

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

## ارائه یک روش نوین به منظور پیش بینی قیمت برق در بازار بورس انرژی با استفاده از مدل SVM<sup>1</sup>

ایمان اله میرزاییان دزفولی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، دانشکده مهندسی، گروه برق  
i\_mirzaeiandezfuli@yahoo.com

جواد نیکوکار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، دانشکده مهندسی، گروه برق  
j.nikoukar@yahoo.com

### چکیده

امروزه ساختار صنعت برق در بسیاری از کشورهای جهان در حال گذار از فضای انحصاری به فضای رقابتی است. در این فرآیند که تحت عنوان کلی تجدیدساختار در صنعت برق پیگیری می شود، کشورهای مختلف با مدل‌های متفاوت در جهت های خصوصی سازی و رقابتی کردن این صنعت در حال حرکتند. عواملی مانند عدم امکان ذخیره سازی انرژی الکتریکی در مقیاس بزرگ، انتقال انرژی الکتریکی بر اساس قوانین فیزیکی حاکم بر خطوط انتقال و نه بر اساس قراردادهای اقتصادی، حساسیت کم تقاضا به تغییرات قیمت بویژه در افق زمانی کوتاه مدت و ... روند تجدید ساختار و طراحی بازارهای انرژی الکتریکی را با پیچیدگی های مضاعفی روبرو نموده است. ایده اصلی در رقابتی کردن صنعت برق در نظر گرفتن انرژی الکتریکی به عنوان یک کالا است که توسط قراردادهای مختلفی می تواند خریداری یا به فروش رسانده شود. با طرح این ایده، خدماتی مانند انتقال انرژی، تهیه ظرفیت رزرو، حفظ فرکانس و ولتاژ شبکه، حفظ کیفیت برق و ... به صورت خدمات جانبی این کالا مطرح می شوند. البته می توان خدمات جانبی را نیز به کمک طراحی بازارهایی در کنار بازار انرژی تأمین نمود. در فضای رقابتی صنعت برق و با شکل گیری بازارهای مختلف برای انرژی، یکی از مسائل با اهمیت که نقش کلیدی را در برنامه ریزی شرکت های تولیدی، خریداران و بهره بردار سیستم ایفا می کند، مسأله پیش بینی قیمت برق می باشد. در این مقاله یک روش نوین به منظور پیش بینی قیمت برق ارائه می گردد.

واژگان کلیدی: بازار بورس، پیش بینی قیمت انرژی الکتریکی، مدل SVM.

<sup>1</sup> Support Vector Machine

## مقدمه

امروزه از دیدگاه شرکت کنندگان در بازار پیش بینی قیمت برق از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. استراتژی پیشنهاد قیمت فروشندگان، برنامه مدیریت مصرف خریداران و برآورد بودجه شرکت ها از جمله مواردی است که نیاز مبرم به پیش بینی قیمت برق را از دیدگاه های مختلف مورد توجه قرار می دهد. علاوه بر کاربرد پیش بینی قیمت در افق های زمانی کوتاه مدت، در بازه بلندمدت نیز قراردادهای به پیش بینی نیاز دارند. در بازه بلندمدت معمولاً جهت کاهش ریسک در تصمیم گیری، از قراردادهای مکمل در افق های بلند مدت استفاده می شود. قیمت نهایی (MCP<sup>2</sup>) به عنوان یکی از شاخص های مهم در بازار رقابتی برق و بر پایه اصل حداکثر سازی شاخص رفاه اجتماعی، از تلاقی منحنی های قیمت دهی تولیدکنندگان و مصرف کنندگان بدست می آید. به عبارتی در یک مناقصه رقابتی قیمتی که در آن منحنی تقاضای تجمعی خریداران، منحنی تجمعی تولیدکنندگان را قطع می کند به عنوان قیمت بسته شده بازار (MCP) مطرح می شود [1].

به دلیل رفتارهای پیچیده شرکت کنندگان در بازار منحنی عرضه و تقاضا دارای عدم قطعیت های مختلف بوده و به این دلیل پیش بینی قیمت برق دشوار می باشد. اهمیت پیش بینی قیمت برق در بازارهایی که نحوه مناقصه برق آنها به مانند بازار برق ایران بر اساس مناقصه PAB<sup>3</sup> می باشد نسبت به مناقصه یکنواخت بسیار بیشتر است. دلیل این امر آن است که بر خلاف مناقصه یکنواخت که قیمت تمام شده بازار بطور یکسانی بین برندگان در مناقصه توزیع می شود، در مناقصه نوع PAB هر شرکت کننده در مناقصه بازار بر اساس میزان قیمت پیشنهادی خود در صورت برنده شدن وجه دریافت می نماید. بر این اساس پیش بینی قیمت در این نوع مناقصه نقش تعیین کنندهای در استراتژی پیشنهاد قیمت خواهد داشت [2-4].

تاکنون روشهای متعددی برای پیش بینی قیمت برق ارائه شده اند که از معروفترین آنها می توان به شبکه عصبی اشاره نمود. شبکه یک برنامه نرم افزاری یا یک تراشه نیمه هادی است که بتواند همانند مغز انسان عمل نماید در واقع یک شبکه عصبی مصنوعی که یکی از ابزارهای داده کاوی می باشد، ایده های است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می پردازد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی به نام نرون تشکیل شده است که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می کند. Artificial Neural Network یا (ANN) نظیر انسان ها با مثال یاد می گیرند و با پردازش روی داده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای دادهها را به ساختار شبکه منتقل می کند به همین خاطر به این سیستم ها هوشمند گفته می شود چرا که بر اساس محاسبات روی داده های عددی یا مثال ها قوانین کلی را یاد می گیرد [5].

پژوهشگران شبکه ی عصبی ترجیح می دهند از توابع محرک غیر خطی و به ویژه در داده های محرک غیرخطی استفاده کنند و به ویژه در داده های سری زمانی معمولاً از توابع زیگموئیدی و تانژانت هیپربولیکی استفاده می شود. یک شبکه عصبی مصنوعی معمولاً از سه لایه تشکیل می شوند. لایه ورودی شامل واحدهایی به تعداد متغیرهای توضیحی مدل است. لایه های میانی و خروجی شامل واحدهای پردازش اطلاعات هستند. در این واحد ها، محاسبات بر روی اطلاعات ورودی صورت گرفته و نتیجه آنها به صورت یک ورودی جدید به واحد های دیگر در لایه های بعدی ارسال می شود. واحدهای لایه خروجی به مثابه همان متغیرهای وابسته در مدل های رگرسیون هستند که مقادیر برآوردشده متغیر وابسته را تحویل می دهند. لایه میانی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا نقش موثری در یادگیری صحیح مدل ایفا می کند. در هر مرحله داده ها وزن دار شده و به لایه بعد فرستاده می شوند. در ابتدا هر نرون مجموع داده های وزن دار شده را با توجه به تابع فعال سازی دسته بندی نموده و نتایج را به نرون های لایه بعدی می فرستد. در مورد تعیین تعداد واحدهای پردازش اطلاعات در لایه های میانی، به رغم آنکه فرمول هایی برای این امر در ادبیات مدل های شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده اند، ولی هنوز هم روش آزمون و خطا روش موثرتری به نظر می رسد. به هر حال، تعداد بسیار کم یا بسیار زیاد واحد های میانی ممکن است منجر به نتیجه نامطلوب به

<sup>2</sup> Market Clearing Price

<sup>3</sup> Pay As Bid

ویژه در بخش پیش بینی شود. تعداد کم واحد های میانی هر چند سرعت یادگیری را بالا می برد ولی ممکن است باعث شود تا فرایند یادگیری به صورت ناقص انجام شده و مدل را از پیش بینی درست ناتوان سازد. از طرف دیگر ، تعداد بسیار زیاد واحد های میانی هر چند که ممکن است نتیجه مطلوبی در فرایند یادگیری مدل داشته باشد، اما احتمالا آثار خوبی در مرحله پیش بینی نخواهد داشت زیرا این عمل باعث افزایش توضیح دهنده گی الگو شده ولی به احتمال قوی در امر پیش بینی مناسب عمل نخواهد کرد. در ادبیات مدل های شبکه عصبی مصنوعی این مشکل "حفظ کردن" مدل نامیده می شود. مدلی که نوع ارتباطات بین متغیرها را درون نمونه برآورد صرفا حفظ کرده باشد، قادر نخواهد بود در شرایط جدید که نظیر تاریخی ندارد، عکس العمل خوبی نشان دهد. در صورتی که تعداد مکفی از این لایه ها و واحدها در یک مدل شبکه های عصبی وجود داشته باشند، مدل قادر خواهد بود هرگونه ارتباط بین داده و ستاده ها را با دقت تعیین شده یاد بگیرد، به عبارت دیگر برآورد صحیحی از رابطه بین داده ها و ستاده ها ارائه می کند [6-7].

### معرفی SVM

بردار پشتیبان SVM یکی از روش های یادگیری بانظارت است که الگوریتم SVM اولیه در سال 188۱ توسط Vapnik و Corinna Cortes برای حالت غیرخطی تعمیم داده شد. این الگوریتم در زمینه شناسایی الگو و پیش بینی رگرسیون استفاده می شود. هدف آن تشخیص و متمایز کردن الگوهای پیچیده در داده ها و یافتن قوانین حاکم بر آنها می باشد [10]. ماشین بردار پشتیبان دارای ویژگی تعمیم پذیری خوب، توانایی در طبقه بندی الگوهای ورودی، رسیدن به الگوی بهینه کلی، قابلیت یادگیری (تعیین خودکار ساختار بهینه برای مجموعه داده های تحت آموزش) است. ماشین بردار پشتیبان داده هارا به بردارهای یادگیری تبدیل می نماید که هر بردار با یک مقدار خروجی متناظر میباشد و قابلیت پیدا کردن مقدار بهینه را در فضای غیر خطی و خطی دارا است. مبنای کاری دسته بندی کننده SVM دسته بندی خطی داده ها است و در تقسیم خطی داده ها سعی میکنیم خطی را انتخاب کنیم که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. از الگوریتم SVM ، در هر جایی که نیاز به تشخیص الگو یا دسته بندی اشیا در کلاس های خاص باشد می توان استفاده کرد. هسته های مختلفی را برای استفاده در ماشین بردار پشتیبان به کار می گیرند که یکی از متداول ترین آن ها هسته با تابع گوسین است که در واقع این نوع هسته پیاده سازی یک شبکه عصبی نیز می باشد. تابع پیاده سازی هسته ی گوسین به صورت زیر است [8]:

$$k(x_i, x_j) = \exp\left(-r \|x_i - x_j\|^2\right) \quad (1)$$

$$r=1/2\sigma$$

### ارائه مدل

به دلیل اینکه ورودی های شبکه عصبی دارای دیمانسیون های مختلفی هستند، پیش از آموزش شبکه عصبی، داده های ورودی به آن نرمال می گردند. هدف از نرمال سازی این است که داده ها به اعدادی مابین صفر تا یک تبدیل شوند، زیرا در این مدل برای عناصر پردازش گر (نرون ها) در الیه ی مخفی، تابع آستانه سیگموئیدی انتخاب گردید که خروجی این تابع اعدادی بین صفر تا یک می باشد. بنابراین باید داده های ورودی به این تابع نیز اعدادی بین صفر و یک باشند. برای ورودی های نزدیک به صفر تا یک، تغییرات وزن نرون ها حداقل خواهد بود، زیرا در این اعداد، عناصر پردازشگر به دلیل شکل تابع سیگموئید، کند عمل می کنند. ولی برای مقادیر ورودی های نزدیک به نیم، پاسخ نرون ها به سیگنال ورودی سریعتر خواهد بود. بدین منظور هر کدام از متغیرها با استفاده از رابطه زیر نرمال گردید تا تاثیر اعداد بزرگ کاهش یابد.

یکی از بزرگترین مشکلاتی در که در استفاده از روشهای هوشمند از جمله ماشین بردار پشتیبان وجود دارد این است که پارامترهای این سیستم ها باید بصورت دستی و با استفاده آزمون و خطا تنظیم شوند. که با توجه به اینکه این پارامترها بسته به مورد بوده و ممکن است که پارامترهایی که برای مورد A مناسب می باشند برای مورد B مناسب نباشند. در این بخش با

استفاده یک روش هوشمند بهترین پارامترها انتخاب می شوند. این روش ترکیبی از الگوریتم بهینه سازی حرکات ذرات و ماشین بردار پشتیبان می باشد. این روش بدین صورت عمل میکند که در هر تکرار پارامترهایی با استفاده از PSO به SVM ارائه می شود و SVM با استفاده از آنها به پیش بینی قیمت می پردازد و در تکرار بعدی PSO با استفاده از منطقی در پشت پرده دارد مقادیر جدید را برای پارامترها ارائه می کند و این رویکرد تا زمانی که میزان خطا به کمترین مقدار خود برسد ادامه پیدا کند. لذا تا زمانی که این روال ادامه می دهیم که کمترین خطایی که مطلوب ما می باشد حاصل شود یا اینکه به تعداد تکرار خاصی، مقدار خطا بهبودی زیادی پیدا نکند و ادامه تکرارها، سودمندی منطقی نداشته باشد [9-10].

روش Support Vector Machines یکی از روش های یادگیری ماشین قلمداد می گردد. یادگیری ماشین نیز در چارچوب علم تئوری یادگیری آماری قرار دارد. تئوری یادگیری آماری چارچوبی متشکل از علم آمار و آنالیز کارکرد<sup>۴</sup> برای یادگیری ماشین می باشد [12]. تئوری یادگیری آماری، علمی است که به یافتن یک تابع پیش بینی بر اساس داده های موجود سر و کار دارد. SVM از روش یادگیری نظارتی استفاده می نماید. در ابتدا SVM برای دسته بندی داده های به دو بخش ابداع شده بود اما بتدریج این ابزار برای دسته بندی های چندتایی و رگرسیون بکار گرفته شد. در واقع، SVM علاوه بر مدل سازی و حل مسائل خطی، توان بالایی در مدل کردن روابط غیرخطی دارد. SVM این کار را با استفاده از توابع کرنل و با استفاده از روش Kernel Trick انجام می دهد. همین توانایی موجب شده است که از این ابزار در بسیاری از حوزه ها علمی و کاربردی استفاده شود. در سالیان اخیر SVM موفق شده است در بسیاری از موارد دسته بندی و رگرسیون، نتایج خوبی را حاصل نماید.

مبنای کار SVM تولید یک یا چند ابرصفحه<sup>۵</sup> در فضایی با ابعاد زیاد یا نامتناهی می باشد که از آنها بتوان برای دسته بندی، رگرسیون یا سایر کاربردها استفاده نمود. چنانچه عمل تفکیک و جداسازی داده ها توسط ابرصفحه هر دسته از بخوبی انجام شود، این ابرصفحه از نزدیک ترین نقاط آموزشی این نقاط بیشترین فاصله را خواهد داشت. به فاصله ابرصفحه از نزدیک ترین نقاط آموزشی هر دسته، حاشیه کارکردی اطلاق می شود. هر چقدر حاشیه بیشتر باشد، خطای تعمیم دسته بندی کمتر خواهد بود.

در حالی که مسئله اصلی ممکن است در فضای با ابعاد متناهی مشخص شود، اغلب مجموعه داده ها یا نقاط بصورت خطی در فضا قابل تفکیک نمی باشند. لذا پیشنهاد گردید که به منظور تسهیل در تفکیک و جداسازی داده ها یا نقاط، فضای اصلی با ابعاد متناهی به فضایی با ابعاد بزرگ تر نگاشت شود. به منظور اینکه حجم محاسباتی مسئله در اثر این نگاشت تا حد غیرقابل قبولی از نظر محاسباتی بالا نرود، نگاشت های مورد استفاده برای SVM را باید طوری طراحی کرد که از حاصل ضرب نقطه ای بدست آیند که آسان تر بتوان آنها را محاسبه نمود. بدین منظور ابتکار جالبی صورت گرفته برای سهولت حل مسئله استفاده می گردد. مطابق این است و از توابع کرنل روش، ابرصفحات در فضا با ابعاد بیشتر به عنوان مجموعه ای از نقاط تعریف می شوند که حاصل ضرب نقطه ای آنها با یک بردار در آن فضا مقدار ثابتی باشد. بردارهای تعریف شده برای ابرصفحات را می توان طوری انتخاب  $\alpha_i$  از تصویر بردارهای ترکیبی باشند که نمود که ترکیبی خطی از پارامترهای R در پایگاه داده ها رخ می دهند.

در روش رگرسیون SVM، SVR) تابعی برآورد می شود که با آن بتوان بر مبنای داده های آموزشی، یک بردار ورودی را به یک عدد حقیقی نگاشت می کند SVR. دارای همان خواص ماکزیمم سازی حاشیه و روش کرنل برای نگاشت غیرخطی می باشد. از زمان ابداع الگوریتم SVM و به تبع آن SVR، الگوریتم های فرعی فراوانی برای SVM ابداع شده است که با اصلاحات یا تغییراتی جزئی، موجب بهبود و ارتقای الگوریتم مذکور شده اند. از شناخته ترین این الگوریتم ها، الگوریتم کمترین مربعات SVM یا LSSVM می باشد.

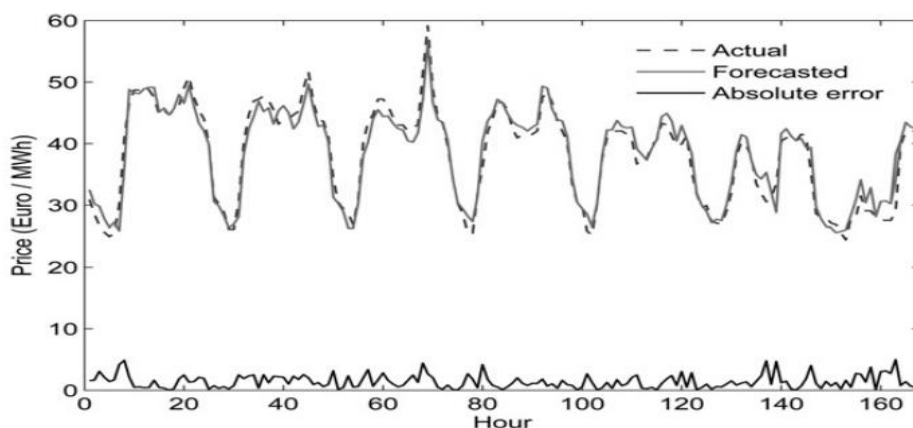
<sup>4</sup> Functional analysis

<sup>5</sup> Hyperplane

جهت تشریح مختصر الگوریتم LS-SVM، فرض کنید مجموعه داده های آموزشی بصورت  $(i=1, \dots, N)$  که  $\{a_i, b_i\}$  باشند که در آن،  $a_i$  داده های ورودی و  $b_i$  داده های خروجی می باشند. مدل رگرسیون با تابع نگاشت غیرخطی  $f(a_i)$  که داده های ورودی را به فضای مشخصه با ابعاد بیشتر نگاشت می نماید، تولید می شود. که در نهایت می توان قیمت برق را با استفاده از آن پیش بینی نمود [11-13].

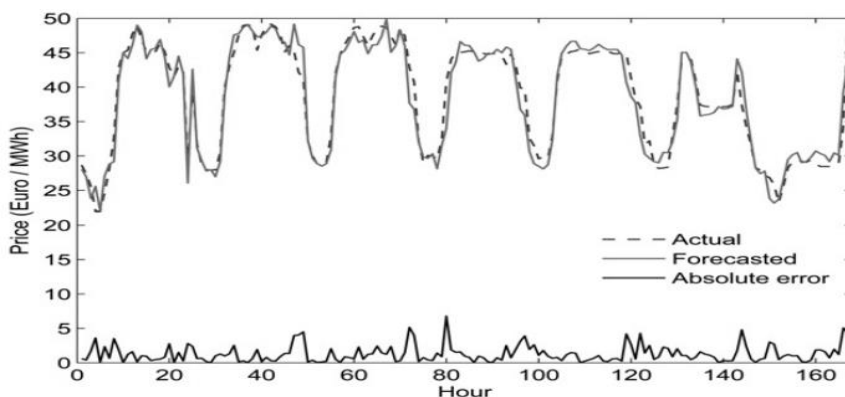
### شبیه سازی و تحلیل نتایج

در این قسمت با استفاده از داده های بازار برق nordpool، پیش بینی قیمت اجماع گرفته و نمودارهای آن با مقدار واقعی مقایسه شده اند. فرض می گردد که داده های چهار هفته مختلف از سال در فصول غیر یکسان در دسترس باشد. این کار به روش اعتبار فوق العاده ای می بخشد. زیرا بیان می کند که روش پیشنهادی در همه فصول سال با اعتبار خواهد بود. شکل (1) نمودار پیش بینی قیمت در یک هفته نوعی در زمستان را نشان می دهد. ملاحظه می نمایید که نتایج پیش بینی با نتایج واقعی تطبیق خوبی دارند.



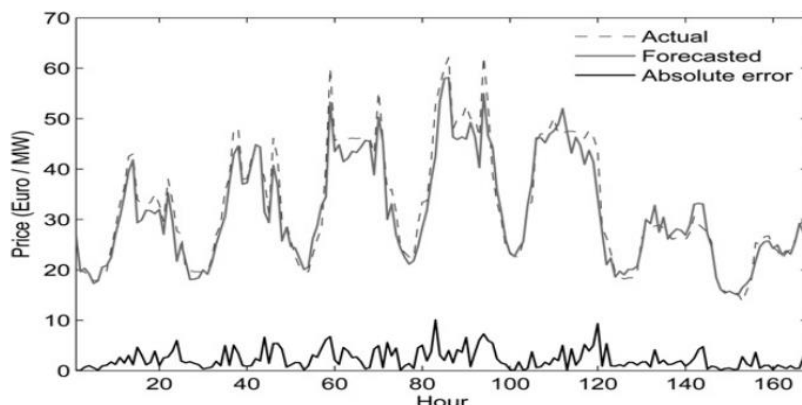
شکل 1؛ نتایج پیش بینی قیمت در هفت روز دلخواه در زمستان

شکل 2 نتایج خروجی را در بهار نشان می دهد.



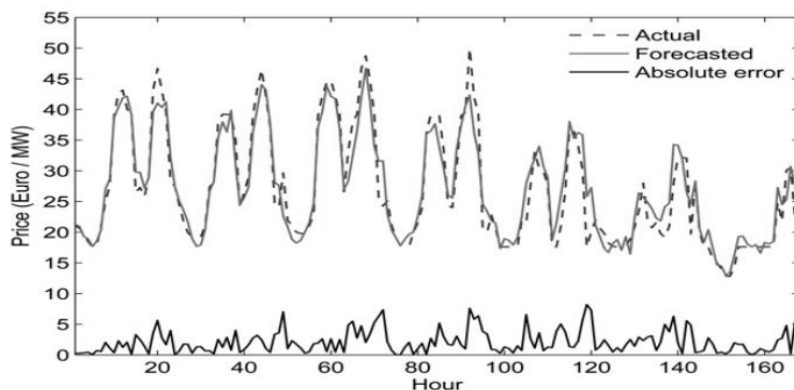
شکل 2؛ نتایج پیش بینی قیمت در هفت روز دلخواه در بهار

شکل 3 پیش بینی قیمت برق با استفاده از روش پیشنهادی را با داده های بازار مزبور در تابستان نشان می دهد.



شکل 3؛ نتایج پیش بینی قیمت در هفت روز دلخواه در تابستان

و در آخر شکل (4) نمودار پیش بینی قیمت در یک هفته نوعی در پاییز را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می نمایید نتایج پیش بینی با تقریب خوبی بر داده های واقعی منطبق شده اند.



شکل 4؛ نتایج پیش بینی قیمت در هفت روز دلخواه در پاییز

### نتیجه گیری

با توجه به اینکه روش های رگرسیون، نمی تواند دقتشان را جهت پیش بینی قیمت برق از حدی بالاتر ببرند (چون سیگنال قیمت برق اساساً خیلی به گذشته بستگی ندارد)، نیاز به یک روش پویا که جامعیتی به لحاظ دوره های مختلف پیش بینی داشته باشد، در پیش بینی قیمت برق کاملاً احساس می شود. بر این اساس از مهم ترین روش ها و ابزارهای کارآمد در بازار برق، روش های مبتنی بر شبیه سازی بازار می باشد که چه از دیدگاه تصمیم گیری و چه پیش بینی، هم در بازه کوتاه مدت و هم بلند مدت کارایی بسیار بالایی دارند. این روش قادر به گرفتن و تسخیر حرکت های پویای بازار، شامل حرکت هایی که به دلیل رفتارهای استراتژیکی است، می باشد. به ویژه این روش اطلاعات موقتی از رفتار بازار و توانایی شرکت کنندگان بازار در بکارگیری تصمیمات عاقلانه در بازارهای کوتاه مدت و طولانی مدت، مانند استراتژی های قیمت دهی روزانه را بالا می برد. در بازارهای برق، شبیه سازی بازار برای نهادهای مرتبط با بازار بسیار حائز اهمیت است. چراکه تولیدکنندگان و مصرف کنندگان به کمک این ابزار می توانند تصمیم گیریهای مختلف را تجزیه و تحلیل نمایند. بطوری که از دیدگاه فروشندگان بررسی رفتار رقبا و از دیدگاه خریداران ارائه قیمت مناسب و بررسی سیاست های مدیریت مصرف امکان پذیر می گردد. محیط شبیه سازی از نقطه نظر نهاد تنظیم نیز به منظور تحلیل تأثیر تصمیمات آنها بسیار مهم است. به عنوان مثال ایجاد تعرفه ها با

قوانین و تعیین و تعریف روابط بین خریداران و فروشندگان انرژی، از جمله وظایف مهم و تعیین کننده نهاد تنظیم در بازار می باشد. به دلیل اینکه فضای رقابتی بازار برق را چندین عامل با رفتارهای متناوب تشکیل می دهد یکی از روش های مورد استفاده در شبیه سازی بازار برق اسفاده از تئوری سیستم های چندعاملی است. لذا با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله، پیش بینی قیمت برق با تقریب بسیار خوبی انجام پذیرفت.

#### منابع

1. R. J. Hyndman and A. B. Koehler, "Another look at measures of forecast accuracy", *International Journal of Forecasting*, vol. 22, pp. 679-688, 2006
2. J. Zhao, Z. Dong, X. Li and K. P. Wong, "A general method for electricity market price spike analysis", *Proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, vol. 1, pp. 286-293
3. J. Zhao, Z. Dong and X. Li, "Electricity market price spike forecasting and decision making", *Generation, Transmission & Distribution, IET*, vol. 1, pp. 647-654, 2007
4. W. Wu, J. Zhou, L. Mo and C. Zhu, "Forecasting Electricity Market Price Spikes Based on Bayesian Expert with Support Vector Machines" in *Advanced Data Mining and Applications: Lecture Notes in Computer Science*, 2006, Springer
5. X. Lu, Z. Y. Dong and X. Li, "Electricity market price spike forecast with data mining techniques", *Electric Power Systems Research*, vol. 73, pp. 19-29, 2005
6. A. E. Clements, J. E. Fuller and A. S. Hurn, "Semiparametric forecasting of Spikes in Electricity Price", *Economic Records*, vol. 89, pp. 508-521, 2013
7. T. M. Christensen, A. S. Hurn and K. A. Lindsay, "Forecasting Spikes in Electricity Prices", *International Journal of Forecasting*, vol. 28, pp. 400-411, 2012
8. J. Janczura, S. Trück, R. Weron and R. C. Wolff, "Identifying spikes and seasonal components in electricity spot price data: A guide to robust modeling", *Energy Economics*, vol. 38, pp. 96-110, 2013
9. P. Maryniak and R. Weron, "Forecasting the occurrence of electricity price spikes in the UK power market", *HSC Research Report*, 2014
10. R. Becker, A. S. Hurn and V. Pavlov, "Modelling spikes in electricity prices", *Economic Record*, vol. 83, pp. 371-382, 2007
11. E. Fanone, A. Gamba and M. Prokopczuk, "The case of negative day-ahead electricity prices", *Energy Economics*, vol. 35, pp. 22-34, 2013
12. R. Weron, "Heavy-tails and regime-switching in electricity prices", *Mathematical methods of Operations Research*, vol. 69, no. 3, pp. 457-473, 2009
13. R. Weron, M. Bierbrauer and S. Truck, "Modeling electricity prices: jump diffusion and regime switching", *Physica A*, vol. 336, pp. 39-48, 2004



# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه

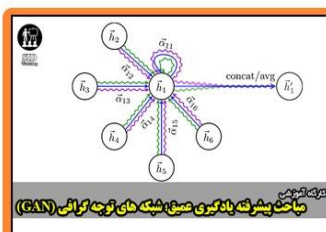


فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی