انرژی به دلیل بهبود کارایی خنثی خواهد شد. به این میزان افزایش مصرف انرژی در نتیجه بهبود کارایی اثرات بازگشتی می‌گویند (سورل و دیمتروپولوس، ۲۰۰۵)^۱. به عبارت دیگر اثرات بازگشتی بیان‌گر حالتی است که در آن بهبود کارایی انرژی، مصرف بیشتر آن انرژی را موجب شده و بخشی از کاهش مورد انتظار اولیه در مصرف را خنثی می‌کند (منظور و همکاران، ۱۳۸۹).

در ادامه اثرات گسترده اقتصاد ناشی از بهبود کارایی انرژی در چهارچوب تعادل عمومی به لحاظ نظری مورد بحث قرار می‌گیرد. برای بیان چگونگی انتقال شوک ناشی از بهبود کارایی مصرف انرژی بر ساختار اقتصاد، در ابتدا بایستی بین انرژی اندازه‌گیری شده با واحدهای عادی (E) و انرژی اندازه‌گیری شده با واحدهای کارایی^۳ تفاوت قائل شد. اندازه‌گیری با واحدهای عادی می‌تواند شامل کیلووات بر ساعت، BTU و غیره باشد در حالی که انرژی در واحد کارایی^۴ عبارت است از مقدار خدمت موثر ارائه شده توسط انرژی^۵. اگر پیشرفت فنی انرژی افزایش با نرخ ρ صورت گیرد، آن‌گاه رابطه بین درصد تغییر در مصرف فیزیکی انرژی \dot{E} و درصد تغییر در مصرف انرژی در واحدهای کارایی \dot{E}^* برابر خواهد بود با:

$$\dot{E}^* = \dot{E} + \rho \quad (2)$$

معادله (۲) نشان‌دهنده این است که درصد مشخصی افزایش کارایی انرژی همراه با $\dot{E} = 0$ باعث افزایش با همان درصد مشخص در مصرف انرژی با واحدهای کارایی خواهد شد. یا به عبارت دیگر درصد مشخصی افزایش در کارایی انرژی معادل افزایش با همان درصد مشخص در نهاده

1. Sorrell & Dimitropoulos (2005)

2. Energy Measured in Natural Units

3. Energy Measured in Efficiency Units

۴. انرژی در واحد کارایی بسیار شبیه به مفهوم کار موثری است که انرژی می‌تواند تحویل دهد (این مفهوم در ادبیات انرژی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد).

5. Measured of the Effective Energy Service Delivered

6. Energy-augmenting Technical Progress

فیزیکی انرژی بدون بهبود کارایی است. بحث اصلی در تحلیل اثرات بازگشتی عبارت از این واقعیت است که هر تغییری در کارایی انرژی دارای اثر متناظری بر قیمت انرژی (هنگامی که انرژی با واحدهای کارایی اندازه گیری می شود) است. لذا به طور صریح داریم:

$$\dot{P}_\varepsilon = \dot{P}_E - \rho \quad (۳)$$

که در آن P_ε قیمت انرژی در واحد کارایی و P_E قیمت انرژی در واحد عادی است. بدیهی است که طبق رابطه (۳) هر افزایش مشخصی در کارایی انرژی با فرض ثابت بودن قیمت انرژی در واحدهای عادی باعث کاهش قیمت انرژی در واحدهای کارایی با همان درصد مشخص می شود. و این کاهش قیمت باعث افزایش تقاضا در واحدهای کارایی انرژی می شود. در یک بافت تعادل عمومی داریم:

$$\varepsilon = -\eta \dot{P}_E \quad (۴)$$

که در آن η کشش قیمتی تعادل عمومی تقاضای انرژی بوده و عددی مثبت است. با در نظر گرفتن عایدی ناشی از بهبود کارایی انرژی که شامل همه مصارف انرژی در کل اقتصاد می شود، تغییرات در تقاضای انرژی با واحدهای عادی را می توان با جای گذاری (۳) و (۴) در رابطه (۲) و با فرض $\dot{P}_E = 0$ به صورت رابطه ۵ به دست آورد:

$$\dot{E} = (\eta - 1)\rho \quad (۵)$$

برای هر افزایشی به مقدار ρ در کارایی انرژی که شامل همه مصارف انرژی می شود، مقدار درصدی اثرات بازگشتی به صورت رابطه ۶ تعریف می گردد:

$$R = \left[1 + \frac{\dot{E}}{\rho} \right] * 100 \quad (۶)$$

چنانچه اثرات بازگشتی را، درصد شکست در کاهش دادن تقاضای انرژی در نتیجه بهبود کارایی بدانیم، می توان چهار تحلیل زیر را از مقادیر مختلف اثرات بازگشتی داشت:

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

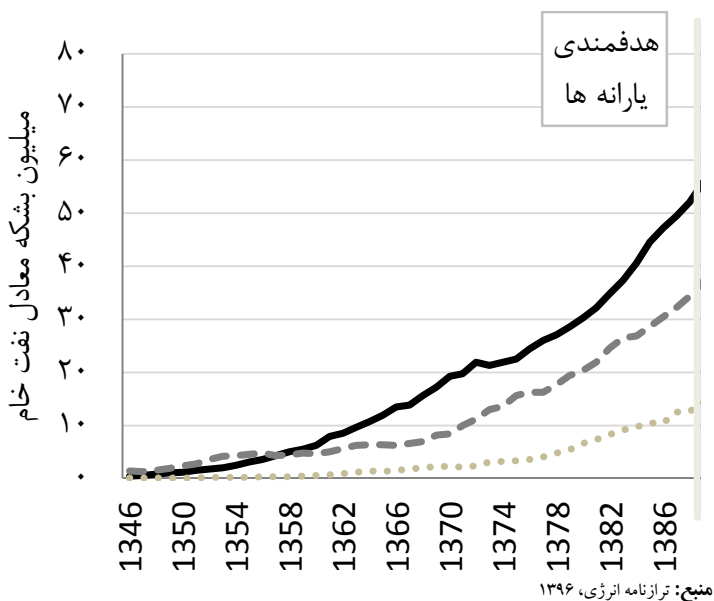
ب) اگر $R>0$ باشد به این معنی است که بهبود کارایی انرژی باعث کاهش ناقص مصرف انرژی شده است.

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 که اصطلاحاً این حالت را اثر معکوس می‌نامند.

۴- بررسی روند مصرف برق در ایران

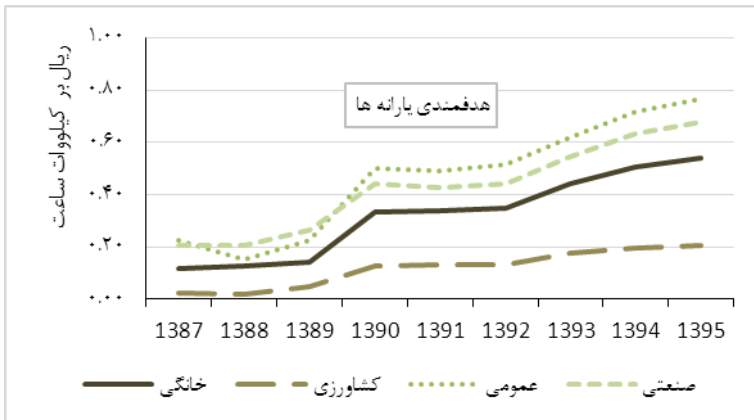
مصرف برق همیشه در ایران روند صعودی داشته است که با رشد جمعیت و رشد اقتصادی سال‌های گذشته قابل توجه است. نمودار ۲ روند مصرف برق را برای بخش‌های مختلف اقتصادی از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. مصرف برق در بخش خانگی کاهش یافت و از رشد مصرف صنعتی کاسته شد اما بخش کشاورزی نه تنها کاهش رشد نداشت بلکه با سرعت بیش از گذشته رشد کرد. دلیل اصلی رشد مصرف برق کشاورزی جایگزینی برق به جای گازوئیل در چاه‌های کشاورزی بود. پس از هدفمندی یارانه‌ها بار دیگر مصرف برق در تمامی بخش‌ها افزایش یافت. لذا اتخاذ سیاست مناسب برای کاهش مصرف برق بار دیگر ضروری است.



نمودار ۲: روند مصرف برق به تفکیک بخش‌های اقتصادی

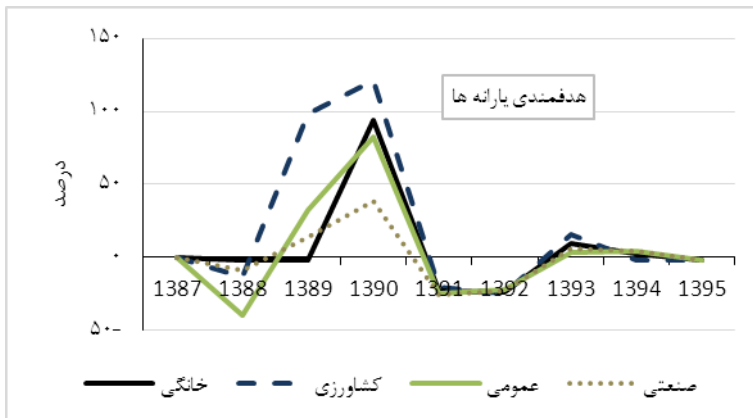
نمودار ۳ روند قیمت برق را از سال ۱۳۸۷ نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن تورم، بهای واقعی برق در سال ۱۳۸۸ منفی شد که عامل اساسی در راستای مصرف بالای برق و عدم انگیزه برای کاهش مصرف برق توسط آحاد مختلف اقتصاد بود. از سال ۱۳۹۰ که هدفمندی یارانه‌ها اجرایی شد بهای واقعی برق به طور متوسط ۶۱ درصد افزایش یافت که سبب افت ۰٫۱۵ درصدی مصرف برق متوسط شد. اما بهای برق به دلیل تورم در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ با رشد منفی مواجه شد و در سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ بهای برق مصرفی تقریباً با ثبات بود که بسیار پایین‌تر از متوسط بهای جهانی برق است. تا جایی که در ماه ژوئن ۲۰۱۹ قیمت برق در ایران تنها ۰٫۰۱ دلار به ازای هر کیلووات ساعت بوده این در حالی است که در افغانستان و ترکیه قیمت برق به ترتیب ۰٫۰۵ و ۰٫۰۹ دلار همچنین متوسط بهای جهانی برق ۰٫۱۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است (نمودار ۵) و بر اساس محاسبات موسسه گلوبال پترول پرایس^۱ پایین‌ترین قیمت در میان بیش از ۱۲۰ کشور جهان است.

^۱. Global Petrol Price



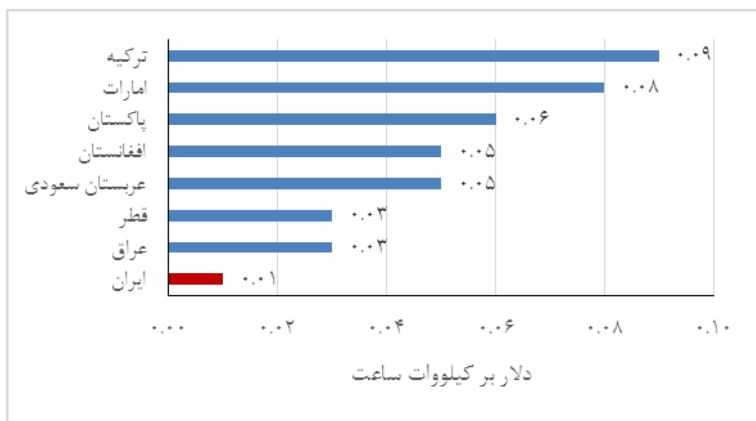
منبع: ترازنامه هیدروکربوری، ۱۳۹۵

نمودار ۳: روند بهای مصرفی برق به تفکیک بخش



منبع: ترازنامه هیدروکربوری، ۱۳۹۵

نمودار ۴: رشد واقعی قیمت برق به تفکیک بخش

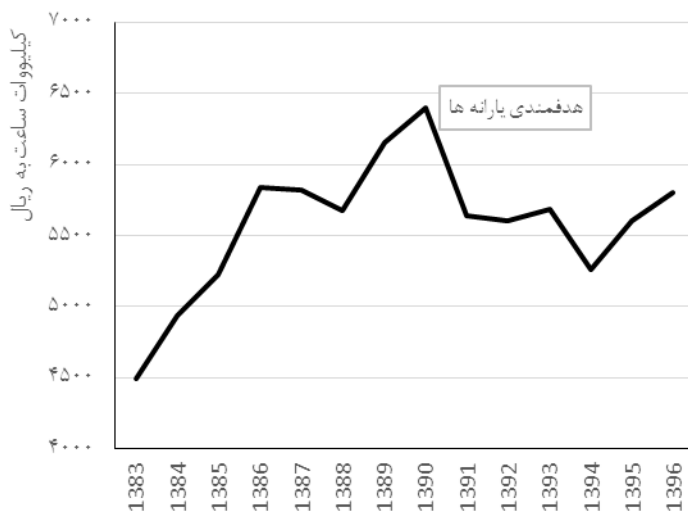


منبع: سایت گلوبال پترول پترایس، ۲۰۲۰

نمودار ۵: مقایسه قیمت برق ایران با کشورهای همسایه

بر اساس برآورد بانک جهانی، مصرف سرانه برق ایران در سال ۲۰۱۴، ۳۰۲۲ کیلووات ساعت بوده است، این در حالی است که برای کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا (به جز کشورهای با درآمد بسیار بالا)، ۱۷۰۲ کیلووات ساعت و برای ترکیه ۲۸۴۷ کیلووات ساعت بوده است. البته متوسط مصرف برق سرانه جهان ۳۱۳۲ کیلووات ساعت است. اگرچه در نگاه اول به نظر می‌رسد که مصرف سرانه برق در ایران چندان هم بالا نیست و از متوسط جهانی نیز پایین تر است اما بخش خانگی برای تامین مصرف انرژی خود علاوه بر برق از گاز طبیعی نیز استفاده می‌کند بنابراین با در نظر گرفتن این ملاحظه مصرف برق سرانه در ایران به نسبت کشورهای دیگر مشابه بالا است.

شدت مصرف برق که بر اساس (میزان مصرف برق به ازای تولید ناخالص داخلی) به دست می‌آید، می‌تواند شاخصی برای نشان دادن پیشرفت کارایی باشد 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 بر عکس. نمودار ۶ شدت مصرف برق را نشان می‌دهد، شدت مصرف برق از تقسیم مصرف برق به ازای تولید ناخالص داخلی به قیمت پایه سال ۱۳۹۰ به دست آمده است. بر اساس 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 با کاهش قیمت نسبی برق، بار دیگر شدت مصرف برق روند فزاینده به خود می‌گیرد.



منبع: بانک مرکزی جمهوری اسلامی

نمودار ۶: شدت مصرف برق (نماینده‌ای از معکوس کارایی)

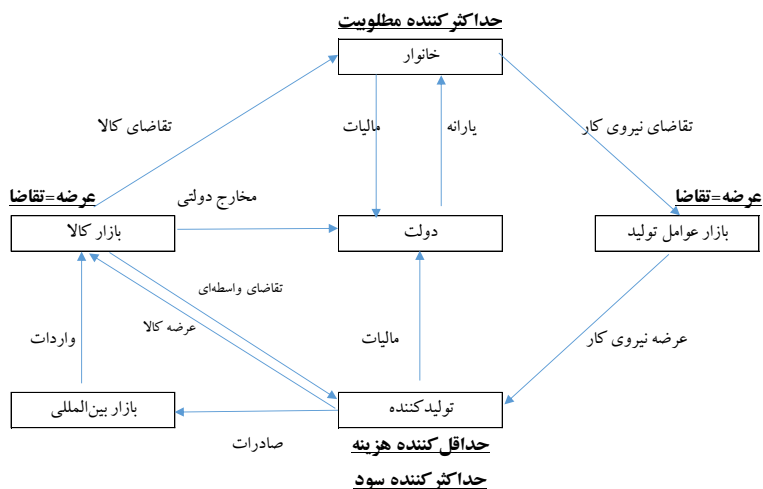
۵- ساختار مدل تعادل عمومی

مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر CGE به لحاظ ساختار تئوری و مدل‌سازی برای ارزیابی سیاست‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب است (بوهینگر و رادرفورد، ۱۹۹۶)^۱. از یک طرف مدل CGE رفتارهای مصرف‌کننده و تولیدکننده و تعادل بازار را در نظر می‌گیرد. از طرف دیگر، CGE با استفاده از شبیه‌سازی روشی مناسب برای حل تحلیلی بسیار پیچیده است. چون CGE می‌تواند یک اقتصاد را شبیه‌سازی کند برای تخمین اندازه اثرات یک شوک برون‌زا مناسب است و به همین دلیل است که برای بررسی سیاست کارایی و افزایش قیمت انرژی در سطح ملی استفاده گسترده دارد.

نمودار ۷ رابطه بین کارگزاران را 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 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

^۱. Böhringer & Rutherford (1996)

می‌دهند. دولت خود تقاضاکننده کالا و توزیع‌کننده 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.



منبع: لافگرین و همکاران

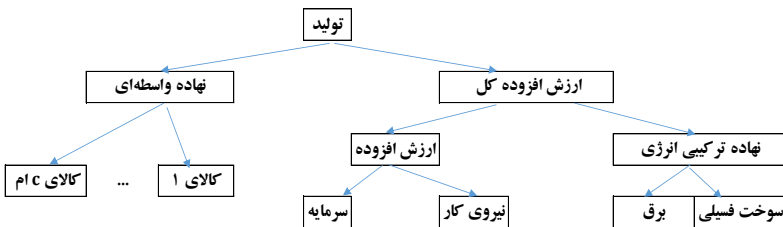
نمودار ۷: تعامل بین کارگزاران در مدل CGE

برای محاسبه اثر سیاست افزایش قیمت و افزایش کارایی، ساختار لایه‌ای تولید بر مبنای مطالعه خیابانی (۱۳۸۷) شکل داده شده است به طوری که بخش‌های تولیدکننده انرژی از سایر بخش‌های غیر انرژی تفکیک می‌گردد. هر بخش می‌تواند تولیدکننده چند محصول بوده و از سوی دیگر تولید هر کالا توسط یک بخش می‌تواند به عنوان عامل واسطه‌ای توسط بخش‌های دیگر و یا به عنوان مصرف نهایی توسط نهادهای خانوار، دولت و غیره استفاده گردد. نمودار ۸ ساختار الگوی تولیدی را به نمایش می‌گذارد. بر اساس نمودار ۸ تولید بر اساس ساختار سه مرحله‌ای مشخص می‌شود. به طوری که تولید بر اساس ترکیب نهادهای واسطه‌ای و نهادهای اولیه بدست می‌آید. نهادهای اولیه خود شامل دو زیر گروه می‌گردد. گروه اول شامل نهادهای نیروی کار و سرمایه و گروه دوم شامل نهادهای انرژی است. طبق نظریات ساتو^۱ (۱۹۶۷) عامل تولید جدا شده، بایستی دارای کشش جانشینی کمتری نسبت به دو عامل دیگر باشد (که فرض اساسی تابع تولید می‌باشد).

^۱ Sato, 1967

با این فرض ساتو نهاده‌های سرمایه و نیروی کار را با هم و مواد اولیه را به صورت جداگانه در تابع CES تعمیم یافته در نظر می‌گیرد. بر این اساس در این قسمت به منظور بیان ریاضی با توجه به مطالعات قبلی عوامل L (نهاده نیروی کار) و k (نهاده سرمایه) با هم و عامل E (نهاده انرژی) به صورت جداگانه مد نظر قرار می‌گیرد.

کل فعالیت‌های تولیدی برای اقتصاد n کالا تولید می‌نمایند و این n کالا صرف مصرف داخلی شده و یا صرف صادرات به خارج می‌گردد. از سوی دیگر از طرف عرضه میزان مصرف داخلی توسط تولید داخل و توسط واردات تأمین می‌گردد.



منبع: یافته‌های محقق

نمودار ۸: ساختار تولید الگو

بلوک تولیدی در نظر گرفته شده در الگو، معروف به تولید با ساختار سه مرحله‌ای است که در سطح اول، تولید کل QX_c برای هر بخش c است که به صورت تابعی لئونتیف از کل نهاده‌های واسطه‌ای $QINTA_i$ و ترکیب ارزش افزوده کل (شامل انرژی) $QKLE_c$ است و خواهیم داشت:

$$QINTA_c = inta_c \times QX_c \quad (7)$$

که در آن $inta_c$ هزینه واسطه در ازای یک واحد از ستانده است. همچنین برای ترکیب کل ارزش افزوده و انرژی تابع تولید (۸) در نظر گرفته می‌شود:

$$QKLE_c = ikle_c \times QX_c \quad (8)$$

$ikle_c$ ترکیب تولید ارزش افزوده- انرژی در ازای یک واحد از ستانده کل است. سطح دوم تولید الگو کردن رفتار کل نهاده‌های واسطه‌ای همچنین کل نهاده‌های ارزش افزوده می‌باشد. برای نهاده‌های واسطه‌ای $QINT_c$ فرض می‌گردد که نهاده‌های واسطه‌ای از تابع لئونتیف

تبعیت می‌کند. ارزش افزوده کل - انرژی $QKLE_C$ با فرض جایگزینی ناقص بین نهاده‌های اولیه (نیروی کار و سرمایه) و نهاده انرژی در فرم تبعی CES تابعی از کل ارزش افزوده نهاده‌های اولیه QVA_C و کل نهاده‌های انرژی QEN_C می‌گردد.

برای حداکثرسازی سود از نسبت ثابت نهاده‌ها استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial QKLE_C / \partial QEN_C}{\partial QKLE_C / \partial QVA_C} = \frac{PEN_C}{PVA_C} \quad (9)$$

و یا

$$\frac{QEN_C}{QVA_C} = \left[\frac{\text{deltakle}_C}{1 - \text{deltakle}_C} \times \frac{PVA_C}{PEN_C} \right]^{\frac{1}{1 + \text{rhokle}_C}} \quad (10)$$

که در آن PVA_C و PEN_C به ترتیب قیمت ارزش افزوده و قیمت نهاده‌های انرژی مربوط به بخش C می‌باشد. deltakle_C و rhokle_C به ترتیب توان تابع CES و پارامتر سهم است. شایان ذکر است که رابطه (۱۱) تحت عنوان شرط نسبت بهینه نهاده‌ها بر اساس تبعیت تابع CES از تئوری استفاده کامل از نهاده‌ها نشأت می‌گیرد و همچنین از آنجا که رفتار تابع CES از تئوری اولر پیروی می‌نماید، قیمت نهاده، شرط جمع‌پذیر بودن زیر را تأمین می‌نماید:

$$PKLE_C \times QKLE_C = PVA_C \times QVA_C + PEN_C \times QEN_C \quad (11)$$

که در آن $PKLE_C$ قیمت ارزش افزوده کل (شامل انرژی) می‌باشد. ارزش افزوده به صورت تابعی از نوع CES از عوامل تولید نیروی کار و سرمایه در نظر گرفته شده است که در این صورت:

$$QVA_C = \alpha VA_C \times \left(\sum_F \text{delta}VA_C \times QF_{F,C}^{\text{rhovac}_C} \right)^{-1/\text{rhovac}_C} \quad (12)$$

که در آن $deltaVA_C$ سهم هر یک از عوامل تولید، $QF_{F.C}$ عوامل تولید (نیروی کار و سرمایه) به ازای هر فعالیت و $rhova_C$ توان تابع CES است. $alphaVA_C$ پارامتر تکنولوژی تابع ارزش افزوده است.

تابع تولید انرژی نیز QEN_C یک تابع CES از سوخت فسیلی و الکتریسیته ($QEN_{EN.C}$) به ازای هر فعالیت در نظر گرفته می‌شود.

$$QEN_C = alphaEN_C \times \left(\sum_{EN} deltaEN_C \times \left(\frac{1}{\eta_{EN.C}} \times QN_{EN.C} \right)^{-rhoEN_C} \right)^{-1/rhoEN_C} \quad (13)$$

که در آن $deltaEN_C$ سهم هر یک از انواع انرژی است، و $rhoEN_C$ توان تابع CES و $\eta_{EN.C}$ کارایی هر یک از انواع انرژی به ازای هر فعالیت است. $alphaEN_C$ پارامتر تکنولوژی تابع کالای مرکب انرژی است.

بر اساس شرط نسبت بهینه نهاده (شرط مرتبه اول) و پیروی تابع CES از قضیه اولر، تقاضا و قیمت مشخص می‌شود:

$$QN_{EN.C} = QEN_C \left[\frac{PN_{EN.C}}{PEN_C} \times \frac{(alphaEN_C)^{rhoEN_C}}{deltaEN_{EN.C}} \times \left(\frac{1}{\eta_{EN.C}} \right)^{rhoEN_C} \right]^{\frac{-1}{1+rhoEN_C}} \quad (14)$$

معادله بالا تقاضای حامل انرژی (سوخت فسیلی و برق) است. در این رابطه تقاضای حامل انرژی EN در فعالیت C تابعی از نهاده ترکیبی انرژی کل، قیمت حامل انرژی EN در فعالیت C ام، قیمت نهاده ترکیبی انرژی کل و کارایی حامل انرژی EN در فعالیت C است. تغییر در قیمت حامل انرژی از طریق اثرگذاری بر تقاضای حامل‌های انرژی و قیمت نهاده انرژی کل می‌تواند بر بخش‌های تولیدی دیگر نیز تاثیرگذار باشد. با افزایش قیمت حامل انرژی EN در فعالیت C قیمت نهاده انرژی کل افزایش یافته و از کانال نهاده ارزش افزوده کل (شامل انرژی) هزینه‌های تولید را بالا می‌برد و به تبع آن قیمت ستانده کل افزایش خواهد یافت. تولیدکننده برای حداکثرسازی سود چند راهکار دارد. اول، استفاده از تکنولوژی‌های کمتر انرژی‌بر و دوم، استفاده از همان تکنولوژی‌های قبلی اما کاهش مصرف حامل‌های انرژی. خانوارها نیز برای حداکثرسازی مطلوبیت که مقید به درآمد آن‌ها است، سطح مصرف حامل‌های انرژی را کاهش می‌دهند.

انتظار می‌رود سیاست افزایش کارایی سبب کاهش مصرف انرژی شود اما به دلیل وجود اثرات بازگشتی ممکن است مصرف انرژی به اندازه مورد انتظار کاهش نیافته و در برخی موارد حتی افزایش یابد. برای محاسبه میزان اثرات بازگشتی از معادله زیر استفاده می‌شود (کسلر و همکاران، ۲۰۱۶):

$$R_c = \left[1 + \frac{QEN_c}{Y} \right] \times 100 \quad (15)$$

علاوه بر بلوک تولید که تا به این جا ارائه شد در مدل تعادل عمومی محاسبه پذیر، ۴ بلوک تجارت خارجی، نهادها (خانوارها، شرکت، دولت)، سرمایه‌گذاری و قیود نیز وجود دارد. معادلات مربوط به چهار بلوک دیگر بر اساس لافگرین و همکاران، (۲۰۰۱)^۱ تصریح گردیده است که در ضمیمه ارائه شده است.

۶- داده‌ها و کالیبراسیون

برای کالیبراسیون الگو به مجموعه‌ای از اطلاعات و پارامترهای توابع تولید و مصرف نیاز است که برای نیل به این هدف از پایگاه اطلاعاتی ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس استفاده شده است. در این ماتریس، ۷۱ فعالیت وجود دارد که بعد از تجمیع محصولات/ رشته فعالیت‌ها، بخش تولید به ۱۱ زیر بخش اصلی کشاورزی، برق، سوخت فسیلی، تولید منسوجات، تولید مواد و محصولات شیمیایی، سایر محصولات کانی غیر فلزی، تولید فلزات اساسی، تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری، سایر صنایع، حمل و نقل و سایر خدمات تقسیم می‌شود. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در مدل تعادل عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد، کشش‌های جانشینی است. برای انتخاب کشش‌ها در این مطالعه، کلیه معادلات تعادل عمومی مورد بررسی قرار گرفته و از مطالعات منظور (۱۳۸۹)، خوشکلام (۱۳۹۳)، خیابانی (۱۳۹۲) و مهدوی (۱۳۹۳) استفاده شده است. دلیل انتخاب مقالات ذکر شده، شباهت ساختار لایه‌ای تولید مقاله حاضر با مقالات مذکور است و به طور متوسط کشش جانشینی بین نهاده‌های نیروی کار و سرمایه با انرژی ۰٫۳ و کشش جانشینی بین نهاده‌های انرژی ۰٫۶، همچنین کشش جانشینی بین نیروی کار با سرمایه ۰٫۸ در نظر گرفته شده است.

1. Koesler (2016)

2. Lofgren (2001)

۷- نتایج مدل

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 مطالعه، ابتدا تاثیر افزایش قیمت برق در بازه ۱۰ تا ۴۰ درصد بررسی می‌شود و سپس تاثیر دو سیاست افزایش ده درصدی کارایی سوخت فسیلی و سیاست افزایش ده درصدی قیمت سوخت فسیلی با هم مقایسه می‌شود.

جدول ۲: مقایسه اثرات سیاست افزایش قیمت برق

۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	
-۸/۹۴	-۸/۵۸	-۴/۹۸	-۰/۱۹	-۰/۳۰	-۳/۱۷	-۰/۰۲	تغییر در مصرف برق
-۹/۶۵	-۸/۸۴	-۷/۳۶	-۷/۰۸	-۸/۹۱	-۵/۱۷	-۴/۹۱	تغییر در مصرف کالای ترکیبی انرژی*
-۱/۲۷	-۱/۱۳	-۰/۸۹	-۰/۸۵	-۰/۰۹	-۰/۶۳	-۰/۵۴	تغییر در سطح فعالیت تمام بخش‌ها
-۱/۴۱	-۱/۱۴	-۱/۱۲	-۰/۵۶	-۰/۴۷	-۰/۴۲	-۰/۷۴	تغییر صادرات
-۱/۹۰	-۱/۵۵	-۱/۶۴	-۱/۱۶	-۲/۱	-۱/۱۰	-۱/۰۰	تغییر واردات
-۳/۵۲	-۲/۳۱	-۲/۲۱	-۲/۲۹	-۳/۲۰	-۱/۷۱	-۱/۴۶	تغییر در نرخ ارز

* کالای ترکیبی انرژی بر اساس معادله ۱۲ محاسبه می‌شود.

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که از جدول ۲ می‌توان دریافت، با اعمال سیاست افزایش قیمت، مصرف برق کاهش می‌یابد البته درصد کاهش مصرف حامل‌های انرژی بسیار پایین‌تر از درصد افزایش قیمت است. همچنین همانند مطالعه هوشمند و همکاران (۱۳۹۱) رشد درصد تغییر تقاضای برق با افزایش بیشتر قیمت برق، کاهش می‌یابد. همچنین سطح فعالیت تمام بخش‌های اقتصادی با افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصدی قیمت، از ۰/۵۴ درصد تا ۱/۲۷ درصد کاهش یافته است. با اعمال سیاست افزایش قیمت، نرخ ارز کاهش یافته که عاملی در جهت کاهش واردات اقتصاد می‌شود. این در حالی است که نرخ ارز سبب ترغیب صادرات نشده و کاهش صادرات کالاها و خدمات با افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصدی قیمت برق از ۰/۷۴ تا ۱/۴۱ درصد است. جدول ۳ سیاست افزایش کارایی را با سیاست افزایش قیمت برق مقایسه می‌کند.

جدول ۳: مقایسه اثرات سیاست افزایش ۱۰ درصدی کارایی با سیاست افزایش ۱۰ درصدی قیمت برق

سناریو افزایش قیمت	سناریو افزایش کارایی	
-۰/۰۲	۴/۱۷	تغییر در مصرف برق
-۴/۹۱	۱/۲۰	تغییر در مصرف کالای ترکیبی انرژی
-۰/۵۴	۰/۰۴	تغییر در سطح فعالیت تمام بخش‌ها
-۰/۷۴	۰/۳۰	تغییر صادرات
-۱/۰۰	۰/۴۰	تغییر واردات
-۱/۴۶	-۰/۳۵	تغییر در نرخ ارز

منبع: یافته‌های پژوهش

اعمال سیاست افزایش کارایی برق، مصرف برق را ۴/۱۷ درصد افزایش داده و شاهد اثرات بازگشتی بالای صد درصد و اثرات معکوس برای برق و کل انرژی در کل اقتصاد هستیم. سیاست افزایش ۱۰ درصدی قیمت برق سبب کاهش ۰/۰۲ درصدی مصرف برق می‌شود.

برق و سوخت فسیلی در قالب تابع تولید معادله ۱۲ با یکدیگر ترکیب می‌شوند و کالای ترکیبی انرژی^۱ را تولید می‌کنند. این کالا به عنوان نهاده انرژی در توابع تولید کالاهای دیگر استفاده می‌شود. اتحاد میان برق و سوخت فسیلی در مدل تعادل عمومی به این صورت است که ارزش قیمت کالای ترکیبی انرژی از مجموع ارزش برق مصرفی و سوخت فسیلی مصرفی به دست می‌آید. با اعمال سیاست افزایش ده درصدی کارایی برق، مقدار مصرف کالای ترکیبی انرژی نیز ۱/۲۰ درصد افزایش می‌یابد و با در نظر گرفتن افت قیمتی که برای برق به دلیل افزایش کارایی رخ داده است هزینه تولید سوخت فسیلی افت کرده و لذا مصرف سوخت فسیلی افزایش می‌یابد و مصرف کالای ترکیبی انرژی افزایش می‌یابد.

دلیل اصلی افزایش مصرف انرژی در سیاست افزایش کارایی این است که با اعمال سیاست کارایی انرژی، سطح فعالیت تمام بخش‌ها افزایش می‌یابد و لذا برای افزایش تولید نیاز به مصرف انرژی است. بنابراین اگرچه در گام اول با اعمال سیاست افزایش کارایی، قیمت ضمنی برق کاهش می‌یابد اما در گام بعدی به دلیل واکنش آحاد مختلف اقتصادی از جمله خانوار و بنگاه مصرف انرژی افزایش می‌یابد و ممکن است بخشی یا تمام کاهش مصرف انرژی اولیه را خنثی کند. چرا که با کاهش قیمت ضمنی انرژی، مصرف‌کننده انرژی مواجه با وضعیتی مشابه کاهش قیمت‌ها است بنابراین وی از یک طرف به سمت افزایش مصرف انرژی سوق داده می‌شود و از طرف دیگر همان‌طور که در ادبیات اقتصاد خرد مطرح است با کاهش قیمت ضمنی، درآمد

^۱. Energy Composite Goods

حقیقی مصرف‌کننده انرژی (اعم از خانوار یا بنگاه) افزایش یافته و در نتیجه مصرف‌کننده با دامنه گسترده‌تری از کالاها و خدمات روبرو خواهد شد و این افزایش درآمد حقیقی نیز سبب افزایش مصرف انرژی می‌شود. در نتیجه بخشی از کاهش مصرف اولیه ناشی از افزایش کارایی انرژی خنثی شده و برخلاف رویکرد مهندسی، افزایش ۱۰ درصدی کارایی برق سبب کاهش کمتر از ۱۰ درصد انرژی می‌شود. به این اختلاف، اثر بازگشتی می‌گویند. بنابراین اثر بازگشتی کاهش در مصرف انرژی را خنثی می‌کند و سبب می‌شود که افزایش کارایی انرژی نتواند به هدف غایی خود که حفاظت از محیط زیست همگام با افزایش رشد اقتصادی است برسد. اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی برق در این مدل معادل ۱۱۲ درصد، برآورد شده که نشان‌دهنده آن است تمام اثر سیاست افزایش کارایی بر کاهش مصرف خنثی شده و سیاست افزایش کارایی، سیاست‌گذار را به هدف خود مبنی بر کاهش مصرف انرژی نمی‌رساند.

در مقابل، سیاست افزایش قیمت برق سبب کاهش ۰/۰۲ درصدی مصرف برق می‌شود. افزایش قیمت برق همچنین مصرف کالای ترکیبی انرژی را کاهش می‌دهد چراکه با افزایش قیمت برق، قیمت سوخت فسیلی نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین قیمت نسبی انرژی افزایش یافته و بر اساس اثر جانشینی انرژی با سایر نهاده‌ها جانشین می‌شود. همچنین سیاست افزایش قیمت سبب کاهش ۰/۵۴ درصدی تولید کل فعالیت‌های اقتصادی شده است و در مقایسه با سیاست افزایش کارایی نرخ ارز را بیشتر تضعیف می‌کند (مقایسه تغییر نرخ ارز ۱/۴۶- درصدی سیاست افزایش قیمت با ۰/۳۵- درصدی افزایش کارایی). همچنین سیاست افزایش کارایی سبب افزایش ۰/۳ درصدی صادرات می‌شود اما سیاست افزایش قیمت صادرات را به اندازه ۰/۷۴ درصد کاهش داده است. اگر هدف، کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌ها باشد سیاست افزایش قیمت برق بهتر از سیاست افزایش کارایی است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است اثرات بازگشتی در بخش‌های برق، حمل و نقل، سوخت‌های فسیلی و محصولات شیمیایی بیشتر از صد است و سیاست افزایش کارایی سبب افزایش مصرف انرژی در این بخش‌ها گردیده است. دلیل اصلی افزایش مصرف انرژی این بخش‌ها آن است که بعد از اعمال سیاست افزایش کارایی انرژی، سطح تولیدات این بخش‌ها به ترتیب ۳/۰، ۱/۳، ۰/۳ و ۱/۱ درصد افزایش یافته است.

بر اساس نتایج این مدل در صورت اعمال سیاست افزایش قیمت برق بخش‌های سایر خدمات، کشاورزی، صنایع غذایی، تولید منسوجات و تولید فلزات اساسی بیشترین کاهش در مصرف

انرژی را دارند این در حالی است که مصرف تولیدات فلزات اساسی و سایر خدمات زیر یک درصد کاهش یافته است. اگر چه سیاست اعمال افزایش قیمت برق سبب کاهش مصرف انرژی شده است اما تولید کل بخش های اقتصادی را نیز ۰/۵۳ درصد کاهش داده است و همین امر یکی از معایب سیاست افزایش قیمت برق به حساب می آید.

جدول ۴: مقایسه اثر دو سیاست افزایش کارایی و افزایش قیمت برق بر مصرف انرژی و تولید بخش های مختلف اقتصادی

سیاست افزایش ده درصدی قیمت برق		سیاست افزایش ده درصدی کارایی برق			
درصد تغییر در تولید	درصد تغییر در مصرف کلای ترکیبی انرژی	درصد تغییر در تولید	اثرات بازگشتی	درصد تغییر در مصرف کلای ترکیبی انرژی	
۰/۴	-۲/۴	-۰/۵	۷۴/۶	-۲/۵	کشاورزی
-۰/۸	-۰/۲	-۰/۳	۹۱/۱	-۰/۹	تولید کانی های غیر فلزی
-۰/۳	-۱/۳	-۰/۳	۸۷/۷	-۱/۲	سایر صنایع
۰/۱	-۱/۴	۳/۰	۱۱۱/۵	۱/۲	برق
-۰/۳	-۲/۳	-۱/۳	۴۸/۸	-۵/۱	تولید منسوجات
-۰/۷	-۲/۳	-۰/۵	۷۴/۸	-۲/۵	تولید فلزات اساسی
۰/۰	-۰/۷	۱/۳	۱۴۹/۶	۵/۰	حمل و نقل
-۰/۵	-۱/۴	۰/۳	۱۰۹/۹	۱/۰	سوخت های فسیلی
-۱/۵	-۹/۵	-۰/۱	۱۰۴/۲	۰/۴	سایر خدمات
۰/۰	-۲/۱	۱/۱	۱۱۹/۷	۲/۰	تولید مواد و محصولات شیمیایی
-۰/۹	-۰/۹	-۰/۲	۷۷/۰	-۲/۳	تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری

منبع: یافته های پژوهش

۸- تحلیل حساسیت

یکی از مهم ترین روش ها برای اعتبارسنجی یک مدل تعادل عمومی محاسبه پذیر، آزمون درجه پایداری نتایج شبیه سازی نسبت به مقادیر مفروض برای برخی از پارامترهای کلیدی است. در همین راستا بررسی های انجام گرفته نشان می دهد کشش جانشینی بین حامل های انرژی نقش مهمی در نتایج مدل ایفا می کند (مهدوی، ۱۳۹۳). جدول ۴ تغییرات مصرف انرژی را برای دو سیاست افزایش کارایی و افزایش قیمت در دو حالت افزایش و کاهش ۱۰ واحد درصدی کشش جانشینی بین دو حامل انرژی برق و سوخت فسیلی نشان می دهد.

جدول ۵: تحلیل حساسیت دو سیاست افزایش کارایی و افزایش قیمت حامل انرژی

سناریو افزایش قیمت		سناریو افزایش کارایی		
درصد تغییر در مصرف انرژی در حالت کشش ۰/۷	درصد تغییر در مصرف انرژی در حالت کشش ۰/۵	درصد تغییر در مصرف انرژی در حالت کشش ۰/۷	درصد تغییر در مصرف انرژی در حالت کشش ۰/۵	
۰/۷	۰/۳	۳/۸	۲/۷	کشاورزی
۰/۵	۰/۷	۰/۴	-۰/۹	تولید کانی‌های غیر فلزی
-۰/۱	۰/۰	۰/۸	-۵/۹	سایر صنایع
-۱/۰	-۲/۱	-۱۰/۲	-۰/۹	برق
۰/۶	-۰/۳	۷/۳	-۵/۹	تولید منسوجات
۰/۲	-۰/۲	۴/۳	-۰/۸	تولید فلزات اساسی
۰/۲	۰/۱	-۴/۷	۶/۵	حمل و نقل
۰/۵	۰/۲	-۲/۵	-۱/۴	سوخت‌های فسیلی
۰/۵	-۰/۲	-۱/۷	۱/۸	سایر خدمات
۰/۴	-۰/۹	۳/۱	۱/۸	تولید مواد و محصولات شیمیایی
۳/۲	۱/۳	۲/۴	۱/۶	تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری

منبع: یافته‌های پژوهش

۹- نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی

با توجه به آن که مصرف انرژی الکتریکی در ایران همواره روند صعودی داشته است، لزوم سیاست‌هایی برای کاهش مصرف انرژی به شدت احساس می‌شود. برای نیل به این هدف، سیاست‌گذاران می‌توانند از سیاست‌های قیمتی نظیر افزایش قیمت برق (نزدیک کردن قیمت‌های داخلی به هزینه تمام شده) و سیاست غیر قیمتی ارتقاء کارایی انرژی استفاده کنند. برای بررسی اثرات این دو سیاست از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر بر اساس ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ استفاده شده است.

ابتدا تغییرات مصرف برق با افزایش قیمت برق بررسی شده و اثرات افزایش قیمت بر متغیرهای کلان اقتصادی بررسی شده است. بر اساس نتایج مدل با افزایش قیمت برق، مصرف برق به میزان کمتری افزایش خواهد یافت به طوری که با افزایش ۴۰ درصدی قیمت برق، میزان مصرف برق از ۸/۹۴ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نرخ ارز کاهش خواهد یافت که سبب کاهش واردات خواهد شد اما صادرات افزایش نمی‌یابد.

نتایج مدل نشان می‌دهد سیاست افزایش ده درصدی قیمت برق سبب کاهش ۴/۹۱ درصدی مصرف انرژی می‌شود اما سیاست افزایش ده درصدی کارایی برق به دلیل اثرات بازگشتی باعث

کاهش مصرف انرژی نمی‌شود بلکه مصرف انرژی را $1/2$ درصد افزایش داده است. بنابراین همانند مقاله خوشکلام و مهدوی (۱۳۹۷) توصیه می‌شود سیاست گذاران، صرفه‌جویی برق ناشی از سیاست افزایش کارایی را بیش از حد برآورد نکنند و انتظار کاهش مصرف به میزان افزایش کارایی را نداشته باشند.

ذکر این نکته ضروری است که سیاست افزایش کارایی در مقایسه با سیاست افزایش قیمت انرژی سبب افزایش تولید بخش‌های اقتصادی می‌شود اما سیاست افزایش قیمت تولید را کاهش داده است. بنابراین در صورت اعمال سیاست افزایش قیمت برق بهتر است سیاست‌های مکملی برای جلوگیری از کاهش تولید اعمال شود.

در صورت اعمال سیاست افزایش کارایی برق، در میان بخش‌های مختلف اقتصادی، بخش‌های برق، حمل و نقل، سوخت‌های فسیلی و محصولات شیمیایی اثرات بازگشتی بیشتر از صد درصد دارند و سیاست افزایش کارایی به هدف اصلی کاهش مصرف انرژی منجر نمی‌شود. چرا که با افزایش کارایی، تولید این بخش‌ها افزایش یافته است. اما سیاست افزایش کارایی در بخش‌های تولید منسوجات، تولید فلزات اساسی، تولید کانی‌های غیر فلزی، کشاورزی و تولید وسایل نقلیه موتوری موثر بوده و سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود. این در حالی است که سیاست افزایش قیمت برق، سبب کاهش مصرف برق تمامی بخش‌های اقتصادی خواهد شد.

منابع و مأخذ

۱. امیرمعینی، مهران. محمدی، تیمور. خورسندی، مرتضی (۱۳۹۳). "مدل‌سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران: رویکرد مدل سری زمانی ساختاری". فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی ۵(۱۸): ۸۷-۱۱۷.
۲. ترازنامه انرژی سال‌های مختلف <http://pep.moe.gov.ir>
۳. ترازنامه هیدروکربوری سال‌های مختلف <http://www.iranenergyinfo.ir/>
۴. جلائی، سید عبدالمجید. جعفری، سعید. و انصاری لاری، صالح (۱۳۹۲). "برآورد تابع تقاضای برق خانگی در ایران با استفاده از داده‌های تابلویی استانی". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ۲(۸): ۶۹-۹۲.
۵. خوشکلام خسروشاهی، موسی. و مهدوی، روح‌الله (۱۳۹۷). "نخمن اثر بازگشتی ناشی از مصرف انرژی الکتریسیته در ایران: رویکرد حد آستانه‌ای". فصلنامه علمی نظریه‌های کاربردی اقتصاد ۵(۴): ۱۷۳-۱۹۶.
۶. خوشکلام خسروشاهی، موسی (۱۳۹۷). "نجزیه اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین به اثرات جانمایی و تولیدی با تأکید بر بخش حمل و نقل: مدل CGE". سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی ۶(۱): ۴۹-۶۷.
۷. 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". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ۳(۱۱): ۱۵۹-۱۹۴.
۸. خیابانی، ناصر (۱۳۹۵). "یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا برای ارزیابی آثار سیاست‌های انرژی: شواهدی از ایران". پژوهش‌های اقتصادی ایران ۲۱(۶۹): ۴۶-۱.
۹. خیابانی، ناصر (۱۳۸۷). "یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه برای ارزیابی اثرات افزایش قیمت تمام‌حامل‌های انرژی در ایران". مطالعات اقتصاد انرژی ۵(۱۶): ۳۴-۱.
۱۰. سالم، علی اصغر. و اکابری، مهدی (۱۳۹۶). "برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ۶(۲۲): ۷۴-۴۵.
۱۱. سلیمیان، زهره. بزازان، فاطمه. و موسوی، میرحسین (۱۳۹۶). "اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بین‌زمانی". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ۶(۲۱): ۲۰۰-۱۶۳.

۱۲. طاهری فرد، علی (۱۳۹۱). "بررسی تأثیر افزایش قیمت برق و سایر حامل‌های انرژی بر تقاضای برق بخش صنعت در ایران با استفاده از روش تعادل عمومی محاسبه‌پذیر". پژوهش‌های اقتصاد و توسعه منطقه‌ای ۱۹(۳).

۱۳. قره باغی، صغری. و امامی میبدی، علی (۱۳۹۶). "برآورد و بررسی تابع تقاضای برق ایران در سه بخش صنعت، خانگی و کشاورزی". مجله اقتصادی (دو ماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی) ۱۷(۷ و ۸): ۲۳-۳۹.

۱۴. منظور، داوود. آقابابائی، محمد ابراهیم. و حقیقی، ایمان. "تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصارف برق در ایران: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر". فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی ۸(۲۸): ۱-۲۳.

۱۵. مهدوی، روح‌الله (۱۳۹۳). "ارزیابی سیاست‌های مکمل اصلاح قیمت انرژی در بخش حمل و نقل: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر". پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ۳(۱۲): ۱۷۸-۱۴۵.

16. Böhringer, C. & Rutherford, T. F. (2008). "Combining Bottom-up and Top-down". Energy Economics 30(2): 574-596.
17. Freire-González, J. (2019). "Energy Taxation Policies Can Counteract the Rebound Effect: Analysis within a General Equilibrium Framework". Energy Efficiency 1-10.
18. Grepperud, S. & Rasmussen, I. (2004). "A General Equilibrium Assessment of Rebound Effects". Energy Economics 26(2): 261-282.
19. Hogan, W. & Manne, A. (1977). *Modeling Energy-Economy Interactions, Five Approaches. Resources for the Future*, Washington DC, USA, Ch. Energy-Economy Interactions: The Fable of the Elephant and the Rabbit, 247-277.
20. International Energy Agency. (1999). *World Energy Outlook 1999: Looking at Energy Subsidies—Getting the Prices Right*.
21. Koesler, S. Swales, K. & Turner, K. (2016). "International Spillover and Rebound Effects from Increased Energy Efficiency in Germany". Energy Economics 54: 444-452.
22. 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): S7-S36.
23. Lin, B. & Jia, Z. (2019). "How does Tax System on Energy Industries Affect Energy Demand, CO2 Emissions, and Economy in China?". Energy Economics 104496.
24. Lofgren, H. Harris, R. L. & Robinson, S. (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS*, (Vol. 5), Intl Food Policy Res Inst.

25. Saunders, H. (2009). *Theoretical Foundations of the Rebound Effect*, International Handbook on the Economics of Energy.
26. 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.

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
$PINTA_C = \sum_{NEN} PQ_{NEN} \times ica_{nenc}$	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
$QX_C = \text{alphan}_c (\text{deltan}_c \times QE_C^{\text{rho}_c} + (1 - \text{deltan}_c) \times QD_C^{\text{rho}_c})^{1/\text{rho}_c}$	۱۱
$QE_C = QD_C \left(\frac{PE_C}{PDS_C} \right) \times \left(\frac{1 - \text{deltan}_c}{\text{deltan}_c} \right)^{1/(\text{rho}_c - 1)}$	۱۲
$QQ_C = \text{alpha}_c \times (\text{deltan}_c \times QM_C^{-\text{rho}_c} + (1 - \text{deltan}_c) \times QD_C^{-\text{rho}_c})^{-1/\text{rho}_c}$	۱۳
$QM_C = QD_C \times \left(\frac{PDD_C}{PM_C} \right) \times \left(\frac{1 - \text{deltan}_c}{\text{deltan}_c} \right)^{1/(\text{rho}_c + 1)}$	۱۴
	بلوک موسسات
$YF_F = \sum_C WF_F \times \text{wfdist}_{F,C} \times QF_{F,C}$	۱۵
$YI_{INSDF} = \text{shif}_{INSDF} \times YF_F$	۱۶
$INSDF + \sum_{INSDNG} TRII_{INSDNG,INSDNG} + \text{trnsfr}_{INSDNG,GOV} * CPI + \text{trnsfr}_{INSDNG,ROW}$	۱۷
$EH_H = \left(1 - \sum_{INSDNG} \text{shii}_{INSDNG,H} \right) \times (1 - MPS_H) \times (1 - TINS_H) \times YI_H$	۱۸
$TRII_{INSDNG,INSDNG} = \text{shii}_{INSDNG,INSDNG} \times (1 - MPS_{INSDNG}) * (1 - TINS_{INSDNG}) \times YI_{INSDNG}$	
$PQ_C \times QH_{C,H} = PQ_C \times \text{gamma}_{C,H} + \text{betam}(C,H) \times (EH_H - \sum_C PQ_C \times \text{gamma}_{C,H})$	
$QINV_C = IADJ \times \text{qbarinv}_C$	۲۱

$QG_C = GADJ \times qbarg_C$	۲۲
$YG = \sum_F YIF_{GOV.F} + \sum_{INSND} tins_{INSNDNG} \times YI_{IMSNDNG} + EXR \times trnsfr_{gov.ROW}$	۲۳
$EG = \sum_C PQ_C * QG_C + \sum_{INSND} trnsfr_{INSNDNG.gov}$	۲۴
بلوک قیود مدل	
$\sum_C pwm_C * QM_C + \sum_F trnsfr_{ROW.F} + \sum_{INSND} trnsfr_{ROW.F}$	۲۵
$GSAV = YG - EG$	۲۶
$\sum_{i \in INSNDNG} (MPS_i * (1 - tins_i) * YI_i + GSAV = \sum_C PQ_C * QINV_C + FINV * EXR^{SY}$	
$QA_C = \sum_H QH_{H.C} + QINV_C + QG_C + \sum_C QINT_C$	۲۸
$\sum_C QF_{F.C} = QFS_F$	۲۹

قیمت متوسط عامل تولید F	WF_F	قیمت کالای وارداتی	PM_C
متغیر برونزا و عامل تولید F استفاده شده در بخش C	$wf_{dist_{P,C}}$	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	$YIF_{INSND.F}$	قیمت کالای صادراتی	PE_C
سهم موسسه داخلی از عامل تولید	$shif_{INSND.F}$	قیمت جهانی کالای صادراتی	PWE_C
درآمد موسسه داخلی غیر دولتی	$YI_{INSNDNG}$	قیمت تقاضای کالای تولید شده و مصرف شده در داخل	PDD_C
پرداخت‌های انتقالی بین موسسه‌ای	$TRII_{INSNDNG.INSNDNG}$	قیمت عرضه کالای تولید شده و مصرف شده در داخل	PDS_C
پرداخت انتقالی عامل موسسه داخلی غیر دولتی به دولت	$trnsfr_{INSNDNG.GOV}$	قیمت کالای ترکیبی	PQ_C
هزینه مصرفی خانوار	EH_H	مقدار عرضه شده کالای ترکیبی	QQ_C
سهم موسسه i از درآمد موسسه ip بعد از کسر پس‌انداز و مالیات	$shii_{INSNDNG.H}$	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	$gammam_{C,H}$	مقدار کالای صادراتی	QE_C
سهم نهایی مصرف خانوار از کالا	$betam(C,H)$	قیمت مجموع نهاده‌های واسطه‌ای برای کالای C	$PINTA_C$

مقایسه سیاست افزایش کارایی با سیاست افزایش قیمت برق در ایران با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر ۱۰۳

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 مصرف‌کننده	CPI
مقدار مصرف دولت	QG_C	وزن کالا در شاخص قیمت مصرف‌کننده	$cwts_c$
پارامتر مقیاس برای تقاضای دولت	$GADJ$	شاخص قیمت تولیدکننده	DPI
تقاضای برون‌زای دولت	$qbarg_c$	وزن کالا در شاخص قیمت تولیدکننده	$dwts_{cd}$
هزینه مصرفی دولت	EG	پارامتر تکنولوژی CET	$alphan_c$
مقدار مصرف دولت	QG_C	پارامتر سهم تابع CET	$deltat_c$
پس‌انداز دولت	$GSAV$	توان تابع CET	$rhot_c$
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

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

Original Research Article

Comparison of the policies for energy efficiency increase and price increase in Iran using computable general equilibrium

Hamidreza Arbab¹
Manoochehr Asgari²
Hamid Amadeh³
Fatemeh Rafiei⁴

Received: 28-01-2020

Accepted: 07-03-2020

Introduction: Among energy carriers, electricity has been focused on more closely than the other energy carriers because of its ease of conversion, ease of use, low risk, as well as environmental considerations. In 2017, 11% of the final energy consumption belonged to electricity. Electricity is also an indicator of social welfare; however, electricity consumption has grown in recent years for such reasons as population growth, urban development, increasing living standards and welfare, realizing tariffs, climate change and industrial and commercial development. Even in some years when Iran has had low or even negative economic growth, the upward trend in electricity consumption has not stopped, and the implementation of the subsidy reform plan has not been able to stop this trend. Therefore, in the absence of structural reforms, widespread socio-economic costs will be imposed on the Iranian economy. This is because the high speed of energy consumption in Iran raises serious concerns about the country's ability to export energy in the coming decades. Electricity reduction policies can be divided into two categories: price and non-price policies. Pricing policies in Iran have brought the price of electricity closer to the cost of production and reduced subsidies. Non-pricing policies to reduce electricity consumption can also be referred to as efficiency improvement policies. Increase of efficiency depends on the increase of the useful output of each process per unit of energy received. It is

¹ - Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

² - Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

³ - Associate Professor of Economics, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

⁴ - Ph.D Candidate in Economics, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Email: Fatemehrafiei170@gmail.com

commonly thought that improving energy efficiency reduces energy consumption, but there is widespread debate in both economics and energy policymaking about the real impact of such improvements on energy efficiency.

Methodology: In order to study the relationship between the increase of efficiency and the reduction of electricity subsidies, this paper creates a CGE model based on the latest Social Accounting Matrix published in 2011. The final SAM is aggregated into 11 economic sectors, namely agriculture, electricity, fossil fuels, textile production, production of chemical materials, other non-metallic mineral products, production of basic metals, production of motor vehicles and trailers, other industries, transportation and other services, two factors of production, labor and capital, two groups of urban and rural households, enterprises, government, saving-investment and the rest of the world. To calculate the effect of price increase on the efficiency, the structure of the production layers is formed in such a way that the energy-producing parts are separated from other non-energy parts.

Results and Discussion: By implementing the policy of increasing electricity efficiency, electricity consumption has increased by 4.17, and there are rebound effects above 100% as well as backfire for electricity and total energy in the economy. The policy of increasing electricity prices by 10% will reduce electricity consumption by 0.02%. With the increasing electricity efficiency, the amount of energy consumption will increase by 1.20%. Taking into account the price drop for electricity due to increased efficiency, the cost of fossil fuel production will decrease and, therefore, fossil fuel consumption will increase. Consumption of energy commodities increases too. The main reason for the increase in energy consumption is that the application of the energy efficiency policy makes the level of activity rise in all sectors and, therefore, energy consumption is needed to increase production. Due to the reaction of various economic entities, including households and production sectors, energy consumption increases and may offset a part or all of the reduction in primary energy consumption. With the reduction of implicit energy prices, the energy consumer faces a situation similar to the reduction of prices, so the consumer is driven to increase energy consumption. Also, as stated in the microeconomic literature, with implicit price reduction, real energy consumption (whether in households or in the production sector) will increase and, as a result, the consumer will face a wider range of goods and services. An increase in real income will increase energy consumption. As a result, part of the reduction in the initial consumption due to increased energy efficiency is offset. Contrary to the engineering approach, a 10% increase in electrical efficiency results in a reduction of less than 10% of energy. This difference is called the rebound effect. Therefore, the increase in energy efficiency is in line with the ultimate goal of protecting the environment as well as boosting the economic growth.

In contrast, the policy of increasing electricity prices reduces electricity consumption by 0.02%. Rising electricity prices will also reduce the consumption of energy-efficient commodities. A rise in fossil fuel prices will raise the electricity price. Therefore, the relative price of energy increases and is replaced by other inputs based on the effect of energy substitution. Also, price increase has caused a decrease of 0.54% in the production of the total economic activities. If the goal is to reduce energy consumption and emissions, the policy of increasing electricity prices is better than the policy of increasing efficiency.

Conclusion: The results show that the policy of increasing electricity prices by 10% reduces energy consumption by 4.91%, but the policy of increasing electricity efficiency by 10% does not reduce energy consumption due to rebound effects; it just increases energy consumption by 1.2%. Therefore, as realized by Khoshkalam and Mahdavi (1397), it is recommended that policy makers avoid overestimating the power savings resulting from the efficiency increase policy and not expect consumption to decrease as efficiency increases. It is important to note that the policy of efficiency compared to increasing energy prices raises the production of economic sectors, but increasing the price of production reduces it. Therefore, if the increase of the price of electricity is implemented, it is better to apply complementary policies to prevent the reduction of production.

Keywords: Electricity consumption, Improving efficiency, Rebound effect, Electricity price, Computable general equilibrium.

JEL Classification: Q43, Q41, D58, D21, C68.