

تخمین اثر بازگشتی ناشی از مصرف انرژی الکتریسیته در ایران: رویکرد آستانه‌ای

موسی خوشکلام خسروشاهی*

استادیار اقتصاد دانشگاه الزهرا (س)، m.khosroshahi@alzahra.ac.ir

روح‌الله مهدوی

دکتری اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، r_mahdavi_ir@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

با توجه به اینکه در ادبیات اقتصاد انرژی، اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف انرژی از اهمیت زیادی برخوردار است از اینرو مقاله حاضر با بکارگیری روش‌شناسی متفاوت نسبت به سایر پژوهش‌ها، بر مبنای داده‌های سری زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۷ و با استفاده از مدل‌های خطی و آستانه‌ای به برآورد اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق بخش خانگی در قالب مدل‌های مختلف می‌پردازد. نتایج حاصل از مدل خطی نشان می‌دهند که اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق خانگی بطور متوسط برابر با ۸۱ درصد است. نتایج حاصل از مدل آستانه‌ای با در نظر گرفتن دو متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایه‌گذاری به عنوان متغیرهای آستانه نشان می‌دهند که (الف) متوسط اثر بازگشتی با تولید ناخالص داخلی سرانه کمتر از (بیشتر از) ۱۸۲۹۰ میلیارد ریال برابر با ۶۸ درصد (۷۶ درصد) است (ب) متوسط اثر بازگشتی با نیاز به سرمایه‌گذاری کمتر از (بیشتر از) ۶/۹۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۷۹ درصد (۸۳ درصد) است (ج) افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایه‌گذاری باعث می‌شوند تا اثر بازگشتی مستقیم افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد انرژی، مصرف برق، اثر بازگشتی، مدل آستانه‌ای.

طبقه‌بندی JEL: O13 Q41 Q43.

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

مطابق تئوری اقتصاد انرژی، بهبود کارایی وسایل مصرف‌کننده برق اثر مثبت بر کاهش مصرف برق، کاهش سهم سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد اما سوال این است که چرا همراه با بهبود کارایی وسایل مصرف‌کننده برق در دهه‌های گذشته، بجای کاهش مصرف برق، افزایش در مصرف برق رخ داده است؟ یک پاسخ در امکان وجود اثر بازگشتی^۱ است بطوریکه اثرگذاری بهبود کارایی بر صرفه‌جویی انرژی به اندازه مورد انتظار نبوده و اندکی بازگشت در مصرف انرژی وجود دارد (سورل و همکاران^۲، ۲۰۰۹). مصرف برق خانگی عمدتاً مربوط به وسایل خانگی از قبیل تهویه هوا، ماشین لباسشویی، وسایل روشنایی، کامپیوتر و ... است هنگامیکه بهبود در کارایی وسایل مصرف‌کننده برق رخ می‌دهد، برق مصرف شده برای انجام همان مقدار کار قبلی (روشنایی، گرمایش، سرمایش و ...) کاهش می‌یابد بنابراین هزینه همان مقدار خدمات برق نیز کاهش می‌یابد که این امر باعث چرخش در رفتار مصرف‌کنندگان شده و بخش خانگی، تقاضا برای خرید و مصرف وسایل خانگی و در نتیجه آن مصرف برق را افزایش می‌دهد. در سوی دیگر، کارایی در بکارگیری برق همراه با پیشرفت تکنولوژیکی حاصل می‌شود که این پیشرفت باعث می‌شود تا رشد اقتصادی تا حدودی افزایش یافته و آن نیز باعث افزایش قدرت خرید خانوارها شده و آنها احتمالاً تقاضا برای وسایل خانگی را افزایش می‌دهند که منجر به افزایش در مصرف برق می‌شود.

با توجه به اینکه مصرف برق خانگی در کشورهای مختلف متفاوت است لذا اثر بازگشتی ناشی از مصرف برق خانگی نیز در کشورهای مختلف متفاوت خواهد بود بنابراین ضروری است تا اثر بازگشتی مصرف برق خانگی برای اجتناب از بیش‌برآوردی اثرگذاری کارایی مصرف برق در ایران مورد برآورد قرار گیرد. از اینرو در مطالعه حاضر تلاش می‌شود تا اثر بازگشتی مستقیم ناشی از مصرف انرژی الکتریسیته در بخش خانگی ایران مورد بررسی و تخمین قرار گیرد. قابل ذکر است که این مقاله در قیاس با مطالعات قبلی دارای تفاوت‌هایی است که مهم‌ترین آن بکارگیری روش‌شناسی متفاوت نسبت به آنها است. مطالعه حاضر بر خلاف دیگر مطالعات که از روش‌هایی مثل CGE، AIDS و برآورد تابع تقاضای خطی بهره‌برده‌اند، متمرکز بر روش آستانه‌ای^۳ بوده بطوریکه اولاً اکتفا به

¹ Rebound Effects

² Sorrell et al.

³ Threshold

تخمین مدل خطی نکرده ثانیاً متغیرهای آستانه را برای برآورد مدل استفاده کرده است زیرا تغییر رفتار مصرف‌کنندگان از آستانه‌ای به بعد محتمل است که مدل آستانه آن را رصد کرده و نشان می‌دهد. اهمیت روش آستانه در آن است که بنا به گفته هانسن^۱ (۱۹۹۹)، همواره توابع رگرسیونی بطور یکنواخت از همه مشاهدات عبور نمی‌کنند لذا روش اقتصادسنجی آستانه‌ای در چنین مواردی بسیار مفید فایده است ضمن اینکه در این روش، تصورات ذهنی در شکل‌گیری نوع رابطه غیرخطی دخالتی نداشته و نیاز به هیچ‌گونه فرم تابعی معین غیرخطی در بررسی روابط غیرخطی نیست. ساختار ادامه مقاله به این ترتیب است که در ابتدا ادبیات اثر بازگشتی تبیین شده و سپس مبانی نظری ارائه می‌گردد. در بخش بعدی مروری بر مطالعات قبلی داشته و در ادامه روش‌شناسی تشریح می‌گردد. بخش بعدی مربوط به تخمین مدل بوده و در انتها جمع‌بندی و نتیجه‌گیری آورده شده است. منابع و مأخذ نیز آخرین بخش مقاله است.

۲- ادبیات اثر بازگشتی

تفکر رایج این است که بهبود کارایی وسایل مصرف‌کننده انرژی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، اما در ادبیات اقتصاد انرژی بحث گسترده‌ای در مورد اثرات واقعی بهبود کارایی وجود دارد که مربوط به اثر بازگشتی است. منشا ایجاد اثر بازگشتی، از یکسو مربوط به کاهش قیمت‌های موثر انرژی در نتیجه بهبود کارایی بوده و از سوی دیگر مربوط به ایجاد اثرات جانمایی، درآمدی و ... است. نخستین مطالعات در زمینه اثر بازگشتی به دهه ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد اما در دهه‌های بعد بحث اثر بازگشتی بطور گسترده‌تری مورد بررسی قرار گرفت. گرینینگ و همکاران^۲ (۲۰۰۰)، اثرات بازگشتی را به دو دسته اثرات بازگشتی مستقیم^۳ و اثرات بازگشتی غیرمستقیم^۴ تقسیم‌بندی می‌کنند. اثرات بازگشتی مستقیم، ابتدا توسط خازوم^۵ در سال ۱۹۸۰ مطرح شده و از آن زمان مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت (خوشکلام خسروشاهی و همکاران^۶، ۱۳۹۴). مجموع اثر بازگشتی مستقیم و غیرمستقیم را اثر بازگشتی کل گویند.

¹ Hansen

² Greening et al.

³ Direct rebound effect

⁴ Indirect Rebound Effect

⁵ Khazoom

⁶ Khoshkalam Khosroshahi, et al. (2015)

اثر بازگشتی مستقیم اثری است که به خدمات انرژی از قبیل گرمایش و ... مربوط بوده و به انرژی‌ای که برای فراهم کردن آن خدمات مورد نیاز است محدود می‌شود. هنگامیکه کارایی انرژی بهبود می‌یابد، قیمت خدمات انرژی کاهش یافته و تقاضا برای خدمات انرژی افزایش می‌یابد. این مسئله موجب بوجود آمدن اثر جانشینی در بکارگیری بیشتر آن دسته از خدمات انرژی می‌شود که افت قیمت داشته‌اند. بنابراین افزایش تقاضا موجب از بین رفتن مقداری از ذخیره انتظاری انرژی شده و لذا می‌توان گفت افزایش کارایی انرژی بطور مستقیم و از طریق افزایش مصرف انرژی منجر به از بین رفتن مقداری از ذخیره انتظاری انرژی خواهد شد که همان اثر بازگشتی مستقیم است. اثر بازگشتی غیرمستقیم به نوع دیگری از تقاضای انرژی مربوط است که برای تهیه دیگر کالاها و خدماتی که بهبود کارایی در آنها صورت نگرفته، مورد نیاز است. در این حالت نیز افزایش مصرف کالاها و خدمات ناشی از بهبود کارایی است بدین ترتیب که وقتی با افزایش کارایی، قیمت خدمات انرژی کاهش می‌یابد، درآمد حقیقی افزایش یافته و قدرت خرید مصرف‌کننده بالا می‌رود در نتیجه تقاضا برای دیگر کالاها و خدمات افزایش یافته و از آنجاییکه در فرآیند تولید سایر کالاها و خدمات، از انرژی به عنوان نهاده تولیدی استفاده می‌شود، کل مصرف انرژی در حوزه‌هایی که بطور مستقیم تحت تاثیر کارایی انرژی نیستند، افزایش یافته و لذا از این طریق نیز مقداری از انرژی ذخیره شده دوباره به چرخه مصرف برمی‌گردد. این امر به نوبه خود مصرف انرژی را بالا برده و سبب می‌شود تا بخش دیگری از ذخیره انتظاری انرژی مصرف شود. این افزایش مصرف انرژی بیانگر اثر بازگشتی غیرمستقیم است (اسماعیل‌نیا و اختیاری^۱، ۱۳۹۱).

سه حالت ممکن برای اثر بازگشتی وجود دارد. اگر اثر بازگشتی بیش از ۱۰۰ درصد باشد یعنی نه تنها هیچ ذخیره انرژی حاصل نشده بلکه بهبود کارایی باعث افزایش مصرف انرژی نیز شده است که این حالت را اثر معکوس^۲ گویند. اگر اثر بازگشتی بین صفر و ۱۰۰ درصد باشد یعنی کاهش نهایی در تقاضای انرژی کمتر از میزان کاهش انتظاری اولیه می‌باشد که حالت رایج در نتایج مطالعات است. در صورتیکه اثر بازگشتی منفی باشد به این معنی است که کاهش نهایی در تقاضای انرژی بیش از میزان کاهش انتظاری اولیه می‌باشد که این حالت متداول نبوده و در شرایط خاصی رخ می‌دهد.

^۱ Esmailnia and Ekhtyari (2012)

^۲ Backfire Effect

۳- مبانی نظری

با توجه به مد نظر بودن اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف‌کنندگان، مبانی نظری اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف‌کنندگان تبیین می‌گردد. طبق ادبیات اقتصاد انرژی، بدنبال بهبود کارایی انرژی انتظار می‌رود تا ذخیره انرژی^۱ ایجاد گردد اما آنچه در واقعیت و بدنبال بهبود کارایی انرژی رخ می‌دهد عبارت از ذخیره انرژی به مقدار واقعی^۲ است که لزوماً با ذخیره انتظاری انرژی مطابقت ندارد. بنابراین اثر بازگشتی را می‌توان به کمک رابطه $RE = \frac{\text{Expected}-\text{Actual}}{\text{Expected}} * 100$ اندازه‌گیری کرد.

۳-۱- اثر بازگشتی مستقیم

با فرض اینکه مصرف‌کنندگان دارای رفتاری عقلایی بوده و دارای اطلاعات کامل باشند آنگاه اثر بازگشتی مستقیم را می‌توان در چارچوب ساده نئوکلاسیکی بیان کرد. فرض شود که مطلوبیت، ناشی از مصرف انواع کالاها و خدمات از جمله خدمات انرژی (ES)^۳ بوده و خدمات انرژی از ترکیب انرژی (E) و سیستم‌های انرژی (وسایل تبدیل انرژی) در اختیار مصرف‌کنندگان قرار گیرند. فرض شود که مطلوبیت از طریق مصرف خدمات انرژی و نه مصرف مستقیم کالاهای انرژی بدست می‌آید. یکی از ویژگی‌های هر خدمت انرژی عبارت از کار مفید (S) حاصل از آن است از سوی دیگر، خدمات انرژی دارای خواص گسترده‌ای (A) هستند که به طرق مختلفی با کار مفید انجام‌شده ترکیب می‌شوند. برای مثال، همه لوسترها برای منازل روشنایی به همراه می‌آورند اما بین آنها در مورد کیفیت روشنایی و زیبایی خود لوسترها و ... تفاوت وجود دارد. ترکیب کار مفید با این خواص، فراهم آورنده خدمت کاملی از انرژی است ($ES=f(S,A)$).

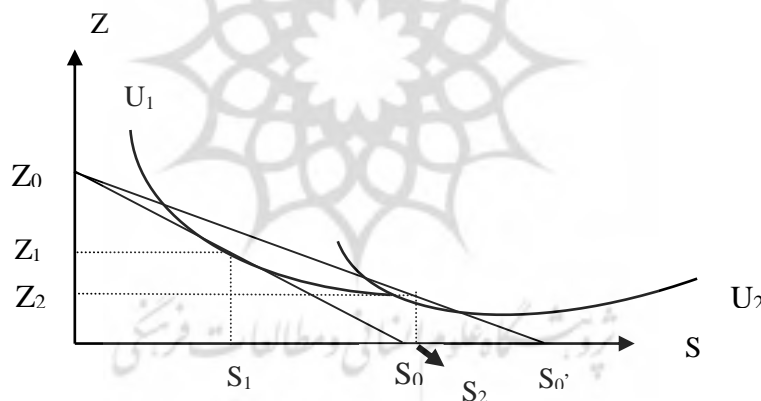
کارایی انرژی (E) مربوط به یک سیستم انرژی، از نسبت کار مفید به نهاده انرژی حاصل می‌شود ($E = \frac{S}{E}$) هزینه انرژی مربوط به کار مفید (P_S) نیز از نسبت $P_S = \frac{P_E}{E}$ بدست می‌آید که در آن P_E قیمت هر واحد انرژی است. P_S یکی از اجزای هزینه کل کار مفید (P_G) است. سایر اجزاء شامل هزینه‌های سرمایه‌ای سالیانه، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های زمان و ... است. بهبود در کارایی انرژی باعث کاهش P_S شده اما این امکان وجود دارد که سایر هزینه‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. در ادامه فرض می‌شود که سایر

¹ Expected

² Actual

³ Energy Services

هزینه‌ها و خواص خدمت انرژی ثابت هستند. بهبود کارایی انرژی عاملی برای کاهش هزینه انرژی کار مفید (P_S) و همچنین قیمت موثر کار مفید است از اینرو شاید انتظار بر این باشد که مصرف کار مفید افزایش پیدا کند. عکس‌العمل به این کاهش در قیمت موثر انرژی را می‌توان بصورت نموداری و با استفاده از منحنی‌های بی‌تفاوتی نشان داد. این منحنی‌ها نشان‌دهنده مصرف ترکیب‌های متفاوتی از کالاها/خدمات هستند که مصرف‌کنندگان در آن ترکیب از کالاها/خدمات بی‌تفاوتند. در نمودار (۱) منحنی‌های U_1 و U_2 نشان‌دهنده منحنی‌های بی‌تفاوتی بین مصرف کار مفید مربوط به نوع خاصی از انرژی (S) و مصرف سایر کالاها یا خدمات (Z) است. در ابتدا فرض می‌شود که مصرف‌کننده کل درآمد (Y) خود را برای دو کالای S و Z هزینه کرده و هزینه‌های غیرانرژی مربوط به خدمات انرژی صفر باشد. خط S_0-Z_0 نشان‌دهنده قید بودجه مصرف‌کننده (Y) است. اگر PS نشان‌دهنده هزینه انرژی مربوط به یک واحد کار مفید و PZ قیمت یک واحد از سایر کالاها و خدمات باشد، معادله قید بودجه را می‌توان بصورت $Y \geq P_S S_0 + P_Z Z_0$ نوشت که شیب قید بودجه نیز برابر با P_S/P_Z است.



نمودار (۱): تبادل بین مصرف کار مفید و مصرف سایر کالاها

منبع: سورل، ۲۰۰۷

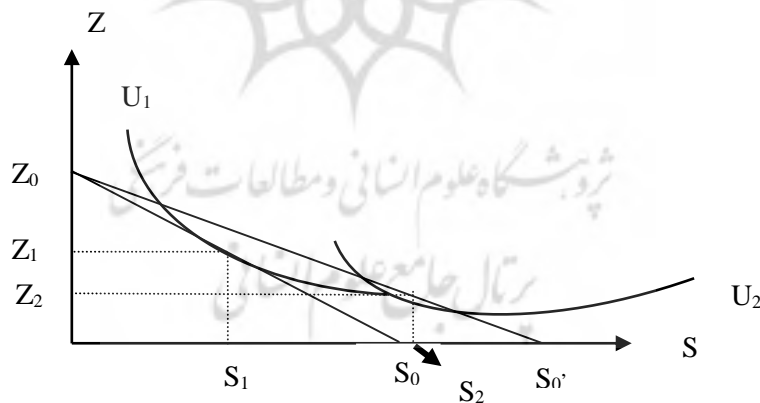
فرض شود که $E(S)$ مقدار مصرف انرژی توأم با مقدار S از کار مفید بوده (برای $y > x$) داریم $E(y) > E(x)$ و سطح اولیه مصرف انرژی $E(S_1)$ باشد. حال اگر بهبود برونزایی در کارایی وسیله تبدیل‌کننده انرژی رخ دهد (مثل بهبود کارایی یک یخچال^۱)، بنابراین

^۱ قابل ذکر است که بهبود کارایی بدون در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به آن است. به عبارت دیگر، بهبود کارایی بصورت برونزا است.

مقدار جدید مصرف انرژی برابر با $E^*(s)$ است که داریم $(E^*(s) < E(s))$. درصدانتظاری ذخیره انرژی (ENG) در نتیجه بهبود کارایی از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$ENG = \frac{E(S_1) - E^*(S_1)}{E(S_1)} * 100 \quad (1)$$

در این رابطه، درصد ذخیره انرژی بیش از درصد واقعی ذخیره انرژی برآورد شده است زیرا فرض شده که بدنبال بهبود کارایی انرژی، مصرف کار مفید (S) بدون تغییر بوده است. اگر قیمت‌های اسمی کالاها انرژی بدون تغییر باشند، بهبود کارایی انرژی باعث کاهش قیمت موثر کار مفید شده $(P_S < P'_S)$ و لذا هم مصرف کار مفید و هم مطلوبیت افزایش خواهند یافت. با توجه به نمودار (۲) چنانچه مصرف کننده کل بودجه خود را برای کار مفید هزینه کند، قادر به مصرف مقدار بیشتری (S'_0) خواهد بود. این رویداد با جابه‌جایی خط بودجه از $Z_0 - S_0$ به $Z_0 - S'_0$ نشان داده شده است. در اصطلاح، درآمد واقعی مصرف کننده افزایش یافته در حالیکه درآمد اسمی وی بدون تغییر مانده است. ترکیب مصرف بهینه در نقطه (S_2, Z_2) حاصل می‌شود که در آن خط بودجه جدید بر منحنی بی‌تفاوتی U_2 (که نشان دهنده بیشترین مقدار مطلوبیتی است که می‌توانست از سطح جدید درآمد واقعی بدست آید) مماس است. لذا مصرف کار مفید افزایش یافته $(S_2 > S_1)$ ، مصرف سایر کالاها و خدمات کاهش یافته $(Z_2 < Z_1)$ و مصرف کننده سطح بالاتری از مطلوبیت $(U_2 > U_1)$ را بدست آورده است.



نمودار (۲): تغییر مصرف بدنبال بهبود کارایی انرژی

منبع: سورل، ۲۰۰۷

درصد واقعی ذخیره انرژی (ACT) بصورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$ACT = \frac{E(S_1) - E^*(S_2)}{E(S_1)} * 100 \quad (2)$$

که در آن $(E_{S_2}^* > E_{S_1}^*)$ بوده و $ACT \leq ENG$ است. با وجود اینکه مصرف انرژی به ازای هر واحد کار مفید کاهش یافته $(E^*(s) < E(s))$ اما مصرف کار مفید افزایش داشته است $(S_2 > S_1)$. این دو اثر خنثی کننده یکدیگر بوده و در نتیجه علامت ACT مبهم است: بهبود کارایی انرژی شاید باعث افزایش و شاید باعث کاهش مصرف انرژی شود لذا اثر بازگشتی مستقیم (REB_d) را می‌توان بصورت رابطه (۳) نوشت:

$$REB_d = \frac{ENG - ACT}{ENG} * 100 \quad (3)$$

حال اگر درصد واقعی ذخیره انرژی برابر با درصد انتظاری ذخیره انرژی باشد آنگاه اثر بازگشتی مستقیم برابر صفر شده اما اگر درصد واقعی ذخیره انرژی برابر با صفر باشد آنگاه اثر بازگشتی مستقیم برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود. در حالت دیگر چنانچه مصرف انرژی افزایش یابد $(ACT < 0)$ اثر بازگشتی مستقیم بزرگتر از ۱۰۰ درصد خواهد بود که معروف به اثر معکوس است (سورل^۱، ۲۰۰۷).

$$REB_d = \frac{(E(S_1) - E^*(S_1)) - (E(S_1) - E^*(S_2))}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100 \quad (4)$$

$$REB_d = \frac{(E^*(S_2) - E^*(S_1))}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100 \quad (5)$$

۳-۲- اندازه‌گیری اثر بازگشتی مستقیم

دو رویکرد متفاوت برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارایی انرژی وجود دارد. رویکرد نخست بر مبنای بکارگیری داده‌های اولیه بدست آمده از روش پرسشنامه‌ای است که روش ارزیابی بوده و موضوع مطالعه حاضر نیست اما رویکرد دوم بر مبنای داده‌های ثانویه بوده و روش اقتصادسنجی است. با توجه به رویکرد دوم می‌توان با در نظر گرفتن متغیرهایی به عنوان پراکسی اقدام به برآورد اثر بازگشتی کرد. ساندرز^۲ (۱۹۹۲) رایج‌ترین تعریف از اثر بازگشتی مستقیم برای یک خدمت خاص انرژی را بصورت زیر بیان می‌کند:

$$\theta_\varepsilon(E) = \theta_\varepsilon(S) - 1 \quad (6)$$

که در آن $\theta_\varepsilon(E)$ کشش کارایی تقاضا برای انرژی، $\theta_\varepsilon(S)$ کشش کارایی تقاضا برای کار مفید (یک خدمت خاص انرژی) و ε بهبود برونزا در کارایی انرژی است. در این رابطه، $\theta_\varepsilon(S)$ به عنوان اندازه اثر بازگشتی مستقیم در نظر گرفته می‌شود. بنابراین زمانیکه $\theta_\varepsilon(S) = 0$ باشد آنگاه اثر بازگشتی مستقیم وجود نداشته و برابر با صفر خواهد بود اما

¹ Sorrell

² Saunders

زمانیکه $\vartheta_\varepsilon(S) > 0$ باشد آنگاه $|\vartheta_\varepsilon(E)| < 1$ شده و لذا اثر بازگشتی مستقیم و مثبت وجود خواهد داشت. همچنین در صورتیکه $\vartheta_\varepsilon(S) > 1$ باشد آنگاه شاهد شکل‌گیری اثر معکوس خواهیم بود. برخوت و همکاران^۱ (۲۰۰۰)، با در نظر گرفتن فروض مشخصی، اثر بازگشتی را با استفاده از برآوردهای کشش‌های قیمتی بدست آوردند که در رابطه (۷) آورده شده است.

$$\vartheta_\varepsilon(E) = -\vartheta_{p_s}(S) - 1 \quad (7)$$

که در آن $\vartheta_{p_s}(S)$ کشش تقاضا برای کار مفید نسبت به قیمت موثر انرژی است. این عبارت بر مبنای فروض تقارن و برونزایی است به این معنی که اولاً واکنش مصرف‌کنندگان به کاهش در قیمت انرژی ناشی از بهبود کارایی مشابه است ثانیاً کارایی انرژی متأثر از تغییرات در قیمت‌های انرژی نیست. محققان بسیاری از رابطه (۷) برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم استفاده کرده اند و این رابطه نسبت به رابطه (۶) برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، آسانتر است. سورل و دیمیتروپولوس^۲ (۲۰۰۶) و سورل (۲۰۰۷)، با استفاده از کشش قیمتی تقاضای انرژی رابطه دیگری را برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم ارائه کرده‌اند که عبارت است از:

$$\vartheta_\varepsilon(E) = -\vartheta_{p_E}(E) - 1 \quad (8)$$

در این رابطه $\vartheta_{p_E}(E)$ کشش قیمتی تقاضای انرژی است. اهمیت بکارگیری این روش که در تحقیق حاضر بکار گرفته می‌شود در این است که داده‌های مربوط به تقاضای انرژی (بویژه در ایران) بطور رایج‌تری نسبت به داده‌های کار مفید یک نوع خدمت خاص انرژی در دسترس هستند.

۴- مروری بر مطالعات قبلی

در این بخش، روش و نتایج برخی از مهم‌ترین مطالعات خارجی و داخلی مرتبط با موضوع مقاله مورد اشاره قرار می‌گیرند. آلان و همکاران^۳ (۲۰۰۷) در مطالعه خود با رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه به ارزیابی تاثیر افزایش کارایی انرژی در بخش صنعت انگلستان پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که بهبود کارایی در مصرف انرژی واحدهای صنعتی انگلستان، اثرات بازگشتی ۳۰ الی ۵۰ درصدی به همراه خواهد داشت.

¹ Berkhout

² Dimitropoulos and Sorrell

³ Allan et al.

سورل و همکاران^۱ (۲۰۰۹) با استفاده از روش اقتصادسنجی، اثر بازگشتی مستقیم ناشی از بکارگیری انرژی در بخش خانگی کشورهای OECD را بررسی کرده و نشان دادند که اثر بازگشتی مستقیم کمتر از ۳۰ درصد است. توماس و آزدو^۲ (۲۰۱۳) با بکارگیری تکنیک داده ستانده در سال ۲۰۰۴ به برآورد اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف انرژی مسکونی در ایالت متحده پرداختند. نتایج نشان می دهند که اثر بازگشتی حدود ۳۵ درصد است. لین و لی^۳ (۲۰۱۴) اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انرژی در صنایع سنگین کشور چین را بررسی کرده و نشان دادند که اثر بازگشتی در صنایع سنگین این کشور حدود ۷۴ درصد است. لو، لیو و ژو^۴ (۲۰۱۶) اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی انواع حامل های انرژی در چین را با استفاده مدل تعادل عمومی قابل محاسبه بررسی کرده و نشان دادند که بهبود کارایی انرژی مربوط به برق دارای بیشترین اثر مثبت بر تولید ناخالص داخلی در بین تمامی حامل های انرژی است. وی و لیو^۵ (۲۰۱۷) اثر بازگشتی و کاهش آلودگی ناشی از بهبود کارایی انرژی در سطح جهانی را در چارچوب مدل بررسی کرده و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی حدود ۷۰ درصد و انتشار آلودگی نیز حدود ۹۰ درصد خواهد بود. بلاید و همکاران^۶ (۲۰۱۸) با بکارگیری مدل اقتصادسنجی طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۳ به بررسی اثر بازگشتی مستقیم مربوط به تقاضای گاز خانگی در فرانسه پرداخته و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی مستقیم در تقاضای خانگی گاز حدود ۵۳ درصد در کوتاه مدت و حدود ۶۰ درصد در بلندمدت است. ضمن اینکه اثر معکوس وجود ندارد.

در مطالعات داخلی، منظور و همکاران (۱۳۸۹) با بکارگیری مدل CGE نتیجه گرفته اند که ۱۰ درصد بهبود کارایی در مصارف برق، بطور متوسط ۱۴/۲ درصد اثر بازگشتی به همراه خواهد داشت. اسماعیل نیا و اختیاری (۱۳۹۱) با بکارگیری روش اقتصادسنجی طی دوره ۱۳۵۵-۱۳۸۸ به بررسی اثر بازگشتی بهبود راندمان خودروها بر مصرف سوخت در ایران پرداخته و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی بلندمدت ناشی از بهبود راندمان خودروها حدود ۹ درصد است. خوشکلام خسروشاهی، جهانگرد و عابدیان

¹ Sorrell et al.

² Thomas and Azevedo

³ Lin and Li

⁴ Lu, Liu and Zhou

⁵ Wei and Liu

⁶ Belaid et al.

(۱۳۹۴) در مطالعه دیگری، به ارزیابی اثر بازگشتی بهبود کارایی مصرف بنزین در بخش‌های مختلف اقتصادی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بهبود ۵ درصدی کارایی حدود ۱۲ درصد اثرات بازگشتی به همراه دارد. دل‌انگیزان و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از اقتصادسنجی طی دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۳ و روش GMM، اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی سوخت در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ایران را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل به ترتیب ۶ و ۲ درصد است. خوشکلام خسروشاهی (۱۳۹۶) با استفاده از مدلسازی تعادل عمومی قابل محاسبه اثر بازگشتی ناشی از ۱۰ درصد بهبود در کارایی مصرف بنزین، گازوئیل و برق را بررسی کرده و نتیجه گرفته است که اثر بازگشتی مربوط به آنها به ترتیب برابر با ۲۹،۸، ۲۴،۷ و ۲۴،۵ درصد است. همچنین اثر بازگشتی مربوط به خانوارها نیز در مورد این سه حامل انرژی به ترتیب برابر با ۲۳،۱، ۱۷،۸ و ۲۷،۹ درصد محاسبه شده است. سالم و همکاران (۱۳۹۶) با بکارگیری AIDS طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۸۵ به برآورد اثر بازگشتی در بخش خانگی مناطق شهری ایران پرداخته و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران برابر با ۸۱ درصد است.

۵- روش‌شناسی

برای برآورد اثر بازگشتی مصرف برق خانگی در ایران از دو مدل خطی و آستانه‌ای با بکارگیری داده‌های ۱۳۹۵-۱۳۵۷ استفاده می‌شود. داده‌ها عبارتند از: مصرف برق خانگی (میلیون کیلووات ساعت)، قیمت برق خانگی به قیمت ثابت (ریال/کیلووات ساعت)، تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت (میلیارد ریال)، نیاز به سرمایش^۱ (سانتی‌گراد)، نیاز به گرمایش^۲ (سانتی‌گراد) و بُعد خانوار (نفر). داده‌های مصرف برق و قیمت اسمی برق از شرکت توانیر و داده‌های GDP از بانک مرکزی گرفته شده‌اند. داده‌های نیاز به سرمایش و نیاز به گرمایش نیز بصورت زیر محاسبه شده‌اند.

$$CDD = \sum_{j=1}^{nd} \max(0, t_j - T_C) \quad , \quad T_C = 21^{\circ}C \quad (9)$$

$$HDD = \sum_{j=1}^{nd} \max(0, T_H - t_j) \quad , \quad T_H = 18^{\circ}C \quad (10)$$

¹ Cooling Degree Days (CDD)

² Heating Degree Days (HDD)

nd تعداد روزها، CDD نیاز به سرمایش به درجه ° روز، t میانگین دمای روززام به درجه سانتی‌گراد و T_C و T_H آستانه دمایی هستند. HDD نیاز به گرمایش به درجه ° روز است. نیاز به سرمایش و گرمایش بر حسب تعریف، جمع تفاضل‌های میانگین‌های روزانه دما از آستانه معین هستند. دماهای آستانه با توجه به شرایط، اعداد متفاوتی می‌توانند باشند ولی بطور کلی اعداد ۱۸ تا ۲۸ پیشنهاد شده است. با توجه به داده‌های در دسترس، حدود آسایش CDD و HDD به ترتیب برابر با ۲۱ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده‌اند (کارسودو و اترو^۱، ۲۰۰۵). داده‌های مربوط به درجه حرارت از پورتال دانش تغییرات آب و هوایی (بانک جهانی) گرفته شده‌اند.

۵-۱- تصریح مدل

تأمل در مطالعات مختلف مربوط به برآورد تابع تقاضای برق در بخش خانگی همانند آنق و لیو^۲ (۱۹۹۲)، لم^۳ (۱۹۹۸) و ژانق و همکاران^۴ (۲۰۱۶) نشان می‌دهند که عوامل مختلفی بر تقاضای برق خانگی موثر هستند که در مطالعه حاضر از متغیرهای قیمت برق، درآمد، نیاز به سرمایش، نیاز به گرمایش و بُعد خانوار استفاده شده است. در زمینه ارتباط بین متغیرهای فوق‌الذکر با تقاضای برق خانگی در کل و به استناد مطالعات مختلف، قابل ذکر است که افزایش قیمت برق باعث کاهش در مصرف برق می‌شود، درآمد ارتباط تنگاتنگی با مصرف برق خانگی دارد بطوریکه در کشورهای در حال توسعه، افزایش در GDP سرانه باعث می‌شود تا تقاضای مردم برای خدمات برق (از قبیل ماشین لباسشویی و ...) افزایش یابد. مصرف برق خانگی همچنین متاثر از بُعد خانوار است بطوریکه در صورت ثبات سایر عوامل، با افزایش بُعد خانوار مصرف برق کاهش می‌یابد. علاوه بر اینها، تاثیر درجه حرارت بر تقاضای برق خانگی نیز در برخی مطالعات همانند وانگپاتاراپونگ و همکاران^۵ (۲۰۰۸) تایید شده است. برخی مطالعات همانند بسک و فوگو^۶ (۲۰۰۸) نیز رابطه غیرخطی بین درجه حرارت و مصرف برق خانگی را نشان داده‌اند. برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق خانگی در ایران از دو رابطه خطی و آستانه‌ای استفاده می‌شود. رابطه خطی بصورت زیر است:

¹ Carcedo and Otero

² Ang and Liu

³ Lam

⁴ Zhang et al.

⁵ Wangpattarapong et al.

⁶ Bessec and Fouquau

$$\text{LnE}_t = \beta_0 + \beta_1 \text{LnP}_{Et} + \beta_2 \text{LnPGDP}_t + \beta_3 \text{LnCDD}_t + \beta_4 \text{LnHDD}_t + \beta_5 \text{Lfsizet}_t + U_t \quad (11)$$

که در آن E_t , P_{Et} , PGDP_t , CDD_t , HDD_t و Lfsizet_t به ترتیب مصرف برق خانگی سرانه، قیمت برق خانگی به قیمت ثابت، تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت، نیاز به سرمایه‌گذاری، نیاز به گرمایش و بعد خانوار در سال t هستند. کلیه متغیرها بصورت لگاریتمی در مورد بکار رفته‌اند. در این رابطه، $-\beta_1$ برآورد اثر بازگشتی مستقیم برای مصرف برق خانگی است. علاوه بر مدل خطی فوق‌الذکر، برای برآورد رابطه بین مصرف برق خانگی و عوامل موثر بر آن و همچنین برآورد اثر بازگشتی مصرف برق خانگی از مدل آستانه‌ای نیز استفاده شده است. روش رگرسیون آستانه‌ای ارائه شده توسط هانسن (۱۹۹۹) بدنبال پاسخ به این سوال است که آیا توابع رگرسیونی بطور یکنواخت از همه مشاهدات عبور می‌کنند یا می‌توانند به گروه‌های مجزا شکسته شوند؟ تجزیه و تحلیل سنتی روابط غیرخطی معمولاً بر اساس رهیافت تقسیم نمونه به دو گروه بصورت برونزا است که بر پایه داوری و ترجیحات فردی است. در صورت استفاده از این روش، انتخاب تعداد رژیم‌ها و محل آن اختیاری و بر اساس راهنمایی‌های نظریات اقتصادی قبلی است. لذا در این صورت، صحت نتایج و پارامترهای تخمین‌زده شده سوال برانگیز است زیرا بطور وسیعی به انتخاب نقطه‌ای که آستانه در آنجا رخ می‌دهد وابسته است. روش دیگری که در تجزیه و تحلیل‌های آستانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش پی‌درپی است که شمار و محل آستانه‌ها را بطور کاملاً درون‌زا تعیین می‌کند. این مبحث بطور جدی توسط هانسن (۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) با ارائه تکنیک جدید در اقتصادسنجی توسعه داده شده است. از مزایای دیگر این روش این است که تصورات ذهنی در شکل‌گیری نوع رابطه غیرخطی دخالتی نداشته و نیاز به هیچ‌گونه فرم تابعی معین غیرخطی در بررسی روابط غیرخطی ندارد (امام‌وردی و همکاران^۱، ۱۳۹۶). مدل آستانه‌ای مطالعه حاضر بصورت زیر است که البته بصورت تک‌آستانه‌ای نوشته شده است. همانطور که گفته شد، تعداد آستانه بصورت درون‌زا تعیین می‌شود که در ادامه تبیین خواهد شد.

$$\text{LnE}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \text{LnP}_{Et} I(q_t \leq \gamma) + \alpha_2 \text{LnP}_{Et} I(q_t > \gamma) + \alpha_3 \text{LnPGDP}_t + \alpha_4 \text{LnCDD}_t + \alpha_5 \text{LnHDD}_t + \alpha_6 \text{Lfsizet}_t + v_t \quad (12)$$

در این رابطه، q_t نشان‌دهنده متغیر آستانه، γ مقدار متغیر آستانه و $I(\cdot)$ تابع شاخص است ضمن اینکه P_{Et} که بصورت ضربی با تابع شاخص آمده است، نشان‌دهنده قیمت

¹ Emamverdi et al. (2017)

برق خانگی به قیمت ثابت^۱ است. سایر متغیرها نیز در ذیل معادله (۱۱) تبیین شدند. مشاهدات بر اساس اینکه متغیر آستانه q_t کمتر یا بیشتر از γ آستانه ای است، به دو رژیم تقسیم می‌شوند که توسط تفاوت شیب‌های رگرسیون (α_1 و α_2) مشخص می‌شوند.

۶- تخمین مدل

پیش از تخمین مدل لازم است تا آزمون مانایی متغیرها انجام گیرد. جدول (۱) نشان دهنده نتایج آزمون مانایی متغیرها در دو حالت با لحاظ شکست ساختاری و بدون لحاظ شکست ساختاری بوده و ملاحظه می‌گردد که همه متغیرها در سطح اطمینان ۱۰ درصد مانا هستند. بنابراین ضرورتی به انجام آزمون هم‌انباشتگی نبوده و می‌توان بدون نگرانی از رگرسیون کاذب اقدام به برآورد مدل کرد.

جدول (۱): نتایج آزمون ریشه واحد

| Lfsize | LnHDD | LnCDD | LnPGDP | LnP | LnE | شرح |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| آزمون ریشه واحد با لحاظ شکست ساختاری | | | | | | |
| Dickey Fuller min-t | Dickey Fuller min-t | Dickey Fuller min-t | Dickey Fuller min-t | Dickey Fuller min-t | Dickey Fuller min-t | انتخاب نقطه شکست |
| -۱/۸۶ (۰/۰۸) | -۶/۲۵ (۰/۰۱) | -۵/۰۸ (۰/۰۲) | -۴/۹۲ (۰/۰۴) | -۴/۱۱ (۰/۰۲) | -۶/۲۸ (۰/۰۱) | آماره آزمون ADF ^۲ |
| I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | درجه مانایی |
| آزمون ریشه واحد بدون لحاظ شکست ساختاری | | | | | | |
| ۰/۱۹۳ (۰/۱۲) | ۰/۰۹۷ (۰/۱۱) | ۰/۰۶۰ (۰/۱۲) | ۰/۱۸۲ (۰/۱۱) | ۰/۱۷۴ (۰/۱۰) | ۰/۱۸۳ (۰/۱۱) | آماره آزمون KPSS ^۳ |
| I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | I (0) | درجه مانایی |

توضیح: اعداد داخل پرانتز بیانگر سطح احتمال هستند.

منبع: یافته‌های تحقیق

^۱ قیمت برق خانگی بر اساس شاخص قیمت مصرف‌کننده (۱۳۹۰=۱۰۰) به قیمت ثابت تبدیل شده است.

^۲ Augmented Dickey-Fuller (ADF)

^۳ Kwiatkowski° Phillips° Schmidt° Shin (KPSS)

۶-۱- نتایج برآورد مدل خطی

جدول (۲) نشان دهنده نتایج حاصل از برآورد مدل خطی (رابطه ۱۱) است. این جدول حاوی آماره آزمون F برای بررسی معنی داری کل مدل، مقدار \bar{R}^2 ، آماره آزمون خودهمبستگی دوربین واتسون (DW)^۱، مجموع مجذور خطا (SSR)^۲، آماره آزمون نرمال بودن پسماندها^۳، آماره آزمون خودهمبستگی بروش گادفری^۴ و آماره آزمون RESET^۵ برای بررسی تصریح صحیح مدل است. با توجه به نتایج ملاحظه می‌گردد که مدل برآورد شده مدل مناسبی بوده و همه ضرایب در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند.

جدول (۲): نتایج برآورد مدل خطی

| متغیرهای مستقل | مقادیر برآورد | سطح احتمال |
|------------------------------|---------------|------------|
| β_0 | *-۸/۰۲ | ۰/۰۵ |
| LnP _E | *-۰/۸۱ | ۰/۰۰ |
| LnPGDP | *۰/۹۷ | ۰/۰۱ |
| LnCDD | *۰/۰۴ | ۰/۰۰ |
| LnHDD | -۰/۰۲ | ۰/۵۲ |
| Lfsize | *-۰/۰۵ | ۰/۰۳ |
| R ² | ۰/۹۲ | ۱/۶۵ |
| F-Statistic | ۱۰۰/۸۱ | ۰/۰۰ |
| آزمون نرمال بودن پسماندها | آماره آزمون | ۲۷۰/۲ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۰۰ |
| آزمون خودهمبستگی بروش گادفری | آماره آزمون | ۲/۵۱۷ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۹۰ |
| آزمون RESET | آماره F | ۵/۹۸ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۵۰ |
| اثر بازگشتی مستقیم | | ٪۸۱ |

* سطح معنی‌داری ۹۵ درصد

منبع: یافته‌های تحقیق

¹ Durbin ° Watson (DW)

² Sum Squared Resid (SSR)

³ Normality Test

⁴ Breusch-Godfrey

⁵ Regression Equation Specification Error Test

با توجه به نتایج جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که در مدل خطی، اولاً کشش قیمتی تقاضا و کشش درآمدی تقاضا به ترتیب برابر با $0/81-$ و $0/97$ درصد هستند. این ضرایب نشان می‌دهند که ۱ درصد افزایش در قیمت برق و درآمد خانوارها، باعث می‌شوند تا مصرف برق به ترتیب معادل $0/81$ درصد کاهش و $0/97$ درصد افزایش یابد. همچنین کشش درآمدی حاکی از آن است که برق کالایی ضروری است. ضریب مربوط به «نیاز به سرمایه‌اش» برابر با $0/04$ بوده و به این معنی است که به ازای ۱ درصد افزایش در نیاز به سرمایه‌اش، $0/04$ درصد مصرف برق افزایش می‌یابد ضمن اینکه ضریب مربوط به «نیاز به گرمایش» بی‌معنی است لذا تقاضای برق خانگی در ایران متناسب با نیاز به گرمایش نیست. ضریب مربوط به بُعد خانوار مطابق انتظار منفی و معنی‌دار است. با توجه به اینکه بزرگتر شدن بُعد خانوار به معنی ساکن شدن تعداد افراد بیشتری در یک خانه است لذا مطابق انتظار با بزرگتر شدن بُعد خانوار مصرف برق در سطح کلان^۱ کاهش می‌یابد. ثانیاً اثر بازگشتی مستقیم در مصرف برق خانگی وجود داشته بطوریکه متوسط مقدار اثر بازگشتی مستقیم برای مصرف برق خانگی در ایران برای دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۷ برابر با ۸۱ درصد است بنابراین، هنگامیکه کارایی وسایل مصرف‌کننده برق بهبود یابد آنگاه ۸۱ درصد از ذخیره انتظاری برق بواسطه مصرف اضافی برق (نشأت گرفته از بهبود کارایی) خنثی می‌شود و تنها ۱۹ درصد از ذخیره انتظاری برق حاصل می‌شود. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که کلیه معیارهای تشخیصی مربوط به برآورد مدل خطی رضایت‌بخش هستند.

مقایسه نتایج حاصل از برآورد مدل خطی با سایر مطالعاتی که در داخل کشور انجام شده‌اند حاکی از سازگاری نتایج این تحقیق با سایر مطالعات داخلی به لحاظ وجود اثر بازگشتی در مصرف برق و عدم وجود اثر معکوس است. در این مقاله، اثر بازگشتی ناشی از مصرف برق در بخش خانگی ایران حدود ۸۱ درصد برآورد شده است در حالیکه سایر مطالعات داخلی از قبیل منظور و همکاران (۱۳۸۹)، خوشکلام خسروشاهی (۱۳۹۶) و سالم و همکاران (۱۳۹۶) نیز ضمن تایید وجود اثر بازگشتی مصرف برق در ایران، اعداد متفاوتی را برای اثر بازگشتی برآورد کرده‌اند که دلیل آن نیز ناشی از بکارگیری روش‌های متفاوت و دوره‌های زمانی متفاوت است. قابل ذکر است که همانند بسیاری از

^۱ سطح خانوار مد نظر نبوده و به این معنی است که تعداد بیشتری از افراد جامعه در تعداد واحدهای مسکونی کمتری سکونت می‌گزینند.

مطالعات داخلی، در تحقیق حاضر نیز اثر معکوس وجود ندارد. در ضمن قابل ذکر است که نتایج تحقیق حاضر با مبانی نظری مربوط به اثر بازگشتی تطابق دارد بطوریکه در اقتصاد انرژی بحث بر سر وجود اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصرف انرژی و وجود اثر معکوس در برخی موارد خاص بوده و نتایج این مقاله نیز در تایید مبانی نظری ذکر شده در بخش سوم مقاله، حاکی از وجود اثر بازگشتی ناشی از مصرف برق در بخش خانگی اقتصاد ایران است ضمن اینکه اثر معکوس نیز وجود ندارد.

۶-۲- برآورد مدل آستانه‌ای

با توجه به اینکه در این بخش از مقاله مدل آستانه‌ای برای اندازه‌گیری اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق خانگی برآورد می‌شود لذا اولین گام قبل از برآورد مدل، انتخاب متغیر آستانه (q) است.

جدول (۳): مجموع مربعات خطا (SSR) در مدل آستانه‌ای

| متغیر آستانه | مجموع مربعات خطا |
|--------------------------|------------------|
| تولید ناخالص داخلی سرانه | ۰/۰۵ |
| نیاز به سرمایه‌گذاری | ۰/۰۷ |
| نیاز به گرمایش | ۰/۸۶ |
| بُعد خانوار | ۱/۱۲ |

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به مطالعات مختلف از قبیل کارسبدو و اوترو (۲۰۰۵) و ژانگ و پنگ^۱ (۲۰۱۶) متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایه‌گذاری به عنوان متغیرهای آستانه انتخاب شده‌اند. در تایید انتخاب صحیح متغیرهای آستانه و به تبعیت از مطالعه دانکن^۲ (۲۰۱۵)، جدول (۳) نشان‌دهنده آمار SSR مربوط به برآورد مدل آستانه‌ای با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف به عنوان متغیر آستانه بوده و قابل مشاهده است که با در نظر گرفتن متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایه‌گذاری به عنوان متغیرهای آستانه‌ای، کمترین مقادیر برای SSR محاسبه شده‌اند.

بعد از انتخاب متغیرهای آستانه، مقدار متغیرهای آستانه (Y) مشخص می‌شوند تا بتوان داده‌ها را در دو گروه مجزا تقسیم‌بندی کرد. روش تخمین Y به این ترتیب است که به ازای مقادیر مختلف متغیر آستانه، یکبار مدل آستانه‌ای تخمین زده شده و آن مقدار از

^۱ Zhang and Peng

^۲ Duncan

متغیر آستانه انتخاب می شود که تخمین متناظر با آن، از کمترین SSR برخوردار باشد. مجموع مجذورات خطا به ازای γ های مختلف از رابطه $S_1(\gamma) = \hat{\epsilon}^*(\gamma)\hat{\epsilon}^*(\gamma)$ بدست آمده و مقدار متغیر آستانه نیز از رابطه $\hat{\gamma} = \operatorname{argmin} S_1(\gamma)$ بدست می آید (هانسن، ۱۹۹۹). جدول (۴) نشان دهنده مقادیر هر کدام از متغیرهای آستانه است.

جدول (۴): مقادیر متغیرهای آستانه

| مقدار آستانه ($\hat{\gamma}$) | مقدار آستانه ($\hat{\gamma}$) | متغیر آستانه |
|---------------------------------|---------------------------------|---|
| - | ۹/۸۱۴ | لگاریتم طبیعی تولید ناخالص داخلی سرانه (میلیارد ریال) |
| ۱۸۲۹۰ | - | تولید ناخالص داخلی سرانه (میلیارد ریال) |
| - | ۶/۹۰ | لگاریتم نیاز به سرمایه (درجه سانتی گراد) |

منبع: یافته‌های تحقیق

بعد از تعیین مقدار متغیر آستانه، بایستی تعداد رژیم های مدل آستانه مشخص شود. برای این منظور مدل آستانه با در نظر گرفتن مقدار آستانه تعیین شده برای متغیر آستانه، مورد برآورد قرار گرفته و از طریق نتایج آزمون F که در جدول (۵) آورده شده است تعداد رژیم های بهینه مشخص می شوند. همانطور که از جدول (۵) ملاحظه می گردد یک مقدار برای حد آستانه وجود داشته که به معنی دورژی می بودن مدل آستانه است. دورژی می به این معنی است که اثر PGDP و CDD بر مصرف برق در طول دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷ یکبار تغییر کرده است.

جدول (۵): تعداد رژیم بهینه مدل آستانه

| آزمون آستانه | آماره F | مقدار بحرانی** |
|---------------|---------|----------------|
| ۰ در مقابل ۱* | ۹/۱۲ | ۸/۵۸ |
| ۱ در مقابل ۲ | ۲/۰۳ | ۱۰/۱۳ |

** معنی دار در ۹۵ درصد

*** مقادیر بحرانی Bai-Perron

منبع: یافته‌های تحقیق

۶-۲-۱- نتایج تخمین مدل آستانه‌ای

در این بخش و در قالب جدول (۶)، نتایج برآورد مدل (۱۲) همراه با آزمون‌های مربوطه آورده شده است.

جدول (۶): نتایج برآورد مدل آستانه‌ای

| متغیرهای مستقل | مدل A* | مدل B** |
|------------------------------|-------------|----------|
| LnPGDP | ***۰/۶۲ | ***۰/۷۴ |
| LnCDD | ***۰/۰۵ | ***۰/۰۴ |
| LnHDD | -۰/۰۳ | -۰/۰۴ |
| LFSIZE | ***-۰/۰۶ | ***-۰/۰۵ |
| LnP * I(LnPGDP ≤ 9.814) | ***-۰/۶۸ | - |
| LnP * I(LnPGDP > 9.814) | ***-۰/۷۶ | - |
| LnP * I(LnCDD ≤ 6.90) | - | ***-۰/۷۹ |
| LnP * I(LnCDD > 6.90) | - | ***-۰/۸۳ |
| R ² | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ |
| DW | ۱/۳۹ | ۱/۴۸ |
| آزمون نرمال بودن پسماندها | آماره آزمون | ۲۸۶/۵ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۰۰ |
| آزمون خودهمبستگی بروش گادفری | آماره آزمون | ۲/۱۱۲ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۵۲ |
| آزمون RESET | آماره F | ۶/۲۹ |
| | سطح احتمال | ۰/۰۴۵ |

*: مدل A مربوط به حالتی است که متغیر آستانه LPGDP است.

** : مدل B مربوط به حالتی است که متغیر آستانه LCDD است.

***: ضرایب در ۹۵ درصد معنی‌دار هستند.

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به معادله (۱۲) و نتایج جدول (۳)، متغیرهای LPGDP و LCDD به عنوان متغیرهای آستانه بکار گرفته شده و اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق خانگی در ایران تحت رژیم‌های متفاوت متغیرهای آستانه برآورد می‌شوند. جدول (۶) نشان دهنده نتایج برآورد مدل آستانه‌ای بوده که از دو متغیر آستانه LPGDP و LCDD استفاده شده است. ملاحظه می‌گردد که ضریب مربوط به تولید ناخالص داخلی سرانه در هر دو مدل A و B رقم مثبتی بوده و در عین حال این متغیر نقش مهمی در مصرف برق خانگی دارد در حالیکه با توجه به ضرایب بقیه متغیرها، نقش آنها در مصرف برق خانگی نسبت به PGDP به مراتب کمتر است. همچنین ضرایب متغیرهای نیاز به سرمایه‌اش و بعد خانوار مطابق انتظار به ترتیب مثبت و منفی بوده و ضریب متغیر نیاز به گرمایش منفی اما بی‌معنی است.

در مدل A که مربوط به متغیر آستانه «تولید ناخالص داخلی سرانه» است، ملاحظه می‌گردد که افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه، باعث افزایش در اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق خانگی می‌شود. طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷، سال‌هایی که LPGDP کوچکتر مساوی ۹/۸۱۴ میلیارد ریال (PGDP کوچکتر مساوی ۱۸۲۹۰ میلیارد ریال) است اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق خانگی برابر با ۶۸ درصد می‌باشد اما در سال‌هایی که LPGDP بزرگتر از ۹/۸۱۴ میلیارد ریال (PGDP بزرگتر از ۱۸۲۹۰ میلیارد ریال) است اثر بازگشتی مستقیم برابر با ۷۶ درصد می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که با افزایش درآمد سرانه، اثر بازگشتی افزایش پیدا کرده و صرفه‌جویی کمتری در مصرف برق رخ می‌دهد.

در مدل B که مربوط به متغیر آستانه «نیاز به سرمایه‌گذاری» است، ملاحظه می‌گردد که کاهش در نیاز به سرمایه‌گذاری، باعث کاهش در اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق خانگی می‌شود. طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷، سال‌هایی که LCDD کوچکتر مساوی ۶/۹۰ درجه سانتی‌گراد بوده اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق خانگی برابر با ۷۹ درصد است اما در سال‌هایی که LCDD بزرگتر از ۶/۹۰ درجه سانتی‌گراد بوده اثر بازگشتی مستقیم برابر با ۸۳ درصد است. به عبارت دیگر، همراه با افزایش نیاز به سرمایه‌گذاری در کشور، صرفه‌جویی کمتری در مصرف برق رخ می‌دهد که البته دور از انتظار هم نیست. در مجموع با توجه به مزایای روش آستانه‌ای ذکر شده در مقدمه مقاله و همچنین معیارهای تشخیصی آورده شده در سطور انتهایی جداول (۲) و (۶) می‌توان بیان کرد که نتایج حاصل از تخمین مدل آستانه‌ای نسبت به تخمین مدل خطی رضایت‌بخش‌تر است.

۷- جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی

انرژی الکتریسیته با توجه به ویژگی‌های خاصی از قبیل عدم انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی حین استفاده و سهولت در مصرف، یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی محسوب می‌شود که در بخش‌های مختلف از قبیل خانگی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آخرین آمار رسمی منتشره وزارت نیرو در قالب ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد که بخش خانگی در سال ۱۳۹۴ به تنهایی با داشتن سهمی برابر ۳۴ درصد بیشترین سهم مصرف برق را در بین کلیه بخش‌های مصرف‌کننده برق در کشور دارد. وجود این آمار ضمن تبیین اهمیت مصرف برق در بخش خانگی

کشور حاکی از آن است که با بهبود کارایی مصرف برق می‌توان تا حدود زیادی در مصرف برق بخش خانگی صرفه‌جویی کرد. اما بحث توأم با بهبود کارایی مصرف برق، مربوط به اثر بازگشتی است که موضوع مطالعه حاضر بوده بطوریکه تلاش شد تا اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق خانگی با رویکرد اقتصادسنجی طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۷ برآورد شود.

برای نیل به اهداف تحقیق از دو مدل خطی و آستانه‌ای استفاده گردید. نتایج مربوط به هر دو مدل نشان دادند که رابطه بین مصرف برق با قیمت برق در بخش خانگی ایران منفی بوده و رابطه بین مصرف برق با درآمد مثبت و قوی است. علاوه بر قیمت و درآمد، متغیرهای دیگری نیز بر مصرف برق خانگی موثرند که نتایج مقاله نشان دادند که تاثیر متغیرهای «نیاز به سرمایه‌اش» و «بعد خانوار» بر مصرف برق خانگی به ترتیب مثبت و منفی بوده اما ضرایب برآورد شده ارقام کوچکی هستند که نشان از تاثیر ضعیف این متغیرها بر مصرف برق خانگی دارد. همچنین تاثیر متغیر «نیاز به گرمایش» بر مصرف برق بی‌معنی است. نتایج برآورد اثر بازگشتی نشان می‌دهند که در مدل خطی، اثر بازگشتی مستقیم مربوط به مصرف برق خانگی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷ بطور متوسط برابر با ۸۱ درصد بوده است اما در مدل آستانه‌ای، اولاً افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه و افزایش در نیاز به سرمایه‌اش باعث افزایش اثر بازگشتی مستقیم می‌شوند ثانیاً متوسط اثر بازگشتی مستقیم مصرف برق طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷، در رژیم درآمدی پایین (بالا) برابر با ۶۸ درصد (۷۶ درصد) است همچنین اثر بازگشتی مستقیم در رژیم نیاز به سرمایه‌اش پایین (بالا) برابر با ۷۹ درصد (۸۳ درصد) است.

نتایج مقاله حاضر می‌توانند از یکسو یاری‌رسان مدیران و برنامه‌ریزان به لحاظ توجه به تاثیر اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی و در سطح ملی باشند و از سوی دیگر می‌توانند کمک کنند تا مدیران و برنامه‌ریزان، صرفه‌جویی برق ناشی از سیاست‌های بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی کشور را بیش از حد برآورد نکنند. وجود هرگونه بیش‌برآوردی یا عدم برآورد صحیح در میزان صرفه‌جویی مصرف برق ناشی از بهبود کارایی این حامل انرژی، باعث می‌شود تا نتایج حاصل از سیاست‌های مد نظر سیاست‌گذاران نسبت به نتایج حاصل شده انحراف داشته باشد که مترادف اتلاف منابع است.

فهرست منابع

۱. اسماعیل‌نیا، علی‌اصغر، و اختیاری، سارا (۱۳۹۱). بررسی میزان اثرات بازگشتی بهبود راندمان خودروها بر مصرف سوخت. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۹(۳۴)، ۱۸۵-۲۱۳.
۲. امام‌وردی، قدرت‌اله، کریمی، مجتبی، و صادقی، هلن (۱۳۹۶). بررسی آستانه‌ای و نامتقارن نسبت اهرمی بر سودآوری شرکت‌های فعال در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۱۱(۳۹)، ۵۷-۸۱.
۳. وبسایت بانک مرکزی ایران، آمار و داده‌ها (www.cbi.ir)
۴. ترازنامه انرژی (۱۳۹۴). وزارت نیرو.
۵. منظور، داود، آقابابائی، محمد ابراهیم، و حقیقی، ایمان (۱۳۸۹). تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصارف برق در ایران: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۸(۲۸)، ۱-۲۳.
۶. دل‌انگیزان، سهراب، خانزادی، آزاد، و حیدریان، مریم (۱۳۹۶). برآورد و تحلیل اثرات بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارایی مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۶(۲۱)، ۱۴۹-۱۸۲.
۷. خوشکلام خسروشاهی، موسی، جهانگرد، اسفندیار، و عابدیان، مریم (۱۳۹۴). بهبود کارایی مصرف بنزین و اثرات بازگشتی ناشی از آن در فعالیت‌های مختلف اقتصادی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۲(۴۴)، ۳۷-۶۳.
۸. خوشکلام خسروشاهی، موسی (۱۳۹۶). بررسی آثار اقتصادی بکارگیری سیاست‌های غیرقیمتی در مصرف حامل‌های انرژی. *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۸(۲۹)، ۳۷-۷۲.
۹. سالم، علی‌اصغر، و اکبری، مهدی (۱۳۹۶). برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف برق در بخش خانگی مناطق شهری ایران. *اقتصاد انرژی ایران*، ۶(۲۲)، ۴۵-۷۴.
1. Allan, G., Hanley, N., McGregor, P., Swales, K., and Turner, K. (2007). The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom. *Energy Economics*, 29, 779-798.
2. Ang, B., Goh, T., and Liu, X. (1992). Residential electricity demand in Singapore. *Energy*, 17, 37-46.
3. Belaid, F., Bakaloglou, S., and Roubaud, D. (2018). Direct rebound effect of residential gas demand: Empirical evidence from France. *Energy Policy*, 115, 23° 31.
4. Berkhout, P., Muskens, J., and Velthuisen, J. (2000). Defining the Rebound Effect. *Energy Policy*, 28, 425-432.
5. Bessec, M., and Fouquau, J. (2008). The non-linear link between electricity consumption and temperature in Europe: a threshold panel approach. *Energy Economics*, 30, 2705-2721.
6. Carcedo, J., and Otero, J. (2005). Modeling the non-linear response of Spanish electricity demand to temperature variations. *Energy Economics*, 27, 477-494.
7. Delangizan, S., Khanzadi, A., and Heidarian, M. (2017). Estimation and Analysis of Direct Rebound Effects Caused by Improving Fuel

- Consumption Efficiency in Iran's Road Transportation Sector. *Quarterly Journal of Applied Economic Studies of Iran*, 6(21), 149-182 (In Persian).
8. Dimitropoulos, J., and Sorrell, S. (2006). The rebound effect: microeconomic definitions, extensions and limitations. *In Proceedings of the 29th IAEE International Conference*, Potsdam, Germany.
 9. Duncan, R. (2015). A Threshold Model of the US Current Account. *Economic Modeling*, 48, 270-280.
 10. Esmailnia, A., and Ekhtyari, S. (2012). Investigating the Rebound Effects of Improving Vehicle Efficiency on Fuel Consumption. *Quarterly Journal of Energy Economics*, 9(34), 185-213 (In Persian).
 11. Emamverdi, G., Karimi, M., and Sadeghi, H. (2017). Threshold and asymmetric analysis of leverage ratio on profitability of active companies in Tehran Stock Exchange. *Financial Economics*, 39, 57-81 (In Persian).
 12. Energy Balance (2015). Ministry of Power (In Persian).
 13. Hansen, B. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93, 345-368.
 14. <http://www.tavanir.org.ir/>
 15. <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>
 16. Khoshkalam Khosroshahi, M., Jahangard, E., and Abedian, M. (2015). Improving the efficiency of gasoline consumption and its Rebound effects in various economic activities. *Quarterly Journal of Energy Economics*, 12(44), 37-63 (In Persian).
 17. Khoshkalam Khosroshahi, M. (2017). Investigating Economic Effects of Application of Non-Price Policies on the Consumption of Energy Carriers. *Quarterly Journal of Economic Modeling Research*, 8(29), 37-72 (In Persian).
 18. Lam, J. (1998). Climatic and economic influences on residential electricity consumption. *Energy Conversion and Management*, 39, 623-629.
 19. Lin, B., and Li, J. (2014). The rebound effect for heavy industry: Empirical evidence from China. *Energy Policy*, 74(C), 589-599.
 20. Lu, Y., Liu, Y., and Zhou, M. (2016). Rebound effect of improved energy efficiency for different energy types: A general equilibrium analysis for China. *CAMA Working Paper* 38/2016.
 21. Manzoor, D., Aghababaie, E., and Hagigi, I. (2010). Analysis of the Rebound Effects Caused by Improving Efficiency in Electricity Consumption in Iran: A Computable General Balance Model. *Quarterly Journal of Energy Economics*, 8(28), 1-23 (In Persian).
 22. Salem, A., and Akaberi, M. (2017). Estimating the direct rebound effect of improving the efficiency of power consumption in the residential sector of the urban areas of Iran. *Journal of Energy Economics of Iran*, 6(22), 45-74 (In Persian).
 23. Saunders, H. (1992). The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal*, 13(4), 131.
 24. Sorrell, S. (2007). UKERC review of evidence for the rebound effect.
 25. Sorrell, S., Dimitropoulos, J., and Sommerville, M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy*, 37, 1356-1371.
 26. Central Bank of Iran, Time series databank.

27. Thomas, B., and Azevedo, I. (2013). Estimating direct and indirect rebound effects for U.S. households with input° output analysis. Part 2: Simulation. *Ecological Economics*, 86, 188-198.
28. Wangpattarapong, K., Maneewan, S., Ketjoy, N., and Rakwichian, W. (2008). The impacts of climatic and economic factors on residential electricity consumption of Bangkok Metropolis. *Energy Buildings*, 40, 1419-1425.
29. Wei, T., and Liu, Y. (2017). Estimation of global rebound effect caused by energy efficiency improvement. *Energy Economics*, 66, 27-34.
30. Zhang, M., Song, Y., Li, P., and Li, H. (2016). Study on affecting factors of residential energy consumption in urban and rural Jiangsu. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 330-337.

