فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال پنجم/ شماره ۴/ زمستان ۱۳۹۷/ صفحات ۱۹۶-۱۷۳

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

روح‌اله 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 کارائی 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 سرمایش 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 سرمایش کمتر از (بیشتر از) ۶/۹۰ درجه سانتی گراد برابر با ۷۹ درصد (۸۳ درصد) است (ج) افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایش 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 کارائی 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 کارائی وسایل مصرف‌کننده برق در دهه‌های گذشته، بجای کاهش مصرف برق، افزایش در مصرف برق رخ داده است؟ یک پاسخ در امکان وجود اثر بازگشتی[1] است بطوریکه اثرگذاری بهبود کارائی بر صرفه‌جویی انرژی به اندازه مورد انتظار نبوده و اندکی بازگشت در مصرف انرژی وجود دارد (سورل و همکاران[2]، ۲۰۰۹). مصرف برق خانگی عمدتاً مربوط به وسایل خانگی از قبیل تهویه هوا، ماشین لباسشویی، وسایل روشنایی، کامپیوتر و ... است هنگامیکه بهبود در کارائی 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، کارائی 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 کارائی 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 بهره برده‌اند، متمرکز بر روش آستانه‌ای[3] 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[1] (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 می گردد. در بخش بعد 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 کارائی وسایل مصرف‌کننده انرژی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، اما در ادبیات اقتصاد انرژی بحث گسترده‌ای در مورد اثرات واقعی بهبود کارائی وجود دارد که مربوط به اثر بازگشتی است. منشا ایجاد اثر بازگشتی، از یکسو مربوط به کاهش قیمت های موثر انرژی در نتیجه بهبود کارائی بوده و از سوی دیگر مربوط به ایجاد اثرات جانشینی، 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. گرینینق و همکاران[2] (۲۰۰۰)، اثرات بازگشتی را به دو دسته اثرات بازگشتی مستقیم[3] و اثرات بازگشتی غیرمستقیم[4] تقسیم‌بندی می‌کنند. اثرات بازگشتی مستقیم، ابتدا توسط خازوم[5] در سال ۱۹۸۰ مطرح شده و از آن زمان مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت (خوشکلام خسروشاهی و همکاران[6]، 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] Khazzoom
[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 فرآهم 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 بیشترِ 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[1]، 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 کارائی باعث افزایش مصرف انرژی نیز شده است که این حالت را اثر معکوس[2] گویند. اگر اثر بازگشتی بین صفر و ۱۰۰ درصد باشد یعنی کاهش نهایی در تقاضای انرژی کمتر از میزان کاهش انتظاری اولیه می باشد 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.

[1] Esmailnia and Ekhtyari (2012)
[2] 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 کارائی انرژی انتظار می‌رود تا ذخیره انرژی[1] ایجاد گردد اما آنچه در واقعیت و بدنبال بهبود کارائی انرژی رخ می‌دهد عبارت از ذخیره انرژی به مقدار واقعی[2] است که لزوماً با ذخیره انتظاری انرژی مطابقت ندارد. بنابراین اثر بازگشتی را می‌توان به کمک رابطه $\mathrm{RE} = \frac{\mathrm{Expected-Actual}}{\mathrm{Expected}} * 100$ اندازه‌گیری کرد.

۳-۱- اثر بازگشتی مستقیم

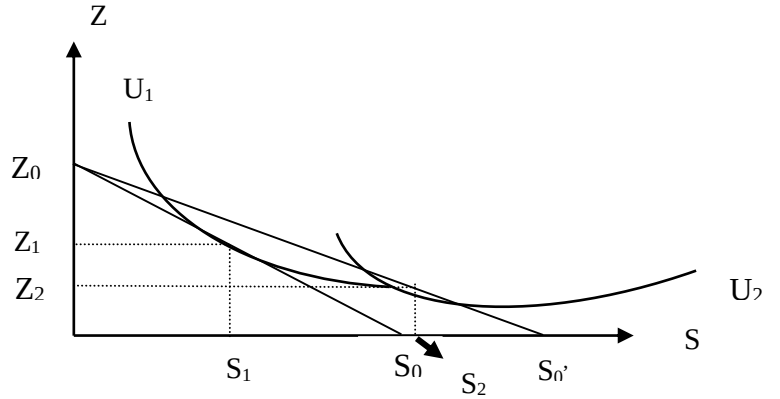
با فرض اینکه مصرف‌کنندگان دارای رفتاری عقلایی بوده و دارای اطلاعات کامل باشند آنگاه اثر بازگشتی مستقیم را می توان در چارچوب ساده نئوکلاسیکی بیان کرد. فرض شود که مطلوبیت، ناشی از مصرف انواع کالاها و خدمات از جمله خدمات انرژی (ES)[3] بوده و خدمات انرژی از ترکیب انرژی (E) و سیستم‌های انرژی (وسایل تبدیل 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، فرآهم آورنده خدمت کاملی از انرژی است ($ES=f(S,A)$).

کارائی انرژی (ε) مربوط به یک سیستم انرژی، از نسبت کار مفید به نهاده انرژی حاصل می‌شود ($\varepsilon = \frac{S}{E}$) هزینه انرژی مربوط به کار مفید (P_S) نیز از نسبت $\mathrm{Ps} = \frac{P_E}{\varepsilon}$ 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 کارائی 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

هزینـه ها و خواص خدمت انرژی ثابت هســـتند. بهبود کارائی انرژی عاملی برای کاهش هزینه انرژی کار مفید (P_S) و همچنین قیمت موثر کار مفید است از اینرو شاید انتظار بر این باشـــد که مصـــرف کار مفید افزایش پیدا کند. عکس‌العمل به این کاهش در قیمت موثر انرژی را می‌توان بصـورت نموداری و با اسـتفاده از منحنی‌های بی‌تفاوتی نشان داد. این منحنی‌ها نشـــان‌دهنده مصـــرف ترکیب‌های متفاوتی از کالاها/خدمات هســـتند که مصـــرف‌کنندگان در آن ترکیب از کالاها/خدمات بی‌تفاوتند. در نمودار (۱) منحنی‌های U_1وU_2 نشـان‌دهنده منحنی‌های بی‌تفاوتی بین مصرف کار مفید مربوط به نوع خاصی از انرژی (S) و مصـــرف ســـایر کالاها یا خدمات (Z) اســـت. در ابتدا فرض می‌شـــود که مصـــرف‌کننده کل درآمد (Y) خود را برای دو کالای S و Z هزینه کرده و هزینه‌های غیرانرژی مربوط به خدمات انرژی صـــفر باشـــد. خط S_0-Z_0 نشـــان‌دهنده قید بودجه مصـرف‌کننده (Y) اسـت. اگر PS نشان‌دهنده هزینه انرژی مربوط به یک واحد کار مفید و P_Z قیمـت یک واحد از ســـایر کالاها و خدمات باشـــد، معادله قید بودجه را می‌توان بصورت $Y \geq P_sS_0 + P_ZZ_0$ 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

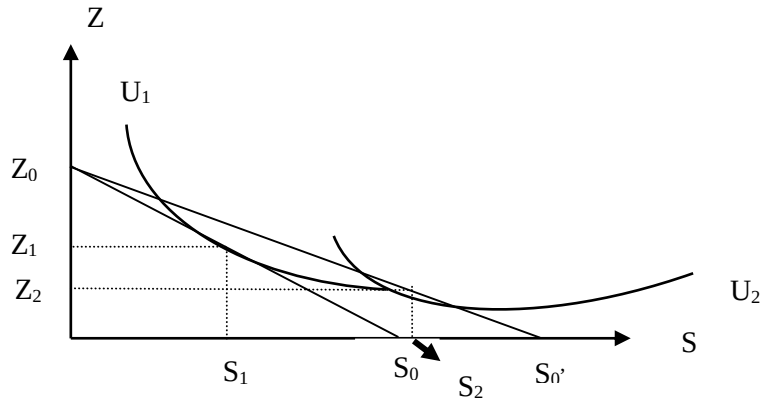
فرض شـــود که E(s) مقدار مصـــرف انرژی توأم با مقدار s از کار مفید بوده (برای y>x داریم E(y)>E(x)) و سـطح اولیه مصـرف انرژی $E(s_1)$ باشد. حال اگر بهبود برونزایی در کـارائی وســـیلـه تبـدیل‌کننده انرژی رخ دهد (مثل بهبود کارائی یک یخچال[1]).بنابراین

[1] قابل ذکر است که بهبود کارائی بدون در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به آن است. به عبارت دیگر، بهبود کارائی 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 کارائی از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$ENG = \frac{E(S_1) - E^*(S_1)}{E(S_1)} * 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، درصد ذخیره انرژی بیش از درصد واقعی ذخیره انرژی برآورد شده است زیرا فرض شده که بدنبال بهبود کارائی انرژی، مصرف کار مفید (s) بدون تغییر بوده است. اگر قیمت‌های اسمی کالاهای انرژی بدون تغییر باشند، بهبود کارائی انرژی باعث کاهش قیمت موثر کار مفید شده ($\acute{P}_S < P_S$) و لذا هم مصرف کار مفید و هم مطلوبیت افزایش خواهند یافت. با توجه به نمودار (۲) چنانچه مصرف‌کننده کل بودجه خود را برای کار مفید هزینه کند، قادر به مصرف مقدار بیشتری ($\acute{S}_0$) خواهد بود. این رویداد با جابه‌جایی خط بودجه از Z0-S0 به $Z_0 - \acute{S}_0$ نشان داده شده است. در اصطلاح، درآمد واقعی مصرف‌کننده افزایش یافته در حالیکه درآمد اسمی‌وی 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 نشان‌دهنده 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 مصرف‌کننده سطح بالاتری از مطلوبیت ($U_2>U_1$) را بدست آورده است.



نمودار (۲): تغییر مصرف بدنبال بهبود کارائی انرژی

منبع: سورل، ۲۰۰۷

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

$$ACT = \frac{E(S_1) - E^*(S_2)}{E(S_1)} * 100 \qquad (۲)$$

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 کارائی انرژی شاید باعث افزایش و شاید باعث کاهش مصرف انرژی شود لذا اثر بازگشتی مستقیم (REB_d) را می‌توان بصورت رابطه (۳) نوشت:

$$REB_d = \frac{ENG-ACT}{ENG} * 100 \quad (۳)$$

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[1]، ۲۰۰۷).

$$REB_d = \frac{(E(S_1)-E^*(S_1))-(E(S_1)-E^*(S_2))}{E(S_1)-E^*(S_1)} * 100 \quad (۴)$$

$$REB_d = \frac{(E^*(S_2)-E^*(S_1))}{E(S_1)-E^*(S_1)} * 100 \quad (۵)$$

۳-۲- اندازه‌گیری اثر بازگشتی مستقیم

دو رویکرد متفاوت برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم ناشی از بهبود کارائی 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[2] (۱۹۹۲) رایج‌ترین تعریف از اثر بازگشتی مستقیم برای یک خدمت خاص انرژی را بصورت زیر بیان می‌کند:

$$\vartheta_\varepsilon(E) = \vartheta_\varepsilon(S) - 1 \quad (۶)$$

که در آن $\vartheta_\varepsilon(E)$ کشش کارایی تقاضا برای انرژی، $\vartheta_\varepsilon(S)$ کشش کارایی تقاضا برای کار مفید (یک خدمت خاص انرژی) و ε بهبود برونزا در کارائی انرژی است.در این رابطه، $\vartheta_\varepsilon(S)$ به عنوان اندازه اثر بازگشتی مستقیم در نظر گرفته می‌شود. بنابراین زمانیکه $\vartheta_\varepsilon(S) = 0$ 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[1] (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.

$$\vartheta_\varepsilon(E) = -\vartheta_{P_S}(S) - 1 \qquad (۷)$$

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 کارائی مشابه است ثانیاً کارائی انرژی متاثر از تغییرات در قیمت‌های انرژی نیست. محققان بسیاری از رابطه (۷) برای برآورد اثر بازگشتی مستقیم استفاده کرده اندو 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[2] (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:

$$\vartheta_\varepsilon(E) = -\vartheta_{P_E}(E) - 1 \qquad (۸)$$

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[3] (۲۰۰۷) در مطالعه خود با رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه به ارزیابی تاثیر افزایش کارائی انرژی در بخش صنعت انگلستان پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که بهبود کارائی 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[1] (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 آزودو[2] (۲۰۱۳) با بکارگیری تکنیک داده ستانده در سال ۲۰۰۴ به برآورد اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارائی مصرف انرژی مسکونی در ایالت متحده پرداختند. نتایج نشان می دهند که اثر بازگشتی حدود ۳۵ درصد است. لین و لی[3] (۲۰۱۴) اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارائی انرژی در صنایع سنگین کشور چین را بررسی کرده و نشان دادند کهاثر بازگشتی در صنایع سنگین این کشور حدود ۷۴ درصد است. لو، لیو و ژو[4] (۲۰۱۶) اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارائی انواع حامل‌های انرژی در چین را با استفاده مدل تعادل عمومی قابل محاسبه بررسی کرده و نشان دادند که بهبود کارائی انرژی مربوط به برق دارای بیشترین اثر مثبت بر تولید ناخالص داخلی در بین تمامی حامل های انرژی است. وی و لیو[5] (۲۰۱۷) اثر بازگشتی و کاهش آلودگی ناشی از بهبود کارائی انرژی در سطح جهانی را در چارچوب مدل CGE بررسی کرده و نتیجه گرفتند که اثر بازگشتی ناشی از بهبود کارائی حدود ۷۰ درصد و انتشار آلودگی نیز حدود ۹۰ درصد خواهد بود. بلاید و همکاران[6] (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 کوتاه‌مدت 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 گرفته‌اند که ۱۰ درصد بهبود کارائی 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 ۱۳۸۸-۱۳۵۵ 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 کارائی مصرف بنزین در بخش های مختلف اقتصادی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که بهبود ۵ درصدی کارائی 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[1] (سانتی‌گراد)،نیاز به گرمایش[2] (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.

$$CDD = \sum_{j=1}^{nd} \max(0, t_j - T_C) \quad , \quad T_C = 21^0C \qquad (۹)$$

$$HDD = \sum_{j=1}^{nd} \max(0, T_H - t_j) \quad , \quad T_H = 18^0C \qquad (۱۰)$$

[1] Cooling Degree Days (CDD)
[2] Heating Degree Days (HDD)

nd تعداد روزها، CDD نیاز به سرمایش به درجه – روز، t_j میانگین دمای روزاام 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 تفاضل های میانگین های روزانه دما از آستانه معین هستند. دماهای آستانه با توجه به شرایط، اعداد متفاوتی می توانند 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 سانتی گراد در نظر گرفته شده اند (کارسدو و اترو[1]، ۲۰۰۵). داده های 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[2] (۱۹۹۲)، لم[3] (۱۹۹۸) و ژانق و همکاران[4] (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 وانگپاتارپونگ و همکاران[5] (۲۰۰۸) تایید شده است. برخی مطالعات همانند بسک و فوگو[6] (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

$$LnE_t = \beta_0 + \beta_1 LnP_{Et} + \beta_2 LnPGDP_t + \beta_3 LnCDD_t + \beta_4 LnHDD_t + \beta_5 Lfsize_t + U_t \quad (۱۱)$$

که در آن E_t، P_{Et}، $PGDP_t$، CDD_t، HDD_t و $Lfsize_t$ به ترتیب مصرف برق خانگی سرانه، قیمت برق خانگی به قیمت ثابت، تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت، نیاز به سرمایش، نیاز به گرمایش و بُعد خانوار در سال t هستند. کلیه متغیرها بصورت لگاریتمی در مورد بکار رفته اند. در این رابطه، β_1- برآورد اثر بازگشتی مستقیم برای مصرف برق خانگی است. علاوه بر مدل خطی فوق الذکر، 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 (امامویردی و همکاران[1]، 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.

$$LnE_t = \alpha_0 + \alpha_1 LnP_{Et} I(q_t \le \gamma) + \alpha_2 LnP_{Et} I(q_t > \gamma) + \alpha_3 LnPGDP_t + \alpha_4 LnCDD_t + \alpha_5 LnHDD_t + \alpha_6 Lfsize_t + v_t \quad (۱۲)$$

در این رابطه، q_t نشان‌دهنده متغیر آستانه، γ مقدار متغیر آستانه و $I(.)$ 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[1] اســت. ســایر متغیرها نیز در ذیل معادله (۱۱) تبیین شــدند. مشاهدات بر اساس اینکه متغیر آستانه q_t کمتر یا بیشتر از γ آستانه‌ای است، به دو رژیم تقسیم می‌شوند که توسط تفاوت شیب‌های رگرسیون (α_1 وα_2) مشخص می‌شوند.

۶- تخمین مدل

پیش از تخمین مــدل لازم اســـت تــا آزمون مــانــایی متغیرهــا انجــام گیرد. جدول (۱) نشــان دهنده نتایج آزمون مانایی متغیرها در دو حالت با لحاظ شکست ساختاری و بدون لحاظ شکست ساختاری بوده و ملاحظه می گردد که همه متغیرها در سطح اطمینان ۱۰ درصــد مانا هســتند. 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

شرح	LnE	LnP	LnPGDP	LnCDD	LnHDD	Lfsize
آزمون ریشه واحد با لحاظ شکست ساختاری						
انتخاب نقطه شکست	Dickey Fuller min-t	Dickey Fuller min-t	Dickey Fuller min-t	Dickey Fuller min-t	Dickey Fuller min-t	Dickey Fuller min-t
آماره آزمون ADF[2]	-۶/۲۸ (۰/۰۱)	-۴/۱۱ (۰/۰۲)	-۴/۹۲ (۰/۰۴)	-۵/۰۸ (۰/۰۲)	-۶/۲۵ (۰/۰۱)	-۱/۸۶ (۰/۰۸)
درجه مانایی	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)
آزمون ریشه واحد بدون لحاظ شکست ساختاری						
آماره آزمون KPSS[3]	۰/۱۸۳ (۰/۱۱)	۰/۱۷۴ (۰/۱۰)	۰/۱۸۲ (۰/۱۱)	۰/۰۶۰ (۰/۱۲)	۰/۰۹۷ (۰/۱۱)	۰/۱۹۳ (۰/۱۲)
درجه مانایی	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)	I (0)

توضیح: اعداد داخل پرانتز بیانگر سطح احتمال هستند.

منبع: یافته‌های تحقیق

[1] قیمت برق خانگی بر اساس شاخص قیمت مصرف‌کننده (۱۰۰=۱۳۹۰) به قیمت ثابت تبدیل شده است.

[2] Augmented Dickey-Fuller (ADF)

[3] 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)[1]، مجموع مجذور خطا (SSR)[2]، آماره آزمون نرمال بودن پسماندها[3]، آماره آزمون خودهمبستگی بروش گادفری[4] و آماره آزمون RESET[5] برای بررسی تصریح صحیح مدل است. با توجه به نتایج ملاحظه می گردد 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	DW	۱/۶۵
F-Statistic	۱۰۰/۸۱	Prob (F-Statistic)	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

بـا توجـه به نتایج جدول (۲) ملاحظه می گردد که در مدل خطی، اولاً کشـــش قیمتی تقاضـا و کشـش درآمدی تقاضـا به ترتیب برابر با ۰/۸۱- و ۰/۹۷ درصـد هسـتند. این ضـــرایب نشـــان می‌دهند که ۱ درصـــد افزایش در قیمت برق و درآمد خانوارها، باعث می‌شـوند تا مصرف برق به ترتیب معادل ۰/۸۱ درصد کاهش و ۰/۹۷ درصد افزایش یابد. همچنین کشـش درآمدی حاکی از آن است که برق کالایی ضروری است. ضریب مربوط به «نیاز به سرمایش» برابر با ۰/۰۴ بوده و به این معنی است که به ازای ۱ درصد افزایش در نیاز به سـرمایش، ۰/۰۴ درصد مصرف برق افزایش می یابد ضمن اینکه ضریب مربوط به «نیاز به گرمایش» بی‌معنی اسـت لذا تقاضـای برق خانگی در ایران متناسب با نیاز به گرمایش نیســـت. ضـــریب مربوط به بُعد خانوار مطابق انتظار منفی و معنی‌دار اســـت. با توجه به اینکه بزرگتر شـدن بُعد خانوار به معنی ساکن شدن تعداد افراد بیشتری در یک خانه اســـت لذا مطابق انتظار با بزرگتر شـــدن بُعد خانوار مصـــرف برق در ســـطح کلان[1] کاهش می‌یابد. ثانیاً اثر بازگشـتی مسـتقیم در مصرف برق خانگی وجود داشته بطوریکه متوسـط مقدار اثر بازگشـتی مستقیم برای مصرف برق خانگی در ایران برای دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۵۷ برابر با ۸۱ درصـد اسـت بنابراین، هنگامیکه کارائی وسـایل مصـرف‌کننده برق بهبود یابد آنگاه ۸۱ درصد از ذخیره انتظاری برق بواسطه مصرف اضافی برق (نشات گرفته از بهبود کارائی) خنثی می‌شـود و تنها ۱۹ درصـد از ذخیره انتظاری برق حاصـل می‌شـود. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌گردد که کلیه معیارهای تشخیصی مربوط به برآورد مدل خطی رضایت‌بخش هستند.

مقایســه نتایج حاصـل از برآورد مدل خطی با سـایر مطالعاتی که در داخل کشـور انجام شـده‌اند حاکی از سـازگاری 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 مصـرف برق در بخش خانگی ایران حدود ۸۱ درصد برآورد شده است در حالیکه سایر مطالعات داخلی از قبیل منظور و همکاران (۱۳۸۹)، خوشـکلام خسـروشاهی (۱۳۹۶) و سـالم و همکاران (۱۳۹۶) نیز ضمن تایید وجود اثر بازگشتی مصرف برق در ایران، اعداد متفـاوتی را برای اثر بـازگشـــتی برآورد کرده‌انـد کـه دلیل آن نیز ناشـــی از بکارگیری روش‌های متفاوت و دوره‌های زمانی متفاوت اسـت. قابل ذکر است که همانند بسیاری از

[1] 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 کارائی 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

متغیرآستانه	مجموع مربعات خطا
تولید ناخالص داخلی سرانه	۰/۰۵
نیاز به سرمایش	۰/۰۷
نیاز به گرمایش	۰/۸۶
بُعد خانوار	۱/۱۲

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به مطالعات مختلف از قبیل کارسدو و اوترو (۲۰۰۵) و ژانق و پنق[1] (۲۰۱۶) متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه و نیاز به سرمایش به عنوان متغیرهای آستانه انتخاب شده‌اند. در تایید انتخاب صحیح متغیرهای آستانه و به تبعیت از مطالعه دانکن[2] (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 سرمایش به عنوان متغیرهای آستانه‌ای، کمترین مقادیر برای SSR محاسبه شده‌اند.

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

[1] Zhang and Peng
[2] Duncan

متغیر آستانه انتخاب می‌شود که تخمین متناظر با آن، از کمترین SSR برخوردار باشد. مجموع مجذورات خطا به ازای γهای مختلف از رابطه $S_1(\gamma) = \hat{e}^*(\gamma)\hat{e}^*(\gamma)$ بدست آمده و مقدار متغیر آستانه نیز از رابطه $\hat{\gamma} = \text{argmin}S_1(\gamma)$ بدست می‌آید (هانسن، ۱۹۹۹). جدول (۴) نشان‌دهنده مقادیر هر کدام از متغیرهای آستانه است.

جدول (۴): مقادیر متغیرهای آستانه

متغیرآستانه	مقدار آستانه ($\hat{\gamma}$)	مقدار آستانه ($\hat{\gamma}$)
لگاریتم طبیعی تولید ناخالص داخلی سرانه (میلیارد ریال)	۹/۸۱۴	-
تولید ناخالص داخلی سرانه (میلیارد ریال)	-	۱۸۲۹۰
لگاریتم نیاز به سرمایش (درجه سانتی‌گراد)	۶/۹۰	-

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 دو رژیمی بودن مدل آستانه است. دورژیمی 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

*: معنی‌دار 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***
$LnP * I(LnPGDP \leq 9.814)$	-۰/۶۸***	-
$LnP * I(LnPGDP > 9.814)$	-۰/۷۶***	-
$LnP * I(LnCDD \leq 6.90)$	-	-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 رژیم های متفاوت متغیرهای آستانه برآورد می شوند. 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 سرمایش و بُعد 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 می باشد 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 می باشد. 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 سرمایش» است، ملاحظه می‌گردد که کاهش در نیاز به سرمایش، 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 سرمایش 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) می توان 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 زیست محیطی 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

کشـــور حاکی از آن اســـت که با بهبود کارائی مصـــرف برق می‌توان تا حدود زیادی در مصـــرف برق بخش خانگی صـــرفه‌جوئی کرد. اما بحث توام با بهبود کارائی مصـــرف برق، مربوط به اثر بازگشـــتی اســـت که موضـــوع مطالعه حاضـــر بوده بطوریکه تلاش شـــد تا اثر بازگشـــتی 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 آســـتانه‌ای استفاده گردید. نتایج مربوط به هر دو مدل نشـــان دادند که رابطه بین مصـــرف 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 مصـــرف برق خانگی موثرند که نتایج مقاله نشان دادند که تاثیر متغیرهای «نیاز به ســـرمایش» و «بُعد خانوار» بر مصـــرف برق خانگی به ترتیب مثبت و منفی بوده اما ضـــرایب برآورد شـــده ارقام کوچکی هســـتند که نشـــان از تاثیر ضعیف این متغیرها بر مصـــرف برق خانگی دارد. همچنین تاثیر متغیر «نیاز به گرمایش» بر مصـــرف برق بی‌معنی اســـت. نتایج برآورد اثر بازگشـــتی نشـــان می‌دهند که در مدل خطی، اثر بازگشـــتی مســـتقیم مربوط به مصـــرف برق خانگی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷ بطور متوسط برابر با ۸۱ درصـــد بوده اســـت اما در مدل آستانه‌ای، اولاً افزایش در تولید ناخالص داخلی ســـرانه و افزایش در نیاز به ســـرمایش باعث افزایش اثر بازگشـــتی مســـتقیم می‌شوند ثانیاً متوســـط اثر بازگشـــتی مســـتقیم مصـــرف برق طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۷، در رژیم درآمدی پایین (بالا) برابر با ۶۸ درصـــد (۷۶ درصـــد) است همچنین اثر بازگشتی مستقیم در رژیم نیاز به سرمایش پایین (بالا) برابر با ۷۹ درصد (۸۳ درصد) است.

نتایج مقاله حاضـــر می توانند از یکســـو یاری‌رسان مدیران و برنامه‌ریزان به لحاظ توجه به تاثیر اثرات بازگشـــتی ناشی از بهبود کارائی مصرف برق در بخش خانگی و در سطح ملی باشـــند و از ســـوی دیگر می‌توانند کمک کنند تا مدیران و برنامه‌ریزان، صـــرفه‌جویی برق ناشـــی از ســـیاســـت‌های بهبود کارائی مصـــرف برق در بخش خانگی کشور را بیش از حد برآورد نکنند. وجود هرگونه بیش‌برآوردی یا عدم برآورد صـــحیح در میزان صـــرفه‌جویی مصـــرف برق ناشـــی از بهبود کارائی این حامل انرژی، باعث می‌شـــود تا نتایج حاصـــل از ســـیاســـت‌های مد نظر سیاست‌گذاران نسبت به نتایج حاصل‌شده 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 کارائی در مصارف برق در ایران: الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۸(۲۸)، ۱-۲۳.

۶. دل انگیزان، 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 کارائی 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 سیاست های غیرقیمتی در مصرف حامل‌های انرژی. *تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، ۸(۲۹)، ۳۷-۷۲.

۹. سالم، علی اصغر، و اکابری، 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 Velthuijsen, 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. F*inancial 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.