

پیش‌بینی عکس‌العمل بخش صنعت در کوتاه‌مدت به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها؛ بررسی تغییرات در الگوی مصرف حامل‌های انرژی

جلال دهنوی^۱، مجید فرزام‌فر^۲، مینا محتشمی^۳

موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

چکیده:

قانون هدفمند کردن یارانه‌ها با هدف صرفه‌جویی، افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف از جمله صنعت اجرا شد. برخی از کارشناسان و محققان بر این باورند که اجرای این قانون نمی‌تواند در کوتاه‌مدت در بخش صنعت اثر بخش بوده و مصرف انرژی را در این بخش کاهش دهد. از سوی دیگر، برخی دیگر بر این باورند که اجرای قانون حتی در کوتاه‌مدت منجر به کاهش محسوس مصرف انرژی در این بخش خواهد شد. از این رو هدف از انجام این مطالعه، بررسی واکنش بخش صنعت در کوتاه‌مدت نسبت به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها و نیز ارائه و توضیح رویکردی جدید برای پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی است. در مقاله، نخست روند مصرف حامل‌های انرژی (فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و زغال سنگ) در بخش صنعت ایران، مصرف این حامل‌ها در بخش مذکور با استفاده از دو روش SSA و ARIMA به کمک نرم افزارهای Microfit و Caterpillar پیش‌بینی می‌شود. نتایج حاصل از پیش‌بینی با استفاده از دو روش مذکور، با یکدیگر مقایسه و میزان خطای پیش‌بینی دو الگو محاسبه می‌شود. نتایج مبین آن است که دقت پیش‌بینی روش SSA به مراتب بیشتر از روش ARIMA است و نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد. از این رو پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت برای دوره دو ساله پس از اجرای قانون (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) با استفاده از این روش صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده کاهش جزئی در مصرف فرآورده‌های نفتی و زغال سنگ و از سوی دیگر افزایش تقاضا برای سوخت‌های برق و گاز طبیعی طی دوره مورد مطالعه است. به عبارت دیگر کاهش بخش صنعت نسبت به افزایش قیمت حامل‌های انرژی در کوتاه‌مدت کم است و قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در کوتاه‌مدت باعث کاهش مصرف انرژی در بخش صنعت نخواهد شد.

۱- مقدمه

انرژی به عنوان نیروی محرکه‌ی بیش‌تر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی جایگاه ویژه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی دارد (آرمن و زارع، ۱۳۸۴). ایران از حیث دسترسی به منابع انرژی، در جهان دارای جایگاه منحصر به فردی است. به گونه‌ای در سال ۲۰۰۹ سهم ایران از ۱۳۳۳/۱ میلیارد بشکه ذخایر اثبات شده نفت خام جهان، حدود ۱۰/۳ درصد بود. بیش‌ترین ذخایر نفت خام جهان در منطقه‌ی خاورمیانه وجود دارد، به طوری که در سال مذکور، از بین ۱۲ کشور اوپک بیش‌ترین ذخایر به عربستان سعودی با ۲۶۴/۶ میلیارد بشکه و سپس به ایران با ۱۳۷/۶ میلیارد بشکه تعلق داشت. در سال مورد بررسی، ذخایر اثبات شده‌ی گاز طبیعی جهان ۱۸۷/۴۹ هزار میلیارد متر مکعب بود. در این سال کشور ایران ۲۹/۶۱ هزار میلیارد متر مکعب معادل ۱۵/۸ درصد از ذخایر اثبات شده‌ی گاز طبیعی جهان را در اختیار داشت.^۴

۱- دانشجوی دوره‌ی دکترای اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس ارشد اقتصاد انرژی موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

۲- دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- BP Statistical Review of World Energy, June 2010.

در سال‌های اخیر در بخش صنعت، میزان مصرف گاز طبیعی نسبت به فرآورده‌های نفتی و برق افزایش چشمگیری را در مقایسه با سال‌های بعد از انقلاب داشته است. به طوری که در سال ۱۳۸۷ سهم فرآورده‌های نفتی در انرژی بخش صنعت ۲۸/۸ درصد معادل ۷۳ میلیون بشکه نفت خام، سهم گاز طبیعی ۵۸/۲ درصد معادل ۱۴۷/۳ میلیون بشکه نفت خام و سهم برق ۱۲/۷ درصد معادل ۳۲/۲ میلیون بشکه نفت خام بوده است. بنابراین در سال‌های اخیر به نظر می‌رسد که گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی بخش صنعت بوده است. به این ترتیب در سال ۸۷ سهم بخش صنعت در کل مصرف نهایی فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق به ترتیب ۱۳/۶، ۳۱ و ۳۳ درصد بدست آمده است.^۱

آگاهی از میزان مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت در آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی سیاست‌های کلی و کلان بخش صنعت نیز رهنمون‌های مفیدی را ارائه دهد و از چند بعد حائز اهمیت است. نخست این که به عنوان یک نهاد مهم در تولید، به دنبال افزایش صادرات محصولات صنعتی، وابستگی این بخش نیز به آن بیش‌تر شده و نقش کلیدی‌تری در تولید خواهد یافت. مطلب دیگر، ملاحظات زیست محیطی است که به تازگی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و انتظار می‌رود آگاهی از میزان مصرف منابع انرژی در زمینه‌ی اتخاذ سیاست‌های زیست محیطی مناسب‌تر، مفید واقع شود و از همه مهم‌تر آنکه به زعم بسیاری از کارشناسان و محققان حوزه انرژی، بخش صنعت در کوتاه مدت امکان عکس‌العمل نسبت به افزایش قیمت حامل‌های انرژی را ندارد و در نتیجه اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در کشور نمی‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت شود. از این رو در این مطالعه مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت و در یک دوره کوتاه مدت (سه ساله) پیش بینی می‌شود.

پیش‌بینی رفتار متغیرهای اقتصادی یکی از الزامات برنامه‌ریزی برای آینده است. این مسئله موجب شده است که تحقیقات در زمینه‌ی الگوها و تکنیک‌های پیش‌بینی در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری به خود گیرد به طوری که امروزه بخش مهمی از ادبیات اقتصادی به این موضوع اختصاص دارد. روش‌های مختلف پارامتریک^۲ و غیرپارامتریک^۳ برای پیش‌بینی سری‌های زمانی معرفی شده که هر یک محدودیت‌ها و ویژگی‌های خاص خود را دارد. علاوه بر این دقت پیش‌بینی این روش‌ها برای سری‌های زمانی مختلف متفاوت است. در این مطالعه به منظور پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت از دو روش ARIMA^۴ (یک روش پارامتریک) و SSA^۵ (یک روش غیرپارامتریک) استفاده خواهد شد. روش ARIMA با نرم افزار Microfit و روش SSA با نرم افزار Caterpillar صورت خواهد گرفت. در هر مورد، توان پیش‌بینی درون نمونه‌ای الگوها با استفاده از معیارهایی چون RMSE^۶ و MAD^۷ اندازه‌گیری و بر اساس آن الگوی برتر از نظر دقت پیش‌بینی انتخاب می‌شود و سپس در برآورد مقادیر آینده مصرف حامل‌های انرژی در ۳ سال آینده به کار گرفته خواهد شد. علاوه بر این نتایج حاصل از پیش‌بینی با هر دو روش مقایسه خواهند شد.

ادبیات نظری در ادامه و پس از مقدمه مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم مقاله، به بررسی آمار مصرف انرژی در بخش صنعت پرداخته شده است. متدولوژی و روش تحقیق موضوع بخش چهارم مقاله است. در بخش پنجم نتایج حاصل از تخمین و پیش‌بینی‌های صورت گرفته شده ارائه شده‌اند و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادات در بخش پایانی ارائه شده است.

۱- ترازنامه انرژی، سال ۱۳۸۸، وزارت نیرو

2 - Parametric
3 - Non- Parametric
4 - Autoregressive Integrated Moving Average Model
5 - Singular Spectrum Analysis
6 - Root Mean Square Error
7 - Mean Absolute Error

۲- ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر الگوهای سری زمانی به منظور پیش‌بینی، تناسب بیشتری نشان داده‌اند، زیرا متغیرهای اقتصادی سری زمانی، تمام اطلاعات مربوط به خود را در بردارند و می‌توان قوی‌ترین منبع برای توضیح هر متغیر را خود متغیر دانست (مشیری، ۱۳۸۰). پیش‌بینی سری‌های اقتصادی همواره مورد توجه بوده است. ارایه الگوهای متفاوت نیز دال بر اهمیت پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌باشد. البته در مورد برخی از سری‌ها همانند قیمت سهام، این توجه بیش‌تر مشهود است به عنوان مثال وو و لو^۱ (۱۹۹۳) قیمت سهام را پیش‌بینی کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که در پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت سهام آمریکا، شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مقایسه با روش ARIMA پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را ارایه می‌کند، اما در بلند مدت فرایند ARIMA توانایی پیش‌تری در پیش‌بینی دارد. مطالعات مشابه دیگری نیز قابل دسترسی است. مطالعاتی نیز مصرف انرژی را بررسی کرده‌اند. به عنوان نمونه رینگ‌وود و همکاران^۲ (۱۹۹۳)، مصرف هفتگی برق در کشور انگلستان را با استفاده از مدل‌های مختلفی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد پیش‌بینی فرایند AR دقیق‌تر از ARMA است، اما در مقابل فرایند ARMAX خطای کم‌تری در مقایسه با ARX^۳ دارد. در ایران نیز صفاری‌پور (۱۳۷۶)، با استفاده از تابع تقاضای برق اقدام به پیش‌بینی مصرف برق برای سال ۱۴۰۰ کرد. در این مطالعه الگوی پویا در مقایسه با الگوی ایستا مناسب‌تر تشخیص داده شد.

توسلی و مزرعتی (۱۳۷۸)، تقاضای انواع حامل‌های انرژی را پیش‌بینی کردند. در مطالعه‌ی آن‌ها روش‌های مختلفی شامل VAR^۴، BVAR و SBVAR مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه بر اساس معیارهای سنجش خطا نشان داد که مدل BVAR، دارای خطای کمتر و عملکرد بهتری در مقایسه با مدل VAR می‌باشد. پروتوگال^۵ (۱۹۹۵) و تکاز^۶ (۲۰۰۱)، دقت پیش‌بینی تولید ناخالص بخش صنعت در برزیل و کانادا را با استفاده از روش‌های شبکه‌ی عصبی مدل اجزاء غیرقابل مشاهده و فرایند ARIMA، مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که فرایند ARIMA برتری بیش‌تری در مقایسه با مدل شبکه عصبی دارد. حسنی (۲۰۰۷)، عملکرد روش (SSA) را با پیش‌بینی مرگ و میر تصادفی ماهانه در آمریکا، بررسی کرد. نتایج بدست آمده با نتایج روش‌های SARIMA باکس جنکینز^۷، الگوریتم ARAR و الگوریتم هولت - وینتر^۸ مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش SSA پیش‌بینی بسیار دقیق‌تری را نسبت به دیگر روش‌های ذکر شده، ارائه می‌دهد.

۳- مروری بر مصرف انرژی در بخش صنعت

امروزه یکی از شاخص‌های توسعه‌ی اقتصادی جوامع، افزایش سهم صنعت در تولید ناخالص ملی است. از سوی دیگر، کشورهای پیشرفته بزرگترین مصرف‌کننده‌ی انرژی هستند. این خود نشان می‌دهد در فرایند توسعه‌ی اقتصادی و صنعتی شدن، مصرف انرژی در بخش صنعت و در کل افزایش خواهد یافت. بنابراین در طی دوران رشد بسیاری از کشورها، بخش صنعت از پر مصرف‌ترین بخش‌های اقتصاد بوده و سپس به تدریج با ایجاد تغییرات ساختاری و افزایش سهم بخش خدمات در کل اقتصاد، سهم مصرف انرژی در بخش صنعت نیز کاهش یافته است. در سال ۱۳۴۶، بخش خانگی و تجاری ۴۱ درصد از مصرف نهایی انرژی را به خود اختصاص داده بود. این در حالی است که بخش‌های صنعت، حمل و نقل و کشاورزی به ترتیب ۲۵، ۲۴ و ۶ درصد از انرژی نهایی را مصرف

1 - Wu and Lu.

2 - Ringwood, J. V., Austin, P. C. and Monteith, W.

3 - Autoregressive model with eXternal input

4 - Bayesian Vector Autoregressive

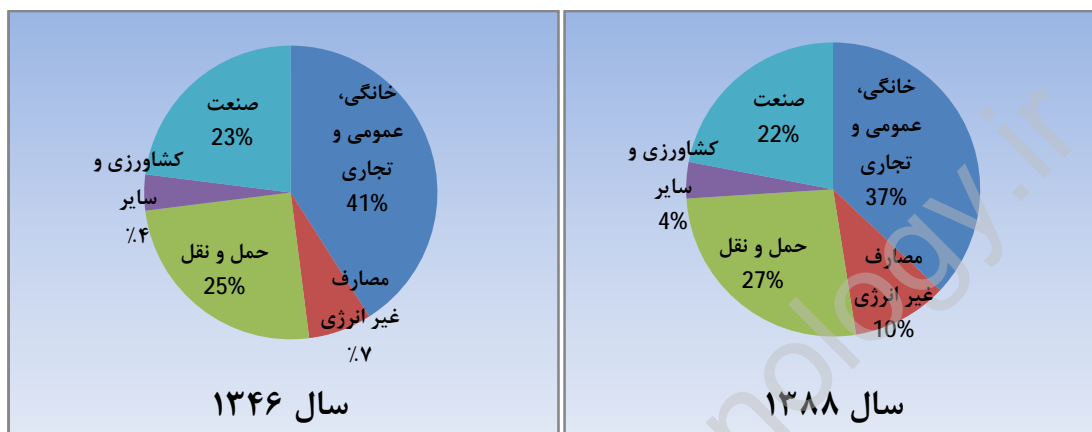
5 - Portugal

6 - Tkacz

7 - Box-Jenkins

8 - Holt-Winter algorithm

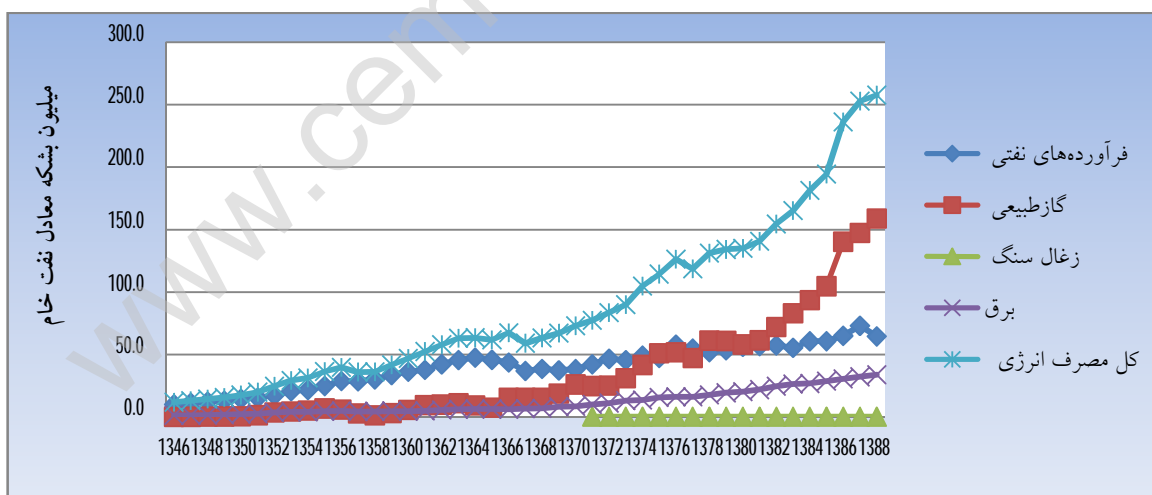
کرده‌اند، بقیه انرژی مصرفی شامل مصارف غیرانرژی سوخت‌های مختلف است. بر این اساس سهم بخش خانگی و تجاری بسیار بیشتر از سایر بخش‌ها بوده است. همانطور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود نسبت‌های مذکور در سال ۱۳۸۶ تغییر چندانی نداشته‌اند، اما میزان مصرف به طور مطلق در بیشتر بخش‌ها افزایش چشمگیری یافته، به طوری که در بخش صنعت مصرف انرژی طی دوره‌ی ۱۳۸۶-۱۳۴۶، از ۱۲/۹ میلیون بشکه معادل نفت خام به ۲۳۷ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده است.



مأخذ: ترازنامه‌ی انرژی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۶، وزارت نیرو امور انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی نمودار ۱- مقایسه سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی

۳-۱ بررسی روند و سهم حامل‌های انرژی در الگوی مصرف بخش صنعت

حامل‌های انرژی مورد مصرف بخش صنعتی کشور فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی، سوخت‌های جامد و برق هستند. نمودار (۲)، روند مصرف حامل‌های انرژی و کل مصرف نهایی انرژی در بخش صنعت را نشان می‌دهد.



مأخذ: ترازنامه‌ی انرژی سال‌های ۱۳۴۶-۱۳۸۸، وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی نمودار ۲- روند مصرف حامل‌های انرژی و کل مصرف نهایی در بخش صنعت

در طول دوره ۱۳۸۸-۱۳۴۶ فرآورده‌های نفتی تا سال ۱۳۷۴ بیش‌ترین سهم را در میان سایر حامل‌ها به خود اختصاص داده‌اند و از آن سال به بعد، مصرف گاز طبیعی نسبت به دیگر حامل‌ها افزایش یافته است. برق نیز همواره به عنوان یکی از حامل‌های انرژی در صنعت مورد استفاده قرار گرفته است. در طول دوره مورد بررسی ۱۳۸۸-۱۳۴۶، سهم برق مصرفی صنعت از کل انرژی مصرفی این بخش نوسان چندانی ندارد.

۴- داده‌ها و روش‌شناسی

۴-۱ داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه سری زمانی مصرف حامل‌های انرژی در صنعت شامل فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، برق و زغال سنگ در طول دوره‌ی ۱۳۸۹-۱۳۸۰ می‌باشند. داده‌ها به طور ماهانه و بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام است که از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸ گردآوری شده است.

۴-۲ روش‌شناسی

۴-۲-۱ روش SSA^۱

روش تحلیل طیف منفرد (SSA) یک روش جدید و قدرتمند در تجزیه و تحلیل سری زمانی شامل تجزیه و تحلیل سری زمانی کلاسیک، آمار چند متغیره، هندسه چند متغیره، سیستم‌های دینامیکی و پردازش سیگنال است. زمینه‌های کاربردی روش SSA گسترده می‌باشد: از ریاضیات و فیزیک تا اقتصاد و ریاضیات مالی، از هواشناسی و اقیانوس‌شناسی تا علوم اجتماعی و تحقیقات بازار. هدف اصلی روش SSA تجزیه سری اصلی به مجموعی از سری‌ها است، به طوری که هر جزء در این مجموعه را می‌توان به عنوان یک روند، جزء تناوبی یا شبه تناوبی، یا جمله اخلاص شناسایی کرد. که با بازسازی سری اصلی ادامه یافته است. روش SSA دو مرحله مکمل هم دارد: تجزیه و بازسازی، که هر دو شامل دو مرحله جداگانه می‌باشند. در مرحله اول ما سری را تجزیه می‌کنیم و در مرحله دوم سری اصلی را بازسازی می‌کنیم و از سری بازسازی شده (که بدون جمله اخلاص است) برای پیش-بینی داده‌های جدید استفاده می‌کنیم. در زیر ما بحث مختصری بر روی روش‌شناسی SSA مهیا کرده‌ایم.

مرحله ۱: تجزیه

گام اول: جاسازی کردن

جاسازی را می‌توان به عنوان نگاشتی در نظر گرفت که یک سری زمانی تک بعدی $Y_T = (y_1, \dots, y_T)$ را به سری چند بعدی X_1, \dots, X_K با بردارهای $X_i = (y_i, \dots, y_{i+L-1})' \in \mathbb{R}^L$ که در آن $K = T - L + 1$ است، انتقال می‌دهد. X_i بردارهای با وقفه L نامیده می‌شوند. تنها پارامتر جاسازی، طول L که یک عدد صحیح بین $2 \leq L \leq T$ است، می‌باشد. نتیجه این مرحله، ماتریس $X = [X_1, \dots, X_K] = (x_{ij})_{i,j}^{L,K=1}$ است.

گام دوم: تجزیه مقدار منفرد (SVD)

گام دوم، گام SVD، ایجاد تجزیه مقدار منفرد از ماتریس و نشان دادن آن به عنوان مجموعی از ماتریس‌های متعامد مرتبه یک می‌شود. $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ مقادیر ویژه ماتریس XX' با کاهش مقدار مرتبه $(\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_L \geq 0)$ و U_1, \dots, U_L سیستم متعامد یکه (که $(U_i, U_j) = 0$)

^۱ . Singular Spectrum Analysis

برای $i \neq j$ (ویژگی تعامد) و $\|U_i\|$ ویژگی معیار یکه) از بردارهای ویژه ماتریس XX' مرتبط با این مقادیر ویژه است. (U_i, U_j) محصول داخلی بردارهای U_i و U_j می باشد و $\|U_i\|$ حد وسط بردار U_i است. مجموعه

$$d = \max(i, \text{such that } \lambda_i > 0) = \text{مرتبه } X$$

اگر V_i را به صورت $V_i = X'U_i/\sqrt{\lambda_i}$ تعریف کنیم، سپس SVD ماتریس را می توان به صورت زیر نوشت:

$$X = X_1 + \dots + X_d \quad (1)$$

که در آن $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i'$ ($i=1, \dots, d$) می باشد. ماتریس های X_i مرتبه 1 دارند بنابراین ماتریس های ابتدایی هستند، U_i (در ادبیات SSA "عامل تجربی توابع متعامد" یا EOF نامیده شده اند) و V_i (اغلب "اجزای اصلی" نامیده شده اند) برای چپ و راست بردارهای ویژه ماتریس قرار گرفته اند. مجموعه $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$ آمین سه جزئی ماتریس X نامیده شده است، $\sqrt{\lambda_i}$ ($i=1, \dots, d$) مقادیر منفرد ماتریس X و مجموعه $\{\sqrt{\lambda_i}\}$ طیف ماتریس X نامیده شده است. اگر همه مقادیر ویژه فراوانی 1 دارند، سپس بسط (2.1) به طور منحصر به فرد تعریف شده است.

SVD (رابطه 1) بهینه است به این معنی که در میان همه ماتریس های $X^{(r)}$ از مرتبه $r < d$ ، ماتریس $\sum_{i=1}^r \lambda_i$ $\|X\|^2 = \sum_{i=1}^d \lambda_i$ بهترین برآورد را از ماتریس X فراهم می کند، به طوری که $\|X - X^{(r)}\|$ مینیمم است. توجه داشته باشید که $\|X\|^2 = \sum_{i=1}^d \lambda_i$ و $\|X_i\|^2 = \lambda_i$ برای $i=1, \dots, d$ می باشد. بنابراین ما می توانیم نسبت $\lambda_i / \sum_{i=1}^d \lambda_i$ را به عنوان معیاری از سهم ماتریس X_i در بسط (1) در نظر بگیریم. در نتیجه $\sum_{i=1}^r \lambda_i / \sum_{i=1}^d \lambda_i$ مشخصه ای از برآورد بهینه ماتریس توسط ماتریس های مرتبه r می باشد.

مرحله 2: بازسازی

گام اول: گروه بندی

گام گروه بندی مربوط به تقسیم ماتریس های ابتدایی X_i در چندین گروه و جمع ماتریس ها در داخل هر گروه است. اجازه دهید $I = \{i_1, \dots, i_p\}$ یک گروه از شاخص های i_1, \dots, i_p باشد. سپس ماتریس X_I مربوط به گروه I ، به صورت $X_I = X_{i_1} + \dots + X_{i_p}$ تعریف شده است. ریختن مجموعه ای از شاخص های $J = 1, \dots, d$ در زیر مجموعه های جداگانه I_1, \dots, I_m متناظر است با:

$$X = X_{I_1} + \dots + X_{I_m} \quad (2)$$

روش انتخاب مجموعه های I_1, \dots, I_m ، گروه بندی سه جزئی نامگذاری شده است. برای گروه مشخص I سهم جزء X_I در بسط (1) توسط سهم مقادیر ویژه مربوطه اندازه گیری شده است: $\sum_{i \in I} \lambda_i / \sum_{i=1}^d \lambda_i$

گام دوم: میانگین قطری

میانگین قطری، هر ماتریس I را به یک سری زمانی انتقال می دهد، که یک جزء افزایشی سری Y_T اولیه است. اگر Z_{ij} یک جزء از ماتریس Z بگیریم، سپس K امین جمله از نتایج سری به وسیله میانگین Z_{ij} بدست آمده است به طوری که $i+j=k+2$ می باشد. این روش میانگین قطری یا هنکل سازی ماتریس Z نامیده می شود. نتیجه هنکل سازی یک ماتریس Z ، ماتریس هنکل HZ است که ماتریس مربوط به سری بدست آمده از میانگین قطری است. توجه کنید که هنکل سازی یک روش بهینه است به این معنا که ماتریس Z در میان تمام ماتریس های هنکل با اندازه یکسان می باشد. ماتریس هنکل، سری را به طور منحصر به فرد توسط مقدار در قطرها به مقادیر در سری تعریف می کند. با بکارگیری روش هنکل سازی در تمام اجزاء ماتریس (2)، بسط دیگری داریم:

$$X = \bar{X}_{I_1} + \dots + \bar{X}_{I_m} \quad (3)$$

که در آن $\bar{X}_{I_1} = HX$. این معادل است با تجزیه سری اولیه $Y_T = (y_1, \dots, y_T)$ به مجموعی از m سری:

$$y_t = \sum_{k=1}^m \tilde{y}_t^{(k)} \quad (4)$$

که در آن $\tilde{Y}_T^{(k)} = (\tilde{y}_1^{(k)}, \dots, \tilde{y}_T^{(k)})$ مربوط به ماتریس X_{I_k} است.

۴-۲-۲ روش ARIMA^۱

به طور کلی فرآیندی را ARIMA (p,q) گویند که شامل p مرتبه جمله خود رگرسیون و q مرتبه جمله میانگین متحرک باشد (گجراتی، ۱۳۷۸). یک مدل عمومی ARIMA (p,q) عبارت است از:

$$E_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i E_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (5)$$

انتخاب وقفه یکی از مهمترین مراحل پیش‌بینی الگوهای سری زمانی است. پیندیک و رابینفلد^۲ (۱۹۹۸)، استفاده از ضرایب همبستگی جزئی را برای انتخاب وقفه یا مرتبه‌ی فرآیند اتورگرسیو مناسب عنوان کردند. پسران^۳ (۱۹۹۷)، به منظور تعیین وقفه، استفاده از معیار آکائیک را پیشنهاد دادند. روش اندرس^۳ (۲۰۰۴)، نیز مبتنی بر ویژگی‌های تابع خودهمبستگی و تابع خودهمبستگی جزئی است. از این رو می‌توان گفت استفاده از بیش از یک معیار و قضاوت نهایی بر اساس خطای پیش‌بینی، در بیشتر مطالعات مشهودترین نتیجه در ادبیات انتخاب وقفه است.

۴-۳ انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی:

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری دقت مدل‌های پیش‌بینی وجود دارد رایج‌ترین آن‌ها معیار ریشه‌ی میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی است. هر مدلی که کم‌ترین مقدار از ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی را داشته باشد، به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی انتخاب می‌شود. در این بررسی نیز از معیار مزبور استفاده شده است. این معیار بصورت زیر است:

$$RMSE = \left(\sum_{t=T}^{T+h} (\hat{y}_t - y_t)^2 / n \right)^{1/2} \quad (6)$$

که در آن \hat{y}_t و y_t به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی سری مورد پیش‌بینی هستند و n نیز تعداد مشاهدات مورد پیش‌بینی می‌باشد، T همچنین داده‌های مورد استفاده برای انتخاب فرآیند پیش‌بینی می‌باشد. علاوه بر معیار فوق از معیار شاخص میانگین مطلق خطاها نیز استفاده می‌شود که بصورت رابطه (۷) تعریف می‌گردد. هر چه مقادیر این دو شاخص پایین‌تر باشد، نتایج حاصل از پیش‌بینی به لحاظ آماری معتبرتر خواهد بود.

$$MAD = \sum |\hat{y}_t - y_t| / n \quad (7)$$

درصد خطای پیش‌بینی نیز یک معیار اندازه‌گیری براساس RMSE است. این معیار از تقسیم RMSE به متوسط مقادیر واقعی دوره آزمون بدست می‌آید.

$$\frac{RAMSE}{\text{Mean}(y^{\text{test}})} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{درصد خطای پیش‌بینی} = 100 - \text{درصد دقت پیش‌بینی} \quad (9)$$

۵ نتایج و بحث:

۵-۱ بررسی ایستایی

در ابتدا به منظور بررسی پایایی متغیرها، آزمون ایستایی برای متغیرهای الگو با استفاده از بسته نرم افزاری EViews انجام شد. فرض صفر در این آزمون وجود ریشه واحد است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود کلیه متغیرها در سطح نایستا هستند، چون نمی‌توان فرض صفر در همه آنها رد کرد ولی همگی در سطح تفاضل مرتبه اول ایستادند.

^۱. Auto Regressive Intergrated Moving Average

^۲. Pindyck and Rubinfeld

^۳. Enderse

جدول ۱ - نتایج حاصل از انجام آزمون ADF در سطح و تفاضل مرتبه اول (بر اساس معیار SIC در سطح ۰.۹۵)

نام متغیر	در سطح متغیر				تفاضل مرتبه اول			
	t-statistic	وقفه	مقدار بحرانی	ایستایی	t-statistic	وقفه	مقدار بحرانی	ایستایی
فراورده‌های نفتی	۰/۳۶	۱	-۲/۸۹	نا ایستا	-۶/۸۴	۱	-۲/۸۹	نا ایستا
گاز طبیعی	۱/۰۷	۳	-۲/۸۹	نا ایستا	-۵/۳۸	۲	-۲/۸۹	نا ایستا
برق	-۰/۵۷	۲	-۲/۸۹	نا ایستا	-۳/۹۶	۱	-۲/۸۹	نا ایستا
زغال سنگ	-۱/۶۳	۲	-۲/۸۹	نا ایستا	-۳/۴۳	۱	-۲/۸۹	نا ایستا

منبع: محاسبات تحقیق

۲-۵) تخمین مدل‌های ARIMA:

به منظور استفاده از روش باکس جنکینز^۱ ابتدا باید مدل ویژه‌ای را از میان مدل‌های اتورگرسیو (AR)، میانگین متحرک (MA) و مدل‌های تلفیق شده اتورگرسیو-میانگین متحرک (آریمایا)، تشخیص داد. البته بایستی از فرم پایا شده شده برای تشخیص درجه AR و MA استفاده کرد. از این رو با توجه به جدول ۱، متغیرها را به شکل تفاضلی در نظر گرفته و وارد مدل می‌کنیم. تشخیص الگوی ARIMA مربوط به مصرف حامل‌های انرژی از طریق رسم نمودار خود همبستگی (ACF^۲) و خود همبستگی جزئی (PACF^۳) انجام شد. از آنجا که داده مورد استفاده در این پژوهش بصورت ماهانه گردآوری شده است از این رو وقفه‌هایی متناسب با ماه‌های سال برای متغیرها در نظر گرفته شد. در مرحله بعد الگویی که دارای کمترین خطای پیش‌بینی و مقدار آماره‌های آکائیک و شوارتر است انتخاب شد. البته الگوی انتخابی از نظر نوفه سفید بودن جملات پسماند نیز مورد آزمون قرار گرفت که به استناد عدم معناداری آماره Q این خصوصیت - که مبین، درستی تصریح الگوی انتخابی است - تأیید می‌شود. مقایسه الگوهای برآورد شده براساس معیارهای آکائیک^۴ و شوارتر^۵ و نیز قدرت پیش‌بینی آنها در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ - تخمین مدل AR و MA و ARIMA برای متغیر مصرف حامل‌های انرژی

نام متغیر	درجه AR	درجه MA	AIC	SBC	RMSE
گاز طبیعی	۱۲	۰	۳/۳۶	۳/۴۲	۳/۸۸
	۲۴/۱۲	۲۴/۱۲	-۱/۰۳	-۰/۸۷	۴/۷۳
برق	۱۲	۰	-۱/۹۲	-۱/۸۶	۰/۰۵
	۲۴/۱۲	۰	۱/۵۸	۱/۶۷	۵/۲۵
فراورده‌های نفتی	۲۴/۱۲	۱۲	۱/۴۴	۱/۵۷	۵/۸۱
	۲۴/۱۲	۰	-۸/۲۳	-۸/۱۳	۰/۰۵
زغال سنگ	۲۴/۱۲	۲۴	-۸/۸۱	-۸/۶۸	۰/۰۶
	۲۴/۱۲	۲۴	-۸/۸۱	-۸/۶۸	۰/۰۶

منبع: محاسبات تحقیق

1. Box Jenkins
 2. Autocorrelation Function
 3. Partial Autocorrelation Function
 4. Akaike Criterion
 5. Schwarz Criterion

۳-۵) پیش‌بینی به روش SSA:

در این روش، L^1 ، تنها پارامتر مرحله تجزیه است. انتخاب طول مناسب به اطلاعات اولیه در رابطه با سری زمانی بستگی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که L بایستی به اندازه کافی بزرگ باشد اما نه بزرگتر از $T/2$ (حسینی، ح، ۲۰۰۷). بنابراین اگر بدانیم سری زمانی احتمالاً یک جزء دوره‌ای با دوره تناوب صحیح دارد (برای مثال، در اینجا عنصر سازنده یک جزء ماهانه است)، پس برای بدست آوردن تفکیک‌سازی بهتر این جزء دوره‌ای، طول L بایستی متناسب با این دوره تناوب در نظر گرفته شود. بنابراین طول L در این پژوهش برای حامل‌های انرژی معادل $L=3$ در نظر گرفته شد که معادل یک چهارم دوره تناوب می‌باشد. نتایج مربوط به پیش‌بینی‌های این روش بوسیله نرم افزار Caterpillar-SSA 3.30 صورت گرفته که در جدول ۳ بیان شده است.

۴-۵) مقایسه دقت پیش‌بینی درون نمونه ای الگوهای ARIMA و SSA:

حال برای سنجش توان این دو الگو در پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی، از داده‌های ماهانه سال ۱۳۸۸ استفاده شد. نتایج مربوط به دقت پیش‌بینی الگوی SSA و الگوی انتخابی از مجموعه ARIMA براساس معیارهای MAD و RMSE در جدول ۳ آمده است. مقایسه نتایج بدست آمده از بهترین الگوهای SSA و ARIMA، بیانگر این مسئله است که الگوی SSA بر اساس هر دو معیار خطای مورد بررسی در این تحقیق، عملکرد بهتری نسبت به الگوی ARIMA در پیش‌بینی مصرف حامل‌ها داشته است که این برتری در مورد پیش‌بینی مصرف زغال سنگ به شکل واضح‌تری دیده می‌شود.

جدول ۳- مقایسه قدرت پیش‌بینی الگوهای مختلف

درصد دقت پیش‌بینی	میانگین قدرمطلق خطا (MAD)	میانگین مجذور خطا (RMSE)	الگو	متوسط دوره	حامل‌های انرژی
۹۱/۸۶	۴/۲۴	۵/۲۵	ARIMA	۶۴/۵۲	فرآورده های نفتی (Oil)
۹۵/۰۱	۲/۵۳	۳/۲۲	SSA(L=3)		
۹۹/۸۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵	ARIMA	۳۳/۸۲	برق (Elct)
۹۹/۹۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	SSA(L=3)		
۹۷/۵۶	۳/۸۷	۳/۸۸	ARIMA	۱۵۸/۷۸	گاز طبیعی (G)
۹۸/۷۷	۱/۵۴	۱/۹۵	SSA(L=3)		
۷۹/۱۶	۰/۰۴۷	۰/۰۵	ARIMA	۰/۲۴	زغال سنگ (Coal)
۹۷/۹۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	SSA(L=3)		

منبع: محاسبات تحقیق

بنا به نتایج جدول ۳، از الگوی SSA برای پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی استفاده می‌شود. مقادیر پیش‌بینی شده تقاضای حامل‌های مختلف انرژی در بخش صنعت با استفاده از روش SSA به صورت ماهانه در جدول شماره ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل با روش SSA می‌توان در مورد عکس‌العمل بخش صنعت به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در کوتاه مدت به نکات ذیل اشاره کرد. مصرف نفت‌خام و زغال‌سنگ طی دوره مورد مطالعه با روندی ملایم کاهش یافته است. در حالی که از سوی دیگر، انتظار می‌رود تقاضای گاز طبیعی و الکتریسیته در بخش صنعت در این دوره به طور بطئی افزایش یابد.

1. window length

جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی شده مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت طی دوره (۱۳۹۱-۱۳۸۸)

(بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام)

سال ۹۱				سال ۹۰				سال ۸۹				
Coal	G	Elct	Oil	Coal	G	Elct	Oil	Coal	G	Elct	Oil	
۰/۱۸۰	۱۹۶/۳۷	۳۷/۹۹	۵۵/۸۴	۰/۱۸۹	۱۸۱/۷۷	۳۶/۳۵	۵۶/۲۴	۰/۱۹۹	۱۶۶/۶۱	۳۴/۷۲	۵۸/۹	فروردین
۰/۱۷۹	۱۹۷/۵۵	۳۸/۱۲	۵۵/۶۵	۰/۱۸۸	۱۸۳/۰۱	۳۶/۴۹	۵۶/۱۳	۰/۱۹۹	۱۶۷/۸۹	۳۴/۸۵	۵۷/۱۵	اردیبهشت
۰/۱۷۸	۱۹۸/۷۳	۳۸/۲۶	۵۵/۵۹	۰/۱۸۷	۱۸۴/۲۵	۳۶/۶۲	۵۶/۰۵	۰/۱۹۹	۱۶۹/۱۷	۳۴/۹۹	۵۷/۷۵	خرداد
۰/۱۷۸	۱۹۹/۹۰	۳۸/۳۹	۵۵/۲۶	۰/۱۸۶	۱۸۵/۴۸	۳۶/۷۶	۵۶/۹۹	۰/۱۹۸	۱۷۰/۴۴	۳۵/۱۳	۵۷/۴۸	تیر
۰/۱۷۸	۲۰۱/۰۷	۳۸/۵۳	۵۵/۲	۰/۱۸۵	۱۸۶/۷۱	۳۶/۹۰	۵۶/۹۰	۰/۱۹۷	۱۷۱/۷۲	۳۵/۲۶	۵۷/۴۶	مرداد
۰/۱۷۷	۲۰۲/۲۳	۳۸/۶۶	۵۶/۰۴	۰/۱۸۴	۱۸۷/۹۳	۳۷/۰۳	۵۶/۷۲	۰/۱۹۷	۱۷۲/۹۸	۳۵/۴۰	۵۷/۱۹	شهریور
۰/۱۷۶	۲۰۳/۳۸	۳۸/۸۰	۵۵/۰۴	۰/۱۸۳	۱۸۹/۱۵	۳۷/۱۷	۵۶/۴۱	۰/۱۹۶	۱۷۴/۲۵	۳۵/۵۳	۵۷/۹۵	مهر
۰/۱۷۵	۲۰۴/۵۳	۳۸/۹۴	۵۴/۸۹	۰/۱۸۲	۱۹۰/۳۷	۳۷/۳۱	۵۵/۹۴	۰/۱۹۵	۱۷۵/۵۲	۳۵/۶۷	۵۷/۷۳	آبان
۰/۱۷۴	۲۰۵/۶۷	۳۹/۰۷	۵۴/۵۴	۰/۱۸۱	۱۹۱/۵۸	۳۷/۴۴	۵۵/۷۰	۰/۱۹۴	۱۷۶/۷۷	۳۵/۸۱	۵۷/۶۵	آذر
۰/۱۷۳	۲۰۶/۸۱	۳۹/۲۱	۵۴/۳۸	۰/۱۸۰	۱۹۲/۷۸	۳۷/۵۸	۵۵/۴۹	۰/۱۹۴	۱۷۸/۰۳	۳۵/۹۴	۵۶/۵۴	دی
۰/۱۷۲	۲۰۷/۹۴	۳۹/۳۴	۵۴/۲۲	۰/۱۷۹	۱۹۳/۹۸	۳۷/۷۱	۵۵/۰۶	۰/۱۹۳	۱۷۹/۲۸	۳۶/۰۸	۵۶/۴۱	بهمن
۰/۱۷۱	۲۰۹/۰۶	۳۹/۴۸	۴۹/۰۹	۰/۱۸۰	۱۹۵/۱۸	۳۷/۸۵	۵۲	۰/۱۹۲	۱۸۰/۵۳	۳۷/۲۲	۵۴/۳۸	اسفند

منبع: محاسبات تحقیق

۶) نتیجه گیری و پیشنهاد:

هدف از این مقاله بررسی واکنش بخش صنعت به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در کوتاه‌مدت (یک دوره دو ساله - سال-های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ است). با توجه به این که پس از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها قیمت حامل‌های انرژی به طرز قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت در نتیجه انتظار می‌رفت که مصرف حامل‌های انرژی در این بخش کاهش قابل ملاحظه‌ای یابد. از این رو در این مقاله سعی شده است میزان تقاضای حامل‌های انرژی برای دوره دو ساله پس اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها پیش‌بینی شود. با توجه به در دسترس نبودن داده‌های سال ۱۳۸۹، آمار مربوط به این سال‌ها نیز پیش‌بینی شده است.

گام نخست در انجام پیش‌بینی انتخاب روش مناسب است. از میان روش‌های مختلف پارامتریک، روش ARIMA و از میان روش‌های پیش‌بینی غیرپارامتریک، روش SSA انتخاب شد. در گام بعد، به مقایسه دقت نتایج حاصل از تخمین و پیش‌بینی‌های حاصل از این دو روش پرداخته شد. داده‌های مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت به طور ماهانه و در دو بخش، داده‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ برای برآورد مدل‌ها و داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۸ برای سنجش توان الگوها، استفاده گردید. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی روش SSA به مراتب بیشتر از روش ARIMA است و نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد. از این رو پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت برای ۳ سال آینده با استفاده از روش SSA صورت گرفت که نشان‌دهنده کاهش جزئی در مصرف فرآورده‌های نفتی و زغال سنگ و از سوی دیگر افزایش تقاضا برای مصرف سوخت‌های برق و گاز طبیعی در بخش صنعت است. نتایج موجود مبین کسش قیمتی پایین بخش صنعت به قیمت حامل‌های انرژی است. به عبارت دیگر با توجه به هزینه سنگین تجهیزات انرژی بر در بخش صنعت امکان استفاده از تجهیزات با کارایی بیشتر در کوتاه‌مدت در این بخش وجود ندارد. و کاهش مصرف جزئی نیز تنها از طریق صرفه‌جویی در این بخش رخ خواهد داد. دلیل دیگری که می‌توان برای کاهش مصرف انرژی در بخش صنعت عنوان کرد، رکود اقتصادی و کاهش فعالیت بخش صنعت طی سال‌های اخیر است که انتظار می‌رود رکود در چند سال آینده نیز ادامه یابد. علاوه بر این به نظر می‌رسد با توجه به افزایش نسبی قیمت‌های جهانی نفت خام و فرآورده‌های نفتی نسبت به سایر حامل‌های انرژی صنعت‌گران در سبب انرژی مصرفی‌شان الکتریسیته و گاز طبیعی تا اندازه‌ای جایگزین نفت خام کنند.

در نتیجه انتظار می‌رود تقاضای الکتریسیته و گاز طبیعی در بخش صنعت علیرغم افزایش قیمت این دو حامل انرژی، افزایش یابد. از سوی دیگر مصرف زغال سنگ به دلیل بهره‌وری پایین تجهیزات مصرف‌کننده آن و همچنین آثار مخرب زیست‌محیطی به تدریج کاهش خواهد یافت. در پایان اشاره به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که علیرغم وجود برخی تغییرات در مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت می‌توان ادعا کرد که حساسیت بخش صنعت در کوتاه‌مدت نسبت به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی پایین است.

فهرست منابع:

- آرمن، سید عزیز. و زارع، ۱۳۸۴، بررسی رابطه‌ی علیت گرنجری بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران طی سال‌های ۱۳۴۶-۱۳۸۱. فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی ایران. ۷(۲۴): ۱۱۷-۱۴۳.
- ترازنامه انرژی، سال ۱۳۸۸، وزارت نیرو، امور انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی [اینترنتی]. قابل دسترس در: <http://pep.moe.org.ir>
- مشیری، سعید، ۱۳۸۰. پیش‌بینی تورم ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری زمانی و شبکه‌های عصبی. مجله تحقیقات اقتصادی. ۵۸: ۱۴۷-۱۸۴.
- صفاری‌پور اصفهانی، ۱۳۷۶. بررسی و پیش‌بینی تقاضای برق در ایران. مجله‌ی برنامه و بودجه. ۲ (۱۳ و ۱۴): ۷۵-۹۲.
- متوسلی، محمود و مزرعتی، محمد، ۱۳۷۸. پیش‌بینی و تحلیل سیاستی از تقاضای حامل‌های انرژی در ایران (مدل‌های VAR، BVAR و پیشنهاد مدل SBVAR). مجله‌ی برنامه و بودجه. (۴۳ و ۴۴): ۲۹-۷۶.
- موسوی، سید نعمت اله، مختاری، زینب و فرج زاده، زکریا، ۱۳۸۹. پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در بخش کشاورزی ایران با الگوهای ARCH و ARIMA. فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۲۷: ۱۹۵-۱۸۱.
- آرمن، سید عزیز، کمالی، پروانه و هیبتی، رضا، ۱۳۸۹. بررسی رابطه‌ی بین مصرف حامل‌های انرژی و تولید صنعتی در ایران. فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی. ۲۷: ۴۶-۱۹.
- BP Statistical Review of World Energy, June 2010. <http://bp.com/statisticalreview>.
- Wu, S. I. and Lu, R. P. 1993. Combining Artificial Neural Network and Statistics for Stock Market. Forecasting, 257-264.
- Ringwood, J. V. , Austin, P. C. and Monteith, W. 1993. Forecasting Weekly Electricity Consumption: A Case Study. Energy Economics, 15: 285-296.
- Portugal, N. S. 1995. Neural Network Versus Time Series Methods: A Forecasting Exercises, 14th International Symposium on Sweden.
- Tkacz, G. 2001. Neural Network Forecasting of Canadian GDP Growth. International Journal of Forecasting, 17: 57-69.
- Hassani, H. 2007. Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison. Journal of Data Science, 5: 239-257.