فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال هشتم/ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۰/ صفحات ۲۲۴-۲۰۱

تخمین اثر بازگشتی به تفکیک صنایع سنگین و سبک ایران با افزایش درون‌زای کارایی انرژی

موسی خوشکلام خسروشاهی*

عضو هیئت علمی گروه اقتصاد دانشگاه الزهرا، m.khosroshahi@alzahra.ac.ir

محمد صیادی

عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه خوارزمی، m.sayadi@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

چکیده

یکی از چالش‌های اقتصاد ایران، مصرف فزاینده انرژی است. بهبود کارایی به عنوان ابزاری غیرقیمتی، یکی از سازوکارهای مقابله با این روند بوده اما اثر بازگشتی پدیده‌ای اقتصادی است که وقوع آن باعث کاهش کامل یا ناقص ذخیره انتظاری انرژی ناشی از بهبود کارایی می‌شود. برآورد اثر بازگشتی در کنار برخورداری از توجیهات اقتصادی، می‌تواند برای سیاستگذاران در راستای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه یاری‌رسان باشد. در این مقاله با مدلسازی درونزای بهبود کارایی انرژی، اثر بازگشتی صنایع به تفکیک صنایع سنگین و سبک در دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۷۴ با روش داده‌های پانل برآورد گردید. نتایج حاکیست اولاً صنایع سنگین و سبک برخوردار از زیان‌های ناشی از مقیاس هستند اما افزایش عوامل تولید باعث افزایش تولیدات این صنایع می‌شود. ثانیاً بهبود کارایی انرژی در صنایع سنگین و سبک دارای فرآیند فراموشی حین کار است. ثالثاً متوسط اثر بازگشتی صنایع سنگین برابر با ۳/۱۲۷ درصد و همین رقم برای صنایع سبک برابر با ۱/۷۱۱ درصد است. قابل ذکر است که سهم جزء تولیدی اثر بازگشتی هم برای صنایع سنگین و هم برای صنایع سبک بیشتر از سهم جزء جانشینی بوده و به ترتیب برابر با ۷۹/۶ ٪ و ۹۳/۴ ٪ است.

واژه‌های کلیدی: اثر بازگشتی، کارایی انرژی درون‌زا، صنایع سنگین، صنایع سبک

طبقه‌بندی JEL: F14، L16، O13، P28.

---

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

ایران بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در منطقه خاورمیانه و قاره آفریقا محسوب می‌شود بطوریکه بالغ بر ۳۱ درصد از کل مصرف انرژی منطقه خاورمیانه مربوط به ایران است (بی‌پی[1]، ۲۰۲۱). مروری بر آمارهای بی‌پی در مورد روند مصرف انرژی در کشورهای منطقه خاورمیانه و قاره آفریقا نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۱۷ مصرف انرژی عربستان سعودی بیشتر از ایران بوده اما از این سال به بعد، بیشترین مصرف انرژی متعلق به ایران است. بطوریکه متوسط رشد سالیانه ۳/۳ درصدی مصرف انرژی ایران طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۰ نسبت به سایر کشورها و همچنین نسبت به متوسط رشد سالیانه مصرف انرژی در کل منطقه خاورمیانه (۲/۲٪) به مراتب بیشتر است. با توجه به تخلیه منابع انرژی، تامین امنیت انرژی و جلوگیری از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضروری است تا صرفه‌جویی انرژی در سرلوحه برنامه‌های کشور جهت نیل به توسعه پایدار قرار گیرد که برای این منظور، یکی از مهمترین روش‌ها عبارت از بهبود کارایی انرژی است.

بهبود کارایی انرژی (EEI)[2] باعث می‌شود تا قیمت موثر خدمات انرژی بواسطه کاهش مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید محصولات، کاهش یابد از اینرو، بهبود کارایی انرژی از دو طریق باعث تشویق مصرف بیشتر انرژی می‌شود اولاً بهبود کارایی انرژی باعث کاهش قیمت خدمات انرژی شده و لذا جانشینی سایر نهاده‌ها با نهاده انرژی رخ می‌دهد که به معنی افزایش تقاضای نهاده انرژی در سطح مشخصی از ستانده است ثانیاً بهبود کارایی انرژی باعث کاهش هزینه نهایی تولید و قیمت‌های فروش محصولات می‌شود که خود این امر باعث افزایش تقاضای انرژی به قصد افزایش میزان تولید محصولات می‌شود. این دو اثر روی‌هم‌رفته باعث می‌شوند که میزان اثرگذاری بهبود کارایی انرژی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کمتر از حد مورد انتظار شود که این پدیده در ادبیات اقتصاد انرژی با عنوان اثر بازگشتی[3] نام برده می‌شود.

با این تفاسیر، می‌توان اثر بازگشتی را به عنوان بخش گمشده صرفه‌جویی انرژی (ناشی از بهبود کارایی انرژی) تعریف کرد که بواسطه افزایش مصرف انرژی، خنثی می‌شود. مثلاً اثر بازگشتی ۱۰ درصدی به این معنی است که ۱۰٪ از صرفه‌جویی انرژی ناشی از

---

[1] Statistical Review of World Energy, BP (2021)
[2] Energy Efficiency Improvement (EEI)
[3] Rebound Effect

بهبود کارایی انرژی بواسطه عامل جانشینی و گسترش سطح تولید محصول، خنثی شده است (گرینینگ و همکاران[1]، ۲۰۰۰، ص ۳۹۵). با این تفاسیر، چنانچه مقدار اثر بازگشتی عدد بزرگی باشد، به این معنی است که بخش بزرگی از صرفه‌جویی انرژی ناشی از بهبود کارایی انرژی بواسطه اثر جانشینی و گسترش سطح تولید محصول خنثی می‌شود. بنابراین برآورد اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی می‌تواند چراغ راهنمای مناسبی برای سیاست‌گذاران اقتصادی در مسیر اجرایی کردن بهبود کارایی مصرف انرژی باشد به این معنی که ممکن است حتی با بهبود کارایی انرژی، میزان صرفه‌جویی در انرژی بخاطر وجود اثر بازگشتی قابل توجه نباشد و لذا باعث کم برآورد کردن صرفه-جویی ناشی از بهبود کارایی شده و کارگزار، پژوهش‌گر و سیاستگذار در ارزیابی اثرات ناشی از بهبود کارایی دچار اشتباه شود.

با توجه به اینکه مصرف انرژی در بخش صنعت ایران طبق آخرین آمار رسمی منتشره در سال ۱۳۹۷ بالغ بر ۳۰ درصد از کل مصرف انرژی کشور است[2]، بنابراین برآورد اثر بازگشتی بخش صنعت ضروری است زیرا برآورد آن (همانطور که در انتهای پاراگراف قبل هم گفته شد) می‌تواند کمک شایانی به سیاستگذار اقتصادی کند تا در دستیابی به هدف صرفه‌جویی انرژی بواسطه سیاست‌های افزایش کارایی انرژی، دچار گمراهی و انحراف نشوند. طبیعی است که نداشتن برآوردی از اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی بخش صنعت ممکن است باعث شود که پیاده‌سازی بهبود کارایی انرژی بخش صنعت، به اهداف مد نظر نرسد.

با عنایت به وجود ناهمگنی در تابع تولید زیربخش‌های مختلف صنعت، در مقاله حاضر زیربخش‌های صنعت به دو گروه صنایع سنگین و صنایع سبک تفکیک شده‌اند و برآورد اثر بازگشتی به تفکیک صنایع سنگین و سبک انجام گرفته است. صنایع سنگین، عمدتاً سرمایه‌بر و انرژی‌بر بوده و صنایع سبک عمدتاً کاربر هستند. این تمایز بین زیربخش‌های صنعت می‌تواند در برآورد اثر بازگشتی تاثیرگذار باشد زیرا کاهش قیمت خدمات انرژی باعث می‌شود تا هزینه نهایی صنایع سنگین (با توجه به سهم بالای هزینه‌های انرژی در این صنایع) بطور معنی‌داری کاهش یابد (لی و لین[3]، ۲۰۱۷).

---

[1] Greenin et al.

[2] ترازنامه انرژی (۱۳۹۷)

[3] Li & Lin

ادامه مقاله به این ترتیب است که پس از مقدمه، در بخش دوم مروری بر ادبیات تحقیق شده است و سپس روش تحقیق در بخش سوم تبیین شده است. بخش چهارم به ارائه نتایج و تحلیل آنها اختصاص یافته است و بخش پنجم نیز به جمع بندی و نتیجه گیری پرداخته است.

۲. ادبیات موضوع

نقطه آغازین ادبیات مربوط به اثر بازگشتی، مربوط به جوونز[۱] (۱۸۶۶) است که به مرور تبدیل به یکی از مهمترین مفاهیم ادبیات اقتصادی انرژی شده و مطالعات متعددی با روش‌شناسی‌های مختلف پیرامون این مفهوم بویژه بعد از مطالعات خازوم (۱۹۸۰) و بروکس[۲] (۱۹۷۹) انجام شده است. مطالعات متعدد حاکی از آن است که در مورد اندازه اثر بازگشتی هیچ تفاهمی وجود ندارد اما در مورد وجود اثر بازگشتی و مکانیزم آن تفاهم بین مطالعات مختلف برقرار است. یافته‌های برخی از مهم‌ترین مطالعات خارجی و داخلی این حوزه در ادامه تبیین می‌شوند.

یو و همکاران[۳] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای که مربوط به کشور آمریکا بود، بهبود کارایی انرژی را برای ۶۹ فعالیت مرتبط با حوزه انرژی ایالت جورجیا با روش CGE شبیه‌سازی کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اگر بهبود کارایی انرژی در بخش‌های انرژی و یا حمل‌ونقل رخ دهد آنگاه اندازه اثر بازگشتی رقم بزرگی خواهد بود. کسلر و همکاران[۴] (۲۰۱۶) در مطالعه خود که مربوط به کشور آلمان است با استفاده از روش CGE، اثر بازگشتی این کشور را به تفکیک بخش‌های تولید و مصرف برآورد کرده‌اند. نتایج این مطالعه حاکیست، سهم تقاضای نهایی در قیاس با بخش تولید در کل اثر بازگشتی غلبه و برتری دارد. لی و لین (۲۰۱۷) در مطالعه خود که مربوط به کشور چین است، اثر بازگشتی مربوط به صنایع سنگین و سبک این کشور را برآورد کرده‌اند. نتایج این مطالعه که برای دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۴ و با روش پانل دیتا انجام گرفته است حاکیست، اثر بازگشتی صنایع سنگین برابر با ۳/۳ درصد و اثر بازگشتی صنایع سبک برابر با ۱/۹ درصد است.

---

[1] Jevons
[2] Khazzoom & Brookes
[3] Yu et al.
[4] Koesler et al.

لیو و همکاران[1] (۲۰۱۹) در مطالعه خود، اثر بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارایی انرژی را در چین بررسی کرده و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی مستقیم در بخش‌های صنعتی چین برابر ۳۷٪ است. همچنین اثر بازگشتی مستقیم به تفکیک صنایع سنگین و سبک به ترتیب برابر با ۳۲ درصد و ۱۰۰/۸ درصد است. وی و همکاران[2] (۲۰۱۹) در مطالعه خود اثر بازگشتی ناشی از کاهش شدت انرژی را در مناطق پرمصرف انرژی از قبیل هند، چین و اروپا بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که در برخی مناطق اثر بازگشتی کامل[3] وجود داشته و اثر بازگشتی برابر با صفر در هیچ منطقه‌ای وجود ندارد. شائو و همکاران[4] (۲۰۱۹) با استفاده از رویکرد فضا-حالت، تخمینی از اثر بازگشتی ناشی از بهبود تکنولوژیکی در شهر شانگهای چین انجام داده و نتیجه گرفته‌اند که در دوره ۲۰۱۶-۱۹۹۱ متوسط اثر بازگشتی در کل اقتصاد و صنایع در شانگهای برابر ۹۳٪ و ۷۳٪ بوده‌اند. منگ و لی[5] (۲۰۲۱) در مطالعه خود به ارزیابی اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق در استان‌های کشور چین طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۹ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که متوسط اثر بازگشتی برابر با ۷۵٪ است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که اثر بازگشتی در مناطق شرقی و مرکزی به ترتیب برابر با ۹۲٪ و ۷۹٪ بوده و در مناطق غربی برابر با ۴۷٪ می‌باشد. ژنگ و همکاران[6] (۲۰۲۲) در مطالعه خود به برآورد اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی درونزا در بخش حمل و نقل کشور چین پرداختند. نتایج این مطالعه که برای دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۳ با روش حداقل مربعات غیرخطی انجام گرفته نشان می‌دهد که متوسط اثر بازگشتی در کوتاه‌مدت برابر با ۸۲٪ و متوسط اثر بازگشتی در بلندمدت برابر با ۱۲۳٪ است.

در مطالعات داخلی، دل‌انگیزان و همکاران[7] (۱۳۹۶) به برآورد اثر بازگشتی مربوط به مصرف سوخت در بخش حمل و نقل جاده‌ای ایران پرداختند. نتایج این مطالعه که برای دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۳ انجام گرفته نشان می‌دهد که اثر بازگشتی بنزین برابر با ۶٪ و اثر

---

[1] Liu et al.
[2] Wei et al.
[3] اثر بازگشتی کامل همان اثر بازگشتی ۱۰۰ درصدی بوده و به این معنی است که بعد از بهبود کارایی انرژی، هیچ صرفه‌جویی در مصرف انرژی رخ نداده است.
[4] Shao et al.
[5] Meng & Li
[6] Zheng et al.
[7] Delangizan et al. (2017)

بازگشتی گازوئیل برابر با ۲٪ است. سالم و همکاران[1] (۱۳۹۶) در مقاله خود به تخمین اثر بازگشتی برق خانگی طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۵ با روش AIDS[2] پرداخته است. نتایج این مطالعه حاکی از اثر بازگشتی ۸۱ درصدی مصرف برق خانگی ایران است. سلیمیان و همکاران[3] (۱۳۹۶) در مطالعه خود به بررسی اثرات بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر با رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بین زمانی پرداختند. شبیه‌سازی برای دوره بلندمدت (۶۰ سال) در دو سناریو بهبود کارایی به میزان ۱/۳ درصد برای صنایع انرژی‌بر (سناریوی اول) و برای تمام بخش‌ها (سناریوی دوم) به انجام رسید. نتایج بیانگر آن است که بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر به ایجاد اثرات بازگشتی و کاهش تقاضای سوخت‌های فسیلی در سناریوی اول منجر می‌شود. این در حالیست که بهبود کارایی سوخت‌های فسیلی در سناریوی دوم، به ایجاد اثرات بازگشتی در سال‌های نخست و اثرات معکوس عمدتا از سال‌های بیستم به بعد می‌انجامد.

دل‌انگیزان و همکاران (۱۳۹۷) در محاسبه اثرات بازگشتی مستقیم CO_2 ناشی از بهبود کارایی مصرف سوخت در بخش حمل ونقل استان های ایران پرداختند. نتایج این مطالعه که برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۵ انجام گرفته نشان می‌دهند که اثرات بازگشتی به سبب اجرای سیاست حذف یارانه انرژی و افزایش قیمت سوخت، دارای روند همگرا و نزولی (به‌طور متوسط ۲/۵۱ تا ۱/۰۹ درصد) بوده است. رفیعی و همکاران[4] (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای با عنوان تجزیه اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی در ایران: رهیافت الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، به برآورد اثر بازگشتی در فعالیت‌های مختلف تولیدی کشور پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که اثر بازگشتی برای افزایش یک درصدی کارایی برق و سوخت‌های فسیلی به ترتیب ۱/۹ و ۸/۷ درصد است. خوشکلام و همکاران[5] (۱۳۹۹) در مطالعه خود به برآورد اثر بازگشتی مربوط به مصرف بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی و برق با بکارگیری روش CGE پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بهبود کارایی ۵ درصدی در مصرف حامل‌های انرژی باعث شکل‌گیری اثر

[1] Salem & Akaberi (2017)
[2] Almost Ideal Demand System (AIDS)
[3] Salimian et al.(2017)
[4] Rafiei et al. (2019)
[5] Khoshkalam et al. (2020)

بازگشتی به ترتیب برابر با ۲۵، ۲۲، ۳۵ و ۲۹ درصدی برای بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی و برق می‌شوند.

با توجه به مطالعات داخلی انجام شده در حوزه اثر بازگشتی قابل ذکر است که مهم‌ترین نوآوری مقاله حاضر این است که تلاش شده تا بهبود کارایی انرژی (جهت برآورد اثر بازگشتی)، برخلاف همه مطالعات داخلی، بصورت درون‌زا در نظر گرفته شود زیرا بهبود کارایی انرژی درون‌زا باعث شکل‌گیری چارچوب یکپارچه‌ای برای برآورد اثر بازگشتی می‌شود. در عین حال، اثر بازگشتی به دو جزء جانشینی و تولیدی تفکیک می‌شود که باعث فهم بهتر از مکانیزم اثر بازگشتی می‌شود. برآورد اثر بازگشتی به تفکیک صنایع سنگین و سبک، نوآوری دیگر مقاله حاضر است که اثر بازگشتی را به تفکیک صنایع سنگین و سبک برآورد کرده و از نگاه یکپارچه به همه صنایع در قالب صنایع همگن اجتناب شده است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

روش‌شناسی در دو بخش استخراج فرمول اثر بازگشتی با وجود کارایی انرژی درونزا و محاسبه اثر بازگشتی با وجود کارایی انرژی درونزا به پیروی از لی و لین (۲۰۱۷) بیان می‌شود.

۳-۱- استخراج فرمول اثر بازگشتی با وجود کارایی انرژی درون‌زا

برای استخراج فرمول مربوط به محاسبه اثر بازگشتی، از تابع تولید و فرآیند یادگیری حین کار[1] (فراموشی حین کار)[2] بهره گرفته می‌شود. فرض می‌شود که تولید زیربخش-های صنعتی تابعی از نهاده‌های L (نیروی کار)، K (سرمایه) و E (انرژی) باشد. با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس، تابع تولید زیربخش‌های صنعت عبارت است از:

$$Y = A.K^{\alpha}L^{\beta}(\tau E)^{1-\alpha-\beta} \qquad (۱)$$

که τ نشان‌دهنده کارایی انرژی و α، β و $1-\alpha-\beta$ نشان‌دهنده کشش‌های تولیدی عوامل تولید و τE نشان‌دهنده خدمت انرژی است. بهبود کارایی انرژی در معادله (۱) بصورت فرایند تکنولوژیکی انرژی‌افزا[3] تعریف شده است. A نشان‌دهنده فرایند تکنولوژی

[1] Learning by Doing
[2] Forgetting by Doing
[3] Energy-Augmented Technology Process

خنثی است که تابعی از زمان بوده و بصورت $A = \xi . e^{\varphi t}$ تعریف می‌شود که ξ و φ پارامتر هستند.

τ در بسیاری از مطالعات به عنوان متغیر برونزا در نظر گرفته می‌شود اما واقعیت آن است که کارایی انرژی در سیستم انرژی-اقتصاد و با توجه به مکانیزم یادگیری حین کار (فراموشی حین کار)، متغیری درونزا است. درونزا بودن بهبود کارایی مرتبط با مدل رشد درونزای معرفی شده توسط رومر[1] است. مدل رشد درونزا بیان می‌کند که اگر تولیدکنندگان انرژی بیشتری مصرف می‌کنند، آنگاه تجربه استفاده آنها از انرژی افزایش می‌یابد، در نتیجه تکنولوژی پیشرفت خواهد کرد و نهایتاً بهره‌وری انرژی افزایش خواهد یافت. در نقطه مقابل مکانیزم یادگیری حین کار، لووینز[2] (۱۹۸۶) فرآیند فراموشی حین کار را معرفی کرد. در این فرآیند، وقتی که تولیدکنندگان مصرف انرژی را افزایش می‌دهند، آنگاه پیچیدگی تکنولوژیکی و سازمانی افزایش می‌یابد که بدنبال خود باعث محدود شدن امکانات یادگیری شده و در نتیجه بهره‌وری انرژی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، گرابلر[3] (۲۰۱۰) در صنعت برق هسته‌ای فرانسه به این نتیجه رسید که فرآیند فراموشی حین کار وجود دارد. با چشم‌پوشی از برونزایی بهبود کارایی و در نظر گرفتن درونزایی بهبود کارایی انرژی و به تبعیت از شائو و همکاران[4] (۲۰۱۴) که پیشرو در بهبود کارایی انرژی درونزا هستند داریم:

$$\tau = G.E^{\gamma} \qquad (۲)$$

G نشان‌دهنده سایر عوامل موثر بر کارایی انرژی است. γ پارامتر پویای یادگیری بوده و اگر مثبت باشد به معنی یادگیری است و اگر منفی باشد به معنی فراموشی است. هر چقدر مقدار γ عدد مثبت و بزرگتری باشد به معنی آن است که انباشت تجربه سریع‌تر بوده و لذا بهبود کارایی انرژی بیشتری حاصل می‌شود (و برعکس). با جاگذاری (۲) در (۱) داریم:

$$Y = A.K^{\alpha}L^{\beta}(GE^{\gamma+1})^{1-\alpha-\beta} = bK^{\alpha}L^{\beta}E^{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)} \qquad (۳)$$
$$b = A.G^{1-\alpha-\beta}$$

[1] Romer
[2] Lovins
[3] Grubler
[4] Shao et al.

در رابطه (۳)، اگر $\gamma > 0$ باشد آنگاه $\alpha + \beta + (1+\gamma)(1-\alpha-\beta) > 1$ خواهد بود. بدیهی است که نیازی به فرض مثبت یا منفی بودن γ نبوده مقدار آن از نتایج تخمین حاصل می‌شود. حال با توجه به تعریف ساندرز[1] (۲۰۰۸) از اثر بازگشتی داریم:

$$R = 1 + \eta_{\tau}^{E} = 1 + \frac{\partial E}{\partial \tau}\frac{\tau}{E} \quad (۴)$$

به کمک $E \equiv \frac{E}{Y}Y$، اثر بازگشتی به دو جزء اثر شدت انرژی و اثر تولید قابل تفکیک است.

$$R = 1 + \eta_{\tau}^{E} = 1 + \frac{\partial E}{\partial \tau}\frac{\tau}{E} = 1 + \frac{\partial}{\partial \tau}\left(\frac{E}{Y}\right)\frac{\tau}{E/Y} + \frac{\partial Y}{\partial \tau}\frac{\tau}{Y} = 1 + \eta_{\tau}^{E_{intensity}} + \eta_{\tau}^{E_{Output}} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) اثر بازگشتی به دو جزء شامل $1 + \eta_{\tau}^{E_{intensity}}$ (اثر جانشینی) و $\eta_{\tau}^{E_{Output}}$ (اثر تولیدی) تفکیک شد.

۳-۲- مقدار اثر بازگشتی با وجود کارایی انرژی درون‌زا

با توجه به تابع تولید سه نهاده‌ای فوق‌الذکر، شروط لازم مرتبه اول عبارتند از:

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \alpha A K^{\alpha-1} L^{\beta} (GE^{1+\gamma})^{1-\alpha-\beta} = \alpha\frac{Y}{K} = P_K \quad (۶)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = \beta A K^{\alpha} L^{\beta-1} (GE^{1+\gamma})^{1-\alpha-\beta} = \alpha\frac{Y}{L} = P_L \quad (۷)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial E} = (1+\gamma)(1-\alpha-\beta) b K^{\alpha} L^{\beta-1} E^{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)-1} = (1+\gamma)(1-\alpha-\beta)\frac{Y}{E} = P_E \quad (۸)$$

با توجه به معادلات (۶) تا (۸) داریم:

$$Y = \frac{P_K K}{\alpha} \quad (۹)$$

$$Y = \frac{P_L L}{\beta} \quad (۱۰)$$

$$Y = \frac{P_E E}{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)} \quad (۱۱)$$

می‌توان گروه معادلات زیر را با توجه به تابع تولید و معادلات سه گانه (۹) تا (۱۱) نوشت:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= Y - AK^{\alpha}L^{\beta}(\tau E)^{1-\alpha-\beta} = 0 \\ \psi_2 &= Y - \frac{P_L L}{\beta} = 0 \\ \psi_3 &= Y - \frac{P_E E}{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)} = 0 \\ \psi_4 &= Y - \frac{P_K K}{\alpha} = 0 \end{aligned} \quad (۱۲)$$

[1] Saunders

حال می‌توان ماتریس ژاکوبین مربوط به گروه معادلات (۱۲) را به قرار زیر نوشت:

$$J=\begin{pmatrix}\frac{\partial\Psi_1}{\partial Y} & \frac{\partial\Psi_1}{\partial L} & \frac{\partial\Psi_1}{\partial F} & \frac{\partial\Psi_1}{\partial K}\\ \frac{\partial\Psi_2}{\partial Y} & \frac{\partial\Psi_2}{\partial L} & \frac{\partial\Psi_2}{\partial F} & \frac{\partial\Psi_2}{\partial K}\\ \frac{\partial\Psi_3}{\partial Y} & \frac{\partial\Psi_3}{\partial L} & \frac{\partial\Psi_3}{\partial F} & \frac{\partial\Psi_3}{\partial K}\\ \frac{\partial\Psi_4}{\partial Y} & \frac{\partial\Psi_4}{\partial L} & \frac{\partial\Psi_4}{\partial F} & \frac{\partial\Psi_4}{\partial K}\end{pmatrix}=\begin{bmatrix}1 & -P_L & -P_F & -P_K\\ 1 & -\frac{P_L}{\beta} & 0 & 0\\ 1 & 0 & -\frac{P_F}{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)} & 0\\ 1 & 0 & 0 & -\frac{P_K}{\alpha}\end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

تئوری تابع ضمنی بیان می‌کند که:

$$J=\begin{pmatrix}\frac{\partial\Psi_1}{\partial Y} & \cdots & \frac{\partial\Psi_1}{\partial K}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \frac{\partial\Psi_4}{\partial Y} & \cdots & \frac{\partial\Psi_4}{\partial K}\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\frac{\partial Y}{\partial\tau}\\ \frac{\partial L}{\partial\tau}\\ \frac{\partial E}{\partial\tau}\\ \frac{\partial K}{\partial\tau}\end{bmatrix}=-\begin{bmatrix}\frac{\partial\Psi_1}{\partial\tau}\\ \frac{\partial\Psi_2}{\partial\tau}\\ \frac{\partial\Psi_3}{\partial\tau}\\ \frac{\partial\Psi_4}{\partial\tau}\end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

با توجه به معادله (۱۴) و همچنین مجموعه معادلات (۱۲) داریم:

$$\begin{pmatrix}1 & \cdots & -P_K\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 1 & \cdots & \frac{-P_K}{\alpha}\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\frac{\partial Y}{\partial\tau}\\ \frac{\partial L}{\partial\tau}\\ \frac{\partial E}{\partial\tau}\\ \frac{\partial K}{\partial\tau}\end{bmatrix}=-\begin{bmatrix}-\frac{(1-\alpha-\beta)Y}{\tau}\\ 0\\ 0\\ 0\end{bmatrix} \quad (۱۵)$$

با توجه به معادله (۱۵) داریم:

$$\frac{\partial E}{\partial\tau}\frac{\tau}{E}=-\frac{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)}{\gamma S_E} \quad (۱۶)$$

$$\eta_\tau^{E_{Output}}=\frac{\partial Y}{\partial\tau}\frac{\tau}{Y}=-\frac{1}{\gamma} \quad (۱۷)$$

$$\eta_\tau^{E_{intensity}}=\frac{\partial E}{\partial\tau}\frac{\tau}{E}-\eta_\tau^{E_{Output}}=-\frac{(1+\gamma)(1-\alpha-\beta)}{\gamma S_E}-\eta_\tau^{E_{Output}} \quad (۱۸)$$

در این روابط، S_E همان سهم هزینه‌ای نهاده انرژی بوده و در صورت تخمین پارامترهای α، β و γ همراه با محاسبه S_E براحتی می‌توان اثر بازگشتی مربوط به بهبود کارایی انرژی درونزا را محاسبه کرد.

۳-۳- داده‌های تحقیق

داده‌های مقاله حاضر مربوط به ۱۵ فعالیت صنعتی (ساخت) مبتنی بر کدهای دو رقمی ISIC[1] (جدول ذیل) بوده و دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۷۴ مد نظر است. با توجه به اینکه

[1] International Standard Industrial Classification

صنایع به تفکیک سنگین و سبک مورد بررسی هستند، مبنای انتخاب صنایع سنگین و سبک به این ترتیب بوده است که ابتدا متوسط شدت انرژی تمامی صنایع در دوره مورد بررسی محاسبه شده و صنایعی که متوسط شدت انرژی آنها بیشتر از متوسط بود به عنوان صنایع سنگین در نظر گرفته شده و مابقی به عنوان صنایع سبک هستند[۱] (جدول (۱)). البته قابل ذکر است که میزان موجودی سرمایه صنایع، مقدار مصرف انرژی صنایع و نوع محصولات تولیدی صنایع (به لحاظ تولید محصولات سنگین یا سبک) نیز می‌توانند مبنای تفکیک قرار بگیرند اما در مقاله حاضر با توجه به تمرکز در حوزه انرژی، رویکرد شدت انرژی مبنا قرار گرفته است.

با توجه به مدل، آمارهای مربوط به نیروی کار (جمعیت شاغل)، سرمایه‌گذاری و ستانده فعالیت‌های صنعتی (ساخت) مبتنی بر کدهای دو رقمی ISIC از مرکز آمار ایران[۲] جمع‌آوری شده و آمار مربوط به مصرف انرژی فعالیت‌های صنعتی نیز از نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر مرکز آمار ایران جمع‌آوری شده است. قابل ذکر است که آمارهای مربوط به ستانده فعالیت‌های صنعتی و سرمایه‌گذاری فعالیت‌های صنعتی به کمک شاخص (۱۰۰=۱۳۹۵) تبدیل به قیمت‌های ثابت شده است.

جدول (۱): فهرست صنایع کارخانه‌ای منتخب

نام صنعت	کد ISIC
صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۱۵
تولید منسوجات	۱۷
تولید چوب و محصولات چوبی	۲۰
تولید کاغذ و محصولات کاغذ	۲۱
صنایع تولید ذغال کک- پالایشگاه‌های نفت*	۲۳
نام صنعت	کد ISIC
صنایع تولید مواد و محصولات شیمیائی*	۲۴

[۱] باید اشاره کرد که با توجه به ارزان بودن انرژی در ایران، این امکان است که تمایل غیرمعقولی در صنایع مختلف برای مصرف انرژی وجود داشته باشد و لذا این روش تفکیک صنایع دچار خدشه شود اما با اغماض می‌توان گفت که ارزان بودن انرژی در بین تمامی صنایع بصورت یکسان اثرگذار است.

[۲] نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر کشور، سال‌های مختلف

تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی	۲۵
تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی*	۲۶
تولید فلزات اساسی*	۲۷
تولید محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین‌آلات و تجهیزات	۲۸
نام صنعت	کد ISIC
تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده	۲۹
تولید ماشین‌آلات مولد و انتقال برق	۳۱
تولید رادیو و تلویزیون، دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی	۳۲
تولید وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم‌تریلر	۳۴
تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده	۳۶

منبع: مرکز آمار ایران

* صنایع سنگین (یافته‌های پژوهش)

با توجه به اینکه آمارهای مربوط به موجودی سرمایه فعالیت‌های صنعتی در دوره مورد بررسی در دسترس نبوده و صرفاً آمارهای مربوط به سرمایه‌گذاری فعالیت‌های صنعتی در دسترس است لذا برای محاسبه موجودی سرمایه صنایع از روش موجودی دائمی[1] بهره گرفته شده است بطوریکه طبق روش موجودی دائمی و با استفاده از فرمول $K_{it} = I_{it} + (1 - \delta_{it})K_{i,t-1}$ موجودی سرمایه فعالیت‌های صنعتی محاسبه شده است. در این رابطه، I_{it} عبارت از تشکیل سرمایه ثابت ناخالص فعالیت صنعتی iام در سال tام است، K_{it} موجودی سرمایه فعالیت صنعتی iام در سال tام است و δ نرخ استهلاک است. برای محاسبه $K_{i,t-1}$ نیز از فرمول $K_{i,t-1} = \frac{I_{i,t-1}}{g+\delta}$ استفاده شده است که در آن $g = \sqrt[n]{\frac{f}{p}} - 1$ بوده و f، p و n به ترتیب برابر با تشکیل سرمایه ثابت ناخالص در انتهای دوره، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص در ابتدای دوره و طول دوره هستند.

۴- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

با توجه به مدل ارائه شده در بخش قبلی مقاله، روش داده‌های پانل برای دستیابی به اهداف مد نظر مورد برآورد خواهد بود.

[1] Perpetual Inventory Method (PIM)

قبل از آنکه برآورد مدل انجام گیرد لازم است تا نتایج مربوط به آزمون‌های اف لیمر[1] و هاسمن[2] تبیین شوند. جدول (۲) نتایج مربوط به آزمون اف لیمر و آزمون هاسمن را به تفکیک صنایع سنگین و سبک نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار آماره F از آماره جدول بزرگتر است لذا فرضیه صفر مبنی بر برابری عرض از مبداء بین مقاطع مختلف در صنایع سبک و سنگین رد شده و باید از مدل داده‌های تابلویی[3] استفاده کرد. نتایج آزمون هاسمن هم نشان‌دهنده این است که آماره کای دو[4] بزرگتر از آماره جدول بوده و لذا فرضیه صفر آزمون هاسمن رد شده و مدل مربوط به صنایع سنگین و صنایع سبک از نوع اثرات ثابت[5] است.

جدول (۲): نتایج آزمون‌های F لیمر و هاسمن

آماره‌های F و کای دو		
نوع صنایع	آماره F	سطح احتمال
صنایع سنگین	۲۱/۶۹	۰/۰۳۲
صنایع سبک	۱۹/۳۲	۰/۰۱۲
نوع صنایع	آزمون کای دو	سطح احتمال
صنایع سنگین	۲۳/۷۴	۰/۰۴۱
صنایع سبک	۲۱/۸۱	۰/۰۲۱

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به اینکه وجود ریشه واحد در متغیرها می‌تواند منجر به جعلی و غیرقابل اعتماد بودن نتایج برآورد شود لذا آزمون ریشه واحد برای این منظور انجام گرفته است. جدول (۳) نتایج مربوط به آزمون ریشه واحد را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که لگاریتم همه متغیرها (LnY: لگاریتم ستانده، LnL: لگاریتم نیروی کار، LnK: لگاریتم موجودی سرمایه و LnE: لگاریتم مصرف انرژی) در سطح مانا هستند و هیچ کدام دارای ریشه واحد نیستند.

[1] F Limer Test
[2] Hausman Test
[3] Panel
[4] Chi-squared
[5] Fixed Effects

جدول (۳): نتایج آزمون ریشه واحد

متغیرها	نوع صنایع	LnY	LnL	LnK	LnE
آماره آزمون IPS در سطح	صنایع سنگین	-۵/۱۱ (۰/۰۰)	-۱۱/۶ (۰/۰۰)	-۲/۴۹ (۰/۰۰)	۱/۵۳ (۰/۰۴)
	صنایع سبک	-۶/۱۵ (۰/۰۰)	-۱۲/۵ (۰/۰۳)	-۳/۶۲ (۰/۰۰)	۱/۴۸ (۰/۰۲)
	درجه مانایی	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)
آماره آزمون LLC در سطح	صنایع سنگین	-۲/۵۱ (۰/۰۰)	-۵/۳۱ (۰/۰۰)	-۵/۴۰ (۰/۰۰)	-۳/۹۱ (۰/۰۱)
	صنایع سبک	-۷/۹۴ (۰/۰۰)	-۱۳/۱ (۰/۰۴)	-۳/۳۵ (۰/۰۰)	۲/۰۹ (۰/۰۱)
	درجه مانایی	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)

منبع: یافته‌های تحقیق

اعداد داخل پرانتز بیانگر سطح احتمال هستند.

قبل از تبیین نتایج مربوط به برآورد مدل و در قالب جدول (۴) خلاصه آماری از متغیرهای مدل آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در این جدول آمار مربوط میانه، انحراف استاندارد، ماکزیمم و مینیمم هر کدام از متغیرهای مدل همراه با تعداد مشاهدات به تفکیک صنایع سنگین و سبک تبیین شده است.

جدول (۴): خلاصه آماری متغیرهای مدل

متغیرها	واحد	مشاهدات	میانه	انحراف استاندارد	ماکزیمم	مینیمم
همه ۱۵ زیربخش صنعتی						
K	هزار میلیارد ریال	۳۷۵	۶/۹	۲۶/۷	۲۵۱/۸	۰/۱۵۸
L	هزار نفر	۳۷۵	۶۳	۵۵	۲۲۵	۷
E	میلیون بشکه معادل نفت	۳۷۵	۲/۳	۱۹/۷	۹۹	۰/۱۵۰
Y	هزار میلیارد ریال	۳۷۵	۵۳	۱۷۱	۱۱۴۱	۱/۴
صنایع سنگین						
K	هزار میلیارد ریال	۱۰۰	۲۱/۸	۴۳/۵	۲۵۱/۸	۰/۱۵۸
L	هزار نفر	۱۰۰	۸۰	۵۴	۱۸۰	۱۵
E	میلیون بشکه	۱۰۰	۳۶/۱	۲۱/۷	۹۹	۸/۳

	معادل نفت					
Y	هزار میلیارد ریال	۱۰۰	۱۲۳	۲۵۱	۱۱۴۱	۱۵
صنایع سبک						
K	هزار میلیارد ریال	۲۷۵	۵/۲	۱۰/۱	۸۵	۰/۱۶۲
L	هزار نفر	۲۷۵	۴۹	۵۴	۲۲۵	۷
E	میلیون بشکه معادل نفت	۲۷۵	۱/۷	۳/۸	۲۱/۴	۰/۱۵۰
Y	هزار میلیارد ریال	۲۷۵	۴۲	۸۵	۴۲۰	۱/۴

منبع: یافته‌های تحقیق

برای دستیابی به نتایج، مدل (۳) برای دوره زمانی (۱۳۹۸-۱۳۷۴) به تفکیک صنایع سنگین و سبک مورد برآورد قرار گرفت. جدول (۵) نشان‌دهنده نتایج مربوط به برآورد تابع تولید است. همانطور که ملاحظه می‌شود، (الف) کشش تولیدی عوامل تولید در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۴ هم برای صنایع سنگین و هم برای صنایع سبک مثبت است اما صرفه‌های ناشی از مقیاس وجود ندارد یعنی افزایش در بکارگیری عوامل تولید صنایع در دوره مورد بررسی همراه با افزایش به مراتب کمتر در تولید محصولات صنایع بوده است زیرا مجموع کشش‌های تولیدی عوامل سه‌گانه تولید کمتر از ۱ است هر چند که نتایج نشان‌دهنده زیان‌های ناشی از مقیاس در صنایع سنگین و سبک ایران است اما ضرایب مثبت و معنی‌دار مربوط به نهاده‌های نیروی‌کار، سرمایه و انرژی نشان می‌دهند که این عوامل سه‌گانه، دارای تاثیر مثبت بر تولید صنایع (سنگین و سبک) بوده بطوریکه افزایش نهاده‌ها می‌توانند منجر به افزایش تولید صنعتی شوند. بنابراین علیرغم اینکه افزایش نهاده‌ها منجر به افزایش تولید صنعتی می‌شوند (که آمارهای رشد اقتصادی کشور در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۴ هم موید همین نکته است) اما افزایش تولید صنعتی نسبت به افزایش نهاده‌ها به مراتب کمتر است.

جدول (۵): نتایج تخمین مدل پانل (اثرات ثابت)

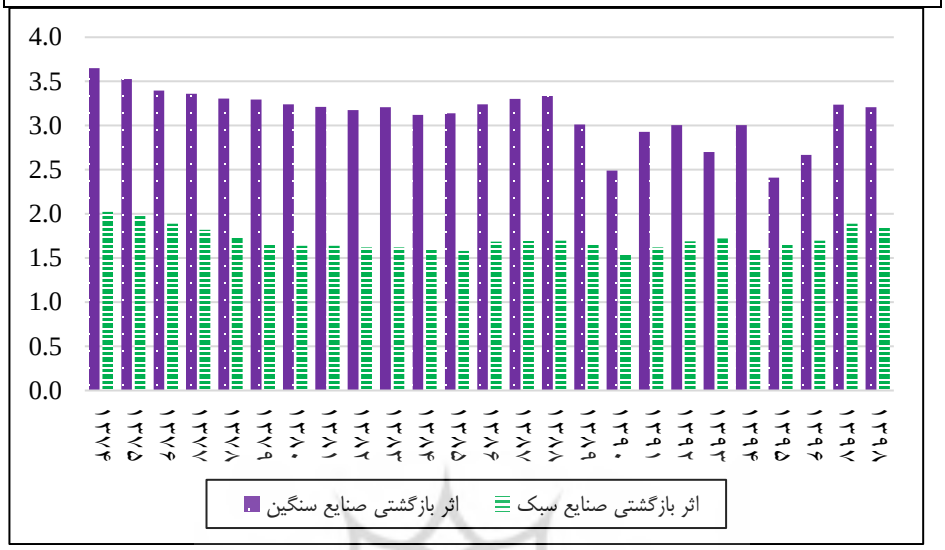
متغیرها	صنایع سنگین	صنایع سبک
C	-۱/۳۰۷ (-۷/۸۳)	-۱/۵۱۶ (-۱۰/۲۱)
LnK	۰/۳۳۱ (۱۱/۳۶)	۰/۳۳۹ (۱۳/۷۸)

LLnL	۰/۳۱۳ (۹/۴۴)	۰/۳۱۹ (۱۰/۵۱)
LnE	۰/۲۳۱ (۷/۸۵)	۰/۱۲۸ (۳/۷۲)
Time	۰/۰۶۰۱ (۲۰/۳۵)	۰/۰۵۲۱ (۲۱/۹۲)
تعداد مشاهدات	۱۰۰	۲۷۵

منبع: یافته‌های تحقیق

اعداد داخل پرانتز بیانگر آماره t هستند.

(ب) نقش نهاده انرژی در تولید محصولات صنایع سنگین به مراتب بیشتر از صنایع سبک است که امری طبیعی و قابل انتظار محسوب می‌شود زیرا صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک، از میزان شدت انرژی، مصرف انرژی و سرمایه‌بری بیشتری برخوردار هستند. (ج) با توجه به پارامترهای برآورد شده در قالب جدول (۵) ملاحظه می‌شود که پارامتر ۷ دارای مقداری برابر با ۰/۴۰۲- برای صنایع سنگین و ۰/۶۲۶- برای صنایع سبک است. ارقام برآورد شده برای ۷ حاکی از وجود فرآیند فراموشی حین کار برای کارایی انرژی بوده و با توجه به مکانیزم توصیه شده توسط لووینز (۱۹۸۶) برای فراموشی حین کار باید اشاره کرد که: مصرف انرژی بیشتر توسط تولیدکنندگان --> پیچیدگی فناوری و سازمانی افزایش می‌یابد --> امکانات یادگیری محدود شده یا کاهش می‌یابد --> بهره‌وری انرژی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج جدول نشان می‌دهند که پیشرفت تکنولوژیکی در صنایع سنگین (۶/۰۱ درصد در سال) نسبت به صنایع سبک (۵/۲۱ درصد در سال) به مراتب سریعتر است که می‌تواند مربوط به بیشتر بودن امکانات یادگیری در بنگاه‌های صنایع سنگین و یا وجود نیروی‌کار ماهر با قدرت یادگیری بالا در این صنایع باشد. بنابراین نرخ فراموشی حین کار برای صنایع سنگین کمتر از صنایع سبک است.



نمودار (۱): اثر بازگشتی به تفکیک صنایع سنگین و سبک در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۴

منبع: یافته‌های تحقیق

بر مبنای برآوردهای انجام شده، اندازه اثر بازگشتی با لحاظ بهبود کارایی درونزا محاسبه شده و در نمودار (۱) به تفکیک صنایع سنگین و سبک نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که اثر بازگشتی صنایع سنگین عددی بزرگتر از صنایع سبک است (دلیل مربوطه در ادامه آورده شده است) به این معنی که، عدم تحقق قابل انتظار از صرفه‌جویی انرژی (ناشی از بهبود کارایی انرژی) در صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک (به دلایلی از جمله انرژی‌بر بودن صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک) به مراتب بیشتر است. مطابق نمودار ملاحظه می‌شود که اثر بازگشتی صنایع سنگین بین ۲/۴ تا ۳/۷ متغیر بوده اما اثر بازگشتی صنایع سبک بین ۱/۵ تا ۲ متغیر است. بنابراین وجود اثر بازگشتی بدین معنی است که بهبود کارایی انرژی در صنایع سنگین و سبک باعث می‌شود تا ذخیره انرژی کمتر از حد مورد انتظار محقق شود.

نکته مهم این است که روند اثر بازگشتی بین صنایع سنگین و سبک تقریباً مشابه است. در توجیه این وضعیت باید اشاره کرد که طبق معادله‌های (۵) و (۱۶)، علاوه بر تاثیرگذاری پارامترهای β ،α و γ، سهم نهاده انرژی از کل نهاده‌های صنایع (S_E) متغیری تاثیرگذار بر اثر بازگشتی طی زمان است و در عین حال مقدار عددی این سهم هم تابعی از قیمت انرژی و مقدار مصرف انرژی است که قیمت انرژی بین صنایع سبک و

سنگین خیلی متفاوت نیست اما مقدار مصرف آنها طی زمان متفاوت ولی با روند مشابه است و همین عامل باعث می‌شود تا روند اثر بازگشتی صنایع سنگین و سبک طی زمان تقریباً مشابه هم باشند.

جدول (۶): متوسط اثر بازگشتی به تفکیک اجزای آن (۱۳۹۸-۱۳۷۴)

	اثر بازگشتی	جزء تولیدی	جزء جانشینی
صنایع سنگین	۳/۱۲۷	۲/۴۹۰ (۷۹/۶)	۰/۶۳۷ (۲۰/۴)
صنایع سبک	۱/۷۱۱	۱/۵۹۸ (۹۳/۴)	۰/۱۱۳ (۶/۶)

منبع: یافته‌های تحقیق

* اعداد داخل پرانتز بیانگر سهم هر جزء از اثر بازگشتی هستند (٪)

جدول (۶) نشان‌دهنده مقادیر متوسط اثر بازگشتی مربوط به صنایع سنگین و سبک در دوره مورد بررسی به تفکیک اجراء جانشینی و تولیدی است. به کمک این تفکیک ملاحظه می‌شود که اثر بازگشتی صنایع سنگین بیشتر از صنایع سبک بوده و دلیل این رخداد نیز مربوط به این است که صنایع سنگین در فرآیند تولیدی خود به مراتب از میزان انرژی‌بری بیشتری برخوردار هستند. جزء تولیدی اثر بازگشتی ناشی از این است که بهبود کارایی انرژی منجر به کاهش قیمت موثر انرژی و کاهش هزینه نهایی تولید شده و لذا تولیدکنندگان را برای تولید بیشتر که منجر به تقاضای انرژی بیشتر می‌شود، ترغیب می‌کند. با توجه به اینکه، سهم انرژی از هزینه‌های تولیدی در صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک بیشتر است لذا بهبود کارایی باعث می‌شود تا قیمت خدمات انرژی در صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک کاهش بیشتری داشته و لذا هزینه نهایی در صنایع سنگین نیز به نسبت بیشتر کاهش یافته و در نتیجه اثر تولیدی صنایع سنگین بیشتر از صنایع سبک خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

ایران به عنوان کشوری که از سال ۲۰۱۸ به بعد تبدیل به بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در منطقه خاورمیانه و آفریقا شده، ضروری است تا تمهیدات جدی برای جلوگیری از این روند (که عمدتاً ناشی از بالا بودن شدت مصرف انرژی در ایران است)، بکار گیرد. برای این منظور و با توجه به تخلیه منابع انرژی، تامین امنیت انرژی و جلوگیری از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضروری است تا صرفه‌جویی انرژی (به عنوان یکی از

راه‌کارهای کلیدی در این زمینه) در سرلوحه برنامه‌های کشور جهت نیل به توسعه پایدار قرار گیرد که برای این منظور، یکی از مهمترین روش‌ها عبارت از بهبود کارایی انرژی است.

بهبود کارایی انرژی لزوماً منجر به ذخیره انرژی به میزان مورد انتظار نمی‌شود زیرا مفهومی در ادبیات اقتصاد انرژی بنام اثر بازگشتی وجود داشته و این مفهوم بیانگر این است که بهبود کارایی انرژی باعث می‌شود تا قیمت موثر خدمات انرژی بواسطه کاهش مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید محصولات، کاهش یافته و لذا همین امر انگیزه جدیدی برای افزایش مصرف انرژی و در نتیجه کاسته شدن از ذخیره انتظاری ناشی از بهبود کارایی انرژی را فرآهم می‌آورد. در همین زمینه باید اشاره کرد که ممکن است حتی با بهبود کارایی انرژی، میزان صرفه‌جویی در انرژی بخاطر وجود اثر بازگشتی قابل توجه نباشد و لذا باعث کم برآورد کردن صرفه‌جویی ناشی از بهبود کارایی شده و کارگزار، پژوهش‌گر و سیاست‌گذار در ارزیابی اثرات ناشی از بهبود کارایی دچار اشتباه شود. با توجه به اینکه مصرف انرژی در بخش صنعت ایران طبق آخرین آمار رسمی منتشره در سال ۱۳۹۷ بالغ بر ۳۰ درصد از کل مصرف انرژی کشور است، بنابراین برآورد اثر بازگشتی بخش صنعت، امری ضروری بوده و در مقاله حاضر نیز تلاش شد تا اثر بازگشتی این بخش به تفکیک صنایع سنگین و سبک برای دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۷۴ برآورد شود.

نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهند که:

- کشش تولیدی عوامل تولید هم برای صنایع سنگین و هم برای صنایع سبک مثبت بوده اما صرفه‌های ناشی از مقیاس وجود ندارد زیرا مجموع کشش تولیدی عوامل سه‌گانه تولید (نیروی‌کار، سرمایه و انرژی) کمتر از ۱ است. مثبت و معنی‌دار ضرایب مربوط به نهاده‌های نیروی‌کار، سرمایه و انرژی نشان می‌دهند که این عوامل سه‌گانه، دارای تاثیر مثبت بر تولید صنایع (سنگین و سبک) بوده بطوریکه افزایش نهاده‌ها می‌توانند منجر به افزایش تولید صنعتی شوند.

- ❖ نقش انرژی در تولید صنایع سنگین به مراتب بیشتر از صنایع سبک است که امری طبیعی محسوب می‌شود زیرا صنایع سنگین نسبت به صنایع سبک، از میزان سرمایه‌بری بیشتری برخوردار هستند.
- ❖ ارقام برآورد شده برای ۷ حاکی از وجود فرآیند فراموشی حین کار برای کارایی انرژی بوده و به این ترتیب قابل توجیه است که: مصرف انرژی بیشتر توسط تولیدکنندگان --> پیچیدگی فناوری و سازمانی افزایش می‌یابد --> امکانات یادگیری محدود شده یا کاهش می‌یابد --> بهره‌وری انرژی کاهش می‌یابد.
- ❖ اثر بازگشتی صنایع سنگین عددی بزرگتر از صنایع سبک است بطوریکه اثر بازگشتی صنایع سنگین در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۴ بین ۲/۴ تا ۳/۷ متغیر بوده اما اثر بازگشتی صنایع سبک در همین دوره زمانی بین ۱/۵ تا ۲ متغیر است. مثبت بودن اندازه اثر بازگشتی بیانگر ذخیره انرژی کمتر از حد انتظار ناشی از بهبود کارایی انرژی است.
- ❖ متوسط اثر بازگشتی صنایع سنگین در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۴ برابر با ۳/۱۲۷ درصد و همین رقم در همین دوره زمانی برای صنایع سبک برابر با ۱/۷۱۱ درصد است. ضمن اینکه سهم جزء تولیدی اثر بازگشتی هم برای صنایع سنگین و هم برای صنایع سبک بیشتر از سهم جزء جانشینی بوده و به ترتیب برابر با ۷۹/۶ درصد و ۹۳/۴ درصد است.

با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان به سیاستگذاران اقتصادی کشور توصیه کرد که اولاً در بکارگیری سیاست بهبود کارایی انرژی در صنایع کارخانه‌ای کشور، به اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی توجه کنند زیرا عدم توجه به برآورد اثر بازگشتی بویژه به تفکیک تک‌تک صنایع بر حسب کدهای ISIC (کدهای دو رقمی و یا حتی کدهای سه رقمی و چهار رقمی ISIC) ممکن است باعث شود که اگر اثر بازگشتی صنعت خاصی عدد بزرگی بود آنگاه، بهبود کارایی انرژی در آن صنعت خاص با استفاده کمتر - بهینه از منابع همراه باشد. ثانیاً توصیه می‌شود که بهبود کارایی انرژی در صنایع سنگین و سبک کشور اجرایی و عملیاتی شود (البته با دقت نظر در مورد توصیه اول) زیرا اندازه اثر بازگشتی به تفکیک صنایع سنگین و سبک مقادیری پایین و قابل اغماض است. ثالثاً فارغ از قابل اغماض بودن اندازه اثر بازگشتی که عدد کوچکی است، با توجه تفکیک اثر بازگشتی به دو جزء جانشینی و تولیدی از یکسو و با توجه به کوچک بودن جزء

جانشینی نسبت به جزء تولیدی از سوی دیگر، لذا اجرای سیاست بهبود کارایی انرژی توصیه می‌شود زیرا اگر بهبود کارایی انرژی به مرحله اجرا درآید آنگاه، جانشین کردن نهاده انرژی (توسط صنایع) با سایر نهاده‌ها به مراتب در قیاس با افزایش تولید صنایع (بواسطه کاهش هزینه نهایی تولید)، کمتر خواهد بود.

تضاد منافع

نویسندگان نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فهرست منابع

۱. ترازنامه انرژی (۱۳۹۷). وزارت نیرو.

۲. دل‌انگیزان، سهراب، خانزادی، آزاد و حیدریان، مریم (۱۳۹۶). برآورد و تحلیل اثرات بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارائی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصاد کاربردی ایران*، (۲۱)۶، ۱۷۲-۱۴۹.

۳. دل‌انگیزان، سهراب، خانزادی، آزاد و حیدریان، مریم (۱۳۹۷). محاسبه اثرات بازگشتی مستقیم CO2 ناشی از بهبود کارائی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل استان‌های ایران. *تحقیقات اقتصادی*، (۴)۵۳، ۸۲۸-۸۰۵.

۴. رفیعی، فاطمه، عسگری، منوچهر و ارباب، حمیدرضا (۱۳۹۸). تجزیه اثرات بازگشتی ناشی از افزایش کارایی انرژی در ایران: رهیافت الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، (۳)۱۰، ۱۰۹-۸۵.

۵. سالم، علی اصغر و اکابری، مهدی (۱۳۹۶). برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارائی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، (۲۲)۶، ۷۴-۴۵.

۶. سلیمیان، زهره، بزازان، فاطمه و موسوی، میرحسین (۱۳۹۶). اثرات بهبود کارائی سوخت‌های فسیلی در صنایع انرژی‌بر: رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر پویای بین زمانی. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، (۲۱)۶، ۲۰۰-۱۶۳.

1. Brookes, L. (1979). A Low Energy Strategy for the UK by G Leach et al: a Review and Reply. *Atom*, *269*(3–8).

2. Delangizan, S., Khanzadi, A., & Heidarian, M. (2017). Estimation and Analysis of Direct Rebound Effects Due to the Improvement of Fuel Consumption Efficiency in the Road Transport Sector of Iran. *Iranian Journal of Applied Economics Studies*, 6(21), 172-149 (In Persian).

3. Delangizan, S., Khanzadi, A., & Heidarian, M. (2018). Calculating the Direct return Effects of CO2 Due to the Improvement of Fuel Consumption Efficiency in the Transportation Sector of Iran's Provinces. *Economic Research*, 53(4), 828-805 (In Persian).

4. Greening, L. A., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey. *Energy policy*, *28*(6-7), 389-401.

5. Grubler, A. (2010). The costs of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing. *Energy Policy*, *38*(9), 5174-5188.
6. Khazzoom, J. D. (1980). Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. *The energy journal*, *1*(4).
7. Khoshkalam Khosroshshi, M., & Sayadi, M. (2020). Tracking the Sources of Rebound Effect Resulting From the Efficiency Improvement in Petrol, Diesel, Natural Gas and Electricity Consumption; A CGE Analysis for Iran. *Energy*, 197, 117-134.
8. Koesler, S., Swales, K., & Turner, K. (2016). International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany. *Energy Economics*, *54*, 444-452.
9. Li, J., & Lin, B. (2017). Rebound effect by incorporating endogenous energy efficiency: A comparison between heavy industry and light industry. *Applied Energy*, *200*, 347-357.
10.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.
11.Liu, H., Du, K., & Li, J. (2019). An improved approach to estimate direct rebound effect by incorporating energy efficiency: A revisit of China's industrial energy demand. *Energy Economics*, *80*, 720-730.
12.Lovins, A. B. (2017). The origins of the nuclear power fiasco. In *The Politics of Energy Research and Development* (pp. 7-34). Routledge.
13.Meng, M., & Li, X. (2022). Evaluating the direct rebound effect of electricity consumption: An empirical analysis of the provincial level in China. *Energy*, *239*, 122135.
14.Rafiei, F., Asgari, M., & Arbab, H. (2019). Analysis of Rebound Effects Due to Increased Energy Efficiency in Iran: Approachable General Equilibrium Model Approach. *Quarterly Journal of Economics and Modeling*, 10(3), 85-109 (In Persian).
15.Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, *94*(5), 1002-1037.
16.Salem, A., & Akaberi, M. (2017). Estimating the Direct Rebound Effect of Improving Electricity Consumption Efficiency in the Domestic Sector of Urban Areas of Iran. *Iranian Journal of Energy Economics*, 6 (22), 45-74 (In Persian).
17.Salimian, Z., Bazzazan, F., & Mousavi, H. (2017). The Effects of Improving the Efficiency of Fossil Fuels In The Energy Industry: An

Approach To The Computable Dynamic Computable General Equilibrium Approach. *Iranian Journal of Energy EconomicS*, 6(21), 163-200 (In Persian).

18.Saunders, H. D. (2008). Fuel conserving (and using) production functions. *Energy Economics*, *30*(5), 2184-2235.

19.Shao, S., Guo, L., Yu, M., Yang, L., & Guan, D. (2019). Does the rebound effect matter in energy import-dependent mega-cities? Evidence from Shanghai (China). *Applied Energy*, *241*, 212-228.

20.Shao, S., Yang, L., & Huang, T. (2013). Theoretical model and experience from China of energy rebound effect. *Econ Res J*, *48*(2), 96-109.

21.Wei, T., Zhou, J., & Zhang, H. (2019). Rebound effect of energy intensity reduction on energy consumption. *Resources, Conservation and Recycling*, *144*, 233-239.

22.Yu, X., Moreno-Cruz, J., & Crittenden, J. C. (2015). Regional energy rebound effect: The impact of economy-wide and sector level energy efficiency improvement in Georgia, USA. *Energy policy*, *87*, 250-259.

23.Zheng, Y., Xu, H., & Jia, R. (2021). Endogenous energy efficiency and rebound effect in the transportation sector: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 130310.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی