مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی
سال یکم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۷۶-۵۹

نوسانات قیمت انرژی در مدل‌های رگرسیون چرخشی و شبکه عصبی

مینو نظیفی‌نایینی
کارشناس‌ارشد اقتصاد
minoonazifi@gmail.com

شهرام فتاحی
استادیار گروه اقتصاد دانشگاه رازی
sh_fatahi@yahoo.com

سعید صمدی
استادیار گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان
samadi_sa@yahoo.com

اصلاح سازوکار قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی در ایران همواره مورد تأکید کارشناسان صندوق بین‌المللی پول بوده است. این توصیه، بیش از هر عاملی، ناظر بر آثار خاص تخصیص طولانی مدت یارانه بر اختلال در قیمت‌های نسبی اقتصاد، هدر رفت منابع، ضعیف شدن پایداری بخش انرژی در اقتصاد و آثار خاص شتاب رشد مصرف انرژی بوده است. لذا لازم است مطالعات علمی بیش‌تری در زمینه قیمت‌گذاری انرژی انجام شود. در این مطالعه نوسانات قیمت انرژی الکتریکی را در ارتباط با حامل‌های انرژی و بازارهای مالی و تقاضای انرژی در نظر می‌گیریم.در این راستا از دو روش غیر خطی شبکه‌های عصبی و رگرسیون چرخشی کمک می‌گیریم تا بتوان اثر شوک‌های متغیرهای مستقل را بر روی متغیر وابسته بهتر مدل‌سازی کنیم و قابلیت تشخیص دو رژیم با نوسانات مختلف را دارد. ما از دو روش استفاده می‌کنیم زیرا شبکه عصبی قابلی در برآورد و تخمین دقیق سری داده‌ها دارد و روش رگرسیون سوئیچینگ قابلیت تشخیص زمان شوک‌ها و نوسانات و پرش‌ها یا همان زمان تغییر رژیم نوسانات را دارد. دوره مورد مطالعه سال‌های (۱۳۸۷-۱۳۶۷) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *OLS، رگرسیون چرخشی، زنجیره مارکف، حامل‌های انرژی، نوسانات تقاضای انرژی الکتریکی، بازارهای مالی.*

* تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۱ * تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/٤/۲۲

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

دیدگاه‌های مختلفی نسبت به بازار جهانی انرژی وجود دارد. برخی با نگاه بلندمدت به آینده، بازار انرژی را عموما ثابت فرض می‌کنند و برخی با نگاه کوتاه‌مدت (فصلی، روزانه و حتی ساعتی) آن را متغیر و بی‌ثبات می‌بینند. رشد اقتصادی و رشد جمعیت باعث افزایش تقاضای انرژی شده‌است. ساختار صنعت برق در بسیاری از کشورهای جهان در حال گذار از فضای انحصاری به فضای رقابتی است. جدید ساختار در صنعت برق در کشورهای مختلف با مدل‌های متفاوتی جهت خصوصی سازی و رقابتی کردن این صنعت در حال انجام می‌باشد. اگرچه انرژی الکتریکی به‌دلیل ویژگی‌های خاص آن نظیر عدم ذخیره‌سازی در حجم زیاد با کالاهای دیگر متفاوت است، ایده اصلی در فرآیند رقابتی کردن صنعت برق در نظر گرفتن انرژی الکتریکی به عنوان یک کالاست که از طریق قراردادهای دوطرفه، چندطرفه و یا از طریق بازار برق می‌تواند معامله شود (شهیده‌پور و آلموش، ۲۰۰۱).

قیمت انرژی از یک سو مصرف و تقاضای انرژی و از سوی دیگر تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی را تحت‌تأثیر قرار داده است. بنابراین افزایش قیمت از یک سو باعث جانشینی سایر حامل‌های انرژی‌زا به جای آن خواهد شد و از سوی دیگر در کوتاه‌مدت باعث افزایش هزینه‌های تولید گشته و میزان تولید را کاهش خواهد داد. در بلندمدت نیز افزایش هزینه‌ها بستگی به توان جایگزینی سایر نهاده‌ها و حامل‌ها خواهد داشت.

منابع اصلی تولید انرژی در دنیای امروز، به شش دسته طبقه‌بندی می‌شوند: زغال‌سنگ، نفت، گاز، انرژی هسته‌ای، انرژی آبی و انرژی‌های تجدیدپذیر. در اقتصاد ایران به دلیل وجود منابع عظیم انرژی و قابلیت دسترسی به نسبت آسان به این منابع، هزینه انرژی در مقایسه با سایر هزینه‌ها، ناچیز بوده و از این نظر حساسیت و انگیزه زیادی برای صرفه‌جویی و استفاده معقول از این موهبت وجود ندارد. این در حالی است که همواره قیمت حامل‌های انرژی نسبت به سایر کالاها پایین بوده و قیمت حامل‌های انرژی به عنوان علامت‌دهنده فعالیت اقتصادی عمل نکرده است. در این جا لزوم بررسی قیمت انرژی الکتریکی و نحوه قیمت گذاری آن در ارتباط با حامل‌های انرژی و دیگر عوامل موثر آشکار بنظر می‌رسد. لذا در مطالعه حاضر سعی بر آن شده سهم هر یک از عوامل مؤثر بر قیمت‌گذاری انرژی الکترکی بررسی شود.

۲. روش تحقیق

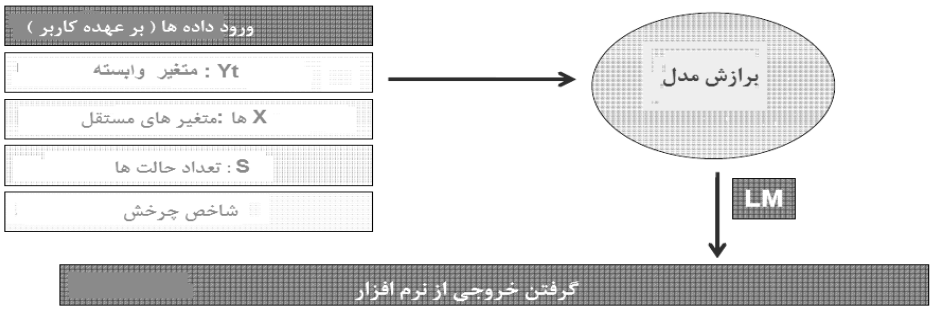
در این مطالعه مدل‌سازی قیمت انرژی الکتریکی از طریق دو روش رگرسیون چرخشی وشبکه عصبی می‌پردازیم. شبکه عصبی و رگرسیون غیرخطی از نوع رگرسیون چرخشی. داده‌های این مطالعه برای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

دوره سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۶۷ می‌باشد و داده‌ها از ترازنامه انرژی و سایت وزارت نیرو جمع‌آوری شده است. نرم‌افزار های مورد استفاده در این مطالعه SPSS برای شبکه عصبی و MATLAB برای رگرسیون چرخشی می‌باشد. متغیر وابسته در این مطالعه نوسانات قیمت انرژی الکتریکی و متغیرهای مستقل شامل قیمت حامل‌های انرژی عوامل تعیین‌کننده تاثیر بازارهای مالی و تقاضای انرژی الکتریکی می‌باشد.

۲-۱. مبانی نظری

رویکرد چرخشی مارکف زمانی مفید خواهد بود که سری از حالتی به حالت دیگر تغییر کند و متغیری که باعث تغییرات رژیم می‌شود قابل مشاهده نباشد. پارامترهای مدل از روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شوند این مطالعه یک راهکار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات در میان رژیم‌ها را ارائه می‌دهد. چون الگوهای چرخشی مارکف که گاهی از آنها به الگوهای چرخشی رژیم تعبیر می‌شود، فروض کمتری را بر توزیع متغیرهای مدل تحمیل می‌نماید و قادر به برآورد همزمان تغییرات متغیرهای مستقل و وابسته، مشروط به درونزا بودن وضعیت اقتصاد کشور در هرمقطعی از زمان (وضعیت آرامش یا وضعیت بحران) می‌باشد، بر الگوهای پیشین رجحان دارند.وقتی s=1 باشد وضعیت آرامش و وقتی s=1 باشد وضعیت بحران تعبیر می‌شود. فرد اقتصاد سنج فرض می‌کند که این چرخش‌ها به طور مستقیم مشاهده نمی‌شوند اما در عوض باید یک استنتاج احتمالی راجع به اینکه کی و کجا این چرخش و تغییرات ممکن است اتفاق بیفتد داشته باشد و این استنتاج براساس رفتار مشاهده شده از خود سری ایجاد می‌شود.ذات غیرخطی‌بودن که در این مدل روی آن تمرکز می‌کنیم وقتی ایجاد می‌شود که فرآیند در رابطه با یک انتقال گسترده در طول بخش‌های رژیم باشد که رفتار پویای سری واضحاً دارای تفاوت می‌باشد.



[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

ما یک متغیر غیر قابل مشاهده در یک سری زمانی داریم (St) که بین تعداد مشخصی از حالات تغییر و چرخش می‌کند و برای هر حالت یک فرآیند مستقل داریم. یک قانون احتمال داریم که انتقالات از یک حالت به حالت دیگر را پوشش می‌دهد.

مدل چرخشی مارکف یک راهکاری است که به وسیله در نظر گرفتن احتمال توام شرطی برای حالات آینده به عنوان یک تابع از احتمالات شرطی در حالات جاری و انتقالات احتمالات بدست می‌آید. احتمالات شرطی حالات جاری بعنوان ورودی از طریق یک ماتریس احتمالات انتقال فیلتر می‌شود که با این کار احتمالات شرطی حالات آینده به‌عنوان خروجی بدست می‌آید.

برای مثال فرض کنید m=2 باشد (یعنی دو حالت) برای متغیر حات مشاهده شده به صورت S_t علامت‌گذاری می‌شود که به صورت فرآیند مارکف، احتمالات زیر بیان می‌شود. که p_{11} نشانگر احتمال بودن در رژیم ۱ با فرض اینکه در دوره قبل در رژیم ۱ باشد و p_{22} احتمال بودن در رژیم ۲ با فرض اینکه سیستم در دوره قبل در رژیم ۲ بوده است :

$$\begin{aligned} &Pr(St=1|St-1=1)=p_{11}\\ &Pr(St=2|St-1=1)=1-p_{11}\\ &Pr(St=2|St-1=2)=p_{22}\\ &Pr(St=1|St-1=2)=1-p_{22} \end{aligned} \qquad (۱)$$

۲-۲. روش برآورد و متودولوژی

پارامترهای مدل شامل بردار $\Theta=(\beta,\sigma,\Pi)$ می‌باشد و درستنمایی مدل نیز به‌صورت زیر می‌باشد:

$$L(\Theta;y_{1:T},X_{1:T})=f(y_{1:T}|X_{1:T},\beta,\sigma)=\sum_{t=1}^{T}\sum_{s}f(y_t|S_t,X_t\beta,\sigma)P(S_t|\Pi) \qquad (۲)$$

S یا متغیر حالت (رژیم) یک متغیر غیرقابل مشاهده می‌باشد و درستنمایی برابر است با توزیع حاشیه‌ای همجمع برای y و S می‌باشد. در این حالت ، وابستگی تبعی بین y وX متناظر با مدل‌های خطی (OLS) می‌باشد.

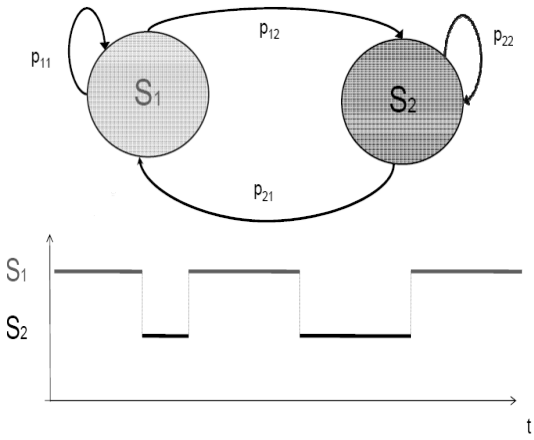
$$y|X,\beta,\sigma\sim N(X\beta,\sigma^2 I) \qquad (۳)$$

که بر روی میانگین‌های S حالت مجموعه ای از پارامترها برای هر مجموعه‌ای از پارامترهای هر حالت، شرطی شده است.

$$y|S,X,\beta,\sigma\sim N(X\beta^{(s)},\sigma^{(s)^2}I) \qquad (۴)$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

حال اگر بخواهیم مارکفی بودن و چرخشی بودن یک فرآیند را با هم در نظر بگیریم و این امر را برای یک فرآیند دو رژیمه یا دو حالته انجام دهیم به صورت زیر انجام می‌شود و برای نمودار رژیم‌ها به‌صورت زیر به تصویر کشیده می‌شود:



۲-۳. رابطه قیمت انرژی الکتریکی و حامل‌های انرژی

روند قیمت‌های نسبی حامل‌های انرژی به ازای شاخص بهای عوامل تولید در اقتصاد ایران با بسیاری از کشورهای صنعتی و حتی صادرکننده انرژی همسویی ندارد. بخش خصوصی و بهبود فضای کسب وکار با هدف ایجاد فرصت‌های پایدار شغلی و کنترل رشد قیمت‌ها در میان مدت، کنترل هزینه‌های دولت و اجتناب از سیاست‌های انبساطی خارج از قاعده، اصلاح انحراف سنگین تحمیل شده به اقتصاد ناشی از کنترل گسترده قیمت‌ها، اصلاح نظام پرداخت یارانه‌های انرژی و لزوم واقعی شدن قیمت‌های نسبی، کاهش اتکای نظام‌مالی به منابع بانک‌ها با هدف کنترل رشد نقدینگی، لزوم خروج از اعمال مقررات فراگیر در زمینه نرخ‌های سود بانکی و اجتناب‌ناپذیری افزایش رقابت در عملیات بانک‌ها. مهم‌ترین چالش‌های اقتصاد ایران در گزارش‌های صندوق نیز بالابودن نرخ تورم، وجود موانع ساختاری در مسیر ایجاد فرصت‌های شغلی کافی و تسریع رشداقتصادی ذکر می‌شود که کم وبیش در لیست تذکرات صاحب نظران داخلی نیز قرار دارد.

نقش برتر انرژی در اقتصاد کشور با استفاده از داده‌های واقعی در زمینه تولید نفت، گاز و برق تأیید شده و سیاست‌های اقتصادی کشور مبتنی بر دسترسی وسیع و سهل به انرژی ارزان قیمت و تأمین مالی توسعه اقتصادی با تکیه بر آن مورد تأکید قرار گرفته است. استفاده زیاد از انرژی در قیاس با استانداردهای بین‌المللی و فراتر بودن نرخ رشد مصرف انرژی نسبت به نرخ رشد درآمد سرانه از تبعات سیاست انرژی ارزان قیمت دانسته شده است. این سیاست آثار خود را در بخش صنعت کشور نیز برجای گذارده:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

انرژی‌بر بودن فعالیت‌های تولیدی و استفاده غیرکارآ از انرژی در مطالعات اقتصادی به اثبات رسیده است.

شدت مصرف انرژی در تولید برق، ۳۰ درصد بیشتر از متوسط شاخص مشابه برای اعضای سازمان همیاری اقتصادی و توسعه است. هزینه نازل مصرف سوخت سبب صرف سرمایه‌گذاری بالا در ساخت بزرگراه ها و جاده ها شده و به رغم آن، زمان زیادی در ترافیک، هدر میرود. علاوه بر آن، تولید ارزان برق با استفاده از منابع هیدروکربنی، سرمایه‌گذاری در توسعه سایر منابع انرژی مثل انرژی خورشیدی را غیرمقرون به صرفه کرده است. در نتیجه کلیه تبعات مذکور، رشد تقاضا برای برق، بنزین و دیگر محصولات پالایشی به حدی سریع است که پایداری بخش در سال‌های اخیر تا حدی تنزل یافته و ایران به یکی از وارد کننده‌های خالص برخی از محصولات تبدیل شده است.

ازجمله علل عمده رشد مصرف برق در بخش صنعت را می توان قدیمی بودن فناوری های مورد استفاده در دستگاه‌های مصرف کننده انرژی در این بخش دانست. این امر زمینه های وسیع و قابل توجهی برای عدم صرفه جویی انرژی را درکشور به وجود آورده است. از طرف دیگر تغییرات نرخ فروش حامل‌های انرژی طی دو دهه گذشته، متناسب با افزایش سطح عمومی قیمت‌ها نبوده است که این خود دلیلی بر عدم صرفه جویی انرژی و عدم استفاده بهینه از انرژی می‌باشد (دفتر ترازنامه انرژی، ۱۳۸۶).

در سطح اقتصاد کلان، افزایش قیمت انرژی آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر سطح قیمت‌ها دارد. افزایش تدریجی، انتظارات تورمی را برمی‌انگیزد؛ هرچند که در صورت ثبات سایر شرایط، کاهش هزینه‌های دولت و پس انداز بودجه‌ای می‌تواند از شدت فشارهای تورمی بکاهد. افزایش زیاد قیمت‌ها در کوتاه‌مدت بر نرخ رشد اقتصادی و سطح اشتغال اثر منفی خواهد داشت؛ حتی اگر اثر بلندمدت سیاست بر متغیرهای مذکور مثبت باشد. افزایش شتاب رشد اقتصادی از بابت استفاده از دانش فنی کارا در مصرف انرژی و استفاده بهینه از این نهاده توجیه شده است.

اثر طرح بر سودآوری بنگاه‌های فعال در بخش‌های غیرمالی و غیرانرژی، بستگی تام به سهم انرژی در هزینه‌های نهاده‌های تولیدی و دامنه افزایش قیمت محصول بنگاه دارد. در تحلیل بین صنعتی، توانایی بنگاه‌ها برای انتقال به سوی شیوه‌های صرفه‌جویانه در مصرف انرژی عامل کلیدی است. بنابراین اثر نهایی طرح میان بخش‌های مختلف اقتصاد متفاوت بوده و در درون هر بخش یا رشته صنعتی، بستگی به سهم انرژی در هزینه‌های تولید و شدت مصرف انرژی محصول نهایی دارد. اثر سیاست بر ترازنامه و سودآوری نهادهای مالی قطعاً منفی است. افزایش وام‌های غیرجاری و تعویق بازپرداخت اقساط توسط خانوارها محتمل است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

افزایش قیمت برق باید همزمان و متناسب با افزایش قیمت انرژی‌های اولیه مورد استفاده در تولید برق روی دهد. باید تقاضای بلندمدت اقتصادهای در حال توسعه و نوظهور برای انرژی را فزاینده در نظر گرفت. بر این اساس، لازم است آزادسازی قیمت انرژی در ایران دربرگیرنده کلیه حامل‌های اولیه و برق باشد تا انحرافات ناشی از تغییر قیمت‌های نسبی به حداقل رسیده، بخش برق بتواند قیمت‌های بالاتر نفت و گاز را جذب کرده و ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید برق و نفت و گاز تأمین مالی شود.

۳. بخش تجربی

دراین مطالعه سعی کنیم نوسانات قیمت انرژی (در این جا به طور خاص برق) را از طریق عوامل موثر بر آن مدل‌سازی کنیم.این عوامل شامل متغیرهای قیمت حامل‌های انرژی، متغیرهای مالی می‌باشد که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است که در اینجا ابتدا با شبکه مدل‌سازی می‌کنیم و سپس با رگرسیون چرخشی نتایج را گزارش می‌دهیم. بازارهای برق به وسیله عوامل زیر توصیف می‌شوند و میدانیم خصوصیات زیر از خصوصیات بارز بازار برق می‌باشد. بی‌کششی تقاضا، عدم امکان ذخیره‌سازی برق، ویژگی فصلی آن (نوسانات تقاضای برق به خاطر شرایط آب و هوایی و عادات زندگی افراد). در دهه‌های اخیر موضوع مدلسازی و پیش‌بینی قیمت‌ها سوال کلیدی شده و سوالات زیر را در پی دارد:

- تعیین دلایل و انگیزه های رفتار قیمت چگونه و چیست؟
- اهمیت قیمت‌های مواد خام از دیدگاه اقتصاد کلان چیست؟

هدف از بکارگیری رگرسیون چرخشی و شبکه عصبی در مورد نوسانات قیمت انرژی برای شناسایی عوامل موثر بر نوسانات قیمت انرژی از طریق شبکه عصبی و بررسی سال‌های نوسان و شوک ها به بازار از طریق رگرسیون چرخشی می‌باشد.

۳-۱. تصریح الگو

طبق مقالات بیر براو همکاران[1] (۲۰۰۶) و آمانو و نوردن[2] (۱۹۸۹)، زاچ من[3] (۲۰۰۷) تقاضای انرژی، قیمت مواد خام و اطلاعات مالی از بازارها در طول حالت‌های مختلف تغیراتش از عوامل موثر در نوسانات قیمت انرژی الکتریکی می‌باشد. داده‌ها در غالب سه دسته متغیرها تهیه شده است:

1. Bierbrauer, Truck and Weron
2. Amano and Norden
3. Zachmann

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

- متغیرهای مربوط به انرژی:
- کل مصرف برق(میلیون کیلووات ساعت) تقاضای انرژی
- متغیر های مربوط به حامل‌های انرژی:
- قیمت متوسط کنستانتره زغالسنگ (ریال/تن)
- قیمت نفت خام سنگین ایران (دلار / بشکه)
- قیمت گاز مورد نظر برای پالایشگاه‌ها (ریال بر متر مکعب)
- متغیرهای مربوط به بازارهای مالی:
- نرخ ارز آزادبرای دلار (ریال)
- شاخص کل بورس (شاخص tepix)
- که متغیر ذکر شده در حکم متغیرهای مستقل هستند و متغیر وابسته نیز نوسانات قیمت انرژی الکتریکی می‌باشد. داده‌ها به صورت سالانه از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ تهیه شده و واطلاعات از ترازنامه انرژی به دست آمده است. متغیر وابسته نیز نوسانات قیمت انرژی در ایران می‌باشد که با نماد Edvolat نشان داده شده و از فرمول زیر برای قیمت انرژی (ریال/کیلووان ساعت): متوسط قیمت برق، استفاده شده.

$$Evolat_t = 100 * \ln\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right) \qquad (۵)$$

بردار پارامترهای در این روش به‌صورت زیر می‌باشد که باید برآورد شوند.

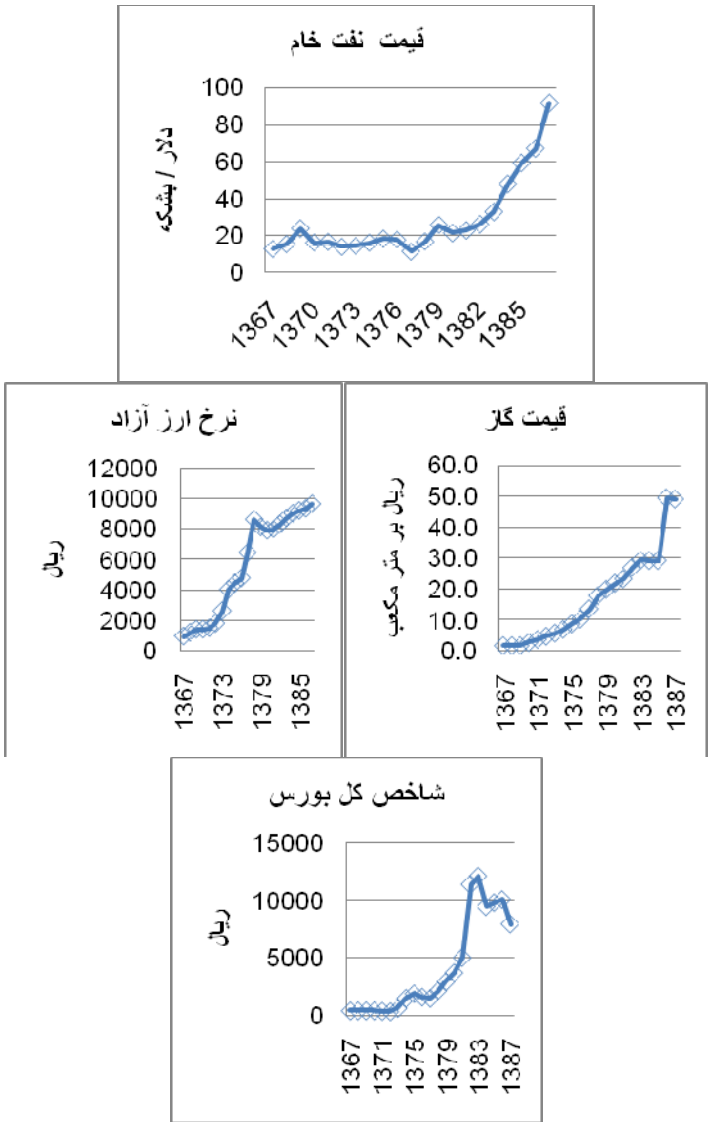
$$Evolat_{it} = \begin{cases} \beta_0 + \beta_{Edemand,s-1} + \beta_{oil,s-1} + \beta_{gas,s-1} + \beta_{coal,s-1} + \beta_{exchang,s-1} + \beta_{tepix,s-1} + \varepsilon_{s-1} \\ \beta_0 + \beta_{Edemand,s=2} + \beta_{oil,s=2} + \beta_{gas,s=2} + \beta_{coal,s=2} + \beta_{exchang,s=2} + \beta_{tepix,s=2} + \varepsilon_{s=2} \end{cases} \qquad (۶)$$

مقادیر S که در اندیس پارامترها آورده شده است به این خاطر لحاظ شده که تفاوت رژیم‌ها در مدل چرخشی که در بخش بعدی بیان می‌شود آشکار باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-۲. بررسی روند متغیرها

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



۳-۳. فرآیند برآورد

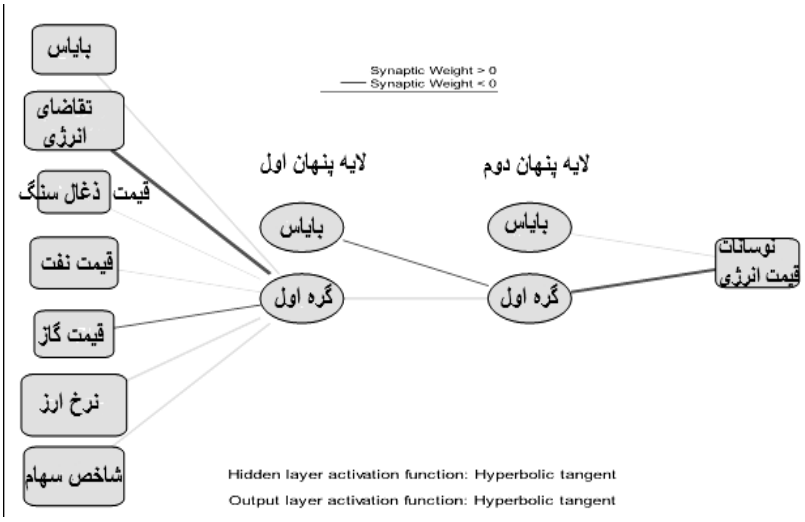
همان‌گونه که مطرح شد روش برآورد در این مطالعه به دو صورت خواهد بود ،یک روش خطی و یک روش غیرخطی. روش خطی از طریق حداقل‌کردن خطا در قالب شبکه عصبی انجام می‌شود و روش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

غیرخطی از طریق حداکثر کردن تابع درست‌نمایی در قالب رگرسیون چرخشی انجام می‌شود.در ادامه به توضیح مختصری در مورد هریک از روش‌ها خواهیم پرداخت.

الف) برآورد غیرخطی شبکه عصبی (روش حداقل کردن خطا با تکرار زیاد)

این آزمون توسط نرم‌افزار SPSS انجام شده است برای آموزش شبکه عصبی، از یک شبکه با پیشرو[1] استفاده شده است که دارای یک لایه ورودی با شش متغیر (که همان متغیرهای مستغل می‌باشند و اینجا به‌عنوان متغیرهای لایه ورودی آورده می‌شوند) و ۷ گره یا واحد می‌باشد. تعداد واحد های متغیر ورودی برابر تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد.این شبکه همچنین دارای دو لایه پنهان که لایه پنهان اول با ۱ گره و لایه پنهان دوم با ۱ واحد می‌باشد و لایه خروجی ما نیز نوسانات قیمت انرژی می‌باشد. شکل زیر بیانگر لایه‌های شبکه عصبی این مطالعه و وزن‌های سیناپسی ارائه شده می‌باشد. در این مطالعه MPL تابع فعالسازی لایه پنهان، تانژانت هیپربولیک و تابع فعالسازی لایه خروجی، تابع شناسایی[2] می‌باشد در نمودار زیر وزن‌های سیناپسی مؤثر به تصویر کشیده شده است. در نمودار زیر خطوط پررنگ نشانه وزن‌هایی هستند که توسط تابع فعالسازی، فعال شده‌اند و وزن سیناپسی مثبتی داشته‌اند و خطوط کمرنگ نیز نشانه‌های وزن‌های منفی هستند که توسط تابع فعالسازی، فعال نشده‌اند.



1. Feed-Forward
2. Identity

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نتایج بدست آمده از مدل شبکه عصبی در جدول (۲) خلاصه شده است.

جدول ۲. نتایج شبکه عصبی

نمونه	مجموع مربعات خطا	۰,۳۴۲
یادگیری	خطای نسبی	۰,۱۸۷
نمونه آزمون	مجموع مربعات خطا	۰,۸۹۷
	خطای نسبی	۰,۳۲۶

مأخذ: نتایج تحقیق.

جدول ۳. اهمیت متغیرهای توصیفی

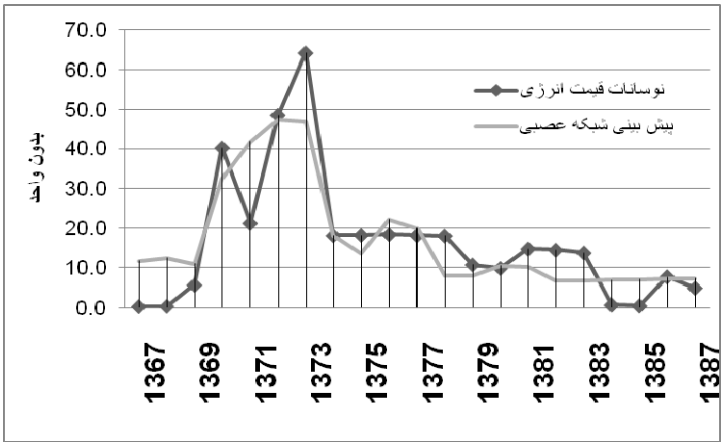
متغیر های مستقل	اهمیت
تقاضای انرژی	۰,۲۱۶
قیمت زغال سنگ	۰,۰۶
قیمت نفت	۰,۱۴۹
قیمت گاز	۰,۱۰۳
نرخ ارز	۰,۲۵۱
شاخص تپیکس	۰,۲۲۱

مأخذ: نتایج تحقیق.

در جدول (۳) میزان اهمیت متغیرهای ورودی در مدلسازی شبکه عصبی و پیش‌بینی نوسانات قیمت انرژی را نشان می‌دهد و بیانگر این است که نرخ ارز و سپس شاخص بورس در برآورد به روش شبکه عصبی بیشترین میزان اهمیت در تصریح مدل را داشته‌اند به روش شبکه عصبی بسیار اهمیت دارد و بیشترین ضریب اهمیت در جدول نیز متعلق به همین متغیر است.

دراین قسمت به بررسی عملکرد پیش‌بینی شبکه عصبی میپردازیم در نمودار (۴) مشاهده می‌کنیم که پیش‌بینی شبکه عصبی برای نوسانات قیمت انرژی چقدر نزدیک به مقادیر واقعی نوسانات قیمت انرژی ایران بوده است. در واقع، می‌توان انتظار داشت که عملکرد مدل‌های غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی در مدلسازی فرآیندهای ناشناخته و پیش‌بینی رفتار آینده بسیار بالاتر از روش‌های معمول خطی باشد. دراین قسمت به بررسی عملکرد پیش‌بینی شبکه عصبی میپردازیم. در نمودار (۴) مشاهده می‌کنیم که پیش‌بینی شبکه عصبی برای نوسانات قیمت انرژی چقدر نزدیک به مقادیر واقعی نوسانات قیمت انرژی ایران بوده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار. بررسی عملکرد پیش بینی شبکه

ب) برآورد غیرخطی (برآورد حداکثر درستنمایی برای پارامترها)

این قسمت وارد برآورد غیرخطی رگرسیون چرخشی می‌شویم که در این روش برآورد تابع درستنمایی را بهینه می‌شود و برای مدلسازی از روش MLE[1] استفاده شده است (این همان روش نیوتون رافسون[2] می‌باشد).

مرحله بعدی الگوریتم الگوریتم حداکثرسازی انتظارات EM [3] می‌باشد.که شامل دو بخش است: بخش اول محاسبه متغیر حالت مورد انتظار (St) تحت برآوردهای فعلی از پارامترها که در این حالت هر مشاهده را متعلق به یکی از حالت‌ها (رژیم‌ها) می‌داند و بخش بعد حداکثرسازی پارامترها می‌باشد که برآوردهای جدیدی از پارامترها را به شرط مقادیر متغیر حالت (St) است بدست می‌آورند. نتایج رگرسیون چرخشی به‌صورت زیر می‌باشد:

1. Maximum Likelihood Estimation
2. Newton -Raphson
3. Expectation Maximization Algorithm

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

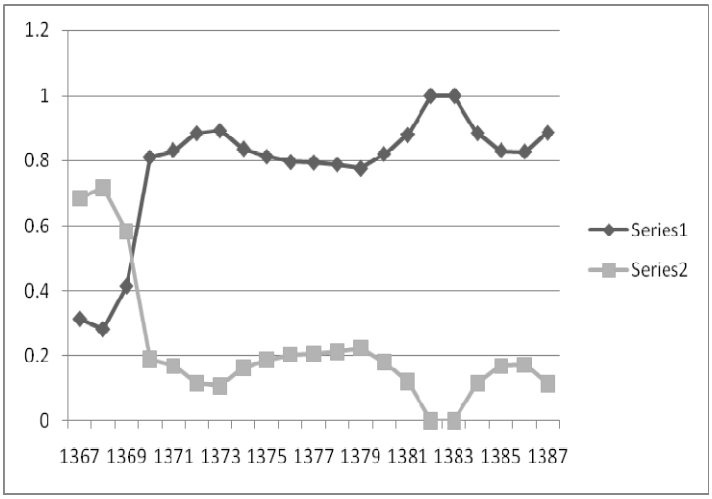
جدول ۴. نتایج برآورد مدل رژیم چرخشی مارکف

برآورد مدل برای حالت ۱			برآورد مدل برای حالت۲		
p-value	مقدار برآوردشده	B	p-value	مقدار برآوردشده	B
0	0	B_0	0	0	B_0
0	0.0041	$B_{demannd}$	0	0.00002	$B_{demannd}$
0	0.0004	B_{coal}	0	0.0001	B_{coal}
0	-5.95	B_{oil}	0	-0.1	B_{oil}
0	0.36	B_{gas}	0	0.365	B_{gas}
0	-0.003	$B_{exchange}$	0	0	$B_{exchange}$
0	-0.006	B_{tepix}	0	-0.001	B_{tepix}

مأخذ: نتایج تحقیق.

نتایج حاکی از آن است که در عمل قیمت برق تنها در یک چرخش رژیم وجود داشته. این بیانگر آن است که قیمت برق را که تحت متغیرهای حامل‌های انرژی، تقاضای برق و متغیرهای بازارهای مالی مدلسازی کنیم. می‌توان یک سال برای چرخش را شناسایی کنیم و باید علت این چرخش از رژیم کم‌نوسان به پرنوسان را شناسایی کنیم. همچنین نتایج برآورد مدل دو رژیمه بیانگر این است که در رژیم اول متغیر قیمت نفت مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر روی نوسانات قیمت انرژی می‌باشد و برای رژیم دوم متغیر قیمت گاز از اهمیت بیشتری در شکل گیری نوسانات برخوردار است. نمودار (۵) بیانگر چرخش رژیمی در مدلسازی نوسانات قیمت انرژی می‌باشد. این نمودار احتمالات هموار شده برای دو رژیم را به تصویر می‌کشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار. احتمالات هموار شده برای دو رژیم

مدلی را نشان می‌دهد که قیمت برق با توجه به حامل‌های انرژی و متغیر های مالی و تقاضای برق ثابت بوده است و تنها ۱ چرخش در سال ۱۳۶۹ وجود داشته و تنها در ۱ بار چرخش رژیم پرنوسان و کم‌نوسان تغییر نموده است و قابل تفکیک باشد. تنها تفکیک رژیم در اثر تغییر قیمت نفت بوده که بیشترین اثر را داشته است و این چرخش واحد بین رژیم‌ها همزمان با جهش قیمت نفت می‌باشد و از آن زمان به بعد چرخشی رخ نداده. زمان پیش‌بینی شده برای ماندن در رژیم ۱ (حالت کم‌نوسان) برابر ۸,۲۸ سال و زمان ماندن در رژیم پر نوسان برابر ۲/۴۹ سال می‌باشد و به نظر می‌رسد نوسانات قیمت انرژی تمایل بیشتری برای ماندن در رژیم کم‌نوسان دارند و حدود ۸ سال اگر در رژیم کم‌نوسان قیمت انرژی باشند تنها حدود دو سال و نیم در رژیم پر نوسان قیمت انرژی باقی می‌مانند.

البته ذکر این نکته ضروری بنظر می‌رسد که مدل‌های چرخشی مارکف توانایی خاصی در تشخیص پرش‌ها و تغیرات رژیمی دارند و در مهارت پیش‌بینی سری زمانی برای آنها به ثبت نرسیده است. بلکه مهرارت نشخیص زمان تغییر رژیم یا مدت ماندن در یک رژیم بالا یا پایین از تخصص‌های مدل‌های چرخشی مارکف می‌باشد.

٤. نتیجه‌گیری

در این مطالعه مهم‌ترین متغیر های مؤثر بر نوسانات قیمت انرژی به‌صورت ۶ متغیر قیمت نفت، ارزش دلار، شاخص بورس، قیمت زغال‌سنگ، قیمت گاز و تقاضای انرژی الکتریکی به‌عنوان متغیرهای توضیحی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

یا اثرگذار معرفی شد. این متغیرها در شبکه عصبی حکم لایه ورودی برای شبکه را خواهند داشت. متغیر وابسته نوسانات قیمت انرژی می‌باشد با گرفتن لگاریتم تفاضل از قیمت انرژی به‌عنوان منتغیر وابسته یا لایه خروجی در شبکه عصبی معرفی شد. نتایج حاکی از آن است که شبکه عصبی با خطایی در حدود ۰/۱ به برآورد روند نوسانات قیمت انرژی در ایران می‌پردازد و همچنین مدل چرخشی مارکف توانسته سال‌های شوک‌های وارد شده به بازار انرژی ایران و منشأ ایجاد نوسانات را شناسایی کند و نوسانات قیمت انرژی ایران را توانسته به دو رژیم پرنوسان و کم‌نوسان تفکیک کند و این پیشنهاد را می‌دهد که در بازار ایران مدت ماندن بازار در رژیم کم‌نوسان طولانی‌تر از مدت ماند در رژیم پرنوسان است.

منابع

اسماعیلی، علومی و رفیعی (۱۳۸۶)، "پیش‌بینی قیمت خرید انرژی در بازار برق ایران"، *بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق، صص ۲۲۹۷-۲۳۰۴.*

برمه، زورار (۱۳۸۴)، "بررسی یارانه انرژی و آثار افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر سطوح قیمت‌ها درایران"، *فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی*، شماره ۳۴، صص۱۱۷-۱۴۷.

پازوکی، هادیپور و پروین پشت‌شیخانی (۱۳۸۹)، "چشم‌انداز زیست انرژی در ایران و جهان"، *مجله مهندسی شیمی ایران*، سال ۹، شماره ۵۱.

معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (۱۳۸۸)، *اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر تورم*، دفتر مطالعات اقتصادی.

Bédia, F. (2005), *The Saving-Investment Relationships: A Markov Switching Causality Analysis*, AKA University of Luxembourg.

Berndt, E.R. & D.O. Wood (1975), "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, August, PP. 259-268.

Bierbrauer, M., Trück, S. & R. Weron, (2003),"Modeling Electricity Prices with Regime Switching Models", Phisica, A 336, PP. 39-48.

Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S. & R. Kaufman (1984), "Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective", Science, Vol. 225, PP. 890-897.

Cyn-Young Park, Ruperto Majuca & Josef Yap (2010), "The 2008 Financial Crisis and Potential Output in Asia: Impact and Policy Implications", Asian Development Bank, Working Paper Series on Regional Economic Integration, April.

Engel, C. (1994), "Can Markov Switching Model Forecast Exchange Rates?", *Journal of International Economics,* Vol. 36, PP. 151-165.

Francis, Y. Kumah (2010), "A Markov-Switching Approach to Measuring Exchange Market Pressure", *International Journal of Finance and Economics*.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

Goldfeld, S. R. Quantd (2005), "A Markov Model for Switching Regression", *Journal of Econometrics*, Vol. 135, PP.349-376.
Hall, S. & M. Sola (1993),"Testing for Collapsing Bubbles: An Endogenous Switching ADF Test", Discussion Paper 15-93, London Business School.
Hamilton, J. (2005),"Regime Switching Models", La Jolla CA 92093- 0508.
Hamilton, J. D. (1989), "A New Approach to the Economic Analysis of no Stationary Time Series and the Business Cycle", *Econometrica*, Vol. 57, PP. 357-384.
Ihle, Von Cramon-Taubadel & Zorya (2009), "Markov-Switching Estimation of Spatial Maize Price Transmission Processes between Tanzania & Kenya", Ajae Oxford Journals org Econ, 91 O. 5.
Perlin, M. (2007), "Estimation, Simulation and Forecasting of a Markov Switching Regression", (General Case in Mat lab).
Shahidehpour, M. & M. Alomoush (2001), "Restructured Electrical Power Systems, Marcel Dekker Publishers", June.
Tahir Ismail & Abdul Rahman (2009), "Modeling the Relationships between US and Selected Asian Stock Markets", World Appl. Sci. J., Vol. 7, No. 11, PP. 1412-1418.
Zachmann, G. (2006), "A Markov Switching Model of the Merit Order to Compare British and German Price Formation, Discussion Paper", German Institute for Economics Research.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]