پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال چهارم، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۱۶-۸۹

ارزیابی کارایی انرژی در بخش خانگی استان‌های کشور

جعفر حقیقت[۱]، محمد صالح انصاری لاری[۲]، پویان کیانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده:

در این مطالعه علاوه بر تخمین کارایی انرژی بخش خانگی استان‌های کشور به بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی بخش خانگی در ایران و برآورد تابع تقاضای انرژی این بخش پرداخته می‌شود. این مقاله کارایی انرژی بخش خانگی در ۲۸ استان کشور را اندازه‌گیری خواهد کرد. مصرف انرژی (شامل گاز طبیعی، برق، نفت سفید و نفت گاز) بخش خانگی استان‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۱ با استفاده از روش مرزی تصادفی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی نسبت به قیمت بسیار کم‌کشش و نسبت به سطح درآمد سرانه خانوار و جمعیت، باکشش است و با افزایش اندازه خانوار، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. همچنین استان‌های ایلام، سیستان و بلوچستان، اردبیل و بوشهر دارای کمترین کارایی انرژی بخش خانگی بین استان‌های کشور هستند. بعلاوه نتایج حاکی از این است که شاخص شدت انرژی، معیار مناسبی برای پیش‌بینی کارایی انرژی بخش خانگی کشور نیست.

طبقه‌بندی *JEL*: *N75, O13, P28, Q40*

کلمات کلیدی: مصرف انرژی، کارایی انرژی، روش مرزی تصادفی، شدت انرژی

۱- استاد اقتصاد دانشگاه تبریز
haghighat@tabrizu.ac.ir
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی (نویسنده مسئول)
Saleh.ansari.lari@gmail.com
۳- دانشجوی دکتری اقتصاد صنعتی دانشگاه تبریز
Kiani.pu@gmail.com

۱- مقدمه

از میان بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی، بخش خانگی یکی از پر مصرف‌ترین بخش‌های تقاضای انرژی است، بطوری که تقاضای انرژی مفید در بخش خانگی، بیش از یک سوم مصرف انرژی در کشور را نشان می‌دهد (ترازنامه انرژی کشور). تهیه راهکارها و خط مشی‌های سیاست‌های کارایی انرژی یکی از فعالیت‌های مهم نهادهای بین المللی فعال در بخش انرژی از جمله آژانس بین المللی انرژی[1] است (تارنمای آژانس بین‌المللی انرژی). علاوه بر این صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای هدف اصلی دولت‌ها در سراسر جهان است و البته ایران نیز از این امر مستثنی نیست. بویژه در چند سال اخیر اقدامات زیادی انجام شده است و مشوق‌های زیادی برای افزایش کارایی انرژی در نظر گرفته شده است. تبلیغات رسانه‌ای از صدا و سیما، افزایش قیمت حامل‌های انرژی و روش‌های جدید قیمت‌گذاری، تدوین مقررات استاندارد ساخت و ساز و الزام تولیدکنندگان لوازم انرژی بر به افزایش کارایی و ایجاد وبسایت‌های گوناگون، چند نمونه از کارهای انجام گرفته در چند سال اخیر برای افزایش کارایی انرژی است. می‌توان گفت این مسئله جدیدی نیست و کارایی انرژی همیشه از اهداف اصلی سیاست‌گذار انرژی بوده است.

گزارش آژانس بین المللی انرژی در سال ۱۹۹۵ اشاره می‌کند: کارایی انرژی یک جز اساسی از استراتژی هر کشور است. یکی از ماموریت‌های دانشکده‌های انرژی، کمک به کشور برای مدیریت منابع انرژی از راه افزایش کارایی انرژی است. تعریف و اندازه‌گیری کارایی انرژی برای دست یابی به این هدف ضروری است.

این پژوهش قصد دارد کارایی انرژی را تعریف کرده و بصورت آماری اندازه‌گیری کند. کارایی انرژی هر استان با روش تابع مرزی تصادفی *(SFA)*[2] بدست خواهد آمد. با آگاهی از وضعیت کارایی مصرف انرژی در بخش خانگی استان‌های کشور می‌توان

1- International Energy Agency (IEA)
2- Stochastic Frontier Approach

نهادهای مربوطه به سیاست‌گذاری در این بخش را در ارایه خدمات مناسب‌تر به خانوارها و استفاده کاراتر از منابع پایان‌پذیر و محیط زیست کمک کرد. عمده‌ترین مصارف انرژی بخش خانگی شامل برق، گاز طبیعی، نفت سفید و نفت‌گاز می‌شود. متغیرهای مورد نظر عبارت‌اند از: مصرف انرژی (گاز طبیعی، نفت سفید، نفت گاز و برق)، قیمت واقعی انرژی، جمعیت، درآمد سرانه، بعد خانوار، درجه روزهای گرم و سرد. لازم به توجه است که همه داده‌ها بصورت استانی و طی سال‌های ۱۳۸۱- ۱۳۹۰ هستند. در ادامه پیشینه تحقیق، مبانی نظری، داده‌ها و مدل، برآورد مدل، تفسیر نتایج و در نهایت نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

آیگنر، لول و اشمیت[1] (۱۹۷۷) در مقاله خود به تدوین و برآورد مدل‌های تابع تولید مرزی تصادفی، به اندازه‌گیری عملی کارایی با استفاده از تابع مرزی تصادفی پرداخته‌اند.

باتسه و کولی[2] (۱۹۹۲)، در پژوهش خود کاربرد مدل توابع مرزی تصادفی را با استفاده از داده‌های تلفیقی گسترش دادند. آن‌ها پژوهش خود را با استفاده از داده‌های ده سال کشاورزان برنج روستایی در هند بررسی کردند. نتایج نشان داد که فرض H_0 مبتنی بر تصادفی بودن ناکارایی ناشی از ویژگیهای کشاورزان، رد شد.

موریکاوا[3] (۲۰۱۲) تاثیر تراکم شهری بر شدت انرژی بخش خدمات ژاپن را بررسی کرده است. نتایج نشان داد که میزان کارایی مصرف انرژی در بخش خدمات برای شهرهایی با تراکم جمعیت بالا، بیشتر است. همچنین موقعی که تراکم جمعیت شهری دوبرابر شود، کارایی انرژی به طور تقریبی ۱۲ درصد افزایش می‌یابد.

فیلیپینی وهانت[4] (۲۰۱۲)، رابطه بین مصرف انرژی بخش خانگی ایالات متحده را با روش تابع مرزی تصادفی طی سال‌های ۲۰۰۷- ۱۹۹۵ بررسی کردند. این پژوهش کارایی انرژی بخش خانگی را برای کل آمریکا و هم برای تک تک ایالت‌ها بررسی کرده است.

1- Aigner, Lovel and Schimit
2- Battes and Colelli
3- Morikawa
4- Filippini and Hunt

همچنین رابطه عوامل تعیین کننده مصرف انرژی مانند درجه روزهای گرم و سرد، جمعیت، درآمد سرانه، قیمت واقعی حامل‌های انرژی، سهم خانه‌های ویلایی و همچنین بعد خانوار (همه بصورت استانی) و ارتباط آنها با کارایی انرژی را بررسی کردند. این پژوهش نشان داد که شاخص شدت انرژی لزوماً نماگر مناسبی برای کارایی انرژی نیست.

استرن[1] (۲۰۱۲)، به بررسی کارایی انرژی بین ۷۵ کشور طی یک دوره ۳۷ ساله پرداخت. وی در مقاله خود بوسیله تابع مرزی تصادفی و با استفاده از مدل داده‌های پانل تفاوت کارایی انرژی را بین کشورها بررسی کرد. با حداقل کردن مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید، حد مرزی تولید را تعیین کرد و کارایی نسبی هر کشور که فاصله آن کشور از مرز داده شده است؛ (یعنی نسبت مقدار واقعی انرژی مصرفی به حداقل انرژی مورد نیاز) را بدست آورد. نتایج نشان داد که کارایی انرژی در کشورهایی که بهره‌وری عوامل بالاتر، پول کم ارزش‌تر[2] و ذخایر سوخت کمتر دارند، بالاتر است. همچنین کارایی انرژی در طول زمان به سمت همگرایی بین کشورها حرکت می‌کند و در سطح جهانی عامل تکنولوژی مهم‌ترین عامل مقابله با افزایش مصرف انرژی است.

برونن، کوک و کویگلی[3] (۲۰۱۳) در پژوهش خود، آگاهی، میزان سواد و رفتار خانوارها با توجه به مخارجشان روی مصرف انرژی را بررسی کردند. در این پژوهش دانش انرژی ۱۷۲۱ خانوار هلندی سنجیده شد. نتایج حاکی از پایین بودن دانش انرژی در بین آن‌ها داشت به‌طوری که تنها ۵۶ درصد آن‌ها از صورتحساب هزینه انرژی ماهانه خود آگاهی داشتند و ۴۰ درصد خانوارها تصمیم به سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات کاراتر را مناسب نمی‌دیدند.

وافی نجار (۱۳۸۵)، تابع تقاضای کل انرژی بخش خانگی و تجاری را برای سه منطقه *OECD*، شامل آمریکای شمالی، اروپای غربی و منطقه پاسیفیک با در نظر گرفتن اثرات نامتقارن تغییرات قیمت بر تقاضا طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۰ تخمین زد. نتایج نشان داد که در

1- Stern
2- Undervalued Currencies
3- Brounen, Kok and Quogley

بلندمدت علاوه بر قیمت و درآمد، عوامل دیگری نیز بر روند تقاضای انرژی موثر بوده‌اند که یکی از این عوامل ارتقای کارایی در وسایل مصرفی انرژی است که در نتیجه استفاده از تکنولوژی‌های نوین ایجاد گردیده است. همچنین نشان داد عدم توجه به مسئله کارایی مصرف انرژی باعث ایجاد عدم تقارن در رابطه قیمت و تقاضا می‌گردد.

حکیمی‌پور و هژبر کیانی (۱۳۸۷)، در مقاله خود، کارایی صنایع بزرگ در استان‌های کشور را با روش تابع مرزی تصادفی طی سال‌های ۱۳۸۳- ۱۳۷۰ را بدست آوردند. نتایج نشان داد بالاترین میزان کارایی به خوزستان با ۷۶ درصد و پایین‌ترین مربوط به سیستان و بلوچستان با ۳۷ درصد است. استان‌های بوشهر و هرمزگان با وجود صنایع با امکانات کمتری که داشتند، دارای کارایی انرژی بیشتری در مقایسه با استان‌های برخوردار است.

نوروزی (۱۳۸۸)، تقاضای انرژی مفید بخش خانگی ایران را به تفکیک گروهای هزینه‌ای مختلف خانوار برآورد کرد. نتایج پژوهش نشان داد که تقاضای بخش گرمایش انرژی مفید (حدود ۷۰ درصد بخش تقاضا) بخش خانگی را تشکیل می‌دهد. در میان استان‌های کشور از لحاظ تقاضای انرژی مفید، تهران، خراسان رضوی و اصفهان بیشترین میزان را دارند و همچنین استان چهار محال بختیاری بیش‌ترین و استان هرمزگان کمترین تقاضای سرانه خانوار را به خود اختصاص دادند.

۳- کارایی انرژی چیست؟

تقاضای انرژی از تقاضا برای خدمات انرژی مشتق می‌شود (برای مثال: گرم کردن خانه، پخت و پز، گرمایش آب، روشنایی، حمل و نقل و ...). خانوارها و بنگاه‌ها، انرژی، سرمایه و نیروی کار را ترکیب می‌کنند تا کالای مرکب خدمات انرژی را تولید کنند. بنابراین، خدمات انرژی نیاز به فرآیند تولید دارد و می‌توان تابع تولید وابسته آن را تعریف کرد. معمولا بهبود سطح کارایی کاربرد انرژی، عبارت است از کاهش مصرف انرژی به پایین‌تر از سطحی که در آن بدون هرگونه بهبودی، مصرف انرژی صورت می‌گیرد

(سورل[1]، ۲۰۰۹). بنابراین رابطه بلندمدت بین تقاضای خدمات انرژی، تقاضای انرژی و بهبود کارایی انرژی بسیار مهم است.

البته غالبا کارایی انرژی با اثر بازگشتی[2] مورد بحث قرار می‌گیرد. زمانی که بهبود فنی در تکنولوژی ایجاد شود، انرژی کم‌تری نیاز است تا سطح معینی از خدمات انرژی تولید شود. با این حال مصرف به اندازه‌ای که پیش‌بینی شده بود کاهش نمی‌یابد و مصرف کنندگان رفتار خود را با قیمت‌های ضمنی جدید خدمات انرژی ناشی از بهبود تکنولوژی، تعدیل می‌کنند و اثر بازگشتی رخ می‌دهد. بنابراین اثر بازگشتی تعدیل منطقی نسبت به تغییر قیمت‌های ضمنی و حرکت به سمت نقطه جدید بهینه اقتصادی روی منحنی است. البته این مسئله در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرد و تمرکز اصلی بحث روی دور شدن مصرف کنندگان انرژی از موقعیت اقتصادی بهینه روی منحنی بی‌تفاوتی است (وجود ناکارایی).

قابل توجه است که اگر مصرف کنندگان انرژی و خدمات انرژی، این ناکارایی را کاهش دهند و کاراتر شوند، اثر بازگشتی می‌تواند همان نتیجه گفته شده را موجب شود و در نتیجه قیمت ضمنی خدمات انرژی کاهش می‌یابد. با این وجود، مهم افزایش کارایی اقتصادی کاربرد انرژی است (نه فقط بهبود فنی درتکنولوژی).

تعریف رایج فنی کارایی انرژی بر اساس علم ترمودینامیک است. طبق علم ترمودینامیک، نسبت مقدار گرمایی خروجی به یک ورودی انرژی را کارایی انرژی می‌نامند. در مقابل اقتصاددانان از یک تعریف ترکیبی استفاده می‌کنند. آنها نسبت یک متغیر پولی را بر یک ورودی انرژی (که با معیار ترمودینامیک محاسبه شده)، کارایی انرژی می‌نامند (هانتینگتون[3]، ۱۹۹۴). اگرچه این نسبت ساده بطور فراگیر در ادبیات اقتصاد انرژی کاربرد دارد، در اینجا تعریف دیگری که بر اساس تئوری تولیدکننده در اقتصاد خرد به کار گرفته شده است، ارائه می‌شود. اهمیت کاربرد چارچوبی که انرژی در تابع

1- Sorrell
2- Rebound Effect
3- Huntingtun

تولید بکار برده می‌شود تا خدمات انرژی تولید شود در این است که سطح کارایی انرژی به دست می‌آید.

۳-۱- شاخص‌های نسبتی

بر اساس باتاچاریا[1] (۲۰۱۱) تعریف ساده کارایی انرژی بصورت معادله (۱) است:

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{محصول مفید فرایند}}{\text{نهاده فرایند}} \qquad (۱)$$

علاوه بر این پاترسون[2] (۱۹۹۶)، روش‌های دیگری که می‌توان خروجی و ورودی این نسبت را اندازه‌گیری کرد بیان کرده است.

شاخص ترمودینامیکی: محاسبه بعضی نسبت‌های ترمودینامیک ساده و برخی مانند مصرف واقعی انرژی نسبت به یک فرآیند ایدهآل، پیچیده‌اند. مقادیر ترمودینامیکی کارایی انرژی، یک جز از تابع حالت است که در یک فرآیند منحصر به فرد اندازه‌گیری می‌شود. فرآیند باید در یک شرایط ویژه محیطی انجام گیرد (دما، فشار، غلظت، فورمول شیمیایی، گونه‌های هسته‌ای و مغناطیسی یک فرآیند تجویز شده است). بنابراین هرگونه تغییر در شرایط فیزیکی گفته شده می‌تواند نتایج را تغییر دهد. این روش اندازه‌گیری در خارج از محیط آزمایشگاهی بسیار محدود است.

شاخص ترکیبی فیزیکی- ترمودینامیکی: انرژی ورودی با شاخص‌های ترمودینامیکی و خروجی بر اساس واحدهای فیزیکی بیان می‌شود. این واحدهای فیزیکی، خدماتی است که انتظار می‌رود از این فرآیند ایجاد شود. مزیت استفاده از واحدهای فیزیکی قابل مشاهده بودن آن است به طوری که مستقیما بازتاب نیاز مصرف‌کننده در خدمات نهایی انرژی است. با این حال استفاده از این شاخص در تجزیه و تحلیل اقتصادی بسیار محدود است و همه عوامل تولید را در نظر نمی‌گیرد.

1- Bhattacharyya
2- Patterson

شاخص اقتصادی: هم ورودی و هم خروجی را بر اساس ارزش پولی آنها می‌سنجند. اما این شاخص تا به امروز برای محاسبه کارایی انرژی بکار نرفته است.

شاخص‌های اقتصادی- ترمودینامیکی: این شاخص خروجی را بر اساس ارزش روز بازار (پولی) و انرژی و ورودی بر اساس معیار متداول ترمودینامیکی اندازه‌گیری می‌کند. از این شاخص می‌توان در سطح ملی یا منطقه یا بخشی خاص استفاده کرد.

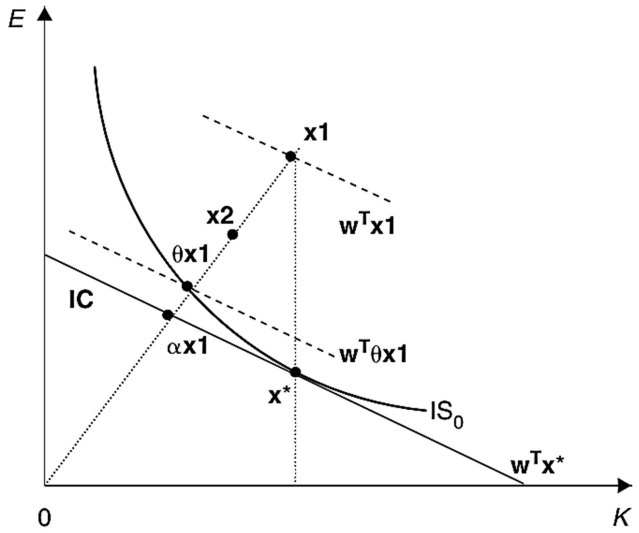
غالبا از روش چهارم برای محسبه کارایی انرژی استفاده می‌شود و این نسبت همان معکوس شاخص شدت انرژی است. کاهش در شدت انرژی به معنی کاهش در انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد از تولید ملی است. این اندازه‌گیری برای مقایسه‌های بین کشوری پیشنهاد می‌شود، چرا که تولید ناخالص ملی در یک واحد مشترک اندازه‌گیری می‌شود.

علاوه بر این تولید ناخالص داخلی نشان‌دهنده بسیاری از فعالیت‌های متنوع است که تغییرات ساختاری می‌تواند موجب تغییرات معناداری در نسبت GDP به انرژی شود. این روش نمی‌تواند شاخص خوبی برای محاسبه کارایی انرژی در جایی که انرژی به عنوان خدمات نهایی استفاده می‌شود، باشد.

۳-۲- کارایی فنی و کارایی با کابرد انرژی

در اینجا مفهوم کارایی انرژی نظریه رفتار تولید کننده در اقتصاد خرد ارائه می‌شود. بر اساس این تئوری، استفاده از اصطلاح کارایی انرژی غیر دقیق و مبهم است. در واقع برای کاهش مصرف انرژی برای تولید مقداری معین، باید سطح کارایی فنی یا کارایی تخصیصی ارتقا پیدا کند. نمودار (۱) ارائه وضعیت یک عامل اقتصادی است که از سرمایه K و انرژی E به منظور تولید خدمات انرژی[1] یا تولید y استفاده می‌کند. این وضعیت با منحنی تولید یکسان IS_0 و منحنی هزینه IC نشان داده می‌شود.

1- Energy Services



نمودار (۱)- ارائه وضعیت یک عامل اقتصادی از سرمایه K و انرژی E به منظور تولید خدمات انرژی یا تولید y

اگر عامل اقتصادی در نقطه x_0 قرار داشته باشد، از لحاظ فنی ناکارا است؛ زیرا در بالای منحنی IS_0 قرار دارد. ناکارایی فنی بوسیله فاصله نقاط x_0 و $x_1\theta$ نشان داده می‌شود، به این معنی که می‌توان بدون کاهش خروجی نسبت مقادیر نهاده را کاهش داد. کارایی فنی (θ) را می‌توان با نسبت فاصله مبدا از بردار کارای $x_1\theta$ به فاصله مبدا از بردار x_1 مشخص کرد. همچنین، نرخ قیمت نهاده با خط شیب دار wTx_1 نشان داده شده است. اگر عامل اقتصادی در نقطه x^* قرار داشته باشد، جایکه خط wTx_1 بر منحنی IS_0 مماس است، حداقل هزینه‌ها برای تولید y خط wTx_1 است. قرار گرفتن در نقطه $x_1\theta$ اگرچه از لحاظ فنی کارا است اما دارای ناکاریی تخصیصی است (به دلیل بالاتر بودن خط $wT\theta x_1$ از wTx^*). کارایی تخصیصی بوسیله نسبت فاصله مبدا از $x_1\alpha$ و فاصله مبدا از $x_1\theta$ تعریف می‌شود. کل کارایی هزینه α به عنوان نسبت فاصله مبدا از $x_1\alpha$ و فاصله مبدا از x_1 در نظرگرفته می‌شود. برای رسیدن به نقطه بهینه ترکیب نهاده‌ها، عامل اقتصادی باید نسبت کاربرد K نسبت به E را افزایش دهد.

در اینجا امکان شناسایی چند راه‌حل افزایش کارایی فنی و کاهش استفاده از انرژی در حالیکه سطح خدمات انرژی یا تولید ثابت باشد، وجود دارد:

الف) عامل اقتصادی خدمات انرژی y را در نقطه x_1^{α} تولید می‌کند. در این حالت، می‌تواند با بهبود سطح کارایی تخصیصی به نقطه بهینه x^* برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود دارد و سرمایه جایگزین انرژی شده است.

ب) عامل اقتصادی خدمات انرژی y را در نقطه x_1 تولید می‌کند. در این حالت، می‌تواند با بهبود سطح کارایی فنی به نقطه بهینه x^* برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود دارد و سرمایه جایگزین انرژی نشده است.

ج) عامل اقتصادی خدمات انرژی y را در نقطه x_2 تولید می‌کند. در این حالت نیز، می‌تواند با بهبود سطح کارایی فنی به نقطه بهینه x^* برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود خواهد داشت در حالیکه سرمایه جایگزین انرژی می‌شود.

در ادبیات اقتصاد انرژی، برخی روش‌ها برای غلبه بر مشکلات مربوط به کاربرد این نسبت ساده پولی[1] (کارایی انرژی به عنوان نسبتی از GDP) ارائه شده است. یکی از این روش‌ها روش IDA[2] است که بر اساس چارچوب پایین به بالا شاخص کارایی انرژی را ایجاد کند.

بنابراین مشخص است که سطح استفاده از انرژی برای تولید خدمات انرژی از پیش تعیین شده، در طول زمان به دلیل تغییر سطح کارایی فنی تغییر می‌کند. برای تولید سطح کارایی انرژی، می‌توان از روش تحلیل مرزی استفاده کرد که براساس تخمین تولید و تابع تقاضای تصادفی هم به روش پارامتری و هم ناپارامتری استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری ناپارامتریک، مبتنی بر تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی (DEA)[3] است و از آن جهت یک روش ناپارامتریک نامیده می‌شود که برای محاسبه مرز اندازه‌گیری کارایی، الزامی به هیچ نوع تابع خاصی نیست. به جز چند استثنا، همه روش‌های پارامتریک دارای یک جز تصادفی در

1- Monetary
2- Index Decomposition Analysis
3- Data Envelopment Analysis

تابع مرزی هستند. این گروه از روش‌ها را (*SFA*)[1] می‌نامند. تخمین تابع فاصله برای خدمات انرژی نیازمند وجود اطلاعات سرمایه و نیروی کار و انرژی است و تخمین تابع هزینه نیازمند اطلاعات قیمتی همه نهاده‌ها و تولید است. زمانی که اطلاعات اساسی وجود نداشته باشد، می‌توان تابع تقاضای مرزی تصادفی یک نهاده را تخمین زد. این روش همه محدودیت‌های نظریه تولید کننده را در نظر نمی‌گیرد، اما بصورت تقریبی تخمین تفاوت تقاضای واقعی نهاده و تقاضای مرزی نهاده را امکان پذیر می‌کند.

در اقتصاد سنجی بطور معمول توابع دارای جمله خطای نرمال دو طرفه بوده و با استفاده از روشهایی مانند حداقل مربعات معمولی قابل برآورد هستند، اما در مورد توابع مرزی تصادفی به این صورت نیست و برآورد معادله مرزی تصادفی به راحتی صورت نمیپذیرد، زیرا این توابع با خطای ترکیبی مواجه بوده و جمله خطای ترکیبی از جمله اختلال نرمال دو طرفه و یک جمله مربوط به ناکارایی فنی است که عموما دارای توزیع نیمه نرمال در نظر گرفته می‌شود (موسایی و دیگران، ۱۳۸۹). تخمین کارایی در روشهای پارامتری از سوی خطای تصریح[2] توسط متغیرهای توضیحی مورد تهدید هستند. اما به هر حال در رهیافت پارامتری امکان استنباط آماری در مورد معنیداری و یا بی‌معنی بودن مقادیر برآوردی وجود دارد (رحیمی سوره و صادقی، ۱۳۸۳).

٤- مدل مرزی تقاضای کل انرژی

کارایی انرژی آمیخته‌ای از عواملی است که در میان استان‌ها متفاوت‌اند. تفاوت در تکنولوژی وسایل مورد استفاده و تجهیزات سرمایه‌ای، مقررات مختلف و همچنین رفتارهای مختلف اجتماعی، سبک زندگی و ارزش‌ها نمونه‌ای از این عوامل هستند. بنابراین پایین بودن سطح کارایی انرژی اشاره به ناکارا بودن کاربرد انرژی دارد (مثل هدررفت انرژی). در این شرایط آگاهی از حفاظت انرژی به منظور رسیدن به تابع تقاضای بهینه انرژی باید افزایش یابد. در نتیجه برای تخمین سطح کارایی انرژی بخش خانگی،

1- Stochastic Frontier Approach
2- Specification Erors

روش تابع مرزی تصادفی که در سال ۱۹۷۷ به وسیله آیگنر[1] و همکاران معرفی شد، در این پژوهش بکار رفته است.

بطور کلی تابع مرزی تصادفی در نظریه تولید کننده برای اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی فرآیند تولید بکار رفته است. برای تابع تقاضای نهاده، تابع مرزی سطح حداقل کاربرد نهاده را در یک بنگاه یا خانواده را برای تولید سطح معینی از ستانده مشخص می‌کند. بنابراین تفاوت بین نهاده استفاده شده و تقاضای نهاده حداقل سازی شده، نشان دهنده ناکارایی است. البته این مسئله در مورد تابع تقاضای انرژی بخش خانگی نیز بکار رفته است. در اینجا مرز نشان دهنده کمترین سطح مصرف انرژی مورد نیاز برای بخش خانگی در هر سطح معین از خدمات انرژی[2] است. در واقع در اینجا هدف این است که مفهوم تابع مرزی بکار رود تا خط مبنای[3] تقاضای نهاده انرژی تخمین زده شود. به گونه‌ای که در اینجا مرز، بازتاب تقاضای انرژی بخش خانگی استانی است که تجهیزات و فرآیند تولید با کارایی بالا بکار می‌برد. روش مرزی این امکان را می‌دهد تا شناسایی شود که آیا یک استان روی مرز قرار دارد یا خیر. علاوه بر این اگر استانی روی مرز قرار نداشته باشد، فاصله اش از مرز (سطح مصرف انرژی بالاتر از خط مبنای تقاضا)، سطح ناکارایی انرژی را نشان می‌دهد. با توجه به بحث بالا رابطه تقاضای کل انرژی مسکونی طبق داده‌های تابلویی ۴[4]برای استان‌های کشور بصورت زیر در می‌آید:

(۲)

$$\ln E_{it} = E\left(P_{it}, Y_{it}, POP_{it}, AHS_{it}, HDD_{it}, CDD_{it}, EP_{it}, EF_{it}\right)$$

متغیر E_{it} مصرف کل انرژی مسکونی، Y_{it} درآمد واقعی، P_{it} قیمت واقعی انرژی، POP_{it} جمعیت، AHS_{it} اندازه خانوار، HDD_{it} متغیر نیاز به گرمایش[5]، CDD_{it} متغیر نیاز

1- Aigner
2- Energy Services
3- Base line
4- Panel Data
5- Heating Degree Day

به سرمایش[1]، EP_{it} میزان نفوذ انرژی، همه برای استان i در سال t است. EF_{it} سطح کارایی انرژی بخش خانگی در استان i و سال t می‌باشد. لازم به توجه است در مقاله بلزکوئز[2] و همکاران (۲۰۱۳)، به دلیل نبود داده‌های قیمت انرژی در تمام ایالت‌ها از پروکسی میزان نفوذ انرژی استفاده شده است. این متغیر از تقسیم تعداد انشعابات مسکونی به تعداد خانوارها (بصورت درصدی)، میزان نفوذ گاز را در بخش خانگی نشان می‌دهد. بنابراین در مطالعه از همان متغیر قیمت انرژی واقعی استفاده شده است.

روش بکار رفته در این مطالعه، به همین دلیل بر این فرض استوار است که سطح کارایی انرژی بخش خانگی بوسیله یک جز غیر منفی و دارای توزیع یک طرفه تخمین زده می‌شود. معادله (۱) بر اساس مقاله بلزکوئز و همکاران (۲۰۱۳) را اگر بصورت لگاریتمی با اتخاذ رویکرد $SDFA$ که توسط آیگنر و همکاران (۱۹۷۷) معرفی شد، نوشته شود، رابطه زیر به دست می‌آید:

(۳)

$$\ln E_{it} = \beta_i + \beta^{P} P_{it} + \beta^{y} y_{it} + \beta^{pop} pop_{it} + \beta^{ahs} ahs_{it} + \beta^{hdd} hdd_{it} + \beta^{cdd} cdd_{it} + V_{it} + U_{it}$$

E_{it} لگاریتم طبیعی مصرف کل انرژی، P_{it} لگاریتم قیمت واقعی انرژی، y_{it} لگاریتم طبیعی درآمد واقعی، pop_{it} لگاریتم طبیعی جمعیت، ahs_{it} لگاریتم طبیعی اندازه خانوار، hdd_{it} لگاریتم طبیعی نیاز به گرمایش، cdd_{it} لگاریتم طبیعی نیاز به سرمایش است. جز اخلال در معادله (۲)، از دو جز مستقل تشکیل می‌شود. قسمت اول V_{it}، همان تاثیر اختلالات آماری[3] است که دارای توزیع متقارن است و بطور معمول فرض می‌شود که دارای توزیع نرمال است. قسمت دوم U_{it}، (که سطح کارایی انرژی EF_{it} در معادله (۱) را نشان می‌دهد) به عنوان شاخص ناکارایی کاربرد انرژی[4] بشمار می‌آید[1]. اگر فرض شود جز

1- Cooling Degree Day
2- Blazquez
3- Noise
4- Waste Energy

غیر منفی دارای توزیع تصادفی باشد در طول زمان تغییر می‌کند و از توزیع نیمه نرمال پیروی می‌کند. کاراتر شدن تجهیزات انرژی‌بر یا یک فرآیند تولید جدید، کارایی انرژی یک استان را افزایش خواهد داد.

٤- داده‌ها و تصریح مدل

داده‌های بکار رفته در این مطالعه عبارتند از: کل مصرف انرژی در بخش خانگی استان‌های کشور به عنوان متغیر وابسته که شامل کل مصرف انرژی (شامل گاز طبیعی، برق و نفت سفید و نفت گاز) در هر سال به میلیارد BTU [۲]، درآمد سرانه واقعی هر استان به میلیون تومان، قیمت واقعی انرژی برای هر سال در هر استان، جمعیت هر استان، میانگین بعد خانوار هر استان، میانگین نیاز به سرمایش[۳] (CDD) و نیاز به گرمایش[۴] (HDD) هر استان است. متغیرهای نیاز به گرمایش و نیاز به سرمایش بصورت زیر محاسبه شده است.

(۴)

$$CDD = \sum (T - \theta ۲) \qquad \theta ۲=۲۱^{\circ}C$$

(۵)

$$HDD = \sum (\theta ۱ - T) \qquad \theta ۱=۱۸$$

در روابط بالا، CDD نیاز به سرمایش به درجه- روز و T دمای روزانه به درجه سانتیگراد و $\theta ۲$ و $\theta ۱$ آستانه دمایی است. با توجه به داده‌های در دسترس دوره زمانی این پژوهش از سال ۱۳۹۰-۱۳۸۱ است. داده مصرف انرژی و قیمت واقعی انرژی از ترازنامه انرژی کشور بدست آمده است. همچنین داده‌های جمعیت، بعد خانوار، درآمد سرانه از مرکز آمار کشور و داده نیاز به گرمایش و نیاز به سرمایش از مرکز هواشناسی کشور تهیه

۱- بعضی از مدل‌های SFA فرض می‌کنند سطح کارایی در طول زمان ثابت است. (U_i)

2- British Thermal Unit
3- Cooling Degree Day
4- Heating Degree Day

شده است. داده‌های قیمت انرژی میانگین وزنی از گاز طبیعی، نفت سفید، نفت‌گاز و برق است (بر اساس سهم هر یک از انرژی‌ها از مصرف بخش خانگی کشور در ترازنامه انرژی). قابل توجه است قیمت گاز طبیعی برحسب ریال/ مترمکعب، قیمت برق برحسب ریال/ کیلو وات ساعت و قیمت نفتگاز و نفت‌سفید بر حسب ریال/ لیتر است. همچنین از تقسیم تولید ناخالص داخلی هر استان برحسب میلیون ریال (بدون ارزش افزوده بخش نفت) بر جمعیت آن استان، درآمد سرانه واقعی بدست آمده است. توصیف آماری متغیرها در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): معرفی داده‌ها

متغیرها معرفی	علامت اختصاری	میانگین	انحراف معیار	بیشینه از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰	کمینه از ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰
مصرف انرژی (میلیون BTU)	EN	٥٤٥٢/١	٨٦٠٠٢/٣	٥٣٣٦/٢	٦٢٤/٢
درآمد سرانه واقعی	y	٥٢/٢	١٠/٣	٨٠/٥	٤/٧
قیمت واقعی انرژی	P	٩١/٦	٢٢/٢	١١٤/٤	٥٩/٧
جمعیت (۱۰۰۰ نفر)	POP	٢٥٥/٨	٢٥٨٨	١٤٢٤	٥٠١
میانگین بعد خانوار	ahs	٤/٤	٠/٤	٧/٤	٣/٤
نیاز به گرمایش $Base\ ١٨℃$	HDD	١٦٣٢/٧	٧٥٤/٧	٣٢٨/٣	٢٥/٥
نیاز به سرمایش $Base\ ٢١℃$	CDD	٨٨٨/١	٦٠٠/٨	٢٧٩٩/٢	١٢/١

منبع: یافته‌های تحقیق

داده‌ها بصورت پانل از ۲۸ استان کشور است. متغیر مصرف انرژی و قیمت انرژی از ترازنامه انرژی کشور گرفته شده، متغیر درآمد، جمعیت، میانگین اندازه خانوار از مرکز آمار کشور و متغیر HDD و CDD از مرکز هواشناسی کشور گرفته شده است. همه داده‌ها بصورت استانی و بین سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۱ است. لازم به توجه است قیمت انرژی و

درآمد بوسیله شاخص قیمت مصرف کننده هر استان تعدیل شده است. در این مقاله از مدلی استفاده می‌شود که کارایی انرژی در طول زمان و در دوره مورد بررسی تغییر نمی-کند. وقتی که دوره بررسی کارایی انرژی بلندمدت باشد، کارایی می‌تواند در طول دوره تغییر کند. اما در اینجا دوره مورد بررسی کوتاه است و فرض میشود سطح کارایی (U_i) در طول زمان ثابت است.

برای اندازه‌گیری عدم کارایی (اتلاف انرژی) هر کدام از بنگاه‌ها، باید دو جز عدم کارایی و جز اختلال معمولی از هم تفکیک شوند. منطق اقتصادی تفکیک این دو جز اختلال در این مدل این است که این دو جمله قابل تفکیک و دارای خواص متفاوتی هستند. ژاندراو، لول و اشمیت (۱۹۸۲) یک راه حل ارائه کردند. با فرض توزیع نیمه نرمال و توزیع نمایی و جز عدم کارایی (U_i) را به شکل دو فرمول زیر پیشنهاد دادند:

(۶)

$$U_i = AX_i\pi + \gamma_i \qquad AX = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X_{it} \;,\; \gamma_i \sim iid\left(0, \delta_u^2\right)$$

(۷)

$$\delta^2 = \delta_v^2 + \delta_u^2 \qquad \gamma = \frac{\delta_u^2}{\delta_v^2 + \delta_u^2} = \frac{\delta_u^2}{\delta^2} \qquad 0 \le \gamma \le 1$$

(۸)

$$EF_{it} = \frac{E_{it}^{F}}{E_{it}} = \exp\left(-U_{it}\right)$$

معادله (۶) با فرض توزیع نیمه نرمال و معادله شماره (۷) با فرض توزیع نمایی است. در معادله (۶)، X_{it} نشان دهنده بردار همه متغیرهای توضیحی، AX_i میانگین بردار همه متغیرهای توضیح دهنده و π بردار ضرایب است. هرگاه γ برابر صفر باشد، یعنی جز U_i در مدل وجود ندارد. بنابراین در چنین شرایطی کارایی غیر قابل مشاهده است.

معادله (۸) با فرض توزیع نمایی، E_{it} مصرف مشاهده شده انرژی و E_{it}^{F} مرز تقاضا یا کمترین تقاضای انرژی در استان i در سال t است. جز EF_{it}، نیز همان‌گونه که گفته شد، کارایی انرژی هر استان در زمان t است. این شاخص بین صفر و یک قرار می‌گیرد و برای استانی که دقیقا روی مرز تقاضا قرار داشته باشد برابر یک می‌شود. در این مقاله فرض می‌شود سطح کارایی انرژی در طول زمان تغییر نمی‌کند و از فرض توزیع نیمه نرمال استفاده می‌شود.

بوسیله آزمون LR امکان محاسبه کارایی انرژی را آزمون می‌کنیم. در صورتی که فرض H_0 تایید شود، نشان دهنده آن است که آثار ناکاریی در مدل دارای توزیع تصادفی نیست و امکان محاسبه کارایی انرژی وجود ندارد (زیرا واریانس U_i برابر صفر است). مقدار آماره محاسباتی با مقدار بحرانی جدول مقایسه می‌شود و در صورتی که LR از مقدار بحرانی بیشتر باشد، نتیجه می‌شود که کارایی قابل محاسبه است.

در صورتی که آماره محاسباتی LR بیشتر از آماره جدول (توزیع کای دو) باشد، نشان دهنده این است که دلیل اصلی اختلاف مصرف انرژی بخش خانگی بین استان‌های کشور از ناکارایی تصادفی ناشی می‌شود.

٦- نتایج تخمین و تفسیر نتایج

نتایج تخمین از روش حداکثر درست نمایی و با استفاده از معادله (۲) در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): نتایج برآورد مدل

متغیرها	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
عرض از مبدا	−۵/۷	۱/۳٤	−٤/۲٥
β^{P}	−۰/۰۷	۰/۲	−۰/۳٥
β^{y}	۰/۷۸	۰/۳۳	۲/۳٦
β^{pop}	۱/۲٦	۰/۱۹	٦/٦۳
β^{ahs}	−۱/۷	۰/٦۷	−۲/٥۳
β^{hdd}	۰/۲۹	۰/۱۲	۲/٤۱
β^{cdd}	−۰/۱۹	۰/۰۳	−٦/۳۳
پارامترهای واریانس			
$\sigma^{۲}$	۰/۷۱	۰/۱۸	۳/۹٤
γ	۰/۳۹	۰/۱۹	۲/۰٥

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، مقدار برآورد شده جز ناکارایی γ برابر با ۰/۳۹ است. بنابراین، کارایی قابل برآورد است. به دلیل اینکه از شکل لگاریتمی متغیرها استفاده شده است، ضرایب برآوردی نشان دهنده کشش تقاضا است. ضریب منفی قیمت واقعی انرژی نشان دهنده وجود رابطه عکس با مصرف انرژی و کم کشش بودن آن است.

همان گونه که انتظار می‌رفت مصرف انرژی بخش خانگی دارای کشش درآمدی مثبت و معنادار است و ضریب آن برابر با ۰/۷۸ است، به این معنی که با یک درصد افزایش در درآمد واقعی، مصرف انرژی ۰/۷۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با کشش بودن متغیر جمعیت بیان‌کننده این است که با افزایش یک درصدی جمعیت، مصرف انرژی ۱/۲۶ افزایش می‌یابد. ضریب تخمین زده شده برای متغیر بعد خانوار گویای این است که با افزایش اندازه خانوار، گرایش به کاربرد کمتر انرژی وجود دارد (وجود بازدهی نسبت به مقیاس). این ضریب ۱/۷− برآورد شده است. این امر به این معنی است که هرچه جمعیت افراد در یک واحد مسکونی بیشتر شود از حالتی که افراد در واحدهای

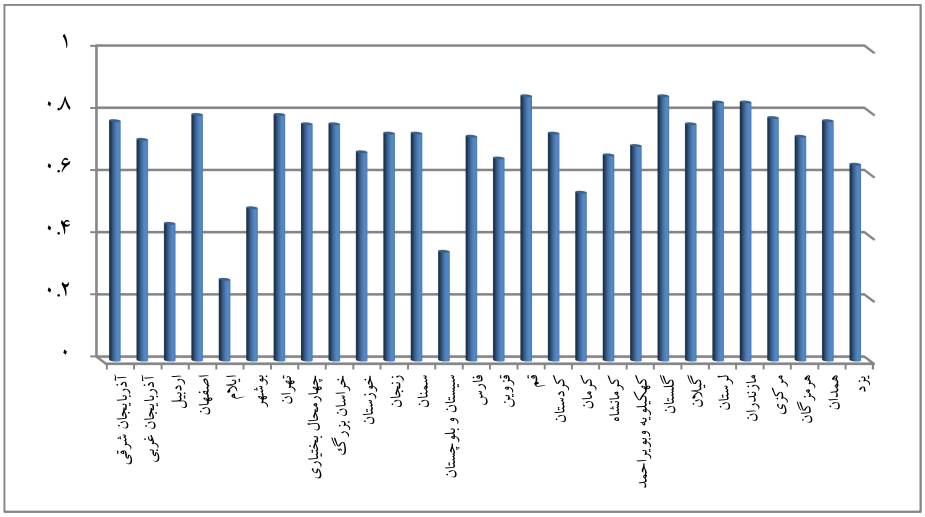
جدا از هم زندگی کنند، به دلیل وجود بازدهی نسبت به مقیاس، سرانه انرژی مصرفی هر فرد کاهش مییابد. به عنوان مثالی از بازدهی نسبت به مقیاس، افزایش آپارتمان نشینی به دلیل وجود سیستم سرمایش و گرمایش مرکزی برای کل ساختمان، نسبت به حالتی که هر واحد بصورت مستقل سیستم سرمایشی و گرمایشی داشته باشند، مصرف انرژی خانواده کمتر میکند. بنابراین یک واحد مسکونی در هر صورت نیاز به سیستم گرمایشی و سرمایشی دارد حال هرچه افرادی که در آن زندگی می‌کنند بیشتر باشد، سرانه مصرف انرژی کاهش می یابد، پس مصرف کل انرژی به سمت کاهش گرایش پیدا میکند که با افزایش متغیر جمعیت (دارای کشش مثبت است) متفاوت است.

از دیگر متغیرهای موثر بر مصرف برق در بخش خانگی نیاز به سرمایش CDD و نیاز به گرمایش HDD است. بر اساس نتایج به دست آمده مصرف انرژی نسبت به متغیر HDD کم کشش است به طوری با یک درصد افزایش در این متغیر مصرف انرژی ۰/۲۹ درصد افزایش خواهد یافت. اما منفی بودن ضریب متغیر CDD نشان‌دهنده این است که افزایش تقاضا برای انرژی خانگی در ایران متناسب با نیاز به سرمایش نیست و می‌تواند ناشی از گوناگونی جغرافیای طبیعی کشور باشد. بیشترین انرژی مورد استفاده برای سرمایش در ایران، برق است که تنها یکی از سه سوخت بررسی شده است و با افزایش درجه حرارت هوا، مصرف برق در برخی از استان‌ها و خصوصا استان‌های جنوبی افزایش می‌یابد. بدیهی است کاربرد الکتریسیته برای سرمایش، بیشتر از نفت سفید، نفت گاز و گاز طبیعی است. اصولا بیشتر لوازم سرمایشی برقی هستند (داده‌های لوازم خانگی در مرکز آمار موجود است).

همچنین همبستگی مثبت بین افزایش درجه حرارت و استفاده از لوازم سرمایش وجود دارد. این مساله هم‌زمان با کاهش استفاده از انرژی مورد نیاز برای گرمایش در استان‌های سردسیر است. بنابراین از مصرف سوخت‌های گاز طبیعی و نفت سفید که اغلب به منظور گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاسته شده و میزان این کاهش بیش از افزایش مصرف برق به منظور سرمایش است. این امر نشان‌دهنده این است که مصرف برق خانگی

در ایران تحت تاثیر عوامل دیگری است. در واقع می‌توان گفت که بیشترین میزان مصرف برق خانگی (کل استان‌ها) در ایران مربوط به وسایلی مانند ماشین لباسشویی، جارو برقی و دیگر وسایل پرمصرف برقی است که به منظور سرمایش یا گرمایش به کار نمی‌روند.

نتایج کارایی انرژی برآورد شده در نمودار (۲) نشان داده است. لازم به توجه است حد مرزی[1] برابر ۰/۷۱ برآورد شد.



نمودار (۲): کارایی انرژی برآورد شده بخش خانگی

منبع: یافته‌های تحقیق

استان‌های ایلام، سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر تا پایان سال ۱۳۹۰، به طور کامل دارای شبکه‌گذاری گاز طبیعی نیستند. با توجه به کنترل مصرف نفت سفید (به دلیل اعمال سیاست‌های تغییر الگوی مصرف) و جایگزینی آن با گاز طبیعی در چند سال اخیر[2] انتظار می‌رود، کارایی انرژی استان‌های ذکر شده بهبود یابد.

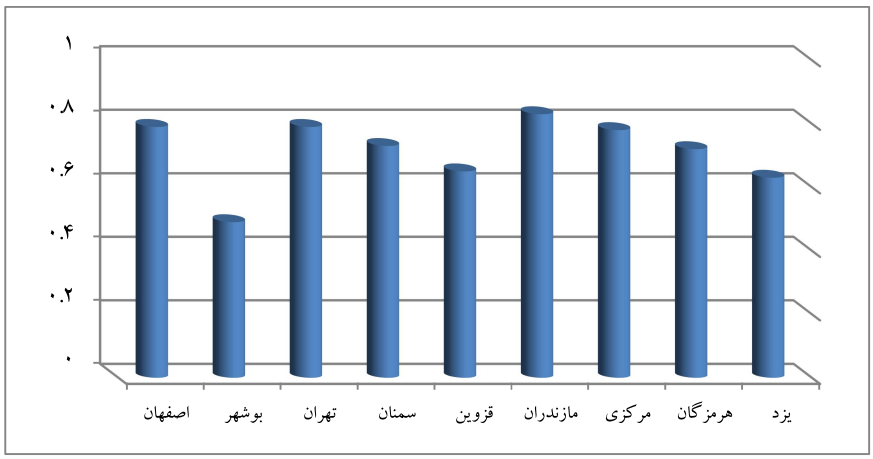
1- Frontier

۲- در مورد مطالعه به طور میانگین، سالانه کاهشی حدود ۹ درصد در مصرف نفت سفید مشاهده می‌شود.

استان تهران دارای بیشترین تعداد انشعابات، تعداد مصرف‌کنندگان و تعداد عملیات‌گذاری گاز طبیعی در کشور است. همچنین تمرکز حدود یک چهارم کل مصرف و کل مشترکین برق کشور، نیز به دلیل جمعیت بالا و تمرکز فعالیتهای سیاسی، اداری، اقتصادی و اجتماعی، در این استان قرار دارد.

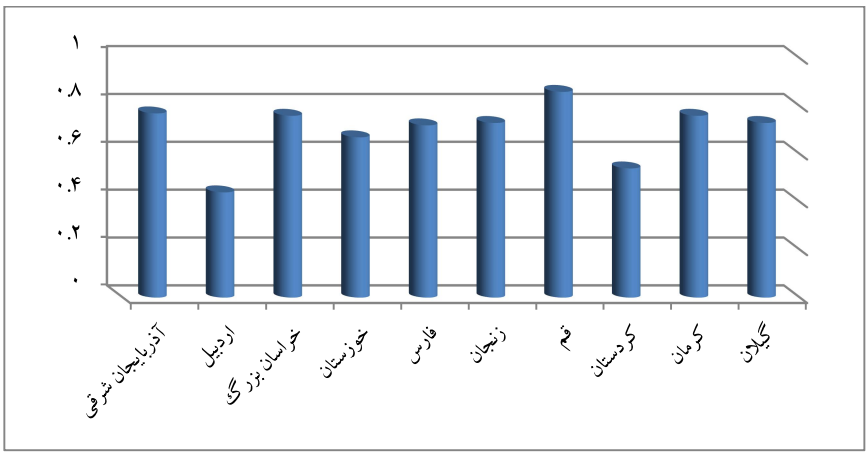
با توجه به این که مصرف کل انرژی بررسی شده در این پژوهش، شامل مصرف نفتگاز و نفت‌سفید بخش خانگی نیز می‌شود، امکان دارد استانهای مرزی سیستان و بلوچستان، ایلام، بوشهر، اردبیل، خوزستان، کرمانشاه و آذربایجان غربی به دلیل قاچاق نفتسفید و نفتگاز به خارج از کشور، کارایی انرژی پایین‌تری داشته باشند.

برای بررسی بهتر کارایی انرژی بخش خانگی استان‌های کشور، نمودارهای (۳)، (۴) و (۵) استان‌های کشور را بر اساس درآمد سرانه به سه دسته تقسیم کرده‌اند.



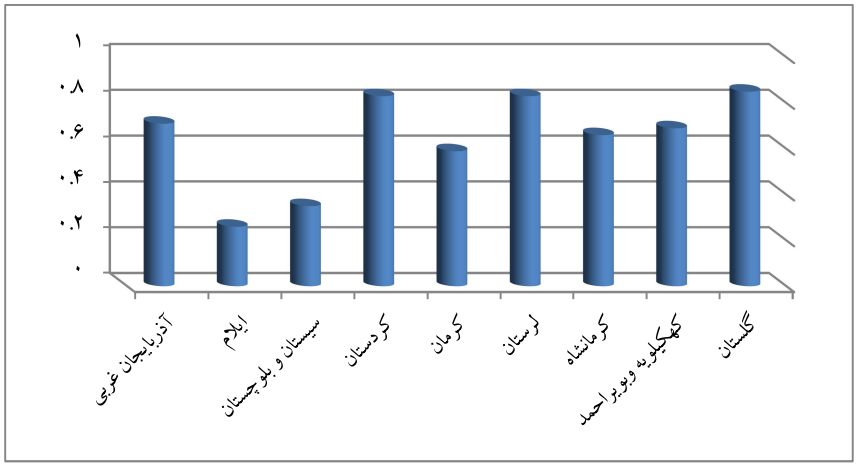
نمودار (۳): کارایی انرژی بخش خانگی برآورد شده در استان‌های داری درآمد سرانه بالا

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار (٤): کارایی انرژی بخش خانگی برآورد شده در استان‌های داری درآمد سرانه متوسط

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار (٥): کارایی انرژی بخش خانگی برآورد شده در استان‌های داری درآمد سرانه پایین

منبع: یافته‌های تحقیق

مقایسه نمودارهای (۳)، (۴) و (۵) نشان میدهد، استانهایی که دارای درآمد سرانه بالاتری هستند از میانگین کارایی انرژی بالاتری برخوردارند. میانگین کارایی انرژی بخش خانگی استان‌های دسته‌بندی شده براساس نمودارهای بالا، به ترتیب درآمد سرانه بالا،

متوسط و پایین برابر ۰/۷۱درصد، ۰/۶۹ درصد و ۰/۶۵ است. با توجه به این که ضریب مصرف انرژی نسبت به درآمد باکشش برآورد شده است، می‌توان نتیجه گرفت اگرچه با افزایش درآمد سرانه میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد اما وضعیت کارایی انرژی نیز بهبود پیدا خواهد کرد.

همانطور که ملاحظه شد، حدود ۱۶ استان کشور در وضعیت مناسبی (بالاتر از حد مرزی ۰/۷۱) از لحاظ کارایی انرژی بخش خانگی قرار دارند. رابطه اکنون شاخص‌های شدت انرژی با کارایی انرژی بررسی می‌شود. جدول (۳) با رتبه‌بندی بین استانهای کشور به مقایسه بین شاخص سرانه مصرف انرژی، سرانه مصرف انرژی واحدهای مسکونی و کارایی انرژی تخمین زده شده، پرداخته است.

جدول (۳): بررسی رابطه بین کارایی انرژی برآوردی و شدت انرژی (۱۳۹۰-۱۳۸۱)

استان	کارایی انرژی برآورد شده		شدت انرژی ۱ (سرانه مصرف)		شدت انرژی ۲ (سرانه هر واحد مسکونی)	
	سطح	رتبه	سطح	رتبه	سطح	رتبه
آذربایجان شرقی	۰/۷۷	۸	۰/۲۳	۱۰	۱۰۳/۸۸	۵
آذربایجان غربی	۰/۷۱	۱۸	۰/۲۰	۲۱	۸٤/۰٦	۱۵
اردبیل	۰/٤٤	۲٦	۰/۲۲	۱۳	۸۵/۳۱	۱٤
اصفهان	۰/۷۹	۵	۰/۲۷	۷	۱۰۱/۷۵	٦
ایلام	۰/۲٦	۲۸	۰/۲۱	۱۷	۱٤/۷۷	۲۷
بوشهر	۰/٤۹	۲۵	۰/۲۱	۱۸	۳۳/٦۱	۲۵
تهران	۰/۷۹	۵	۰/۲۹	۳	۱۰٦/٦۳	۳
چهارمحال بختیاری	۰/۷٦	۱۰	۰/۲۰	۲٤	۱۲۰/٦۷	۲
خراسان بزرگ	۰/۷٦	۱۰	۰/۲۳	۱۱	۷۵/۰۳	۱۸
خوزستان	۰/٦۷	۲۰	۰/۱٦	۲٦	٤٦/۰۰	۲۳
زنجان	۰/۷۳	۱۳	۰/۲۱	۱٤	۹۱/۸٦	۸
سمنان	۰/۷۳	۱۳	۰/۲۸	٤	۸٦/۰۰	۱۳
سیستان و بلوچستان	۰/۳۵	۲۷	۰/۱٤	۲۸	۱۱/٦۵	۲۸
فارس	۰/۷۲	۱٦	۰/۲۱	۱۵	۵۸/۹۰	۲۱

ادامه جدول (۳): بررسی رابطه بین کارایی انرژی برآوردی و شدت انرژی (۱۳۹۰-۱۳۸۱)

قزوین	۰/٦٥	۲۲	۰/۲٤	۹	۹۰/۳٦	۹
قم	۰/۸٦	۱	۰/۲٤	۸	۹۸/۷۱	۷
کردستان	۰/۷۳	۱۳	۰/۲۱	۱٦	۸٦/٤٦	۱۲
کرمان	۰/٥٤	۲٤	۰/۲۱	۱۹	٤٤/۹۸	۲٤
کرمانشاه	۰/٦٦	۲۱	۰/۲۰	۲۲	٦۱/۷۹	۲۰
کهکیلویه وبویراحمد	۰/٦۹	۱۹	۰/۱٦	۲۷	٦۳/٦٥	۱۹
گلستان	۰/۸٥	۲	۰/۲۰	۲۳	۸۷/۰۸	۱۱
گیلان	۰/۷٦	۱۰	۰/۲۷	٦	۷٦/۸٥	۱۷
لرستان	۰/۸۳	۳	۰/۱۸	۲٥	۷٦/۹۳	۱٦
مازندران	۰/۸۳	۳	۰/۳۰	۲	۸۸/٤۲	۱۰
مرکزی	۰/۷۸	۷	۰/۲۷	٥	۱۸۸/۰٤	۱
هرمزگان	۰/۷۲	۱٦	۰/۲۰	۲۰	۳۲/٤۰	۲٦
همدان	۰/۷۷	۸	۰/۲۲	۱۲	۱۰٦/٤۳	٤
یزد	۰/٦۳	۲۳	۰/۳۲	۱	۳۸/٤۹	۲۲

توجه: رتبه ۲۸ برای کارایی انرژی وضعیت استانی را نشان می‌دهد که دارای حداقل کارایی است، در حالیکه رتبه ۱ کاراترین استان را نشان می‌دهد. همچنین رتبه ۲۸ برای شدت انرژی، نشان می‌دهدآن استان دارای کم‌ترین شدت انرژی است.

همانگونه که در مقدمه گفته شد، بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی، شاخص شدت انرژی اغلب به عنوان جایگزین کارایی انرژی، مورد استفاده سیاست گذاران انرژی قرار می‌گیرد. در جدول (۳) دو شاخص سرانه مصرف انرژی و سرانه مصرف انرژی هر واحد مسکونی برای بخش خانگی کشور محاسبه و رتبه‌بندی شده است. انتظار می‌رود کارایی انرژی بصورت منفی با شدت انرژی رابطه داشته باشد. بنابراین، زمانی که بین استان‌ها مقایسه صورت می‌گیرد، انتظار می‌رود با افزایش سطح کارایی انرژی، شدت انرژی کاهش پیدا کند. فیلیپینی و هانت[1] (۲۰۱۲)، این روش را برای آشکار کردن اینکه

1 -Filippini and Hunt

آیا شدت انرژی یک ابزار کامل یا تقریبا کامل (برای قیاس با کارایی انرژی) باشد را ابـزار مفیدی می‌دانند. در اینجا، بوسیله تخمین‌های انجام شده، این مسئله بررسی می‌شود.

با توجه به نتایج به نظر می‌رسد رابطه‌ای منفی بین کارایی انرژی و شدت انرژی (البته نـه بطور کامل) وجود دارد. این مسئله برای سیاست‌گذاران کشور بسیار حیاتی و مهم است که اگر شدت انرژی یک پروکسی یا جایگزین خوب باشد، باید در همه اسـتان‌هـا، همبسـتگی بالایی بین شدت انرژی و کارایی انرژی وجود داشته باشد. اما جدول چنین چیـزی را نشـان نمی‌دهد. در بعضی از استان‌ها شدت انرژی پیش‌بینی مناسبی از کارایی انـرژی تخمـین زده شده، بیان می‌کند (هم برای استان‌های کارا و هـم ناکـارا). بـرای مثـال، قـزوین، مرکـزی و لرستان چنین شرایطی دارند. همچنین تعداد بیشتری از استان‌های مانند سیستان و بلوچسـتان، کهکیلویه و بویراحمد، کرمانشـاه و کرمـان هسـتند کـه شـدت انـرژی پـیش‌بینـی خـوبی از کارایی انرژی تخمین زده شده بیان نمی‌کند (هم برای استان‌های کارا و هـم ناکـارا). بـرای مثال، بنابراین برای بخش خانگی کشور نمی‌توان بطور صددرصد از معیارهای شدت انرژی استفاده کرد و کاربرد شدت انرژی بجای کـارایی انـرژی، امکـان دارد موجـب گمراهـی و سردرگمی سیاست‌گذاران انرژی کشور شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی انرژی در بخش خانگی کشور ایران با روش مرزی تصـادفی بررسـی گردید. داده‌ها سالانه برای ۲۸ استان و دوره زمانی مطالعه شده سـال‌هـای ۱۳۹۰-۱۳۸۱ در نظرگرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد، مصرف انرژی بخش خانگی دارای کشش قیمتـی بسیار کمی است. هم‌چنین مصرف انرژی نسبت به سطح درآمد سرانه و جمعیت، با کشـش است و با افزایش بعد خانوار، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. مصرف کـل انـرژی نسـبت بـه متغیر HDD نیز کم کشش است. ضریب متغیر CDD منفـی بـرآورد شـد کـه نشـان دهنـده ارتباط منفی مصرف انرژی و نیاز به سرمایش است.

بنابراین مهم‌ترین نتایج این مطالعه، عبارت است از:

- ✓ مصرف انرژی بخش خانگی در ایران، داری کشش قیمتی کم است.
- ✓ مصرف انرژی بخش خانگی دارای کشش درآمدی مثبت و معنی‌دار است.
- ✓ افزایش میانگین بعد خانوار درکشور، به دلیل وجود بازدهی نسبت به مقیاس، موجب گرایش به کاربرد کمتر انرژی میشود.
- ✓ کارایی انرژی بخش خانگی، در استان‌هایی که درآمد سرانه بالاتر دارند، بیشتر است.
- ✓ شاخص‌های شدت انرژی، جایگزین مناسبی برای کارایی انرژی در بخش خانگی کشور نیستند.
- ✓ متغیرهای نیاز به گرمایش و نیاز به سرمایش، قدرت اثر گذاری اندکی روی مصرف انرژی، در بخش خانگی کشور دارند.
- ✓ استانهای مرزی کشور دارای کارایی انرژی نسبتا پایین‌تری نسبت به بقیه مناطق کشور هستند.

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهادهای زیر مطرح می‌شود:

۱- از آنجا که سیاست‌های قیمتی نتوانسته است مصرف انرژی بخش خانگی را در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۱ کنترل کند، بنابراین در آینده نیز باید با تردید بیشتری به آن نگریست.

۲- ایران کشوری در حال توسعه است و رشد اقتصادی از اهداف اصلی سیاست گذاران کشور است. با توجه با کشش بالای درآمدی مصرف انرژی بخش خانگی، افزایش درآمد سرانه که از نتایج شکوفایی اقتصادی است، می‌تواند موجب افزایش بیشتر مصرف انرژی بخش خانگی گردد. بنابراین، ضرورت اتخاذ سیاست‌های غیر قیمتی مانند: فرهنگ‌سازی مصرف انرژی، آموزش در مدارس، تبلیغات رسانه‌ای برای صرفه‌جویی، ارتقای سطح اطلاعات خانوارها، همایش‌های موثر برای تعیین راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و... وجود دارد.

۳- متغیرهای آب و هوا همیشه یکی از عوامل تعیین کننده در میزان مصرف انرژی هستند. این مطالعه به دلیل اینکه ایران کشوری با جغرافیایی طبیعی گوناگون است، ضریب متغیرهای نیاز به سرمایش و نیاز به گرمایش، بسیار ناچیز برآورد شد. ضروری است در پژوهش‌های آینده حتما مصرف انرژی به بصورت منطقه‌ای بررسی شود.

۴- وجود رابطه یک به یک بین مصرف انرژی و جمعیت بیان‌کننده آن است که برنامه‌ریزی به منظور تامین انرژی، می‌بایست مطابق الگوی تغییرات جمعیتی صورت گیرد.

۸- منابع

الف) فارسی

۱- اکبری، نعمت الله (۱۳۸۴)، «مفهوم فضا و چگونگی اندازه‌گیری آن در مطالعات منطقه‌ای»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال هفتم، شماره ۲۳، صفحات ۶۸-۳۹.

۲- حکیمی‌پور، نادر و هژبرکیانی، کامبیز (۱۳۸۷)، «تحلیل مقایسه‌ای بخش صنایع بزرگ در استان‌های ایران: با استفاده از روش مرزی تصادفی»، *مجله دانش و توسعه*، سال پانزدهم شماره ۲۴، صفحات ۱۳۹-۱۶۵.

۳- نوروزی، علی (۱۳۸۸)، «برآورد تقاضای انرژی مفید بخش خانگی در ایران به تفکیک گروه‌های هزینه‌ای مختلف خانوار»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۲۳، صفحات ۱۶۱-۱۸۰.

۴- وافی نجار، داریوش (۱۳۸۵)، «تخمین تقاضای کل انرژی بخش خانگی- تجاری مناطق مختلف *OECD* با در نظر گرفتن اثرات نامتقارن تغییرات قیمت بر تقاضا»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال سوم، شماره ۹، صفحه ۵۸-۳۹.

ب) انگلیسی

1- Aigner, D., Lovell, C., & Schmidt, P. (1977), " Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics,*vol. 6, no. 1, 21-37.

2- Bhattacharyya, S. C. (2011),"*Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*": Springer.

3- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995),” A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data”. *Empirical Economics,* vol. 20, no.2, 325-332.
4- Blázquez, L. & Boogen, N. & Filippini, M.(2013),” J. Residential Electricity Demand in Spain: New Empirical Evidence Using Aggregate Data”. *Energy Economics*, vol.36, no. 6, 648-657.
5- Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M. (2011),” Residential Energy Literacy and Conservation”. *Chicago: 47th Annual AREUEA*.
6- Filippini, M., & Hunt, L. C. (2012), ”US residential Energy Demand and Energy Efficiency: A Stochastic Demand Frontier Approach”. *Energy Economics,* vol*,*34, no. 5, 1484-1491.
7- Masayuki, M. (2013), ”Population Density and Efficiency in Energy Consumption: An Empirical Analysis of Service Establishments”. Discussion Papers (by fiscal year), 2012, 2011.
8- Patterson, M. G. (1996), ”What is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues. *Energy Policy,* vol, 24, no. 5, 377-390.
9- Sorrell, S. (2009). Jevons’ Paradox Revisited, “ The Evidence for Backfire from Improved Energy Efficiency. *Energy Policy”.*vol. 37, no. 4, 1456-1469.
10- Stern, D. I. (2012), “ Modeling International Trends in Energy Efficiency”. *Energy Economic,* vol. 34, no. 6, 2200-2208.