فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، پاییز ۱۳۹۸

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

تجزیه اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی در ایران: رهیافت الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر

فاطمه رفیعی *، منوچهر عسگری **، حمیدرضا ارباب***

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

چکیده:

یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی، بهبود کارایی انرژی در فعالیت‌های مختلف اقتصادی است. اما میزان صرفه‌جویی انرژی به دلیل وجود اثرات بازگشتی ممکن است محدود شود. یکی از چالش‌های محاسبه اثرات بازگشتی، تجزیه اثرات بازگشتی به اثرات بازگشتی مستقیم و اثرات بازگشتی در گسترده اقتصاد است تا بتوان تأثیر افزایش کارایی را به صورت مستقیم و با درنظرگرفتن تمام تطابقات بازارها از یکدیگر تفکیک کرد. هدف مقاله حاضر ارائه الگو نظری برای تجزیه اثرات بازگشتی و محاسبه آن در فعالیت‌های مختلف با استفاده از الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه است. براساس نتایج الگوسازی و با استفاده از داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰، اثر بازگشتی برای افزایش یک درصدی کارایی برق و سوخت‌های فسیلی به ترتیب ۹۰/۱ و ۷۲/۸ درصد است. اثرات بازگشتی گسترده اقتصاد نیز تفاوت چندانی با اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم ندارد، چرا که خانوارها به دلیل سهم پایین هزینه انرژی از مخارج خانوار به افزایش کارایی در این بخش چندان واکنش نشان نمی‌دهند و بنابراین اثر بازگشتی گسترده اقتصاد ۸۹/۹ و ۷۲/۵ است. اثرات بازگشتی بالای مشاهده شده در اقتصاد ایران سبب خواهد شد اثرگذاری سیاست افزایش کارایی بر کاهش مصرف انرژی محدود شود.

کلیدواژه‌ها: *کارایی انرژی، تجزیه اثرات بازگشتی، الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر.*
طبقه‌بندی JEL: *C68، D61، Q41.*

---

* دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
fatemehrafiei170@gmail.com
** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران asgari99@hotmail.com
*** دانشیار گروه اقتصاد بازرگانی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
hamidrezaarbab@gmail.com

۱. مقدمه

ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان انرژی در جهان محسوب می‌شود اما مصرف بالای انرژی در ایران سبب شده است که انتفاع حداکثری از این موهبت الهی محدود شود. مصرف سرانه انرژی در ایران در مقایسه با متوسط جهانی بالا بوده به طوری که در سال ۱۳۹۴ سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران در بخش‌های کشاورزی، خانگی، عمومی و تجاری، حمل و نقل و صنعت به ترتیب ۳/۳ ، ۱/۹ ،۱/۷ و ۱/۵ برابر متوسط جهانی است. دلیل اصلی بالا بودن مصرف انرژی در ایران، پایین بودن بهره‌وری در تولید و مصرف و همچنین استفاده از کالاها و خدمات انرژی بر در ایران است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۴). مصرف اسراف گونه انرژی در ایران سبب شده است مسئولان همواره به دنبال برنامه‌هایی برای افزایش کارایی و کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است که از آن جمله می‌توان به قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی و سند چشم انداز ۲۰ ساله اشاره کرد.

بنابراین یکی از الزامات کاهش شدت انرژی در ایران، بهبود بهره‌وری انرژی است. اما مقدار واقعی صرفه‌جویی ناشی از افزایش کارایی انرژی به دلیل وجود پدیده‌ای تحت عنوان اثر بازگشتی با نااطمینانی همراه است. بهبود کارایی انرژی در سطح کلان سبب کاهش مصرف انرژی به همان درصد افزایش کارایی نخواهد شد. افزیش کارایی انرژی برای یک واحد اقتصادی سبب می‌شود آن نهاده تولید نسبت به سایر نهاده ها ارزان تر شده و لذا تقاضا برای آن نهاده افزایش خواهد یافت. برای مثال ماشینی که قبل از افزایش کارایی انرژی یک تن انرژی را برای تولید کار معینی مصرف می کرد پس از افزایش کارایی انرژی، نیم تن مصرف خواهد کرد. بنابراین می‌توان گفت قیمت یک واحد از خدمات انرژی نصف شده است. همین امر سبب می‌شود که نهاده انرژی به صورت ضمنی ارزان‌تر شود و تمایل برای افزایش جانشینی انرژی با سایر نهاده‌ها توسط تولیدکننده برای سطح مشخصی از تولید افزایش یابد. لذا بخشی از کاهش مصرف انرژی به دلیل اثر جانشینی جبران شود

همچنین کالاهای انرژی بر نسبتا ارزان شود و بنابراین تقاضا برای کالاهای انرژی بر (مصرف کننده بیش‌تر انرژی) توسط خانوارها افزایش یابد. این اثر یعنی محدود شدن تاثیر افزایش کارایی بر کاهش مصرف انرژی را اثر بازگشتی یا تعویق خازوم-بروکس[1] نامیده می‌شود. میزان دقیق و ویژگی اثر بازگشتی به نحوه عملکرد نهادها در یک اقتصاد وابسته است و از قبل نمی توان مقدار آن را تخمین زد. کشش جانشینی انرژی و سایر نهاده های تولید و کشش جانشینی کالاها یکی از عوامل اساسی در میزان اثر بازگشتی است (ویکستروم[2]، ۲۰۰۴). دراین مقاله تلاش شده است تا ابتدا اثرات بازگشتی مستقیم و غیرم ستقیم در سطح بخشی برآورد شود و سپس با استفاده از ارائه الگو نظری اثرات بازگشتی اثرات بازگشتی کل فعالیت‌های تولیدی و اثرات گسترده اقتصاد نیز تخمین زده شود که بدین وسیله میزان واکنش خانوارها به تغییرات کارایی هم لحاظ شود که تاکنون این روش برای اقتصاد ایران برآورد نشده است.

در بخش دوم مقاله، مبانی نظری اثر بازگشتی بیان گردیده و در بخش سوم، ادبیات تجربی تحقیق مرور شده است و در بخش چهارم و پنجم به ترتیب ساختار الگو همچنین داده‌ها و کالیبراسیون ذکر شده است. در بخش ششم این مطالعه، به تجزیه و تحلیل یافته‌ها و نتایج پرداخته شده و در پایان نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی آورده شده است.

۲. مبانی نظری اثر بازگشتی

معمولا دولت‌های مختلف برای کاهش انتشار کربن به دنبال راه‌هایی برای بهبود راندمان انرژی در اقتصاد خود هستند. سوال مطرح در سطح خرد این است که آیا می‌توان انتظار داشت که بهبود راندمان فنی وسایل انرژی بر، باعث کاهش مصرف انرژی شود؟ برای مثال آیا ۲۰ درصد بهبود راندمان سوخت خودروهای سواری منجر به کاهش ۲۰ درصدی در مصرف سوخت موتور در سفر با خودروهای شخصی خواهد شد؟ نظریه اقتصادی دارای

1. Khazzoom-Brookes Postulate
2. Vikstrom

جواب منفی برای این سوال است زیرا بهبود راندمان انرژی، هزینه نهایی خدمات انرژی، مثل مسافرت را کاهش داده و لذا مصرف آن خدمات افزایش خواهد یافت. شاید دور از انتظار نباشد که این افزایش در مصرف خدمات انرژی، بخشی از کاهش اولیه مورد انتظار در مصرف انرژی را جبران کند. در سوی دیگر، دلایل دیگر وجود دارند مبنی بر این که چرا کاهش مصرف انرژی در کل اقتصاد کمتر از محاسبات ساده صورت گرفته است. مثلا این امکان وجود دارد که پول ذخیره شده ناشی از کاهش مصرف سوخت موتور برای سایر کالاها و خدمات که آن‌ها نیازمند انرژی هستند، هزینه شود (هانت و اوانس[1]، ۲۰۰۹). به عبارت دیگر بهبود کارایی انرژی همراه با تغییراتی در رفتار فعالان اقتصادی است که اثر بازگشتی را پدید می‌آورد، به این صورت که بازده انتظاری ناشی از بهبود کارایی انرژی روی کاهش شدت انرژی، به دلیل عکس العمل سیستم‌های اقتصادی به کاهش در قیمت ضمنی خدمات انرژی کاهش می‌یابد. اثرات بازگشتی زمانی رخ می‌دهد که بهبود کارایی انرژی، تقاضا را برای انرژی بطور مستقیم یا غیر مستقیم در بخش‌های مختلف تولیدی و مصرفی افزایش دهد. اهمیت بررسی اثرات بازگشتی از انجا ناشی می‌شود که تا حدودی منافع حاصل از بهبود کارایی مصرف انرژی کاسته شده و چه بسا اثر بخشی چنین سیاست‌هایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (سورل[2]، ۲۰۰۷).

کانال‌های اثرات بازگشتی: در ادبیات حوزه اثرات بازگشتی سه نوع اثر بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی تمییز داده می‌شود: اثرات بازگشتی مستقیم، اثرات بازگشتی غیر مستقیم و اثرات اقتصاد گسترده (گرینینگ و همکاران[3]، ۲۰۰۰).

اثرات بازگشتی مستقیم: افزایش کارایی انرژی برای یک خدمات انرژی خاص قیمت موثر انرژی خدمات انرژی را کاهش می‌دهد و بنابراین مصرف خدمات انرژی افزایش

1 Haunt and Evans
2 Sorell
3 Greening et al.

می‌یابد همین امر سبب می‌شود که کاهش مورد انتظار مصرف انرژی محقق نشود و اثر بازگشتی ایجاد شود.

اثرات بازگشتی غیر مستقیم: برای مصرف‌کنندگان، کاهش قیمت موثر انرژی سبب افزایش تقاضای سایر کالاها و خدمات می‌شود.افزایش تقاضای سایر کالاها و خدمات نیز افزایش دوباره مصرف انرژی به عنوان نهاده را در پی دارد.

اثرات گسترده اقتصاد: کاهش قیمت حقیقی خدمات انرژی، قیمت کالاهای واسطه‌ای و نهایی را کاهش می‌دهد که سبب یک سری تطبیق‌های جددی در قیمت ها و مقادیر تعادلی در اقتصاد می‌شود. همچنین افزایش کارایی انرژی رشد اقتصادی را بالا می‌برد که در نتیجه افزایش رشد اقتصادی نیز مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

در این مقاله اثر بازگشتی بخشی که شامل اثرات بازگشتی مستقیم و غیر مستقیم است و همچنین اثرات بازگشتی کل تولید اثرات بازگشتی گسترده اقتصاد تفکیک و مقایسه شده است. برای این کار از روش دو مرحله ای کسلر و همکاران[1] (۲۰۱۶) استفاده شده است که در مقالات تعادل عمومی هانلی و همکاران[2] (۲۰۰۹) ، ترنر[3] (۲۰۰۹) هم استفاده شده است. ابتدا افزایش کارایی انرژی در یک بخش خاص محاسبه می‌شودکه با R_i نشان داده شده است. فرض کنید کارایی انرژی به میزان γ درصد تنها در بخش i رخ دهد در این صورت اثر بازگشتی افزایش کارایی انرژی در بخش i به صورت زیر محاسبه می‌شود. از آن‌جا که در قالب الگوی تعادل عمومی اثر بازگشتی محاسبه می‌شود، این اثر بازگشتی شامل اثرات مستقیم و غیرمستقیم بازگشتی نیز هست.

$$R_i = \left[1 + \frac{\dot{E}_i}{\gamma}\right] * 100 \qquad (۱)$$

1. Koesler et al.
2. Hanley et al.
3. Turner

که $\dot{E}_i$ درصد تغییر در استفاده از انرژی در بخش i در واکنش به اثر تغییر در کارایی انرژی γدر تصمیمات آحاد اقتصادی است. چنانچه اثرات بازگشتی را، درصد شکست در کاهش دادن تقاضای انرژی در نتیجه بهبود کارائی 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 که اصطلاحا این حالت را اثر معکوس می‌نامند.

در این مقاله همانند مطالعات پیشین که در قالب الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر به برآورد اثر بازگشتی پرداخته اند، بهبود کارایی انرژی در قالب شوک برونزا به الگو داده می‌شود و الگوسازی روابط میان تامین مالی و نوآوری به منظور افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های تولید ناشی از افزایش کارایی لحاظ نمی‌شود.

اثرات بازگشتی افزایش کارایی انرژی بخش i به صورت بخشی از کانال‌های زیر است. اول، جانشینی میان انرژی و سایر نهاده ها در تولید صورت می‌گیرد که ناشی از کاهش ضمنی در قیمت انرژی استفاده شده در همان بخش است که نسبت استفاده از انرژی در تولید آن بخش را افزایش می‌دهد. کانال دوم، افزایش رقابت‌پذیری بخشی است که کارایی انرژی در آن رخ داده است زیرا که هزینه نهاده‌های واسطه انرژی به دلیل کاهش استفاده از انرژی کاهش یافته است. با کاهش این هزینه، قیمت محصول تولیدشده آن بخش کاهش و درنتیجه تقاضا برای بخش i افزایش خواهد داشت. افزایش تقاضا و به دنبال آن

افزایش فروش محصول، سبب افزایش تقاضا برای انرژی خواهد شد. اثر رقابت پذیری به میزان انرژی بری یک صنعت مرتبط است. برآیند اثر جانشینی و اثر رقابت سبب افزایش اثر بازگشتی می‌شود. شایان ذکر است که این اثر بازگشتی فراتر از اثر بازگشتی مستقیم است زیرا در این حالت تمام بازارها دوباره به تعادل رسیده اند و پس از تغییرات در تمام بازارها اثر بازگشتی حساب می‌شود.

در گام بعدی اثر بازگشتی در بخش تولید R_P یک کشور که عبارت است از اثر افزایش کارایی انرژی بر مصرف انرژی تمام بخش‌های تولیدی یک کشور (E_P) ، محاسبه می‌شود. به طریق مشابه اثر بازگشتی کل در هر بخش تولیدی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_P = \left[1 + \frac{\dot{E}_P}{\alpha\gamma}\right] * 100 \qquad (۲)$$

که در آن α سهم مصرف انرژی بخش i به کل مصرف انرژی در بخش تولید است. $\frac{\dot{E}_P}{\alpha\gamma}$ می تواند به صورت زیر تعریف شود.

$$\frac{\dot{E}_P}{\alpha\gamma} = \frac{\Delta E_P}{\gamma E_i} = \frac{\Delta E_i + \Delta E_P^{-i}}{\gamma E_i} = \frac{\dot{E}_i}{\gamma} + \frac{\Delta E_P^{-i}}{\gamma E_i} \qquad (۳)$$

در معادله ۳، Δ مقدار مطلق تغییر در مصرف انرژی است و $-i$ نیز نشان دهنده همه بخش‌های تولیدی به جز i است. با جایگذاری معادله ۳ در معادله ۲ و استفاده از معادله ۱ خواهیم داشت:

$$R_P = R_i + \left[\frac{\Delta E_P^{-i}}{\gamma E_i}\right] * 100 \qquad (۴)$$

معادله ۴ نشان می‌دهد اثر بازگشتی در بخش تولیدی یک کشور به اندازه افزایش مصرف انرژی سایر بخش‌های اقتصادی بستگی دارد. انتظار بر این است که با افزایش کارایی انرژی تولید محصول در بخش هدف افزایش یافته و تولید بخش انرژی کاهش یابد.

همچنین ذکر این نکته ضروری است که در اندازه‌گیری اثرات بازگشتی E عموما براساس واحدهای فیزیکی محاسبه می‌شود نه براساس ارزش‌های پولی. اما در مقاله فرض

شده است که قیمت حامل‌های انرژی برای بخش‌های مختلف اقتصادی یکی است. به طریق مشابه همانند معادلات بالا، اثر بازگشتی کل اقتصاد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = R_P + \left[\frac{\Delta E_C^{-i}}{\gamma E_i}\right] * 100 \qquad (۵)$$

که اندیس C نشان دهنده مصرف خانوار است. براساس معادله ۵ در صورت افزایش مصرف خالص بخش خانوار، اثر بازگشتی کل بیش‌تر از اثر بازگشتی بخش تولید است.

تغییرات در استفاده انرژی در مصرف خانوار به طور کلی ناشی از تغییر قیمت محصولات ناشی از کاهش ضمنی قیمت انرژی و تغییر درآمد خانوار است. به طور کلی انتظار می‌رود که درامد خانوار در اثر افزایش کارایی انرژی افزایش یابد و درنتیجه اثر بازگشتی زیاد شود.

۳. مروری بر ادبیات تجربی

به طور کلی الگوسازی اثرات بازگشتی را به سه دسته می‌توان طبقه‌بندی کرد. اولین دسته، الگوهای ساختاری تابع تولید اقتصاد هستند که به پیش‌بینی اثرات بازگشتی به صورت نظری می‌پردازند. دومین دسته تلاش‌هایی است که به صورت اقتصاد سنجی اثرات بازگشتی کل اعم از خرد و کلان را با استفاده از داده‌های تاریخی اثرات رشد کلان را تخمین می‌زنند و سومین دسته الگوهای شبیه‌سازی اقتصاد است که براساس جدول‌های داده-ستانده و کالیبره سازی صورت می‌گیرد.

۳-۱. مطالعات خارجی

مطالعات در خصوص اثرات اقتصاد کلان اثرات بازگشتی به اوایل دهه ۱۹۹۰ برمی‌گردد. ابتدا ویلیام استنلی جونز[1] در کتاب خود در سال ۱۸۶۵ این مساله را تحت عنوان "پرسش زغال سنگ" مطرح کرد. او بیان کرد که درست نیست بگوییم استفاده اقتصادی از سوخت

1. William Stanley Jevons.

به معنای کاهش مصرف سوخت است. طی سال‌های ۱۸۳۰ تا ۱۸۶۳ در اسکاتند مصرف زغال سنگ برای تولید هر واحد آهن به یک سوم کاهش یافت اما کل مصرف زغال سنگ ده برابر شد. زیرا با افزایش کارایی سوخت تولید آهن، تولید آهن افزایش یافت و بنابراین مصرف زغال سنگ به میزان چشم‌گیری افزایش یافت. این موضوع توسط خازوم[1] در ایالات متحده و بروکس[2] (۱۹۹۰) در انگلستان نیز مطرح شد. آن‌ها ادعا کردند که افزایش کارایی انرژی مانند انرژی مورد نیاز کمتر برای تولید هر واحد محصول طی زمان وجود داشته اما با جانشینی انرژی برای نیروی کار و سرمایه عموما سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید شده است و بنابراین کل تولید افزایش داشته است و به دنبال افزایش تولید، مصرف انرژی افزایش یافته است. او نتیجه گرفت که تلاش برای افزایش کارایی انرژی بدون اعمال ابزارهای قیمتی همراه، انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش نمی‌دهد. اموری لووینس[3] در ایالات متحده و میشائیل گراب[4] (۱۹۹۰) در انگلستان نظری مخالف خازوم و بروکس داشتند. گراب (۱۹۹۰) معتقد است باتوجه به ماهیت و منشا بهبود تکنولوژی، اثر افزایش کارایی بر مصرف انرژی متفاوت خواهد بود افزایش کارایی انرژی می‌تواند نتیجه پیداکردن بازارهای جدید و تلاش برای کاهش هزینه‌های تولید باشد و یا درنتیجه مشوق‌های مستقیم تحریک شده باشد. اگر حالت دوم باشد و درنتیجه تلاش سیاستگزاران کارایی انرژی افزایش یابد کاهش قیمت ضمنی نهاده انرژی به دلیل وجود برخی ازموانع و شکست بازار سبب افزایش میزان تولید نخواهد شد و در نتیجه اثر بازگشتی محدود خواهد شد.

در ادامه مطالعات اخیر براساس الگوسازی تعادل عمومی آورده می‌شود. اولین مطالعه در این حوزه به سامبوجا (۱۹۹۴)[5] اختصاص دارد که افزایش کارایی انرژی در کنیا را بررسی می‌کند. در این الگو از تکنولوژی کاب-داگلاس بدون هیچ جانشینی بین سرمایه

1. Khazzoom
2. Brooks
3. Amory Lovins
4. Michael Grubb
5. Semboja

و دیگر نهاده‌ها استفاده شده است. نویسنده در این مقاله افزایش کوچک (یک درصدی) در بهره‌وری تولید انرژی و استفاده از نفت را شبیه‌سازی کرده است. با وجودی که جزئیات این شبیه‌سازی در مقاله نیامده است، نویسنده نتیجه می‌گیرد با افزایش ۳.۵ درصدی در انرژی استفاده شده در تولید و ۱/۷ درصدی در افزایش مصرف نفت، اثرات بازگشتی در دو حالت بالاتر از یک است و شاهد اثرات معکوس در هر دوحالت هستیم. در این مقاله، تحلیل حساسیت ارائه نشده است.

واشیدا (۲۰۰۴)[1] اثر افزایش یک درصدی افزایش کارایی انرژی در همه بخش‌های اقتصادی ژاپن را بررسی کرده است. وی از تابع تکنولوژی کشش جانشینی ثابت برای انرژی و ارزش افزوده استفاده کرده سات و اجازه جانشینی به انرژی-ارزش افزوده را با مواد اولیه نمی‌دهد. برخی از تحلیل‌های حساسیت کشش بین سوخت‌ها و ارزش افزوده-انرژی بین ۳۵ درصد تا ۷۰ درصد تغییر می‌کند. یک نتیجه بسیار مهم این مقاله این است که اثرات بازگشتی و کشش جانشینی، همبستگی مثبت با یکدیگر دارند.

گریپند و راسموسن (۲۰۰۴)[2] نیز در الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر از تابع تولید کشش جانشینی ثابت آشیانه‌ای استفاده کرده است که جانشینی بین الکتریسیته و انرژی غیر الکتریکی را ممکن می‌سازد. ساختار الگو به گونه‌ای است که شبیه‌سازی‌های متعددی در آن وجود دارد و براساس این شبیه‌سازی‌ها برای هم برق و هم نفت در اقتصاد نروژ دامنه‌ای از اثرات بازگشتی به دست امد که از متوسط تا زیاد و حتی اثرات معکوس را شامل می‌شود. به هر رو نتایج الگو نشان می‌دهد در صورتی که ملاحظات اقتصاد کلان خاصی لحاظ شود اثرات بازگشتی می‌تواند کاهش یابد. نویسندگان نشان می‌دهند که کشش‌های جانشینی بالاتر همانطور که الگوهای رشد می‌گویند همراه با اثرات بازگشتی بالاتر نیست.

1. Washida
2. Grepperud and Rasmussen

مقاله کسلر و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از الگوسازی تعادل عمومی جهانی، اثرات بازگشتی افزایش کارایی در آلمان و اثر سرریز آن بر اقتصاد بین‌الملل را بررسی کرده است و دریافته است که با افزایش کارایی تولید در آلمان، مزیت رقابتی این کشور ایجاد می‌کند که سبب می‌شود اثرات بازگشتی در سطح جهانی کمتر از اثرات بازگشتی در سطح ملی است.

وانگ و وی (۲۰۱۹) اثر بازگشتی منطقه‌ای در چین را با استفاده از الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر برآورد کرده است و دریافته است اثرات بازگشتی اولیه مثبت است اما اثرات بازگشتی بخش تولید در بسیاری از مناطق منفی است. همچنین در این مقاله سناریو اصلاح یارانه‌های انرژی شبیه‌سازی شده است که نشان می‌دهد با حذف یارانه نفت و زغال سنگ، اثرات بازگشتی تولید افزایش می‌یابد.

۲-۳. مطالعات داخلی

منظور و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۰ اثرات بازگشتی افزایش کارایی در مصارف برق را ۱۴/۲ درصد برآورد کرده اند. این مقاله به سیاست‌گذاران توصیه می‌کند در تدوین راهبردهای بهینه سازی تولید و مصرف انرژی، اثرات بازگشتی و رفاهی مترتب بر آن را مدنظر قرار دهند.

خوشکلام (۱۳۹۳) با استفاده از روش تعادل عمومی محاسبه‌پذیر و بر مبنای داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۸۵ مرکز پژوهش‌های مجلس اثرات بازگشتی ناشی ازافزایش کارایی بنزین و گازوئیل را در بخش حمل ونقل بررسی کرده اند و نشان دادند که در حمل و نقل جاده‌ای اثرات بازگشتی بالاتر از سایر انواع حمل و نقل است. به‌طوری‌که با اثر بازگشتی بنزین و گازوئیل در این بخش به ترتیب ۲۷/۴۵ و ۲۵/۲۱ درصد برآورد شده است.

سلیمیان (۱۳۹۳) به ارزیابی اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر با استفاده از الگوی تعادل عمومی پویای بین زمانی پرداخته و دریافته که با افزایش کارایی

تنها در صنایع انرژی‌بر سبب ایجاد اثرات بازگشتی و کاهش تقاضای سوخت فسیلی می‌شود اما درصورت افزایش کارایی در تمام بخش‌ها، تقاضای سوخت فسیلی نه تنها کاهش نخواهد یافت بلکه افزایش می‌یابد.

کفایی و نژاد آقائیان (۱۳۹۵) به برآورد و مقایسه کارایی انرژی در چهار بخش اقتصاد ایران (کشاورزی، صنایع، حمل و نقل و خدمات) با استفاده از روش تابع تولید مرزی تصادفی ترانسلاگ و داده‌های دوره ۹۱-۱۳۷۹ پرداخته است، این مطالعه نشان می‌دهد که کارایی انرژی هر بخش در طول دوره مورد بررسی کاهش یافته است.

خوش‌کلام(۱۳۹۷) اثر بازگشتی بنزین را به اثرات جانشینی و تولیدی تجزیه کرده است و از الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر استفاده نموده است. وی دریافته است که اثربازگشتی در همه زیر بخش‌های اقتصادی مثبت است و بخش‌های تولید عوامل اصلی در شکل گیری اثرات بازگشتی دارند و سهم اصلی از اثر بازگشتی گستره اقتصاد را به خود اختصاص داده‌اند.

هادیان و بهزادی (۲۰۱۹) به منظور محاسبه اثرات بازگشتی با استفاده از الگوی CGE دریافته‌اند 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 نخواهد رسید.

خلاصه نتایج مطالعات گذشته با استفاده از الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه در جدول (۱) آمده است. آنچه که درخصوص اثرات بازگشتی مهم است تفکیک اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقم و اثرات بازگشتی کل است که مطالعات انجام شده در خصوص تخمین اثرات بازگشتی در ایران تاکنون به تجزیه اثرات بازگشتی براین اساس پرداخته نشده است تنها در مطالعه خوشکلام (۱۳۹۷) اثرات بازگشتی به اثر جانشینی و اثر تولیدی تفکیک شده است.

جدول (۱). نتایج مطالعات افزایش کارایی و اثرات بازگشتی الگوهای تعادل عمومی قابل محاسبه

پژوهشگر (سال)	کشور	نتایج
سمبوجا (۱۹۹۴)	کنیا	کارایی انرژی سبب افزایش بالای ۱۰۰ درصدی
دوفورناد (۱۹۹۴)	سودان	افزایش ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درصدی کارایی در سوخت چوب، سبب ۴۷ تا ۷۰ درصدی اثرات بازگشتی می‌شود.
واشیدا (۲۰۰۴)	ژاپن	افزایش ۱ درصدی کارایی انرژی سبب ۵۳ درصد اثرات بازگشتی می‌شود.
گریپرد و راسموسن (۲۰۰۴)	نروژ	افزایش دو برابری نرخ رشد بهره‌وری انرژی سبب اثرات بازگشتی کم برای نفت و بالای ۱۰۰ درصد برای برق شد.
هانلی و همکاران (۲۰۰۵)	اسکاتلند	افزایش ۵ درصدی کارایی انرژی در تمام بخش‌های تولیدی سبب اثرات بازگشتی بالای ۱۰۰ درصد می‌شود.
آلن (۲۰۰۷)	انگلستان	بهبود پنج درصدی کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی اثرات بازگشتی ۳۰ تا ۵۰ درصدی را به دنبال دارد.
کسلر و همکاران (۲۰۱۶)	آلمان	با افزایش ده درصدی افزایش کارایی انرژی در بخش تولیدات کارخانه‌ای، اثرات بازگشتی بخشی، تولیدی و اقتصاد گسترده به ترتیب ۵۶/۴۴، ۴۷/۶۳، ۵۱/۳۱ درصد بوده است و اثرات بازگشتی در سطح اتحادیه اروپا و جهان ۵۰/۲۲ و ۴۸/۱۱ درصد است.
منظور (۱۳۹۰)	ایران	به طور متوسط ۱۰ درصد افزایش کارایی بنزین و گازوئیل، سبب اثرات بازگشتی ۱۲/۹۵ و ۱۳/۷۹ درصد می‌شود.
خوشکلام (۱۳۹۳)	ایران	۱۰ درصد افزایش کارایی برق، به طور متوسط ۱۴/۲ درصد اثرات بازگشتی به همراه دارد.
سلیمیان (۱۳۹۵)	ایران	افزایش ۳/۱درصدی افزایش کارایی انرژی، سبب اثرات بازگشتی بین ۶۳ تا ۸۳ درصد در کوتاه مدت و ۸۰ تا ۱۰۱ درصد در بلندمدت خواهد شد.
خوشکلام (۱۳۹۷)	ایران	افزایش ۵ درصدی افزایش کارایی بنزین و سایر فرآورده‌های نفتی سبب اثرات بازگشتی ۲۳ و ۳۳ درصد می‌شود.

۴. ساختار الگو

الگوی که در این مقاله استفاده می‌شود الگوی پایه‌ای چند بخشی یک اقتصاد کوچک است. این نوع از الگوها برای تحلیل‌های انرژی متداول است و در مطالعاتی نظیر هیل[1] (۲۰۰۱)، هریسون و کریستروم[2] (۱۹۹۸)، بوهینگر و رادرفورد[3] (۱۹۹۷) همچنین

1. Hill
2. Harrison and Kriström
3. Böhringer and Rutherford

مطالعات داخلی منظور و همکاران(۱۳۸۹)، خوش‌کلام (۱۳۹۳) و سلیمیان (۱۳۹۶) استفاده شده است. اگرچه الگوهای اصلی چند بخشی اساسا مشابه هستند اما بررسی ساختار تولید و درنتیجه نحوه اثر گذاری افزایش کارایی انرژی بر بخش‌ها، همچنین ساختارهای تقاضا ممکن است با هم متفاوت باشد. بنابراین تصریح ویژگی‌های ذکر شده ضروری است. در این الگو ۱۱ بخش اقتصادی وجود دارد که هر کدام از این بخش یک کالا را تولید می‌کنند. بنابراین یک رابطه یک به یک بین فعالیت و کالا وجود دارد.

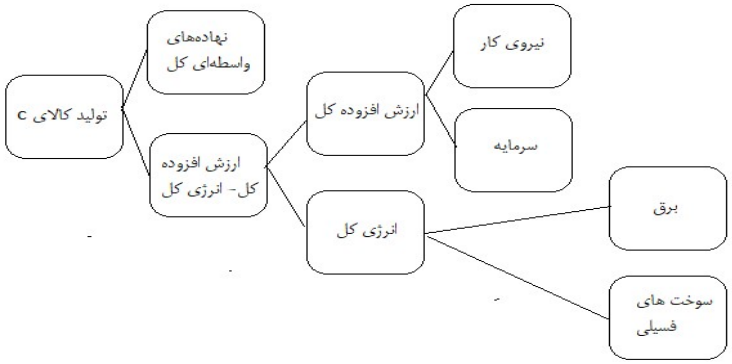
هر فعالیت تولیدی توسط تابع تولید کشش جانشینی ثابت[1] (CES) آشیانه‌ای الگوسازی شده است که در آن نیروی کار و سرمایه ارزش افزوده را خلق می‌کنند و این ارزش افزوده در قالب یک تابع CES با انرژی ترکیب می‌شود. طبق نظریات ساتو[2](۱۹۶۷)، عامل تولید جداشده، بایستی دارای کشش جانشینی کمتری نسبت به دو عامل دیگر باشد(که فرض اساسی تابع تولید می‌باشد) با این فرض ساتو نهاده‌های سرمایه و نیروی کار را با هم و مواد اولیه را به صورت جداگانه در تابع CESتعمیم یافته در نظر می‌گیرد. براین اساس در این قسمت به منظور بیان ریاضی با توجه به مطالعات قبلی[3] عوامل L (نهاده نیروی کار) و k (نهاده سرمایه) را با هم و عامل E (نهاده انرژی) را به صورت جداگانه مد نظر قرار می‌دهیم.

انرژی نیز یک تابع CES از برق و سوخت‌های فسیلی است. در سطح اول تولید نیز ترکیب سرمایه-انرژی- نیروی کار توسط تابع لئونتیف با نهاده‌های واسطه‌ای ترکیب می‌شود. محصول تولید شده هر فعالیت بین استفاده داخلی و صادرات تحت تابع کشش ثابت انتقال CET تخصیص داده می‌شود. بازار صادراتی نیز فرض می‌شود همگن است گویا تنها یک بازار جهانی برای یک کالا وجود دارد و درنتیجه یک قیمت جهانی را می‌توان

1. Constant elasticity function
2. Sato
۳. مطالعات زیادی به مکمل بودن انرژی و سرمایه و جانشینی نیروی کار و سرمایه پرداختند که از آن جمله می‌توان به مطالعه کازرانی باعنوان " برآورد کشش جانشینی بین نهاده‌های تولید در صنایع ایران"اشاره نمود.

متصور بود. همچنین تولید داخلی و واردات در قالب یک تابع CES که تابع آرمینگتون[1] شناخته می‌شود با یکدیگر تلفیق می‌شود و عرضه کل محصول را شکل می‌دهند.

سه نهاد اصلی در این الگو در نظر گرفته شده است خانوار که به دو دسته خانوار شهری و روستایی تفکیک شده، دولت و شرکت‌ها. فرض می‌شود درآمد خانوارها از محل فروش نیروی‌کار، سرمایه و دریافتی‌های انتقالی از دیگر نهادها بدست می‌آید. درآمدهای شرکت‌ها نیز شامل سهم درآمد سرمایه‌ای آن‌ها و انتقالات دریافتی از سایر نهادها است. فرض می‌شود که دولت از محل مالیات بر درآمد خانوارها و مالیات بر درآمد شرکت‌ها، مالیات بر کالاها و خدمات و مالیات بر واردات و سایر مالیات‌ها و همچنین درآمد سرمایه‌ای و انتقالات از سایر نهادها، درآمد کسب می‌کند. در بخش دنیای خارج فرض می‌شود درآمدهای این بخش شامل دریافتی‌ها بابت ارزش واردات، درآمد سرمایه از محل انتقالات نهادهای داخلی بوده و در مقابل، مخارج دنیای خارج دربرگیرنده ارزش صادرات و انتقالات به نهادهای داخلی است. تفاوت بین دریافتی‌ها و پرداخت‌های خارجی، پس‌انداز بخش خارجی نامیده می‌شود که برابر با ارزش تراز حساب تجاری است. مجموعه معادلات و متغیرهای به کار گرفته شده در الگو در ضمیمه ۱ آورده شده است.



شکل (۱). ساختار تولید در الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Armington

۵. داده‌ها و کالیبراسیون

برای کالیبراسیون الگو به مجموعه‌ای از اطلاعات و پارامترهای توابع تولید، مصرف نیاز داریم که در ذیل مراحل به دست آوردن این اطلاعات ارائه می‌گردد.

پایگاه اطلاعاتی الگو، ماتریس حسابداری اجتماعی ۷۱ بخشی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس است. که بعد از تجمیع محصولات/رشته فعالیت‌ها، بخش تولید به ۱۲ زیر بخش اصلی کشاورزی، برق، سوخت فسیلی، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی، 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. برای انتخاب کشش‌ها در این مطالعه، کلیه معادلات تعادل عمومی مورد بررسی قرار گرفته و از مطالعات منظور (۱۳۸۹)، خوشکلام (۱۳۹۳) و خیابانی (۱۳۹۲) استفاده شده است. دلیل انتخاب مقالات ذکر شده، شباهت ساختار لایه‌ای تولید مقاله حاضر با مقالات مذکور است.

جدول (۲). کشش‌های استفاده شده در ساختار لایه‌ای تولید

	کشش جانشینی نیروی کار و سرمایه	کشش جانشینی نیروی کار- سرمایه با نهاده انرژی
کشاورزی	۰/۲۲	۰/۲۳
برق*	۰/۶۸	۰/۵۱
سوخت‌های فسیلی	۰/۳۳	۰/۹۳
صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۰/۸۲	۰/۲۱
تولید منسوجات	۰/۴۳	۰/۲
تولید مواد و محصولات شیمیایی	۰/۸۲	۰/۶
سایر محصولات کانی غیر فلزی	۰/۹	۰/۵۴
تولید فلزات اساسی	۰/۸۴	۰/۶۶
تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری	۰/۳۲	۰/۳۴
سایر صنایع*	۰/۶۸	۰/۵۱
حمل و نقل*	۰/۶۸	۰/۹۲
سایر خدمات*	۰/۶۸	۰/۵۱

منبع: منظور (۱۳۸۹)، خوشکلام (۱۳۹۳)، خیابانی (۱۳۹۲)

کشش‌های استفاده شده از مطالعه خیابانی (۱۳۹۴) برای گروه فعالیت برق، سایر صنایع، حمل و نقل و سایر خدمات از مطالعه خیابانی (۱۳۹۲) استفاده شده است.

۶. یافته‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج

هدف از انجام این پژوهش مقایسه اثرات افزایش کارایی انرژی در فعالیت‌های مختلف اقتصادی و مقایسه افزایش کارایی در این بخش‌ها است. به عبارتی افزایش کارایی در هر بخش اقتصادی در دو حالت افزایش کارایی برق و افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی صورت می‌گیرد و اثرات بخشی، تولیدی و گسترده محاسبه می‌شود. جدول (۳) اثرات بازگشتی را در سطح بخشی، کلان و بازگشتی مقایسه می‌کند.

براساس خروجی الگو، یک درصد افزایش کارایی برق به طور متوسط سبب ۹۰/۱درصد اثرات بازگشتی بخشی می‌شود همچنین افزایش یک درصدی کارایی سوخت‌های فسیلی ۷۲/۷ درصد اثرات بازگشتی بخشی به دنبال دارد. افزایش کارایی انرژی (اعم از برق و یا سوخت‌های فسیلی) اثرات بازگشتی متفاوتی در رشته فعالیت‌های مختلف چه در سطح بخشی و چه در سطح گسترده اقتصاد به دنبال دارد. به نظر می‌رسد هرچه صنعتی انرژی برتر باشد اثرات بازگشتی بیش‌تری دارد تا جایی که در رشته فعالیت " تولید مواد و محصولات شیمیایی" اثرات بازگشتی بخشی برق و سوخت‌های فسیلی به ترتیب ۱۰۱/۳و ۱۲۳/۸ درصد است و اثرات معکوس مشاهده می‌شود، اما یک استثنا وجود دارد و آن هم افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی در رشته فعالیت حمل و نقل با ۱۶/۸ درصد کمترین اثرات بازگشتی دارد که در مطالعه خوشکلام (۱۳۹۳) نیز اثر بازگشتی افزایش کارایی بنزین و گازوئیل به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۳/۴ درصد برآورد شده است.

تفاوت اثر بازگشتی بخشی و اثر بازگشتی تولید چندان قابل ملاحظه نیست اما در صورت افزایش کارایی انرژی (اعم از برق و سوخت‌های فسیلی) اثرات بازگشتی با درنظر گرفتن تغییرات مصرف انرژی در تمام فعالیت‌های تولیدی کمتر از اثرات بازگشتی بخشی

است. در اثرات بازگشتی بخشی فقط تغییر مصرف انرژی همان بخشی که شوک مصرف انرژی داده شده است محاسبه می‌شود.

جدول (۳). مقایسه اثرات بازگشتی یک درصد افزایش کارایی در سطح بخشی، در سطح کلان و اثرات بازگشتی کل اقتصاد در افزایش کارایی انرژی دربخش‌های مختلف اقتصادی

دسته بندی فعالیت‌ها	افزایش کارایی برق			افزایش‌کارایی‌سوخت‌های‌فسیلی		
	اثر بازگشتی بخشی	اثر بازگشتی تولید	اثر بازگشتی گسترده	اثر بازگشتی بخشی	اثر بازگشتی تولید	اثر بازگشتی گسترده
کشاورزی	۹۷/۹	۹۷/۹	۹۷/۹	۷۹/۹	۷۹/۸	۷۹/۸
صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۹۳/۱	۹۳	۹۳	۸۷/۹	۸۷/۷	۸۷/۷
سایر محصولات کانی غیر فلزی	۸۲/۷	۸۲/۷	۸۲/۷	۶۸/۱	۶۸	۶۸
سایر صنایع	۸۲/۳	۸۲/۲	۸۲/۲	۷۱	۷۰/۳	۷۰/۳
برق	۷۵/۷	۷۵/۲	۷۵/۲	۹۲/۳	۹۱/۵	۹۱/۵
تولید منسوجات	۸۸/۷	۸۸/۶	۸۸/۶	۹۳/۵	۹۳/۴	۹۳/۴
تولید فلزات اساسی	۷۳/۷	۷۳/۲	۷۳/۲	۹۷/۷	۹۷/۲	۹۷/۲
حمل و نقل	۹۹/۹	۹۹/۶	۹۹/۶	۲۷/۷	۲۷/۷	۲۷/۸
سوخت‌های فسیلی	۹۶/۵	۹۶	۹۶	۱۶/۹	۱۶/۸	۱۶/۸
تولید مواد و محصولات شیمیایی	۱۰۱/۳	۱۰۰/۸	۱۰۰/۸	۱۲۳/۸	۱۲۳/۳	۱۲۳/۳
تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری	۹۷/۷	۹۷/۷	۹۷/۷	۷۵/۲	۷۵/۱	۷۵/۱
سایر خدمات	۹۱/۷	۹۱/۹	۹۱/۹	۵۶/۸	۵۶/۷	۵۶/۷
متوسط	۹۰/۱	۸۹/۹	۸۹/۹	۷۲/۷	۷۲/۵	۷۲/۵

منبع: یافته‌های پژوهش

برای اطمینان از نتایج الگو، در ادامه تحلیل حساسیت نتایج به دست آمده نسبت به تغییر کشش جانشینی برق و سوخت‌های فسیلی پرداخته می‌شود. نتایج این تحلیل حساسیت در جدول (۴) آمده است که نشان می‌دهد با تغییر کشش جانشینی ۲۰ درصد

بالاتر و ۲۰ درصد پایین‌تر از کشش جانشینی نیروی کار- سرمایه با انرژی که در جدول ۱ آمده است، میزان متوسط اثرات بازگشتی برای برق به ترتیب بین ۸۷/۷ تا ۹۳/۴ درصد و برای سوخت‌های فسیلی از ۷۱/۶ تا ۷۷/۴ درصد نوسان می‌کند که چندان قابل اعتنا نیست.

جدول (۴). تحلیل حساسیت اثرات بازگشتی بخشی افزایش کارایی
در بخش‌های مختلف اقتصادی نسبت به کشش جانشینی انرژی با سرمایه و کار

فعالیت	تحلیل حساسیت اثرات بازگشتی افزایش کارایی برق			تحلیل حساسیت اثرات بازگشتی افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی		
	حالت پایه	۲۰ درصد افزایش کشش	۲۰ درصد کاهش کشش	حالت پایه	۲۰ درصد افزایش کشش	۲۰ درصد کاهش کشش
کشاورزی	۷۹/۹	۹۷/۵	۹۸/۳	۷۹/۹	۷۶/۲	۸۶/۵
صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۹۳/۱	۹۱/۳	۹۴/۳	۸۷/۹	۸۴/۷	۹۰/۲
سایر محصولات کانی غیرفلزی	۸۲/۷	۸۱/۸	۸۶/۱	۶۸/۱	۶۱/۴	۷۳/۸
سایر صنایع	۸۲/۳	۷۸/۷	۸۵/۹	۷۱/۰	۶۵/۰	۷۷/۰
برق	۷۵/۷	۷۱/۹	۸۰/۸	۹۲/۳	۶۳/۵	۷۵/۴
تولید منسوجات	۸۸/۷	۸۶/۴	۹۱/۱	۹۳/۵	۹۲/۲	۹۴/۹
تولید فلزات اساسی	۷۳/۷	۶۷/۲	۷۷/۵	۷۹/۷	۷۴/۸	۸۲/۸
حمل و نقل	۹۹/۹	۹۸/۶	۱۰۰/۲	۲۷/۷	۱۱/۷	۴۱/۷
سوخت‌های فسیلی	۹۶/۵	۹۶/۳	۱۰۱/۲	۱۶/۹	۹۸/۲	۲۷/۶
تولید مواد و محصولات شیمیایی	۱۰۱/۳	۱۰۰/۸	۱۱۴/۰	۱۲/۸۳	۱۲۰/۴	۱۳۲/۶
تولید وسائل نقلیه و تریلر موتوری	۹۷/۷	۹۷/۲	۹۸/۲	۷۵/۲	۶۹/۸	۸۰/۷
سایر خدمات	۹۱/۷	۸۵/۱	۹۳/۷	۵۶/۸	۵۰/۸	۶۵/۴
متوسط	۹۰/۱	۸۷/۷	۹۳/۴	۷۲/۷	۷۱/۶	۷۷/۴

منبع: یافته‌های پژوهش

۷. نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی

بهبود کارایی انرژی یکی از ساز و کارهای اصلی کاهش وابستگی به انرژی و تحقق اهداف توسعه پایدار و امنیت عرضه انرژی است اما افزایش در کارایی انرژی، قیمت انرژی براساس

واحدهای کارایی را کاهش می‌دهد که موجب می‌شود کاهش مصرف انرژی مورد انتظار محقق نشده و اثرات بازگشتی رخ دهد. بنابراین اثربخشی سیاست افزایش کارایی بر کاهش مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

در این پژوهش اثرات افزایش کارایی انرژی (برق و سوخت فسیلی) در ایران با استفاده از الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر محاسبه شده که برای این کار از داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌ها استفاده شده است و اثرات بازگشتی به اثرات بازگشتی بخشی، تولید و کل تجزیه شده است. براساس این مطالعه با افزایش یک درصدی افزایش کارایی برق و سوخت فسیلی به ترتیب اثرات بازگشتی ۹۰/۱ و ۷۲/۷ درصدی مشاهده شده است. بنابراین بخش عظیمی از اثرات مطلوب افزایش کارایی بر کاهش مصرف خنثی شده است. نتایج حاصل از تخمین اثرات بازگشتی با مطالعه سلیمیان (۱۳۹۵) نزدیک است که در آن اثرات بازگشتی را در کوتاه‌مدت ۶۳ تا ۸۳ و در بلندمدت ۸۰ تا ۱۰۱ درصد برآورد کرده است.

نتایج الگو حاکی از آن است اثر بازگشتی بخشی و اثر بازگشتی تولید اختلاف معناداری ندارند اما اثرات بازگشتی تولید که تغییر مصرف انرژی در تمام فعالیت‌های تولیدی است از اثرات بازگشتی بخشی کمتر است. همچنین اثرات بازگشتی کل که درآن واکنش خانوارها به تغییرات کارایی انرژی تولید است نیز مشابه اثرات بازگشتی تولید است که نشان‌دهنده واکنش بسیار جزئی خانوار به تغییرات کارایی انرژی در تولید است. درصد تغییرات مصرف خانوار اعم از خانوار شهری و روستایی در دو حالت افزایش کارایی در برق و افزایش کارایی در سوخت‌های فسیلی بسیار ناچیز و در حدود ۰/۰۰۰۲و ۰/۰۰۳ درصد است به عبارت دیگر خانوار به تغییرات کارایی انرژی که در بخش‌های تولیدی رخ داده واکنش نشان نداده است. به همین رو اثرات بازگشتی کلان با اثرات بازگشتی بخش تولید تفاوت بسیار اندکی دارند. البته در مقاله کسلر (۲۰۱۶) نیز که برای اقتصاد آلمان است نیز چنین پدیده‌ای مشاهده می‌شود البته برای اقتصاد آلمان تفاوت اثر بازگشتی تولید و

اثرات بازگشتی گسترده که مربوط به رفتار خانوار است در حدود ۴ درصد برآورد شده است. شاید بتوان دلیل اصلی عدم تغییر مصرف خانوار را سهم بسیار پایین انرژی در مخارج خانوار (حدود ۴ درصد) دانست که سبب شده است در صورت افزایش کارایی انرژی که به نوعی کاهش در قیمت ضمنی انرژی است رفتار خانوار تغییر نکند.

به نظر می‌رسد اگر سیاستگذاران به دنبال سیاست کاهش مصرف انرژی و آلایندگی در صنایع هستند باید اثرات بازگشتی را به عنوان عامل خنثی کننده سیاست افزایش کارایی در نظر بگیرند. بهتر است سیاست‌گذاران همزمان با سیاست افزایش کارایی، سیاست‌های قیمتی را به منظور کنترل اثرات بازگشتی اعلام کنند چراکه یکی از کانال‌های اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی، کاهش دادن قیمت ضمنی خدمات انرژی است و با افزایش قیمت‌ها (از طریق کاهش یارانه انرژی) عکس‌العمل بنگاه‌های اقتصادی به کاهش ضمنی قیمت را محدود کنند.

ضمیمه (۱). معادلات الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه

بلوک قیمت

$PM_C = PWM_C * EXR$	۱
$PE_C = PWE_C * EXR$	۲
$PDD_C = PDS_C$	۳
$PQ_C * QQ_C = PDD_C * QD_C + PM_C * QM_C$	۴
$PX_C * QX_C = PDS_C * QD_C + PE_C * QE_C$	۵
$PINTA_C = \sum_{NEN} PQ_{NEN} * ica_{nen.c}$	۶
$PX_C * (1 - ta_c) * QA_C = PKLE_C * QKLE_C + \sum_{NEN} QINT_{NEN.C} * PQ_{EN} + PM_C * QM_C$	۷
$(1 - ta_c) * QA_C = QVA_C + QINTA_C + QM_C$	۸
$CPI = \sum_{CD} cwts_C * PQ_C$	۹
$DPI = \sum_{CD} dwts_{CD} * PDS_{CD}$	۱۰

بلوک تولید

$$QX_c = \text{alpha}A_C[deltaA_C * QKLE_C{}^{rhoA_C} + (1 - deltaA_C) * QINTA_C{}^{-rhoA_C}]^{-1/rhoA_C} \quad ۱۱$$

$$\frac{QKLE_C}{QINTA_C} = [\frac{deltaA_C}{1-deltaA_C} * \frac{PINTA_C}{PKLE_C}] \quad ۱۲$$

$$PX_C * QX_C = PKLE_C * QKLE_C + PINTA_C * QINTA_C \quad ۱۳$$

$$\text{Q}KLE_C = \text{alphaKLE}_C * \left(deltaKLE_C * QVA_C{}^{-rhokle_C} + (1 - deltaKLE_C) * \text{Q}EN_C\right)^{-1/rhokle_C} \quad ۱۴$$

$$\text{Q}VA_C = \text{Q}EN_C * [\frac{deltaKLE_C}{1-deltaKLE_C} * \frac{PEN_C}{\text{P}VA_C}]^{\frac{1}{1+rhokle_C}} \quad ۱۵$$

$$QN_{EN.C} = QEN_C * [\frac{PN_{EN.C}}{PEN_C} * \frac{(\text{alpha}EN_C)^{rhoEN_C}}{deltaEN_{EN.C}} * (\frac{1}{\eta_{EN.C}})^{rhoEN_C}]^{\frac{-1}{1+rhoEN_C}} \quad ۱۶$$

$$PKLE_C * QKLE_C = PVA_C * QVA_C + PEN_C * QEN_C \quad ۱۷$$

$$\text{Q}VA_C = \text{alpha}VA_C * \left(\sum_F deltaVA_C * QF_{F.C}{}^{rhova_C}\right)^{-1/rhova_C} \quad ۱۸$$

$$\text{Q}EN_C = \text{alpha}EN_C * \left(\sum_{EN} deltaEN_C * (\frac{1}{\eta_{EN.C}} * QN_{EN.C})^{-rhoEN_C}\right)^{-1/rhoEN_C} \quad ۱۹$$

$$PEN_C * QEN_C = \sum_{EN} PN_{EN.C} * QN_{EN.C} \quad ۲۰$$

$$WF_F * wfdist_{F.C} = PVA_C * QVA_C * (\sum_F \text{deltaVA}_{F.C} * QF_{F.C}{}^{-rhoVA_C})^{-1} * \text{deltaVA}_{F.C} * QF_{F.C}{}^{-rhoVA_C-1} \quad ۲۱$$

$$QINT_{NEN.C} = ica_{nen.c} * QINTA_C \quad ۲۲$$

بلوک تجارت

$$QX_C = alphat_C * (deltat_c * QE_C{}^{rhot_c} + (1 - deltat_C) * QD_C{}^{rhot_c})^{1/rhot_c} \quad ۲۳$$

$$QE_C = QD_C * \left(\frac{PE_C}{PDS_C}\right) * (\frac{1-deltat_C}{deltat_C})^{1/(rhot_c-1)} \quad ۲۴$$

$$QQ_C = alphaq_C * (deltaq_c * QM_C{}^{-rhoq_c} + (1 - deltaq_C) * QD_C{}^{-rhoq_c})^{-1/rhoq_c} \quad ۲۵$$

$$QM_C = QD_C * \left(\frac{PDD_C}{PM_C}\right) * (\frac{1-deltaq_C}{deltaq_C})^{1/(rhoq_c+1)} \quad ۲۶$$

بلوک موسسات

$$\text{YF}_\text{F} = \sum_\text{C} \text{WF}_\text{F} * \text{wfdist}_\text{F.C} * \text{QF}_\text{F.C} \quad ۲۷$$

$$YIF_{INSD.F} = shif_{INSD.F} * YF_F \quad ۲۸$$

$$YI_{INSDNG} = \sum_F YIF_{INSDNG.F} + \sum_{INSDNG} TRII_{INSDNG.INSDNG} + trnsfr_{INSDNG.GOV} * CPI + trnsfr_{INSDNG.ROW} * EXR \quad ۲۹$$

$$EH_H = (1 - \sum_{INSDNG} shii_{INSDNG.H}) * (1 - MPS_H) * (1 - TINS_H) * YI_H \quad ۳۰$$

$$TRII_{INSDNG.INSDNG} = shii_{INSDNG.INSDNG} * (1 - MPS_{INSDNG}) * (1 - TINS_{INSDNG}) * YI_{INSDNG} \quad ۳۱$$

$$PQ_C * QH_{C.H} = PQ_C * gammam_{C.H} + betam(C.H) * (EH_H - \sum_C PQ_C * gammam_{C.H}) \quad ۳۲$$

$$QINV_C = IADJ * qbarinv_C \quad ۳۳$$

$$QG_C = GADJ * qbarg_C \quad ۳۴$$

$$YG = \sum_F YIF_{GOV.F} + \sum_{INSD} tins_{INSDNG} * YI_{IMSDNG} + EXR * trnsfr_{gov.ROW} \quad ۳۵$$

$$EG = \sum_C PQ_C * QG_C + \sum_{INSD} trnsfr_{INSDNG.gov} \quad ۳۶$$

بلوک قیود الگو

$$\sum_C pwm_c * QM_C + \sum_F trnsfr_{ROW.F} + \sum_{INSD} trnsfr_{ROW.F} + \quad ۳۷$$

$$GSAV = YG - EG \quad ۳۸$$

$$\sum_{i \epsilon INSDNG} (MPS_i * (1 - tins_i) * YI_i + GSAV + FSAV = \sum_C PQ_C * QINV_C \quad ۳۹$$

$$QA_C = \sum_H QH_{H.C} + QINV_C + QG_C + \sum_C QINT_C \quad ۴۰$$

$$\sum_C QF_{F.C} = QFS_F \quad ۴۱$$

منابع:

- Brookes, L. (1990). The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution. *Energy Policy*, 18, 199-201.
- Dufournaud, C.M., Quinn, J.T. & Harrington, J.J. (1994). An applied general equilibrium (AGE) analysis of a policy designed to reduce the household consumption of wood in the Sudan. *Resource and Energy Economics*, 16, 69-90.
- Evans, J. & Haunt, L. (2009). *International Handbook on the Economics of Energy*. Edward Elgar Publishing; 12764.
- Greening, L., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy Efficiency and Consumption-The Rebound Effect – A Survey. *Energy Policy*, 28, 389-401.
- Grepperud, S. & Rasmussen, I. (2004), A general equilibrium assessment of rebound effects. *Energy Economics*, 26, 261-282.
- Hanley N., McGregor, P.G., Swales, J.K. & Turner K.(2009). Do increase in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? *Ecol Econ*, 68, 692–709.
- Harrison, G. W, & Kriström, B. (1998), Carbon Emissions and the conomic Costs of Transport Policy in Sweden, in Roson, R, and Small, K. A. (eds). *Environment and Transport in Economic Modelling*, Amsterdam: Kluwer Academic Press.
- Herring, H. (1999). Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences. *Applied Energy*, (63) 209-226.

- Hill, M. (2001). Essays on environmental policy analysis: computable general equilibrium approaches applied to Sweden.
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question-Can Britain Survive*. First published in 1865, reprinted by Macmillan in 1906. (Relevant extracts appear in Environment and Change, February 1974.)
- Kafaie, M., Nejadaghaeianvash, P. (2016). Estimation and Comparison of Energy Efficiency in Iran's Economic Sectors. *Journal of Economics and Modeling*, 7(27), 97-122 (In Persian).
- Khazzoom, D.J. (1980). Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances, *Energy Journal*, 1, 21-39.
- Khiabani, N. (2017). A Dynamic CGE Model for Evaluation of Energy Policies: Evidence from Iran. *Iranian Journal of Economic research*, 21(69), 1-46. doi: 10.22054/ijer.2017.7502 (In Persian).
- Khiabani,N.(2008). Computable General Equilibruim (CGE) study of the impact of an increase in the price if energy source on the Iranian economy. *Energy Economic Review*, 5(16), 1-34 (In Persian).
- Khoshkalam Khosroshahi, M. (2014). Investigating the Rebound Effects from Improved Efficiency of Gasoil and Gasoline in Iran by Focusing on Transportation Sector: Computable General Equilibrium Approach. Iranian *Energy Economics*, 3(11), 159-194 (In Persian).
- Khoshkalam khosroshahi, M. (2018). Decomposition of rebound effect of improving gasoline consumption efficiency into substitution and output effects with emphasis on transportation sector: CGE model. *Economic Development Policy*, 6(1), 49-67. doi: 10.22051/edp.2019.25609.1205 (In Persian).
- Koesler, S. Swales K. & Turner K.(2016) ,International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany. *Energy Economics*, 54, 444–52.
- Ningjing Wang & Weixian Wei (2019) China's regional rebound effect based on modelling multi-regional CGE. *Applied Economics*, 51, 53, 5712-5726.
- Salimian, Z., Bazzazan, F., Mousavi, M. (2017). Rebound Effects of Improved Energy Efficiency in Energy Intensive Industries: An Intertemporal Dynamic General Equilibrium Model. *Iranian Energy Economics*, 6(21), 163-200. doi: 10.22054/jiee.2017.7976 (In Persian).
- Semboja, H.H.H. (1994). The effects of an increase in energy efficiency on the Kenyan economy. *Energy Policy*, 22(3), 217-225.
- Sorrell, S. & Dimitriopolous, J. (2007). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65 (3), 636-649.
- Turner K. (2009). Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy. *Energy Econ*, 31, 648–66.

- Van Es, G., De Groot, A., Velthuisen, J., & van Leeuwen, M., (1998). A description of the SEO Computable General Equilibrium Model. SEO Report, 477. Amsterdam, Foundation for Economic Research.
- Washida, T. (2004). *Economy-wide model of rebound effect for environmental efficiency*. Topic 1-Opening Session, 292.
- Zhou, M., Liu, Y., Feng, S., Liu, Y., & Lu, Y. (2018). Decomposition of rebound effect: An energy-specific, general equilibrium analysis in the context of China. *Applied Energy*, 221, 280-298.