تحقیقات اقتصادی / دوره ۵۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۹۷/ ص ۸۸۰-۸۵۵

اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی برق، سوخت‌های فسیلی و نهاده انرژی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی قابل محاسبه

زهره سلیمیان[۱]، فاطمه بزازان*[۲]، میر حسین موسوی[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا،
zohre_salimi@yahoo.com

۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا،
fbazzazan@alzahra.ac.ir

۳. دانشیار گروه اقتصاد دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا،
hmousavi@alzahra.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

چکیده

صنایع انرژی‌بر، بخش قابل توجهی از مصرف انرژی بخش صنعت را بخود اختصاص داده‌اند. در سال ۹۰، بیش از ۷۵ درصد از مصرف فرآورده‌های نفتی بخش صنعت، مربوط به صنایع انرژی‌بر بوده است. در این راستا توجه به بهبود کارایی مصرف انرژی در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بهبود کارایی در مصرف انرژی پیامدهایی نظیر اثرات بازگشتی و اثرات معکوس خواهد داشت، چرا که کاهش مصرف انرژی متناسب با بهبود کارایی رخ نمی‌دهد و حتی ممکن است افزایش بازده، به کاهش تقاضای انرژی بیانجامد. مقاله حاضر به ارزیابی اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی، برق و نهاده انرژی در صنایع انرژی بر با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه می‌پردازد. شبیه‌سازی در دو سناریو بهبود کارایی برای تمامی بخش‌ها و صنایع انرژی بر به انجام رسیده است. نتایج بیانگر آن است که در اثر بهبود کارایی برق، سوخت‌های فسیلی و نهاده انرژی، اثرات بازگشتی قابل توجهی در صنایع انرژی‌بر نظیر محصولات شیمیایی و فلزات اساسی وجود دارد (به‌عنوان نمونه اثرات بازگشتی در صنایع شیمیایی در سناریوهای بهبود کارایی برق، سوخت‌های فسیلی و نهاده انرژی برای صنایع انرژی بر به‌ترتیب معادل با ۶۳٪، ۸۴٪ و ۷۲٪ و در سناریوی بهبود کارایی تمامی بخش‌ها به‌ترتیب معادل با ۷۹٪، ۹۴٪ و ۹۲٪ بوده است). هم‌چنین بهبود کارایی علاوه بر تغییر تقاضا سبب کاهش قیمت‌های تولید انرژی و هزینه‌ی تولید محصولات در صنایع انرژی‌بر می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: C68، Q41، Q43

واژه‌های کلیدی: اثرات بازگشتی، صنایع انرژی‌بَر، تعادل عمومی، بهبود کارایی، تقاضای انرژی

---

*. نویسنده‌ی مسئول، شماره تماس ۰۹۱۲۲۱۸۲۳۰۰

۱- مقدمه

در طی دو دهه‌ی اخیر سیاست‌گذاران همواره بر این باور بوده‌اند که بهبود کارایی در تمامی عوامل تولید نظیر نیروی کار، سرمایه، انرژی و ... سبب کاهش تقاضا برای این نهاده‌ها می‌شود، این در حالیست که نتایج واقعی حاکی از عدم تحقق انتظار فوق است. شواهد صد ساله نشان می‌دهد که ارتقای کارایی انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌های انرژی سبب اثرات بازگشتی شده و حتی در برخی موارد می‌تواند افزایش مصرف انرژی بجای کاهش آن را موجب شود. موتورهای پربازده، تولید و انتقال برق با بازده بالاتر و تولید آهن و فولاد از مثال‌هایی هستند که با وجود افزایش بازده با تقاضای بیشتری مواجه شده‌اند. با وجود چنین شواهدی، در سال ۱۹۷۰ و همزمان با شوک قیمتی شدید نفت و فشار برای تاسیس نیروگاه‌های اتمی جدید، برخی تحلیل‌گران بر این باور بوده‌اند که در آینده با کاهش تقاضای انرژی رخ خواهد داد، چرا که در سال‌های آتی تکنولوژی‌های پر بازده رواج می‌یابد. پس از این اظهار نظر، خازوم و بروکز، به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ به این دیدگاه پاسخ داده و بیان کرده‌اند که راهکارهای افزایش کارایی انرژی می‌تواند منجر به اثرات بازگشتی[1] و یا حتی اثرات معکوس[2] شود.

اگرچه اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در خدمات انرژی نظیر روشنایی و .... در بین خانوارها کوچک است، ولی اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در بخش‌های تولیدی اقتصاد بسیار بزرگ‌تر می‌باشد، چرا که به‌عنوان مثال بهبود کارایی انرژی در صنعت فولاد، امکان تولید محصول بیشتری را در این صنعت با قیمت‌های پایین‌تر فراهم می‌آورد و لذا تقاضا برای محصول بنگاه و محصولات جانبی افزایش یافته و تولید محصول افزایش می‌یابد، این امر می‌تواند منجر به سود بیشتر بنگاه شود. در این زمینه تحقیقات کمی در کشورهای در حال توسعه انجام پذیرفته، ولی همین بررسی‌های انجام شده نیز نشان دهنده اثرات بازگشتی قابل توجهی در بخش‌های صنعتی بوده است. حتی گاهی اثرات معکوس نیز می‌تواند در اثر بهبود کارایی انرژی رخ دهد، چرا که ارتقای کارایی انرژی نه تنها سبب بهبود کارایی انرژی می‌شود، بلکه بهبود همزمان سایر عوامل تولیدی نظیر نیروی کار و سرمایه را نیز درپی خواهد داشت و لذا اثرات بازگشتی بزرگ‌تری در سطح اقتصاد رخ داده و حتی تقاضای انرژی افزایش نیز می‌یابد (جنکینز و همکاران، ۲۰۱۱).

---

1. Rebound Effects
2. Backfire effects

در برخی بخش‌های تولیدی، هزینه استفاده از نهاده انرژی کمتر از ۱۰ درصد هزینه‌های تولید می‌باشد و لذا اثرات بازگشتی در این بخش‌ها کمتر است. این در حالی است که در برخی صنایع نظیر صنایع انرژی بر، این اثرات قابل توجه بوده و لذا بررسی مقادیر آن حایز اهمیت می‌باشد. به‌عنوان نمونه مطالعات ساندرز نشان می‌دهد که در بیشتر زیر بخش‌های تولیدی صنعتی، اثرات بازگشتی در حدود ۰ تا ۱۵ درصد بوده است، با این‌حال این اثرات بازگشتی در چهار بخش انرژی بر نظیر صنایع شیمیایی و حمل و نقل در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد حاصل شده است، لذا این موضوع بیانگر اهمیت بررسی اثرات بازگشتی در صنایع انرژی بر می‌باشد (ساندرز و همکاران، ۲۰۱۳) و (جنکینز و همکاران، ۲۰۱۱).

در ایران، مصرف انواع حامل‌های انرژی نظیر برق و سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی بر سهم قابل توجهی از مصرف انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده است. بر مبنای آمار سرشماری کارگاه‌های صنعتی مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰، صنایع انرژی بر در مجموع بیش از ۷۰ درصد فرآورده‌های نفتی و برق در بخش صنعت را مصرف می‌کنند. هم‌چنین دولت برنامه‌های گوناگونی را نیز برای توسعه صنایع انرژی بر نظیر احداث مجتمع‌های پتروشیمی و فولاد دارد که همین موضوع سهم مصرف انرژی صنایع انرژی بر را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. به همین علت تمرکز زیادی بر کاهش شدت انرژی در این صنایع صورت پذیرفته است. راهکارهای کاهش شدت انرژی و بهبود بهره وری منجر به اثرات بازگشتی (و یا اثرات معکوس) می‌شود، لذا یکی از مهم‌ترین اهداف این مقاله محاسبه اثرات بازگشتی ناشی از بهبود بازده انرژی در صنایع انرژی‌بر می‌باشد. پس از بررسی وجود یا عدم وجود اثرات بازگشتی در صنایع انرژی‌بر، اثر بهبود کارایی انرژی بر تغییر قیمت محصولات و نیز افزایش تولید صنایع انرژی‌بر از جمله مهم‌ترین مباحثی است که در مقاله حاضر به آن پرداخته می‌شود.

۲- ادبیات نظری

ویلیام استنلی جونز[1]، اولین محققی است که مفهوم اثرات بازگشتی را در کتاب خود در سال ۱۸۶۵ مورد بررسی قرار داده است. مشاهدات او حاکی از آن بوده که در انگلستان با اختراع موتورهای پربازده بخار، مصرف ذغال افزایش یافته است. چرا که با استفاده از موتورهای پر بازده، ذغال در سایر بخش‌ها و مصارف جدید مورد استفاده قرار

1. Stanley Jevons

گرفته است. او ادعا کرده که اگرچه مصرف ذغال در برخی بخش‌ها (نظیر حمل و نقل) کاهش یافته، ولی مصارف ذغال به‌طور کلی افزایش داشته است. این تناقض به‌عنوان تناقض جونز مطرح شده است که در آن استفاده اقتصادی و به صرفه از سوخت لزوما به کاهش مصرف سوخت نمی‌انجامد. اثرات بازگشتی (و یا اثرات معکوس) زمانی رخ می‌دهد که در اثر افزایش کارایی کاهش مصرف انرژی به میزان تخمین زده شده انجام نمی‌گیرد. علت این موضوع برخی واکنش‌های رفتاری و استفاده بیشتر از سوخت در مصارف جدید می‌باشد. با وجود یافته‌های جونز، موضوع اثرات بازگشتی تا سال ۱۹۸۰ از نظرها دور ماند، تا اینکه خازوم و بروکز، در دهه ۱۹۸۰، به‌صورت جداگانه در مورد تناقض بین افزایش کارایی و افزایش مصرف انرژی یافته‌های پژوهش‌های خود را ارائه کردند.

گرینینگ[1] در سال ۲۰۰۰، سه نوع اثرات بازگشتی را مشتمل بر اثرات مستقیم، اثرات غیرمستقیم و اثرات بازگشتی کل اقتصاد معرفی کرد. اثرات بازگشتی مستقیم بیانگر آن است که بهبود کارایی انرژی سبب افزایش تقاضای خدمات انرژی می‌شود و لذا صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف انرژی کاهش می‌یابد. اثرات بازگشتی غیرمستقیم نیز به تغییر در تقاضای سایر خدمات انرژی پس از بهبود کارایی انرژی در یک بخش خاص از انرژی اشاره دارد. اثرات بازگشتی کل اقتصاد نیز به مجموع اثرات بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم اطلاق می‌شود (وانگ[2] و ژو[3]، ۲۰۱۲).

اثرات بازگشتی (و یا اثرات معکوس) زمانی رخ می‌دهد که بهبود کارایی مصرف انرژی، تقاضای انرژی را به میزان بهبود کارایی انرژی کاهش نمی‌دهد (و یا حتی آن را افزایش نیز می‌دهد). برای محاسبه مقادیر اثرات بازگشتی از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

$$RE=(۱-\frac{\Delta EA_{actual}}{\Delta EA_{potential}})*۱۰۰$$

RE: اثرات بازگشتی

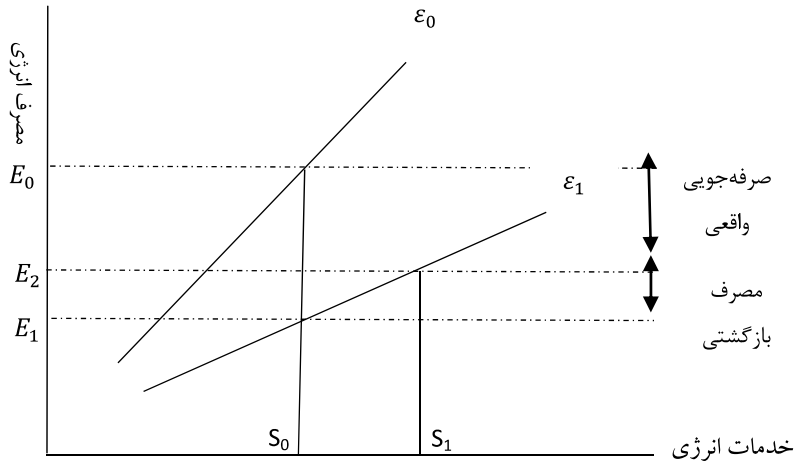
ΔEA_{actual} :درصد تغییرات در مصرف انرژی پس از بهبود کارایی

$\Delta EA_{potentail}$: درصد بهبود کارایی

1. Greening
2. Wang
3. Zhou

نسبت $\left(\frac{\Delta EA_{actual}}{\Delta EA_{potentail}}\right)$ با ε نمایش داده می‌شود. با توجه به مقادیر ε می‌توان در مورد اندازه‌ی اثرات بازگشتی بحث نمود. چنانچه ارتقای کارایی سبب کاهش تقاضای انرژی به میزانی کمتر از ارتقای کارایی گردد، آنگاه $-۱<\varepsilon<۰$ می‌شود و لذا میزان اثرات بازگشتی بین صفر تا ۱۰۰ درصد خواهد بود. چنانچه ارتقای کارایی انرژی به کاهش تقاضای انرژی به میزان ارتقای کارایی بیانجامد، لذا میزان ε برابر با ۱- شده و اثرات بازگشتی صفر می‌شود. چنانچه ارتقای کارایی موجب افزایش مصرف انرژی گردد، $\varepsilon>۰$ شده و اثرات بازگشتی بزرگ‌تر از ۱۰۰ درصد می‌شود که حاکی از وجود اثرات معکوس می‌باشد (خوشکلام؛ ۱۳۹۳).

برای بیان بهتر اثرات بازگشتی، مفهوم اثرات در قالب شکل ۱ ارائه می‌شود. در شکل زیر، فرض شده است که ε_0 و ε_1 نشان دهنده دو سطح از کارایی انرژی برای یک خدمت انرژی مشخص باشند. اگر تقاضای انرژی در S_0 بدون تغییر باقی بماند، بهبود کارایی انرژی از ε_0 به ε_1 سبب کاهش مصرف انرژی به میزان $E_0 - E_1$ می‌شود. با این وجود، بهبود کارایی انرژی سبب کاهش هزینه‌ی هر واحد خدمت انرژی شده و تقاضای خدمت انرژی را از S_0 به S_1 افزایش می‌دهد. در نتیجه، صرفه‌جویی انرژی واقعی، به‌میزان $E_0 - E_2$ خواهد بود، این در حالیست که پتانسیل صرفه‌جویی محاسبه شده در اثر بهبود بازده برابر با $E_0 - E_1$ می‌باشد.



منبع: وانگ و ژو، ۲۰۱۲

شکل ۱. نمایی از اثرات بازگشتی مستقیم

آثار بازگشتی از منظرهای متفاوتی بررسی می‌شود.

- برای مصرف‌کنندگان، اثرات مستقیم ناشی از کاهش قیمت به اثرات جانشینی و درآمدی تقسیم می‌شود. در اثر جانشینی، بهبود کارایی انرژی سبب می‌شود قیمت نهاده انرژی نسبت به سایر نهاده‌ها کاهش یابد و مصرف‌کننده نهاده انرژی را جانشین سایر کالاها کند. هم‌چنین در اثر تغییرات قیمتی درآمد حقیقی مصرف کنندگان افزایش می‌یابد که به اثرات درآمدی می‌انجامد. کل اثرات قیمتی از مجموع اثرات جانشینی و درآمدی حاصل می‌شود که توسط معادله اسلاتسکی بیان می‌شود (برکهوت و همکاران؛ ۲۰۰۰). تغییر در تکنولوژی می‌تواند سبب تغییر ترجیحات مصرف‌کنندگان، اصلاح نهادهای اجتماعی و باز ارایی ساختار تولیدی شود که از آن به‌عنوان اثرات تبدیلی یاد می‌شود (گرینینگ و همکاران؛ ۲۰۰۰). به‌عبارت دیگر اثرات جانشینی و درآمدی ممکن است که به تغییرات در الگوی مصرف مصرف‌کنندگان منجر شود. برای مثال، افزایش کارایی انرژی به تغییر در رفتار مصرفی (افزایش خرید فریزرهای پربازده به‌جای یخچال‌های قدیمی و یا جایگزین کردن اجاق‌های برقی پربازده به جای تجهیزات سنتی پخت و پز در مناطق شهری) می‌انجامد.

- برای تولید کنندگان، نهاده انرژی در کنار نیروی کار و سرمایه نهاده‌های حیاتی تولید را تشکیل می‌دهند. بهبود کارایی انرژی بیانگر آن است که اولا تولیدکننده می‌تواند در بلندمدت ترکیب نهاده‌های تولید را تغییر دهد و ثانیا می‌تواند هزینه‌های تولید را کاهش داده و در نتیجه حاشیه سود بیشتری بین قیمت تمام شده و قیمت فروش ایجاد کند. اگر بازار رقابت کامل باشد، جنگ قیمتی ایجاد شده و سبب کاهش قیمت‌ها می‌شود. در تعادل جدید، قیمت تعادلی کاهش می‌یابد ولی تغییرات تقاضا به کشش قیمتی تابع تقاضا وابسته است. اگر تقاضا نسبت به قیمت‌ها بی کشش باشد، افزایش فروش رخ نمی‌دهد، ولی در غیر این صورت تقاضا برای کالای تولیدی بالا رفته و لذا استفاده از نهاده انرژی افزایش می‌یابد. به این اثر اثر ثانویه و یا اثر محصول اطلاق می‌شود (برکهوت و همکاران؛ ۲۰۰۰).

۳- ادبیات تجربی

در خصوص مطالعات تعادل عمومی پیرامون اثرات بازگشتی انرژی در ایران به‌جز دو مورد، مطالعه دیگری وجود ندارد. تمرکز مطالعه اول بر بخش حمل و نقل می‌باشد

که توسط خوشکلام (۱۳۹۳) به انجام رسیده است. مطالعه دوم برای اثرات بازگشتی بهبود کارایی مصرف برق توسط منظور (۱۳۹۰) به انجام رسیده که در این مطالعه بخش صنعت در قالب یک بخش مدنظر قرار گرفته و به اجزای مختلف تقسیم نشده است.

در میان مطالعات انجام شده در خارج از ایران، لو و همکاران[1] (۲۰۱۷)، کسلر و همکاران[2] (۲۰۱۶)، بروبرگ و همکاران[3] (۲۰۱۵)، یو و همکاران[4] (۲۰۱۵) و نیز گرپرود[5] و همکاران (۲۰۰۴)، اثرات بازگشتی را در بخش صنعت در سوئد، ایالت جرجیای آمریکا و نروژ مورد مطالعه قرار داده‌اند و در این مطالعات از مدل تعادل عمومی برای محاسبه اثرات بازگشتی استفاده شده است.

لو و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای اثرات بازگشتی مربوط به بهبود کارایی ۵٪ برای انواع حامل‌های انرژی در ۱۳۵ بخش تولیدی چین را بر مبنای مدل تعادل عمومی ایستا مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است بهبود کارایی برق از بیشترین اثر مثبت بر تولید ناخالص داخلی برخوردار می‌باشد. هم‌چنین هیچ‌گونه اثرات معکوس در اثر بهبود کارایی برق مشاهده نمی‌شود. این بدین معناست که بهبود کارایی برق یک سیاست مناسب برای ساختار انرژی کشور چین می‌باشد. هم‌چنین از آنجا که بهبود کارایی در بخش‌های با درجه‌ی جانشینی بالاتر منجر به اثرات بازگشتی بزرگ‌تر می‌شود، باید بهبود کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی که جانشینی سوخت‌ها در آن‌ها پایین‌تر است صورت پذیرد.

کسلر و همکاران (۲۰۱۶)، از یک مدل شبیه‌ساز تعادل عمومی جهانی (چند منطقه‌ای و چند بخشی) برای تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از اجرای سیاست‌های بهبود کارایی انرژی در آلمان استفاده کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که رفتار اثرات بازگشتی منجر به اثرات گسترده‌تری در سطح جهانی می‌گردد. به‌عبارت دیگر، بهبود کارایی در کشور آلمان نه تنها به اثرات بازگشتی در این کشور منجر می‌شود، بلکه اثرات بازگشتی در سایر کشورها را به‌دنبال دارد. بهبود کارایی در دو سناریو در نظر گرفته شده است. با اعمال بهبود کارایی انرژی ۱۰ درصدی در بخش ساخت و تولید آلمان در

1. Lu et al. (2017)
2. Koesler et al. (2016)
3. Thomas Broberg
4. Xuewei Yu
5. Grepperud

سناریوی اول، اثرات بازگشتی در سطح بخش، بخش‌های تولیدی کشور، کل کشور و در سطح کشورهای اتحادیه اروپا و کل جهان به‌ترتیب معادل با ۵۶/۴۴ ٪، ۴۷/۶۳ ٪، ۵۱/۳۱ ٪، ۵۰/۲۲ ٪ و ۴۸/۱۱ ٪ می‌باشد. اعمال بهبود کارایی ۱۰ درصدی در سناریوی دوم برای کلیه بخش‌ها به اثرات بازگشتی معادل با ۴۶/۶ ٪، ۵۰/۱۸ ٪، ۴۷/۲۸ ٪ و ۴۶/۵۸ ٪ در سطح بخش‌های تولیدی کشور، کل کشور و در سطح سایر کشورهای اتحادیه اروپا و سایر کشورهای جهان منجر می‌شود.

بروبرگ و همکاران، در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای با عنوان «اثرات بازگشتی بهبود کارایی در صنایع سوئد» به بررسی اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی در مصرف انرژی صنایع سوئدی بر مبنای رویکرد تعادل عمومی پرداخته‌اند. آن‌ها فرضیه‌های مختلف اثرگذار بر اندازه‌ی اثرات بازگشتی را مورد مطالعه قرار داده و دریافته‌اند که با افزایش کارایی انرژی به میزان پنج درصد در صنایع کشور سوئد، اثرات بازگشتی در محدوده بین ۴۰ تا ۷۰ درصد در اقتصاد سوئد وجود دارد. هم‌چنین با افزایش کارایی انرژی در صنایع انرژی بر، میزان اثرات بازگشتی از این رنج نیز فراتر خواهد رفت (بروبرگ و همکاران، ۲۰۱۵).

یو و همکاران، در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای با عنوان «اثرات بازگشتی انرژی منطقه ای: تأثیر بهبود کارایی بر بخش‌های مختلف و نیز کل اقتصاد در ایالت جرجیا»، به بررسی این اثرات بر مبنای مدل تعادل عمومی ایالت جرجیای امریکا پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بهبود کارایی انرژی در سمت تولید سبب ایجاد اثرات بازگشتی متوسطی در سطح کل اقتصاد خواهد شد. کاهش قیمت‌های انرژی کم بوده و لذا واکنش بخش‌های مختلف اقتصادی به این تغییرات قیمتی در بخش‌های تولید و تقاضا متفاوت می‌باشد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در بخش‌های تولید انرژی، بخش‌های بالادستی و پایین دستی تولید انرژی، بخش حمل و نقل و یا بخش‌های با کشش‌های تولید قابل توجه، این اثرات بیشتر می‌باشد. یو و همکاران در این مقاله دو سناریو را مدنظر قرار داده‌اند. در سناریوی اول، شوک بهبود کارایی انرژی یکنواختی (۱۰٪) را بر تمامی بخش‌های تولیدی اعمال کرده است. در سناریوی دوم، برای برخی بخش‌های اقتصادی، شوک اعمال شده است. نتایج اجرای مدل در سناریوی اول نشان می‌دهد که با افزایش کارایی انرژی به میزان ده درصد، مقدار مصرف واسطه‌ای انرژی برای تولید، ۸/۵۱ درصد رشد داشته است. در سناریوی دوم نیز شوک کارایی

انرژی برای یک بخش در نظر گرفته شده و اثرات بازگشتی نسبت به سناریوی اول کوچک‌تر است (یو و همکاران، ۲۰۱۵).

گرپرود و همکاران، در سال ۲۰۰۴، در مقاله‌ای با عنوان «تخصیص تعادل عمومی اثرات بازگشتی» به بررسی پتانسیل موجود برای ایجاد اثرات بازگشتی در اثر بهبود کارایی انرژی در اقتصاد نروژ پرداخته‌اند. دو نوع بهبود کارایی در مصرف (مصرف برق و مصرف فرآورده‌های نفتی) برای تمامی بخش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که اثرات بازگشتی قابل توجهی در رابطه با بهبود کارایی انرژی در بخش ساخت و تولید وجود دارد. در سایر بخش‌ها (به‌جز بخش صنعت) اثرات بازگشتی ضعیف می‌باشد. نتایج محاسبه اثرات بازگشتی حاکی از وجود اثرات بازگشتی در صنایع کاغذ و خمیر کاغذ و محصولات شیمیایی و معدنی در اثر افزایش کارایی برق و فرآورده‌های نفتی می‌باشد. در صنعت فلزات اساسی هم افزایش تقاضا (اثرات معکوس) وجود دارد.

۴- روش شناسی

اثرات بازگشتی، به‌طور عمده بر مبنای مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه[1] مورد مطالعه قرار می‌گیرند. بیشتر تمرکز این مدل‌ها، بر بخش تولید اقتصاد و چگونگی روابط بین تقاضای نهاده و محصول در زیر بخش‌های اقتصادی در اثر اجرای سیاست‌های مختلف می‌باشد (بروکز، ۱۹۹۰)، لذا برای انجام این مطالعه، ابتدا مدل تعادل عمومی اقتصاد کلان ایران تدوین خواهد شد. مدل‌های تعادل عمومی به‌دنبال بررسی کل اقتصاد بوده و تمامی کالاها و نهاده‌ها را در نظر می‌گیرند. در این مدل‌ها قیمت‌های نسبی کالاهای تولید شده در بخش‌های مختلف اقتصادی به‌طور درون‌زا و براساس کنش و واکنش متقابل عرضه و تقاضا تعیین می‌شود. اقتصاد کشور به چندین بخش تقسیم شده و لذا تعادل همزمان میان عرضه و تقاضا در بازار کلیه کالاها و عوامل تولیدی صورت می‌پذیرد. عملکرد اصلی این مدل‌ها شبیه‌سازی اثرات سیاست‌های اقتصادی است و به همین دلیل نیز دولت و یا بخش عمومی در مدل قرار گرفته‌اند. در حالت کلی، هدف مدل‌های CGE، ایجاد مدلی با ساختار نسبتاً شفاف برای توضیح مکانیسمی است که تأثیر سیاست مورد نظر و یا شوک‌های برون‌زا را در اقتصادی با چارچوب چند بخشی

1. Computational General Equilibrium Model

نشـان مـی‌دهـد. ((خیابـانی، ۱۳۹۲)، (دواراجـان[1]، ۱۹۸۸)، (مـک کیبـین[2]، ۱۹۹۸)، (دیکسون[3]، ۲۰۱۲)، (گانینگ[4] (۱۹۹۵))).

۴-۱- تبیین بلوک‌های مدل

بلوک تولید: بلوک تولید این مطالعه در قالب ساختار سه لایه‌ای شـکل ۲ تـدوین می‌شود. نهاده‌های تولید در سه گروه عوامل تولید (شامل نیروی کار و سرمایه)، کالاهای واسطه و نهاده‌های انرژی طبقه‌بندی شده است. نهاده واسطه‌ای کل نیز تحت تابع تولیـد لئونتیف تجمیع شده است. هر کالای واسطه‌ای هم می‌تواند در داخل یا از طریق واردات براساس تابع ارمینگتون تأمین شود. عوامل تولید از سرمایه و نیروی کـار تشـکیل شـده است که تحت تابع تولید CES با هم ترکیب شده‌اند. نهاده انرژی کل از ترکیـب کـالای مرکب فرآورده‌های نفتی و گاز با بـرق تشـکیل شـده کـه مـی‌توانـد از داخـل یـا خـارج خریداری شود. برای محاسبه اثرات بازگشتی ناشی از کارایی سوخت‌های فسیلی یا بـرق، بهبود کارایی برای تابع CES که در آن نهاده سوخت‌های فسیلی بـا بـرق بـاهم ترکیـب می‌شوند (رابطه ۱)، لحاظ می‌شود. ضریب η نیز معرف میزان بهبـود کـارایی مـی‌باشـد. پارامترهای δ و ρ و A و σ، معرف پارامترهای سهم، کشش، انتقال و کشـش جانشـینی می‌باشند. با حداکثرسازی سود بنگاه مقید به شرط تـابع تولیـد، تقاضـای سـوخت‌هـای فسیلی به‌صورت رابطه ۲ استخراج می‌شود:

$$QVE_{it} = A(\delta_i(\frac{۱}{\eta_{i,f}})QFF_{it}^{-\rho} + (۱-\delta_i)QFEE_{it}^{-\rho})^{\frac{-۱}{\rho}} \quad (۱)$$

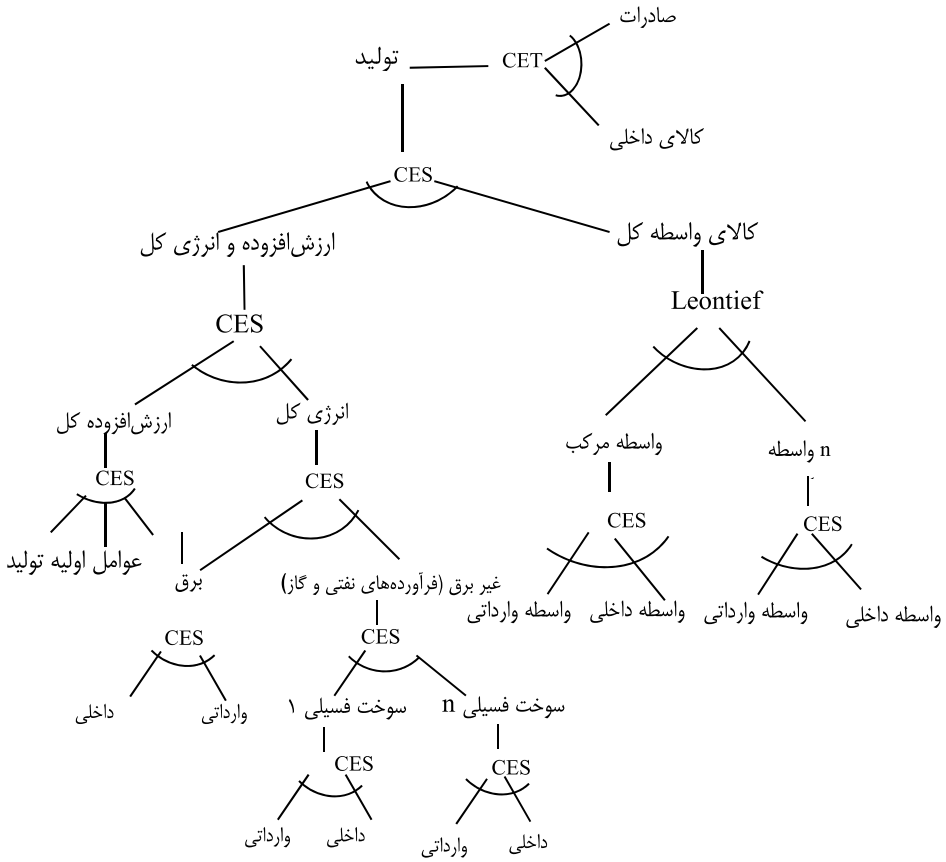
$$QFF_{it} = QFEE_{it} * [\frac{PDEE_{it}}{PDFF_{it}}\frac{\delta_i}{۱-\delta_i}]^{\sigma} \quad (۲)$$

$$\sigma = \frac{۱}{۱+\rho} \quad (۳)$$

در روابط فوق QVE_i، $QFEE_i$ و QFF_i، به‌ترتیب معرف تقاضای نهاده‌هـای انـرژی، برق و نهاده مرکب سوخت‌هـای فسـیلی در فعالیـت i مـی‌باشـند. هـم‌چنـین $PDEE_i$ و $PDFF_i$ نیز قیمت نهاده‌های برق و نهاده مرکب سوخت‌های فسیلی هستند.

1. Devarajan
2. McKibbin
3. Dixon
4. Gunning

در شکل ۲، سه گروه ارزش افزوده کل، نهاده انرژی کل و نهاده کالای واسطه کل با یکدیگر در دو سطح ادغام می‌شوند. در سطح پایین‌تر، ارزش افزوده کل و نهاده انرژی کل به‌وسیله تابع تولید CES با یکدیگر ترکیب شده و در لایه‌ی بالاتر، ترکیب ارزش افزوده کل و نهاده انرژی کل با نهاده کالاهای واسطه ادغام می‌شود. در آخرین لایه محصول تولیدی نهایی در بازار داخلی یا خارجی به فروش می‌رود. لازم به ذکر است که در طراحی ساختار درخت تولید شکل ۲، از مطالعات انجام شده توسط لافگرن (۲۰۰۲)، خیابانی (۱۳۹۲) و خوشکلام (۱۳۹۳) استفاده شده است.



منبع: خیابانی (۱۳۹۲) و خوشکلام (۱۳۹۳)

شکل ۲. ساختار تولید در مدل مورد استفاده در این مقاله

بلوک تجارت خارجی[1]: بلوک تجارت خارجی در دو بخش صادرات و واردات مورد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مورد صادرات، تخصیص تولید داخلی به بازار داخلی و صادرات از طریق تابع CET[2] صورت می‌پذیرد که به نوعی در شکل ۲ نیز به آن اشاره شده است. تابع تجمیع‌گر CET، چگونگی تخصیص محصول به بازارهای مختلف را به‌صورت زیر نشان می‌دهد:

$$XS_i = B_i^X \left[\beta_i^X EX_i^{\rho^X} + \left(1-\beta_i^X\right) DS_i^{\rho^X} \right]^{\frac{1}{\rho^X}} \qquad (۴)$$

XS_i: عرضه ی کالای i

DS_i: عرضه ی کالای i در بازار داخلی

EX_i: مقدار صادراتی کالای i

B_i^X: پارامتر مقیاس

β_i^X: پارامتر سهم در تابع CET

ρ_i^X: پارامتر کشش

هم‌چنین شرط مرتبه اول حداکثر سازی درآمد نسبت به تابع تجمیع‌گر CET به‌صورت زیر می‌باشد:

$$EX_i = \left[\frac{(1-\beta_i^X)PE_i}{\beta_i^X PL_i} \right]^{\sigma_i^X} DS_i \qquad (۵)$$

اما در بخش واردات نیز جانشینی ناقص بین کالاهای داخلی و واردات در قالب تابع آرمینگتون مدنظر قرار می‌گیرد. محصولات داخلی جانشین ناقص برای کالاهای وارداتی هستند، بنابراین کالاهای تقاضا شده در بازار داخلی، کالاهای مرکب می‌باشند که از ترکیب کالاهای داخلی و وارداتی تشکیل شده‌اند. جانشینی ناقص بین این دو نوع کالا توسط تابع تجمیع‌گر CES ارائه می‌شود.

$$Q_i = B_i^M \left[\beta_i^M IM_i^{-\rho_i^M} + (1-\beta_i^M) DD_i^{-\rho_i^M} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^M}} \qquad (۶)$$

Q_i: مقدار تقاضا برای کالای مرکب i B_i^M: پارامترمقیاس

---

۱. همه‌ی روابط مربوط به نهادها و بلوک‌ها بر مبنای مطالعه لافگرن (۲۰۰۲)، خیابانی (۱۳۹۲) و مدل PEP (۲۰۱۳) استخراج شده است.

2. Constant Elasticity of Transformation

β_i^M: پارامتر سهم در تابع CES ρ_i^M: پارامتر کشش

شرط مرتبه اول حداکثرسازی درآمد نسبت به تابع تجمیع‌گر CES به‌صورت زیر می‌باشد:

$$IM_i = \left[\frac{\beta_i^M}{1-\beta_i^M}\frac{PD_i}{PM_i}\right]^{\sigma_i^M} DD_i \qquad (۷)$$

PD_i: قیمت کالای تولید داخل i فروخته شده در بازار داخلی

PM_i: قیمت کالای وارداتی i

σ_i^M: کشش جانشینی

بلوک‌های درآمد عوامل تولید و نهادهای اقتصادی: این بلوک مشتمل بر تخصیص درآمد عوامل تولید نظیر نیروی کار و درآمد سرمایه به نهادهای اقتصادی مختلف متشکل از خانوارها، دولت و شرکت‌ها می‌باشد.

نهاد خانوار: بر طبق رابطه (۸)، درآمد خانوار از سه منبع می‌باشد: درآمد نیروی کار، درآمد ناشی از اجاره سرمایه و پرداخت‌های انتقالی از سایر نهادها. کل درآمد نیروی کار به خانوارها میرسد (معادله ی ۹). هم‌چنین، کل درآمد سرمایه با سهم ثابتی بین نهادها، که شامل خانوارهاست توزیع می‌شود (معادله ۱۰). پرداخت‌های انتقالی از مجموع کل پرداخت‌های انتقالی که توسط خانوارها دریافت شده به‌دست می‌آید (معادله ۱۱).

$$YH = YHL + YHK + YHTR \qquad (۸)$$

YH: کل درآمد خانوار

YHK: درآمد سرمایه‌ای خانوار

YHL: درآمد نیروی کار خانوار

YHTR: پرداخت‌های انتقالی به خانوار

$$YHL = \sum_j WCLDC_j \qquad (۹)$$

$$YHK = \sum_j R\,\lambda_h^R KD_j \qquad (۱۰)$$

$$YHTR = \sum_{agj} TR_{h,agj} \qquad (۱۱)$$

WC: نرخ دستمزد نیروی کار R: نرخ اجاره سرمایه

$TR_{ag,agj}$: انتقالات از نهاد agj به نهاد ag (اندیس h در رابطه ۱۱ نشان‌دهنده انتقالات دریافتی توسط خانوار می‌باشد)

λ_{ag}^{R}: سهم عایدی سرمایه دریافت شده توسط نهاد ag (اندیس h در رابطه ۱۰ نشان‌دهنده خانوار می‌باشد)

درآمد قابل تصرف از کسر مالیات‌های مستقیم و پرداخت‌های انتقالی خانوار به دولت، از دریافتی‌های خانوار به دست می‌آید (معادله‌ی ۱۲). هم‌چنین درآمد قابل تصرف باقیمانده بعد از کسر پس‌انداز و پرداخت‌های انتقالی به سایر نهادها به‌طور کامل مصرف می‌شود که این مهم در معادله ۱۳ نشان داده شده است. هم‌چنین پس‌انداز خانوار تابعی از درآمد قابل تصرف در نظر گرفته می‌شود.

$$YDH = YH - TDH - TR_{gvt,h} \qquad (۱۲)$$

$$CTH = YDH - SH - \sum_{agng} TR_{agng,h} \qquad (۱۳)$$

CTH: بودجه مصرف خانوار

SH: پس‌انداز خانوار

TDH: مالیات بر درآمد خانوار

YDH: درآمد قابل تصرف خانوار

$TR_{gvt,h}$: پرداخت‌های انتقالی خانوار به دولت

$\sum_{agng} TR_{agng,h}$: پرداخت‌های انتقالی خانوار به سایر نهادها (به‌جز دولت)

– ***شرکت‌ها:*** درآمد شرکت‌ها از یک سو شامل سهم درآمد سرمایه‌ای و از سوی دیگر دریافتی پرداخت‌های انتقالی از سایر نهادها به شرکت می‌باشد.

$$YF = YFK + YFTR \qquad (۱۴)$$

$$YFK = \sum_{k} \lambda_{f}^{R} \left(\sum_{j} R \ \ KDC_{j} \right) \qquad (۱۵)$$

$$YFTR = \sum_{ag} TR_{f,ag} \qquad (۱۶)$$

YF: درآمد کل شرکت‌ها

YFK: درآمد سرمایه (عایدی سرمایه) شرکت‌ها

YFTR: درآمد انتقالی به شرکت‌ها از سایر نهادها

$TR_{f,ag}$: پرداخت‌های انتقالی به شرکت‌ها

درآمد قابل تصرف شرکت‌ها، از کسر مالیات بر درآمد از کل درآمد شرکت‌ها به‌دست می‌آید (معادله‌ی ۱۷). به همین ترتیب، پس‌انداز شرکت‌ها پس از کسر پرداخت‌های انتقالی سایر نهادها به شرکت‌ها از درآمد قابل تصرف آن‌ها به‌دست می‌آید (معادله ۱۸).

$$YDF = YF - TDF \quad (۱۷)$$

$$SF = YDF - \sum_{ag} TR_{ag,f} \quad (۱۸)$$

SF: پس‌انداز شرکت‌ها

TDF: مالیات بر درآمد شرکت‌ها

YDF: درآمد قابل تصرف شرکت‌ها

$TR_{ag,f}$: پرداخت‌های انتقالی شرکت‌ها به سایر نهادها

دولت: معادله ۱۹ بیانگر اینست که دولت درآمدهای خود را از طریق مالیات بر درآمد خانوارها و شرکت‌ها، سهم عایدی سرمایه، مالیات بر کالاها، تعرفه‌های وارداتی، مالیات بر درآمد عوامل تولید و نیز دریافت‌های انتقالی از سایر نهادها به‌دست می‌آورد. معادلات (۱۹) تا (۲۷)، منابع مختلف درآمدی دولت را نشان می‌دهند.

$$YG = YGK + TDH + TDF + TPRODN + TPRCTS + YGTR \quad (۱۹)$$

$$YGK = \sum_{k} \lambda^{R}_{gvt} \left(\sum_{j} RKDC_j \right) \quad (۲۰)$$

$$TPRODN = TIWT + TIKT \quad (۲۱)$$

$$TIWT = \sum_{j} TIW_j \quad (۲۲)$$

$$TIKT = \sum_{j} TIK_j \quad (۲۳)$$

$$TPRCTS = TICT + TIMT \quad (۲۴)$$

$$TICT = \sum_{i} TIC_i \quad (۲۵)$$

$$TIMT = \sum_{i} TIM_i \quad (۲۶)$$

$$YGTR = \sum_{agng} TR_{gvt,agng} \quad (۲۷)$$

TIC_i: درآمد دولت از مالیات‌های غیرمستقیم روی کالای i

TICT: کل دریافتی‌های دولت از مالیات غیرمستقیم روی کالاها

TIK_j: درآمد دولت از مالیات بر سرمایه در صنعت j

TIKT: کل درآمد دولت از مالیات بر سرمایه

TIM_i: درآمد دولت از تعرفه ی وارداتی کالای i

TIMT: کل درآمد دولت از تعرفه بر واردات

TIW_j: درآمد دولت از مالیات بر درآمد نیروی کار در صنعت j

TIWT: کل درآمد دولت از مالیات بر درآمد نیروی کار

TPRCTS: کل درآمد دولت از مالیات بر کالاها و واردات

TPRODN: کل درآمد دولت از سایر مالیات‌ها بر تولید

YG: کل درآمد دولت

YGK: درآمد دولت از سرمایه

YGTR: درآمد انتقالی دولت

مالیات بر درآمد خانوارها و شرکت‌ها و عوامل تولید تابعی از درآمد کل آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین اضافه یا کسری بودجه‌ی جاری دولت (مثبت یا منفی بودن پس‌انداز دولت) تفاوت بین درآمد و مخارج دولت را نشان می‌دهد. عبارت دوم و سوم معادله‌ی (۲۸) به‌ترتیب شامل انتقالات به عاملان اقتصادی و مخارج جاری دولت روی کالاها و خدمات می‌باشد.

$$SG = YG - \sum_{agng} TR_{agng,gvt} - G \qquad (۲۸)$$

SG: پس‌انداز دولت

G: مخارج جاری دولت روی کالاها و خدمات

بلوک تعادل: در بلوک تعادل نیز تعادل تجارت خارجی، تعادل در بخش دولت، تعادل در بازار کالاها و خدمات بشرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

تعادل در بودجه خانوار: تفاوت بین هزینه‌ها و درآمد خانوارها از طریق پس‌انداز خانوارها برقرار می‌شود که نشانگر تعادل در بودجه خانوار است (معادله ۱۳).

تعادل در بودجه دولت: دولت می‌تواند با کسری و یا مازاد بودجه روبرو شود. در معادله تعادل بودجه، دولت تفاوت درآمد و هزینه‌های دولت در حساب پس‌انداز دولت که می‌تواند منفی و یا مثبت باشد، منظور می‌شود (معادله ۲۸)، لذا در خصوص بخش

دولت، نرخ‌های مالیات مستقیم برابر با مقدار سال پایه آن‌ها و ثابت در نظر گرفته می‌شود و پس‌اندازهای دولتی متغیر در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن از طریق رابطه ۲۸ حاصل می‌شود. این رابطه یکی از قواعد بستار مدل در بخش دولت می‌باشد.

تعادل در بازار کالا و خدمات: تعادل در این بازار از طریق برابری کل پس‌انداز خصوصی و دولتی با سرمایه‌گذاری ناخالص بخش خصوصی برقرار می‌شود. در این مدل فرض شده که تراز پس‌انداز- سرمایه‌گذاری پس‌انداز محور باشد و لذا نرخ‌های پس‌انداز ثابت در نظر گرفته شده و سرمایه‌گذاری درون‌زا منظور می‌شود. لازم به ذکر است که قاعده بستار در نظر گرفته شده برای این مدل از نوع نئوکلاسیکی می‌باشند که در آن‌ها مخارج سرمایه‌گذاری با مجموع مقادیر پس‌انداز نهادهای دولتی و خصوصی برابر می‌باشد.

$$IT_t = \sum_h SH_{h,t} + \sum_f SF_{f,t} + SG_t + SROW_t \qquad (۲۹)$$

تعادل در بازار کالاهای مرکب: تعادل در این بازار از طریق برابری عرضه و تقاضای کالای مرکب آرمینگتون برقرار می‌شود.

$$Q_{i,t} = \sum_h C_{i,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + DIT_{i,t} \qquad (۳۰)$$

تعادل در بازار خارجی: بر اساس معادله تراز حساب جاری، تفاوت بین هزینه‌ها و درآمدهای ارزی کشور از طریق پس‌انداز خارجیان برقرار می‌شود، که تعادل بازار خارجی را به‌دنبال دارد. پس‌انداز خارجی (تراز حساب جاری)، ثابت و نرخ ارز حقیقی، متغیر در نظر گرفته می‌شود.

$$SROW_t = -CAB_t \qquad (۳۱)$$

CAB_t: تراز حساب جاری

$SROW_t$: پس‌انداز دنیای خارج

۵- پایه‌های آماری مدل و کالیبراسیون

برای کالیبراسیون مدل به مجموعه‌ای از اطلاعات مقادیر اولیه متغیرها و پارامترهای توابع تولید، مصرف و ... نیاز می‌باشد. مقدار اولیه متغیرهای مدل بر پایه ماتریس عمومی حسابداری اجتماعی متعارف سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس تعیین شده است. مقادیر کشش‌های توابع تولید کشش جانشینی ثابت نیز از مراجع و مطالعات بیرونی به‌دست آمده است که در جدول ۱ به آن اشاره شده است. برای اطمینان بیشتر، در انتهای مقاله تحلیل حساسیت کشش‌ها انجام گرفته است. نرخ‌های استهلاک مورد

استفاده برای بخش‌های مختلف نیز بر مبنای سه مطالعه مندرج در جدول ۲ استخراج شده است.

جدول ۱. کشش جانشینی تولید و مصرف در این مطالعه

کشش‌های درخت تولید				
ترکیب انرژی – ارزش افزوده و کالای واسطه‌ای[۱]	کشش ارزش افزوده و انرژی[۱]	کشش بین نیروی کار و سرمایه[۱]	کشش جانشینی بین سوخت‌های فسیلی و برق[۲]	کشش جانشینی بین سوخت‌های فسیلی[۴]
۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۵	۰/۵
کشش‌های درخت مصرف				
کشش جانشینی بین مصرف کالاهای غیرانرژی و انرژی[۱]	کشش جانشینی بین مصرف سوخت‌های فسیلی و برق[۱]	کشش جانشینی بین مصرف کالاهای غیرانرژی[۱]	کشش جانشینی بین مصرف فرآورده‌های نفتی[۳]	
۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۳	۰/۷	

(۱): کشش‌ها از مطالعه خیابانی (۱۳۹۲) بر مبنای روش اقتصاد سنجی حاصل شده است. (۲): بر اساس مطالعه منظور (۱۳۸۹) استخراج شده است. (۳): بر اساس مطالعه شرزه‌ای (۱۳۹۳) استخراج شده است. (۴): بر اساس مطالعه خوشکلام (۱۳۹۳) استخراج شده است.

جدول ۲. خلاصه‌ای از نرخ‌های استهلاک در مطالعات مختلف

	امینی- نشاط (۱۳۸۴)	پژوهشکده آمار (۱۳۹۱)	نقیبی و کیانی (۱۳۹۴)	نرخ در نظر گرفته شده در این مطالعه
کشاورزی	۵/۹	۵/۶	۵/۸	۵/۸
نفت و گاز*	۶/۲		۶/۳	۱۰
صنعت و معدن	۴/۷	۷/۸	۴/۹	۵
آب و برق	۳/۹		۴/۱	۴
ساختمان	۷/۸	۸/۱	۷/۸	۷/۸
حمل و نقل	۴/۶	۴/۴	۳/۵	۱۰
ارتباطات	۳/۶	۵/۲		۴
مستغلات	۳			
سایر خدمات	۴			
دوره مطالعه	۱۳۸۱-۱۳۳۸	۱۳۸۶-۱۳۵۰	۱۳۸۸-۱۳۳۸	

منبع: جدول استهلاکات موضوع ماده ۱۵۱ قانون مالیات‌های مستقیم.

۶- یافته‌ها و نتایج

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات اجرای سناریوهای ارتقای کارایی سوخت‌های فسیلی و برق با استفاده از مدل تعادل عمومی می‌باشد. در این راستا شش سناریو مطابق با جدول ۳ مدنظر قرار خواهد گرفت (مؤسسه‌ی Wuppertal ، ۲۰۱۵).[۱]

جدول ۳. سناریوهای شش گانه جهت افزایش کارایی*

	سناریوهای افزایش کارایی در صنایع انرژی بَر	سناریوهای افزایش کارایی در کلیه بخش‌ها
نوع حامل انرژی و سناریو	برق (سناریوی اول)	برق (سناریوی چهارم)
	سوخت (سناریوی دوم)	سوخت (سناریوی پنجم)
	انرژی (سناریوی سوم)	انرژی (سناریوی ششم)

*: به‌عنوان نمونه در سناریوی اول افزایش کارایی برق در کلیه صنایع انرژی‌بر مدنظر قرار خواهد گرفت. در سناریوی ششم نیز افزایش همزمان کارایی برق و سوخت برای تمامی بخش‌های اقتصادی مدنظر قرار می‌گیرد.

منبع: سناریوهای در نظر گرفته شده در تحقیق

در جدول ۴، نتایج حاصل از محاسبه اثرات بازگشتی در نتیجه اجرای مدل تعادل عمومی ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان کاهش تقاضا در انواع سناریوهای بهبود کارایی کمتر از ۳ درصد است. به عبارت دیگر، کاهش تقاضا به میزان بهبود کارایی نیست. این موضوع بیانگر وجود اثرات بازگشتی می‌باشد. در بیشتر صنایع، میزان کاهش تقاضا ناشی از بهبود کارایی در سناریوی سوم بیش از سناریوهای اول و دوم می‌باشد. علت آن است که در سناریوی سوم بهبود کارایی برای نهاده انرژی (متشکل از برق و سوخت) در نظر گرفته شده است، ولی در سناریوهای اول و دوم، بهبود کارایی برای یکی از حامل‌ها نظیر برق یا سوخت مدنظر قرار می‌گیرد.

آثار بازگشتی در سناریوی چهارم تا ششم که در آن بهبود بازده برای تمامی بخش‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود، نسبت به سناریوهای اول تا سوم بیشتر است. این نتیجه در تطابق با یافته‌های بسیاری از پژوهش‌های انجام شده نظیر یو و همکاران

---

۱. در این مرجع فرض شده است که علاوه بر احداث کارخانجات جدید با بهترین تکنولوژی، کلیه تکنولوژی‌های موجود نیز نوسازی می شوند و لذا نرخ کاهش شدت انرژی معادل با ۳/۱ درصد در نظر گرفته شده است.

(۲۰۱۵) و بروبرگ و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. علت این رخداد این است که اگر سهم هزینه‌ی نهاده انرژی در هزینه‌های تولید صنایع انرژی بر و کل بخش‌های تولیدی اقتصاد با هم مقایسه شوند، سهم هزینه‌ی انرژی در هزینه‌های کل بخش‌های تولیدی در قیاس با صنایع انرژی بر کمتر می‌باشد. این امر بدین معناست که بهبود کارایی انرژی برای تمامی بخش‌ها در سناریوهای چهارم تا ششم، اثرات کمتری را نسبت به سناریوهای اول تا سوم خواهد داشت. بنابراین اثرات بهبود بازده بر کاهش تقاضا در سناریوهای چهارم تا ششم نسبت به سناریوهای اول تا سوم کمتر است. هر چه کاهش تقاضا کمتر باشد، اثرات بازگشتی بزرگ‌تر می‌شود. بر طبق جدول ۴ نیز، آثار بازگشتی در سناریوی کارایی تمام بخش‌ها نسبت به سناریوی کارایی بخش‌های انرژی‌بر بزرگ‌تر است.

در مقایسه بین صنایع، بیشترین آثار بازگشتی در سناریوهای دوم و سوم و نیز پنجم، مربوط به صنایع شیمیایی و پتروشیمی می‌باشد.

در سمت تولید نیز، افزایش کارایی انرژی سبب کاهش تقاضای حامل‌های انرژی شده و هزینه‌های انرژی کاهش می‌یابد و این کاهش هزینه‌ی انرژی در صنایع انرژی بر سبب کاهش قیمت محصولات نهایی می‌شود. کاهش هزینه‌های تولید محصولات در اثر افزایش کارایی در صنایع مختلف متفاوت می‌باشد. بیشترین کاهش هزینه‌ی تولید در اثر افزایش کارایی انرژی مربوط به مواد و محصولات شیمیایی است.

جدول ۴. اثرات بازگشتی و کاهش تقاضای نهاده‌ها ناشی از بهبود کارایی (درصد)

	اثرات بازگشتی (درصد)					
	سناریوی ۱	**سناریوی ۲**	**سناریوی ۳**	**سناریوی ۴**	**سناریوی ۵**	**سناریوی ۶**
صنایع غذایی و آشامیدنی	۶۸/۸۵	۶۴/۱۶	۵۱/۲۹	۸۶/۳	۷۴/۵۴	۷۳
ساخت کاغذ و محصولات کاغذی	۷۲/۵۳	۶۷/۵۱	۶۶/۴۲	۹۱/۵۳	۷۹/۵۷	۹۶/۳
لاستیک و پلاستیک	۷۱/۸	۶۶/۳۲	۶۴/۱۷	۹۰/۲۷	۷۶/۲۶	۹۳/۲۳
محصولات شیمیایی	۶۳/۱۹	۸۴/۲۷	۷۱/۹۳	۷۹/۰۳	۹۳/۵۶	۹۱/۵۲
کانی‌های غیرفلزی	۶۸/۳۱	۶۶/۲۹	۵۳/۵۱	۸۵/۶۴	۸۰/۱۳	۸۶/۸۲
فلزات اساسی	۷۵/۲	۶۳/۱۲	۶۶/۰۴	۹۴/۶۶	۷۴/۰۱	۹۲/۹۸
چوب و محصولات چوبی	۷۳/۸۶	۶۳/۲۱	۶۳/۴۵	۹۲/۷۵	۷۴/۴۹	۸۹/۵۲
وسایل نقلیه موتوری	۶۴/۲۶	۷۱/۱۷	۵۰/۴	۸۰/۶۸	۸۵/۰۸	۸۰/۶۴

تغییر در تقاضای حامل‌های انرژی (درصد)						
	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴	سناریوی ۵	سناریوی ۶
	تغییر در تقاضای برق	تغییر در تقاضای سوخت	تغییر در تقاضای نهاده انرژی	تغییر در تقاضای برق	تغییر در تقاضای سوخت	تغییر در تقاضای نهاده انرژی
صنایع غذایی و آشامیدنی	-۰/۹۷	-۱/۱۱	-۱/۵۱	-۰/۴۲	-۰/۷۹	-۰/۸۴
ساخت کاغذ و محصولات کاغذی	-۰/۸۵	-۱	-۱/۰۴	-۰/۲۶	-۰/۶۳	-۰/۱۱
لاستیک و پلاستیک	-۰/۸۷	-۱/۰۴	-۱/۱۱	-۰/۳	-۰/۷۴	-۰/۲۱
محصولات شیمیایی	-۱/۱۴	-۰/۴۹	-۰/۸۷	-۰/۶۵	-۰/۲	-۰/۲۶۳
کانی‌های غیرفلزی	-۰/۹۸	-۱/۰۵	-۱/۴۴	-۰/۴۴	-۰/۶۱	-۰/۴۱
فلزات اساسی	-۰/۷۷	-۱/۱۴	-۱/۰۵	-۰/۱۷	-۰/۸	-۰/۲۲
چوب و محصولات چوبی	-۰/۸۱	-۱/۱۴	-۱/۱۳	-۰/۲۲	-۰/۷۹	-۰/۳۲
وسایل نقلیه موتوری	-۱/۱	-۰/۸۹	-۱/۵۴	-۰/۶	-۰/۴۶	-۰/۶

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۵. تغییر در هزینه‌های تولید در اثر بهبود کارایی در سناریوهای شش گانه (درصد)

تغییر در هزینه‌های تولید (درصد)						
	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴	سناریوی ۵	سناریوی ۶
صنایع غذایی و آشامیدنی	--	--	--	--	--	--
ساخت کاغذ و محصولات کاغذی	--	--	-۰/۱	--	--	-۰/۱
لاستیک و پلاستیک	--	--	-۰/۲	--	--	-۰/۱
محصولات شیمیایی	--	-۰/۴	-۰/۹	--	-۰/۵	-۱
کانی‌های غیرفلزی	--	-۰/۲	-۰/۶	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۵
فلزات اساسی	--	--	-۰/۲	-۰/۱	--	-۰/۱
چوب و محصولات چوبی	--	--	--	--	--	--
وسایل نقلیه موتوری	--	--	--	--	--	--

منبع: محاسبات تحقیق

به‌عنوان مثال کاهش هزینه‌ی تولید محصولات در اثر ارتقای بهره وری نهاده انرژی به میزان ۳/۱ درصد در سناریوی کلیه بخش‌ها، سبب می‌شود که هزینه‌های تولید در صنایع کاغذ و محصولات کاغذی، مواد شیمیایی، محصولات لاستیک و پلاستیک، کانی‌های غیرفلزی و فلزات اساسی بین ۰/۱ تا ۱ درصد کاهش یابد. بیشترین میزان کاهش نیز مربوط به صنعت مواد و محصولات شیمیایی می‌باشد. با توجه به کاهش هزینه‌های تولید، سطح تولید محصولات در صنایع انرژی بر نیز افزایش می‌یابد. میزان افزایش سطح تولید صنایع انرژی بر در اثر افزایش میزان کارایی در صنایع مختلف در جدول ۶ نمایش داده شده است. بیشترین درصد تغییر در تولید در سناریوهای دوم، سوم، پنجم و ششم مربوط به صنایع مواد و محصولات شیمیایی می‌باشد. میزان تغییر در تولید صنایع مواد و محصولات شیمیایی در این سناریوها بین ۰/۸۲۴ تا ۱/۹۵ درصد می‌باشد. کمترین افزایش تولید مربوط به بهبود بازدهی برق در سناریوی بهبود کارایی صنایع انرژی بر و بیشترین افزایش نیز مربوط به بهبود کارایی نهاده انرژی در سناریوی بهبود کارایی در تمامی زیر بخش‌ها می‌باشد.

جدول ۶. تغییر در تولید در اثر بهبود کارایی در سناریوهای شش گانه (درصد)

	تغییر در تولید (درصد)					
	سناریوی ۱	**سناریوی ۲**	**سناریوی ۳**	**سناریوی ۴**	**سناریوی ۵**	**سناریوی ۶**
صنایع غذایی و آشامیدنی	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰/۱۲۵	۰/۳۲۳
ساخت کاغذ و محصولات کاغذی	۰/۱۳۴	۰/۲	۰/۶۴۶	۰/۲۱۵	۰/۳۸۹	۱/۱۸
لاستیک و پلاستیک	۰/۰۶۵	۰/۱۸۷	۰/۴۹۲	۰/۱۱	۰/۳۱۴	۰/۸۳
محصولات شیمیایی	۰/۰۳۶	۰/۸۲۴	۱/۶۹	۰/۰۶۴	۰/۹۳۴	۱/۹۵
کانی‌های غیرفلزی	۰/۱۱۳	۰/۲۲	۰/۶۶	۰/۱۶	۰/۴	۱/۱۱
فلزات اساسی	۰/۱۵۶	۰/۱۱	۰/۵۱۱	۰/۲۲۷	۰/۲۵۲	۰/۹۳
چوب و محصولات چوبی	۰/۰۶۴	۰/۰۷	۰/۲۵۹	۰/۱۰۸	۰/۲۱۷	۰/۶۳
وسایل نقلیه موتوری	۰/۰۳۲	۰/۱۶	۰/۳۷۵	۰/۰۷۴	۰/۳۴۹	۰/۸۳

منبع: محاسبات تحقیق

۶- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به‌صورت نمونه برای صنعت مواد شیمیایی در یک سناریو صورت پذیرفته است. از آنجا که در سناریو ششم بهبود کارایی برای انرژی در تمامی بخش‌ها صورت می‌پذیرد، لذا تحلیل حساسیت در این سناریو برای کشش بین انرژی و ارزش افزوده در تابع تولید ارزش افزوده- انرژی ($\sigma=0/67$) انجام می‌شود. به‌عنوان نمونه، هنگامی که کشش جانشینی به میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد، تقاضای انرژی در سناریوی ششم به میزان ۰/۳۷ درصد بالا می‌رود. کاهش کشش جانشینی به میزان ۲۰ درصد نیز حاکی از کاهش تقاضای انرژی به‌میزان ۰/۱۵ درصد نسبت به تقاضا پس از اعمال کارایی در حالت کشش پایه می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، باوجود اینکه کشش‌های جانشینی در حدود ۲۰ درصد تغییر کرده است، تقاضا به‌طور عمده کمتر از ۱ درصد تغییر می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله، آثار اجرای راهکارهای بهبود کارایی ۳/۱ درصدی در سناریوی بهبود کارایی صنایع انرژی‌بر (سناریوی اول تا سوم) و تمامی بخش‌ها (سناریوی چهارم تا ششم) مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به نتایج ارائه شده، لازم است که نکات زیر در اجرای سیاست‌های بهبود بازده انرژی مورد توجه قرار گیرد:

- آثار بازگشتی در سناریوی چهارم تا ششم که در آن بهبود بازده برای تمامی بخش‌های اقتصادی در نظر گرفته می‌شود، نسبت به سناریوهای اول تا سوم بیشتر است. لذا بهتر است در سیاست‌های بهبود بازده انرژی، تمرکز عمده بر سناریوهای اول تا سوم که در آن صنایع انرژی‌بر مدنظر قرار گرفته‌اند، قرار گیرد.

- در سناریوی اول، بهبود بازده برق برای صنایعی که از آثار بازگشتی کمتری برخوردارند، نظیر محصولات شیمیایی، کانی غیرفلزی، وسایل نقلیه موتوری و مواد غذایی، باید در اولویت بیشتر قرار گیرد. برای اعمال سیاست‌های بهبود بازده نهاده انرژی نیز، صنایعی نظیر کانی‌های غیرفلزی، صنایع غذایی و وسایل نقلیه موتوری، چوب و کاغذ و لاستیک و پلاستیک در اولویت می‌باشند.

هم‌چنین بهبود کارایی علاوه بر تغییر تقاضا سبب کاهش قیمت‌های تولید انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌ی تولید محصولات در صنایع انرژی‌بر می‌شود. بر مبنای نتایج به‌دست آمده، صنایع مواد و محصولات شیمیایی و کانی‌های غیرفلزی از بیشترین کاهش قیمت تمام شده و افزایش تولید در اثر کاهش هزینه‌های انرژی برخوردار می‌باشند.

منابع

۱. امینی، علیرضا و نشاط، محمد (۱۳۸۴). برآورد سری زمانی موجودی سرمایه در اقتصاد ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۳۸، *مجله برنامه و بودجه*، ۹۰، ۸۶-۵۳.

۲. خوشکلام خسروشاهی، 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*، ۱۱، ۱۳۱-۱۵۸.

۳. خیابانی، ناصر (۱۳۹۲). الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه و سیاست‌های انرژی در ایران. مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی.

۴. شرزه‌ای، غلامعلی، خلیلی‌عراقی، سید منصور و برخورداری، سجاد (۱۳۹۳). اصلاح یارانه‌های انرژی و مسیر زمانی مصارف انرژی (رهیافت مدل DCGE). *فصلنامه‌ی تحقیقات اقتصادی*، (۴)۴۹، ۷۹۹-۸۳۳.

۵. منظور، داود، شاهمرادی، اصغر و حقیقی، ایمان (۱۳۸۹). بررسی آثار حذف یارانه‌ی آشکار و پنهان انرژی در ایران: مدل‌سازی تعادل عمومی محاسبه پذیر بر مبنای ماتریس داده‌های خرد تعدیل شده، *فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۶، ۵۴-۲۱.

۶. وزارت امور اقتصادی و دارایی، قانون مالیات‌های مستقیم، جدول استهلاکات موضوع ماده ۱۵۱ (www.malionline.ir/images/docs/files/000000/nf00000832-1.pdf)

۷. هژبر کیانی، کامبیز و نقیبی، محمد (۱۳۹۴). برآورد موجودی سرمایه و بررسی کارآیی روش‌های مختلف محاسبه آن در بخش‌های عمده اقتصادی ایران، *فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، ۲، ۷۳-۹۴.

۸. هژبر کیانی، کامبیز (۱۳۹۱). برآورد موجودی سرمایه و مصرف سرمایه ثابت در بخش‌های عمده اقتصادی. پژوهشکده آمار، گروه پژوهشی آمارهای اقتصادی.

9. Allan, G., Hanley, N., & McGregor, P. (2007). The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom. *Journal of Energy Economics*. 29(4), 779–798.
10. Broberg, T., Samakovlis, E., & Berg, C. (2015). The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries–A general equilibrium analysis. *Journal of Energy Policy*. 83, 26–37
11. Brookes, L. (1990), The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution, Energy Policy, 18(2), 199–201.
12. Devarajan, S., & Go, D. S, (1988). The Simplest Dynamic General Equilibrium Model for Open Economy. *Journal of Policy Modeling*. 20(6), 677–714.
13. Dixon, P., & Jorgenson, D .W. (2012). Handbook of Computable General Equilibrium Modeling, Elsevier.
14. Gavankar, S., & Geyer, R. (2010). The Rebound Effect: State of the Debate and Implications for Energy Efficiency Research, Bren School of Environmental Science and Management
15. Greening, L.A., Greene, D.L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey. *Energy Policy*, 28, 389–401.
16. Gunning, J. W, & Keyzer, M. (1995). Handbook of Development Economics, Chapter 35: Applied General Equlibrium Models for Policy Analysis, Elsevier.
17. Hanley, N., McGregor, P.G., Swales, J. K., & Turner, K. (2009). Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? .*Journal of Ecological Economics*. 68(3), 692–709.
18. International risk governance council (2011). The Rebound Effect: Implications of Consumer Behaviour for Robust Energy Policies, A review of the literature on the rebound effect in energy efficiency and report from expert workshops (https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines_Azevedo/papers/IRGC_ReboundEffect-FINAL.pdf)
19. Khazzoom, J. D. (1980), Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances". The Energy Journal. 1 (4): 21–40.
20. Lofgren, H., Robinson, S., & Lee Harris, R. (2002), A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS, International Food Policy Research Institute.
21. McKibbin, W. J. (1998), Forecasting the World Economy Using Dynamic Intertemporal General Equilibrium Multi-Country Models

22. Moshiri, S., & Lechtenböhmer, S. (2015). Sustainable Energy Strategy for Iran, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. (http://wupperinst.org/en/a/wi/a/s/ad/3502/)
23. Saunders, H.D. (2013). Historical Evidence for Energy Consumption Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysis. *Journal of Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1317–1330
24. Sorrell, S. (2007). The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency (http://www.ukerc.ac.uk/programmes/technology-and-policy-assessment/the-rebound-effect-report.html)
25. Turner, K. (2009). A computable general equilibrium analysis of the relative price sensitivity required to induce rebound effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy. Discussion papers in Economics, Department of Economics, University of Strathclyde Glascow.
26. (https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/145.pdf)
27. Wang, H., & Zhou, P. (2012). An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China*, Energy Economics,* 34, 452-460.