

# مهندسی برق ایران

بررسی روشهای خوشه‌بندی سریهای زمانی جهت بهبود پیشبینی الگوی بار ترانسفورماتورهای شبکه‌های توزیع

علیرضا حاتمی<sup>1</sup>، جواد زلفی<sup>2\*</sup>، مقصود شکرالهی<sup>3</sup>، محمد پروانه<sup>4</sup>

۱- استادیار گروه برق، دانشگاه بوعلی، همدان، ایران

۲- شرکت توزیع نیروی برق خوزستان، خوزستان، ایران

۳- شرکت توزیع نیروی برق خوزستان، خوزستان، ایران

۴- شرکت توزیع نیروی برق خوزستان، خوزستان، ایران

نویسنده مسئول: javad.zalaqi@gmail.com

## خلاصه

بارهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع با توجه به زمان، محل و الگوی مصرف دائماً در حال تغییر هستند و واحدهای تولیدی و شرکت‌های توزیع برق باید در هر زمان پاسخگویی تقاضای مشترکین خود باشند. پس به ناچار می‌بایست اطلاعات دقیقی از بار مشترکین به منظور طراحی شبکه‌های توزیع، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت بار و قیمتگذاری داشته باشند. شناخت هر کدام از این عوامل موثر بر میزان مصرف برق و میزان تأثیر آنها میتواند منجر به برآورد میزان مصرف الگوهای مصرف گردد که باعث برنامه‌ریزیها و سیاست‌گذاریهای درست میشود که در نهایت باعث پایداری و کاهش هزینه‌ها در شبکه توزیع برق میگردد. در این مقاله روشهای مختلف خوشه‌بندی سری‌های زمانی مورد ارزیابی قرار میگردد و عملکرد هر کدام در پیش‌بینی بار بررسی می‌شود. در نهایت فرآیند و الگوریتم جدیدی ارائه میشود که با استفاده از طبقه‌بندی ترانسفورماتورهای کلاسهای مصرف به پیش‌بینی سهم هر خوشه از بار فیدر میپردازد.

کلمات کلیدی: خوشه‌بندی، طبقه‌بندی، سری زمانی، فیدر، بار.

## ۱. مقدمه

بارهای شبکه‌های توزیع از کلاسهای مصرفی متفاوتی مانند خانگی، تجاری، صنعتی، کشاورزی و عمومی میباشند، همچنین بارهای هر کلاس مصرف از الگوهای مختلفی تشکیل شده‌اند که میتوان آنها را به دست‌ها و خوشه‌های گوناگونی تقسیم‌بندی نمود. شناخت هر کدام از کلاسها و الگوهای میتواند منجر به برآورد میزان مصرف الگوهای مصرف گردد که باعث برنامه‌ریزیها و سیاست‌گذاریهای درست میشود که در نهایت باعث پایداری و کاهش هزینه‌ها در شبکه توزیع برق میگردد.

در این مقاله با استفاده از روشهای خوشه‌بندی و پیش‌بینی بار از شبکه‌های عصبی، به بیان یک الگو و فرآیند جدیدی برای تحلیل و ارزیابی الگوهای مصرف ترانسفورماتورها از بار فیدر در کلاسهای متفاوت پرداخته شده است.

## ۲. خوشه‌بندی

خوشه‌بندی از لحاظ فنی، یک یادگیری بدون ناظر است که شامل یافتن خوشه‌هایی است که حداکثر واریانس را با یکدیگر دارند، در حالی که گروه‌های زمانبندی شده در هر خوشه دارای حداقل واریانس با یکدیگر هستند [۱]. معمولاً

# مهندسی برق ایران

تأمینکنندگان بزرگ برق از خوشه‌بندی برای دسته‌بندی کردن مشتریهایی که دارای ویژگی‌های الکتریکی مشابه هستند، استفاده میکند [۲].

انواع مختلفی از روشهای خوشه‌بندی تقسیمی وجود دارد، اما برخی از رویکردهای رایج عبارتند از: 'K-Means، K-Medoid و نقشه‌های خودسازمان‌دهنده یا [3] SOM

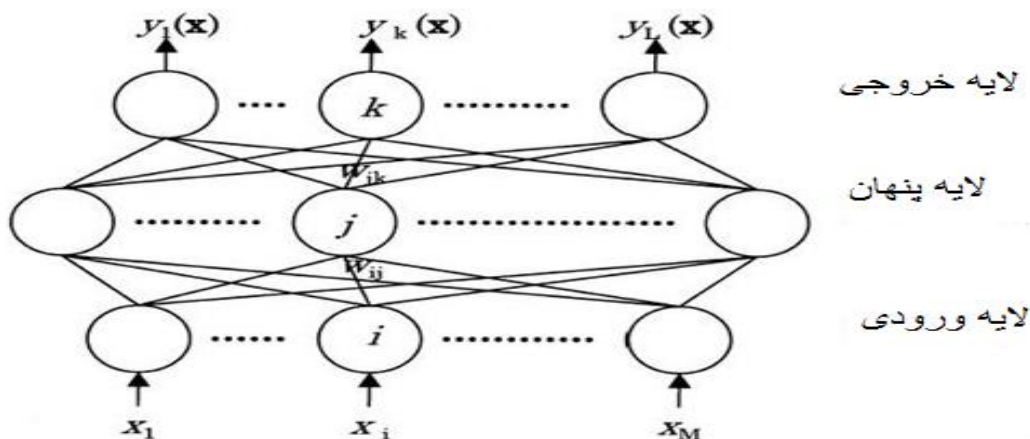
### ۳. شبکه عصبی MLP

اگرچه معماریهای مختلف از شبکه‌های عصبی وجود دارد اما یکی از رایجترین شبکه‌های عصبی شبکه پرسپترون چند

لایه (MLP) میباشد که از سه لایه تشکیل شده است: یک ورودی، یک لایه پنهان و یک خروجی [۴]. مدل پرسپترون چند لایه که عملکرد انتقالی مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند. در این نوع شبکه عصبی، بیشتر رفتار شبکه‌ای مغز انسان

و انتشار سیگنال در آن مد نظر بوده است و از این رو، گاهی با نام شبکه‌های پیش‌خورد<sup>۳</sup> نیز خوانده می‌شوند. هر یک

از سلول‌های عصبی مغز انسان، موسوم به نورون<sup>۴</sup> پس از دریافت ورودی (از یک سلول عصبی یا غیر عصبی دیگر)، پردازشی روی آن انجام می‌دهند و نتیجه را به یک سلول دیگر (عصبی یا غیر عصبی) انتقال می‌دهند. این رفتار تا حصول نتیجه‌ای مشخص ادامه دارد.



شکل ۱: ساختار یک شبکه عصبی ۳ لایه

- 1 Self-organizing map
- 2 Multi Layer Perceptron
- 3 Feedforward Networks
- 4 Neuron

# مهندسی برق ایران

## ۴. مشخصات فیدر

مجموعه داده‌های فیدر مورد مطالعه، توسط گروه یکپارچه سازی سیستم‌های توزیع به عنوان بخشی از مطالعه در مورد ضریب نفوذ بالا PV خورشیدی در شبکه توزیع، جمع آوری شده است [۵]. فیدر مورد نظر از میان ۲۴ فیدر

طبقه بندی شدهی آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام (PNNL) انتخاب شده است [۶]. این فیدر با نام اختصاصی R-۱۲,۴۷-۱۴ نماینده یک منطقه حومه شهری در سواحل غربی کشور امریکا میباشد و عمدتاً از خانه‌های تک خانواده و بارهای سنگین تجاری تشکیل شده است. شبکه توزیع این فیدر رو باز نیست و ۱۰۰٪ زیر زمین میباشد. اکثریت بارها در نزدیکی پست قرار دارند. داده‌ها شامل بار ساعتی در طول یک سال از ۵۰ ترانسفورماتور تجاری و خانگی میباشد و در سال ۲۰۰۹ جمع آوری شده‌اند. بارهای ترانسفورماتورهای تجاری به تفکیک هر فاز مورد ارزیابی قرار میگیرند. در جدول ۱ مشخصات فیدر ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیدر

۳۰۲	نقطه انشعاب
۴۷/۱۲	ولتاژ (KV)
۵۳۰۰	بار (KW)
۰	تنظیم‌کننده‌های ولتاژ
۰	ریکلوزر
۳۸	ترانسفورماتورهای مسکونی
۱۲	ترانسفورماتورهای تجاری
۰	ترانسفورماتورهای صنعتی
۰	ترانسفورماتورهای کشاورزی

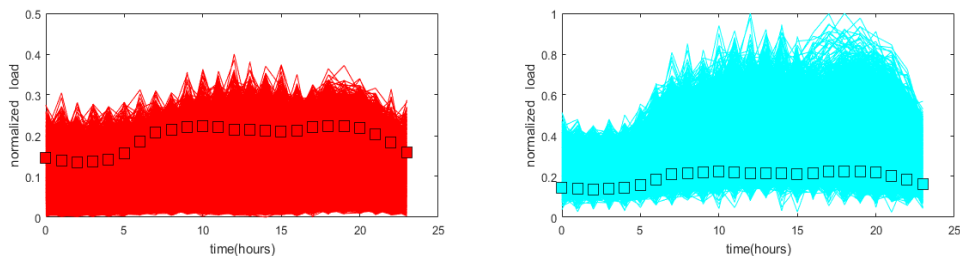
## ۵. نتایج شبیه سازی

### ۵.۱. خوشه بندی

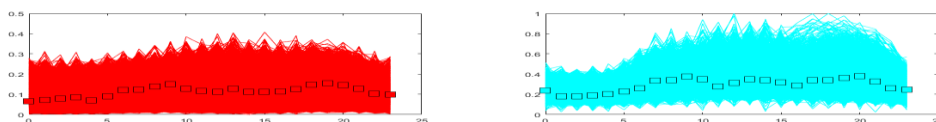
در این مقاله بارهای فیدر مورد نظر با استفاده از روشهای K-Medoid و SOM خوشه‌بندی می شوند. داده‌ها نرمال میشوند و تحلیلی بر اساس ۲ خوشه صورت می گیرد. نتایج در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

<sup>5</sup> Pacific Northwest National Laboratory

# مهندسی برق ایران



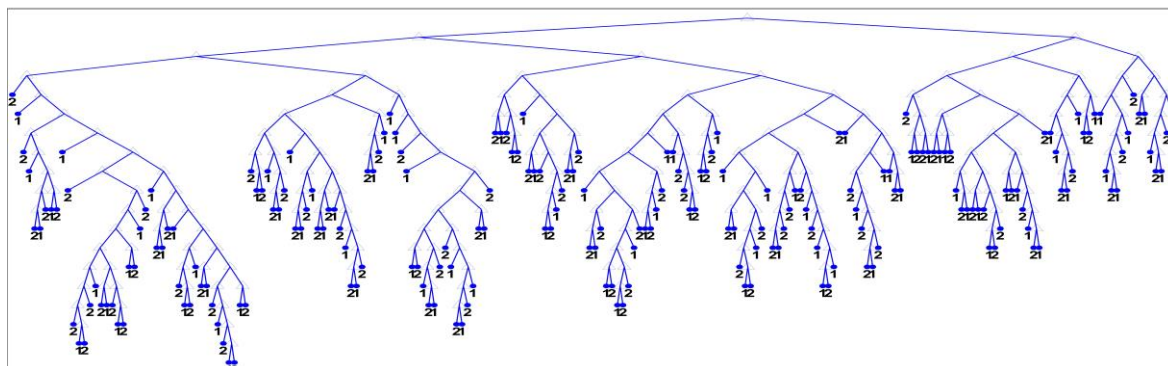
شکل ۲- نتایج خوشه‌بندی بار ترانسفورماتورها با استفاده از روش SOM



شکل ۳- نتایج خوشه‌بندی بار ترانسفورماتورها با استفاده از روش K-Medoid

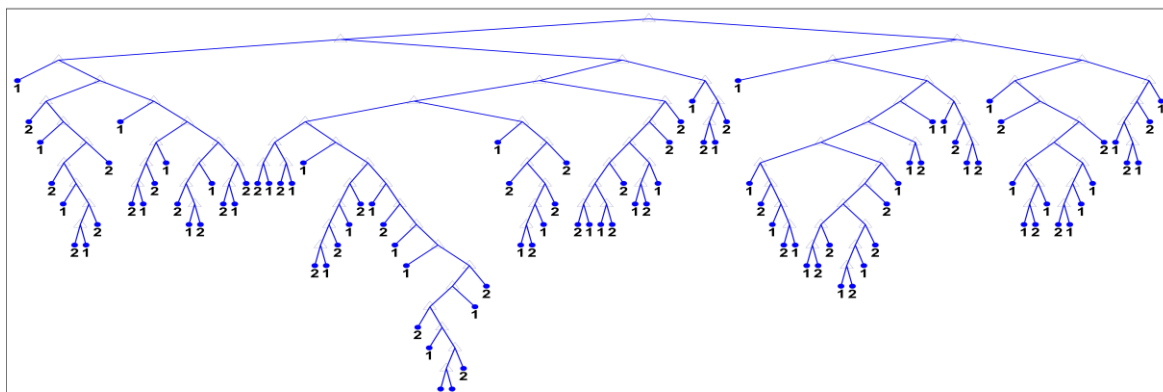
۲.۵. طبقه بندی با استفاده از درخت تصمیم

فرآیند پیشنهادی در این مقاله ارزیابی و طبقه بندی مجدد خوشه‌های به دست آمده با استفاده از درخت تصمیم می‌باشد که باعث بهبود عملکرد در پیش‌بینیها میگردد. شکلهای ۴ و ۵ نتایج طبقه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم را نشان میدهند.



شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی درخت تصمیم برای خوشه‌بندی SOM

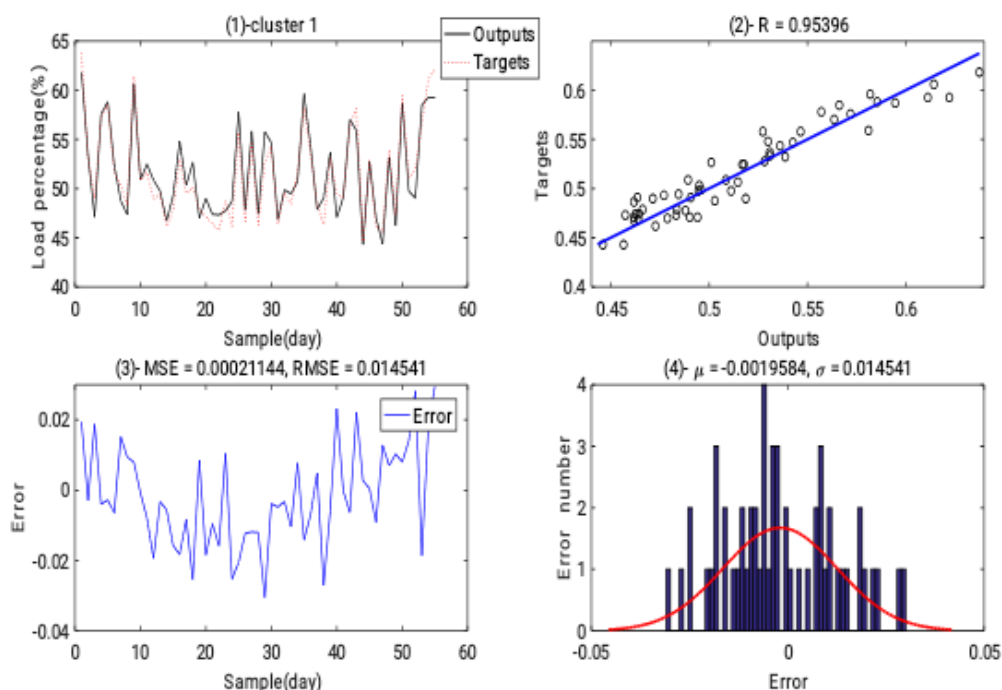
# مهندسی برق ایران



شکل ۵- نتایج شبیهسازی درخت تصمیم برای خوشه بندی K-Medoid

۳,۵. پیش بینی بار با استفاده از شبکه عصبی MLP

در این مرحله پیشبینی سهم بار هر خوشه از بار فیدر با استفاده از شبکه عصبی MLP برای روشهای SOM و k-Medoid همچنین روش K-means نشان داده میشود. نتایج بیانگر عملکرد بهتر فرآیند پیشنهادی در پیشبینی بار ترانسفورماتورهای میباشد.



شکل ۶: عملکرد پیش بینی بار شبکه عصبی MLP با استفاده خوشه بندی SOM (خوشه-۱)

شکل ۶-۱ مقدار درصد بار واقعی و پیش بینی شده از خوشه ۱ از بار فیدر را نشان می دهد. در شکل ۶-۲ ضریب همبستگی به مقدار ۰,۹۵ می باشد که بیان گر دقت مطلوب در پیشبینی هاست. همچنین در شکل ۶-۳ دو شاخص خطا

MSE و RMSE بیان شده است. شکل ۶-۴ میانگین خطا و واریانس خطا را نشان میدهد. سایر نتایج با استفاده از ضریب رگرسیون در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- شاخص ارزیابی رگرسیونی برای روش های مختلف خوشه بندی

	ضریب رگرسیون ( $R^2$ ) بدون استفاده از درخت تصمیم		ضریب رگرسیون ( $R^2$ ) با استفاده از درخت تصمیم
	SOM	خوشه ۱	0.9
	خوشه ۲	0.91	0.95
K-Medoid	خوشه ۱	0.89	0.932
	خوشه ۲	0.88	0.93
K-means	خوشه ۱	0.85	0.9
	خوشه ۲	0.86	0.91

۷. نتیجه گیری

در این مقاله با مقایسه روشهای خوشه بندی، عملکرد آنها در پیشبینی سهم بار ترانسفورماتورهای شبکه توزیع از بار فیدر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. برای بهبود نتایج، فرآیندی با استفاده از درخت تصمیم پیشنهاد شد که نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر فرآیند پیشنهادی در پیشبینی بار ترانسفورماتورهای شبکه توزیع می باشد.

۸. منابع

1. Vasimalla, Kumar. "A survey on time series data mining." International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (IJIRCCE) 2 (2014): 170-179.
2. V. Figueiredo, F. Rodrigues, Z. Vale, and J. B. Gouveia, "An Electric Energy Consumer Characterization Framework Based on Data Mining Techniques," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 2, pp. 596–602, May 2005.
3. L. Hubert, H.-F. Köhn, and D. Steinley, "Cluster Analysis: A Toolbox for MATLAB," 2009, pp.444–512.
4. M. Aydinalp, V. I. Ugursal, and A. S. Fung, "Modeling of the appliance, lighting, and space-cooling energy consumptions in the residential sector using neural networks," Applied Energy, vol. 71, pp. 87–110, 2002
5. Hoke, Anderson, et al. "Steady-state analysis of maximum photovoltaic penetration levels on typical distribution feeders." IEEE Transactions on Sustainable Energy 4.2 (2013): 350-357.
6. Schneider, Kevin P., et al. Modern grid initiative distribution taxonomy final report. No. PNNL-18035. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), 2008



هفتمین کنگره ملی تازه های

# مهندسی برق ایران

