

مطالعه تطبیقی روش‌های ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی نیاز داخلی برق کشور

دکتر علی محمد احمدی*

مهدی ذوالفقاری**

آیدین غفار نژاد مهربانی***

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۲۵

تاریخ ارسال: ۱۳۸۷/۱۱/۸

چکیده

آگاهی از میزان تقاضای انرژی برق در هر دوره، به منظور برنامه‌ریزی دقیق، برای اعمال سیاست‌گذاری‌های لازم، امری ضروری است. از این رو پیش‌بینی تقاضای آن برای بخش‌های مختلف اقتصادی حائز اهمیت است. امروزه از بین روش‌های پیش‌بینی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، در زمینه تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی روابط غیرخطی یکی از ابزار قدرتمند به حساب می‌آید که استفاده از آن در سال‌های اخیر در اقتصاد کلان گسترش یافته است. از این رو در این پژوهش کارایی مدل غیرخطی شبکه عصبی با مدل خطی فرآیند ARIMA برای پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور، برای یک دوره ۳ ساله با استفاده از معیارهای MAE ، $MAPE$ و R^2 مقایسه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ضریب خطای کمتر و قدرت توضیح دهنده بالایی نسبت به مدل ARIMA، است.

طبقه بندی JEL: C53, C22, C61, Q41.

واژگان کلیدی: شبکه‌های عصبی، ARIMA، پیش‌بینی، نیاز داخلی برق.

* aahmadi@modares.ac.ir

** zolfaghari_mahdi@yahoo.com

* استادیار دانشگاه تربیت مدرس

** دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه صنعت آب و برق

*** دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک دانشگاه صنعت آب و برق

مقدمه

حامل‌های انرژی پس از انقلاب صنعتی به عنوان یکی از نهاده‌های مهم در راستای تحقق توسعه اقتصادی جوامع صنعتی، نقش به‌سزایی ایفا کرده‌اند. امروزه انرژی الکتریسیته به دلیل ارتباط با سایر بخش‌ها و نهادهای اقتصادی، نقش قابل توجه‌ای در فرایند تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و پیشبرد اهداف توسعه کشورها ایفا می‌کند. لذا پیش‌بینی تقاضای برق، با توجه به نقش مختلفی که در اقتصاد یک کشور ایفا می‌کند، به گونه‌ای که در بخش‌هایی به عنوان کالای نهایی و در بخش‌های دیگر، در قالب نهاده تولید به‌کار می‌رود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در صنعت برق با پیش‌بینی دقیق میزان تقاضای برق و وجود اطلاعات جامع، بازار برق به سمت یک بازار رقابتی سوق داده می‌شود و شفافیت، قیمت‌گذاری در این بازار به تخصیص بهینه منافع در میان نیروهای بازار منجر می‌شود. از سوی دیگر میزان تولید نیروگاه‌ها نه تنها پاسخگوی میزان تقاضای آتی می‌شود، بلکه هزینه‌های تولید ناشی از نوسانات طرف تقاضا نیز کاهش می‌یابد که خود به کاهش خاموشی و افزایش کیفیت کالای برق تحویلی منجر می‌شود. همچنین، در راستای برنامه‌ریزی در زمینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری بهینه برای تطبیق عرضه بر تقاضا، پیش‌بینی دقیق مصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی متغیرهای سری‌زمانی وجود دارد. اقتصاددانان برای برآورد تابع تقاضا، در بیشتر موارد از روش‌های اقتصادسنجی استفاده می‌نمایند. در این بین، فرآیند خطی ARIMA^۱ و ARMA^۲ از پرکاربردترین روش‌های رگرسیونی در پیش‌بینی محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر به موازات پیشرفت‌های قابل توجه در پردازش سریع اطلاعات به‌وسیله ماشین‌های الکترونیکی، به کارگیری مدل‌های غیرخطی در میان اقتصاددانان به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. شبکه‌های عصبی از معروف‌ترین این مدل‌ها است که استفاده از آن در اقتصاد کلان در دهه نود مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت.^۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی در موضوعات متنوعی از قبیل الگوسازی، شناخت الگو، خوشه‌بندی و پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مفیدی را به دنبال داشته است. شبکه‌های عصبی به عنوان ابزار تقریبی غیرخطی علاوه بر بهره‌برداری از آمار به جنبه‌های ذهنی نیز توجه می‌نمایند.

در این پژوهش، ابتدا با معرفی مدل غیرخطی شبکه‌عصبی، همین‌طور فرآیند خطی ARIMA، کارایی این مدل‌ها را برای پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور^۴ مورد بررسی قرار خواهد داد. از آنجا که تغییرات شرایط جوی بر تقاضای انرژی برق تأثیر می‌گذارد، داده‌ها به‌صورت ماهانه ارائه شده و از سوی دیگر با توجه به تفاوت در تعداد روز ماه‌های سال، متوسط ماهانه در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک مدل برای دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۴/۶ برآورد شده و با همان مجموعه یک مدل شبکه عصبی طراحی و برآورد می‌شود. سپس، با استفاده از معیارهای مرسوم به ارزیابی دو مدل در زمینه

1. Auto-Regressive Integrate Moving Average

2. Auto-Regressive Moving Average

۴. داده‌ها شامل مقادیر خاموشی نیز می‌باشد

۳. قدیمی، مشیری ۱۳۸۱، ص ۹۸

پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور برای دوره ۱۳۸۴/۷ تا ۱۳۸۷/۶ پرداخته و در پایان نتایج ارائه می‌شود.

پیش فرض اساسی این پژوهش با توجه به مطالعات صورت گرفته در این حوزه، بیانگر برتری قدرت پیش‌بینی، شبکه عصبی پیشخور نسبت به مدل ARIMA است.

پیشینه پژوهش

کاربرد شبکه‌های عصبی در مباحث اقتصادی از اواخر دهه هشتاد با مطالعه وایت (۱۹۹۸)^۱ در بازارهای مالی و پیش‌بینی قیمت سهام شرکت IBM آغاز شد. موفقیت شبکه‌های عصبی در مطالعات مربوط به حوزه‌های مالی، نظر متخصصان اقتصاد کلان و اقتصادسنجی را به خود جلب کرد و مطالعات متعددی در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی متغیرهای مختلف اقتصاد صورت گرفت.

به طور کلی، کاربرد شبکه‌های عصبی در مطالعات داخلی، مربوط به پیش‌بینی داده‌های مالی بوده است. مشیری، مروت (۱۳۸۵) در مطالعه‌ای بر روی پیش‌بینی شاخص کل بازدهی سهام تهران نشان دادند که شبکه عصبی (ANN) در پیش‌بینی شاخص روزانه و هفتگی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های ARIMA، ARFIMA، GARCH دارد. خالوزاده، خاکی‌صدیق (۱۳۸۲) در مطالعه خود بر روی پیش‌بینی قیمت سهام، با ارائه مدل غیرخطی بر اساس شبکه عصبی، استفاده از انواع مختلف روش‌های خطی را ناکارآمد دانستند.

اما به طور کلی مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته، برخی عملکرد بهتر مدل ARIMA را نسبت به شبکه عصبی ارزیابی کرده‌اند، مانند طلوعی اشلقی و حق دوست (۱۳۸۶)، متوسلی و کاشفی (۱۳۸۵) و برخی نیز به نتایج معکوسی رسیده‌اند؛ عادل آذر، افسر (۱۳۸۵)، سینایی، مرتضوی، تیموری اصل (۱۳۸۴). همچنین، مطالعه کمیجانی و سعادت‌فر (۱۳۸۵) در پیش‌بینی ورشکستگی اقتصادی شرکت‌های بازار بورس با استفاده از شبکه‌های عصبی قابل توجه است. در زمینه به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی متغیرهای کلان نیز می‌توان به مطالعات قدیمی، مشیری (۱۳۸۱) در پیش‌بینی رشد اقتصادی در ایران، مشیری (۱۳۸۰) در پیش‌بینی تورم در ایران، مرزبان، اکبری، جواهری (۱۳۸۴) در پیش‌بینی نرخ ارز اشاره نمود. همچنین، در زمینه انرژی مطالعات پورکاظمی، افسر، نهانودی (۱۳۸۴) با عنوان "مطالعه تطبیقی روش‌های خطی ARIMA و غیرخطی شبکه‌های عصبی فازی در پیش‌بینی تقاضای اشتراک گاز شهری" و مطالعات فرجام نیا، ناصری، احمدی (۱۳۸۶) در پیش‌بینی قیمت نفت، شایان توجه است.

در حوزه پیش‌بینی تقاضای برق با استفاده از این مدل‌ها، در مطالعه‌ای جرج داربلای، مارک سلاما (۲۰۰۰)^۲ در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تقاضای برق کوتاه‌مدت جمهوری چک پرداخته و با مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل ARIMA نشان دادند که شبکه‌های عصبی به لحاظ غیرخطی بودن روند تقاضای برق، پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل ARIMA ارائه می‌کند.

هیپرت، بان و سوزنا (۲۰۰۰)^۱ با به‌کارگیری شبکه عصبی به پیش‌بینی مصرف روزانه برق برزیل پرداختند. این مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف، مصرف ساعتی برق را پیش‌بینی نمود. در این پژوهش، عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی ۲۴ ساعته نسبت به مدل‌های رقیب مفید ارزیابی شد.

سایو تین باو (۲۰۰۶)^۲ با در نظر گرفتن چهار فاکتور درآمد ملی، جمعیت، تولید ناخالص داخلی و شاخص قیمت مصرف‌کننده، مصرف برق در تایوان را با استفاده از مدل شبکه عصبی مورد ارزیابی قرار داد و نتایج آن را با مدل ARMAX مقایسه نمود که در مجموع شبکه عصبی در پیش‌بینی مصرف برق نسبت به مدل رقیب از دقت بالایی برخوردار بود.

پاراز ماندلا، تومونوبو سنجیایو، توشیحیسا فیوناباشی (۲۰۰۶)^۳ با استفاد از شبکه‌های عصبی به پیش‌بینی قیمت و تقاضای برق برای ساعات مختلف در بازار برق ژاپن پرداخته و نشان دادند که شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی مقادیر در ساعات دورتر خطای بالایی از خود نشان می‌دهد. همچنین، نشان دادند که شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مناسب است.

جیمز، لیلی و پاتریک^۴ به مطالعه تطبیقی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و ARIMA برای بازار برق ایرلند و ولز پرداختند که نتایج آن، بیانگر قدرت بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای برق (روزانه) بود.

جوشکون، هامزا چپی (۲۰۰۷)^۵ مصرف برق ترکیه را بر پایه داده‌های فصلی تا سال ۲۰۲۰ با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی پیش‌بینی نمود.

اوا گنزالس‌رومرا، میگول آنجل چارامیلومرن، دیگوکارمونا‌فرناندز (۲۰۰۷)^۶ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تقاضای ماهانه برق برای کشور اسپانیا را پیش‌بینی نمودند.

یکالی، سالورا، لوبرانو، مارواگلیا (۲۰۰۸)^۷ به پیش‌بینی تقاضای کوتاه‌مدت برق خانگی ایتالیا با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی اقدام نمودند. این مطالعه با در نظر گرفتن جریان‌ات آب و هوایی که شامل متغیرهای رطوبت و تابش خورشید بود، به صورت منطقه‌ای برای دوره ۱ ژانویه ۲۰۰۲ تا ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۳ صورت گرفت.

تری‌پاتی، یوپادی، سینگ (۲۰۰۸)^۸ در پیش‌بینی کوتاه‌مدت بار در بازار برق استرالیا از رگرسیون تعمیم یافته و شبکه‌های عصبی بهره جستند.

1. H.S. Hippert, D.W., Bunn, R.C. Souza, 2005

2. Hsiao-Tien Pao, 2006

3. Paras Mandal, Tomonobu Senjyu, and Toshihisa Funabashi., 2006

4. James W, Lilian M, and Patrick E, 2006

5. Coşkun Hamzaçebi, 2007

6. Eva Gonzalez-Romera, Miguel A ngel Jaramillo-Moran, Diego Carmona-Fernandez, 2007

7. M. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano and A. Marvuglia, 2008

8. M.M. Tripathi, K.G. Upadhyay and S.N. Singh, 2008

از مطالعات داخلی صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات آزاده، قادری و سهراب خانی (۲۰۰۷)^۱ اشاره نمود که با استفاده از شبکه عصبی پیشخور مصرف ماهانه برق صنعتی در ایران را در دوره ۲۰ ساله ۱۹۷۹-۲۰۰۳ مورد بررسی قرار داده و برتری مدل شبکه عصبی پیشخور در مقایسه با مدل رگرسیون را نشان دادند. آنها در مطالعه دیگری (۲۰۰۸) با شبیه‌سازی الگوریتم شبکه عصبی به پیش‌بینی مصرف ماهانه انرژی برق ایران برای دوره زمانی مارس ۱۹۹۴ تا فوریه ۲۰۰۵ پرداختند. در پژوهش دیگر، طباطبایی، مرتضایی، اوزن و ونیر (۲۰۰۸)^۲ تقاضای کوتاه‌مدت برق (۲۴ ساعته) را بر اساس شبکه عصبی پیشخور ۲ لایه پیش‌بینی نمودند. در این مطالعه داده‌های مربوط به دما به عنوان متغیر آب و هوایی برای آموزش شبکه عصبی استفاده شد. کمانکش، برقی نیا و غفاری (۱۳۸۶) در پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت شبکه برق ایران با در نظر گرفتن شرایط خاص نظیر روزهای قبل و پس و بین تعطیلی و سال‌های کبیسه از شبکه‌های عصبی مدد جستند.

مدل شبکه عصبی

در سال‌های اخیر روش‌های قابل توجهی در آزمایش و مدل‌سازی سری‌های زمانی، رشد پیدا کرده است. در این سال‌ها بیشترین نظرات، در مدل‌های شبکه عصبی متمرکز شده است.^۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴ در واقع از ساختار درهم و توده‌ای مغز پستانداران الهام گرفته است، که در آن میلیون‌ها سلول عصبی (نرون) با یکدیگر در ارتباط هستند. شبکه‌های عصبی از دهه پنجاه شناخته شده بودند اما تنها در اواسط دهه هشتاد بود که الگوریتم‌ها و روش‌های مربوط به شبکه‌های عصبی مصنوعی به درجه‌ای از پیشرفت رسید که در حل مسائل واقعی از آنها استفاده شد. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به اهداف هر پژوهش می‌توان استفاده شود. در این پژوهش از شبکه عصبی چند لایه پیشخور (MFNN)^۵ استفاده کرده‌ایم. در ابتدا به معرفی اجمالی از شبکه عصبی می‌پردازیم.

یک پردازش زمانی آغاز می‌شود که محرکی از محیط دریافت شود. رسپتورها^۶ اطلاعات را به پالس‌های الکترونیکی تبدیل می‌کنند و آنها را به شبکه عصبی (نرون‌ها و سیناپس‌ها) انتقال می‌دهند. پس از ارزیابی داخل شبکه، اعمال لازم تصمیم‌گیری می‌شود و پالس‌ها به افکتورها فرستاده می‌شوند. نرون‌های مصنوعی، واحدهای ساده پردازش اطلاعات هستند. بنابراین تعداد زیادی از این نرون‌ها، یک شبکه عصبی را می‌سازند. در شکل ۱، تصویری از یک نرون مصنوعی نشان داده شده است.

1. A. Azadeh, S.F., Ghaderi, S. Sohrabkhani, 2007

2. N.M. Tabatabaei, S.R. Mortezaeei, S., Ozen, A. Nayir, 2008

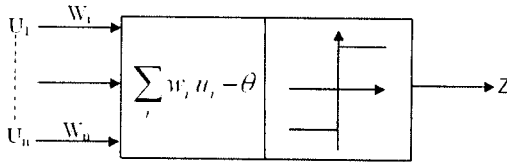
۳. پور کاظمی، افسر، نپهاندی، ۱۳۸۴

4. Artificial Neural Networks

5. Multilayered Feedforward Neural Network

6. Resptors

شکل ۱. نرون مصنوعی با تابع آستانه



همان طور که ملاحظه می‌شود، ارتباط‌ها (سیناپس‌ها) W_i ، سیگنال‌ها (محرک‌ها) U_i را به نرون انتقال می‌دهند. W_i می‌تواند به عنوان یک وزن که میزان اهمیت ورودی U_i را نمایش می‌دهد، تفسیر شود. در داخل نرون مجموعه ورودی‌های وزن‌دار $W_i U_i$ در نظر گرفته می‌شود. این مجموع U ، بزرگتر از حد آستانه خارجی θ در نظر گرفته شده و نرون خروجی Z را تولید می‌کند. Z یک مقدار پیوسته است که وابسته به تابع فعالیت است. در بیشتر موارد، انتخاب یک تابع فعالیت خروجی، نرون را به برد $(1,0)$ یا $(0,1)$ محدود می‌سازد. از دید ریاضی تساوی‌های زیر یک شرح جامع از نرون‌ها را می‌دهد:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i u_i - \theta \quad \& \quad z = \psi(y) \quad (1)$$

که در آن، y ورودی خالص و $\psi(t)$ تابع فعالیت است.

به طور کلی نقش نرون‌ها در شبکه عصبی پردازش اطلاعات است و این امر در شبکه عصبی مصنوعی به وسیله یک پردازشگر ریاضی که همان تابع فعال‌سازی است، انجام می‌شود. تابع فعال‌سازی می‌تواند خطی و یا غیرخطی باشد که بر اساس نیاز خاص مسأله که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل شود از سوی طراح انتخاب می‌شود. برای بهره‌برداری واقعی از توانایی شبکه عصبی باید از توابع فعال‌سازی غیرخطی استفاده شود. این مسأله اجازه می‌دهد که شبکه الگوهای غیرخطی مناسبی از مجموعه داده‌های پیچیده تولید کند. رایج‌ترین تابع فعال‌سازی مورد استفاده در ادبیات شبکه عصبی، تابع توزیع تجمعی لجستیک یا تابع سیگموئید است:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x)}} \quad (2)$$

این تابع پیوسته و مشتق پذیر است.

مقدار تابع لجستیک در محدوده $(0,1)$ قرار دارد به گونه‌ای که وقتی تابع نزدیک به یک می‌شود، نرون نسبت به علائم دریافتی بسیار فعال عمل می‌کند و وقتی تابع به صفر نزدیک می‌شود، نرون به ندرت به علائم دریافتی واکنش نشان می‌دهد.

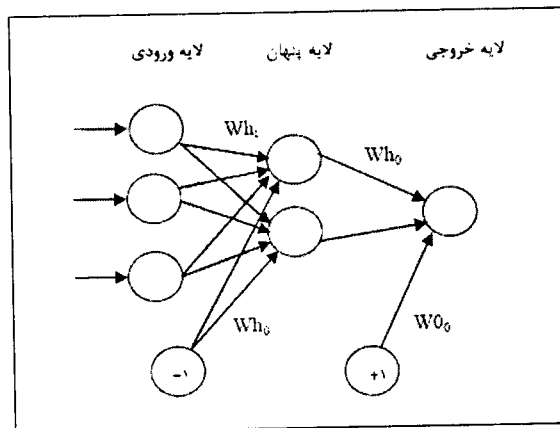
اهمیت طراحی شبکه (تنظیم بین نرون‌ها و سیناپس‌ها) غیرقابل انکار است. یک ارتباط محکم بین الگوریتم یادگیری و ساختار شبکه وجود دارد که طراحی را در مرکزیت قرار می‌دهد.

دو نوع متفاوت از شبکه‌های عصبی شناسایی شده است که شامل: شبکه عصبی پیشخور^۱، و شبکه عصبی پسخور^۲ است.

با توجه به اینکه در این پژوهش از شبکه عصبی پیشخور استفاده شده، به توضیح در مورد آن بسند می‌کنیم. یک شبکه عصبی نوعی، از لایه‌های مختلف نرون تشکیل شده است. در یک شبکه تک-لایه‌ای، یک لایه ورودی از منبع نودها(نرون‌ها) و یک لایه خروجی از نرون‌ها وجود دارد. یک شبکه عصبی چند لایه، یک یا چند لایه پنهانی از نرون‌ها را نیز، علاوه بر آن دارد. شکل ۱ شبکه عصبی استاندارد پیشخور را نشان می‌دهد. لایه‌های مخفی اضافی توانایی شبکه را بالا می‌برد تا آمار بهتری از داده‌های ورودی استخراج کنیم. این موضوع یک کیفیت مهم است، به ویژه آن که یک لایه بزرگ ورودی وجود داشته باشد.

اگر هر نود در هر لایه شبکه به هر نود دیگر در لایه همسایه جلویی متصل شده باشد، یک شبکه دارای اتصال کامل است.

شکل ۱. نمایش شبکه عصبی استاندارد پیشخور



مهم‌ترین مزیت شبکه‌های عصبی، توانایی در یادگیری از داده‌های ورودی است. بنابراین، پتانسیل عمومیت بخشیدن شبکه‌های عصبی به وجود می‌آید. به بیان دیگر، یک خروجی قابل قبول برای داده‌های ورودی دیده نشده قبلی، ایجاد می‌کند. اهمیت این موضوع در پیش‌بینی بسیار زیاد است. ارزش دیگر این شبکه، طبیعت غیرخطی بودن آن است. به این ترتیب تعداد زیادی از مسائل قابلیت حل پیدا می‌کنند. انعطاف‌پذیری و توانایی عمومیت بخشیدن بدون طرح فرضی لازم از مدل، از جمله مزایای دیگر آن است. شبکه عصبی پیشخور با یک لایه پنهان، تابع فعال‌ساز سیگموئید در لایه پنهان،

تابع فعال‌ساز خطی در لایه خروجی و تعداد نرون‌های کافی در لایه پنهان، قادر است هر تابعی را با دقت دلخواه تقریب بزند^۱. به همین علت به این نوع شبکه عصبی با ساختار یادشده، تقریب زننده جامع^۲ گفته می‌شود. با وجود برتری‌هایی که شبکه‌های عصبی نسبت به مدل‌های مرسوم دارد، معایبی نیز دارد که پژوهشگران این رشته تلاش دارند آن را به حداقل برسانند، از جمله:

- قواعد یا دستورات مشخصی برای طراحی شبکه برای یک کاربرد اختیاری وجود ندارد.
- در مورد مسائل مدل‌سازی، نمی‌توان تنها با استفاده از شبکه عصبی به فیزیک مسئله پی‌برد. به بیان دیگر، مرتبط ساختن پارامترها یا ساختار شبکه به پارامترهای فرآیند معمولاً غیرممکن است.
- دقت نتایج بستگی زیادی به اندازه مجموعه آموزش دارد.
- آموزش شبکه ممکن است مشکل یا حتی غیرممکن باشد.
- پیش‌بینی عملکرد آینده شبکه (عمومیت یافتن) به سادگی امکان‌پذیر نیست.

اگرچه پیش‌بینی صورت گرفته به وسیله مدل شبکه عصبی، دارای توجیه آماری نبوده و نمی‌توان برای آن فاصله اطمینان تعیین نمود اما مدل شبکه عصبی می‌تواند برای پیش‌بینی دقیق‌تر متغیرها مورد استفاده قرار گیرد^۳. از این رو انتخاب یک شبکه عصبی با الگوریتم آموزشی و ساختار مناسب می‌تواند ابزار توانمندی برای پیش‌بینی یک سری زمانی فراهم کند.

فرآیند ARIMA

فرآیند ARIMA(P,d,q) برای متغیر X را می‌توان به صورت رابطه ۳ نشان داد:

$$y_t = f(x) + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

که در آن:

$$y_t = \Delta^d x_t = (1-l)^d x_t \quad (4)$$

و f(t) روند زمانی را (در صورت وجود) در y_t برآورد می‌کند. در بیشتر متغیرهای اقتصادی، معمولاً $d=1$ بوده، در نتیجه $\mu = f(t)$ و یا $d=0$ است^۴ و

1. Kuan & White, 1994

2. Universal Approximator

۳. قاسمی، اسدپور، صادقی ۱۳۷۹، ص ۸۸

4. Pesaran, H. M. & B. Pesaran, 1997

$$f(t) = \alpha + \delta \quad (۵)$$

در فرآیند $ARIMA(P,d,q)$ ، P, d, q به ترتیب بیانگر تعداد جملات خود رگرسیو، مرتبه تفاضل گیری و تعداد جملات میانگین متحرک می‌باشند. در صورتی که d برابر با صفر شود، فرآیند $ARIMA$ تبدیل به فرآیند $ARMA$ می‌شود. معمولاً برای برآورد الگوی $ARIMA$ و $ARMA$ از روش باکس-جنکینز استفاده می‌شود که دارای چهار مرحله شناسایی، برآورد، تشخیص دقت پردازش و پیش‌بینی است. تعداد جملات خود رگرسیو و تعداد جملات میانگین متحرک را می‌توان توسط ضابطه‌های آکائیک^۱ و یا شوارتز-بیزین^۲ تعیین نمود.

برآورد و ارزیابی مدل‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور برای دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۷/۶ بوده که در مجموع ۱۶۲ مشاهده را در بر می‌گیرد. داده‌ها از سازمان مدیریت شبکه برق ایران استخراج شده است. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر، کشور ایران با برخی کشورهای همسایه مبادلات برق داشته است، در این پژوهش، ارقام واردات در مصرف داخلی لحاظ شده و از احتساب مقادیر صادر شده، صرف‌نظر شده است. این داده‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند. نخست از ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۴/۶ برای آموزش و مدل‌سازی و بخش دوم از ۱۳۸۴/۷ تا ۱۳۸۷/۶ برای اعتبارسنجی و مقایسه مدل شبکه عصبی پیشخور با فرآیند $ARIMA$ مورد استفاده قرار گرفته است.

الف) $ARIMA$

برای پیش‌بینی داده‌های سری زمانی به وسیله $ARIMA$ ، ابتدا مانایی سری زمانی را بررسی کرده و مرتبه انباشتگی (d) تعیین می‌شود. در این پژوهش، سری زمانی با تفاضل‌گیری مرتبه ۱ و سالانه پایا شده است. سپس، تعداد جملات خود رگرسیو (p) و تعداد جملات میانگین متحرک (p)، با بهره‌گیری از معیار ضابطه آکائیک، محاسبه شده است. بر این اساس کمترین مقدار آکائیک، مربوط به فرآیند تعداد جملات خود رگرسیو و میانگین متحرک است، که نتایج تفصیلی برآورد آن، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. نتایج برآورد در دوره ۱۳۷۴/۱-۱۳۸۴/۶

نام متغیر	ضریب	خطای معیار	نام متغیر	ضریب	خطای معیار
C	۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۰/۹۴	MA (1)	-۱/۲۸	-۲/۱۸۸
AR (1)	-۰/۱۹	-۱/۸۹	MA (2)	-۰/۱۱	۰/۰۹
AR (2)	۰/۰۲	۰/۲۰	MA (3)	-۰/۰۲	-۰/۰۳۷
AR (3)	۰/۲۹	۳/۲۱	MA (4)	-۰/۱۷	-۲/۷۷
AR (4)	۰/۴۹	۰/۵۴	MA (5)	-۰/۰۷۶	۱/۳۰
AR (5)	۰/۳۶	۳/۶۶	MA (6)	۱/۱۸	۳۰/۷۲
AR (6)	-۰/۳۲	-۳/۳۳	MA (7)	-۱/۰۲	-۶/۸۷
AR (12)	-۰/۴۶	-۵/۲۲	MA (8)	۰/۲۰	۱/۵۳
$F = ۳۶$			$R^2 = ٪۸۴$		

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

ب) شبکه عصبی

در این پژوهش، از شبکه عصبی پیشخور چند لایه از نوع پرسپترون استفاده کرده‌ایم. شبکه‌های پرسپترون در زمینه پیش‌بینی سری‌های زمانی نسبت به شبکه‌های دیگر به دلیل سادگی و سرعت و دقت بالا استفاده بیشتری دارند. در این پژوهش از یک لایه پنهان استفاده شده است زیرا یک شبکه عصبی ب یک لایه پنهان یک تقریب‌زننده کلی است^۱. شبکه پرسپترون استفاده‌شده دارای ۲۰ نرون در لایه مخفی است. برای انتخاب تعداد نرون‌های لایه مخفی شبکه، شبکه‌های مختلف با تعداد نرون‌های مخفی متفاوت طراحی‌شده و آموزش داده شد. از میان این شبکه‌ها با توجه به معیار MSE، شبکه بهینه انتخاب شد؛ یعنی شبکه با کمترین MSE که دارای ۲۰ نرون مخفی بود، به کار گرفته شد. لایه ورودی با توجه به داده‌های ورودی با ۱ نرون در نظر گرفته شده است. تابع فعال‌سازی استفاده‌شده برای این شبکه از نوع سیگموئید است. خروجی‌های شبکه، دارای یک نرون و تابع فعال‌سازی خطی^۲ است. از میان الگوریتم‌های مختلفی که برای آموزش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، الگوریتم لونیبرگ-مارکوات انتخاب شد؛ چرا که این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر پس انتشار خطا سرعت بیشتری دارد.

برای توقف فرآیند آموزش از روش early stopping بهره گرفته شد.

در نهایت، شبکه عصبی با کمک نرم‌افزار MATLAB طراحی و برآورد شده است. برای طراحی مدل، از داده‌های خام برای آموزش استفاده شده است؛ زیرا نرمال‌سازی آنها باعث طولانی‌تر شدن فرآیند آموزش در توابع سیگموئید می‌شود^۳.

برای دوره آموزش، تعداد داده‌های آموزش و ارزیابی مدل به نسبت ۸۵ درصد به ۱۵ درصد تقسیم شده و نرخ یادگیری ۱ درصد استفاده شد. برای دوره زمانی ۱۳۷۴/۱ تا ۱۳۸۴/۶ شبکه عصبی آموزش

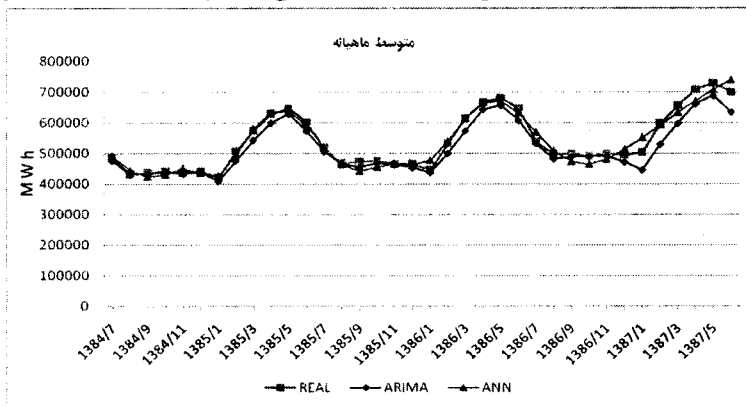
1. Hornik et al, 1989; Cottrell et al, 1995

۲. در متون شبکه‌های عصبی معمولاً منظور از یک تابع فعال‌سازی خطی استفاده از یک تابع خطی همانی است

3. Klimasauskas, 1993

داده شده، سپس، این شبکه برای پیش‌بینی مقادیر مصرف از ۱۳۸۴/۷ تا ۱۳۸۷/۶ استفاده شد. نمودار ۱ مقادیر پیش‌بینی شده شبکه عصبی پیش‌خور و فرایند ARIMA به همراه مقادیر واقعی برای دوره ۱۳۸۴/۷-۱۳۸۷/۶ را نشان می‌دهد.

نمودار ۱. مقایسه نتایج پیش‌بینی بر مبنای شبکه عصبی پیش‌خور و ARIMA با مقادیر واقعی



مأخذ : یافته‌های این پژوهش.

در جدول ۲ مقادیر پیش‌بینی شده، توسط شبکه عصبی و ARIMA، به همراه مقادیر واقعی برای دوره ۱۳۸۵/۷-۱۳۸۷/۶ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی پیش‌خور و ARIMA به همراه مقادیر واقعی (۱۳۸۵/۷-۱۳۸۷/۶)

ماه	مقدار واقعی	شبکه عصبی	ARIMA	ماه	مقدار واقعی	شبکه عصبی	ARIMA
۱۳۸۵/۷	۵۱۷۲۶۰	۵۲۲۳۱۹	۵۰۵۵۶۷	۱۳۸۶/۷	۵۳۷۰۸۶	۵۶۹۶۵۷	۵۳۱۹۴۳
۱۳۸۵/۸	۴۶۷۴۰۶	۴۶۳۴۸۶	۴۶۵۲۲۲	۱۳۸۶/۸	۴۹۶۸۶۴	۵۰۹۵۸۱	۴۸۲۳۴۵
۱۳۸۵/۹	۴۷۲۳۷۰	۴۴۲۰۷۹	۴۵۳۳۰۸	۱۳۸۶/۹	۴۹۸۰۳۱	۴۷۲۶۷۵۲	۴۸۹۲۳۲
۱۳۸۵/۱۰	۴۷۵۶۳۵	۴۵۴۵۵۳	۴۶۷۲۲۴	۱۳۸۶/۱۰	۴۹۰۲۷۷	۴۶۴۷۲۹	۴۸۹۹۷۸
۱۳۸۵/۱۱	۴۶۳۸۰۰	۴۶۷۵۸۸	۴۶۲۷۹۱	۱۳۸۶/۱۱	۴۹۷۹۱۶	۴۸۰۷۲۸	۴۹۱۵۱۷
۱۳۸۵/۱۲	۴۶۵۱۸۲	۴۶۱۳۳۱	۴۵۳۳۵۱	۱۳۸۶/۱۲	۴۹۴۷۴۵	۵۱۲۱۱۲	۴۷۱۳۲۱
۱۳۸۶/۱	۴۴۵۰۶۰	۴۷۷۶۱۵	۴۳۷۰۲۷	۱۳۸۷/۱	۵۰۳۰۶۶	۵۵۱۲۸۷	۴۴۵۱۸۷
۱۳۸۶/۲	۵۳۲۰۷۹	۵۴۰۲۴۶	۴۹۹۸۳۴	۱۳۸۷/۲	۵۹۲۹۶۶	۵۹۲۹۶۰	۵۲۹۳۰۸
۱۳۸۶/۳	۶۱۴۹۱۵	۶۱۵۰۸۴	۵۷۳۳۰۸	۱۳۸۷/۳	۶۵۵۶۰۴	۶۳۲۹۳۶	۵۹۷۶۴۳
۱۳۸۶/۴	۶۶۶۷۶۴	۶۶۴۸۸۲	۶۴۲۷۳۵	۱۳۸۷/۴	۷۰۷۸۴۱	۶۷۲۴۹۵	۶۶۱۷۲۱
۱۳۸۶/۵	۶۷۹۸۸۵	۶۷۰۵۱۰	۶۵۶۳۲۳	۱۳۸۷/۵	۷۲۷۳۸۹	۷۰۷۸۴۴	۶۸۷۹۰۵
۱۳۸۶/۶	۶۴۶۶۷۸	۶۳۲۴۵۶	۶۰۷۶۸۹	۱۳۸۷/۶	۶۹۸۶۱۶	۷۳۹۷۳۴	۶۳۴۴۵۶

مأخذ : یافته‌های این پژوهش.

به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی فرآیند ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی از معیارهای میانگین مجذور خطا (MSE)، مربع مجذور میانگین خطا (RMSE)، مربع میانگین خطای استاندارد نرمال شده (NMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین درصد قدرمطلق خطا (MAPE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شده است. این معیارها بر اساس مقیاس داده‌های واقعی دوره ۱۳۸۴/۷ تا ۱۳۸۷/۶ به دست آمده است. جدول ۳ قدرت پیش‌بینی دو روش را بر اساس معیارهای یادشده نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقایسه شبکه عصبی با ARIMA بر اساس معیارها

روش	MSE	RMSE	MAE	MAPE	NSME	R^2
ARIMA	۸۰۴۹۵۲۰۶۵	۲۸۳۷۱۶	۲۱۲۴۴٫۳	۳٫۶	۰٫۱۶	۰٫۸۴
شبکه عصبی	۳۶۹۶۴۴۵۶۷	۱۹۲۲۶٫۲	۱۵۲۴۸٫۵	۲٫۸	۰٫۰۱	۰٫۹۹

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

با توجه به نتایج جدول ۲، تمام معیارها نشان‌دهنده برتری شبکه عصبی پیشخور نسبت به مدل ARIMA است. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل شبکه عصبی پیشخور دارای خطای کمتر با قدرت توضیح دهندگی بالا و در نتیجه از دقت نسبی بالاتری در پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور برخوردار است. مقادیر پیش‌بینی شده توسط دو مدل در نمودار ۱ نشان می‌دهد که در دوره‌های اولیه، مقادیر پیش‌بینی شده به مقدار واقعی نزدیک بوده و با طولانی شدن دوره پیش‌بینی، مقادیر پیش‌بینی شده از مقدار واقعی فاصله می‌گیرد. در این جا این نتیجه حاصل می‌شود که شبکه عصبی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت کارایی بهتری دارد. نباید فراموش نمود که تغییر در تعداد داده‌های آموزشی و آزمایشی به ویژه کاهش تعداد داده‌های آموزشی، نتایج متفاوتی را به دنبال خواهد داشت.

پس از آزمون کارایی شبکه عصبی در پیش‌بینی مصرف، شبکه عصبی دیگری با همان ساختار اشاره‌شده، با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۱۳۷۴/۱ تا ۱۳۸۷/۶ آموزش داده شد. با استفاده از این شبکه، مقادیر مصرف برای ۱۲ ماه پس از تاریخ ۱۳۸۷/۷ تا ۱۳۸۸/۶ پیش‌بینی شد که مقادیر آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. مقادیر پیش‌بینی شده متوسط ماهانه نیاز برق داخلی کشور (مگاوات ساعت)

ماه	نیاز برق کشور	ماه	نیاز برق کشور
۱	۵۶۴۱۷۴	۷	۵۰۷۵۳۷
۲	۵۱۶۰۳۱	۸	۶۰۴۳۶۳
۳	۵۱۹۲۹۳	۹	۶۷۹۹۳۱
۴	۵۱۶۸۳۶	۱۰	۷۳۵۶۱۸
۵	۵۱۴۶۸۸	۱۱	۷۵۳۱۲۸
۶	۵۱۳۷۰۸	۱۲	۷۱۹۹۹۲

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت انرژی برق در توسعه اقتصادی جوامع، همچنین، ارتباط با سایر بخش‌ها و نهادها، آگاهی میزان تقاضای برق در هر دوره برای اعمال سیاست‌گذاری‌های لازم حائز اهمیت است. در این پژوهش به مطالعه تطبیقی روش‌های خطی ARIMA و غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز برق داخلی کشور پرداختیم. بدین منظور، یک مدل برای دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۴/۶ برآورد کرده و با همان مجموعه یک مدل شبکه عصبی طراحی و برآورد نمودیم. سپس، با استفاده از معیارهای مرسوم، به ارزیابی دو مدل در زمینه پیش‌بینی متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور، برای دوره ۱۳۸۴/۷ تا ۱۳۸۷/۶ پرداختیم. با توجه به نتایج جدول ۳، شبکه عصبی پیش‌خور از نظر تمامی معیارهای عملکرد، بر روش ARIMA برتری دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بالایی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت متوسط ماهانه نیاز داخلی برق کشور داشته و قادر است میزان نیاز داخلی برق را دقیق‌تر از فرآیند ARIMA پیش‌بینی نماید. بر این اساس به دستگاه‌های مسئول و سیاست‌گذاران ذیربط در زمینه برنامه‌ریزی برای سیاست‌گذاری آینده پیشنهاد می‌شود، علاوه بر مدل‌های رایج در زمینه پیش‌بینی، شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز به عنوان یک ابزار قدرتمند در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- اصغری اسکویی، محمد رضا. (۱۳۸۱)، کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره ۱۲، صفحات ۹۶-۶۶.
- پور کاظمی، محمد حسین؛ افسر، امیر و نهایندی، بیژن. (۱۳۸۴). مطالعه تطبیقی روش‌های خطی ARIMA و غیرخطی شبکه‌های عصبی‌فازی در پیش‌بینی تقاضای اشتراک گاز شهری. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۱، صفحات ۱۴۶-۱۳۳.
- خالوزاده حمید و خاکی صدیق، علی. (۱۳۸۲). ارزیابی روش‌های پیش‌بینی قیمت سهام و آرایه مدلی غیرخطی بر اساس شبکه‌های عصبی. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۶۳، صفحات ۸۵-۴۳.
- کمانکش، سیما؛ برقی نیا، سعید و غفاری، آزاد. (۱۳۶۸). پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت شبکه برق ایران با در نظر گرفتن شرایط خاص نظیر روزهای قبل و پس و بین تعطیلی و سال‌های کبیسه و تهیه قوانین خبره فازی. بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی صنعت برق.
- کمیجانی، اکبر و سعادت فر، جواد. (۱۳۸۵). کاربرد مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی ورشکستگی اقتصادی شرکت‌های بازار بورس. جستارهای اقتصادی، سال دهم، شماره ۶، صفحات ۴۴-۱۱.
- قاسمی، عبدالرسول؛ اسد پور، حسن و شاه‌صادقی، مختار. (۱۳۷۹). کاربرد شبکه‌عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی و مقایسه آن با مدل ARIMA. فصلنامه پژوهش‌نامه بازرگانی، سال چهارم، شماره ۱۴، صفحات ۱۲۰-۸۷.
- قدیمی، محمدرضا و مشیری، سعید. (۱۳۸۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی در ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN). فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره ۱۲، صفحات ۹۷-۱۲۵.
- مشیری، سعید. (۱۳۸۰). پیش‌بینی تورم در ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری زمانی و شبکه‌های عصبی. مجله پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۵۸، صفحات ۱۴۷-۱۸۴.
- مشیری، سعید و مروت، حبیب. (۱۳۸۵). پیش‌بینی شاخص کل بازدهی سهام تهران با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی. فصلنامه پژوهش‌نامه بازرگانی، شماره ۴۱، صفحات ۲۷۶-۲۴۶.
- مرکز مدیریت شبکه برق ایران.
- Azadeh, S.F., Ghaderi, S., Sohrab khani. (2007). Forecasting Electricity by Integration of Neural Network, time Series and ANOVA. International Journal of Mathematics and Computation, Volume 186, Issue 2, pp 1753-1761.
- A. Azadeh, S.F. Ghaderi and S. Sohrabkhani. (2008). A Simulated-based Neural Network Algorithm for Forecasting Electrical Energy Consumption in Iran. Energy Policy, Volume 36, Issue 7, Pages 2637-2644.
- A. Darbellay, Marek Slama. (2000). Forecasting the Short- Term for Electricity: Do Neural Networks Stand a Better chance? Journal of Forecasting, 16, 71-83.

Cottrell, M., Girad, Y., Mangeas, M., Muller, C. (1995) Neural Modeling for Time Series: a Statistical Syepwise Method. IEEE Transaction on Neural Network, Volum 6, Issue 6, 1355-1364

Cokun Hamzaçebi. (2007). Forecasting of Turkey's Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases." Energy Policy, Volum35, Issue 3, pp 2009-2016

Eva Gonzalez- Romera, Miguel Angel Jaramillo-Moran, Diego Carmona-Fernandez. (2007). Forecasting of the Electric Energy Demand Trend Computer & Industrial Engineering. Volume 52, Issue 3., pp 336-343.

H.S. Hippert, D.W. Bunn, R.C. Souza. (2005). Large Neural Networks for Electricity Load Forecasting: Are They Overfitted?", Forecastir:g Volume 21, Issue 3., 425-434.

Horkin, K. Stinchcombe, M. White, H. (1989). Multilayer Feedforward Networks are Universal Aproximators. Neural Network Volume pp 2,425-434.

M. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano and A. Marvuglia. (2008). "Short-term prediction of Household Electricity consumption: Assessing Weather Sensitivity in a Mediterranean Area. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12., pp 2040-2065.

M.M. Tripathi, K.G. Upadhyay and S.N. Singh. (2008). Short-Term Load Forecasting Using Generalized Regression and Probabilistic Neural Networks in the Electricity Market. The Electricity Journal, 21., 24-34.

N.M. Tabatabaei S.R. Mortezaeei S. Alzakeriny S. Ozen A. Nayir SHORT TERM (2008). Load forecasting by Neural Short Term Network Inmashad (Iran) Power System. 4th International Conference on "Technical and Physical Problems of Power Engineering", University of Pitesti, Pitesti, Romania.

Paras Mandal, Tomonobu Senjyu, and Toshihisa Funabashi. (2006). Neural Networks Approach to Forecast Several Hour Ahead Electricity Prices and Loads in Deregulated Market", Journal of Energy Conversion and Management 47., 2128-2142.

White H. (1988). Economic Prediction Using Neural Networks: The Case Of IBM Daily Stock Returns. Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Network., 451-458.