

بررسی و مدل‌سازی کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و کل اقتصاد ایران با استفاده از مدل تغییر رژیم مارکف

خلیل جهانگیری^۱

حسن حیدری^۲

سیدعلی حسینی ابراهیم‌آباد^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳

چکیده:

هدف اصلی این مطالعه، بررسی کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و نیز در کل اقتصاد ایران است. برای این منظور وضعیت‌های کارآیی بالا و کارآیی پایین مصرف برق در بخش صنعت و کل اقتصاد ایران با استفاده از مدل تغییر رژیم مارکف طی دوره زمانی ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۳ شناسایی شد. نتایج حاصل از برآورد مدل تغییر رژیم مارکف برای کارآیی مصرف برق در بخش صنعت نشان داد که رژیم با کارآیی پایین مصرف برق در این بخش نسبت به رژیم با کارآیی بالای استفاده از انرژی برق در این بخش دارای دوره دوام بیش‌تر و پایداری‌تر بوده است. به نحوی که متوسط دوام رژیم کارآیی پایین استفاده از برق در این بخش ۲/۸۴ برابر رژیم با کارآیی بالا است. همچنین متغیرهای سطح عمومی قیمت‌ها، اثر منفی و تولید سرانه نیز اثر مثبت بر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و کل اقتصاد داشته است. به‌نحوی که انتظار می‌رود با کاهش تورم و افزایش رشد اقتصادی کارآیی مصرف برق در سطح ملی و در بخش صنعت بهبود یابد.

طبقه‌بندی JEL: Q53، H23، F51

کلیدواژه‌ها: انرژی، مصرف برق، کارآیی، بخش صنعت، مدل تغییر رژیم مارکف

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه-نویسنده مسئول

Email: kh.jahangiri@urmia.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه ارومیه

Email: h.heidari@urmia.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه ارومیه

Email: s.ali.hoseini1393@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه انرژی به عنوان یکی از عوامل مهم تولید است که در کنار عوامل دیگر نظیر کار، سرمایه و مواد اولیه نقش تعیین کننده‌ای در حیات اقتصادی کشورها به عهده دارد. بدین جهت مطالعات روند تحولات ساختار سیستم انرژی، بررسی نوسانات مصرف انرژی، صرفه جویی در مصرف انرژی و هم چنین کاهش شدت انرژی یا افزایش کارایی در مصرف انرژی از جمله مواردی است که اهمیت خاصی در مطالعات اقتصادی دارد. پس از شوک‌های قیمتی نفت در دهه ۱۹۷۰، بررسی روندهای بازدهی انرژی در سطح اقتصاد کلان، مؤلفه مهمی از استراتژی انرژی در بسیاری از کشورها بوده است. برای بیان این روندها، شاخص‌های مختلفی از قبیل شدت انرژی و بهره‌وری انرژی معرفی و توسعه یافته‌اند که در بررسی و مقایسه بین عملکرد انرژی کشورها و مناطق مختلف استفاده می‌شوند. هپ باسلی و اوزالپ^۱ (۲۰۰۳) انرژی را یکی از عوامل اساسی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی در جوامع مختلف می‌دانند. ایشان معتقدند که بعد از بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی کشورهای مختلف تلاش کرده‌اند با بهینه‌سازی و افزایش کارایی مصرف انرژی، بودجه و هزینه‌ی انرژی و استفاده از منابع طبیعی را کاهش داده و از این طریق با حفاظت محیط‌زیست، در نهایت رشد اقتصادی بالاتری داشته باشند.

با توجه به اهمیت بخش صنعت در اقتصاد ایران، توسعه این بخش همواره به عنوان یکی از محورهای مورد توجه سیاست‌گذاران در کشور بوده، به نحوی که در افق چشم‌انداز نیز سهم ۲۵ درصدی بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی کشور پیش‌بینی شده است. به طور طبیعی، افزایش در تولید یک بخش نیازمند استفاده از عوامل تولید بیشتر و نیز افزایش کارایی در استفاده از عوامل تولید موجود است. به دلیل ماهیت فعالیت‌ها در بخش صنعت، که غالباً با ماشین‌آلات بیشتری در فرآیند تولید سروکار دارد، انرژی به طور عام و انرژی برق به طور خاص به عنوان یکی از نهاده‌های اصلی تولید این بخش مطرح می‌شود. انرژی الکتریکی یکی از حامل‌های با ارزش انرژی می‌باشد و برای به حرکت

1. Hepbasli & Ozalp (2003)

در آوردن بارهای مکانیکی، تولید روشنایی، گرما و تولید حامل‌های با ارزش دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برنامه‌ریزی در جهت افزایش توان صنعتی کشور، بر منابع تولیدی و به خصوص منابع انرژی برق فشار وارد می‌کند و در این راستا، بررسی کارایی استفاده از انرژی الکتریکی در سال‌های گذشته می‌تواند برنامه‌ریزان را در جهت بازبینی سیاست‌های گذشته و اتخاذ رویکردهای مناسب کمک نماید.

آمارهای ارائه شده توسط ترازنامه انرژی وزارت نیرو حاکی از آن است که تولید سرانه برق در سال ۱۳۴۶ برابر با ۱۴۱/۶ کیلووات ساعت بود که سهم بخش خانگی و تجاری و عمومی و بخش صنعت از آن به ترتیب ۳ و ۱۲/۷ درصد بوده است. در سال ۱۳۵۷ تولید سرانه برق در کشور به ۴۵۶/۴ کیلووات ساعت رسید که بخش صنعتی با ۱۰/۳ درصد بیش‌ترین سهم را در میان سایر بخش‌های اقتصادی در مصرف برق به خود اختصاص داد. تولید سرانه برق همواره روندی افزایشی داشته است و در سال ۱۳۹۳ به ۳۴۴۶/۱۵ کیلووات ساعت رسیده است. در این سال سهم بخش صنعت از کل برق مصرفی ۳۳/۸ درصد بوده و بخش خانگی و سایر بخش‌ها به ترتیب ۳۲/۴ و ۳۳/۸ درصد از برق مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند. مصرف برق در بخش صنعت و در سطح ملی در سال ۱۳۹۳ به ترتیب معادل ۷۴۶۴۵ و ۲۱۸۹۳۳ میلیون کیلووات ساعت بوده است (ترازنامه انرژی، سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۳).

بیشترین متوسط رشد سالانه تولید سرانه برق طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۵۷ اتفاق افتاد که در بین این سال‌ها تولید سرانه برق به‌طور متوسط ۱۹/۱ درصد رشد داشته است. بعد از آن در سال‌های برنامه اول توسعه (۱۳۶۷-۱۳۷۳) این رشد به ۷/۸ درصد رسید. قابل توجه است که ۲۹ درصد مصرف گاز طبیعی در سال ۱۳۹۳ به نیروگاه‌های تولید برق اختصاص یافته است. هم‌چنین بالغ بر ۶۶/۴ میلیون متر مکعب معادل سوخت در نیروگاه‌های تولید برق به مصرف رسیده است^۱. در سال ۱۳۹۳ در مجموع ۶۱/۴ درصد برق مورد نیاز کشور

۱. آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا (۱۳۹۳)

در نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی^۱ تولید شده است. با این که بر اساس گزارش شرکت انگلیسی بریتیش پترولیوم^۲، ایران دارنده بزرگترین ذخایر گازی جهان به‌شمار می‌رود، با این وجود، ایران به‌شدت به درآمدهای نفتی و گازی وابسته است. بنابراین برنامه‌ریزی صحیح برای مصرف بهینه از این دو ماده ضروری است (گزارش‌های آماری شرکت توانیر، ۱۳۹۶)^۳.

در برابر رشد فزاینده مصرف برق دو راه‌حل عمده مطرح می‌شود. راه اول افزایش بیش از پیش ظرفیت تولید برق در ایران و راه‌حل دیگر تصحیح الگوی مصرف برق است که به سود مصرف‌کننده بوده و به توزیع عادلانه‌تر منابع کشور منتهی می‌گردد. با اصلاح الگوی مصرف برق، کارآیی استفاده از این انرژی افزایش پیدا کرده و باعث می‌شود تا ضمن مصرف کمتر انرژی الکتریکی، نیاز برای تولید بیشتر این نهاد نیز کاهش یابد و بنابراین منابع فسیلی کشور در بخش‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به مطالب فوق، هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی کارآیی استفاده از برق در سطح ملی و در بخش صنعت با استفاده از رویکرد غیرخطی تغییر رژیم مارکف^۴ طی دوره ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۳ است. رویکرد مذکور این امکان را فراهم می‌کند تا دوره‌های با کارآیی بالا و دوره‌های با کارآیی پایین مصرف برق در سطح ملی و در بخش صنعت شناسایی و مورد تحلیل قرار گیرد.

ساختار این مقاله مشتمل بر ۶ بخش است. پس از مقدمه، در بخش دوم ادبیات پژوهش شامل مبانی نظری و مرور پیشینه تجربی پژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم وضعیت مصرف انرژی و کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و کل اقتصاد ایران بررسی شده و

۱. نیروگاه سیکل ترکیبی نیروگاهی است که شامل تعدادی توربین گاز و توربین بخار می‌شود. در این نوع نیروگاه، با استفاده از بویلر بازتاب، از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین‌های گاز، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین‌های بخار استفاده می‌شود.

2. British Petroleum

3. <http://amar.tavanir.org.ir>

4. Markov Regime Switching (MRS)

در بخش چهارم به تصریح مدل و روش پژوهش پرداخته شده است. در بخش پنجم نتایج برآورد مدل پژوهش ارائه شده است. در نهایت بخش ششم، به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پژوهش اختصاص یافته است.

۲. ادبیات موضوع

در این بخش نخست مبانی نظری در خصوص کارآیی مصرف انرژی و شدت انرژی به طور مختصر ارائه شده و سپس مروری بر مطالعات تجربی داخلی و خارجی صورت گرفته است.

۲-۱. مبانی نظری

چارچوب و مبانی اولیه از علم اقتصاد استفاده بهینه از منابع کمیاب است و کارآیی نیز بر همین مفهوم تاکید دارد. مفاهیم اولیه کارآیی ساده است، اما مشکلی که بر سر راه بحث‌های کارآیی می‌باشد، فقدان یک شیوه کار مشخص و معین برای بهبود کارآیی است و از ملزومات بهبود کارآیی شناسایی اصلی‌ترین عوامل تاثیرگذار بر آن می‌باشد. در ادبیات اقتصادی برای کارآیی (بهره‌وری) توسط اقتصاددانان، موسسات و سازمان‌های بین‌المللی مفاهیم متعددی ارائه شده است، به طوری که واژه بهره‌وری برای اولین بار در سال ۱۷۷۶ توسط کنه^۱ به کار رفته است (خاکی (۱۳۷۶)، ص ۲۱). در سال ۱۹۵۰ سازمان همکاری اقتصادی اروپا^۲ بهره‌وری را حاصل کسری تعریف کرد که از تقسیم مقدار یا ارزش محصول بر مقدار یا ارزش یکی از عوامل تولید بدست می‌آید. بدین لحاظ می‌توان از بهره‌وری سرمایه، مواد اولیه و نیروی کار صحبت کرد. سازمان بین‌المللی کار^۳ بهره‌وری را نسبت ستاده به یکی از عوامل تولید (زمین، سرمایه، نیروی کار و

1. Fransowa Keney

2. OEEC.

3. ILO

مدیریت) تعریف می‌کند. همچنین سازمان ملی بهره‌وری ایران^۱ بهره‌وری را یک فرهنگ، یک نگرش عقلانی به کار و زندگی می‌داند که هدف آن هوشمندانه کردن فعالیت‌ها برای دستیابی به زندگی بهتر و متعالی‌تر است.

یکی از مؤلفه‌های نشان‌دهنده پیشرفت هر کشور، نوع نگاه عمومی به چگونگی مدیریت و کارآیی مصرف تمامی منابع، به‌خصوص منابع انرژی می‌باشد. در دهه‌های اخیر کاهش منابع انرژی‌های فسیلی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی، پیامدهای مخرب زیست-محیطی تولید و مصرف بی‌رویه انرژی باعث شده که موضوع مدیریت انرژی و افزایش کارآیی در مصرف انرژی از اهمیت خاصی برخوردار گردد. از عوامل دیگر که اهمیت افزایش کارآیی در مصرف انرژی را نشان می‌دهد می‌توان به رقابت در حیات اقتصادی و صنعتی کشورهای جهان به‌خصوص رقابت در تولید و مصرف انرژی نام برد. این موضوع در کشورهای در حال توسعه که انرژی نقش مهمی در پیشرفت و توسعه صنعتی آن‌ها دارد و استقرار سیاسی و استقلال ملی آن‌ها در گرو استفاده بهینه از منابع انرژی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در ادبیات اقتصادی، اصلاح سطح کارآیی مصرف انرژی عبارت است از کاهش استعمال انرژی به پایین‌ترین سطحی که در آن حد، بدون هرگونه بهبودی، کاربرد انرژی انجام می‌پذیرد^۲. هاتینگتون^۳ (۱۹۹۴) با الهام از تعریف کارآیی در علم ترمودینامیک^۴، مفهوم اقتصادی کارآیی انرژی را نسبت یک متغیر پولی بر یک ورودی انرژی بیان می‌کند. هم‌چنین بوسیلف^۵ (۲۰۰۰) بیان می‌کند که کارآیی انرژی در ارتباط با کارآیی اقتصادی است و شامل تغییرات فنی، رفتاری و اقتصادی است. این مقوله دربرگیرنده تمامی تغییراتی است که در نتیجه کاهش مقدار انرژی مورد استفاده جهت تولید یک واحد

1. NIPO

2. Sorrell (2009)

3. Huntington (1994)

۳. طبق علم ترمودینامیک، نسبت مقدار گرمایی خروجی به یک ورودی انرژی را کارآیی انرژی می‌نامند.

5. Bossebeef (2000)

فعالیت اقتصادی حاصل می‌گردد و این تغییر لزوماً متناسب و همراه با تغییرات فنی نیست ولی می‌تواند ناشی از یک سازماندهی و مدیریت بهتر باشد.

باتاچاریا^۱ (۲۰۱۱) تعریف ساده کارآیی انرژی را به صورت نسبت محصول مفید فرآیند به نهاده فرآیند بیان می‌دارد. علاوه بر این پاترسون^۲ (۱۹۹۶) روش‌های دیگری که می‌توان خروجی و ورودی این نسبت را اندازه‌گیری کرد، بیان کرده است. وی در این ارتباط معتقد است که کارآیی انرژی یک مقوله کلی است و هیچ معیار کمی صریح و بدون ابهامی برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. در عوض بالاجبار می‌بایست بر اساس مجموعه-ای از شاخص‌ها تغییرات در کارآیی انرژی را کمی نمود. به‌طور کلی کارآیی انرژی به استفاده کمتر انرژی برای تولید یک مقدار از خدمات یا تولید مفید اشاره دارد.

شاخص‌های ذکر شده را شاخص‌های نسبتی اندازه‌گیری کارآیی انرژی می‌نامند. اما غالباً از شاخص‌های اقتصادی - ترمودینامیکی برای محاسبه کارآیی انرژی استفاده می‌شود. این شاخص خروجی را بر اساس ارزش روز بازار (پولی) و انرژی ورودی را بر اساس معیار متداول ترمودینامیکی^۳ اندازه‌گیری می‌کند. در واقع این شاخص همان معکوس شدت انرژی است. کاهش در شدت انرژی به معنی کاهش در انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد از تولید ملی است. آدام^۴ (۲۰۱۵)، معتقد است که کاهش شدت انرژی به طور ضمنی، بر حفاظت از انرژی دلالت دارد. تمایز بین مفاهیم حفاظت از انرژی و کارآیی انرژی اگر غیر ممکن نباشد، بسیار دشوار است زیرا کارآیی تا حد زیادی به حفاظت از انرژی بستگی دارد. بنابراین مفهوم حفاظت از انرژی، کارآیی (بهره‌وری) از انرژی را منعکس کرده و شدت انرژی و کارآیی انرژی در حقیقت دو روی یک سکه است.

1. Bhattacharyya (2011)

2. Patterson (1996)

۳. مقادیر ترمودینامیکی کارآیی انرژی، یک جز از تابع حالت است که در یک فرآیند منحصر به فرد اندازه‌گیری می‌شود. این فرآیند باید در یک شرایط ویژه محیطی انجام گیرد.

4. Adom (2015)

روش‌ها و رویکردهای بررسی کارایی و شدت انرژی متعددی وجود دارد اما آچسن و ولش^۱ (۲۰۰۵) رهیافت پارامتریک (بهره‌گیری از تابع هزینه متناسب)، شاخص دیویژیا و شاخص ایده‌آل فیشر را به جهت مزایای ساختار و رابطه محاسباتی، کاربردی‌تر و گسترده‌تر نسبت به سایر روش‌های بررسی شدت انرژی و حامل‌های انرژی می‌دانند.

مطالعه شدت انرژی به وسیله شاخص ایده‌آل فیشر و دیویژیا بدین ترتیب است که عموماً مقدار شدت انرژی به دو جز اثر ساختاری و اثر کارایی تفکیک می‌گردد. در ارتباط با اثر ساختاری تیما و همکاران^۲ (۲۰۱۶) معتقدند چنانچه تعداد صنایع با مصرف انرژی بالا، کاهش پیدا کند و یا ساختار بخش اقتصادی همانند صنعت به گونه‌ای تغییر پیدا کند که تعداد بنگاه‌های انرژی بر کاهش پیدا کند و بنگاه‌های کارا تر و با سطح مصرف انرژی پایین تر وارد بخش صنعت شوند، مقدار شدت انرژی کاهش پیدا می‌کند. اوکاجیما و اوکاجیما^۳ (۲۰۱۳) بیان می‌دارند که اثر کارایی به بررسی تکنولوژی به کار گرفته شده توسط هر یک از بنگاه‌ها می‌پردازد. در حقیقت ایشان معتقدند که با اثر کارایی می‌توان به این مسئله پی برد که تا چه میزان، بکارگیری تکنولوژی و تجهیزات فعلی و یا جدید، مقدار شدت انرژی و نسبت مصرف انرژی به تولید را دستخوش تغییر می‌نماید.

فیشر و همکاران^۴ (۲۰۰۴) با استفاده از روش حداقل سازی تابع هزینه کل با فرم کاب داگلاس نشان داده‌اند که مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر شدت انرژی عبارت است از فناوری (بهره‌وری کل عوامل) و قیمت نسبی سایر نهاده‌ها به نهاده انرژی. به طور کلی، هرچه سطح فناوری بالا باشد برای دستیابی به میزان معین تولید، نهاده‌های کم‌تری مورد نیاز است (محمودپور (۱۳۹۵)، ص ۹۵).

1. Ochsen and Welsch (2005)

2. Timma, et al. (2016)

3. Okajima and Okajima (2013)

4. Fisher, et al. (2004)

اما در ارتباط با رویکرد پارامتریک و تابع هزینه، ژا و همکاران^۱ (۲۰۱۲) معتقدند شدت انرژی در این روش با دقت بالاتری محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود و مهم‌تر از آن، تجزیه شدت انرژی به واقعیت نزدیک می‌باشد. مهم‌ترین دلیل ایشان برای این استنباط، اشاره به این مسئله است که در تابع هزینه متناسب و انعطاف‌پذیر، تمامی عوامل و پارامترهای بکارگرفته شده در مرحله تولید محصول از جمله نهاده‌های تولید، تولید، تکنولوژی تولید و سایر متغیرهای متقل، لحاظ می‌گردد. با در نظر گرفتن این نکته، مکیان و همکاران (۱۳۹۴) بیان می‌دارند که در روش پارامتریک تمامی عواملی که در مرحله تولید محصول، با نهاده‌های انرژی و حامل‌های انرژی در ارتباط هستند لحاظ می‌گردند و بر خلاف سایر روش‌های مرسوم (شاخص ایده‌آل فیشر و شاخص دیویژیا) می‌توان عوامل اثرگذار بر شدت انرژی را به چندین بخش مختلف تفکیک نمود. در این ارتباط ما و همکاران^۲ (۲۰۰۹) در مطالعه خود عوامل مؤثر بر شدت برق صنایع را به چهار بخش اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر تکنولوژی تفکیک کرده‌اند. اثر بودجه‌ای بیانگر اثر تغییر قیمت برق بر شدت انرژی برق بوده و اثر جانشینی بیانگر مجموع آثار تغییر قیمت سایر عوامل بر شدت انرژی، اثر تولیدی بیانگر اثر تغییر مقدار تولید بر شدت انرژی و اثر فناوری نیز بیانگر تأثیر تغییرات فناوری بر شدت انرژی برق می‌باشد^۳.

آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۱^۴ در گزارشی بیست و پنج سیاست پیشنهادی برای کشورهای عضو این سازمان منتشر کرده است تا بواسطه بکارگیری آن، کارآیی مصرف انرژی در کشور خود را افزایش داده و علاوه بر تأمین امنیت انرژی از محیط زیست نیز حفاظت کنند. مهم‌ترین سیاست‌های پیشنهادی به شرح زیر است:

1. Zha, et al. (2012)

2. Ma, et al. (2009)

۲. برای مطالعه بیشتر به مقاله زیر رجوع شود:

Ma, H., L. Oxley., J. Gibson., and B. Kim (2009), Modeling China's energy consumption behavior and changes in energy intensity, *Environmental Modelling & Software*, 1293-1301.

4. Energy Efficiency Policy, international energy agency

الف- جمع آوری داده‌های مربوط به کارایی انرژی و محاسبه شاخص‌های آن.
ب- دولت‌ها باید سرمایه‌گذاری خصوصی در افزایش کارایی انرژی را به وسیله اقداماتی مانند: حمایت از ظرفیت‌سازی در بهره‌وری انرژی، اعطای وام به بخش خصوصی و پژوهشات جهت توسعه فناوری کارا تر انجام دهند.
ج- حمایت از ایجاد بهره‌وری انرژی در صنعت از طریق سیاست‌هایی مانند برداشتن یارانه‌های پرداختی به انرژی یا تشویق جهت سرمایه‌گذاری در صنایع کارا.

۲-۲. مطالعات تجربی

با توجه به اهمیت کارایی انرژی، مطالعات تجربی متعددی در این زمینه صورت گرفته که در ادامه جهت رعایت اختصار فقط به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد.
استرن^۱ (۲۰۱۱) با استفاده از الگوی مرز تولید تصادفی به مدل‌سازی روند کارایی انرژی در ۸۵ کشور در طول دوره‌ی ۱۹۶۱-۲۰۰۷ پرداخته است. بر اساس نتایج مطالعه وی رابطه درجه باز بودن تجاری و شدت انرژی مثبت می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده عدم بهره‌گیری از فناوری‌های انرژی کارا و هم‌چنین فعالیت‌های بیشتر بازرگانی در صنایع انرژی‌بر باشد. او نتیجه می‌گیرد که حرکت به سمت دیگرگونی‌های فناورانه و توسعه سرمایه انسانی به بهبود شدت انرژی و آلودگی زیست‌محیطی کمک می‌کند. لی و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، با استفاده از داده‌های پانلی در دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۹ اثر عوامل ساختار اقتصادی، ساختار مصرف انرژی و پیشرفت فناوری را بر شدت انرژی سه منطقه‌ی چین ارزیابی کردند. بر پایه نتایج این مطالعه، تغییرات فناوری مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات شدت انرژی است و بهبود آن تأثیر بسزایی در بهبود کارایی انرژی خواهد داشت. خیمنز و مرکادو^۳ (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای روند شدت انرژی را برای دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۰ در یک نمونه متشکل از ۷۵ کشوری بررسی کردند. نتایج رگرسیون داده‌های پانل نشان داد که

1. Stern (2011)

2. Li et al. (2013)

3. Jimenez and Mercado (2014)

درآمد سرانه، قیمت فرآورده‌های نفتی، ترکیب انرژی‌ها، رانت منابع طبیعی و رشد تولید ناخالص داخلی عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی و کارآیی انرژی بوده‌اند. فیلیپوویچ^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی عوامل مؤثر بر شدت انرژی را برای ۲۸ کشور عضو اتحادیه اروپا طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۲ با رویکرد داده‌های پانل بررسی کردند. نتایج پژوهش وی نشان داد که قیمت انرژی به‌ویژه قیمت برق بیشترین اثر را بر شدت انرژی دارد و مالیات انرژی یک ابزار سیاستی مؤثر در بهبود کارآیی انرژی در کشورهای مورد مطالعه بوده است. فیلیپینی و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، به بررسی کارآیی انرژی در ۲۹ استان چین طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ با استفاده از تابع مرز تصادفی (SFA)^۳ و روش تخمین اثرات تصادفی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که شدت انرژی نمی‌تواند کارآیی در استفاده از انرژی در استان‌های چین را به طور دقیق اندازه‌گیری کند. همچنین ایشان نشان دادند که اگر بهره‌وری انرژی ۱۰۰ درصد افزایش یابد آن‌گاه کل مصرف انرژی در چین در سال ۲۰۱۲ به میزان ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت.

هم‌چنین از جمله مطالعات داخلی که رابطه نزدیکی با این پژوهش دارد، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، در مطالعه خود به تجزیه و تحلیل کارآیی مصرف برق در بخش صنعت ایران طی دوره زمانی ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۶ پرداختند. در این مطالعه از دو الگوی برای بررسی کارآیی مصرف برق در بخش صنعت ایران استفاده شده است. در الگوی اول با استفاده از مدل تجزیه کامل^۴ (CDM) تغییرات مصرف برق در بخش صنعتی به سه اثر تولیدی، ساختاری و شدت خالص تجزیه شده و دلایل تغییرات و میزان ناکارآیی مصرف برق در بخش صنعت شناسایی شده است. در الگوی دوم با استفاده از شاخص مجزا سازی فیشتر تغییرات شدت مصرف برق بخش صنعت به دو اثر ساختاری و شدت خالص تفکیک

1. Filipović (2015)

2. Filippini, et al. (2016)

3. Stochastic Frontier Analysis

4. Complete Decomposition Model (CDM)

شده است. نتایج مدل CDM و شاخص فیشر نشان می‌دهند در بخش صنعت ترکیب فعالیت‌ها در تولید تغییر کرده و در نتیجه تغییرات ساختاری بیشترین میزان تغییر در مصرف و شدت مصرف برق را توضیح می‌دهد و بیش از دیگر اثرات منجر به افزایش تقاضای برق صنعت شده است. ابریشمی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از رویکرد هم‌جمع‌ی نامتقارن رابطه قیمت و بهره‌وری انرژی در ایران را برای دوره‌ی ۱۳۵۰ - ۱۳۸۵ ارزیابی کردند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که کاهش قیمت انرژی رابطه قوی‌تری نسبت به افزایش قیمت انرژی با بهره‌وری مصرف انرژی دارد. مهرگان و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای به ارزیابی کارایی انرژی برق در صنایع انرژی‌بر ایران با استفاده از روش DEA در دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۷۵ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی برق کل صنایع انرژی‌بر برابر با ۰/۸۹ در دوره مذکور می‌باشد. صنایع غذا، پتروشیمی و کاغذ بالاترین کارایی را در زمینه مصرف برق و صنایع سیمان و فولاد پایین‌ترین کارایی را داشته‌اند. بیابانی خامنه و صادقی (۱۳۹۳)، در پژوهشی به تجزیه مصرف برق در ایران با رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی دیوژییا^۱ در دوره ۱۳۵۳ الی ۱۳۹۱ پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه نشان می‌دهند که ۶۹ درصد از رشد مصرف برق به دلیل عدم کارایی در مصرف، ۳/۱ درصد به دلیل تغییرات ساختاری و تنها ۷/۲۹ درصد از رشد مصرف در این دوره به علت رشد فعالیت‌های اقتصادی بوده است. بنی اسدی و محسنی (۱۳۹۳)، به بررسی تأثیر شوک‌های دائمی و موقت کارایی بر شدت مصرف انرژی در ایران طی دوره ۱۳۵۳-۱۳۸۹ پرداختند. ایشان با استفاده از روش بلانچارد - کوآ دریافتند که شوک‌های موقتی بهره‌وری اثر مثبت بر شدت انرژی دارد و مهم‌ترین منبع تغییرات شدت مصرف انرژی در کوتاه مدت هستند. از سوی دیگر شوک‌های دائمی بهره‌وری به کاهش شدت مصرف انرژی در بلند مدت منجر می‌شوند. فرج‌زاده (۱۳۹۴)، در پژوهشی به بررسی اجزا و عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی در اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۵۲-۱۳۹۰ با استفاده از تکنیک گشتاورهای تعمیم یافته (GMM) پرداخته است. نتایج پژوهش وی نشان داد که

متغیرهای تولید ناخالص داخلی، سرمایه سرانه نیروی کار و شهرنشینی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر شدت انرژی و اجزای آن هستند. همچنین ایشان نتیجه گرفتند که شهرنشینی با وجود افزایش شدت انرژی از طریق تغییرات ساختاری و بهبود کارایی در مجموع موجب کاهش شدت انرژی خواهد شد. نوروزی (۱۳۹۵) در پژوهشی به تجزیه شدت برق بر اساس رهیافت پارامتریک (تابع هزینه ترانسلوگ) و بررسی ارتباط میان تغییر تکنولوژی و شدت برق در صنایع کارخانه‌ای ایران در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ پرداخت. بررسی روند سالانه تغییرات تکنولوژی و تغییرات شدت برق کل صنعت حاکی از آن است که هر دو شاخص روندی افزایشی در طی دوره داشته و با توجه به اثر مثبت و بزرگ جانشینی، رشد تکنولوژی فاکتوری مهم در تعیین شدت برق به‌شمار نمی‌رود. تجزیه شدت برق موید آن است که اثر تکنولوژی و بودجه‌ای موجب افزایش کارایی مصرف برق شده و اثر جانشینی و تولیدی موجب کاهش کارایی نهاده برق مصرفی صنعت می‌گردد.

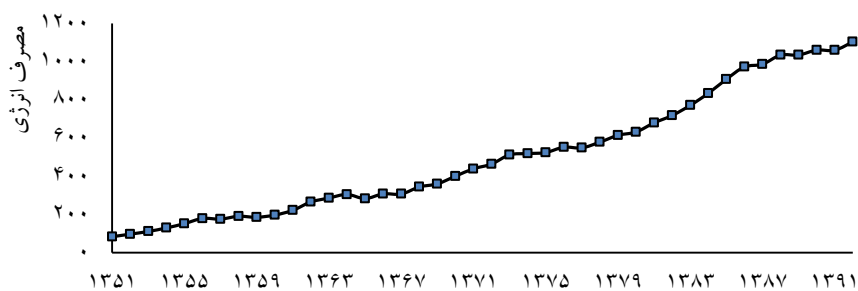
مرور کلی مطالعات تجربی انجام گرفته در داخل کشور نشان می‌دهد که در مطالعات داخلی اغلب مصرف انرژی به طور کلی مورد بررسی قرار گرفته و کمتر به تحلیل مصرف برق پرداخته شده است. همچنین در هیچ‌یک از مطالعات داخلی با استفاده از روش غیر خطی تغییر رژیم مارکف، روند کارایی مصرف برق مطالعه نشده است. در مطالعه حاضر با استفاده از رویکرد تغییر رژیم مارکف، اولاً کارایی مصرف برق به صورت مجزا در بخش صنعت و سطح ملی مورد بررسی قرار گرفته و ثانياً رژیم‌های با کارایی بالا و با کارایی پایین مصرف برق در این بخش‌ها شناسایی شده‌اند و از این جهت می‌توان این مطالعه را متمایز از سایر مطالعات گذشته در نظر گرفت.

۳. وضعیت مصرف انرژی در ایران

کاهش شدت انرژی ضمن تأمین امنیت انرژی یک اقتصاد به حفاظت از منابع انرژی، رشد اقتصادی بیشتر و دستیابی به توسعه پایدار منتهی می‌شود. از این رو تمامی کشورها در پی راه‌های ممکن برای کاهش شدت انرژی و به تبع آن بهبود کارایی انرژی‌اند

(در گاهی، ۱۳۹۵). با این حال بر خلاف آنچه در جهان در حال وقوع است، اقتصاد ایران نه تنها در مسیر کاهش شدت انرژی قرار ندارد، بلکه همچنان با هر واحد رشد اقتصادی، انرژی بیشتری نسبت به قبل مصرف می‌کند و فرایند تولید خود را متکی بر وفور نهاده انرژی بنا نهاده است. در سال ۱۳۹۳ بهره‌وری مصرف انرژی به میزان ۲/۱ درصد نسبت به سال گذشته کاهش داشته است. با استمرار وضع کنونی علاوه بر این که ایران بازارهای رو به رشد انرژی را از دست خواهد داد، حتی وقوع بحران انرژی را می‌توان برای کشور پیش‌بینی کرد. نتیجه‌ی این‌گونه مصرف فزاینده و ناکارای انرژی نه تنها هدر رفتن منابع، کاهش رشد اقتصادی فعلی و تهدید بالقوه برای رشد آتی است، که تخریب‌های زیست-محیطی بسیاری هم به کشور تحمیل می‌کند.

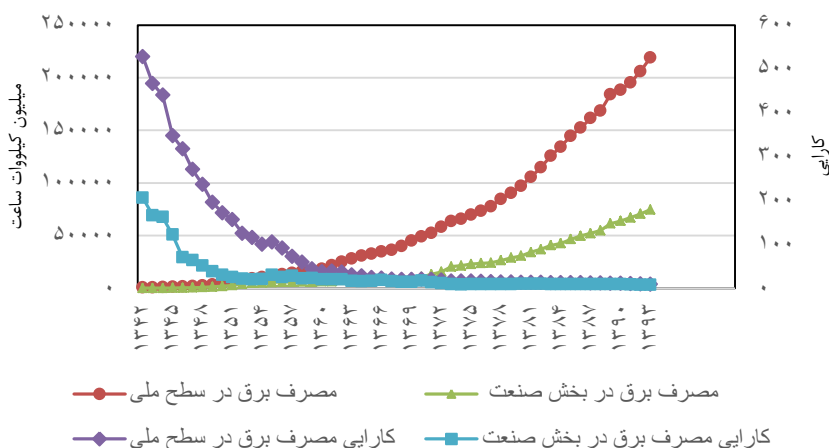
به دنبال تغییرات ساختاری اقتصادی ایران خصوصاً از دهه‌ی ۱۳۴۰ به بعد و نیز رشد و توسعه صنایع و به کارگیری تجهیزات مصرفی نو و هم‌چنین رشد شهرنشینی، مصرف انواع حامل‌های انرژی رو به افزایش گذاشت. در نمودار (۱) مصرف انرژی در ایران بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۲ ارائه گردیده است.



نمودار (۱): روند مصرف کل انرژی در ایران

منبع: ترازنامه انرژی (۱۳۹۳)

بررسی آمارهای ارائه شده در ترازنامه انرژی وزارت نیرو نشان می‌دهد که طی سال-های برنامه اول توسعه، مصرف انرژی به‌طور متوسط رشدی معادل ۷/۸۲ درصد داشته است. در برنامه دوم توسعه رشد مصرف انرژی سالانه به‌طور متوسط ۳/۰۷ درصد بوده است که این کاهش به‌علت برنامه‌ریزی دولت در جهت کاهش مصرف حامل‌های انرژی بوده است. رشد مصرف انرژی طی برنامه سوم توسعه سالانه به‌طور متوسط ۵/۵ درصد بوده است. سرانه مصرف نهایی انرژی ایران طی برنامه چهارم توسعه (۱۳۸۶-۱۳۹۰)، ۱۶/۹ درصد افزایش داشته است. هم‌چنین در سال ۱۳۹۳ سرانه مصرف نهایی انرژی ایران نسبت به سال قبل از آن روند صعودی به میزان ۱/۵ درصد داشته و به ۱۴/۵۶ بشکه معادل نفت خام رسیده است. سرانه مصرف نهایی انرژی ایران ۱/۶۱ برابر متوسط سرانه مصرف نهایی جهانی و ۰/۷۳ برابر کشورهای OECD می‌باشد. هم‌چنین سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش صنعت ۱/۴ برابر متوسط جهانی است. این امر از بهره‌وری پایین در بهره‌برداری، مصرف بالای انرژی و هم‌چنین استفاده از کالاها و خدمات انرژی‌بر ناشی می‌شود. در نمودار (۲) مصرف برق بر حسب میلیون کیلووات ساعت و کارآیی مصرف برق در کل کشور و در بخش صنعت از سال ۱۳۴۲ تا سال ۱۳۹۳ ارائه شده است.



نمودار (۲): روند مصرف برق و کارآیی برق در صنعت و کل اقتصاد کشور

منبع: ترازنامه انرژی

با توجه به آمارهای ارائه شده در ترازنامه انرژی، ظرفیت عملی نیروگاه‌های برق کشور در طول سال‌های مورد مطالعه همواره روند افزایشی داشته است. اما متوسط رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاه‌های برق متفاوت بوده است. بیش‌ترین رشد طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۵۷ با ۲۰/۱ درصد اتفاق افتاده است. بعد از آن طی برنامه‌های اول (۱۳۶۷-۱۳۷۳) و برنامه چهارم (۱۳۸۳-۱۳۸۹) توسعه اقتصادی متوسط رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاه‌ها به ترتیب ۸/۷ و ۸/۱ درصد بوده است. بیش‌ترین و کم‌ترین سهم بخش صنعت از کل برق مصرفی کشور به ترتیب در سال‌های ۱۳۵۳ و ۱۳۶۸ اتفاق افتاده است. در سال ۱۳۵۸ این بخش ۵۴/۶ درصد از کل برق مصرفی کشور را به خود اختصاص داد. همچنین در سال ۱۳۶۸ بخش صنعت تنها با اختصاص ۲۱/۲ درصد از کل برق مصرفی کشور کم‌ترین میزان برق مصرفی را به خود اختصاص داد. در سال ۱۳۹۳، ظرفیت عملی نیروگاه‌های برق کشور به ۶۳/۹ گیگاوات رسید و کل فروش برق وزارت نیرو و صنایع بزرگ در سال مذکور حدود ۲۲۳۹۵۵/۶ گیگاوات ساعت بوده است. در این سال بخش صنعت سهمی معادل ۳۳/۷ درصد از کل فروش برق وزارت نیرو را به خود اختصاص داده است. در طی این سال مصرف برق در این بخش معادل ۷۴۶۴۵ میلیون کیلووات ساعت بوده است. صنایع ذوب آهن، فولاد، مس، پتروشیمی، سیمان، قند و شکر، صنایع ریخته‌گری، صنایع تولیدی آلومینیوم و نساجی از جمله صنایع با مصرف بالای انرژی در کشور می‌باشند. مصرف نهایی انرژی در بخش صنعت در سال ۱۳۹۳ معادل ۳۲۲/۹ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌باشد و سهم انرژی برق در آن در حدود ۴۴/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام است که نسبت به سال ۱۳۹۲ رشدی ۵/۱۴ درصدی داشته است. کل مصرف نهایی انرژی در سال مذکور معادل ۱۳۲۰/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است که رشدی ۷/۵ درصدی نسبت به سال قبل دارد و سهم کل برق مصرفی معادل ۱۳۰/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام است که رشدی ۸/۱۳ درصدی نسبت به سال قبل را تجربه نموده است.^۱

۱. ترازنامه انرژی (سال‌های ۱۳۴۶ الی ۱۳۹۳)؛ وزارت نیرو

همانطور که از نمودار (۲) ملاحظه می‌گردد کارآیی مصرف برق در یک دهه اخیر روند نزولی داشته است و این مهم را بیان می‌کند که مسئولان و برنامه‌ریزان باید اقدامی جدی در جهت افزایش کارآیی مصرف برق مد نظر قرار دهند.

۴. مدل و داده‌های پژوهش

این پژوهش به دنبال آن است تا رژیم‌های با کارآیی بالا و با کارآیی پایین مصرف برق در سطح ملی و بخش صنعت در بازه زمانی ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۳ را با استفاده از روش تغییر رژیم مارکف شناسایی کند. در این راستا متغیرهای کارآیی برق در کل اقتصاد و در بخش صنعت به عنوان متغیرهای درونزا در دو مدل جداگانه مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با الهام از مطالعات تجربی مرور شده، از متغیرهای کنترلی شامل شاخص قیمت مصرف‌کننده و تولید سرانه (تولید سرانه ملی و تولید سرانه بخش صنعت) به عنوان شاخصی از قیمت انرژی و سطح فناوری استفاده شده است. بر این اساس مدل کلی پژوهش برای شناسایی کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و در سطح ملی به ترتیب به شرح معادلات ۱ و ۲ قابل بیان است:

(۱)

$$LEI_t = c(s_t) + \sum_{i=1}^p a_i(s_t) LEI_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j(s_t) lcp_{t-j} + \sum_{k=1}^m d_k(s_t) rgdp_{t-k} + d1 + d2$$

(۲)

$$LEC_t = c(s_t) + \sum_{i=1}^p a_i(s_t) LEC_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j(s_t) lcp_{t-j} + \sum_{k=1}^m d_k(s_t) rgdp_{t-k} + d1 + d2$$

که در آن LEI ، لگاریتم کارآیی مصرف برق در بخش صنعت؛ LEC ، لگاریتم کارآیی مصرف برق در سطح ملی، lcp_i ، لگاریتم سطح عمومی قیمت‌ها (بر اساس شاخص قیمت

مصرف کننده)؛ $rgdpcc$ نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه؛ و $rgdpci$ نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بخش صنعت می‌باشد.^۱

مؤلفه‌های p ، q و m به ترتیب تعداد وقفه‌های متغیرهای کارآیی مصرف برق، سطح عمومی قیمت‌ها و نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه و نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بخش صنعت هستند. در مطالعه حاضر، با استناد به تعاریف ارائه شده در ترازنامه انرژی، منظور از کارآیی انرژی، معکوس شدت انرژی بوده که از تقسیم ارزش افزوده بر میزان برق مصرفی محاسبه می‌شود. بنابراین در این مطالعه به منظور محاسبه کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و در سطح ملی به ترتیب ارزش افزوده در بخش صنعت و تولید ناخالص داخلی به قیمت پایه بر میزان برق مصرفی در بخش صنعت و در کل کشور تقسیم شده است. همچنین در این مطالعه متغیرهای موهومی به منظور لحاظ آثار سال‌های جنگ (با عنوان $d1$) و سال‌های اجرای سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها در سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۳ (با عنوان $d2$) به مدل‌های (۱) و (۲) اضافه شده است. در مطالعه حاضر از نرم‌افزارهای Eviews 9 و Ox Metrics 7.1 به منظور تخمین مدل و اخذ نتایج استفاده شده است.

بر اساس تئوری‌های اقتصادی برخی از متغیرهای سری زمانی دارای رفتار غیرخطی هستند. از آنجا که مدل‌های استاندارد ARMA مبتنی بر معادلات تفاضلی خطی هستند، تصریح‌های پویای جدیدی برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی متغیرها لازم می‌آید. مدل تغییر رژیم مارکف یکی از مشهورترین مدل‌های سری زمانی غیرخطی می‌باشد که رفتار متغیرها را در رژیم‌های مختلف توضیح می‌دهد (اندرز^۲، ۲۰۰۴).

مدل تغییر رژیم مارکف توسط همیلتون^۳ (۱۹۸۹) به منظور استخراج چرخه‌های تجاری معرفی شد. تخمین مدل مارکف سوئیچینگ از روش‌هایی نظیر تخمین حداکثر درست-

۱. برای محاسبه تولید ناخالص داخلی سرانه بخش صنعت و کل کشور، به ترتیب ارزش افزوده بخش صنعت و تولید ناخالص داخلی کل کشور بر جمعیت تقسیم شده است.

2. Enders (2004)

3. Hamilton (1989)

نمائی^۱، ماکزیمم حداکثر انتظار^۲ و رویکرد نمونه برداری گیبس^۳ انجام می‌گیرد. در این مدل فرض می‌شود رژیم^۱ که در زمان t رخ می‌دهد، قابل مشاهده نبوده و بستگی به فرآیند غیرقابل مشاهده S_t دارد. در یک مدل با دو رژیم، به سادگی می‌توان فرض کرد که S_t ، مقادیر ۱ و ۲ را اختیار می‌کند. یک مدل دو رژیمی را می‌توان به صورت زیر نشان داد

$$y_t = \phi_{0,S_t} + \phi_{1,S_t} y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق y_t متغیر وابسته، ε_t جزء اخلاص دارای توزیع مستقل و مشخص با میانگین صفر و واریانس ثابت $\sigma(s_t)$ می‌باشد. اما کلی‌ترین حالت مدل‌های تبدیل مارکف در بررسی ارتباط بین دو متغیر به صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد که به مدل‌های $MSIAX(k)$ معروف است.

$$Y_t = c(s_t) + \sum_i^p a_i(s_t) y_{t-i} + \sum_j^q b_j(s_t) x_{t-j} + \varepsilon_t(s_t) \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق c عرض از مبدأ مدل می‌باشد. تمامی اجزاء تصادفی این مدل (تمامی پارامترها و جزء اخلاص) تابعی از متغیر رژیم یا وضعیت S_t می‌باشند. S_t یک متغیر تصادفی گسسته و نهفته (غیر قابل مشاهده) است که در طول زمان بر اثر تغییرات نهادی و ساختاری تغییر می‌کند و می‌تواند k حالت به خود بگیرد. هم‌چنین فقط احتمال مربوط به هر حالت (رژیم) را می‌توان به دست آورد. در واقع به طور دقیق نمی‌توان رژیم رخ داده در زمان t را تعیین کرد ولی می‌توان گفت احتمال این که در رژیم S_t باشیم، به چه میزان است. تعیین وضعیت S_t به وسیله‌ی توابع احتمال انتقالی یک فرآیند محدود (متناهی) k وضعیتی مارکف با گسستگی زمان انجام می‌گیرد، بدین مفهوم که بر اساس زنجیره‌ی k وضعیتی مارکف، متغیر گسسته S_t تابعی از مقادیر گذشته‌ی خود می‌باشد. برای سادگی فرض می‌شود S_t یک فرآیند مارکف از درجه اول می‌باشد. این فرض، بیان‌گر این نکته است که S_t

-
1. Maximum Likelihood Estimation (MLE)
 2. Expectation Maximization (EM)
 3. Gibbs Sampling Approach

فقط به رژیم دوره‌ی قبل، یعنی S_{t-1} بستگی دارد. زنجیره‌ی مارکف در رابطه (۵) بیان گردیده است. می‌توان فرایند ایجاد داده^۱ در مورد متغیر رژیم را با پیگیری این زنجیره تکمیل نمود.

(۵)

$$s_t \in \{1, 2, \dots, k\}, p(s_t = j | s_{t-1} = i, \xi_{t-1}) = p(s_t = j | s_{t-1} = i) = p_{ij}, \sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$$

می‌توان ماتریس احتمال انتقالات (P) را که یک ماتریس $k \times k$ می‌باشد را با کنار هم قرا دادن این احتمالات به دست آورد. در این ماتریس هر عنصر آن (p_{ij}) احتمال انتقال از رژیم i به رژیم j را نشان می‌دهد.

$$\sum_{j=1}^k P_{ij}; P_{ij} \leq 1 \leq 0 P = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{k1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1k} & \dots & P_{kk} \end{bmatrix}$$

در زیر، با معرفی احتمالات انتقال از یک وضعیت به وضعیت دیگر، مدل کامل می‌گردد:

$$P(s_t = 1 | s_{t-1} = 1) = P_{11}$$

$$P(s_t = 2 | s_{t-1} = 1) = P_{12}$$

$$P(s_t = 1 | s_{t-1} = 2) = P_{21}$$

$$P(s_t = 2 | s_{t-1} = 2) = P_{22}$$

در روابط بالا، P_{ij} ها بیان‌گر احتمال حرکت زنجیره‌ی مارکف، از وضعیت i در زمان t به وضعیت j در زمان t است. P_{ij} ها باید غیر منفی بوده و هم‌چنین، شرط زیر برای آن‌ها برقرار باشد:

$$P_{11} + P_{12} = 1$$

$$P_{21} + P_{22} = 1$$

چهار حالت مدل‌های مارکف سوئیچینگ با توجه به اینکه کدام قسمت مدل خود رگرسیونی وابسته به رژیم باشد و تحت تاثیر آن انتقال یابد در مطالعات اقتصادی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این چهار حالت عبارتند از: مارکف سوئیچینگ در میانگین

(MSM)، مارکف سوئیچینگ در عرض از مبدأ (MSI)، مارکف سوئیچینگ در ناهمسانی در واریانس (MSH) و مارکف سوئیچینگ در پارامترهای خود رگرسیون (MSA) (کرولیزیک^۱، ۱۹۹۷)^۲.

با توجه به حالت‌های مختلفی که یک مدل تغییر رژیم مارکف می‌تواند داشته باشد، انتخاب مدل مناسب حائز اهمیت خواهد بود. استراتژی کلی انتخاب مدل تغییر رژیم را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- تعیین خطی بودن و یا غیرخطی بودن الگوی داده‌ها
- تعیین تعداد وقفه‌های بهینه برای متغیرهای حاضر در مدل با استفاده از آماره اطلاعاتی آکائیک برای تمام حالت‌های ممکن مدل تغییر رژیم مارکوف (حالت‌های مذکور در جدول ۱-۳)

- تعیین تعداد رژیم‌ها برای حالت‌های مختلف مدل تغییر رژیم مارکوف با استفاده از معیار اطلاعاتی آکائیک

- مقایسه حالت‌های تخمین زده شده بر مبنای سه ویژگی زیر:

۱. داشتن بیشترین ضرایب معنی‌دار (خصوصاً اجزای وابسته به رژیم)

۲. داشتن بیشترین مقدار تابع حداکثر راستنمایی

۳. داشتن حداقل واریانس جملات اخلاص

- انتخاب مدل بهینه بر مبنای ویژگی فوق‌الذکر (کلوگانی و مانرا^۳، ۲۰۰۹).

1. Krolzig (1997)

۲. برای جزئیات بیش‌تر در خصوص مدل‌های مارکف سوئیچینگ به مطالعات زیر مراجعه نمایید:

3. Hansen (1992)

4. Engel (1994)

5. Mount, et al. (2006)

6. Philip & Shi (2016)

3 Cologani and Manera (2009)

۵. نتایج برآورد مدل و تجزیه و تحلیل یافته‌ها

قبل از برآورد مدل تغییر رژیم مارکف لازم است تا از ایستایی متغیرهای مدل اطمینان حاصل شود. بنابراین ابتدا آزمون‌های ایستایی روی متغیرهای پژوهش انجام گرفته است.

۵-۱. آزمون ریشه واحد

به منظور آزمون ایستایی متغیرهای پژوهش، در این مطالعه از آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته (ADF) و فیلپس-پرون (PP) برای تمامی متغیرهای مدل استفاده شده و نتایج آن (در حالت وجود عرض از مبدا و روند) به طور خلاصه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): آزمون ریشه واحد

نام متغیر	ADF		PP	
	مقدار آماره آزمون	سطح احتمال	مقدار آماره آزمون	سطح احتمال
Lcpi	-۴/۲۳	۰/۰۰۸	-۱۰/۹۳	۰/۰۰
LEI	-۴/۱۴	۰/۰۰۱	-۳/۳۵	۰/۰۶
LEC	-۴/۹۱	۰/۰۰۰۲	-۴/۶۶	۰/۰۰
rgdpci	-۶/۹۴	۰/۰۰	-۶/۹۸	۰/۰۰
rgdpcc	-۴/۱۷	۰/۰۰۹	-۴/۱۹	۰/۰۰۹

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج آزمون پایایی نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر ناپیوستگی (در آزمون ADF و PP) تمامی متغیرها در سطوح معنی‌داری متداول (۱، ۵ و ۱۰ درصد) رد شده است.

۵-۲. مدل‌سازی کارایی مصرف برق در بخش صنعت

همان‌طور که در بخش‌های قبل ذکر شد، این مطالعه درصدد آن است تا دوره‌های با کارایی بالا و با کارایی پایین مصرف برق در بخش صنعت را ضمن لحاظ متغیرهای کنترل (شامل شاخص قیمت‌ها و تولید سرانه بخش صنعت) شناسایی کند. در این بخش مدل تغییر رژیم مارکف برآورد شده و نتایج این برآورد در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول (۲): نتایج برآورد مدل تغییر رژیم مارکوف برای متغیر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت

رژیم یک		رژیم صفر		
مقدار آماره	ضریب	مقدار آماره	ضریب	
***۳۹/۵	۲/۷۰	***۳۸/۰	۲/۷۵	Constant
***۲۱/۱	۰/۷۱	***۳۵/۷	۰/۸۷	AR-1
***(-۶/۸۳) -۰/۱۰۶				Lcpi
*** (۵/۸۸) ۰/۰۰۴				rgdpci
*** (۳/۴) ۰/۱۱				d1
(۱/۰۶) -۰/۰۳				d2
۰/۰۳ Std.Error=۰/۰۰۴	۰/۱۵ Std.Error=۰/۰۲۹			sigma
Chi ^۲ (۵) ۲۳/۷۱۸ (۰/۰۰۰۲)				Linearity LR-test
F(۲,۳۵)=۲/۰۹ (۰/۱۳)				ARCH test
Chi ^۲ (۷) ۸/۶۴ (۰/۲۷)				Portmanteau test
Chi ^۲ (۲) ۲/۰۱ (۰/۳۶)				Normality test
۳۷ سال (۷۴٪)	۱۳ سال (۲۶٪)			تعداد مشاهدات قرار گرفته در رژیم

منبع: یافته‌های پژوهش

***، **، * به ترتیب معنی داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد اعداد داخل پرانتز مربوط به آماره t است.

مطابق با استراتژی انتخاب مدل که در انتهای بخش چهارم مقاله مورد اشاره قرار گرفت، برای متغیر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت در ایران برای دوره زمانی بین سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۹۳، مدل $MSMAH(2,1,0)$ به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شده است. $MSMAH(2,1,0)$ بیانگر این است که مدل انتخاب شده دارای ۲ رژیم و ۱ ضریب خودرگرسیون و فاقد جزء میانگین متحرک بوده و واریانس جزء اخلاص (σ) نیز

تابعی از متغیر وضعیت می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که نتایج آزمون خطی بودن (که در جدول با عنوان Linearity LR-test مشخص شده است) نیز حاکی از رد فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل مورد بررسی دارد.

همچنان که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، تمامی ضرایب برآورد شده به جز ضریب متغیر مجازی مربوط به سال‌های اجرای هدفمندی یارانه‌ها (۱۳۸۹-۱۳۹۳) به لحاظ آماری معنی‌دار هستند. مقدار میانگین (ضریب عرض از مبدا) برای رژیم صفر برابر با ۲/۷۵ و برای رژیم ۱ برابر با ۲/۷ است و در هر دو رژیم معنی‌دار بوده است. به‌منظور تشخیص رژیم‌های با کارایی بالا و کارایی پایین، مشاهدات را بر اساس احتمالات هموار شده فیلتر کرده و پس از مجزا نمودن این مشاهدات میانگین کارایی مصرف برق در هر دو رژیم محاسبه شد. میانگین کارایی برق در بخش صنعت در رژیم صفر و رژیم یک به ترتیب برابر با ۴۵/۳۹ و ۱۵/۰۳ می‌باشد. نظر به اینکه ضریب عرض از مبدا در هر دو رژیم معنی‌دار شده است و همچنین مقدار این ضریب در رژیم صفر بیشتر از رژیم یک می‌باشد و همچنین میانگین کارایی برق در رژیم صفر بیش‌تر از رژیم یک می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رژیم صفر رژیمی است که کارایی مصرف برق در آن بالا و رژیم یک رژیمی می‌باشد که کارایی مصرف برق در آن پایین می‌باشد. با توجه به این که در مدل انتخابی ضرایب متغیرهای کنترل تابعی از متغیر وضعیت (رژیم) نمی‌باشند، بنابراین ضرایب گزارش شده برای متغیرهای کنترل در هر دو رژیم (با کارایی پایین و با کارایی بالا) یکسان می‌باشد. ضریب رشد تولید سرانه بخش صنعت برابر با ۰/۰۰۴ می‌باشد. به عبارت دیگر، رشد تولید سرانه بخش صنعت (که به عنوان شاخصی از فناوری در نظر گرفته شده است) در وضعیت‌های مختلف (رژیم با کارایی پایین و رژیم با کارایی بالا)، تأثیر مثبت بر کارایی مصرف برق در بخش مذکور دارد. ضریب سطح عمومی قیمت‌ها در حدود منفی ۰/۱۱ می‌باشد که نشان دهنده این مهم است که شاخص قیمت‌ها تأثیر منفی بر شاخص بهره‌وری مصرف برق در بخش صنعت دارد. همچنین چون ضریب متغیر مجازی مربوط به سال‌های

جنگ دارای علامت مثبت و از لحاظ آماری معنی دار برآورد شده است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جنگ باعث افزایش کارآیی مصرف برق در بخش صنعت شده است. در جدول (۲) هم‌چنین نتایج آزمون‌های مربوط به نرمال بودن، ناهمسانی واریانس و وجود خودهمبستگی جملات اخلاص مدل تغییر رژیم انتخاب شده گزارش شده است. جملات اخلاص مدل تغییر رژیم مارکف باید نرمال بوده و عاری از خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس باشد. نتایج آزمون‌های مذکور در جدول (۲) نیز حاکی از این است که جملات اخلاص مدل بهینه تغییر رژیم مارکف شرایط نرمال بودن، همسانی واریانس و عدم وجود خودهمبستگی را دارا است^۱.

بر اساس نتایج تخمین به دست آمده از مدل $MSMAH(2,1,0)$ مدت دوام در هر رژیم و ماتریس احتمالات انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر در جدول (۳) گزارش شده است.

جدول (۳): ماتریس احتمالات انتقال مدل تغییر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت

Regime 1,t	Regime 0,t	
۰/۱۰	۰/۷۴	Regime 0,t+1
۰/۸۹	۰/۲۵	Regime 1,t+1
۹/۲۵	۳/۲۵	متوسط دوره دوام هر رژیم

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد، رژیم یک (منظور رژیمی می‌باشد که در آن کارآیی مصرف برق در بخش صنعت پایین می‌باشد) پایدارترین رژیم است. چرا که احتمال ماندن و توقف کردن در رژیم یک بسیار بالا بوده و حدود ۸۹ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر، اگر بازار در دوره t در رژیم یک باشد به احتمال تقریبی ۸۹ درصد در دوره $t+1$ نیز در این رژیم خواهد بود و ۱۰ درصد احتمال دارد که از رژیم یک به رژیم صفر (منظور از رژیم صفر، دورانی می‌باشد که بهره‌وری مصرف برق در بخش صنعت بالا

۱. نمودار سری زمانی متغیر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت و احتمال قرار گرفتن هر یک از مشاهدات متغیر مربوطه در هر یک از دو رژیم در پیوست ۲ پژوهش ارائه شده است.

می‌باشد) انتقال یابد. از سوی دیگر احتمال انتقال از رژیم صفر به رژیم یک در حدود ۲۵ درصد می‌باشد. در نهایت اینکه اگر در دوره t بازار در رژیم صفر باشد به احتمال تقریبی ۷۴ درصد در دوره $t+1$ نیز در این رژیم خواهد بود. با توجه به دوره دوام هر رژیم نیز ملاحظه می‌شود که متوسط دوره دوام رژیم صفر برابر با ۳/۲۵ سال است. یعنی به طور متوسط هر بار که متغیر کارآیی مصرف برق در بخش صنعت در رژیم صفر قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود که تا ۳/۲۵ سال در این رژیم قرار داشته باشد. در مقابل متوسط دوره دوام رژیم ۱ که از پایداری بیشتری در مقایسه با رژیم صفر برخوردار است، برابر با ۹/۲۵ سال می‌باشد.

۳-۵. مدل‌سازی کارآیی مصرف برق در کل اقتصاد ایران

در این قسمت نتایج برآورد مدل تغییر رژیم مارکف به منظور مدل‌سازی کارآیی مصرف برق در کل اقتصاد ایران ارائه شده است (جدول ۴).

جدول (۴): نتایج برآورد مدل تغییر رژیم مارکوف برای متغیر کارآیی مصرف برق در اقتصاد

رژیم یک		رژیم صفر		
مقدار آماره	ضریب	مقدار آماره	ضریب	
***۷۵/۹	۳/۳۱	***۶۶/۹	۴/۱۸	Constant
***-۱۵/۶	-۰/۱۶	***-۱۵/۹	-۱/۱۳	AR-1
۰/۰۰۳ *** (۴/۹۷)				rgdpcc
۰/۰۳۹ (۱/۵)				d1
-۰/۰۳۴ (-۱/۳۹)				d2
۱/۰۹ *** (۱۰/۷)				AR-1
-۰/۳۹ *** (-۴/۳۲)				AR-1
۰/۰۲ Std.Error=۰/۰۰۳	۰/۰۸ Std.Error=۰/۰۱۴			sigma
Chi ^۲ (۴) ۱۴۰/۲۲ (۰/۰۰۰۰)				Linearity LR-test
F(۳,۳۰)=۰/۴۵ (۰/۷۱)				ARCH test
Chi ^۲ (۷) ۷/۰۵ (۰/۴۲)				Portmanteau test
Chi ^۲ (۲) ۳/۷۳ (۰/۱۵)				Normality test
۳۱ سال (۶۳/۲۷٪)	۱۸ سال (۳۶/۷۳٪)			تعداد مشاهدات قرار گرفته در رژیم

منبع: یافته‌های پژوهش

***، **، * به ترتیب معنی داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد

اعداد داخل پرانتز مربوط به آماره t است.

مطابق با استراتژی انتخاب مدل، برای متغیر کارآیی مصرف برق در اقتصاد ایران برای دوره زمانی بین سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۹۳، مدل MSMH(2,2,0) به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شده است. MSMH(2,2,0) بیانگر این است که مدل انتخاب شده دارای ۲

رژیم و ۲ ضریب خودرگرسیونی بوده که ضرایب خودرگرسیونی در آن ثابت و واریانس جزء اخلاص تابعی از متغیر وضعیت در نظر گرفته می‌شوند.

همچنان که از جدول (۴) قابل مشاهده است، تمامی ضرایب برآورد شده به لحاظ آماری معنی دار هستند. مقدار میانگین (ضریب عرض از مبدا) برای رژیم صفر برابر با $4/18$ و برای رژیم یک برابر با $3/31$ است. در مدل بهینه، مقدار ضریب متغیر رشد تولید سرانه که به صورت غیررژیمی در مدل لحاظ گردیده است برای هر دو رژیم $0/03$ برآورد شده و حاکی از تأثیر مثبت تولید سرانه بر کارآیی مصرف برق در کل اقتصاد است. مقدار ضریب برآورد شده سطح عمومی قیمت‌ها که به صورت تابعی از متغیر وضعیت در نظر گرفته شده، در رژیم صفر و رژیم یک به ترتیب برابر با $1/13$ و $0/16$ می‌باشد و حاکی از این است که شاخص قیمت‌ها تأثیر منفی بر شاخص کارآیی مصرف برق در کل اقتصاد دارد. همچنین ضریب مربوط به متغیر دامی دوران جنگ ($1359-1367$) و هدفمندی یارانه‌ها ($1389-1390$) از لحاظ آماری بی‌معنی می‌باشند ولی چون مقادیر مربوط به آماره t آن‌ها بزرگ‌تر از یک به دست آمده، لذا از مدل پژوهش حذف نشده است. همان‌طور که جدول (۴) نشان می‌دهد جنگ تحمیلی اثر مثبت و هدفمندی یارانه‌ها اثری منفی بر کارایی مصرف برق در سطح ملی داشته‌اند. هم‌چنین نتایج آزمون‌های مربوط به نرمال بودن، ناهمسانی واریانس و وجود خودهمبستگی جملات اخلاص مدل تغییر رژیم انتخاب شده حاکی از این است که جملات اخلاص مدل بهینه تغییر رژیم مارکف شرایط نرمال بودن، همسانی واریانس و عدم وجود خودهمبستگی را دارا است. بر اساس نتایج تخمین به دست آمده از مدل $MSMH(2,2,0)$ مدت دوام در هر رژیم و ماتریس احتمالات انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر در جدول ۵ گزارش شده است.

جدول (۵): ماتریس احتمالات انتقال مدل تغییر کارآیی مصرف برق در اقتصاد

Regime 1,t	Regime 0,t	
۰/۰۰۱۱	۰/۹۵	Regime 0,t+1
۰/۹۹	۰/۰۴	Regime 1,t+1
۳۱	۱۸	متوسط دوره دوام هر رژیم

منبع: محاسبات پژوهش

همانطور که از جدول ۵ مشاهده می‌گردد، بر اساس ماتریس احتمالات انتقال، رژیم یک که بیانگر وضعیت با کارآیی پایین (میانگین کارایی برق در این رژیم برابر با ۱۶ می‌باشد) در کل اقتصاد است، به عنوان پایدارترین رژیم شناسایی شده است. از سوی دیگر احتمال انتقال از رژیم یک به رژیم صفر، ۰/۰۰۱۱ درصد می‌باشد. در نهایت اینکه اگر در دوره t بازار در رژیم یک باشد به احتمال تقریبی ۹۹ درصد در دوره $t+1$ نیز در این رژیم خواهد بود. با توجه به دوره دوام هر رژیم نیز ملاحظه می‌شود که متوسط دوره دوام رژیم صفر برابر با ۱۸ سال است. در مقابل متوسط دوره دوام رژیم یک که از پایداری بیش‌تری در مقایسه با رژیم صفر برخوردار است، برابر با ۳۱ سال می‌باشد.

۶. جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی

یک اقتصاد در وضعیت کارایی انرژی قرار دارد اگر در این حالت بتواند با صرف انرژی کمتری، محصولات یا خدمات بیشتری را تولید نماید. متناوباً در این حالت اقتصاد این توانایی را دارد که با همان انرژی مصرفی، کالا و یا خدمات بیشتری را تولید نماید. هنگامی که یک اقتصاد در وضعیت کارای انرژی قرار گیرد، نرخ رشد شدت انرژی منفی خواهد بود (آدام^۱، ۲۰۱۵). دو عامل شدت انرژی و تولید ناخالص داخلی معیاری برای اندازه‌گیری و ارزیابی کارآیی انرژی در اقتصاد می‌باشند (منظور (۱۳۹۳)؛ ص ۱۰۱).

همانطور که در مبانی نظری اشاره شد، جمع‌آوری داده‌های مربوط به کارایی انرژی و محاسبه شاخص‌های آن به عنوان یکی از مهم‌ترین سیاست‌های پیشنهادی آژانس بین‌المللی انرژی در زمینه مصرف انرژی و کارایی آن در اقتصاد کشورها مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، در پژوهش حاضر نخست روند مصرف انرژی و نیز مصرف برق و کارایی برق در بخش صنعت و کل کشور با استفاده از نمودار مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه روند زمانی متغیرهای ذکر شده نشان داد که روند مصرف انرژی در ایران پیوسته در حال افزایش بوده و در عین حال کارایی مصرف برق (هم در بخش صنعت و هم در کل اقتصاد) از روند نزولی در بلندمدت برخوردار بوده است. در ادامه به مدل‌سازی رفتار کارایی مصرف برق در بخش صنعت و کل کشور با استفاده از مدل تغییر رژیم مارکوف طی دوره زمانی ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۳ پرداخته شد. نتایج حاصل از برآورد مدل تبدیل مارکوف برای کارایی مصرف برق در بخش صنعت حاکی از آن است که رژیم کارایی پایین مصرف برق در این بخش متداوم‌تر و پایدارتر نسبت به رژیم با کارایی بالای استفاده از انرژی برق در این بخش بوده است. به نحوی که متوسط دوام رژیم کارایی پایین استفاده از برق در این بخش ۲/۸۴ برابر رژیم کارایی مصرف برق است. در واقع این عدد بیانگر این است که گذار از وضعیت‌هایی که در آن‌ها کارایی استفاده از برق پایین می‌باشد به کندی و خروج از رژیم‌هایی که در آن‌ها کارایی استفاده از برق بالا می‌باشد، به تندی صورت می‌گیرد. همچنین سطح عمومی قیمت‌ها در وضعیت‌های مختلف کارایی مصرف برق در بخش صنعت و نیز کل اقتصاد (با کارایی پایین و با کارایی بالا)، تأثیر منفی بر کارایی مصرف برق داشته است. هم‌چنین نرخ رشد تولید سرانه نیز تأثیر مثبت بر کارایی مصرف برق در بخش صنعت و کل اقتصاد دارد. روند نزولی کارایی برق در بخش صنعت (و نیز کل اقتصاد) و همچنین پایداری رژیم با کارایی پایین مصرف برق در بخش صنعت را می‌توان به عنوان شواهد نگران‌کننده‌ای از مصرف برق در بخش صنعت قلمداد کرد. به نظر بسیاری از کارشناسان، رشد بالای مصرف انرژی به دلیل الگوی ناصحیح مصرف انرژی در کشور بوده و در بخش صنعت نیز تجهیزات فرسوده موجب شده تا در مقابل

مصرف بالای نهاده انرژی، محصول کمتری تولید شود. با توجه به این مباحث و نتایج پژوهش مبنی بر اثر منفی سطح قیمت‌ها بر کارایی مصرف برق، به نظر می‌رسد در زمینه افزایش کارایی مصرف برق در کشور و به ویژه در بخش صنعت باید سیاست‌هایی فارغ از برنامه‌های اصلاح قیمت (نظیر اصلاح قیمت حامل‌های انرژی) در پیش گرفته شود. همچنین ضرورت دارد سیاست‌هایی در راستای بهبود فرهنگ مصرف انرژی اتخاذ شود و همچنین در بخش صنعت نیز ضمن پشتیبانی از تولیدکنندگان، ضروری است شرایطی فراهم گردد تا تولیدکنندگان بتوانند از ماشین‌آلات و فناوری پیشرفته در خطوط تولید خود بهره‌گیرند. اعطای تسهیلات ارزان قیمت برای واحدهای صنعتی و یا مشارکت نهادهای سیستم مالی با این واحدها جهت خرید ماشین‌آلات با فناوری مناسب و نیز استفاده حداکثری از دیپلماسی اقتصادی جهت ترغیب تولیدکنندگان برجسته جهان برای حضور در بازار ایران از جمله راهکارهای عملی می‌تواند باشد.

۷. منابع:

الف) فارسی

آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا (۱۳۹۱).

ابریشمی، حمید، علم‌الهدی، ندا و امیری، میثم (۱۳۸۶)، بررسی همگرایی بهره‌وری انرژی در کشورهای اسلامی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال چهارم، شماره ۱۵، صص ۷-۳۴.

بنی‌اسدی، مصطفی و محسنی، رضا (۱۳۹۳)، اثر شوک‌های دائمی و موقت بهره‌وری بر شدت مصرف انرژی در ایران (کاربرد روش بلانچارد-کوآ)، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۳، شماره ۱۰، صص ۴۱-۶۵.

بیابانی خامنه، صادقی، کاظم و سقدل، حسین (۱۳۹۳)، تجزیه مصرف برق در ایران رویکرد شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا، بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.

ترازنامه انرژی (سال‌های ۱۳۴۶ الی ۱۳۹۳)؛ وزارت نیرو.

خاکی، غلامرضا (۱۳۷۶)، آشنایی با مدیریت بهره وری، کانون فرهنگی انتشاراتی سایه نما، تهران.

درگاهی، حسن و بیابانی خامنه، کاظم (۱۳۹۵)، نقش عوامل قیمتی، درآمدی و کارآیی در شدت انرژی ایران، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۱، شماره ۲، صص ۳۵۵-۳۸۴. محمودپور، کامران، سلیمانی، میلاد و سیستانی بدوئی، یاسر (۱۳۹۵)، تاثیر هدفمندی یارانه‌ها بر شدت انرژی در صنعت ایران، *فصلنامه سیاست‌های کاربردی و کلان*، سال چهارم، شماره چهاردهم، صص ۹۱-۱۲۴.

راسخی، سعید و سلمانی، پروین (۱۳۹۲)، رابطه شدت انرژی و کارایی اقتصادی در کشورهای منتخب با استفاده از الگوی گشتاور تعمیم یافته: کاربردی از تحلیل پنجره‌ای پوششی داده‌ها، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، دوره ۲۱، شماره ۶۷، صص ۵-۲۴.

فرج‌زاده، زکریا (۱۳۹۴)، شدت انرژی در اقتصاد ایران: اجزا و عوامل تعیین کننده، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال چهارم، شماره ۱۵، صص ۴۶-۸۶. مهرگان، نادر، گراوند، سهراب، و ملکشاهی، مجتبی (۱۳۹۲)، ارزیابی کارآیی انرژی برق در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از روش DEA، *اولین همایش ملی انرژی‌های نو و پاک*، همدان، شرکت هم‌اندیشان محیط زیست فردا.

مکیان، سید نظام‌الدین، نوروزی، علی، کاظمی، ابوطالب، شهیکی تاش، محمدنبی و زنگی آبادی، پروانه (۱۳۹۴)، ارزیابی شدت انرژی و اثر تکنولوژی بر کارایی تقاضای صنعتی انرژی (مورد ایران)، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال چهارم، شماره ۱۶، صص ۲۰۹-۲۴۲.

محمدی، سارا، مهرگان، نادر و حقانی، محمود (۱۳۸۸)، تجزیه و تحلیل کارآیی مصرف برق در بخش صنعت ایران، *اولین کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی*، اهواز، شبکه برق منطقه‌ای خوزستان.

بررسی و مدل‌سازی کارآیی مصرف برق... ۱۲۵

منظور، داود و نیاکان، لیلی (۱۳۹۳)، رابطه توسعه اقتصادی و شدت انرژی در کشورهای عضو اکو: مدل رگرسیون داده‌های تابلویی آستانه‌ایی یکنواخت، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال بیست و دوم، شماره ۶۹، صص ۸۳-۱۰۶.

نوروزی، علی (۱۳۹۵)، ارزیابی پارامتریک کارآیی مصرف برق و تجزیه شدت مصرف برق در بخش صنعت ایران، فصلنامه پژوهش‌های اقتصاد صنعتی ایران، دوره ۱، شماره دوم، صص ۹۸-۱۲۲.

ب) انگلیسی

Adom, Philip Kofi, (2015), "Asymmetric Impacts of the Determinants of Energy Intensity in Nigeria", *Energy Economics* Vol. 49, pp. 570-580.

Bosseboeuf, Didier, Bertrand Chateau, and Bruno Lapillonne, (2000), "Energy Efficiency Policies and Indicators: the on-going European Effort Towards a Common Methodology", *World Energy Council Studies*.

Bhattacharyya, Subhes C, (2011), "Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance", Springer Science & Business Media, 2011.

Cogni, A., and M. Manera, (2009), "The Asymmetric Effects of Oil Shocks on Output Growth: A Markov-Switching Analysis for the G-7 Countries", *Economic Modeling* Vol. 26, pp. 1-29.

Enders, W. (2004), "Applied Econometric Time Series, by Walter", *Technometrics*, 46(2), 264.

Engel, Charles, (1994), "Can the Markov Switching Model Forecast Exchange Rates?", *Journal of International Economics* Vol. 36.1-2, pp. 151-165.

Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., & Tao, Q. (2004), "What is Driving China's Decline in Energy Intensity?", *Resource and Energy Economics* Vol. 26(1), pp. 77-97.

Filippini, M., & Zhang, L. (2016), "Estimation of the Energy Efficiency in Chinese Provinces", *Energy Efficiency* Vol. 9(6), pp. 1315-1328.

Filipović, S., Verbič, M., & Radovanović, M. (2015), "Determinants of Energy Intensity in the European Union: A Panel Data Analysis", *Energy* Vol. 92, pp. 547-555.

Hamilton, James D, (1989), "A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 357-384.

Hepbasli, A. & N. Ozalp(2003), "Development of Energy Efficiency and Management Implementation in the Turkish Industrial Sector", *Energy Conversion and Management* Vol. 2, No. 44, pp. 231.

Huntington, H. G. (1994), "Oil price Forecasting in the 1980s: What went Wrong?", *The Energy Journal*, pp. 1-22.

Hansen, B. E. (1992), "The Likelihood Ratio Test under Nonstandard Conditions: Testing the Markov switching Model of GNP", *Journal of applied Econometrics* Vol. 7(S1), pp. 61-82.

Jimenez, R. and Mercado, J. (2014), "Energy Intensity: A Decomposition and Counterfactual Exercise for Latin American Countries", *Energy Economics* Vol. 42, pp. 161-171.

Krolzig, H.M., (1997), "Markov-Switching Vector Autoregressions. Modelling, Statistical Inference and Applications to Business Cycle Analysis. Springer, Berlin.

Li, Y., Sun, L., Feng, T., & Zhu, C. (2013), "How to Reduce Energy Intensity in China: A Regional Comparison Perspective", *Energy policy* Vol. 61, pp. 513-522.

Okajima, S., & Okajima, H. (2013), "Analysis of Energy Intensity in Japan", *Energy policy* Vol. 61, pp. 574-586.

Patterson, Murray G. (1996), "What is Energy Efficiency? Concepts, Indicators and Methodological Issues", *Energy policy* Vol. 24.5, pp. 377-390.

Philip, D., & Shi, Y. (2016), "Optimal Hedging in Carbon Emission Markets Using Markov Regime Switching Models", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*.

Ma, H., Oxley, L., Gibson, J., & Kim, B. (2009), "Modeling China's Energy Consumption Behavior and Changes in Energy Intensity", *Environmental Modelling & Software* Vol. 24(11), pp. 1293-1301.

Mount, T. D., Ning, Y., & Cai, X. (2006), "Predicting Price Spikes in Electricity Markets Using a Regime-Switching Model with Time-Varying Parameters", *Energy Economics* Vol. 28(1), pp. 62-80.

Sorrell, Steve. (2009), "Jevons' Paradox Revisited: The Evidence for Backfire from Improved Energy Efficiency", *Energy policy* Vol. 37.4, pp. 1456-1469.

Stern, David I. (2011), "The Role of Energy in Economic Growth." *Annals of the New York Academy of Sciences* Vol. 1219.1, pp. 26-51.

Timma, L., Zoss, T., & Blumberga, D. (2016), "Life After the Financial Crisis. Energy Intensity and Energy use Decomposition on Sectorial Level in Latvia", *Applied Energy* Vol. 162, pp. 1586-1592.

Welsch, H., & Ochs, C. (2005), "The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change, and Trade", *Energy Economics*, vol. 27(1), pp. 93-111.

www.amar.tavanir.org.ir

www.iea.org

www.nipo.gov.ir

Zha, D., Zhou, D., & Ding, N. (2012), "The Determinants of Aggregated Electricity Intensity in China", *Applied energy*, Vol. 97, pp. 150-156.

پیوست ۱

نتایج برآورد مدل تغییر رژیم مارکف برای متغیر کارایی مصرف برق در بخش صنعت

	Coefficient	Std. Error	t-value	t-prob
AR-1 (0)	0.876916	0.02458	35.7	0.000
AR-1 (1)	0.714302	0.03381	21.1	0.000
rgdpci	0.00400104	0.0006809	5.88	0.000
lcp1	-0.105689	0.01548	-6.83	0.000
d1	0.118551	0.03491	3.40	0.002
d2	-0.0359490	0.03395	-1.06	0.296
Constant(0)	2.75315	0.07250	38.0	0.000
Constant(1)	2.70191	0.06848	39.5	0.000

	Coefficient	Std. Error
sigma(0)	0.155527	0.02923
sigma(1)	0.0316403	0.004263
p_{0 0}	0.750424	0.1409
p_{1 1}	0.897002	0.06652

log-likelihood	61.7006007	no. of parameters	12
no. of observations	50	SC	-1.52913851
AIC	-1.98802403	se(lei)	0.78771
mean(lei)	2.83231		

Linearity LR-test $\chi^2(5) = 24.793$ [0.0002]** approximate upperbound: [0.0001]**

Transition probabilities $p_{\{i|j\}} = P(\text{Regime } i \text{ at } t+1 | \text{Regime } j \text{ at } t)$

	Regime 0, t	Regime 1, t
Regime 0, t+1	0.75042	0.10300
Regime 1, t+1	0.24958	0.89700

نتایج برآورد مدل تغییر رژیم مارکف برای متغیر کارایی مصرف برق در سطح ملی

	Coefficient	Std. Error	t-value	t-prob
AR-1	1.09774	0.1028	10.7	0.000
AR-2	-0.394835	0.09147	-4.32	0.000
rgdpcc	0.00350053	0.0007044	4.97	0.000
d1	0.0387083	0.02572	1.50	0.141
d2	-0.0342472	0.02468	-1.39	0.174
Constant(0)	4.18456	0.06251	66.9	0.000
Constant(1)	3.31420	0.04365	75.9	0.000
lcp1(0)	-1.13183	0.07127	-15.9	0.000
lcp1(1)	-0.165392	0.01062	-15.6	0.000

	Coefficient	Std. Error
sigma(0)	0.0870264	0.01479
sigma(1)	0.0235958	0.003086
p_{0 0}	0.954337	0.04475

```

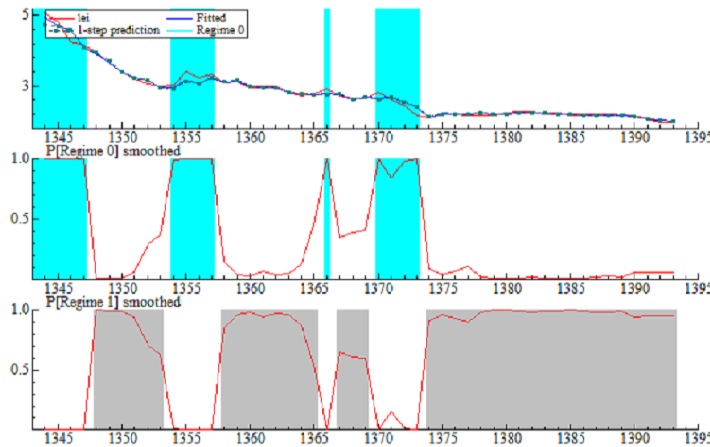
p_{1|1}          0.998827      0.1834
log-likelihood   84.1160479
no. of observations 49 no. of parameters 13
AIC              -2.90269583 SC          -2.40078432
mean(lec)        3.55422 se(lec)       1.18559

Linearity LR-test Chi^2(4) = 140.22 [0.0000]** approximate
upperbound: [0.0001]**

Transition probabilities p_{i|j} = P(Regime i at t+1 | Regime
j at t)
Regime 0, t      Regime 1, t
Regime 0, t+1    0.95434      0.0011729
Regime 1, t+1    0.045663     0.99883
    
```

پیوست ۲

نمودار پ-۱. احتمالات انتقال و طبقه‌بندی داده‌های کارآیی مصرف برق در بخش صنعت



نمودار پ-۲. احتمالات انتقال و طبقه‌بندی داده‌های کارآیی مصرف برق در کل اقتصاد

