

ارائه یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه برای تجزیه اثر بازگشتی حامل‌های انرژی در اقتصاد ایران

موسی خوشکلام خسروشاهی^{۱*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۷

چکیده

شواهد آماری مربوط به حامل‌های انرژی (که در تولید کالاها و خدمات و اجزای تقاضای نهایی مورد استفاده هستند)، نشان می‌دهند که مصرف حامل‌های انرژی در ایران نسبت به متوسط جهانی بیشتر بوده و از کارایی مصرف کمتری نیز برخوردارند بنابراین مدیریت تقاضای انرژی امری ضروری است. در بین روش‌های مدیریت تقاضای انرژی، بهبود کارایی از رویکردهای مهم در اقتصاد جهانی محسوب می‌شود. اهداف مقاله با فرض شوک ۵ درصد بهبود کارایی حامل‌های انرژی (زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی) در چارچوب مدل CGE مبتنی بر ماتریس حسابداری اجتماعی عبارت از (۱) برآورد اثر بازگشتی کل اقتصاد و اندازه‌گیری آن به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی (۲) اندازه‌گیری اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به تفکیک اثرات جانشینی و تولیدی هستند. روش انجام تحقیق مبتنی بر رویکرد دومرحله‌ای شامل تجزیه اثر بازگشتی اقتصاد به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی و همچنین تجزیه اثر بازگشتی بخشی به اثرات جانشینی و درآمدی است. نتایج حاکی است که اثر بازگشتی کل اقتصاد برای زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز به ترتیب برابر با ۳۴، ۳۰، ۲۶، ۲۳ و ۱۸ درصد بوده بنابراین به دنبال بهبود کارایی هر کدام از حامل‌های انرژی، ذخیره انتظاری انرژی محقق نمی‌شود. مطابق نتایج، بخش‌های با بیشترین وابستگی به حامل‌های انرژی، از بیشترین اثر بازگشتی نیز برخوردارند. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که بنگاه‌های اقتصادی در کوتاه‌مدت، برای آنکه بیشترین انتفاع را از بهبود کارایی حامل‌های انرژی داشته باشند از جانشینی بین حامل‌های انرژی با سایر نهاده‌ها بهره گرفته و توسعه ظرفیت‌های تولیدی را به دوره زمانی بلندمدت منتقل می‌کنند.

کلید واژه‌ها: اثر بازگشتی، مدل‌سازی اقتصادی، CGE، ارتقاء کارایی، حامل‌های انرژی.

طبقه‌بندی JEL: C23, C68, Q41.

۱. مقدمه

حامل‌های انرژی برای برطرف کردن نیازهای متعدد بخش‌های تولیدکننده کالاها و ارائه‌کننده خدمات (در قالب نهاده‌های واسطه‌ای) و همچنین خانوارها (در قالب کالاهای نهایی) ضروری هستند. حامل‌های انرژی دارای انواع مختلف شامل فرآورده‌های نفتی (بنزین، نفت سفید، گازوئیل، نفت کوره، گازهای مایع و سایر فرآورده‌ها)، زغال‌سنگ، برق و گاز طبیعی می‌باشند که هر کدام نیز موارد مصرف خاص خود را دارند. جدول (۱) نشان‌دهنده مصرف حامل‌های انرژی به تفکیک بخش‌های تولیدی و خانوارها است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، زغال‌سنگ تماماً توسط بخش صنعت و معدن مصرف می‌شود. بنزین به‌طور عمده در بخش حمل‌ونقل مصرف‌شده اما مصرف بسیار کمی نیز در بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن و سایر بخش‌ها دارد. بیشترین مصرف گازوئیل در بخش حمل‌ونقل است. انرژی الکتریسیته در تمامی بخش‌ها مصرف‌شده به‌طوری‌که بخش خانگی بیشترین سهم را دارد. گاز طبیعی نیز عمدتاً در بخش صنعت و معدن مصرف‌شده و بعد از بخش صنعت و معدن، بخش خانگی دارای بیشترین مصرف گاز طبیعی است.

جدول ۱: مصرف حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف (درصد)

جمع	سایر بخش‌ها	خانگی	صنعت و معدن	کشاورزی	حمل‌ونقل	حامل‌های انرژی/بخش
۱۰۰	-	-	۱۰۰	-	-	زغال‌سنگ
۱۰۰	۰/۱۸	-	۰/۱۲	۰/۰۰۶	۹۹/۷۴	بنزین
۱۰۰	۲۲/۶	۰/۲۶	۷/۷۴	۱۰/۳	۵۹/۱	گازوئیل
۱۰۰	۱۸/۸	۳۳/۵	۳۱/۵	۱۵/۹	۰/۳	برق
۱۰۰	۹/۵	۲۵	۶۰/۶	۰/۹	۴	گاز طبیعی

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴

آمار مصرف حامل‌های انرژی در کشور حاکی است، متوسط مصرف ایران در قیاس با متوسط جهانی بیشتر و در عین حال کارایی مصرف انرژی کشور نیز نسبت به جهان به مراتب پایین‌تر است. نمودار (۱) نشان‌دهنده مصرف حامل‌های انرژی کشور در مقایسه با متوسط جهانی در سال ۲۰۱۶ است ضمن اینکه شدت مصرف انرژی را که شاخصی از کارایی مصرف انرژی محسوب می‌شود نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مصرف بسیاری از حامل‌های انرژی در ایران نسبت به متوسط جهانی بیشتر بوده ضمن اینکه شدت مصرف انرژی در ایران (۷/۸ مگاژول/GDP) در قیاس با متوسط جهانی (۵/۱ مگاژول/GDP) به مراتب بیشتر است که حاکی از عدم کارایی مصرف حامل‌های انرژی در ایران است.



نمودار ۱: آمار مقایسه‌ای مصرف حامل‌های انرژی در ایران و جهان (سال ۲۰۱۶)

منبع: آمارنامه فرآورده‌های نفتی، آمار سازمان ملل و WDI

با عنایت به مطالب بالا که حاکی از بیشتر بودن مصرف حامل‌های انرژی در ایران و درعین‌حال کارایی پایین مصرف آن‌ها است بدیهی است که برای نزدیک‌شدن شاخص‌های مذکور به متوسط جهانی نیاز به مدیریت مؤثرتر تقاضای انرژی در کشور وجود دارد. ادبیات اقتصاد انرژی حاکی از آن است که تقاضای انرژی در دو قالب قابل مدیریت است که عبارتند از (الف) به‌کارگیری روش‌های قیمتی (ب) به‌کارگیری روش‌های غیرقیمتی. در روش‌های قیمتی تمرکز بر متغیر قیمت بوده و تلاش می‌شود تا از طریق شکل‌دهی تغییرات در این متغیر، مدیریت تقاضای انرژی شکل‌گیرد اما روش دیگر متمرکز بر رویکردهای غیرقیمتی بوده که به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. یکی از مهم‌ترین آن‌ها صرفه‌جویی انرژی است که به‌واسطه بهبود کارایی انرژی قابل تحقق است (باتاچاریا، ۲۰۱۱).

با توجه به اینکه بهبود کارایی انرژی از کانال مفهومی بنام اثر بازگشتی^۳ باعث می‌شود تا تغییرات واقعی تقاضای انرژی مغایر با تغییرات انتظاری تقاضای انرژی (قبل از بهبود کارایی) شود^۴ لذا در این مقاله تلاش می‌شود تا ضمن اندازه‌گیری اثر بازگشتی کل اقتصاد (اثر بازگشتی گسترده اقتصاد)، اثر بازگشتی به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی تجزیه شود. درعین‌حال تلاش می‌شود تا اثر بازگشتی مربوط به بخش‌های تولیدی نیز به اثرات جانشینی^۵ و تولیدی^۶ تجزیه شود. با توجه به نقش مهم حامل‌های انرژی زغال‌سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی در اقتصاد ایران، تمرکز مقاله بر

1. World Development Indicators
2. Battacharyya
3. Rebound Effect

۴. مفهوم اثر بازگشتی: به‌دنبال بهبود کارایی انرژی، انتظار بر این است که مصرف انرژی کاهش یابد اما چون بهبود کارایی انرژی منجر به کاهش قیمت مؤثر انرژی می‌شود لذا این احتمال وجود دارد که ذخیره واقعی انرژی (ناشی از بهبود کارایی) کمتر از حد مورد انتظار باشد و یا به‌عبارت‌دیگر، به‌دنبال بهبود کارایی انرژی شاهد افزایش در مصرف انرژی باشیم. این میزان افزایش در مصرف انرژی که ناشی از بهبود کارایی انرژی است را اثر بازگشتی گویند (باتاچاریا، ۲۰۱۱).

5. Substitution Effect
6. Output Effect

این حامل‌ها است^۱. برای دستیابی به اهداف مدنظر، روش انجام تحقیق شامل دو بخش است. در بخش اول به کمک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE)^۲، شوک بهبود کارایی ۵ درصد (به تفکیک حامل‌های انرژی) به مدل داده شده و اثر بازگشتی کل اقتصاد (به تفکیک حامل‌های انرژی) محاسبه می‌شود. در بخش دوم نیز با استفاده از خروجی‌های مدل CGE، اثر بازگشتی به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی محاسبه می‌شود. در ضمن تجزیه اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به تفکیک اثرات جانشینی و تولیدی نیز در بخش دوم روش انجام تحقیق قرار دارد. ادامه مقاله به این ترتیب است که در ابتدا مبانی نظری و سپس پیشینه تحقیق آورده شده است. در ادامه ضمن بیان روش انجام تحقیق، نتایج مدل ارائه و تحلیل شده است. در انتها نیز ضمن جمع‌بندی و نتیجه‌گیری، منابع ذکر شده‌اند.

۲. مبانی نظری اثر بازگشتی

با توجه به شباهت مبانی نظری اثر بازگشتی در مورد تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، در این بخش صرفاً مبانی نظری مربوط به تولیدکنندگان بیان شده و مبانی نظری مربوط به مصرف‌کنندگان نیز به طور مشابه است.

به دنبال بهبود کارایی انرژی، شکل‌گیری ذخیره انرژی قابل انتظار است (ذخیره انتظاری انرژی - EES^3) اما آنچه در واقعیت رخ می‌دهد تحت عنوان «ذخیره واقعی انرژی» نام‌گذاری می‌شود (ذخیره واقعی انرژی - AES^4) که لزوماً برابر با ذخیره انتظاری نیست. همین تفاوت بین ذخیره انتظاری و ذخیره واقعی انرژی تحت عنوان اثر بازگشتی (اثر بازگشتی کل) نام‌گذاری شده و به صورت زیر قابل اندازه‌گیری است.

$$RE = (EES - AES) / EES * 100 \quad (1)$$

سورل^۵ (۲۰۰۷) بیان می‌کند که عامل شکل‌گیری اثر بازگشتی، کاهش در قیمت مؤثر انرژی به دنبال بهبود کارایی است^۶. اثر بازگشتی به دو دسته اثر بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود که اثر بازگشتی مستقیم مربوط به فعل و انفعالاتی است که به دنبال بهبود کارایی انرژی در یک بخش خاص (مثلاً صنعت فولاد) روی می‌دهد و اثر بازگشتی غیرمستقیم مربوط به فعل و انفعالاتی است که به

۱. با توجه به اینکه سایر حامل‌های انرژی مثل نفت کوره عمدتاً صادر می‌شوند، لذا مد نظر قرار نگرفته‌اند.

2. Computable General Equilibrium

3. Expected Energy Saving

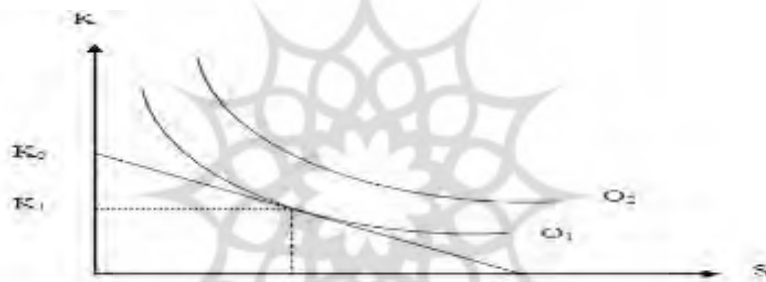
4. Actual Energy Saving

5. Sorrell

۶. این مکانیزم از کانال رابطه $\dot{P}_E = (\dot{P}_E) - \rho$ است که در آن \dot{P}_E رشد قیمت انرژی با واحد کارایی، \dot{P}_E رشد قیمت انرژی با واحد فیزیکی و ρ نرخ بهبود کارایی است.

دنبال بهبود کارایی انرژی (مثلاً در صنعت فولاد)، در سایر بخش‌ها (تمامی بخش‌ها غیر از صنعت فولاد مثل صنعت خودرو) رخ می‌دهد. برای تبیین مبانی نظری مربوط به یک تولیدکننده، فرض می‌شود که تولیدکننده با به کارگیری دو نهاد سرمایه (K) و کار مفید (S) اقدام به تولید می‌کند. کارایی انرژی (ε) عبارت از نسبت کار مفید به انرژی ($\varepsilon = S/E$) بوده و قیمت کار مفید (P_S) نیز از نسبت $P_S = P_E / \varepsilon$ به دست می‌آید که در آن P_E قیمت هر واحد انرژی (مثل ریال/لیتر) است.

نمودار (۲) نشان‌دهنده تبادل نهاده‌ها توسط یک تولیدکننده برای تولید کالا یا خدمت بوده بطوریکه O_1 و O_2 منحنی‌های تولید یکسان هستند و نشان‌دهنده ترکیبات مختلف از سرمایه و کار مفید برای حصول سطح مشخصی از تولید می‌باشند. خط S_0-K_0 خط هزینه یکسان بوده و معادله آن عبارت از $C = (P_K * K) + (P_S * S)$ است. ترکیب بهینه دو نهاد جایی تعیین می‌شود که منحنی تولید یکسان و خط هزینه یکسان مماس هستند. در این نقطه، ستانده در حداکثر خود بوده و نرخ نهایی جانشینی فنی بین دو نهاد برابر با نسبت قیمت آن‌هاست.



نمودار ۲: تبادل بین نهاده‌ها در تولید یک کالا یا خدمت

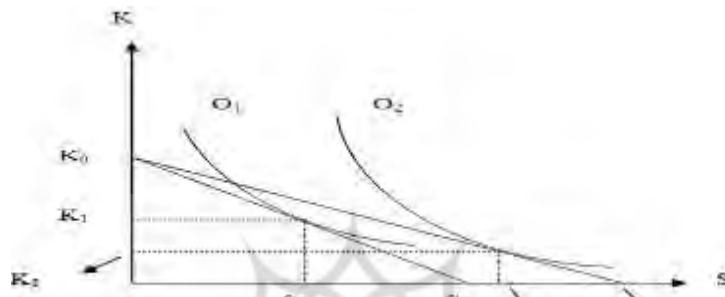
منبع: سورل (۲۰۰۷)

با فرض اینکه $E(s)$ مقدار مصرف انرژی مربوط به مقدار s از کار مفید باشد، مصرف اولیه انرژی برابر با $E(s_1)$ است. حال اگر بهبود برونزایی در کارایی وسیله تبدیل‌کننده انرژی رخ دهد آنگاه مصرف جدید انرژی (بعد از بهبود کارایی) برابر با $E^*(s_1)$ خواهد بود ($E^*(s_1) < E(s_1)$)؛ بنابراین درصد انتظاری ذخیره انرژی در نتیجه بهبود کارایی از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$EES = \frac{E(s_1) - E^*(s_1)}{E(s_1)} * 100 \quad (2)$$

۱. تولیدکننده بطور مستقیم از انرژی به‌عنوان یک نهاد استفاده نمی‌کند بلکه آنچه که تولیدکننده مورد استفاده قرار می‌دهد عبارت از خدمت انرژی (ES - Energy Service) است. خدمت انرژی از ترکیب انرژی (E) و وسایل تبدیل انرژی در اختیار تولیدکننده قرار گرفته و یکی از ویژگی‌های هر خدمت انرژی عبارت از کار مفید (S) حاصل از آن است که می‌توان آن را در کنار نهاد سرمایه به‌عنوان نهاد تولیدی در نظر گرفت.

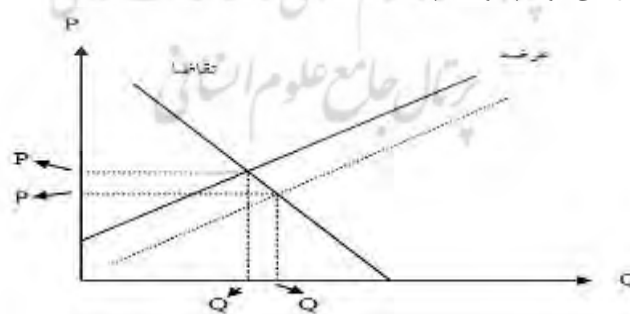
مطابق رابطه (۲)، ذخیره انرژی بیشتر از ذخیره واقعی آن برآورد می‌شود زیرا فرض بر این است که به دنبال بهبود کارایی، مصرف کار مفید (S) بدون تغییر بوده درحالی که واقعیت غیرازاین است. حال با فرض ثابت بودن قیمت اسمی انرژی (P_E)، بهبود کارایی انرژی باعث کاهش قیمت کار مفید شده ($P'_S < P_S$) و لذا در نمودار (۳) خط هزینه جدید $K_0 - S'_0$ حاصل می‌شود که در آن ترکیب بهینه نهاده‌ها در (S_2, K_2) تعیین می‌شود. جابه‌جایی به (S_2, K_2) باعث افزایش مصرف کار مفید و کاهش مصرف سرمایه شده، تولید نیز به سطح بالاتری افزایش می‌یابد.



نمودار ۳: تغییر اولیه در ترکیب نهاده‌ها و مقدار استاندارد به دنبال بهبود کارایی انرژی

منبع: سورل (۲۰۰۷)

تعدیلات بنگاه ممکن است در وضعیت نمایش داده در نمودار (۳) باقی نماند. نقطه بهینه (S_2, K_2) نشان‌دهنده وضعیتی است که ترکیب نهاده‌ها متناسب با مخارج C است اما هدف حداکثرسازی تولید مفید به هزینه نیست بلکه هدف حداکثرسازی سود است. با توجه به اینکه بهبود کارایی انرژی، تولیدکننده را قادر می‌کند تا همان سطح تولید را در قیمت‌های پایین‌تری تولید کند لذا در بازار رقابتی، جنگ قیمتی گسترش یافته و در بلندمدت هزینه متوسط تولید کاهش می‌یابد در نتیجه منحنی عرضه کل به راست منتقل می‌شود. (نمودار ۴).

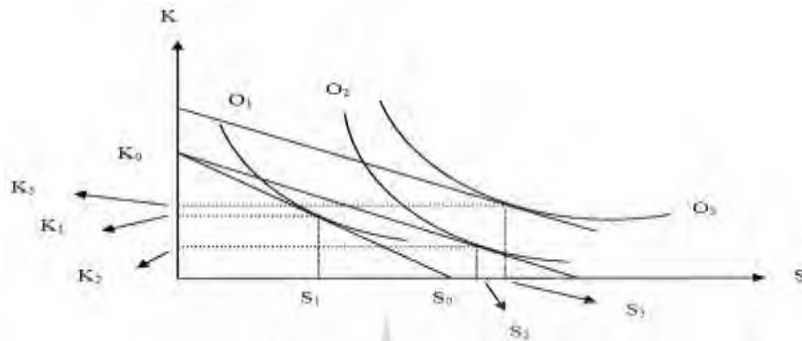


نمودار ۴: افزایش عرضه به دنبال بهبود کارایی انرژی

منبع: سورل (۲۰۰۷)

مطابق نمودار (۵)، منحنی تولید یکسان از O_2 به O_3 منتقل می‌شود که منجر به حصول تعادل نهایی در (S_3, K_3) خواهد شد؛ بنابراین ذخیره واقعی انرژی به صورت رابطه (۳) قابل اندازه‌گیری است.

$$AES = \frac{E(S_1) - E^*(S_3)}{E(S_1)} * 100 \quad (3)$$



نمودار ۵: تغییر در ترکیب نهاده‌ها و مقدار ستانده به‌دنبال بهبود کارایی انرژی (حداکثرسازی سود)

منبع: سورل (۲۰۰۷)

مصرف افزایش یافته کار مفید باعث خنثی شدن پتانسیل کاهش در مصرف انرژی (ناشی از بهبود کارایی انرژی) شده و لذا با توجه به رابطه (۱)، اثر بازگشتی (REB) به صورت زیر محاسبه می‌شود (سورل، ۲۰۰۷).

$$REB = \frac{EES - AES}{EES} * 100 = \frac{E^*(s_3) - E^*(s_1)}{E(s_1) - E^*(s_1)} * 100 \quad (4)$$

۳. پیشینه تحقیق

۳-۱. مرور برخی از مطالعات خارجی

جدول (۲) نشان‌دهنده برخی از جدیدترین مطالعات خارجی است که در ارتباط با اثر بازگشتی و در مورد حامل‌های مختلف انرژی و یا ترکیبی از حامل‌های مختلف انرژی انجام گرفته‌اند. قابل ذکر است که برآوردهای انجام‌شده بر حسب روش‌شناسی، کشور موردبررسی، نوع انرژی موردبررسی و غیره متفاوت است.

جدول ۲: مطالعات خارجی

نویسنده/نویسندگان	کشور مورد مطالعه	نوع حامل انرژی	روش شناسی	تعداد بخش‌ها/ دوره زمانی	نتایج تحقیق
توماس و آزدو ^۱ (۲۰۱۳)	آمریکا	انرژی مصرف‌شده در بخش مسکونی	داده ستانده	۴۲۸	اثر بازگشتی ۳۵ درصد
وانق ^۲ و همکاران (۲۰۱۴)	چین	مصرف برق در خانوارهای شهری	پانل دیتا	۲۰۱۰-۱۹۹۶	اثر بازگشتی کوتاه‌مدت ۷۲ درصد اثر بازگشتی بلندمدت ۷۴ درصد
اورا ^۳ و همکاران (۲۰۱۵)	آمریکا	مصرف انرژی در بخش مسکونی	پانل دیتا	۱۹۹۵-۲۰۱۱	اثر بازگشتی در بازه ۵۶ تا ۸۰ درصد
وی و لیو ^۴ (۲۰۱۷)	سطح جهانی	انرژی	تعادل عمومی	۱۱	اثر بازگشتی ۷۰ درصد
امجد ^۵ و همکاران (۲۰۱۸)	سوئد	برق و سایر سوخت‌ها	اقتصادسنجی	۲۰۰۸-۲۰۰۰	اثر بازگشتی ۱۰۰٪ وجود ندارد
جو ^۶ و همکاران (۲۰۱۸)	چین	زغال‌سنگ، برق، گاز، فرآورده‌های نفتی	تعادل عمومی	۱۳۵	متوسط اثر بازگشتی ۳۴ درصد

۲-۳. مرور برخی از مطالعات داخلی

جدول (۳) نشان‌دهنده برخی از جدیدترین مطالعات داخلی است که در ارتباط با اثر بازگشتی و در مورد حامل‌های مختلف انرژی انجام گرفته‌اند.

جدول ۳: مطالعات داخلی

نویسنده/نویسندگان	کشور مورد مطالعه	نوع حامل انرژی	روش-شناسی	تعداد بخش‌ها/ دوره زمانی	نتایج تحقیق
خوشکلام خسروشاهی (۱۳۹۳)	ایران	بنزین و گازوئیل	تعادل عمومی	۱۰	اثر بازگشتی بنزین ۱۲/۹۵ درصد اثر بازگشتی گازوئیل ۱۳/۷۹ درصد
دل‌انگیزان و همکاران (۱۳۹۶)	ایران	مصرف سوخت در حمل‌ونقل جاده‌ای	اقتصادسنجی	۱۳۹۳-۱۳۸۳	اثر بازگشتی بنزین ۶ درصد اثر بازگشتی گازوئیل ۲ درصد
سالم و همکاران (۱۳۹۶)	ایران	مصرف برق خانگی	AIDS	۱۳۹۴-۱۳۸۵	اثر بازگشتی ۸۱ درصد
شیرانی فخر (۱۳۹۶)	ایران	مصرف گاز طبیعی در صنعت	اقتصادسنجی	۱۳۹۲-۱۳۶۰	کشش کوتاه‌مدت ۳۰-/- درصد

1. Thomas and Azevedo
2. Wang
3. Orea
4. Wei and Liu
5. Amjadi
6. Zhou

نویسنده/نویسندگان	کشور مورد مطالعه	نوع حامل انرژی	روش-شناسی	تعداد بخش‌ها/ دوره زمانی	نتایج تحقیق
		تولید فلزات اساسی			کشش بلندمدت ۰/۷۹- درصد
سلیمیان و همکاران (۱۳۹۶)	ایران	سوخت‌های فسیلی	تعادل عمومی	۹	اثر بازگشتی در همه بخش‌های انرژی بر وجود دارد
دل‌انگیزان و همکاران (۱۳۹۷)	ایران	مصرف سوخت بخش حمل‌ونقل	اقتصادسنجی	۱۳۸۵-۱۳۹۴	اثر بازگشتی دارای روند همگرا و نزولی

با توجه به پیشینه تحقیق، نوآوری مقاله حاضر نسبت به مطالعات قبلی از جمله مطالعات داخلی را می‌توان به این شکل بیان کرد که (۱) در این مطالعه تلاش شده است تا گستره به‌کارگیری بخش‌های تولیدی نسبت به مطالعات قبلی بیشتر باشد تا نتایج واقع‌بینانه‌تری ارائه شود (۲) از تمامی حامل‌های انرژی شامل زغال‌سنگ، بنزین، گازوئیل، برق، گاز طبیعی و سایر فرآورده‌های نفتی استفاده شده است در حالی که هیچ‌کدام از مطالعات قبلی در کشور از کلیه حامل‌های انرژی به‌طور یکجا در قالب مدل تعادل عمومی استفاده نکرده‌اند. (۳) روش انجام تحقیق در قالب رویکرد دومرحله‌ای اتخاذ شده است بطوریکه تجزیه اثر بازگشتی کل اقتصاد در بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی و همچنین تجزیه اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به اثرات جانشینی و درآمدی محقق شود. (۴) شوک بهبود کارایی انرژی به تفکیک هر کدام از حامل‌های انرژی به مدل داده شده است در حالی که در مطالعات داخلی شوک بهبود کارایی به‌صورت ترکیبی بوده است.

۴. روش انجام پژوهش

با توجه به اهدافی که در مقاله حاضر دنبال می‌شود و همان‌طور که قبلاً نیز بیان گردید، روش انجام تحقیق شامل دو بخش است. بخش نخست طراحی مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه (CGE) مبتنی بر لافگرن و همکاران (۲۰۰۲)^۱ و اجرای مدل با اعمال شوک ۵ درصدی بهبود کارایی به تفکیک حامل‌های مختلف انرژی است. به دنبال حصول نتایج مربوط به بخش اول، بخش دوم مربوط به تجزیه اثر بازگشتی کل اقتصاد به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی است. همچنین تجزیه اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به اثرات جانشینی و تولیدی نیز در بخش دوم جای می‌گیرد.

بخش اول: مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه

برای طراحی مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه از پایه آماری مبتنی بر ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM)^۲ استفاده می‌شود. ماتریس حسابداری اجتماعی مورد استفاده در این مقاله مربوط به ماتریس

1. Lofgren

2. Social Accounting Matrix

سال ۱۳۸۷ تهیه شده توسط بانک مرکزی است. ماتریس مذکور به صورت ساخت و جذب^۱ بوده و مشتمل بر ۵۳ بخش تولیدی و ۱۱۲ کالا یا خدمت است. با توجه به هدف مقاله که مربوط به حامل‌های انرژی است، ماتریس مذکور تجمیع شده و ماتریس با ۱۵ بخش تولیدی و ۱۸ کالا یا خدمت به دست آمده است. خلاصه‌ای از اطلاعات ماتریس حسابداری اجتماعی در جدول (۴) آورده شده‌اند.^۲

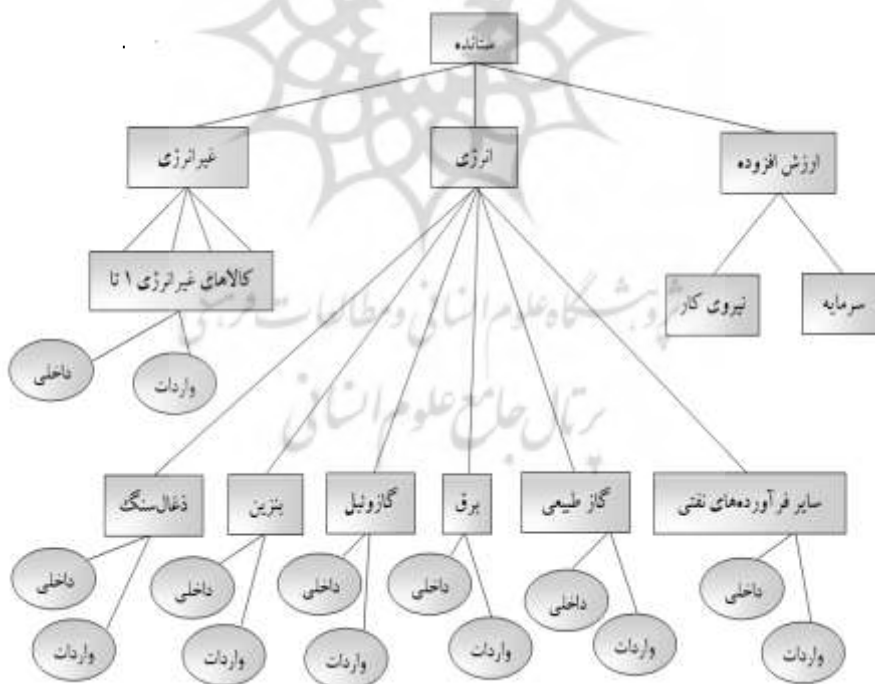
جدول ۴: اجزای ماتریس حسابداری اجتماعی - ۱۸*۱۵

ردیف	بخش‌های تولیدی	کالاها و خدمات
۱	کشاورزی و ...	محصولات کشاورزی و ...
۲	معادن	زغال سنگ سایر محصولات معدنی
۳	تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	محصولات غذایی و آشامیدنی‌ها
۴	تولید منسوجات	محصولات منسوجات
۵	تولید فرآورده‌های نفتی (پالایشگاه‌ها)	بنزین گازوئیل سایر فرآورده‌های نفتی
۶	تولید مواد و محصولات شیمیایی	محصولات شیمیایی
۷	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی	سایر محصولات کانی غیر فلزی
۸	تولید فلزات اساسی	فلزات اساسی
۹	تولید، انتقال و توزیع برق	برق
۱۰	جمع‌آوری، تصفیه و توزیع آب	آب
۱۱	تصفیه و توزیع گاز	گاز تصفیه و توزیع شده
۱۲	سایر صنایع	محصولات سایر صنایع
۱۳	بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	بازرگانی
۱۴	حمل و نقل	حمل و نقل
۱۵	سایر خدمات	محصولات سایر خدمات
عوامل تولید		
۱	نیروی کار	
۲	سرمایه	
نهادهای		
۱	خانوارها	
۲	دولت	
۳	شرکت‌ها	
۴	دنیای خارج	

منبع: ماتریس حسابداری اجتماعی

- منظور از ساخت و جذب در ماتریس حسابداری اجتماعی عبارت است از وجود دو بلوک با نام‌های ساخت و جذب به طوری که بلوک ساخت، ماتریسی است که سطرها شامل بخش‌های تولیدی و ستون‌ها شامل کالاها و خدمات بوده و ارقام این ماتریس نشان‌دهنده کالاها و خدمات تولید شده توسط هر بخش است. ماتریس جذب نیز ماتریسی است که سطرها شامل کالاها و خدمات و ستون‌ها شامل بخش‌های تولیدی بوده و ارقام این ماتریس نشان‌دهنده کالاها و خدمات خریداری شده توسط هر بخش است.
- قابل ذکر است که معادلات مربوط به مدل تعادل عمومی برای جلوگیری از ازدیاد صفحات آورده نشده است اما در صورت درخواست می‌توان آنها را در اختیار قرار داد.

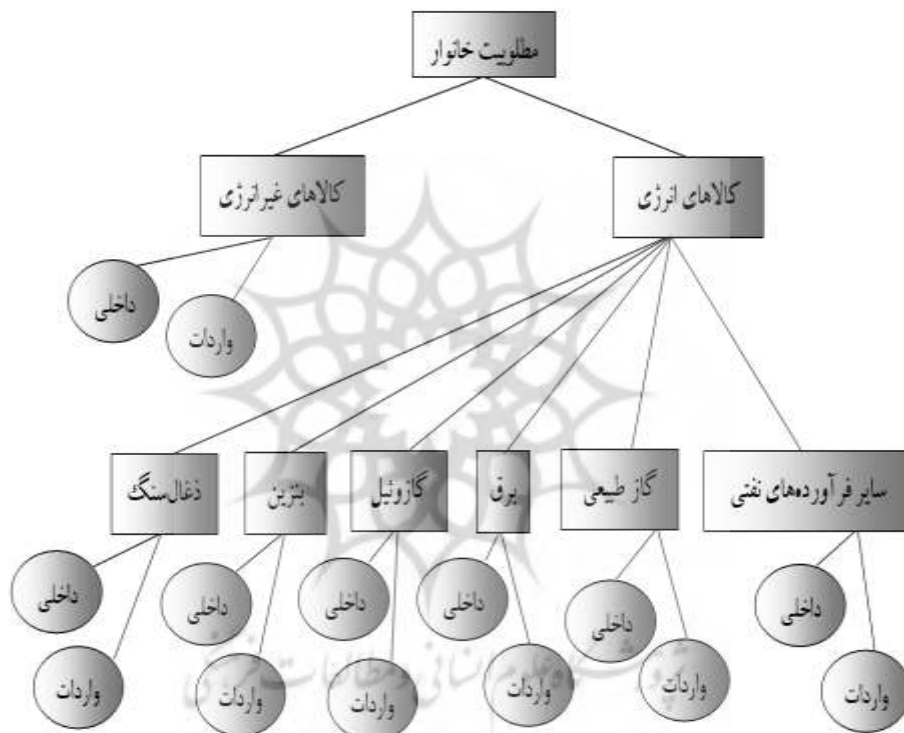
شکل (۱) مربوط به ساختار تولید بخش‌های مختلف تولیدی است. این ساختار نشان‌دهنده چگونگی ترکیب عوامل اولیه تولید، انواع حامل‌های انرژی و کالاهای غیرانرژی برای ایجاد ارزش افزوده، کالای انرژی و کالای غیرانرژی و همچنین نشان‌دهنده چگونگی ترکیب ارزش افزوده، کالای انرژی و کالای غیرانرژی برای شکل‌دهی ستانده هر بخش تولیدی است. قابل ذکر است که ساختار تولید به صورت لایه‌ای بوده و در لایه اول، ارزش افزوده هر بخش تولیدی از ترکیب عوامل تولید (شامل نیروی کار و سرمایه) به دست آمده و انرژی نیز از ترکیب حامل‌های مختلف انرژی (شامل زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق، گاز طبیعی و سایر فرآورده‌های نفتی) شکل می‌گیرد. همچنین در لایه اول چگونگی شکل‌گیری کالای غیرانرژی به صورت ترکیبی از مجموعه همه کالاهای غیرانرژی (شامل کالاهای غیر انرژی از ۱ تا n) نشان داده شده است. در لایه دوم نیز ستانده هر بخش تولیدی که ترکیبی از ارزش افزوده، کالای انرژی و کالای غیرانرژی است، نشان داده شده است. بدیهی است که هر کدام از حامل‌های انرژی می‌توانند یا از محل واردات و یا از محل تولید داخلی تأمین شده و در مدل‌سازی وارد شوند. کالاهای غیرانرژی نیز به صورت ترکیبی از واردات و تولیدات داخلی در مدل‌سازی وارد می‌شوند. قابل ذکر است که تولیدکنندگان در هر کدام از لایه‌های ذکر شده، رفتار بهینه‌یابی انجام می‌دهند یعنی سود خود را حداکثر می‌کنند. قابل ذکر است که معادلات مربوط به مدل CGE در پیوست (۱) آورده شده‌اند.



شکل ۱: ساختار تولید مدل تعادل عمومی

منبع: جو و همکاران (۲۰۱۸)

شکل (۲) نشان دهنده ساختار مطلوبیت مربوط به خانوارها است. همان طور که ملاحظه می شود، فرض شده است که خانوارها از دو کالای انرژی و غیرانرژی استفاده می کنند که کالای انرژی ترکیبی از انواع حامل های انرژی شامل زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق، گاز طبیعی و سایر فرآورده های نفتی بوده و کالای غیرانرژی نیز شامل تمامی سایر کالاهایی است که خانوارها مصرف می کنند. البته شکل (۲) نشان دهنده ساختار کلی است زیرا مثلاً خانوارها مصرف کننده زغال سنگ نیستند که البته وجود چنین مواردی در فرایند مدل سازی لحاظ شده است. قابل ذکر است که خانوارها نیز همانند تولیدکنندگان رفتار بهینه یابی را دنبال می کنند.



شکل ۲: ساختار مطلوبیت خانوار

منبع: خیابانی (۱۳۸۷)

به پیروی از جو و همکاران (۲۰۱۸) و با فرض اینکه بهبود کارایی با نماد γ ، اثر بازگشتی کل اقتصاد (اثر بازگشتی گسترده اقتصاد) با نماد R و درصد تغییرات مصرف انرژی با \dot{E} نشان داده شوند، اندازه گیری اثر بازگشتی به صورت زیر است:

$$R = \left[1 + \frac{\dot{E}}{\gamma} \right] \times 100 \quad (5)$$

اگر در این رابطه، $R > 0$ باشد به این معنی است که بخشی از ذخیره انتظاری انرژی (ناشی از بهبود کارایی) به خاطر فعل و انفعالات ناشی از اثر بازگشتی خنثی شده است. حال اگر بهبود کارایی انرژی (γ) صرفاً در بخش‌های خاصی مثل بخش‌های تولیدی رخ دهد آنگاه اثر بازگشتی کل اقتصاد به صورت رابطه (۶) خواهد بود که در آن، α نشان‌دهنده نسبت مصرف انرژی بخش تولید به مصرف انرژی اقتصاد است ($\alpha = \frac{E_p}{E}$).

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

رابطه (۷) نشان‌دهنده مقدار اثر بازگشتی مربوط به بخش زام (اثر بازگشتی بخشی) است که در آن، \dot{E}_j عبارت از تغییر مصرف انرژی بخش زام ناشی از بهبود کارایی انرژی است.

$$R_j = \left[1 + \frac{\dot{E}_j}{\gamma} \right] \times 100 \quad (۷)$$

بخش دوم: تجزیه اثر بازگشتی

رویکرد مربوط به تجزیه اثر بازگشتی در این مقاله، به پیروی از جو و همکاران (۲۰۱۸) است. برای تجزیه اثر بازگشتی به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی، از رابطه (۶) استفاده کرده و با بازنویسی آن داریم:

$$R = \left[1 + \frac{\dot{E}}{\alpha\gamma} \right] \times 100 = \left[1 + \frac{\Delta E / E}{(E_p / E) \times \gamma} \right] \times 100 = \left[1 + \frac{\Delta E}{\gamma E_p} \right] \times 100 = \frac{\gamma E_p + \Delta E}{\gamma E_p} \times 100 \quad (۸)$$

با توجه به اینکه، تغییرات واقعی مصرف انرژی و تغییرات انتظاری مصرف انرژی در کل اقتصاد را می‌توان به صورت روابط (۹) و (۱۰) نوشت، داریم:

$$\Delta E = \sum_{j \in p} \Delta E_j + \Delta E_c = \sum_{j \in p} z_j E_j + (\Delta E_H + \Delta E_G + \Delta E_I + \Delta E_{EX} + \Delta E_S) \quad (۹)$$

$$\Delta E^* = \sum_{j \in p} \Delta E_j^* = \sum_{j \in p} (-\gamma) E_j = (-\gamma) E_p \quad (۱۰)$$

H مصارف خانوار، G مخارج دولت، I سرمایه‌گذاری، EX صادرات، S موجودی انبار و Z_j درصد تغییر در مصرف واقعی انرژی بخش زام است. با جاگذاری روابط (۹) و (۱۰) در رابطه (۸) داریم:

$$R = \frac{\sum_{j \in p} \gamma E_j + \sum_{j \in p} z_j E_j + \Delta E_c}{\gamma E_p} \times 100 = \left[\sum_{j \in p} \frac{(\gamma + z_j)}{\gamma} \times \frac{E_j}{E_p} \times 100 \right] + \left[\frac{\Delta E_c}{\gamma E_p} \times 100 \right] \quad (11)$$

نهایتاً به واسطه جاگذاری $R_j = \left[1 + \frac{z_j}{\gamma} \right] \times 100$ در (۱۱) و با فرض $R'_j = R_j \times \frac{E_j}{E_p}$ خواهیم داشت:

$$R = \left(\left[\sum_{j \in p} R'_j \right] + \left[\frac{\Delta E_c}{\gamma E_p} \right] \right) \times 100 \quad (12)$$

در رابطه فوق، R'_j اصطلاحاً اثر بازگشتی وزنی بخش زام نامیده می‌شود. رابطه (۱۲) نشان می‌دهد که اثر بازگشتی کل اقتصاد به دو جزء شامل اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی و اثر بازگشتی اجزای تقاضای نهایی تفکیک شد. به پیروی از جو و همکاران (۲۰۱۸) و برای تجزیه اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به تفکیک اثرات جانشینی و تولیدی داریم:

$$z_{ij} + \gamma_{ij} = x_j - \sigma_j \left[(p_{ij} - \gamma_{ij}) - \sum_i S_{ij} (p_{ij} - \gamma_{ij}) \right] \quad (13)$$

رابطه (۱۳) نشان‌دهنده معادله تقاضای خطی شده نهاده انرژی زام در بخش زام بوده و در آن، z_{ij} درصد تغییر مصرف انرژی زام در بخش تولیدی زام، x_j درصد تغییر ستانده حقیقی بخش زام، S_{ij} سهم هزینه‌های انرژی زام از کل هزینه‌های انرژی بخش زام، σ_j کشش جانشینی بین منابع مختلف انرژی در بخش تولیدی زام، γ_{ij} نرخ بهبود کارایی انرژی زام در بخش تولیدی زام و p_{ij} درصد تغییر قیمت انرژی زام در بخش زام است. به کمک معادله (۱۳) و از طریق معادله (۱۴) می‌توان اثر بازگشتی بخش تولیدی زام را به اثرات جانشینی و تولیدی تجزیه کرد که در آن، عبارت اول سمت راست نشان‌دهنده اثر تولیدی و عبارت دوم سمت راست نشان‌دهنده اثر جانشینی است.

$$R_{ij} = \left[\frac{z_{ij} + \gamma_{ij}}{\gamma_{ij}} \right] \times 100 = \left\{ \frac{x_j}{\gamma_{ij}} \times 100 \right\} + \left\{ \frac{-\sigma_j \left[(p_{ij} - \gamma_{ij}) - \sum_i S_{ij} (p_{ij} - \gamma_{ij}) \right]}{\gamma_{ij}} \times 100 \right\} \quad (14)$$

۵. ارائه نتایج و تحلیل آن‌ها

همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، در ابتدا شوک بهبود کارائی ۵ درصد در بخش‌های تولیدی به تفکیک حامل‌های انرژی (زغال‌سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی) اعمال می‌شود.^۱ در جدول (۵)، α نشان‌دهنده نسبت مصرف بخش‌های تولیدی از کل مصرف انرژی (به تفکیک حامل‌های انرژی) در اقتصاد ایران بوده و γ نشان‌دهنده شوک وارده به بخش‌های تولیدی در نتیجه بهبود ۵ درصدی کارائی حامل‌های انرژی است. به‌عنوان نمونه و در مورد زغال‌سنگ ملاحظه می‌شود که شوک ۵ درصد بهبود کارائی در بخش‌های تولیدی، به‌واسطه سهم ۹۴ درصدی این بخش‌ها از کل مصرف زغال‌سنگ به معنی شوک ۴/۷ درصدی بهبود کارائی است.

جدول ۵: مقادیر α ، γ و $\alpha\gamma$ (درصد)

متغیر	γ	α	$\alpha\gamma$
زغال‌سنگ	۵	۹۴	۴/۷
بنزین	۵	۷۱	۳/۶
گازوئیل	۵	۶۸	۳/۴
برق	۵	۶۲	۳/۱
گاز طبیعی	۵	۴۹	۲/۵

منبع: ماتریس حسابداری اجتماعی و محاسبات تحقیق

با توجه به اینکه بخش‌های تولیدی، α درصد از کل مصرف هر حامل انرژی را دارند بنابراین به تبعیت از رابطه (۶)، نتایج مربوط به اثر بازگشتی کل اقتصاد (اثر بازگشتی گستره اقتصاد) در جدول (۶) آورده شده‌اند.

جدول ۶: اثر بازگشتی کل اقتصاد (درصد)

حامل انرژی	ذخیره انتظاری انرژی	ذخیره واقعی انرژی	اثر بازگشتی کل اقتصاد
زغال‌سنگ	۴/۷	۳/۱	۳۴
بنزین	۳/۶	۲/۵	۳۰
گازوئیل	۳/۴	۲/۵	۲۶
برق	۳/۱	۲/۴	۲۳
گاز طبیعی	۲/۵	۲/۰	۱۸

منبع: محاسبات تحقیق

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اثر بازگشتی کل اقتصاد برای هر ۵ حامل انرژی مثبت است. این جمله به این معنی است که به‌دنبال بهبود کارائی انرژی در بخش‌های تولیدی، ذخیره واقعی انرژی که رخ داده است به‌مراتب کمتر از ذخیره انرژی است که قبل از به‌کارگیری شوک بهبود کارائی مورد انتظار بود. مثلاً با بهبود کارائی مصرف بنزین در بخش‌های تولیدی، انتظار بر این بود که مصرف بنزین ۳/۶

۱. به‌عبارت بهتر، در بخش‌های ۱۵ گانه تولیدی مد نظر در این مقاله، فرض می‌شود که شوک بهبود کارائی انرژی (به تفکیک زغال‌سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی) معادل ۵ درصد رخ می‌دهد.

درصد کاهش یابد اما آنچه در واقعیت رخ خواهد داد عبارت از کاهش ۲/۵ درصدی مصرف بنزین است که با جایگذاری این اعداد در رابطه (۶) اثر بازگشتی گستره اقتصاد معادل ۳۰ درصد برای بنزین به دست می‌آید. این نتیجه‌گیری علامتی است به سیاست‌گذاران اقتصادی که در برنامه‌ریزی‌های خود برای بهبود کارایی انرژی، اثر بازگشتی ناشی از به‌کارگیری چنین رویکردهایی را مدنظر قرار دهند تا میزان ارباب از نتایج مورد انتظار به حداقل برسد.

مطابق بخش دوم روش انجام تحقیق، به دنبال آن هستیم که اثر بازگشتی کل اقتصاد (اعداد جدول ۶) را به تفکیک بخش‌های تولیدی و تقاضای نهایی تجزیه کنیم. به این ترتیب می‌توان سهم هر کدام از بخش‌ها از کل اثر بازگشتی را تعیین کرد. برای این منظور از رابطه (۱۲) کمک گرفته و نتایج در جدول (۷) آورده شده‌اند.

جدول ۷: تفکیک اثر بازگشتی کل اقتصاد (درصد)

بخش‌ها	زغال سنگ		بنزین		گازوئیل		برق		گاز طبیعی	
	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم
کشاورزی و ...	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۳۷	۵/۰۹	۱۹/۳۳	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۴۳	۲/۳۲
معادن	۰/۵۵	۱/۶۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۰۰
تولید محصولات غذایی و آشامیدنی	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۶۹
تولید منسوجات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۷
تولید فرآورده‌های نفتی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۴۶	۲/۵۱
تولید مواد و محصولات شیمیایی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۲/۱۸	۱۱/۸۹
تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۵۳	۲/۳۳	۱/۴۵	۷/۸۸
تولید فلزات اساسی	۳۳/۶۳	۹۸/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۸۹	۱۲/۸۲	۳/۹۳	۲۱/۴۱
تولید، انتقال و توزیع برق	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۳	۲/۷۹	۱/۴۷	۷/۹۸
جمع‌آوری، تصفیه و توزیع آب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
تصفیه و توزیع گاز	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۵	۳/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰
سایر صنایع	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۳۱	۱/۳۹	۰/۱۹	۱/۰۴
بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۱/۰۲	۰/۳۰	۱/۱۲	۷/۲۱	۳۱/۹۳	۰/۰۲	۰/۱۱
حمل و نقل	۰/۰۰	۲۳/۹۴	۰/۰۰	۸۰/۹۵	۱۸/۲۲	۶۸/۸۲	۰/۲۷	۱/۲۰	۲/۴۲	۱۳/۱۶
سایر خدمات	۰/۰۰	۲/۳۷	۰/۰۰	۷/۶۷	۱/۷۰	۶/۴۲	۵/۸۸	۲۶/۰۶	۰/۵۴	۲/۹۳
خانوار	۰/۰۴	۰/۱۳	۳/۲۰	۱۰/۸۲	۱/۰۰	۳/۷۸	۴/۰۰	۱۷/۷۱	۵/۲۰	۲۸/۳۱
جمع	۳۴	۱۰۰	۳۰	۱۰۰	۲۶	۱۰۰	۲۳	۱۰۰	۱۸	۱۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به نتایج جدول (۷) قابل ذکر است که اولاً اعداد ۰/۰۰ برای برخی بخش‌ها و در مورد برخی از حامل‌های انرژی به معنی سهم صفر یا نزدیک به صفر بخش مربوطه از مصرف حامل انرژی مربوطه

بوده ($\frac{E_j}{E_p} = 0$) و همین عامل باعث می‌شود تا اثر بازگشتی تفکیکی بخش مربوطه در مورد حامل انرژی مربوطه صفر شود. ثانیاً با توجه به SAM و در میان اجزای تقاضای نهایی، فقط نهاد خانوار است که از انواع حامل‌های انرژی تقاضا کرده و لذا صرفاً نهاد خانوار در انتهای بخش‌های تولیدی (جدول ۷) آورده شده است.

در بین بخش‌های مختلف و در مورد بنزین (به‌عنوان مثال) ملاحظه می‌شود که قسمت عمده اثر بازگشتی مربوط به «بخش حمل‌ونقل» بوده بطوریکه سهم این بخش از کل اثر بازگشتی برابر با ۸۰/۹۵ درصد ($\frac{23.94}{30} = 80.95$) است که دلیل آن نیز این است که «بخش حمل‌ونقل» بزرگ‌ترین مصرف‌کننده بنزین در بین تمامی بخش‌های اقتصادی و نهادها محسوب می‌شود. بعد از «بخش حمل‌ونقل» نیز «خانوار» و «سایر خدمات» با سهم‌های به‌ترتیب برابر با ۱۰/۸۲ و ۷/۶۷ درصد قرار دارند. مشابه همین وضعیت در مورد سایر حامل‌های انرژی نیز برقرار است. در مورد زغال‌سنگ ملاحظه می‌شود که بخش «تولید فلزات اساسی» سهمی معادل ۹۸/۸ درصد از کل اثر بازگشتی را به خود اختصاص داده است و بعد از آن بخش «معادن» سهم ناچیز ۱/۶۱ درصدی را دارد. در مورد گازوئیل ملاحظه می‌شود که بخش «حمل‌ونقل» سهمی معادل ۶۸/۸۲ درصد از کل اثر بازگشتی را به خود اختصاص داده و بعد از آن بخش «کشاورزی» سهم ۱۹/۲۳ درصدی دارد. در مورد برق، بخش «بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی» سهمی معادل ۳۱/۹۳ درصد از کل اثر بازگشتی را به خود اختصاص داده و بعد از آن بخش «سایر خدمات» سهم ۲۶/۰۶ درصدی دارد. در مورد گاز طبیعی، بخش «خانوار» سهمی معادل ۲۸/۳۱ درصد از کل اثر بازگشتی را به خود اختصاص داده و بعد از آن بخش «تولید فلزات اساسی» سهم ۲۱/۴۱ درصدی دارد. در کل قابل استنباط است که بخش‌های انرژی بر مشارکت بیشتری در اثر بازگشتی کل اقتصاد دارند. دلیل چنین استنباطی این است که هرچقدر یک بخش تولیدی وابستگی بیشتری به مصرف نوع خاصی از حامل انرژی داشته باشد آنگاه شوک بهبود کارایی نیز عمدتاً در آن بخش تولیدی رخ خواهد داد و در نتیجه سهم بیشتری از اثر بازگشتی نیز در آن بخش تولیدی شکل خواهد گرفت.

مطابق آنچه که در قالب رابطه (۱۴) بیان گردید، نمودارهای (۶) و (۷) نشان‌دهنده تجزیه اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی به تفکیک اثر جانشینی و اثر تولیدی در مورد زغال‌سنگ و بنزین بوده و نمودارهای مشابه در مورد سایر حامل‌های انرژی در پیوست (۲) آورده شده‌اند. ملاحظه می‌شود که اثر بازگشتی بخش‌های تولیدی عمدتاً توسط اثر جانشینی و بسیار اندک توسط اثر تولیدی توضیح داده می‌شوند. دلیل این وضعیت را می‌توان به محدودیت بخش‌ها جهت ایجاد تغییرات در موجودی سرمایه خود در دوره زمانی کوتاه‌مدت مرتبط دانست زیرا بنگاه‌های تولیدی یا خدماتی در کوتاه‌مدت از موجودی سرمایه ثابتی برخوردار بوده و نمی‌توانند از مزایای بهبود کارایی انرژی به‌طور کامل بهره‌برداری کنند؛ بنابراین

و غیر قیمتی قابل اجرا است که در مقاله حاضر، تمرکز بر سیاست غیر قیمتی تحت عنوان «بهبود کارایی انرژی» است. با توجه به اینکه بهبود کارایی انرژی منجر به شکل گیری اثر بازگشتی می شود لذا بی- توجهی به آن موجب اریب در نتایج قابل انتظار می شود. با عنایت به این نکته، تلاش شد تا اثرات ناشی از بهبود ۵ درصدی کارایی حامل های مختلف انرژی (زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی) در قالب مدل تعادل عمومی قابل محاسبه که مبتنی بر ماتریس حسابداری اجتماعی است، مورد بررسی قرار گیرد. نتایج در دو بخش تبیین گردیدند بطوریکه در بخش اول، اثر بازگشتی کل اقتصاد ناشی از بهبود ۵ درصدی کارایی حامل های انرژی اندازه گیری شده و در بخش دوم، اثر بازگشتی کل اقتصاد به تفکیک بخش های تولیدی و تقاضای نهایی تجزیه شد. علاوه بر این، اثر بازگشتی بخش های تولیدی نیز به تفکیک اثر جانشینی و اثر تولیدی تجزیه شدند.

نتایج بخش اول حاکی از آن است که با توجه به سهم مصرف انرژی (زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی) بخش های تولیدی از مصرف انرژی کل اقتصاد، بهبود ۵ درصدی کارایی مصرف حامل های انرژی منجر به شکل گیری اثر بازگشتی کل اقتصاد معادل ۳۴، ۳۰، ۲۶، ۲۳ و ۱۸ درصد به ترتیب برای زغال سنگ، بنزین، گازوئیل، برق و گاز طبیعی می شود؛ بنابراین قابل استنباط است که به دنبال بهبود کارایی انرژی، لزوماً آن مقدار ذخیره انرژی اتفاق نمی افتد که مورد انتظار بوده است.

نتایج بخش دوم به تفکیک حامل های انرژی:

✓ زغال سنگ: از اثر بازگشتی ۳۴ درصدی مربوط به زغال سنگ، ۹۸/۸۰ درصد مربوط به بخش «تولید فلزات اساسی» بوده و بعد از آن بخش «معادن» با سهم ۱/۶۱ درصد قرار دارد. سهم بسیار بالای بخش «تولید فلزات اساسی» به خاطر شدت وابستگی تولیدات این بخش به مصرف زغال سنگ در قیاس با سایر بخش ها است.

✓ بنزین: از اثر بازگشتی ۳۰ درصدی مربوط به بنزین، ۸۰/۹۵ درصد مربوط به بخش «حمل و نقل» بوده و بعد از آن نهاد «خانوار» با سهم ۱۰/۸۲ درصد قرار دارد.

✓ گازوئیل: از اثر بازگشتی ۲۶ درصدی مربوط به گازوئیل، ۶۸/۸۲ درصد مربوط به بخش «حمل و نقل» بوده و بعد از آن بخش «کشاورزی» با سهم ۱۹/۲۳ درصد قرار دارد.

✓ برق: از اثر بازگشتی ۲۳ درصدی مربوط به برق، ۳۱/۹۳ درصد مربوط به بخش «بازرگانی و انواع خدمات تعمیراتی» بوده و بعد از آن بخش «سایر خدمات» با سهم ۲۶/۰۶ درصد قرار دارد.

✓ گاز طبیعی: از اثر بازگشتی ۱۸ درصدی مربوط به گاز طبیعی، ۲۸/۳۱ درصد مربوط به نهاد «خانوار» بوده و بعد از آن بخش «تولید فلزات اساسی» با سهم ۲۱/۴۱ درصد قرار دارد.

ملاحظه می شود که مصرف کنندگان بزرگ انواع حامل های انرژی، مشارکت کنندگان اصلی در اثر بازگشتی متناظر با هر کدام از حامل های انرژی نیز هستند.

نتایج مربوط به تجزیه اثر بازگشتی بخشی به تفکیک اثر جانشینی و اثر تولیدی حاکی از آن است که بخش عمده اثر بازگشتی بخش های تولیدی مربوط به اثر جانشینی بوده و اثر تولیدی نقش کم رنگی دارد. عبارت مذکور به این معنی است که بنگاه های اقتصادی در کوتاه مدت، برای آنکه بیشترین انتفاع را از بهبود کارایی حامل های انرژی داشته باشند از رویکرد جانشینی بین حامل های انرژی با سایر نهاده ها بهره گرفته و رویکرد توسعه ظرفیت های تولیدی را به دوره زمانی بلندمدت انتقال می دهند. با توجه به یافته ها می توان پیشنهاد کرد که اولاً دولتمردان باید علاوه بر سیاست های قیمتی مدیریت تقاضای انرژی (که قبلاً آزموده شده اند) به سیاست های غیر قیمتی نیز توجه کنند زیرا این سیاست ها نیز از توانایی بالایی در مدیریت تقاضای انرژی و کاهش مصرف آن برخوردارند. ثانیاً دولتمردان و سیاستمداران قبل از هرگونه برنامه ریزی برای بهبود کارایی انواع حامل های انرژی، به کل اثر بازگشتی و همچنین اثرات جانشینی و تولیدی ناشی از آن توجه کنند تا برنامه ریزی های انجام شده به اهداف مدنظر آنها دست یابد و متحمل هزینه هایی نشوند که متناظر با اهداف مدنظرشان نبوده است.



منابع

- آمارنامه فرآورده‌های نفتی، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران.
ترازنامه انرژی (۱۳۹۴). وزارت نیرو.
- خوشکلام خسروشاهی، موسی (۱۳۹۳). «اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل در ایران با تأکید بر بخش حمل‌ونقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۳(۱۱)، ۱۵۸-۱۳۱.
- خیابانی، ناصر (۱۳۸۷). «یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه برای ارزیابی افزایش قیمت حامل‌های انرژی در اقتصادی ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۶، ۳۴-۱.
- دل‌انگیزان، سهراب؛ خانزادی، آزاد و حیدریان، مریم (۱۳۹۶). «برآورد و تحلیل اثرات بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارایی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد کاربردی ایران*، ۶(۲۱)، ۱۷۲-۱۴۹.
- دل‌انگیزان، سهراب؛ خانزادی، آزاد و حیدریان، مریم (۱۳۹۷). «محاسبه اثرات بازگشتی مستقیم CO₂ ناشی از بهبود کارایی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل استان‌های ایران»، *تحقیقات اقتصادی*، ۵۳(۴)، ۸۲۸-۸۰۵.
- سالم، علی‌اصغر و اکبری، مهدی (۱۳۹۶). «برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۶(۲۲)، ۴۵-۷۴.
- 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.
- شیرانی‌فخر، زهره (۱۳۹۶). «برآورد کشش‌های قیمتی و تولیدی تابع تقاضای گاز طبیعی در زیربخش صنایع تولید فلزات اساسی ایران»، *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۳۰، ۲۱۸-۱۶۹.
- فتحی، بهرام؛ خداپرست مشهدی، مهدی؛ همایونی‌فر، مسعود و سجادی‌فر، حسین (۱۳۹۸). «ارائه الگوی کارایی انرژی در اقتصاد ایران با استفاده از رویکرد بهینه‌یابی پویا»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد کاربردی ایران*، ۸(۲۹)، ۹۷-۱۲۱.
- ماتریس حسابداری اجتماعی (۱۳۸۷)، بانک مرکزی.
- Amjadi, G., Lundgren, T. and Persson, L. (2018). "The Rebound Effect in Swedish Heavy Industry", *Energy Economics*, 71, 140-148.
- Battacharyya, S. (2011). *Energy Economics: concepts, issues, markets and governance*, Springer.
- Lofgren, H. (2002). *A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS*, International Food Policy Research Institute.
- Orea, L., Llorca, M., Filippini, M. (2015). "A new approach to measuring the rebound effect associated to energy efficiency improvements: an application to the US residential energy demand". *Energy Economics*, 49: 599-609.
- Sorrell, S. (2007). *UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect*, UKERC.
- Thomas, B. and Azevedo, I. (2013). "Estimating direct and indirect rebound effects for U.S. households with input-output analysis". *Part 2: Simulation, Ecological Economics*, 86, 188-198.

- Wang, Z., Lu, M. and Wang, J. (2014), "Direct rebound effect on urban residential electricity use: An empirical study in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 124-132.
- Wei, TY, Liu Y. (2017), "Estimation of global rebound effect caused by energy efficiency improvement". *Energy Economics*, 66: 27-34.
- World Development Indicators, WDI
- Zhou, M., Liu, Y., Feng, S., Liu, Y. and Lu, Y. (2018). "Decomposition of rebound effect: An energy-specific, general equilibrium analysis in the context of China", *Applied Energy*, 221, 280-298.



پیوست ۱: معادلات مدل CGE

معادلات مربوط به تولید

$$AD_a = \alpha_a^a \left[\sum_i \delta_{i,a}^{ad} \cdot (VAEINT_{i,a})^{-\rho_a^{ad}} \right]^{\frac{-1}{\rho_a^{ad}}}$$

$$VAEINT_{i,a} = AD_a \cdot \left[\frac{PVAEINT_{i,a} \cdot (\alpha_a^{ad})^{\rho_a^{ad}}}{PAD_a \cdot \delta_{i,a}^{ad}} \right]^{\frac{-1}{1+\rho_a^{ad}}}$$

$$PAD_a \cdot AD_a = \sum_i PVAEINT_{i,a} \cdot VAEINT_{i,a}$$

$$QE_a = \alpha_a^{ve} \left[\sum_e \delta_{e,a}^{ve} \cdot (QFE_{e,a})^{-\rho_a^{ve}} \right]^{\frac{-1}{\rho_a^{ve}}}$$

$$PEE_a \cdot QVE_a = \sum_e PDE_{e,a} \cdot QFE_{e,a}$$

$$WF_f \cdot \overline{WFDIST}_{f,a} = PVA_a \cdot QVA_a \left[\sum_f \delta_{f,a}^{va} \cdot QF_{f,a}^{-\rho_a^{va}} \right]^{-1} \cdot \delta_{f,a}^{va} \cdot QF_{f,a}^{-\rho_a^{va}-1}$$

$$QINT_{c,a} = \alpha_{c,a}^{int} \cdot QINTA_a$$

$$QVA_a = \alpha_a^{va} \left[\sum_f \delta_{f,a}^{va} \cdot QF_{f,a}^{-\rho_a^{va}} \right]^{\frac{-1}{\rho_a^{va}}}$$

$$QFE_{e,a} = QE_a \cdot \left[\frac{PDE_{e,a} \cdot (\alpha_a^{ve})^{\rho_a^{ve}}}{PEE_a \cdot \delta_{e,a}^{ve}} \right]^{\frac{-1}{1+\rho_a^{ve}}}$$

معادلات مربوط به دولت، خانوارها و شرکتها

$$YG = \sum_{INS DNG} tins_{INS DNG} \cdot YI_{INS DNG} + \sum_f YIF_{gov,f} + \sum_c PM_c \cdot QM_c + PD_c \cdot QD_c$$

$$- \sum_c PM_c \cdot QM_c + PD_c \cdot QD_c + \sum_c EXR \cdot PWM_c \cdot QM_c + \sum_c EXR \cdot PWE_c \cdot QE_c$$

$$- \sum_c EXR \cdot PWM_c \cdot QM_c + EXR \cdot transfr_{gov,ROW} + transfr_{gov,enter}$$

$$YF_f = \sum_a WF_f \cdot \overline{WFDIST}_{f,a} \cdot QF_{f,a}$$

$$YI_{INS DNG} = \sum_f YIF_{INS DNG,f} + \sum_{INS DNG'} TRANS_{INS DNG,INS DNG'} + transfr_{INS DNG,gov} + transfr_{INS DNG,ROW} \cdot EXR$$

$$TRANS_{INS DNG,INS DNG'} = S_{INS DNG,INS DNG'} \cdot (1 - MPS_{INS DNG'}) \cdot (1 - tins_{INS DNG'}) \cdot YI_{INS DNG'}$$

$$YIF_{INS D,f} = mm_{INS D,f} \cdot \left(\sum_a WF_f \cdot \overline{WFDIST}_{f,a} \cdot QF_{f,a} \right) - transfr_{ROW,f} \cdot EXR$$

$$EG = \sum_{INS DNG} transfr_{INS DNG,gov} + \sum_c P_c \cdot QG_c$$

معادلات مربوط به تجارت خارجی

$$PX_c \cdot XD_c = PE_c \cdot QE_c + PD_c \cdot QD_c$$

$$XD_c = B_c \left[\gamma_c \cdot QE_c^{\rho_c^T} + (1 - \gamma_c) \cdot QD_c^{\rho_c^T} \right]^{\frac{1}{\rho_c^T}}$$

$$XD_c = \sum_a \theta_{a,c} \cdot AD_a$$

$$X_c = D_c \left[\psi_c \cdot QM_c^{-\rho_c} + (1 - \psi_c) \cdot QD_c^{-\rho_c} \right]^{\frac{1}{\rho_c}}$$

$$\frac{QE_c}{QD_c} = \left[\frac{1 - \gamma_c}{\gamma_c} \cdot \frac{PE_c}{PD_c} \right]^{\frac{1}{\rho_c^T - 1}}$$

$$PE_c = PWE_c \cdot EXR \cdot (1 - te_c)$$

$$PM_c = PWM_c \cdot EXR \cdot (1 + tm_c)$$

$$\frac{QM_c}{QD_c} = \left[\frac{\psi_c}{1 - \psi_c} \cdot \frac{PD_c}{PM_c} \right]^{\frac{1}{\rho_c + 1}}$$

$$P_c \cdot X_c = PM_c \cdot QM_c + (PD_c \cdot QD_c) \cdot (1 + tq_c + sq_c)$$

معادلات مربوط به تسویه بازار

$$X_c = \sum_h QH_{c,h} + QINV_c + QG_c + \sum_a QINT_{c,a}$$

$$\sum_{c \in CM} PWM_c \cdot QM_c = \sum_{c \in CE} PWE_c \cdot QE_c + FSAV + \sum_i transfr_{i,ROW}$$

$$GSAV = YG - EG$$

$$\sum_a QF_{f,a} = QFS_f$$

$$\sum_{i \in INSDNG} (MPS_i \cdot (1 - tins_i) \cdot YI_i) + GSAV + FSAV = \sum_c P_c \cdot QINV_c$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی

A Computable General Equilibrium Model for the Decomposition of the Energy Carriers Rebound Effect in the Iranian Economy

Khoshkalam Khosroshahi, M.^{1*}

Abstract

Statistical evidence of energy carriers (which are used in the production of goods and services and final demand components) indicates that their consumption in Iran is higher than the average in the world and is less energy-efficient, so demand side management (DSM) is essential. Among DSM methods, improving energy efficiency is an important approach in the global economy. Assuming an improvement of 5% efficiency of energy carriers, the purpose of this paper is to provide (1) Estimating the total rebound effect (RE) of the economy and its decomposition by product and final demand (2) decomposition RE of the manufacturing sectors by the substitution and output effects. Methodology based on a two-stage approach, including the analysis of the economic RE on the segmentation of the manufacturing sectors and final demand, as well as the decomposition of economic sector's RE on the substitution and output effects. The results show that the overall economic RE for coal, gasoline, diesel, electricity and natural gas is 34, 30, 26, 23 and 18 percent, respectively, so that expected energy savings are not achieved after energy (especially coal, gasoline, diesel, electricity and natural gas) efficiency improvement. The results indicate that the most energy-dependent parts also had the most RE. Also, the findings show that, in the short term, economic firms, in order to have the most benefit from improving the efficiency of energy carriers, use a substitution approach between energy carriers (including coal, gasoline, diesel, electricity and natural gas) and other inputs, and development of production capacity is transferred to a long period of time.

Keywords: Rebound Effect, Economic Modelling, CGE, Efficiency Improvement, Energy Carriers

JEL Classification: C23, C68, Q41.

1. Assistant Professor of Economics, Alzahra University **Email:** m.khosroshahi@alzahra.ac.ir