پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هشتم، شماره ۳۱، تابستان ۱۳۹۸ صفحات ۱۵۰-۱۱۵
نوع مقاله: پژوهشی

سنجش اثر بازگشتی مصرف حامل‌های انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد داده - ستانده

علی فریدزاد[۱]
سحر نوروزی پیکانی[۲]
علی اصغر بانوئی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷

چکیده:

بهبود کارایی انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت تقاضای انرژی، پدیده‌ای تحت عنوان اثر بازگشتی را به دنبال دارد که باعث می‌شود میزان صرفه‌جویی انرژی تحقق یافته ناشی از بهبود کارایی انرژی برابر میزان مورد انتظار نباشد. در این پژوهش با استفاده از رویکرد داده‌ـستانده مبتنی بر تحلیل تجزیه ساختاری به تجزیه تغییرات مصرف حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی براساس تغییرات تقاضای نهایی و پیشرفت تکنولوژی درقالب تغییرات کارایی انرژی و تغییرات تقاضای واسطه‌ای در طی سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ پرداخته شده است. سپس با بررسی اینکه در کدامیک از بخش‌های اقتصادی بهبود کارایی انرژی صورت گرفته است، اثر بازگشتی مصرف هریک از حامل‌های انرژی در بخش‌های مذکور محاسبه شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی از ۲۴ بخش اقتصادی مورد مطالعه به ترتیب در ۱۱، ۴ و ۲۰ بخش اقتصادی، بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی را تجربه کرده‌اند که بخش‌های «ساخت فلزات اساسی»، «برق» و «ساخت محصولات کانی غیرفلزی» به ترتیب در ارتباط با این حامل‌ها بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی را داشته‌اند و بخش‌های «پست و خدمات پشتیبانی حمل و نقل» با ۹۳/۶۲ درصد، «ساخت کک و فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای» با ۱۴۶/۷۲ درصد و «ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی» با ۸۶/۳۳ درصد بیشترین میزان اثر بازگشتی در مصرف برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی را داشته‌اند. همچنین درنظرگرفتن مبادلات واسطه‌ای بین بخشی و درون بخشی، میزان اثر بازگشتی را در تمامی بخش‌ها افزایش می‌دهد.

طبقه‌بندی JEL: Q55 , Q43 , C67

کلیدواژه‌ها: اثر بازگشتی، کارایی انرژی، جدول داده ـ ستانده

---

۱. دانشیار گروه اقتصاد انرژی، کشاورزی و محیط‌زیست، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی
ali.faridzad@atu.ac.ir
۲. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی sahar.norouzi90@gmail.com
۳. استاد گروه توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی banouei@atu.ac.ir

۱. مقدمه

انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید و عاملی اثرگذار در رشد و توسعه اقتصادی کشورها از یک‌سو به‌عنوان مؤلفه‌ای اساسی در فرایند تولید و رشد اقتصادی محسوب شده و از سوی دیگر عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا می‌باشد لذا کنترل مصرف انرژی و تعادل بین رشد اقتصادی و حفاظت محیط‌زیست با در نظر گرفتن توسعه پایدار از اهداف دولت‌ها به‌شمار می‌رود. ایران نیز به عنوان کشوری در حال توسعه برای رشد و توسعه اقتصادی خود نیازمند مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی است. با بررسی مصرف انرژی در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ مشاهده می‌شود که مصرف نهایی انرژی در ایران از ۶۳۱/۳ به ۱۱۵۸/۴ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده است که در این بازه زمانی میزان مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش حمل‌ونقل در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی بیشترین روند فزایندی را به خود اختصاص داده است. همچنین بخش خانگی، عمومی و تجاری بیشترین میزان مصرف حامل‌های برق و گاز طبیعی را داشته‌اند. لذا با نگاهی عمیق‌تر به ساختار اقتصاد ایران و تغییرات مصرف انرژی در سال‌های اخیر اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای مناسب به‌منظور کنترل مصرف انرژی و مدیریت تقاضای انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی نمود پیدا می‌کند که لازمه موفقیت این سیاست‌ها شناخت، بررسی و سنجش دقیق‌تری از تغییرات تقاضای انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی به‌ویژه با در نظر گرفتن مبادلات انرژی ناشی از مبادلات واسطه‌ای بین بخش‌های اقتصادی است، موضوعی که کمتر مورد توجه پژوهشگران در ایران بوده است. این حوزه از مطالعه به‌ویژه در سطح بخش‌های اقتصادی نشان می‌دهد که چه میزان از تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای و کارایی انرژی در قالب تغییرات تکنولوژیکی و تا چه میزان ناشی از تغییرات تقاضای نهایی است. از طرفی کارایی انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای تغییرات تقاضای انرژی و ابزار مدیریت تقاضای انرژی محسوب می‌شود. بهبود کارایی انرژی از طرق مختلف مانند پیشرفت تکنولوژی امکان‌پذیر است چراکه پیشرفت تکنولوژی موجب می‌شود برای تولید یک واحد محصول، انرژی کمتری نسبت به زمان قبل از پیشرفت مصرف شود در نتیجه

می‌توان گفت با پیشرفت تکنولوژی کارایی افزایش می‌یابد و افزایش کارایی انرژی یک راهکار بسیار مهم جهت کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود (شرزه‌ای و ابراهیم‌زادگان (۱۳۹۰)).

نتایج مطالعات متعدد در سطح بین‌الملل از جمله شائو و همکاران (۲۰۱۶)[1] و لی و جیانگ (۲۰۱۶)[2] نشان می‌دهد با وجود آنکه بسیاری از سیاست‌های کاهش شدت انرژی با بهبود کارایی انرژی همزمان با پیشرفت تکنولوژی همراه بوده‌اند، اما کاهش مصرف انرژی به میزان مورد انتظار نبوده است، به طوری که قسمتی از صرفه‌جویی انرژی مورد انتظار با افزایش تقاضای انرژی خنثی شده است که به این پدیده اثر بازگشتی گفته می‌شود و می‌تواند عاملی جدی در جهت عدم تحقق اهداف مرتبط با صرفه‌جویی انرژی محسوب شود. بر این اساس، به منظور درک دقیق‌تری از واقعیت‌های اقتصاد ایران، چند پرسش اساسی مطرح است که این پژوهش قصد دارد تا با استفاده از روش‌شناسی الگوی داده ـ ستانده مبتنی بر روش تحلیل تجزیه ساختاری مقداری، در یک دوره زمانی مشخص، بر اساس داده‌ها و اطلاعات موجود به آن‌ها پاسخ دهد. اول آنکه، با توجه به مبادله انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی ایران، در یک دوره زمانی مشخص، چه عواملی منجر به تغییرات مصرف انرژی در هر بخش اقتصادی شده‌اند؟ در این میان، نقش تغییرات تقاضای واسطه‌ای، تقاضای نهایی و تغییرات کارایی در مصرف انرژی با استفاده از تحلیل تجزیه ساختاری چگونه و به چه میزان است؟ دوم آنکه، در صورتی که در طی یک دوره زمانی مشخص، بخش‌هایی با بهبود کارایی انرژی همراه باشند، اثر بازگشتی این بخش‌ها به چه میزان است؟

ازاین‌رو برای پاسخ به پرسش‌های یادشده، مقاله حاضر در شش بخش سازماندهی شده است. در بخش دوم، پس از مقدمه مروری بر مطالعات تجربی در قالب رویکرد تحلیل تجزیه ساختاری و اثر بازگشتی انجام می‌گیرد سپس مبانی نظری بهبود کارایی انرژی و اثر بازگشتی و روش پژوهش انجام گرفته تشریح می‌شود. در ادامه پایه‌های آماری و تحلیل و تجزیه نتایج بیان شده و در پایان نیز جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی مطرح می‌گردد.

1. Shao et al. (2016)
2. Li and Jiang (2016)

۲. مروری بر مطالعات تجربی

ارزیابی اثرات بازگشتی بطور کلی در قالب پنج دسته انجام می‌گیرد[۱]: مطالعات سنجشی[۲]، مطالعات اقتصاد سنجی[۳]، مطالعات مربوط با کشش‌های جانشینی[۴] بین انرژی و سرمایه، مطالعات مدل‌سازی تعادل عمومی قابل محاسبه[۵]، و مطالعات مرتبط با انرژی، بهره‌وری و رشد اقتصادی[۶] که این دسته طیف وسیعی از شواهد تجربی بر پایه فرضیه خازوم ـ بروکس، تئوری‌های تولید نئوکلاسیک، اقتصاد زیست محیطی، تحلیل‌های تجزیه و تحلیل‌های داده ـ ستانده را دربر می‌گیرد (سورل، ۲۰۰۷)[۷]. این پژوهش با استفاده از رویکرد داده ـ ستانده و الگوی تحلیل تجزیه ساختاری که در گروه پنجم مطالعات می‌باشد به برآورد اثر بازگشتی در سطح بخش‌های اقتصادی می‌پردازد. در ابتدا به جدیدترین مطالعات مرتبط با تحلیل تقاضای انرژی و کارایی انرژی پرداخته می‌شود. سپس مطالعات مرتبط با اثر بازگشتی در قالب مدل‌های تعادل عمومی و تحلیل تجزیه بیان می‌گردد.

---

۱. مطالعات متعددی در قالب برآورد اثر بازگشتی انجام گرفته است که نتایج حاصل به علت تعدد فنون مورد استفاده با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. روش‌های مورد استفاده برای برآورد اثر بازگشتی در ایران اغلب در قالب مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه و مدل‌های اقتصادسنجی هستند. مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه صراحتاً پاسخ عوامل اقتصادی را به تغییر کارایی انرژی توصیف می‌کنند و دارای پایه‌های اقتصاد خرد هستند که می‌توانند مکانیزم‌های اثر بازگشتی از جمله اثر جانشینی و درآمدی را در قالب اثرات مستقیم و غیرمستقیم بررسی نمایند اما این مدل‌ها بر پایه یک تحلیل شبیه‌سازی‌شده انجام می‌گیرند و برآورد اثر بازگشتی با استفاده از یک تنظیم ذهنی از بهبود کارایی انرژی به صورت برونزا صورت می‌پذیرد، در نتیجه ممکن است با اثر بازگشتی واقعی تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد (سورل(۲۰۰۷)، لی و جیانگ (۲۰۱۶). مدل‌های اقتصاد سنجی نیز علی‌رغم مزایا و کاربردهای فراوان برای برآورد انواع اثر بازگشتی نمی‌توانند روابط بین بخشی ناشی از مبادلات واسطه‌ای را درنظربگیرند. مدل‌های داده ـ ستانده که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند دو مدل قبل مزایا و معایبی دارند. این الگوها به دلیل داشتن فرم تابع لئونتیف قادر به بررسی و تمایز اثرات جانشینی و درآمدی نیستند و به‌طور کلی توانایی محاسبه مقادیر نهایی وکشش‌ها را ندارند اما این نوع مدل‌ها برای برآورد اثر بازگشتی در سطح کلان می‌توانند مدل مناسبی باشند و قادرند بهبود کارایی انرژی را به صورت درونزا و مطابق واقعیت اقتصاد بررسی نمایند و روابط بین بخشی و درون بخشی را نیز در محاسبات خود لحاظ کنند.

2. Evaluation studies
3. Econometric studies
4. Elasticity of substitution studies
5. Computable general equilibrium modelling studies
6. Energy, productivity and economic growth studies
7. Sorrell (2007)

۲ـ۱. مطالعات تجربی پیرامون رویکرد تحلیل تجزیه ساختاری[1]

ژیا و یانگ (۲۰۱۲)[2] با استفاده از رویکرد *SDA* تغییرات شدت انرژی در چین را در طی دوره زمانی ۱۹۸۷ـ۲۰۰۵ به پنج عامل ضریب نهاده انرژی، ضریب تکنولوژی، ساختار تقاضای نهایی، تقاضای نهایی و ضریب مصرف انرژی تقسیم کردند و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ کاهش شدت انرژی بیشتر تحت تأثیر ساختار نهاده انرژی و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ افزایش شدت انرژی به دلیل ساختار نهاده انرژی بوده‌است. همچنین ژانگ و همکاران(۲۰۱۶)[3] با استفاده از این روش نشان دادند که شدت انرژی و ضریب تقاضای نهایی در طی سال‌های ۱۹۹۷ـ۲۰۱۲ در این کشور کاهش یافته است و تغییر ساختار تقاضای نهایی به استثنای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۲ـ۲۰۰۷ عامل اثرگذاری در افزایش شدت انرژی داشته است. ژانگ(۲۰۱۸)[4] با استفاده از جدول داده ـ ستانده جهانی به تجزیه مصرف انرژی در طی سال‌های ۱۹۹۵ـ۲۰۰۹ با استفاده از رویکرد تحلیل تجزیه ساختاری پرداخته است و تغییرات مصرف انرژی را به اثر شدت، ساختار تولید، تغییرات ساختار در تقاضای نهایی، اثر تقاضای نهایی و مصرف خانوارها تجزیه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد رشد مصرف انرژی عمدتا به دلیل تقاضای نهایی (حدود ۵۵/۰۴ درصد) است اما می‌تواند بطور قابل توجهی با اثر شدت به دلیل تغییرات تکنولوژی کاهش یابد. رشیدی‌زاده و جهانگرد (۱۳۹۰) با استفاده از جداول داده ـ ستانده سال ۱۳۶۵ـ۱۳۸۰ و رویکرد تحلیل تجزیه ساختاری به تجزیه تغییر شدت انرژی در فعالیت‌های اقتصادی ایران پرداخته و نتایج نشان می‌دهند که ضریب مصرف انرژی بیشترین تغییر را در شدت انرژی داشته است. در بیشتر صنایع نیز اثر شدت از اثر ساختار تأثیرگذارتر بوده و در اکثر موارد اثر شدت در جهت شدت انرژی حرکت کرده است. جهانگرد و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل تجزیه ساختاری به بررسی مصرف انرژی اولیه و ثانویه در طی سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ پرداخته‌اند و نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ۷۳ درصد افزایش مصرف انرژی

1. Structural Decomposition Analysis
2. Xia and Yang (2012)
3. Zhang et al.(2016)
4. Zhang(2018)

ناشی از تقاضای نهایی و ۱۴ درصد ناشی از اثرشدت انرژی بوده است و اثـر سـاختار تولیـد و اثر ساختار مصرف به میزان ۷/۷ درصد و ۴/۹ درصد از اثر افزایشی کل کاسته است.

۲ـ۲. مطالعات تجربی پیرامون برآورد اثر بازگشتی

مدل‌های متعددی به برآورد اثر بازگشتی با رویکرد داده ـ ستانده از جملـه هـاولز و همکـاران (۲۰۱۰)[1]، فریرگنزالس (۲۰۱۱)[2]، توماس و آزودو (۲۰۱۳)[3] انجـام گرفتـه اسـت. در ادامـه بـه بیان مطالعات انجام شده در قالب مدل تحلیل تجزیه ساختاری که با اسـتفاده از جـداول داده ـ ستانده انجام می‌گیرد، پرداخته می‌شود:

لی و لین (۲۰۱۵)[4] و لی و جیانگ (۲۰۱۶) به محاسبه اثر بازگشتی در سطح بخش‌های اقتصادی کشور چین با اسـتفاده از مـدل داده ـ سـتانده و رویکـرد تحلیـل تجزیـه سـاختاری پرداخته‌اند و نتایج مطالعات لی و لین (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که مجموع اثر بازگشتی در طی سال‌های ۲۰۰۶ـ۲۰۱۰ با درنظر گرفتن مبادلات واسـطه‌ای بـین بخشـی و درون بخشـی ایـن کشور معادل ۱۱/۳۱ درصد بوده است و حذف یارانه‌های مربوط به فرآورده‌های نفتی، ایـن اثر را به میزان ۱۰/۶۴ درصد کاهش می‌دهد. همچنین لی و جیانگ (۲۰۱۶) نشـان مـی‌دهـد که مجموع اثر بازگشتی در طول سال هـای ۲۰۰۷ـ۲۰۱۰ حـدود ۱/۹درصـد بـوده اسـت و حذف یارانه‌های انرژی این اثر را به ۱/۵۳ درصد کـاهش مـی‌دهـد. در ایـران مطالعـه‌ای در زمان اثر بازگشتی با استفاده از رویکرد مذکور انجام نگرفته است.

با مروری بر مطالعات داخلی و خارجی مشاهده می‌شود که مطالعـه حاضـر از چنـدین منظر نسبت به سایر مطالعاتی که در ایران صورت گرفته است متفاوت است:

اول) در این مطالعه برای اولین بار به تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات مصرف انـرژی بـه تفکیک تغییرات تکنولوژی و تغییرات تقاضای نهائی با استفاده از جـداول داده ـ سـتانده بـه قیمت ثابت و الگوی داده ـ ستانده مبتنی بر روش تحلیل تجزیه ساختاری جمع‌پذیر پرداخته

1. Howells et al. (2010)
2. Freire-González (2011)
3. Thomas and Azevedo (2013)
4. Li and Lin (2015)

می‌شود. دوم) در مطالعه حاضر اثر بازگشتی حامل‌های انرژی شامل برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در سطح بخش‌های اقتصادی به تفکیک ۲۴ بخش اقتصادی انجام شده است. در مطالعات گذشته این تقسیم‌بندی نه تنها در سطح بخش‌های اقتصادی صرفاً بر مبنای میزان کل مصرف انرژی صورت گرفته است، بلکه به مطالعه اثر بازگشتی با استفاده از طبقه‌بندی مصرف کل انرژی نیز پرداخته نشده است. سوم) تاکنون در ایران میزان اثر بازگشتی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی شامل پنج حامل اصلی بنزین، نفت‌گاز، نفت سفید، نفت‌کوره و گازمایع محاسبه نشده‌است. در خصوص برق نیز این مطالعه صرفاً با رویکرد اقتصادسنجی یا CGE در بخش خانگی صورت گرفته است.

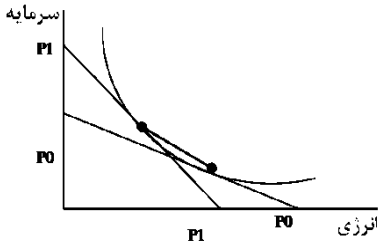
۳. مبانی نظری

۳ـ۱. مبانی اقتصادی بهبود کارایی انرژی

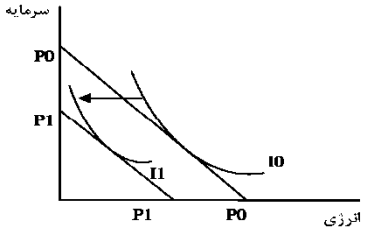
کارایی انرژی معمولاً به صورت نسبت ستانده مفید از یک فرایند به نهاده انرژی در آن فرایند محاسبه می‌شود و بهبود در سطح کارایی، کاهش در مصرف انرژی به پایین‌تر از سطحی که در آن بدون هرگونه بهبودی، مصرف انرژی صورت می‌گیرد، گفته می‌شود[۱]. ایده اصلی بهبود کارایی انرژی با مفهوم تابع تولید قابل ارائه است. در صورتی که سرمایه و انرژی دو نهاده در فرایند تولید باشند، میزان هزینه‌ای که بر اساس آن سطح به‌کارگیری انرژی حداقل می‌شود، از طریق نقطه مماس میان منحنی هم‌مقداری تولید و خط هزینه کل تعیین می‌شود. در این نقطه، نرخ جانشینی فنی با نسبت قیمت اجاره نهاده‌ها برابر است. با توجه به نمودار (۱) با تغییر در قیمت‌ها از P_0 به P_1، سرمایه با حرکت روی منحنی هم مقداری، جانشین انرژی می‌شود. در اینجا، نهاده انرژی کمتری به ازای هر واحد ستانده به‌منظور به‌کارگیری بیشتر از دیگر عوامل تولید، نظیر سرمایه استفاده می‌شود. همچنین این امکان وجود دارد که امکانات تولیدی به دلیل تغییرات فنی حرکت کند و منجر به هم‌مقداری متفاوتی شود. این موضوع در نمودار (۲) مشاهده می‌شود که در آن تغییر فنی

۱. شدت انرژی به‌عنوان معیاری از کارایی انرژی معرفی شده به صورتی که شدت انرژی کمتر کارایی انرژی سیستم را به همراه دارد.

منجر به انتقال منحنی هم‌مقداری از I_0 به I_1 شود. بنابراین، در یک سطح پایین‌تر، نهاده انرژی به ازای تمامی ترکیب‌های سرمایه قرار می‌گیرد و بنابراین کارایی انرژی بیشتر می‌شود (فریدزاد، ۱۳۹۷).



نمودار ۱: بهبود کارایی با جانشینی عوامل
منبع: گیلینگهام و همکاران (۲۰۰۹)



نمودار ۲: بکارایی انرژی با تغییر تکنولوژی
منبع: گیلینگهام و همکاران (۲۰۰۹)

۳ـ۲. اثر بازگشتی

همان‌طور که در نمودار (۲) مشاهده می‌شود، پیشرفت تکنولوژی منجر می‌شود مصرف انرژی برای تولید کالا و خدمات مورد نظر کاهش یابد و کارایی انرژی بهبود پیدا کند. این میزان کاهش در مصرف انرژی به عنوان میزان صرفه‌جویی انرژی مورد انتظار یا صرفه‌جویی بالقوه[1] شناخته می‌شود اما مطالعات متعدد نشان دادند که میزان صرفه‌جویی واقعی ناشی از بهبود کارایی انرژی کمتر از میزان مورد انتظار است. اختلاف میزان صرفه‌جویی بالقوه و بالفعل[2] انرژی اثر بازگشتی[3] نام دارد و معمولاً به صورت درصد بیان می‌گردد لذا اثر بازگشتی عبارت جامعی است برای برخی سازوکارهایی که به دنبال بهبود کارایی انرژی، باعث کاهش مقدار صرفه‌جویی انرژی ناشی از این ارتقاء می‌شود (سورل (۲۰۰۷)). بر اساس این تعریف، اثر بازگشتی (RE) به صورت زیر محاسبه می‌گردد که در آن PES و AES به ترتیب صرفه‌جویی بالقوه انرژی و صرفه‌جویی واقعی انرژی می‌باشد.

$$RE = \frac{PES - AES}{PES} \times ۱۰۰ = \left(۱ - \frac{AES}{PES}\right) \times ۱۰۰٪$$

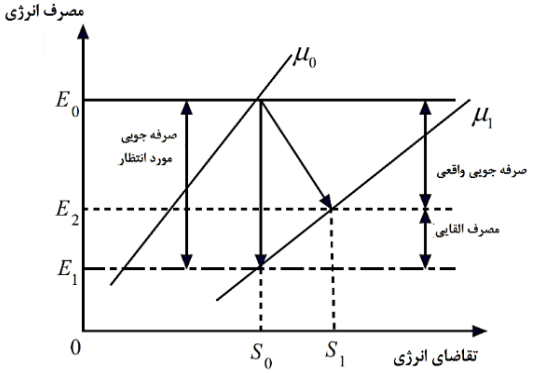
1. Potential Energy Saving
2. Actual Energy Saving
3. Rebound Effect

منشا ایجاد اثر بازگشتی کاهش قیمت مؤثر[۱] (ضمنی[۲]) خدمات انرژی و به دنبال آن تقلیل هزینه خدمات انرژی و ایجاد انگیزه برای مصرف بیشتر انرژی است. برای مثال اگر یک خودرو بتواند مسافت بیشتری را با یک لیتر سوخت طی کند، در این صورت هزینه های سوخت به ازای همان مسافت کاهش یافته و هزینه کل مسیر طی شده نیز کاهش می یابد. اثرات بازگشتی را می توان به سه اثر بازگشتی مستقیم، غیر مستقیم و اثرکل اقتصاد تقسیم کرد. بهبود کارایی انرژی برای کالا و خدمات منجر می‌شود که قیمت مؤثر خدمات انرژی کاهش یابد و تقاضا برای آن دسته از کالا و خدمات افزایش یابد که به آن اثر بازگشتی مستقیم گفته می‌شود (سورل و دمیتروپولوس (۲۰۰۸))[۳]. در اثر بازگشتی غیرمستقیم، کاهش قیمت مؤثر خدمات انرژی ناشی از بهبود کارایی انرژی موجب می‌شود فرد مورد نظر سایر کالاها و خدمات که خود انرژی‌بر هستند را مصرف نماید. بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی باعث کاهش قیمت مؤثر خدمات انرژی شده و هزینه هر واحد تولید را کاهش داده و منجر به رشد اقتصادی می‌شود لذا تقاضای جدیدی برای انرژی شکل می گیرد و قسمتی یا حتی کل صرفه‌جویی انرژی خنثی می گردد که به آن اثر بازگشتی کل اقتصاد گفته می‌شود[۴] (لین و لی (۲۰۱۴)، وانگ و همکاران (۲۰۱۶)[۵]). اثر بازگشتی در سطح کلان را می‌توان به صورت نمودار (۳) نشان داد.

1. Effective Price
2. Implicit Price
3. Sorrell and Dimitropoulos (2008)

۴. اولین مطالعه در مورد اثر بازگشتی در سطح کل اقتصاد توسط بروکس(۱۹۹۰) انجام شد. وی بر این باور بود که کارایی انرژی منجر به رشد اقتصادی شده است و اگر اثر رشد اقتصادی به اندازه کافی بزرگ باشد نتیجه مستقیم بهبود کارایی انرژی، افزایش مصرف انرژی است. بروکس و خازوم با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه یک فرضیه ارائه دادند مبنی بر اینکه بهبود کارایی انرژی با کاهش قیمت مؤثر انرژی، بودجه را برای پیشبرد رشد اقتصادی بیشتر آزاد می‌کنند لذا تا حد زیادی کاهش منابع انرژی را تسریع می‌کنند که این فرضیه به فرضیه خازوم ـ بروکس شهرت یافت.

5. Wang et al.(2016)



نمودار (۳):اثر بازگشتی انرژی در سطح کلان

منبع: گیلینگام و همکاران (۲۰۱٤)

در نمودار (۳) محور عمودی مصرف انرژی و محور افقی تقاضای انرژی و μ_0 و μ_1 دو سطح مختلف از کارایی انرژی هستند. در صورتی که کارایی انرژی از μ_0 به μ_1 افزایش یابد، مصرف انرژی از E_0 به E_1 کاهش پیدا خواهد کرد و قیمت مؤثر خدمات انرژی کاهش یافته و رشد اقتصادی افزایش می‌یابد و تقاضای جدیدی شکل می‌گیرد. از این رو ذخیره واقعی انرژی به میزان E_0-E_2 کاهش می‌یابد و به همین ترتیب E_1-E_2 میزان بازگشت انرژی می‌باشد. لذا می‌توان معادله اثر بازگشتی در سطح کلان را به صورت معادله (۱) بیان نمود که این اثر می‌تواند مقادیر مختلفی را در بربگیرد. زمانی‌که $RE>1$ باشد اثرمعکوس[1]، $RE=1$ اثر بازگشتی کامل[2]، $0<RE<1$ اثر بازگشتی جزئی[3] و $RE=0$ اثر بازگشتی صفر[4] یا عدم وجود اثر بازگشتی نام دارد. همچنین زمانیکه $RE<0$ باشد به آن اثر بازگشتی فوق‌العاده[5] گفته می‌شود و طی آن میزان صرفه جویی انرژی بیشتر از میزان مورد انتظار است.

$$RE=\frac{E_2-E_1}{E_0-E_1}\times 100\% \qquad (1)$$

1. Backfire Effects
2. Full Rebound Effects
3. Partial Rebound Effects
4. Zero Rebound Effects
5. Super Conservation Effects

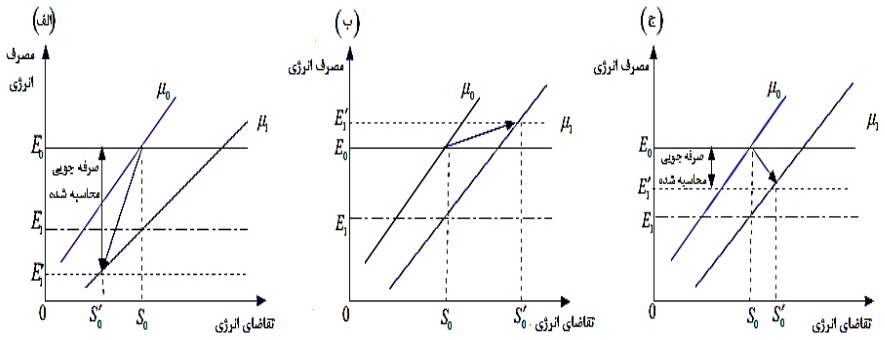
۳ـ۳. اثر بازگشتی در سطح کلان ـ بخشی

بخش‌های اقتصادی با یکدیگر در تعامل و ارتباط هستند و تعاملات اقتصادی میان بخش‌ها مصرف انرژی و در نهایت اثر بازگشتی را از دو بعد[۱] تحت تأثیر قرار می‌دهد. نمودار (۴) اثر بازگشتی با درنظرگرفتن روابط بین بخشی را در قالب سه وضعیت مجزا نشان می‌دهد. بر اساس آنچه در این نمودار ارائه شده است، کارایی انرژی به دلیل پیشرفت تکنولوژی برای بخش i منجر به حرکت منحنی از μ_0 به μ_1 خواهد شد. انتظار براین است که میزان صرفه‌جویی مورد انتظار برابر $(E_0-E'_1)$ باشد که این مقدار برابر (E_0-E_1) و $(E_1-E'_1)$ است که به ترتیب میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در بخش مورد نظر و میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از همین ارتقا به دلیل تغییرات تقاضای واسطه‌ای است. حال با این فرض که سطح تقاضای انرژی برای بخش i ثابت است (E_2-E_1) ، با بهبود کارایی انرژی در بخش i، در صورتی که تولیدات سایر بخش‌ها وابستگی کمتری به بخش مورد نظر داشته باشند مقدار انرژی مصرفی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای کاهش می‌یابد. نمودار(۴) بخش (الف) تغییر مثبت در تقاضای واسطه‌ای به دلیل وابستگی کم سایر بخش‌ها به محصول بخش i به عنوان کالای واسطه‌ای را نشان می‌دهد. قسمت (ب) و (ج) تغییرات منفی در تقاضای واسطه‌ای را نشان می‌دهند به این معنی که پیشرفت تکنولوژی در بخش مذکور منجر به کاهش هزینه خدمات انرژی در سایر بخش‌ها شده و تقاضای واسطه‌ای سایر بخش‌ها افزایش می‌یابد. در قسمت (ب) تغییرات تقاضای انرژی خیلی زیاد بوده است به طوری که کل صرفه‌جویی ناشی از بهبود کارایی انرژی در بخش

---

۱. به عنوان نمونه، هنگامی که کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در یک بخش اقتصادی مانند بخش کشاورزی رخ می‌دهد (با فرض اینکه بخش مورد نظر فقط یک محصول تولید می‌کند) منجر خواهد شد تا برای تولید محصول بخش مورد نظر مانند پنبه، مقدار انرژی کمتری مصرف گردد لذا به دلیل کاهش قیمت مؤثر کالای مورد نظر این انگیزه برای تولیدکننده به وجود می‌آید که میزان پنبه بیشتری تولید کند و طبیعتاً میزان مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. از طرفی بخش نساجی برای تولید پارچه به عنوان محصول تولیدی خود به پنبه به عنوان نهاده تولید نیازمند است. به دلیل کاهش قیمت ضمنی پنبه ممکن است این انگیزه برای تولیدکنندگان بخش نساجی بوجود آید که میزان تولید پارچه خود را افزایش دهند لذا تقاضای پنبه بیشتری از بخش کشاورزی به‌عنوان کالای واسطه می‌نمایند و بخش کشاورزی میزان تولید پنبه خود را افزایش دهد و از این منظر نیز مصرف انرژی افزایش یابد. لذا مصرف انرژی با در نظر گرفتن روابط بین بخشی از دو طریق بر اثر بازگشتی تأثیر می‌گذارد.

مذکور با افزایش تقاضای واسطه‌ای خنثی شده است و پیشرفت تکنولوژی منجر به کاهش مصرف انرژی نگردیده است. اما در قسمت (ج) بخشی از صرفه‌جویی انرژی به دلیل تغییرات تقاضای واسطه‌ای خنثی شده است. بنابراین در نظر گرفتن روابط بین بخشی مقادیر مصرف انرژی و اثر بازگشتی را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد و چشم‌پوشی از آن منجر به اختلال در نتایج به دست آمده می‌گردد.



نمودار (٤): صرفه‌جویی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در یک بخش فرضی

منبع: لی و لین(۲۰۱۵)

٤. روش پژوهش

روش تحلیل تجزیه ساختاری پس از مقاله لئونتیف در سال ۱۹۴۱ با عنوان روابط مقداری داده ـ ستانده در سیستم اقتصادی آمریکا رواج یافت. این تحلیل از اطلاعات مربوط به جدول داده ـ ستانده بهره می‌گیرد و کاربردهای فراوانی در تحلیل متغیرهای اقتصادی، زیست محیطی و انرژی در اقتصاد دارد. هنگامی که دو یا تعدادی مجموعه داده ـ ستانده برای اقتصاد یک کشور وجود دارد تحلیلگران سعی می‌کنند مجموع تغییرات این مجموعه را به عناصر شناخته‌شده‌ای مانند تغییرات تکنولوژی و تغییرات تقاضای نهایی تجزیه نمایند و خود این عناصر می‌توانند به مؤلفه‌های جزیی‌تری تقسیم گردند. الگوهای تجزیه ساختاری زیادی در متون اقتصادی معرفی شده است که اختلاف اصلی آن‌ها در وزن‌دهی تغییرات تکنولوژی و تغییرات تقاضای نهایی است.

همان‌طورکه در قسمت قبل ذکر شد، اثر بازگشتی را می‌توان در قالب معادله (۱) محاسبه نمود که این اثر در سطح کلان، به‌صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$RE=\frac{(E_0-E_1)-(E_0-E_2)}{E_0-E_1}\times 100\%=\frac{E_2-E_1}{E_0-E_1}\times 100\% \qquad (۲)$$

برای تعمیم رابطه مذکور در سطح بخش‌ها نیاز است تا روابط بین بخشی لحاظ گردد. لی و لین (۲۰۱۵) و لی و جیانگ (۲۰۱۶) با اضافه کردن مقدار تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای بین بخش‌ها رابطه‌ی (۲) را به صورت زیر بازنویسی نمودند.

$$RE=\frac{(E_2-E_1)+(E_1-E_1')}{(E_0-E_1)+(E_1-E_1)}\times 100\%=\frac{E_2-E_1'}{(E_0-E_1)+(E_1-E_1')}\times 100\% \qquad (۳)$$

در رابطه (۳) E_1-E_1' تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای به دلیل پیشرفت تکنولوژی در بخش مورد نظر است. این مقدار به عنوان یک مقدار بالقوه شناخته می‌شود بنابراین برای محاسبه اثر بازگشتی در سطح بخش‌های اقتصادی با در نظر گرفتن روابط بین بخشی لازم است مقدار E_2-E_1' به عنوان مقدار بازگشت انرژی به دلیل رشد تولید و مقدار $(E_0-E_1)+(E_1-E_1')$ به عنوان میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در سطح بخش‌های اقتصادی محاسبه شود. به منظور ایجاد یک پیوند میان رابطه ارائه‌شده در سطح کلان با در نظر گرفتن روابط بین بخشی (رابطه ۳) از الگوی تقاضا محور لئونتیف استفاده می‌گردد. بر اساس رویکرد داده ـ ستانده می‌توان روابط (۴) و (۵) را به صورت زیر بیان نمود.

$$AX+F=X \qquad (۴)$$

$$X=(I-A)^{-1}F=LF \qquad (۵)$$

در این روابط ماتریس A ماتریس ضرایب فنی یا مستقیم، L یا $(I-A)^{-1}$ ماتریس معکوس لئونتیف یا ماتریس ضرایب مستقیم و غیرمستقیم نام دارد. X و F نیز به‌ترتیب بردار ستونی ستانده و تقاضای نهایی است. به منظور پیوند این مدل به جریان مصرف انرژی مستقیم و غیرمستقیم در سطح بخش‌های اقتصادی می‌توان رابطه (۵) را به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$Q=R^TX=R^T(I-A)^{-1}F=R^TLF \qquad (۶)$$

در رابطه (۶) Q مقدار مصرف انرژی مستقیم و غیرمستقیم و R شدت انرژی می‌باشد. با توجه به آنکه رابطه بالا، تنها یک لحظه از زمان را نشان می‌دهد، می‌توان برای نمایش تغییرات مصرف انرژی در طول زمان در سطح بخش‌های اقتصادی، تغییرات مصرف انرژی را در دوره مبدأ (۰) و مقصد (t) به صورت رابطه (۷) نمایش داده و محاسبه نمود:

$$\Delta Q = Q_t - Q_0 = R_t^T L_t F_t - R_0^T L_0 F_0 \qquad (۷)$$

با استفاده از رویکرد *SDA* ارائه شده توسط لی و لین (۲۰۱۵) و لی و جیانگ (۲۰۱۶) می‌توان تغییرات مصرف انرژی را در قالب روابط زیر بیان کرد.

$$\Delta Q = R_t^T (L_t - L_0) F_t + (R_t^T - R_0^T) L_0 F_t + R_0^T L_0 (F_t - F_0) \qquad (۸)$$

$$\Delta Q = R_0^T (L_t - L_0) F_t + (R_t^T - R_0^T) L_t F_t + R_0^T L_0 (F_t - F_0) \qquad (۹)$$

$$۲\Delta Q = (R_t^T + R_0^T)(L_t - L_0) F_t + (R_t^T - R_0^T)(L_t - L_0) F_t + ۲R_0^T L_0 (F_t - F_0) \qquad (۱۰)$$

$$\Delta Q = \frac{۱}{۲}(R_t^T + R_0^T)(L_t - L_0) F_t + \frac{۱}{۲}(R_t^T - R_0^T)(L_t - L_0) F_t + R_0^T L_0 (F_t - F_0) \qquad (۱۱)$$

رابطه (۱۱) که حاصل تجزیه جمع‌پذیر رابطه (۷) است از سه جزء تشکیل شده است: عبارت اول بیان‌کننده تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای یا ساختار نهاده‌ای[1] است که معادل $E_1 - E_1'$ در رابطه (۳) است. عبارت دوم تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات شدت انرژی را نشان می‌دهدکه این تغییرات معادل $E_0 - E_1$ در رابطه (۳) است و در نهایت عبارت سوم تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای نهایی را نشان می‌دهد. لی و لین (۲۰۱۵) و لی و جیانگ (۲۰۱۶) مجموع دو عبارت اول را تغییرات مصرف انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در نظر می‌گیرند. در قدم بعدی برای محاسبه اثر بازگشتی در سطح کلان بایستی مقدار بازگشت انرژی ناشی از رشد تولید در اثر پیشرفت تکنولوژی است را بایستی محاسبه نمود. از این رو برای محاسبه تغییرات تولید (Δx) در سال مبدأ و مقصد می‌توان به شرح زیر عمل کرد.

$$\Delta X = X_t - X_0 = L_t F_t - L_0 F_0 = (L_t - L_0) F_0 + L_t (F_t - F_0) \qquad (۱۲)$$

$$\Delta X = X_t - X_0 = L_t F_t - L_0 F_0 = (L_t - L_0) F_t + L_0 (F_t - F_0) \qquad (۱۳)$$

1. Input structural

به‌طور مشابه می‌توان حاصل را به صورت زیر بیان نمود.

$$\Delta X = \frac{1}{2}(L_t - L_0)(F_t + F_0) + \frac{1}{2}(L_t + L_0)(F_t - F_0) \qquad (۱۴)$$

در رابطه (۱۴) عبارت اول بیانگر تغییرات تولید ناشی از تغییرات تکنولوژی و عبارت دوم تغییرات تولید ناشی از تغییرات تقاضای نهایی است (میلر و بلر، ۲۰۰۹[1]). بنابراین برای اینکه بتوان مقدار تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تکنولوژی را محاسبه نمود می‌توان از ضرب شدت انرژی در عبارت اول استفاده کرد. اگر قسمت اول معادله (۱۴) را به صورت $\Delta X - TP$ نمایش دهیم، مقدار مورد نظر برابر $R \times \Delta X - TP$[2] می‌گردد.

۵. پایه‌های آماری، تجزیه و تحلیل نتایج

در این پژوهش از جداول داده ـ ستانده سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به قیمت ثابت[3] سال ۱۳۹۰ منتشر شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس[4] استفاده شده است. این جداول در قالب ۷۱ رشته فعالیت اقتصادی گردآوری شده‌اند که بخش‌های اقتصادی که از نظر کد ISIC.rev3 به هم مرتبط‌اند به صورت سطری و ستونی با یکدیگر جمع شده و به صورت ۲۴ بخش

1. Miller and Blair (2009)

۲. در این قسمت از میانگین شدت انرژی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به صورت $\left(\frac{R_t + R_0}{2}\right)$ استفاده شده است.

۳. در روش‌های تحلیل تجزیه، نهاده‌های واسطه محور تمام محاسبات هستند. تغییرات ساختاری فناوری و تغییر قیمت برخی نهاده‌ها می‌تواند باعث تأثیر بر متغیرهای دیگر اقتصادی شود. روش تجزیه برای تشریح تغییرات تولید بخشی توسط تأثیر تغییر ضرایب فنی شناخته می‌شود. تغییرات فنی ممکن است باعث تغییر در ترکیب، سطح تولید و تغییر در توزیع اجزای تقاضای نهایی اقتصاد شوند که در این نوع تحلیل‌ها از جداول داده ـ ستانده به قیمت ثابت استفاده می‌شود (جهانگرد، ۱۳۹۳). لذا دلیل استفاده از جداول داده ـ ستانده به قیمت ثابت این است که مقایسه جداول داده ـ ستانده به قیمت جاری از یک سال به سال دیگر ارزش مبادلات را تغییر خواهد داد و حذف اثرات تغییر قیمت و تهیه جداول به قیمت ثابت در ارتباط با رویکردهای ایستای مقایسه‌ای مانند رویکرد*SDA* الزامی است.

۴ . انتخاب سال ۱۳۹۰ به عنوان سال پایه دو دلیل دارد. دلیل اول این است که سری زمانی تمام شاخص‌های قیمت مورد نیاز براساس سال پایه ۱۳۹۰ در دسترس است. دلیل دوم آن است که مرکز آمار ایران و بانک مرکزی ج.ا.ایران، سال پایه حساب‌های ملی خود را بطور همزمان به سال ۱۳۹۰ منتقل کرده‌اند و انتخاب این سال به عنوان سال پایه، سازگاری جداول مذکور را با این حساب‌ها افزایش می‌دهد (مرکز پژوهش‌های مجلس،۱۳۹۶).

اقتصادی مورد تحلیل قرار گرفته است که این بخش‌ها در قالب جدول (۴) قابل مشاهده است. همچنین آمار مربوط به میزان مصرف برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ موجود در گزارش‌های ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سرفصل‌های کلی به شرح بخش «خانگی، تجاری و عمومی»، «صنعت»، «حمل‌و نقل»، «کشاورزی» و «مصارف غیرانرژی و سایر موارد» ارائه شده است. با توجه به کلی بودن سرفصل‌های یاد شده و لزوم بررسی محتوای مصرف انرژی در بخش‌های اقتصادی، تعدیلاتی در جهت همگن‌سازی جداول مصرف انرژی با جداول داده ـ ستانده سال ۱۳۸۰و ۱۳۹۰ مطابق با جداول تجمیع‌شده انجام گردید که در آن از روش مطرح شده در گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس(۱۳۹۳) و مقاله بانوئی و کمال (۱۳۹۳) استفاده شده است[1]. در این روش بخش «خانگی» از بخش «تجاری و عمومی» تفکیک شده و برای محاسبه میزان مصرف حامل‌های انرژی در بخش «تجاری و عمومی» که شامل زیر بخش‌های ۱۵ـ۲۴ جدول (۴) می‌باشد فرض می‌شود بخش‌های مذکور به نسبت تقاضا از بخش «برق»، «توزیع گاز طبیعی» و «ساخت کُک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت»، برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی تقاضا می‌کنند. بخش «صنعت» که شامل زیربخش‌های ۳ـ۱۲ جدول (۴) می‌باشد، در جداول داده ـ ستانده شامل کارگاه‌های صنعتی از یک نفرکارکن و بیشتر است لذا برای محاسبه این زیربخش‌ها از نتایج آمارگیری کارگاه‌های صنعتی یک تا ده نفر کارکن و بیشتر از ده نفرکارکن در ارتباط با مصرف حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ منتشر شده توسط مرکز آمار استفاده گردید. بخش «استخراج معدن» نیز که در سرفصل‌های کلی ارائه نشده است با توجه به نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ منتشر شده توسط مرکز آمار گردآوری شده است. مصرف حامل‌های انرژی در بخش‌های «برق» و «توزیع گاز طبیعی» نیز به صورت مجزا در ترازنامه‌های انرژی و ترازنامه هیدروکربوری سال ۱۳۹۰ استخراج شده است. بخش «حمل‌ونقل» و «کشاورزی» نیز مطابق سرفصل کلی ارائه شده است.

---

۱ . نتایج مرتبط با میزان مصرف برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در قالب ۲۴ بخش اقتصادی در طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ با استفاده از روش یاد شده، در اختیار نویسندگان مقاله می‌باشد.

۵ـ۱. تجزیه مصرف انرژی

برای محاسبه اثر بازگشتی ابتدا تغییرات مصرف هریک از حامل‌های انرژی در قالب تغییرات تقاضای نهایی و پیشرفت تکنولوژی با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه گردید که در قالب جداول (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است. اعداد موجود در این جداول شامل اعداد مثبت و منفی است که اعداد مثبت بیانگر افزایش مصرف هریک از حامل‌های انرژی به دلیل تغییر در هر یک از مولفه‌های مذکور و اعداد منفی نشان‌دهنده کاهش مصرف حامل‌ها و صرفه‌جویی انرژی می‌باشد. برای نمونه در ارتباط با تغییرات مصرف برق در بخش پانزدهم تحت عنوان بخش «آب»، تغییرات مصرف مستقیم و غیرمستقیم برق ناشی از تغییرات تقاضای نهایی، تغییرات تقاضای واسطه‌ای و تغییرات کارایی برق به ترتیب برابر ۰/۰۴۵، ۰/۰۰۸۷- و ۰/۰۰۱- میلیون بشکه معادل نفت‌خام می‌باشد. به این معنی‌که از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ تغییرات مصرف[1] برق ناشی از تغییرات تقاضای نهایی به میزان ۰/۰۴۵ میلیون بشکه معادل نفت‌خام افزایش یافته است و میزان تغییرات مصرف این حامل به دلیل تغییر در مبادلات واسطه‌ای بین بخشی و درون بخشی به میزان ۰/۰۰۸۷ میلیون بشکه معادل نفت‌خام کاهش یافته است و ۰/۰۰۱۱ میلیون بشکه معادل نفت‌خام صرفه‌جویی در مصرف برق به دلیل بهبود در کارایی حامل مذکور رخ داده است[2]. تغییرات تقاضای نهایی در تمامی بخش‌های اقتصادی به جز بخش «صنایع نساجی، پوشاک و چرم» برای هریک از حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی مثبت است و بخش «برق» بیشترین میزان این تغییرات را داشته است. طبق مطالعات لی و لین (۲۰۱۵) و لی و جیانگ (۲۰۱۶)،

۱ . در این پژوهش منظور از تغییرات مصرف هریک از حامل‌های انرژی به دلیل وجود ماتریس معکوس لئونتیف و ضریب فزاینده مصرف انرژی، تغییرات مصرف مستقیم و غیرمستقیم آن حامل انرژی می‌باشد.

۲ . طبق گزارش مدیریت مصرف انرژی در صنعت آب و فاضلاب کشور (۱۳۹۴)، شدت مصرف انرژی در شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۰ کاهش پیدا کرده است که این کاهش حاصل طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی در تاسیسات آب و فاضلاب کشور بوده است. اعمال ممیزی انرژی و طراحی مجدد تاسیسات به‌منظور بهبود راندمان انرژی در سال ۱۳۸۴ با بکارگیری الکتروپمپ‌های خورشیدی و یا استفاده از پمپ‌های خورشیدی و بادی در چاه‌های آب شهری و روستایی در قالب پروژه‌های مختلف منجر به صرفه‌جویی در مصرف برق به میزان قابل توجهی گشته است. برای نمونه احداث پمپ‌های PS۴۰۰۰ با منبع انرژی خورشیدی بادی در منطقه میچینک منجر به ۱۴۵۰۰ کیلووات ساعت صرفه‌جویی در انرژی برق در سال شده است.

تغییرات مثبت در مصرف انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در هریک از بخش‌ها نشان‌دهنده فقدان اثر بازگشتی در این بخش‌ها است چراکه محاسبه اثر بازگشتی معلول بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی یا سایر موارد است و در صورت کاهش مصرف انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی و بهبود کارایی انرژی می‌توان اثر بازگشتی را محاسبه نمود.

۵ـ۱ـ۱. تجزیه مصرف برق

در ارتباط با حامل برق در سیزده بخش اقتصادی تغییرات مصرف برق ناشی از تغییرات کارایی برق و در نه بخش اقتصادی تغییرات مصرف برق ناشی از تغییرات مبادلات واسطه‌ای درون بخشی و بین بخشی منفی بوده است و در نهایت در یازده بخش اقتصادی کاهش در مصرف برق ناشی از برآیند دو مؤلفه مذکور در قالب پیشرفت تکنولوژی اتفاق افتاده است که از میان این بخش‌ها در بخش «ساخت فلزات اساسی» میزان تغییرات مصرف برق ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای و تغییرات کارایی برق به ترتیب به مقدار ۰/۴۸- و ۱۹/۵۶- میلیون بشکه معادل نفت خام در طی دوره ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ بوده است خود در مجموع حدود ۶۵ درصد از کل صرفه‌جویی در مصرف برق ناشی از پیشرفت تکنولوژی را دربرمی‌گیرد و بیشترین میزان صرفه‌جویی برق را در میان بخش‌های اقتصادی داشته است.[۱] این نتایج در قالب جدول (۱) قابل مشاهده است.

۱ . بخش فلزات اساسی شامل فلزاتی مانند آلومینیوم، آهن، فولاد و مس و سایر فلزات می‌باشد که بر اساس اطلاعات ترازنامه انرژی و گزارش همایش انرژی در صنایع نفت و انرژی منتشرشده در شماره ۴۲ ماهنامه نفت و انرژی، میزان صرفه‌جویی حاصل از اجرای استانداردهای مصرف انرژی در برخی از فرایندهای صنعتی در سال ۱۳۹۰، صنعت آلومینیوم با میزان صرفه‌جویی ۳۶۸/۴ گیگاوات ساعت برق در بین فرایندهای صنعتی بیشترین میزان صرفه‌جویی برق را داشته است و پس از آن آهن و فولاد با ۳۲۰ گیگاوات ساعت رتبه دوم را اتخاذ کرده است.

جدول (۱): تجزیه تغییرات مصرف برق در طی سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

برق					
شماره بخش	تغییرات تقاضای نهایی	پیشرفت تکنولوژی			مجموع
		تغییرات تقاضای واسطه ای	تغییرات کارایی انرژی	جمع	
۱	۳/۶۳۴۳	۰/۰۲۷۱	۷/۵۳۸۶	۷/۵۶۵۷	۱۱/۲۰۰۰
۲	۰/۱۴۱۰	−۰/۱۰۵۵	۰/۷۱۳۵	۰/۶۰۸۰	۰/۷۴۹۰
۳	۰/۶۹۹۲	−۰/۰۴۹۴	۲/۲۵۹۶	۲/۲۱۰۲	۲/۹۰۹۳
۴	−۰/۰۶۵۷	−۰/۲۷۲۲	−۰/۵۲۹۹	−۰/۸۰۲۱	−۰/۸۶۷۷
۵	۰/۰۹۵۲	۰/۰۵۴۴	−۰/۰۲۹۲	۰/۰۲۵۲	۰/۱۲۰۳
۶	۰/۷۰۹۹	−۰/۴۲۸۶	−۰/۴۲۷۱	−۰/۸۵۵۷	−۰/۱۴۵۸
۷	۰/۵۶۱۴	۰/۶۱۰۸	۰/۶۴۲۶	۱/۲۵۳۴	۱/۸۱۴۹
۸	۱/۰۲۶۹	۲/۲۴۶۹	۱/۶۸۶۱	۳/۹۳۲۹	۴/۹۵۹۹
۹	۰/۴۷۶۳	۰/۰۴۸۱	−۰/۲۹۸۰	−۰/۲۴۹۹	۰/۲۲۶۴
۱۰	۲/۷۰۹۰	۰/۰۷۷۳	−۳/۱۸۷۴	−۳/۱۱۰۱	−۰/۴۰۱۱
۱۱	۱۱/۴۹۰۷	−۰/۴۸۹۸	−۱۹/۵۶۱۴	−۲۰/۰۵۱۲	−۸/۵۶۰۵
۱۲	۲/۶۲۶۴	۰/۶۳۰۳	۱۶/۹۸۷۶	۱۷/۶۱۷۹	۲۰/۲۴۴۳
۱۳	۱۲/۹۴۳۹	۰/۷۳۰۲	−۳/۹۱۵۱	−۳/۱۸۴۹	۹/۷۵۹۰
۱۴	۱/۰۴۲۲	۰/۰۲۱۷	−۱/۲۲۳۹	−۱/۲۰۲۲	−۰/۱۶۰۰
۱۵	۰/۰۴۵۰	−۰/۰۰۸۷	−۰/۰۰۱۱	−۰/۰۰۹۸	۰/۰۳۵۲
۱۶	۱/۲۴۱۸	−۰/۰۰۳۹	۰/۳۷۰۱	۰/۳۶۶۲	۱/۶۰۸۰
۱۷	۱/۹۱۲۴	۰/۲۰۴۸	۰/۰۲۲۵	۰/۲۲۷۳	۲/۱۳۹۷
۱۸	۰/۰۰۸۶	۰/۰۱۳۹	۰/۱۶۷۶	۰/۱۸۱۴	۰/۱۹۰۰
۱۹	۰/۵۹۸۳	۰/۱۳۳۳	−۰/۲۳۱۸	−۰/۰۹۸۵	۰/۴۹۹۸
۲۰	۰/۱۷۶۰	−۰/۰۱۲۲	−۰/۱۲۵۰	−۰/۱۳۷۲	۰/۰۳۸۷
۲۱	۰/۳۸۲۴	۰/۳۹۹۶	−۰/۱۶۶۷	۰/۲۳۲۹	۰/۶۱۵۳
۲۲	۰/۲۱۱۳	۰/۰۰۰۶	۰/۱۸۲۹	۰/۱۸۳۴	۰/۳۹۴۷
۲۳	۰/۰۹۳۸	−۰/۰۰۳۰	۰/۳۵۳۲	۰/۳۵۰۲	۰/۴۴۴۰
۲۴	۲/۹۴۳۸	۰/۲۵۱۳	−۱/۵۱۰۶	−۱/۲۵۹۳	۱/۶۸۴۴

منبع: یافته‌های پژوهش

۵ـ۱ـ۲. گاز طبیعی

در ارتباط با این حامل، بخش «ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ» و بخش «ساخت فلزات اساسی» حدود ۸۱ درصد از کل صرفه‌جویی گاز طبیعی ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع صرفه‌جویی گاز طبیعی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در چهار بخش اقتصادی رخ داده است که بخش‌های «برق»، «ساخت کک و فرآورده های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای»، «ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ» و «هتل، خوابگاه و رستوران» با میزان ۳۹/۲۲-، ۵/۱۸-، ۲/۰۶- و ۰/۰۱۸- میلیون بشکه معادل نفت‌خام به‌ترتیب بیشترین میزان صرفه‌جویی ناشی از پیشرفت تکنولوژی را به خود اختصاص داده‌اند[۱].

۵ـ۱ـ۳. فرآورده‌های نفتی

صرفه‌جویی در مصرف فرآورده‌های نفتی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در بیست بخش اقتصادی رخ داده است و در این میان نه بخش اقتصادی صرفه‌جویی انرژی ناشی از تغییرات مبادلات واسطه‌ای و بیست بخش اقتصادی صرفه‌جویی انرژی ناشی از بهبود کارایی انرژی را تجربه کرده‌اند. از میان بخش‌های اقتصادی بخش «ساخت محصولات کانی غیرفلزی با میزان ۲۸/۶۶- بیشترین مقدار صرفه‌جویی را تجربه کرده است[۲]. همچنین

---

۱ . بر اساس گزارش صنعت برق در سال ۱۳۹۰ منتشر شده توسط وزارت نیرو سهم گاز در نیروگاه‌های حرارتی از ۰/۷۴ در سال ۱۳۸۰ به ۰/۶۲ در سال ۱۳۹۰ کاهش یافته است چرا که نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۳۸۰ پایه گازی داشته و صرفاً ۲۳ درصد گازوئیل و ۵ درصد نفت کوره سهم سوخت مصرفی آنان بوده است اما به تدریج با ساخت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی میزان مصرف گازوئیل به ۲۴ درصد و مصرف نفت کوره به ۱۴ درصد افزایش یافته است که خود نشان‌دهنده این است که نیروگاه‌های سیکل ترکیبی اثرگذاری قابل توجهی بر کارایی مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌ها داشته‌اند.

۲ . مصرف فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت در دوره ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ کاهش پیدا کرده است و بخش کانی‌های غیرفلزی در ارتباط با مصرف این حامل بیشترین سهم را داشته است. بر اساس آمار منتشرشده در ترازنامه انرژی در سال ۱۳۸۸ تعداد ۲۰ کارخانه آجر، کاشی و سرامیک توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ممیزی انرژی شده است. با احتساب ۱۲ واحد صنعتی ممیزی شده در سال ۱۳۸۷ تعداد واحدهای ممیزی انرژی این شرکت به ۳۲ واحد می‌رسد. جدول زیر میزان مصرف و مقدار صرفه‌جویی اترژی در بخش کانی‌های غیر فلزی را نشان می‌دهد. ←

بخش حمل‌ونقل به‌ترتیب ۱۵/۶۷ و ۲۳۱/۶۱ میلیون بشکه معادل نفت‌خام ناشی از تغییرات تقاضای واسطه‌ای و تغییرات کارایی انرژی افزایش در مصرف فرآورده‌های نفتی داشته است و بهبود کارایی انرژی و صرفه‌جویی انرژی در این بخش صورت نگرفته است.[1]

جدول (۲): تجزیه تغییرات مصرف گاز طبیعی در سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

گاز طبیعی					
شماره بخش	تغییرات تقاضای نهایی	پیشرفت تکنولوژی			مجموع
		تغییرات تقاضای واسطه‌ای	تغییرات کارایی انرژی	جمع	
۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۳۸	۳/۸۹۶۲	۳/۹۰۰۰	۳/۹۰۰۰
۲	۰/۰۱۶۴	−۰/۰۵۰۱	۰/۸۵۲۷	۰/۸۰۲۶	۰/۸۱۹۰
۳	۲/۸۸۷۶	−۰/۲۳۳۰	۱۲/۹۸۱۷	۱۲/۷۴۸۷	۱۵/۶۳۶۳
۴	−۰/۰۴۶۲	−۰/۴۹۷۶	۲/۴۵۰۰	۱/۹۵۲۴	۱/۹۰۶۳
۵	۰/۰۵۱۳	۰/۰۹۱۳	۰/۵۱۱۸	۰/۶۰۳۱	۰/۶۵۴۴
۶	۲/۵۲۷۸	−۱/۹۴۵۷	−۰/۱۲۲۹	−۲/۰۶۸۶	۰/۴۵۹۲
۷	۱۴/۳۹۲۸	۹/۴۲۸۳	−۱۴/۶۱۰۴	−۵/۱۸۲۱	۹/۲۱۰۷
۸	۱۴/۴۰۶۶	۲۳/۵۰۷۶	−۱/۵۴۴۵	۲۱/۹۶۳۲	۳۶/۳۶۹۸
۹	۰/۳۸۹۴	۰/۰۷۰۵	۰/۹۲۷۲	۰/۹۹۷۷	۱/۳۸۷۱
۱۰	۵/۹۲۳۹	۰/۶۴۷۳	۵۳/۴۳۹۶	۵۴/۰۸۶۹	۶۰/۰۱۰۷
۱۱	۲۲/۱۶۲۰	−۱/۸۵۵۰	۲/۹۲۹۴	۱/۰۷۴۴	۲۳/۲۳۶۴
۱۲	۳/۸۷۴۵	۰/۳۵۲۰	۱/۶۰۲۷	۱/۹۵۴۷	۵/۸۲۹۲
۱۳	۱۲۰/۹۵۲۷	۶/۶۹۷۷	−۴۵/۹۱۹۴	−۳۹/۲۲۱۷	۸۱/۷۳۱۰
۱۴	۹/۶۳۷۴	۰/۳۵۳۴	۱۰/۵۰۷۲	۱۰/۸۶۰۶	۲۰/۴۹۸۰

→

نام صنایع	صنعت	مقدار مصرف (میلیون بشکه معادل نفت خام)	پتانسیل صرفه‌جویی نسبت به معیار (درصد)	میزان صرفه‌جویی (میلیون بشکه معادل نفت خام)
کانی‌های غیرفلزی	شیشه	۳۶/۴	۸	۰/۲۹
	آجر	۱۷	۱۹	۳/۲۴
	کاشی و سرامیک	۳/۷۰	۸	۰/۳
	سیمان	۱۸/۴	۱۲	۲/۲
	گچ	۲/۴	۱۴	۰/۳۴
	آهک	۰/۶	۱۳	۰/۰۸

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸

ادامه جدول (۲)

گاز طبیعی					
شماره بخش	تغییرات تقاضای نهایی	پیشرفت تکنولوژی			مجموع
		تغییرات تقاضای واسطه‌ای	تغییرات کارایی انرژی	جمع	
۱۵	۰/۱۰۹۹	−۰/۰۲۴۸	۰/۰۹۳۸	۰/۰۶۹۰	۰/۱۷۸۹
۱۶	۳/۰۳۳۶	−۰/۰۱۱۰	۳/۶۲۱۱	۳/۶۱۰۱	۶/۶۴۳۷
۱۷	۴/۶۷۱۸	۰/۵۸۰۶	۳/۵۹۵۱	۴/۱۷۵۷	۸/۸۴۷۴
۱۸	۰/۰۲۵۸	۲/۴۶۵۲	۳۶/۷۷۹۰	۳۹/۲۴۴۲	۳۹/۲۷۰۰
۱۹	۱/۴۶۱۷	۰/۳۷۰۷	۰/۰۲۵۲	۰/۳۹۵۹	۱/۸۵۷۶
۲۰	۰/۴۲۹۹	−۰/۰۳۴۱	۰/۰۱۵۴	−۰/۰۱۸۶	۰/۴۱۱۳
۲۱	۰/۹۳۴۳	۱/۱۱۷۵	۰/۲۱۷۵	۱/۳۳۵۱	۲/۲۶۹۳
۲۲	۰/۵۱۶۲	۰/۰۰۱۶	۱/۲۹۱۴	۱/۲۹۳۱	۱/۸۰۹۲
۲۳	۰/۲۲۹۲	−۰/۰۰۸۸	۱/۶۳۹۲	۱/۶۳۰۴	۱/۸۵۹۶
۲۴	۷/۱۹۱۳	۰/۷۰۰۶	۰/۷۶۱۰	۱/۴۶۱۶	۸/۶۵۲۹

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۳): تجزیه تغییرات مصرف فرآورده‌های نفتی در طی سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

فراورده‌های نفتی					
شماره بخش	تغییرات تقاضای نهایی	پیشرفت تکنولوژی			مجموع
		تغییرات تقاضای واسطه‌ای	تغییرات کارایی انرژی	جمع	
۱	۱۳,۳۶۲۹	۰/۰۹۰۴	۱۸/۱۴۶۷	۱۸/۲۳۷۱	۳۱/۶۰۰۰
۲	۰/۰۷۱۳	−۰/۰۹۷۹	۱/۲۶۷۶	۱/۱۶۹۷	۱/۲۴۱۰
۳	۵/۴۹۰۱	−۰/۱۵۳۶	−۱۱/۸۳۷۰	−۱۱/۹۹۰۶	−۶/۵۰۰۵
۴	−۰/۰۸۰۵	−۰/۲۵۸۵	−۱/۳۴۲۹	−۱/۶۰۱۴	−۱/۶۸۱۹
۵	۰/۲۵۴۰	۰/۰۸۲۴	−۰/۶۱۲۳	−۰/۵۲۹۹	−۰/۲۷۵۹
۶	۰/۶۴۳۱	−۰/۳۶۵۹	−۰/۴۶۱۴	−۰/۸۲۷۳	−۰/۱۸۴۲
۷	۱۳/۲۱۸۱	۷/۱۲۵۹	−۲۱/۰۶۵۸	−۱۳/۹۳۹۹	−۰/۷۲۱۸
۸	۱/۶۰۴۹	۱/۶۸۳۶	−۳/۱۱۳۰	−۱/۴۲۹۴	۰/۱۷۵۵
۹	۰/۵۰۹۵	۰/۰۳۸۵	−۰/۸۰۴۵	−۰/۷۶۶۰	−۰/۲۵۶۵
۱۰	۱۹/۰۶۰۱	۰/۴۹۰۵	−۲۹/۱۵۱۲	−۲۸/۶۶۰۸	−۹/۶۰۰۷

ادامه جدول (۳)

فراورده‌های نفتی					
شماره بخش	تغییرات تقاضای نهایی	پیشرفت تکنولوژی			مجموع
		تغییرات تقاضای واسطه‌ای	تغییرات کارایی انرژی	جمع	
۱۱	۲/۳۵۸۰	-۰/۱۶۱۵	-۱/۲۸۹۸	-۱/۴۵۱۳	۰/۹۰۶۷
۱۲	۴/۱۲۵۳	۰/۲۶۵۰	-۲/۷۵۱۰	-۲/۴۸۶۰	۱/۶۳۹۳
۱۳	۴۸/۳۸۷۳	۳/۲۱۲۹	۲۱/۲۳۹۸	۲۴/۴۵۲۷	۷۲/۸۴۰۰
۱۴	۹/۲۸۵۰	۰/۱۶۹۵	-۱۴/۲۵۴۵	-۱۴/۰۸۵۰	-۴/۸۰۰۰
۱۵	۰/۱۲۰۱	-۰/۰۱۵۲	-۰/۲۳۳۰	-۰/۲۴۸۲	-۰/۱۲۸۲
۱۶	۳/۳۱۳۷	-۰/۰۰۶۵	-۵/۴۹۶۱	-۵/۵۰۲۶	-۲/۱۸۸۸
۱۷	۵/۱۰۳۲	۰/۳۵۵۳	-۸/۳۸۷۴	-۸/۰۳۲۱	-۲/۹۲۸۹
۱۸	۰/۶۵۱۶	۱۵/۶۷۶۱	۲۳۱/۶۱۳۴	۲۴۷/۲۸۹۵	۲۴۷/۹۴۱۱
۱۹	۱/۵۹۶۷	۰/۲۴۷۹	-۲/۰۲۹۸	-۱/۷۸۱۹	-۰/۱۸۵۲
۲۰	۰/۴۶۹۶	-۰/۰۲۲۸	-۱/۰۹۹۰	-۱/۱۲۱۸	-۰/۶۵۲۲
۲۱	۱/۰۲۰۵	۰/۷۲۹۲	-۱/۹۳۶۰	-۱/۲۰۶۸	-۰/۱۸۶۲
۲۲	۰/۵۶۳۸	۰/۰۰۰۹	-۱/۵۲۷۶	-۱/۵۲۶۶	-۰/۹۶۲۸
۲۳	۰/۲۵۰۴	-۰/۰۰۴۶	-۰/۹۰۹۸	-۰/۹۱۴۴	-۰/۶۶۴۰
۲۴	۷/۸۵۵۴	۰/۴۶۳۹	-۱۴/۶۵۳۱	-۱۴/۱۸۹۲	-۶/۳۳۳۷

منبع: یافته‌های پژوهش

۵ـ۲. محاسبه و تحلیل اثر بازگشتی در سطح بخش‌های اقتصادی ایران

میزان بازگشت انرژی ناشی از رشد تولید در سطح بخش‌های اقتصادی که به دلیل پیشرفت تکنولوژی ایجاد شده است، با استفاده از عبارت اول رابطه (۱۴) که به‌صورت $\Delta X\text{-}TP$ نشان داده شده است در شدت انرژی قابل محاسبه است که این میزان ممکن است مثبت یا منفی باشد. این نتایج در قالب نمودارهای (۵)، (۶) و (۷) قابل مشاهده است. در نهایت جدول (۴) درصد اثرات بازگشتی بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی به تفکیک حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در سطح بخش‌های اقتصادی در دوره ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ با استفاده از رابطه (۳) را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بخش‌های «کشاورزی، شکار، جنگلداری و ماهیگیری»، «استخراج معدن» و «حمل‌ونقل»

در هیچ‌یک از حامل‌های انرژی بهبود کارایی انرژی را تجربه نکرده‌اند و پیشرفت تکنولوژی در این بخش‌ها منجر به بهبود کارایی انرژی نشده است به همین دلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی برای آنان لحاظ نشده است.

نمودار (۵): میزان بازگشت مصرف برق در سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار (٦): میزان بازگشت مصرف گاز طبیعی در سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار (۷). میزان بازگشت مصرف فرآورده‌های نفتی در سال‌های ۱۳۸۰_۱۳۹۰

(میلیون بشکه معادل نفت‌خام)

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (٤): اثرات بازگشتی بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی در سطح بخش‌های اقتصادی در طی سالهای ۱۳۸۰_۱۳۹۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

	بخش‌های اقتصادی	برق		گاز طبیعی		فرآورده‌های نفتی	
		RE-I	RE-WI	RE-I	RE-WI	RE-I	RE-WI
۱	کشاورزی، شکار، جنگلداری و ماهیگیری	–	–	–	–	–	–
۲	استخراج معدن	–	–	–	–	–	–
۳	ساخت محصولات غذایی، آشامیدنی ها، توتون و تنباکو	–	–	–	–	-٪۱/۲۴	-٪۱/۲۶
۴	صنایع نساجی، پوشاک و چرم	-٪۳۰/۴۲	-٪۴۶/۰۴	–	–	-٪۱۴/۴۷	-٪۱۷/۲۶
۵	ساخت چوب و محصولات چوبی	–	٪۱۳۱/۱۷	–	–	٪۱۰/۹۵	٪۹/۴۸
۶	ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ	-٪۳۹/۶۱	-٪۷۹/۳۶	-٪۷۴/۳۸	-٪۱۲۵۱/۹۱	-٪۳۴/۹۸	-٪۶۲/۷۲
۷	ساخت کُک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای	–	–	٪۱۴۶/۷۲	٪۵۲/۰۴	٪۴۱/۲۲	٪۲۷/۲۸

ادامه جدول (٤)

	بخش‌های اقتصادی	برق		گاز طبیعی		فرآورده‌های نفتی	
		RE-I	RE-WI	RE-I	RE-WI	RE-I	RE-WI
۸	ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی	–	–	–	٪۱۱۱۵/۶۸	٪۸۶/۳۳	٪۳۹/۶۴
۹	ساخت محصولات لاستیکی و پلاستیکی	٪۷/۸۳	٪۶/۵۷	–	–	٪۲/۰۵	٪۱/۹۵
۱۰	ساخت محصولات کانی غیرفلزی	٪۱/۲۶	٪۱/۲۳	–	–	٪۰/۸۷	٪۰/۸۵
۱۱	ساخت فلزات اساسی	-٪۲/۰۴	-٪۲/۰۹	–	–	-٪۹/۲۹	-٪۱۰/۴۵
۱۲	سایر صنایع	–	–	–	–	٪۵/۹۵	٪۵/۳۸
۱۳	برق	٪۲۲/۲۴	٪۱۸/۰۹	٪۱۶/۵۶	٪۱۴/۱۵	–	–
۱۴	توزیع گاز طبیعی	٪۴/۰۶	٪۳/۹۸	–	–	٪۲/۷۱	٪۲/۶۸
۱۵	آب	-٪۷۵/۹۶	-٪۶۹۱/۵۲	–	–	-٪۵/۲۴	-٪۵/۵۸
۱۶	ساختمان	–	–	–	–	-٪۰/۱۲	-٪۰/۱۲
۱۷	عمده فروشی و خرده فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و کالاها	–	–	–	–	٪۲/۸۰	٪۲/۶۸
۱۸	حمل و نقل	–	–	–	–	–	–
۱۹	پست و خدمات پشتیبانی حمل و نقل	٪۹۳/۶۲	٪۳۹/۷۹	–	–	٪۹/۶۳	٪۸/۴۵
۲۰	هتل، خوابگاه و رستوران	-٪۷/۴۴	-٪۸/۱۷	-٪۱۵۲/۳۳	–	-٪۱/۶۹	-٪۱/۷۳
۲۱	بانک، فعالیت های مالی و بیمه	–	٪۱۸۳/۱۱	–	–	٪۴۶/۱۶	٪۲۸/۷۸
۲۲	آموزش	–	–	–	–	٪۰/۰۲	٪۰/۰۲
۲۳	بهداشت	–	–	–	–	-٪۰/۴۷	-٪۰/۴۸
۲۴	سایر خدمات	٪۱۵/۳۱	٪۱۲/۷۶	–	–	٪۲/۵۱	٪۲/۴۳

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۴) در ارتباط با هر حامل دو ستون وجود دارد، که به لحاظ میزان و نوع اثرگذاری روابط بین بخشی و درون بخشی، اثر بازگشتی با درنظرگرفتن روابط بین بخشی (*RE-I*) و بدون در نظرگرفتن آن (*RE-WI*) محاسبه شده است. همانگونه که از نتایج موجود در جدول (۴) مشخص است، لحاظ روابط بین بخشی در تمام بخش‌های اقتصادی به تفکیک هریک از حامل‌های انرژی منجر به افزایش اثر بازگشتی می‌شود. به‌عنوان نمونه

در ارتباط با حامل فرآورده‌های نفتی بخش «ساخت کک و فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای» اثر بازگشتی معادل ۴۱/۲۲ درصد و در صورت عدم لحاظ مبادلات واسطه‌ای این اثر به ۲۷/۲۸ درصد می‌رسد به این معنی‌که با فرض نبود اثر مبادلات واسطه‌ای بین بخشی، این بخش اثر بازگشتی کمتری را تجربه می‌کند و نشان می‌دهد در این شرایط با بهبود کارایی انرژی در بخش مذکور، میزان صرفه‌جویی انرژی بیش از وضعیتی است که مبادلات واسطه‌ای بین بخشی در نظر گرفته شود چراکه مبادلات واسطه‌ای بین بخشی منجر به افزایش روابط مستقیم و غیرمستقیم مصرف انرژی شده و در عمل تغییرات کارایی انرژی بخش‌های دیگر به بخش «ساخت کک و فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت» منتقل شده و منجر به تغییر درصد اثر بازگشتی می‌شود و اثر بازگشتی امکان صرفه‌جویی کمتر انرژی را فراهم می‌کنند. از میان یازده بخشی که اثر بازگشتی در ارتباط با حامل برق برای آنان محاسبه شده است، پنج بخش اقتصادی اثر صرفه‌جویی فوق العاده را تجربه کرده‌اند که بیشترین میزان این اثر متعلق به بخش «آب» با ۷۵/۹۶- درصد صرفه‌جویی است به‌این معنی‌که با پیشرفت تکنولوژی موجود در تأسیسات آب و فاضلاب کشور در سال ۱۳۸۴ و طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی و ممیزی انرژی، مصرف برق در این بخش کاهش پیدا کرده و بهبود کارایی برق ایجاد شده است. از طرفی به دلیل کاهش تولید و به‌تبع آن کاهش مصرف برق در این بخش در طی بازه ۱۳۸۰-۱۳۹۰ میزان ۰/۰۰۷۴ میلیون بشکه معادل نفت‌خام صرفه‌جویی در مصرف برق ناشی از کاهش تولید بوجود می‌آید که حاصل آن اثر بازگشتی معادل ۷۵/۹۶- درصد است. به این معنی‌که علاوه بر اینکه کل میزان صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف برق تحقق یافته است به میزان ۷۵ درصد از مقدار مورد انتظار در صرفه‌جویی برق نیز مصرف برق کاهش یافته است. همچنین شش بخش اقتصادی با اثر بازگشتی جزئی همراه هستند که از میان آنان بخش «پست و خدمات پشتیبانی حمل‌ونقل[1]» با ۹۳/۶۲ درصد بیشترین میزان اثر بازگشتی را داشته است. به‌این معنی که از میزان ۱۰۰ درصد صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف برق تنها

۱ . یکی از مزایای انبارداری مدرن کاهش مصرف انرژی می‌باشد اما آمار مربوط به میزان کاهش مصرف انرژی با ایجاد انبارداری‌های مدرن در این بازه‌ی زمانی در دسترس نمی‌باشد.

۶/۳۸ درصد از میزان فوق صرفه‌جویی شده است و ۹۳/۶۲ درصد از میزان صرفه‌جویی در مصرف برق مجدداً مصرف شده است. همچنین در ارتباط با این حامل اثر معکوس اتفاق نیفتاده است. در ارتباط با بخش «ساخت چوب و محصولات چوبی» در صورتی که تغییرات تقاضای واسطه‌ای لحاظ نگردد و صرفاً تغییرات کارایی انرژی در پیشرفت تکنولوژی در نظر گرفته شود، بهبود کارایی انرژی رخ می‌دهد و مصرف انرژی کاهش می‌یابد و اثر بازگشتی برای آن قابل محاسبه است. در ارتباط با حامل گاز طبیعی از میان ۴ بخش اقتصادی که بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی را تجربه کرده‌اند، ۲ بخش دارای اثر بازگشتی فوق‌العاده اند که بخش «هتل، خوابگاه و رستوران» با ۱۵۲/۳۳- درصد بیشترین اثر فوق‌العاده و کمترین میزان اثر بازگشتی را داشته است[1] به این معنی که در مجموع در این بخش حدود ۲/۵ برابر از میزان صرفه‌جویی مورد انتظار، گاز طبیعی صرفه‌جویی شده است. بخش «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای» دارای اثر معکوس[2] به میزان ۱۴۶/۷۲ درصد هستند به این معنی که با پیشرفت تکنولوژی علاوه بر اینکه تمام صرفه‌جویی انرژی ناشی از بهبود کارایی انرژی مجددا مصرف شده و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی صورت نگرفته است، حدود ۴۷ درصد از این میزان نیز مصرف گاز طبیعی افزایش یافته است. همچنین در ارتباط با این حامل در صورتی که روابط بین بخشی درنظر گرفته شود، بخش «ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی» مشمول کارایی انرژی می‌شود و در بخش «هتل، خوابگاه و رستوران» بهبود کارایی انرژی اتفاق نمی‌افتد. از میان ۲۰ بخشی که در ارتباط با مصرف فرآورده‌های نفتی مشمول بهبود کارایی انرژی شده‌اند، دوازده بخش اقتصادی دارای اثر بازگشتی جزئی هستند که در میان

---

۱. این بخش در بازه‌ی زمانی مورد بررسی بر اثر تغییر فناوری کاهش تولیدی معادل ۲۰۹۲۷۵۹,۴۱ میلیون ریال داشته است که به واسطه‌ی آن میزان کاهش در مصرف مستقیم و غیرمستقیم گاز طبیعی معادل ۰/۰۲۸۴ میلیون بشکه معادل نفتخام می‌باشد.

۲. عمده دلیل این بخش ارسال گاز طبیعی برای واحدهای پالایشگاهی جهت خودمصرفی است که تحت عنوان مصارف غیرانرژی می‌آید و به علت اینکه گاز طبیعی تقریبا به شکل کاملا یارانه‌ای در اختیار واحدهای مصرف قرار می‌گیرد لذا اثر معکوس را می‌توان مشاهده نمود.

آن‌ها، بخش «ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی»[1] با ۸۶/۳۳ درصد بیشترین میزان اثر بازگشتی را دارد. همچنین اثر معکوس در ارتباط با مصرف فرآورده‌های نفتی در هیچ یک از بخش‌های اقتصادی رخ نداده است. در هشت بخش اقتصادی نیز اثر صرفه‌جویی فوق العاده وجود دارد که از میان آن‌ها بخش «ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ»[2] با ۳۴/۹۸- درصد کمترین اثر بازگشتی در مصرف این حامل را داشته است.

٦. جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

در این پژوهش با استفاده از نتایج میزان مصرف هریک از بخش‌ها و جداول داده ـ ستانده سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰، تغییرات مصرف برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در طی سال‌های ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ به دو اثر تغییرات مصرف انرژی ناشی از تغییرات تقاضای نهایی و پیشرفت تکنولوژی در قالب تغییرات تقاضای واسطه‌ای و تغییرات کارایی انرژی تجزیه گردید. نتایج این تجزیه نشان می‌دهد که در ارتباط با حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی به ترتیب ۱۱، ۴ و ۲۰ بخش اقتصادی کاهش مصرف انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی را تجربه کرده‌اند که در این بخش‌ها اثر بازگشتی محاسبه شده است. بخش‌های «ساخت فلزات اساسی»، «برق» و «ساخت محصولات کانی غیر فلزی» به‌ترتیب در ارتباط با حامل‌های برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی و صرفه‌جویی انرژی را داشته‌اند. با استفاده از نتایج حاصل از تجزیه مصرف هریک از حامل‌های انرژی و بررسی اینکه در کدامیک از بخش‌های اقتصادی بهبود کارایی انرژی صورت گرفته است، اثر بازگشتی با لحاظ و عدم لحاظ

---

۱. براساس اطلاعات موجود در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ در طی بازه‌ی مورد بررسی تعداد کارخانه‌های تولید محصولات شیمیایی که مشمول ممیزی انرژی شده‌اند تا سال ۱۳۸۷ به ۱۱ واحد شامل کارخانجات تولید الیاف مصنوعی، دارو، تولید مواد شیمیایی و تولید مواد شوینده رسید که حاصل آن تا سال ۱۳۸۷ پتانسیلی معادل ۵۴۶۶۷۳ گیگاژول در سال می‌باشد.

۲. بر اساس گزارش ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، ۵ کارخانه تولید چوب و کاغذ مشمول ممیزی انرژی شده‌اند و کل پتانسیل صرفه‌جویی در کارخانه‌های ممیزی تا سال ۱۳۸۶ معادل ۲۷۸۱۳۸۸ گیگاژول در سال است. علاوه بر آن در دوره مورد بررسی کاهش تولیدی معادل ۱۶۸۰۶۵۹۶- میلیون ریال ناشی از تغییر فناوری برآورده شده است که حاصل آن ۰,۲۸۹۳- میلیون بشکه معادل نفت خام صرفه‌جویی در مصرف فرآورده‌های نفتی صورت گرفته است.

مبادلات واسطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد درنظر گرفتن روابط بین بخشی در محاسبه اثر بازگشتی، این اثر را افزایش می‌دهد و میزان صرفه‌جویی انرژی را تقلیل می‌دهد. در ارتباط با حامل برق از میان ۱۱ بخشی که بهبود کارایی انرژی را تجربه کرده‌اند، ۵ بخش اقتصادی دارای اثر بازگشتی فوق العاده و ۶ بخش دارای اثر بازگشتی جزیی می‌باشد. از میان این بخش‌ها کمترین اثر بازگشتی با میزان ۷۵/۹۶- درصد مربوط به بخش «آب» و بیشترین اثر بازگشتی با ۹۳/۶۲درصد مربوط به بخش «پست و خدمات پشتیبانی حمل‌ونقل» می‌باشد. همچنین حامل‌های برق و فرآورده‌های نفتی فاقد اثر معکوس می‌باشند. در ارتباط با گاز طبیعی از میان ۴ بخشی که مشمول بهبود کارایی انرژی ناشی از پیشرفت تکنولوژی شده‌اند، دو بخش دارای اثر بازگشتی فوق‌العاده، یک بخش دارای اثر بازگشتی جزیی و یک بخش دارای اثر معکوس است که بخش «هتل، خوابگاه و رستوران» با ۱۵۲/۳۳- درصد کمترین اثر بازگشتی را داشته است و بخش «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای» با ۱۴۶/۷۲ درصد بیشترین میزان اثر بازگشتی را دارند. در نهایت در ارتباط با فرآورده‌های نفتی از میان ۲۰ بخش اقتصادی که در آن‌ها بهبود کارایی انرژی اتفاق افتاده است، ۱۲ بخش دارای اثر بازگشتی جزیی و ۸ بخش دارای اثر بازگشتی فوق العاده‌اند که از میان آنان بخش «ساخت موادشیمیایی و محصولات شیمیایی» با ۸۶/۳۳ درصد بیشترین اثر بازگشتی و بخش «ساخت کاغذ، محصولات کاغذی و چاپ» با ۳۴/۹۸- درصد کمترین میزان اثر بازگشتی را داشته است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش در جهت سیاستگذاری انرژی در قالب سه نکته مطرح می‌شود: اول، سیاستگذاری انرژی با توجه به اولویت بندی در هریک از حامل‌های انرژی با توجه به شرایط اقتصادی یا زیست محیطی متفاوت است. به‌عنوان نمونه در دوره زمانی مورد بررسی، بخش «ساخت محصولات کانی غیر فلزی» در فرایند تولید خود حجم قابل توجهی از مصرف فرآورده‌های نفتی را کاهش داده است اما به میزان قابل توجهی نیز افزایش در مصرف گاز طبیعی داشته است لذا تغییر در فرایند تولید و اعمال کارایی انرژی درارتباط با حامل‌های انرژی بسته به اولویت‌بندی سیاست‌گذاران متفاوت خواهد بود. دوم، کارایی انرژی نباید در مقابل کارایی اقتصادی قرار گیرد، به‌ویژه در شرایط فعلی ایران که

مسئله رشد اقتصادی و کارایی اقتصادی در مقایسه با سایر مسائل اقتصادی در اولویت قراردارد لذا مسئله حداقل‌سازی هزینه استفاده از یک نهاده مانند انرژی نباید در فرایند رشد و توسعه اقتصادی خللی ایجاد کند چراکه ممکن است کارایی انرژی ناشی از جانشینی سایر عوامل تولید منجر به کاهش کارایی اقتصادی و رشد اقتصادی شود بنابراین باتوجه به شرایط کنونی اقتصاد ایران ضروری است طرح‌ها و سرمایه‌گذاری‌هایی در اولویت سیاستگذاران قرار داده شود که همراه با کارایی انرژی، کارایی اقتصادی نیز تامین شود. جدول (۵) پنج بخش اقتصادی که بیشترین میزان کاهش در مصرف انرژی ناشی از تغییرات کارایی انرژی و تغییرات تقاضای واسطه‌ای را داشته‌اند به همراه تغییرات در میزان تولید و رتبه‌ای که آن بخش در افزایش تولید در مقایسه با سایر بخش‌ها داشته است را نشان می‌دهد. باید توجه شود که اگر بخشی صرفه‌جویی و کاهش در مصرف انرژی داشته است این کاهش ناشی از کاهش تولید و رکود آن نباشد و یا اینکه این کارایی انرژی خود منجر به کاهش تولید نگردد تا کارایی انرژی در بخش مذکور توجیه‌پذیر باشد. جدول (۶) عکس حالت قبلی است در صورتی که افزایش شدیدی در مصرف هریک از حامل‌های انرژی وجود داشته باشد و این افزایش تولید چندانی به همراه نداشته باشد ضروری است در نوع کارایی انرژی بازنگری شود. سوم، در ارتباط با اثر بازگشتی در صورتی که کارایی انرژی با کارایی اقتصادی همراه باشد میزان این اثر اهمیت چندان پیدا می‌کند.

جدول (۵): مقایسه میزان افزایش مصرف انرژی و افزایش تولید

رتبه در افزایش تولید	تغییرات تولید[۱] (میلیون ریال)	تغییرات مصرف انرژی به واسطه تغییرات تولید (میلیون بشکه معادل نفت‌خام)	تغییرات مصرف انرژی (میلیون بشکه معادل نفت‌خام)	نوع حامل	شماره بخش
۴	۴۵۱۰۲۷۹۹/۶۳	۱۱/۶۹	۲۴۷/۲۸	فرآورده نفتی	۱۸
۱۳	۱۲۱۷۱۱۱/۰۸۱	۰/۳۲	۵۴/۰۸	گاز طبیعی	۱۰
۴	۴۵۱۰۲۷۹۹/۶۳	۱/۸۳	۳۹/۲۴	گاز طبیعی	۱۸
۱۰	۳۱۴۳۵۰۷/۷۱۴	۳/۱۱	۲۴/۴۵	فرآورده نفتی	۱۳
۲	۱۴۰۳۶۶۸۴۶/۵	۱۷/۲۳	۲۱/۹۶۲	گاز طبیعی	۸

منبع: یافته‌های پژوهش

۱ . تغییرات تولید در این بخش ناشی از تغییرات ماتریس معکوس لئونتیف (L) می‌باشد.

جدول (٦): مقایسه کاهش مصرف انرژی و افزایش تولید

اثر بازگشتی	رتبه	تغییرات تولید(میلیون ریال)	تغییرات مصرف انرژی به واسطه تغییرات تولید(میلیون بشکه معادل نفت خام)	تغییرات مصرف انرژی(میلیون بشکه معادل نفت‌خام)	نوع حامل	شماره بخش
٪۱۶/۵۶	۱۰	۳۱۴۳۵۰۷/۷۱۴	۶/۴۹	-۳۹/۲۲	گاز طبیعی	۱۳
٪۰/۸۷	۱۳	۱۲۱۷۱۱۱/۰۸۱	۰/۲۴	-۲۸/۶۶	فرآورده نفتی	۱۰
-٪۲/۰۴	۲۱	-۱۲۶۲۳۱۶۶/۰۱	-۰/۴۰	-۲۰/۰۵	برق	۱۱
٪۲/۵۱	۵	۴۰۱۹۱۱۷۹/۹۶	۰/۳۵	-۱۴/۱۸	فرآورده نفتی	۲۴
٪۲/۷۱	۹	۱۰۸۹۴۸۷۷/۲۷	۰/۳۸	-۱۴/۰۸	فرآورده نفتی	۱۴

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که اشاره شد، در صورتی که اثر بازگشتی حدود ۱۰درصد باشد برنامه کارایی انرژی توجیه‌پذیر است اما اگر این اثر بیش از ۸۰ـ۹۰ درصد باشد امکان‌پذیری طرح‌ها و این نوع برنامه‌ها با تردید مواجه است لذا سیاستگذاران کشور در تدوین راهبردهای بهینه‌سازی تولید بایستی اثرات بازگشتی را نیز در نظر بگیرند. علاوه بر موارد یادشده، در صورتی که قیمت انرژی تحت قیمت های غیر صحیح تعیین و اخذ شود به طوری که نتواند علائم قیمتی مناسبی را به مصرف‌کنندگان ارائه نماید، به احتمال زیاد مصرف‌کنندگان منافع حاصل از کارایی انرژی و صرفه‌جویی انرژی را تشخیص نخواهند داد مانند عرضه یارانه انرژی که در بسیاری از کشورها مانند ایران شایع است جذابیت سرمایه‌گذاری با هدف کارایی انرژی را ازمیان می‌برد.

۷. منابع

الف) فارسی

بانوئی، علی اصغر و کمال، الهام (۱۳۹۳)، «سنجش محتوای مستقیم و غیرمستقیم دی اکسیدکربن در صادرات و واردات ایران با استفاده از رویکرد داده ـ ستانده»، *فصلنامه سیاستگذاری پیشرفت اقتصادی دانشگاه الزهرا (س)*، سال دوم، شماره ۳، صفحات ۷۰-۴۱.

باتاچاریا، سوبس سی، ترجمه علی فریدزاد، «اقتصاد انرژی: تعاریف، مفاهیم، بازارها و سیاست‌ها»، انتشارات دانشگاه علامه طباطبائی، جلد اول.

جهانگرد، اسفندیار، «تحلیل‌های داده ـ ستانده: فناوری، برنامه‌ریزی و توسعه»، تهران، نشر آماره، ۱۳۹۳.

جهانگرد، اسفندیار، گلشنی، وجیهه، عبدالله میلانی، مهنوش و حمیدرضا غفار زاده، (۱۳۹۶)، «تجزیه مصرف انرژی در ایران ۱۳۸۰ـ۱۳۹۰ (یک تحلیل ایستای مقایسه‌ای با رویکرد SDA)»، *فصلنامه اقتصاد کاربردی*، دوره ۷، شماره ۲۰، صفحات ۱۰ـ۱.

رشیدی‌زاده، مریم و اسفندیار جهانگرد، (۱۳۹۰)، «تجزیه و تحلیل تغییر شدت انرژی در فعالیت‌های اقتصاد ایران با رویکرد (SDA)»، *فصلنامه اقتصاد کاربردی*، سال دوم، شماره ۶، صفحات ۹۲ ـ۶۷.

شرزه‌ای، غلام‌علی و هه ژار ابراهیم‌زادگان، (۱۳۹۰)، «برآورد اثر بازگشت افزایش کارایی انرژی در ارتباط با مصرف خانوارها و انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال ۸، شماره ۳۰، صفحات ۶۱ـ۳۳.

شرکت مادر تخصصی توانیر، (۱۳۹۱)، صنعت برق ایران سال ۱۳۹۰.

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی مرکز آمار ایران، (۱۳۹۲)، نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور سال ۱۳۹۰.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی مرکز آمار ایران، (۱۳۹۲)، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر سال ۱۳۹۰.

معاونت پژوهش‌های اقتصادی، دفتر مطالعات اقتصادی، (۱۳۹۲)، «ضرورت توجه به محیط‌زیست در قانون هدفمندی یارانه‌ها: بررسی میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم آلایندگی CO_2»، کد موضوعی ۲۲۰، شماره مسلسل ۱۳۶۶۳.

وزارت نیرو، معاونت برق وانرژی، ترازنامه‌های انرژی سال ۱۳۸۶-۱۳۹۴.

وزارت نیرو، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر منابع هیدروکربوری،(۱۳۹۱)، ترازنامه هیدروکربوری سال ۱۳۹۰.

همایش مدیریت انرژی در صنایع نفت و انرژی، (۱۳۸۸)، «مدیریت و ممیزی انـرژی در صنایع، ماهنامه نفت، گاز، پتروشیمی»، سال پنجم، شماره ۴۲، صفحات۷۴ ـ۵۴.

ب) انگلیسی

BP Statistical Review of world Energy, (2018), 67th Edition

Shao, S. and Luan, R. and Yang, Z. and Li, C. (2016), "Does directed technological change get greener: Empirical evidence from shanghai 's industrial green development transformation", *Ecological indicators*, vol.69, pp.658-770.

Sorrell, S. (2007), "The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency", UK Energy Research Centre, pp. 1-123.

Li, K. and Jiang, Z. (2016), "The impacts of removing energy subsidies on economy-wide rebound effects in china: An input-output analysis", *Energy policy*, vol. 98, pp.62-72.

Miller, R.E. and Blair, P. (2009), "Input-Output Analysis: Foundation and Extensions, CamBridge university Press, Second Edition

Sorrell, S. and Dimitropoulos, J. (2008), "The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions", *Ecological Economics*, vol. 65, pp. 636-649.

Xia, Y. and Yang, C. and chen, X. (2012), "Structural Decomposition Analysis on china's energy intensity change for 1987-2005", *system science and complexity*, vol.25, pp. 156-166.

Wang, Z. and Han, B. and Lu, M. (2016), "Measurement of energy rebound effect in households: Evidence from residential electricity consumption in Beijing, china", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.58, pp.852-861.

Li, K. and Lin, B. (2015), "Heterogeneity in rebound effects: estimated results and impact of china's fossil – fuel subsidies", *Applied Energy*, vol.149, pp.148-160.

Tomas, B.A. and Azevedo, I.L. (2013), "Estimating direct and indirect rebound effects for u.s. households with Input-Output analysis part 1: Theoretical framework", *Ecological Economics*, vol.86, pp.199-210

Zhong, S. (2018), "Structural decomposition of energy consumption between 1995 and 2009: Evidence from WIOD", *Energy Policy*, vol.122, pp.655-667.

Gilingham, K. and Newell, R.G. and Palmer, K. (2009), "Energy efficiency economics and policy", *Annual Review of Resources Economics*, vol.1(1), pp. 597-620.

Freire-Gonzalez, J. (2011), "Methods to empirically estimate direct and indirect rebound effect of energy saving technological changes in households", *Ecological Modelling*, vol.23, pp.32-40.

Mark, H. and Jeong, K. and Langlois, L. and Lee, M. and Nam, K.Y and Hans H.R. (2010), "Incorporating macroeconomic feedback into an energy systems model using an IO approach: Evaluating the rebound effect in the Korean electricity system", *Energy Policy*, vol.38, pp. 2700-2728.