اولویت‌بندی بار یک ریزشبکه قدرت، در شرایط اضطراری

کامران صفایی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه
فرهاد نوابی فر، استادیار گروه برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه

چکیده

بارزدایی یکی از آخرین اقدامات کنترلی است که برای بازگرداندن شبکه قدرت به حالت تعادل استفاده می‌شود. در این حالت تعدادی از بارها از شبکه جدا شده و لذا، بار شبکه کاهش یافته و شبکه به حالت متعادل باز می‌گردد. در این شرایط، سوالی که مطرح می‌شود این است که بارهای متصل به شبکه با چه ترتیبی جدا شوند؟ در این مقاله سعی شده است تا با ارائه روشی هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، در ابتدا میزان اضافه‌بار به وجود آمده در شبکه تخمین زده شده و در مرحله بعد از این شبکه‌ها برای تعیین اولویت هریک از بارها استفاده گردد. از مهم‌ترین اهداف روش پیشنهادی می‌توان به مدیریت مصرف شبکه برق، جلوگیری از خسارات به شبکه و رسیدن به حالت تعادل با کمترین بارزدایی اشاره نمود.هم‌چنین، فرض می‌شود که بارزدایی چند مصرف‌کننده منجر به تعادل شبکه می‌شود. از ویژگی‌های اصلی این مقاله می‌توان به درنظر گرفتن اولویت بارها در طی فرآیند بارزدایی اشاره کرد. هم‌چنین، اولویت‌بندی بارهای موجود در شبکه باتوجه به ساعات مختلف شبانه‌روز متغیر است که این امر باعث می‌شود روش پیشنهادی به واقعیت نزدیک‌تر گردد که این روش در کارهای پیشین صورت نگرفته است. در واقع، مهم‌ترین نوآوری روش پیشنهادی، استفاده از روشی هوشمند براساس اولویت‌بندی کردن بارهای شبکه به‌صورت متغیر با زمان است. باتوجه به نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده، می‌توان دریافت که میزان بار جدا شده از شبکه بهینه بوده و پاسخ فرکانس سیستم هیچ‌گونه فراجهشی ندارد. هم‌چنین، بارهای دارای اولویت بالا، متصل به شبکه باقی مانده و ابتدا بارهایی با اولویت و اهمیت کمتر از شبکه جدا می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: بارزدایی، شبکه‌های قدرت، پایداری فرکانس، اولویت‌بندی بارها، شبکه‌های عصبی

Archive of SID

www.SID.ir

1- مقدمه

مهم‌ترین وظیفه یک شبکه قدرت تامین نیاز مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی است. این تامین نیاز تنها به‌معنای تامین انرژی الکتریکی موردنیاز مصرف‌کنندگان نیست، بلکه شامل حفظ معیارهای کیفیت توان الکتریکی نیز می‌باشد. ازجمله این معیارها، پایداری ولتاژ و فرکانس شبکه و تداوم زمانی انرژی تحویلی به مصرف‌کنندگان است. طراحی، بهره‌برداری و حفاظت شبکه قدرت نیز در راستای حفظ پایداری توان با لحاظ این معیارها صورت می‌گیرد. شبکه حاصل در مجموع باید به‌نحوی عمل کند که در برابر اختلال‌های وارده به آن پاسخ مناسبی داده و در محدوده قابل قبول به کار خود ادامه دهد. اختلال‌ها از نظر نوع، اندازه و پیامدهای آن برای شبکه، طیف وسیعی از اضافه ولتاژهای الکترومغناطیسی تا نوسانات توان الکتریکی، و از اتصالی‌ها و قطعی‌ها تا آلودگی هارمونیکی را شامل می‌شوند. اختلالی که هر شبکه قدرت عملا هر لحظه با آن روبروست، تغییر بار شبکه است. در واقع پاسخ به این اختلال یکی از معیارهای عملکرد مناسب شبکه قدرت است. تغییر بار شبکه شامل تغییر بار حقیقی یا بار رآکتیو است.

1-1- اضافه‌بار در شبکه

اختلاف بین تقاضای مصرف و توان تولیدی سیستم قدرت را اضافه‌بار می‌گویند. هرچه این اختلاف بزرگ‌تر باشد اضافه‌بار به وجود آمده بیش‌تر و سیستم به سمت ناپایداری پیش می‌رود.

اضافه‌بار را برحسب نوع آن می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

1- اضافه‌باری که بر اثر افزایش بیش از حد بار حقیقی شبکه ایجاد می‌شود. در این شرایط گشتاور محرک مولدها قادر به مقابله با گشتاور بار نیست و لذا سرعت و فرکانس آن‌ها کاهش می‌یابد.

2- اضافه‌باری که ناشی از کمبود توان رآکتیو در شبکه است. این نوع اضافه‌بار خود را به‌صورت افت ولتاژ در خطوط و ترانسفورماتورها نشان می‌دهد.

در این مقاله، اضافه‌بارهای ناگهانی توان حقیقی و روش مقابله با آن به‌منظور پیوستگی شبکه و تداوم تغذیه الکتریکی بررسی می‌شود. به‌عبارت دیگر، اضافه‌بارهایی بررسی می‌شوند که در اثر کمبود ناگهانی توان حقیقی در شبکه به وجود می‌آیند. خروج واحدهای تولیدی و قطع خطوط انتقال توان از عوامل مهم بروز این‌گونه اضافه‌بار و کاهش فرکانس شبکه است.

1-2- بارزدایی فرکانسی

چنان‌چه پیش‌تر ذکر شد، هرگونه اضافه‌بار حقیقی شبکه، خود را به‌صورت افت فرکانس نشان می‌دهد. به‌علاوه فرکانس تمام نقاط شبکه طی دوره اضافه‌بار تقریبا با هم برابر است و هرگونه تغییر فرکانسی به سرعت در شبکه منتشر می‌شود. از این‌رو بسیار مناسب که از شاخص فرکانس جهت تشخیص اضافه‌بار استفاده گردد. در طرح‌های حذف بار فرکانسی، به روی میزان معینی از فیدرهای سیستم، رله‌های فرکانسی نصب می‌شود. این رله‌ها با کمتر شدن فرکانس از حد معینی که توسط مدیریت شبکه تعیین شده است، و طی چند پله دستور قطع را به کلیدهای فیدرها ارسال می‌کنند و بدین ترتیب طی چندین پله بار سیستم کاسته می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

3-1- اهمیت و ضرورت تحقیق

همان‌گونه که بیان گردید، بارزدایی یکی از اقداماتی کنترلی است که به‌منظور حفظ پایداری سیستم قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین مراحل در انجام فرآیند بارزدایی تعیین مقدار باری است که باید شبکه جدا شود. با تعیین مناسب اضافه‌بار می‌توان از جدا شدن بارهای غیرضروری از شبکه جلوگیری نمود و در عین حال سیستم قدرت را حالت تعادل بازگرداند. لذا، در این مقاله هدف آن است که با استفاده از شبکه-های عصبی مصنوعی روشی هوشمند و سریع برای تخمین میزان بار موردنیاز به‌منظور بارزدایی از شبکه تعیین شود تا با حذف کمترین بار ممکن به نتیجه مطلوب رسید. مزیت مهم روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به روش‌های دیگر سرعت بالا در بارزدایی و کمینه بودن مقدار باری است که قرار است از شبکه جدا گردد. اهمیت موضوع زمانی نمایان می‌شود که توان مصرفی شبکه از توان تولیدی آن بیش‌تر باشد. در این حالت در صورت تداوم عدم تعادل در شبکه ممکن است کل سیستم قدرت دچار ناپایداری شده و در نهایت منجر به فرپاشی کل شبکه گردد. هم‌چنین، یکی از مهم‌ترین مسائلی که در این مقاله درنظر گرفته شده است اولویت‌بندی کردن بارهای موجود در شبکه است که با این روش در حالت بارزدایی ابتدا بارهایی که اولویت کمتری دارند از شبکه جدا می‌شوند تا علاوه بر بهینه‌سازی، مصرف‌کنندگان مهم و حیاتی دچار خاموشی نشوند. در واقع این کار در مراجع کمی مورد توجه قرار گرفته و در بیش‌تر کارهای انجام شده تاکنون تمام بارهای موجود در شبکه دارای الویت یکسانی برای بارزدایی هستند. از دیگر نوآوری‌های ارائه شده در این مقاله این است که اولویت تخصیص داده شده به بارهای شبکه ثابت نیست بلکه اولویت هر یک از بارها باتوجه به ساعات مختلف شبانه‌روز متغییر است که باعث انعطاف‌پذیری بیش‌تر روش پیشنهادی می‌گردد.

2- ادبیات و پیشینه پژوهش

در این بخش به بیان مفاهیم اصلی بارزدایی و شبکه‌های عصبی پرداخته می‌شود. در ادامه مروری اجمالی بر کارهای انجام گرفته در این حوزه پرداخته خواهد شد.

2-1-تئوری بارزدایی

طراحی یا تحلیل یک الگوی حذف‌بار نیازمند آگاهی از مفاهیم ارتباط بار- فرکانس- ولتاژ در سیستم قدرت است. یک سیستم قدرت همواره در معرض اغتشاشات کوچک و بزرگی است که می‌توان پایداری و عملکرد سیستم را با مشکل مواجه نماید. دلایل گوناگونی از قبیل از کار افتادن واحدهای ژنراتوری، از دست رفتن خطوط اصلی انتقال توان و افزایش قابل‌توجه بار شبکه، می‌توانند باعث ایجاد اغتشاشات بزرگ در سیستم‌های قدرت شوند. سیستم قدرت ممکن است به‌طور دینامیکی پایداری خود را از دست بدهد و این ناپایداری در نهایت می‌تواند باعث فروپاشی کل سیستم شود. این ناپایداری ایجاد شده می‌تواند باعث کاهش فرکانس سیستم قدرت شود. بنابراین، تحلیل پاسخ فرکانس به‌منظور پایداری‌سازی سیستم بسیار مهم وضروری است. لذا، فرکانس سیستم و نرخ تغییرات آن‌را می‌توان به‌صورت زیر اندازه‌گیری کرد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$f_s = [\, f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad \mathbf{K} \quad f_n \,] \tag{1}$$

$$t = [\, t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad \mathbf{K} \quad t_n \,] \tag{2}$$

که در آن f_s بردار فرکانس‌های اندازه‌گیری‌شده سیستم در زمان t است. باتوجه به روابط (1) و (2) می‌توان نرخ تغییرات فرکانس را محاسبه نمود.

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_{n+1} - f_n}{t_{n+1} - t_n} \tag{3}$$

هم‌چنین، با استفاده از رابطه (3) می‌توان میانگین نرخ تغییر فرکانس را از لحظه شروع به‌کار سیستم تا لحظه بارزدایی به‌صورت رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\frac{df}{dt}\Big|_{a\,\mathrm{var}\,age} = \frac{\frac{df}{dt}\Big|_1 + \frac{df}{dt}\Big|_2 + \frac{df}{dt}\Big|_3 + \mathbf{K} + \frac{df}{dt}\Big|_n}{n} \tag{4}$$

با نرنظر گرفتن یک ژنزاتور سنکرون سه‌فاز، معادله حرکت روتور به‌صورت زیر است:

$$J\frac{d^2q}{dt^2} = T_m - T_e = T_a \tag{5}$$

که در آن J ممان اینرسی روتور برحسب Kgm^2، T_m گشتاور مکانیکی اعمال شده به ژنراتور به وسیله محرک اولیه برحسب $N.m$، T_e گشتاور الکتریکی خروجی ژنراتور برحسب $N.m$ و q موقعیت زاویه‌ای روتور برحسب رادیان است. اختلاف بین گشتاور مکانیکی و الکتریکی به‌عنوان گشتاور سرعت T_a نامیده می‌شود. در حالت ماندگار، گشتاور الکتریکی و مکانیکی برابر هستند، درنتیجه، گشتاور سرعت صفر خواهد بود و روتور با سرعت سنکرون $w_s(rad/s)$ دوران می‌کند. موقعیت زاویه‌ای روتور نسبت به یک مرجع ثابت اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری q نسبت به چارچوب دورانی سنکرون، می‌توان تعریف کرد:

$$q = w_s t + d \tag{6}$$

که در آن d موقعیت زاویه‌ای نسبت به چارچوب دورانی است. با مشتق‌گیری زمانی از رابطه (6)

$$\frac{dq}{dt} = w_s + \frac{dd}{dt} \tag{7}$$

با تعریف سرعت زاویه‌ای روتور به‌صورت زیر

$$w_r = \frac{dq}{dt} \tag{8}$$

با جایگذاری رابطه (7) در رابطه (8) خواهیم داشت:

Archive of SID

www.SID.ir

$$w_r - w_s = \frac{dd}{dt} \tag{9}$$

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تنها در صورتی سرعت زاویه‌ای روتور با سرعت سنکرون برابر خواهد بود که $\frac{dd}{dt} = 0$ باشد. با مشتق‌گیری از رابطه (8)، رابطه (9) را می‌توان بدین صورت بازنویسی کرد:

$$w_r - w_s = \frac{dd}{dt} \tag{10}$$

با ضرب کردن دو طرف رابطه (10) در w_m

$$Jw_r \frac{d^2d}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \tag{11}$$

که در آن، P_m، P_e و P_a به‌ترتیب توان مکانیکی، توان الکتریکی و توان هستند. می‌توان ثابت کرد اینرسی را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$H = \frac{Stored\ kinetic\ energy\ at\ synchronous\ speed\ in\ Mega-Joules}{Generator\ MVA\ rating} = \frac{Jw_s^2}{2S_{rated}} \tag{12}$$

با جایگزینی رابطه (12) در (10)

$$2H \frac{S_{rated}}{w_s^2} w_r \frac{d^2d}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \tag{13}$$

در حالت ماندگار سرعت زاویه‌ای ماشین با سرعت سنکرون برابر است. بنابراین، می‌توان w_r در رابطه (13) را با w_s جایگزین کرد. لازم به ذکر است که در رابطه (13) P_m، P_e و P_a برحسب MW هستند. بنابراین با تقسیم دو طرف رابطه (13) بر S_{rated} می‌توان این کمیت را برحسب پریونیت به‌دست آورد.

$$\frac{2H}{w_s} \frac{d^2d}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \ (per\ unit) \tag{14}$$

رابطه (14) رفتار دینامیکی روتور را توصیف می‌کند و بنابراین به‌عنوان معادله نوسان شناخته می‌شود. برای یک سیستم قدرت با تعداد N_G ژنراتور، معادله نوسان ژنراتور iام را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{2H_i}{f_0} \frac{df_i}{dt} = P_{m_i} - P_{e_i} \ (i = 1, 2, \mathbf{K}, N_G) \tag{15}$$

که در آن، H_i اینرسی، P_{m_i} توان مکانیکی، P_{e_i} توان الکترومغناطیسی ژنراتور iام و f_0 فرکانس نسبی سیستم است. بنابراین کل کسری توان حقیقی در سیستم قدرت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum \left(\frac{2H_i}{f_0} \cdot \frac{df_i}{dt} \right) = \sum_{i=1}^{N_G} \left(P_{m_i} - P_{e_i} \right) \tag{16}$$

با مرتب‌سازی رابطه (16) داریم:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\frac{2\sum_{i=1}^{N_G}\left(H_i\frac{df_i}{dt}\right)}{f_0}=\sum_{i=1}^{N_G}P_{m_i}-\sum_{i=1}^{N_G}P_{e_i}=P_M-P_g \qquad (17)$$

که در آن، $P_M=\sum_{i=1}^{N_G}P_{m_i}$ کل توان مکانیکی و $P_g=\sum_{i=1}^{N_G}P_{e_i}$ کل توان الکترومغناطیسی سیستم است. رابطه (17) را می‌توان ساده‌سازی کرد.

$$\frac{2}{f_0}\frac{d}{dt}\left[\sum_{i=1}^{N_G}(H_i f_i)\right]=P_M-P_g \qquad (18)$$

با جایگذاری $H=\sum_{i=1}^{N_G}H_i$ در رابطه (18)

$$\frac{2H}{f_0}\frac{d}{dt}\left[\frac{\sum_{i=1}^{N_G}(H_i f_i)}{H}\right]=P_M-P_g \qquad (19)$$

بنابراین رابطه (19) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{2H}{f_0}\cdot\frac{df}{dt}=P_M-P_g \qquad (20)$$

که در آن، $f_0=\frac{\sum_{i=1}^{N_G}(H_i f_i)}{H}$ فرکانس واقعی سیستم و $H=\sum_{i=1}^{N_G}H_i$ اینرسی ژنراتور معادل سیستم قدرت است. بنابراین، معادله نوسان ژنراتور معادل را می‌توان به‌صورت زیر توصیف کرد:

$$\frac{df}{dt}=\frac{f_0}{2H}\Delta P_s \qquad (21)$$

که در آن، $\Delta P_s=P_M-P_g$ نشان‌دهنده کل کسری توان حقیقی موجود در سیستم است.

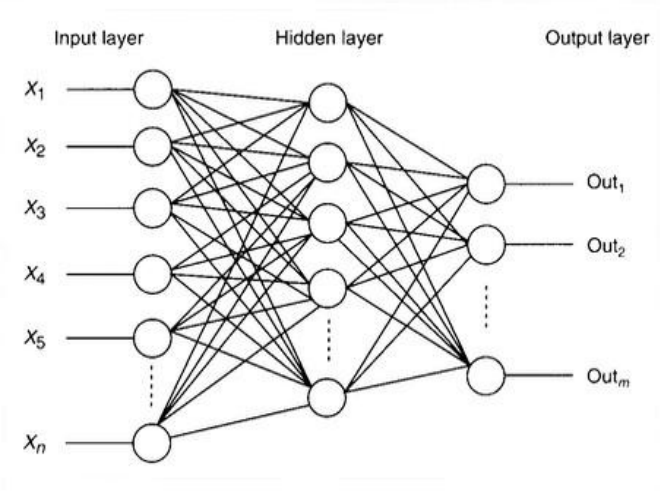
2-2- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی نوعی مدل‌سازی ساده‌انگارانه از سیستم‌هاس عصبی واقعی هستند که کاربردهای فراوانی در حل مسائل مختلف در علوم دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آن‌چنان گسترده است که از کاربردهای طبقه-بندی گرفته تا کاربردهایی نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و غیره را شامل می‌شود. شاید مهمترین مزیت این شبکه‌ها، توانایی وافر آن‌ها در کنار سهولت استفاده از آن‌ها باشد. یکی از ساده‌ترین و در عین حال کارآمدترین چیدمان‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل‌سازی عصب‌های واقعی، مدل پرسپترون چندلایه می‌باشد. که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در این ساختار، تمام نورون‌های یک لایه به تمام نورون‌های لایه بعدی متصل هستند. این چیدمان اصطلاحا یک شبکه با

Archive of SID

www.SID.ir

اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد. شکل 1 شمای یک شبکه پرسپترون سه لایه را نشان می‌دهد. به سادگی می‌توان استنباط نمود که تعداد نورون‌های هرلایه، مستقل از تعداد نورون‌های دیگر لایه‌ها می‌باشد.



شکل 1: ساختار شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

برای آموزش شبکه عصبی از الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده می‌شود. در این روش، از یک تابع غیرخطی برای آموزش شبکه عصبی با هدف تغییر وزن‌های بین لایه‌ها جهت کمینه کردن خطای خروجی استفاده می‌شود. تغییرات ایجاد شده در وزن‌های لایه‌ها به‌صورت زیر است:

$$\Delta w_{ij,n} = F_n + a\Delta w_{ij,n-1} \tag{22}$$

که در آن، Δw_{ij} تغییر لازم برای فاکتور وزنی در هر گره، a فاکتور ممنتوم و F_n یک تابع برای به‌روز کردن وزن‌ها می‌باشد. یکی از پرکاربردترین توابع خطا، مجموع مجذور سیگنال‌های خطا است که توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$E = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j}^{J}(t_{kj} - z_{kj})^2 \tag{23}$$

که t_{kj} مقدار خروجی مطلوب و z_{kj} مقدار خروجی واقعی می‌باشد. تابع F_n در رابطه (22) توسط معادلات زیر مشخص می‌شود.

$$F_0 = -g_0 \tag{24}$$

$$F_n = -[J^T J + mI]^{-1} J^T e \tag{25}$$

J ماتریس ژاکوبین است که شامل مشتقات مرتبه اول خطاهای شبکه برحسب وزن‌ها و بردار خطای شبکه است. پارامتر m در هر تکرار فرآیند آموزش، به روز می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

2-2- پیشینه تحقیق

در ادامه تعدادی از مقالات موجود در رابطه با بارزدایی سیستم‌های قدرت مورد بررسی قرار می‌گیرند. روش-های گوناگونی برای انجام فرآیند بارزدایی ارائه شده است. بارزدایی فرکانسی یکی از رایج‌ترین شیوه‌های بارزدایی در سیستم‌های قدرت است که براساس افت فرکانس شبکه عمل می‌کنند. این روش را می‌توان در سه گروه سنتی، نیمه تطبیقی و تطبیقی دسته‌بندی نمود. در روش‌های سنتی تنها فرکانس شبکه مورد توجه قرار گرفته و زمانی که فرکانس به کمتر از فرکانس مجاز برسد فرآیند بارزدایی در طی چند مرحله انجام می-گیرد. از معایب اصلی این روش می‌توان به ثابت بودن طرح‌های بارزدایی اشاره کرد که صرف نظر از نوع و اندازع اغتشاش وارده فرآیند بارزدایی به‌طور ثابتی انجام می‌شود. بنابراین، نیاز است از روش‌های تطبیقی برای این منظور استفاده گردد. این روش‌ها بر اساس استفاده از شیب اولیه فرکانس و معادله نوسان برای تعیین کسری توان استوار هستند. روش‌های تطبیقی مختلفی برای انجام فرآیند بارزدایی در مقالات پیشنهاد شده است که به‌طور خلاصه به تعدادی از این روش‌ها اشاره می‌شود. دینگ (2001) روش تطبیقی برای بازردایی فرکانسی سیستم‌های قدرت پیشنهاد داد. در این روش فرکانس و تغییرات آن با استفاده از الگوریتم غیربازگشتی نیوتون تعیین می‌شود. سپس، باتوجه به مقادیر تخمین زده شده برای فرکانس و تغییرات آن مقدار اضافه‌بار ایجاده شده در شبکه تخمین زده می‌شود. یکی از معایب این روش بهینه نبودن مقدار اضافه‌بار تخمینی است. زیونگ (2006) به بحث حساسیت توان حقیقی به تغییرات فرکانس و ولتاژ پرداخته است. در این روش میزان کسری توان با استفاده از نرخ تغییرات فرکانس تعیین می‌شود. سیدی (2009) روشی آنلاین و لحظه‌ای برای اندازه‌گیری اطلاعات بارها و فاکتورهای تنظیم فرکانس ارائه داده است. در این روش بارهایی با فاکتورهای تنظیم فرکانسی کوچک‌تر نسبت به سایر بارها زودتر از شبکه جدا می‌شوند. با توجه به بررسی روش‌های تطبیقی می‌توان نتیجه گرفت که تمام این روش‌ها میزان کسری توان را به‌طور غیربهینه تعیین می‌کنند. لذا استفاده از روش‌های هوشمند برای انجام فرآیند بارزدایی ضروری به نظر می‌رسد. از مهم‌ترین روش‌های هوشمند که می‌توان برای این منظور بهره گرفت می‌توان سیستم‌های فازی، شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک و سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی اشاره نمود. میشل (2000) از شبکه عصبی برای بهبود عملکرد بارزدایی سیستم قدرت استفاده کرده است. در این روش توان واقعی، توان در دسترس واحدها و مقدار کاهش توان به‌عنوان ورودی‌های شبکه عصبی درنظر گرفته شده و نشان داده می‌شود که این روش نسبت به سایر روش‌ها سرعت بسیار بالایی دارد. ینگ (2010) روشی ترکیبی با استفاده از روش مونت کارلو و شبکه-های عصبی ارائه داده است. این روش دارای سرعت بالایی بوده و میزان کسری توان را به دقت خوبی تعیین می‌کند اما با این وجود هنوز هم مقدار کسری توان تعیین شده بهینه نیست که این امر را می‌توان در نمودار فرکانس سیستم مشاهده نمود. تالاسیناکیس (2006) برای پیش‌بینی پاسخ دینامیکی سیستم قدرت در حین فرآیند بازدیی توسط رله کاهش فرکانس استفاده کرده است. در این مقاله از روش‌های تصمیم‌گیری درختی و روش‌های رگرسیون درختی نیز استفاده شدهاست. هم‌چنین، متغیرهای واقعی قابل درسترس به‌عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی درنظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

3- روش پیشنهادی

در این مقاله، از روشی هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی به‌منظور بارزدایی شبکه قدرت استفاده می‌شود. در ابتدا با استفاده از شبکه‌های عصبی مقدار اضافه‌بار به وجود آمده در شبکه به‌صورت بهینه تعیین می‌گردد. بعد از انتخاب روش موردنظر برای بارزدایی شبکه قدرت، گام بعدی انتخاب بارهایی است که باید از شبکه جدا شوند. در بسیاری از مقالات انتخاب بارهای شبکه برای بارزدایی به‌صورت تصادفی و بدون هیچ‌گونه معیاری انجام گرفته است. اولویت‌بندی کردن بارها مفهمومی است که می‌توان از آن برای انتخاب بارها در طول فرآیند بارزدایی سیستم قدرت استفاده کرد. اهمیت و ضرورت بارهای موجود در شبکه قدرت می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای اولویت‌بندی بارها مورد استفاده قرار گیرد. بدین صورت که بارهای دارای اهمیت زیاد نیاز است که هیچ‌گاه از شبکه جدا نشوند. در این روش ابتدا بارهایی با اهمیت کمتر از شبکه جداسازی می‌شوند. در این پایان‌نامه پیشنهاد می‌گردد تا باتوجه به ساعات مختلف روز اولویت بارهای شبکه تعیین گردد. در این روش، بارهای شبکه به 4 گروه یا دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

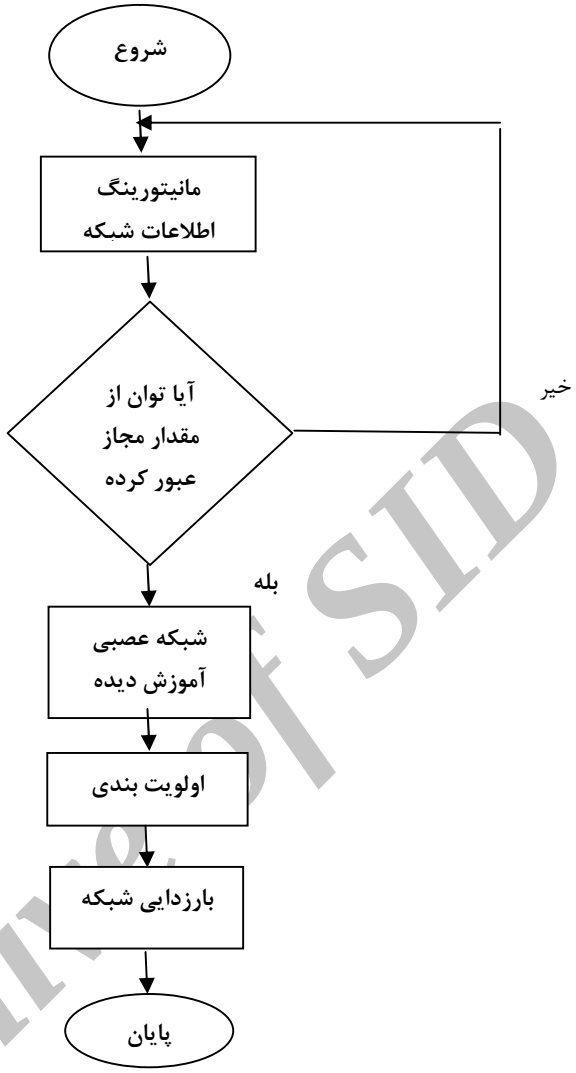
1- بارهای خانگی:
2- بارهای تجاری
3- بارهای صنعتی
4- بارهای حیاتی و مراکز درمانی

این اولویت‌بندی زمانی را می‌توان همانند جدول زیر درنظر گرفت. در این روش در طول ساعات شبانه‌روز اولویت هر یک از بارها باتوجه به ساعت تغییر می‌کند. برای مثال، چنان‌چه نیاز باشد در ساعت 9:30 مقدار خاصی بار از شبکه جدا شود، باتوجه به جدول فوق می‌توان مشاهده کرد که در این ساعت بارهای صنعتی دارای بیش‌ترین اهمیت بوده و لذا نمی‌توان این بار را از شبکه جدا نمود. بنابراین برای بارزدایی باید به سراغ سایر بارها رفت و بار دارای کمترین اهمیت را از شبکه جدا نمود. مهمترین برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر در این است که اولویت بارها متغیر با زمان است. چنان‌چه در ساعت خاصی از شبانه‌روز چند بار دارای اولویت یکسانی باشند، در این صورت جنبه اقتصادی هر یک به عنوان معیار برتری و اولویت درنظر گرفته می‌شود.

جدول 1: اولویت‌بندی بارهای شبکه در ساعات مختلف

ساعات روز	کلاس بار
9:00 تا 18:00	بارهای صنعتی
10:00 تا 13:00 18:00 تا 24:00	بارهای تجاری
6:00 تا 9:00 18:00 تا 24:00	بارهای خانگی
24 ساعت	مراکز حیاتی و درمانی

Archive of SID
www.SID.ir

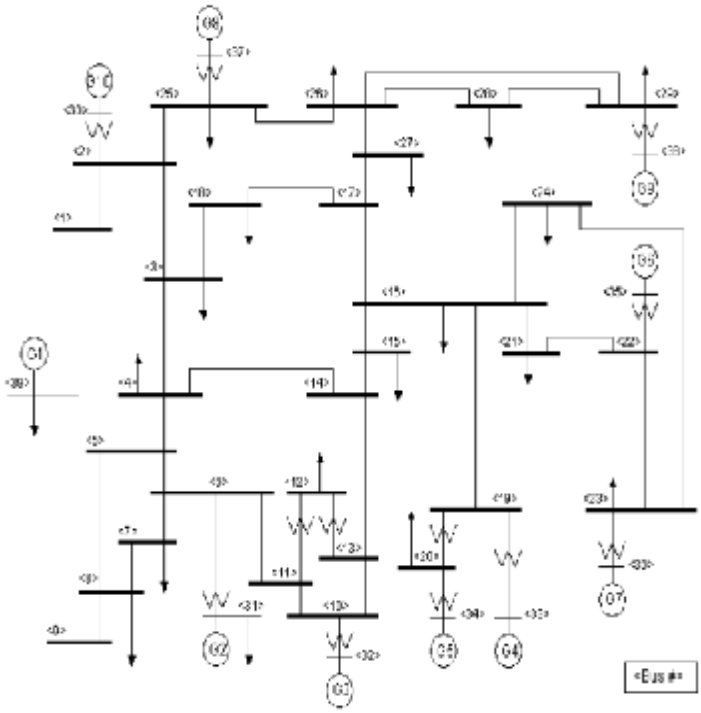


شکل 2: فلوچارت روش پیشنهادی

4- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله، سیستم قدرت IEEE New England 39 Bus برای انجام فرآیند بارزدایی مدل‌سازی و تحلیل می‌شود. شبکه 39 شین IEEE که تحت عنوان شبکه آزمایش نیوانگلند نیز شناخته می‌شود در واقع مدل کاهش یافته ایالت نیوانگلند آمریکا است. این سیستم به‌صورت گسترده در مباحث پایداری ولتاژ و پایداری دینامیک سیستم قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیاگرام تک‌خطی این سیستم در شکل 3 نشان داده شده است. این سیستم دارای 39 باس و 10 مولد تولید توان است. در شرایط نامی توان اکتیو آن 6150/5 MW و توان رآکتیو آن 1409/5 MVAR می‌باشد. حداکثر ظرفیت توان اکتیو آن 2120 MVAR است . در این سیستم توان مبنا 100 MVA می‌باشد.

www.SID.ir
Archive of SID



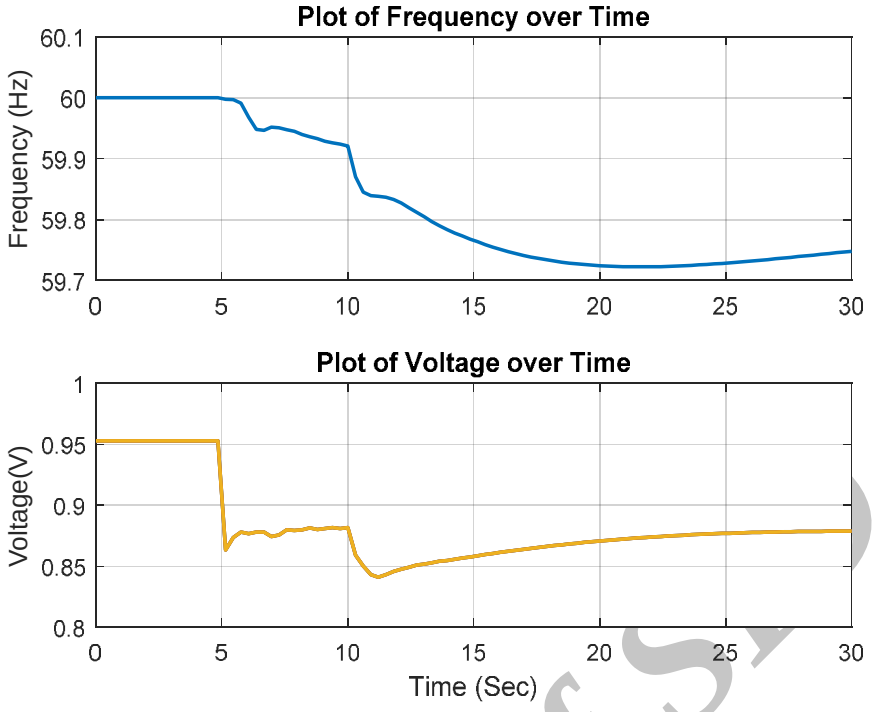
شکل 3: دیاگرام تک‌خطی سیستم قدرت IEEE New England 39 Bus

در شرایط کاری نرمال که هیچ اضافه‌باری در شبکه وجود ندارد، فرکانس سیستم همواره در مقدار نامی خود یعنی 60 Hz و ولتاژ در مقدار نامی خود برحسب پریونیت قرار دارد. همان‌گونه که بیان گردید یکی از اختلالاتی که هر شبکه قدرت با آن روبه‌رو است، تغییر بار می‌باشد. تغییر بار شبکه شامل تغییر بار اکتیو یا رآکتیو سیستم است. برای مثال در شرایط خروج خط انتقال، اضافه‌بار ناگهانی در سیستم خود را به‌صورت اضافه‌بار عبوری از خطوط انتقال نشان می‌دهد. خروج خطوط انتقال با قابلیت حمل توان زیاد در سیستم قدرت باعث می‌شود توان عبوری میان خطوط تقسیم گردد و این خطوط را دچار اضافه‌بار نموده و درنتیجه باعث قطع این خطوط به‌صورت زنجیره‌ای و در نهایت افت شدید فرکانس می‌شود. هم‌چنین، پایداری ولتاژ شبکه را دچار ضعف نموده و به سمت فروپاشی ولتاژ و در نهایت موجب از دست رفتن کل سیستم قدرت می‌گردد. به‌منظور بررسی اثر اضافه‌بار بر روی فرکانس و ولتاژ سیستم قدرت، اضافه بارهای $P_1 = 500MW, Q_1 = 484MVAR$ و $P_2 = 600MW, Q_2 = 584MVAR$ به‌ترتیب در زمان‌های $t = 5s$ و $t = 10s$ در سیستم قدرت اعمال می‌شود.

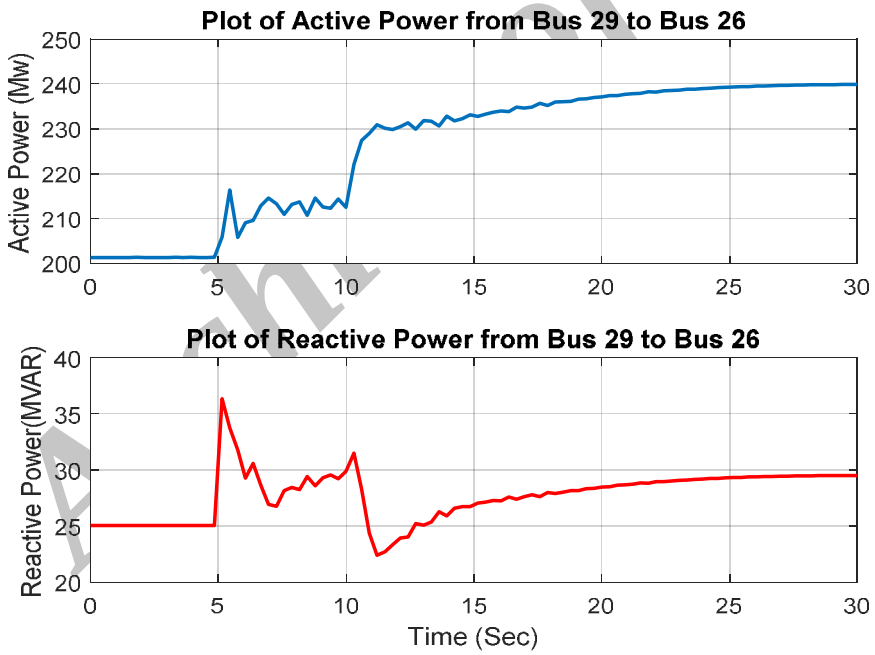
شکل 4 افت فرکانس و ولتاژ شبکه را ناشی از اضافه‌بار ناگهانی در سیستم قدرت نشان می‌دهد. هم‌چنین، شکل 5 تغییرات توان‌های اکتیو و رآکتیو انتقالی از باس 29 به باس 26 را در زمان اضافه‌بار ایجاد شده در شبکه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اضافه‌بار ایجاد شده در شبکه خود را به‌صورت افزایش توان عبوری از خطوط انتقال نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2: افت فرکانس و ولتاژ شبکه در حالت اضافه‌بار و بدون بارزدایی



شکل 3: تغییرات توان اکتیو و رآکتیو انتقالی از باس 29 به باس 26 در حالت بدون بارزدایی

6- 1- تعیین مقدار بارزدایی

در هر سیستم قدرت اینرسی کل موجود در سیستم نقش بسیار اساسی در میزان کاهش فرکانس سیستم دارد، هرچه این مقدار بیش‌تر باشد، افت فرکانسی سیستم و نرخ کاهش فرکانس کمتر خواهد بود. قبل از رخ دادن هرگونه اغتشاش در سیستم قدرت، سیستم متعادل است. این بدان معنی است که توان تولیدی کل سیستم P_G با توان مصرفی کل سیستم P_L بااحتساب تلفات برابر است و فرکانس در مقدار نامی خود می‌باشد. وقوع هرگونه اغتشاش در سیستم قدرت با دامنه ΔP باعث کاهش ظرفیت تولید شبکه به همان اندازه می‌شود.

www.SID.ir

این امر عامل به‌وجود آورنده افت فرکانس در سیستم قدرت می‌باشد که این امر در شبیه‌سازی‌های بالا نشان داده شد. برای به‌دست آوردن مقدار کل بارزدایی در سیست قدرت از رابطه مشهور زیر استفاده می‌شود.

$$LD = \frac{\frac{L}{1+L} - d(1-\frac{f}{f_0})}{1-d(1-\frac{f}{f_0})} \quad (26)$$

که در آن، LD میزان کل بارزدایی در سیستم قدرت و L میزان اضافه‌بار به وجود آمده در سیستم ناشی از اغتشاش بوده است.

L=(کل تولید باقی‌مانده/کل تولید از دست‌رفته) (27)

f_0 مقدار فرکانس نامی سیستم قدرت و f حداقل فرکانس مجاز حالت ماندگار سیستم است. d فاکتور کاهش بار است. انتخاب d وابسته به نوع اغتشاش و دامنه آن می‌باشد. اما مشکل اصلی در استفاده از این رابطه این است که مقدار بارزدایی تعیین شده با این روش بهینه نبوده و همیشه بیش از مقدار موردنیاز بار از شبکه جدا می‌شود. لذا، در این مقاله از روشی هوشمند برپایه شبکه عصبی برای تعیین مقدار بارزدایی بهینه استفاده می‌شود. شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله یک شبکه پرسپترون سه لایه با 3 ورودی و 1 خروجی می‌باشد. ورودی‌های شبکه کل توان اکتیو تولیدی، توان مصرفی و نرخ تغییرات فرکانس می‌باشد. خروجی شبکه عصبی کل مقدار بارزدایی در سیستم قدت تحت بررسی است. در این حالت سناریوهای خروج واحدها در شرایط مختلف در حالت آفلاین بررسی و اطلاعات لازم برای آموزش شبکه عصبی فراهم شده است. پایگاه داده‌ها برای آموزش شبکه عصبی به‌صورت جدول 2 است.

جدول 2: داده‌های آموزش شبکه عصبی

ردیف	$P_G(MW)$	$P_L(MW)$	$\frac{df}{dt}(Hz/s)$	$P_{sh}(MW)$
1	6140	6914	-1/2	635
2	6140	6729	-0/9	421
3	6140	6544	-0/7	185
4	6140	6359	-0/5	117
5	5959	7100	-1/7	1014
6	5959	6914	-1/5	782
7	5959	6729	-1/3	571
8	5959	6544	-1/0	332
9	5959	6359	-0/8	150
10	5959	6174	-0/5	78
11	5766	7100	-2/1	1200
12	5766	6914	-1/8	928
13	5766	6729	-1/6	721
14	5766	6544	-1/3	482
15	5766	6359	-1/1	300
16	5766	6174	-0/8	100
17	5574	6914	-2/2	1150

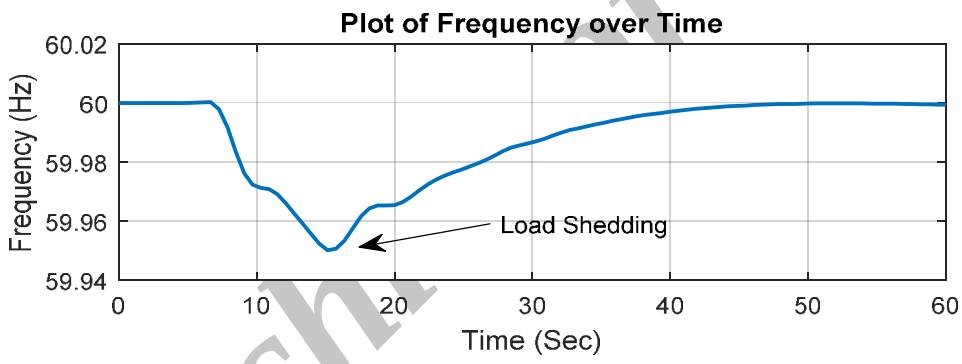
Archive of SID

www.SID.ir

18	5574	6729	-1/9	914
19	5574	6544	-1/6	700
20	5574	6359	-1/4	478
21	5574	6174	-1/2	289
22	5382	6729	-2/3	1121
23	5382	6544	-1/9	892
24	5382	6359	-1/6	653
25	5382	6174	-1/4	425

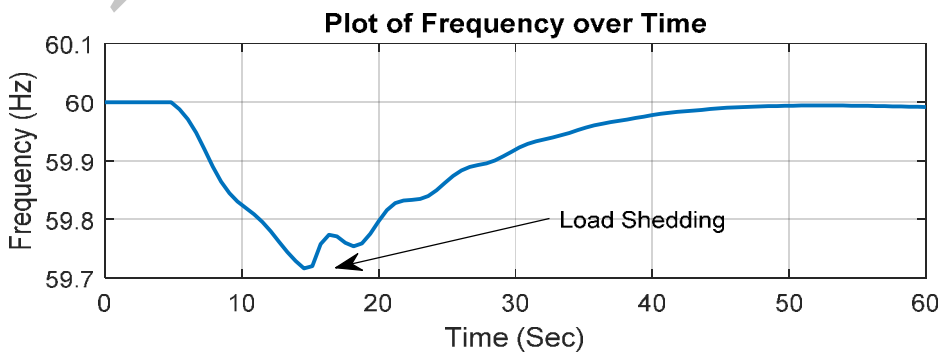
در شبکه عصبی با الگوریتم پس‌انتشار خطا از یک تابع انتشار غیرخطی برای آموزش شبکه با هدف تغییر وزن‌های بین لایه‌ها جهت حداقل کردن خطای خروجی استفاده می‌شود. در ادامه از شبکه عصبی ایجاد شده برای تخمین مقدار بار لازم جهت جداسازی از سیستم قدرت استفاده می‌شود. در واقع برتری این روش نسبت به روش‌های سنتی حداقل بودن بار جدا شده از شبکه است. شبیه‌سازی‌های زیر عملکرد شبکه عصبی در فرآیند بارزدایی را در حالت مختلف نشان می‌دهد.

اضافه‌بار	df/dt	مقدار بارزدایی با شبکه عصبی	مقدار بارزدایی با روش سنتی
$260MW$	-0.1	$281MW$	$298MW$



شکل 5: پاسخ فرکانس سیستم در حالت بارزدایی با استفاده از روش پیشنهادی

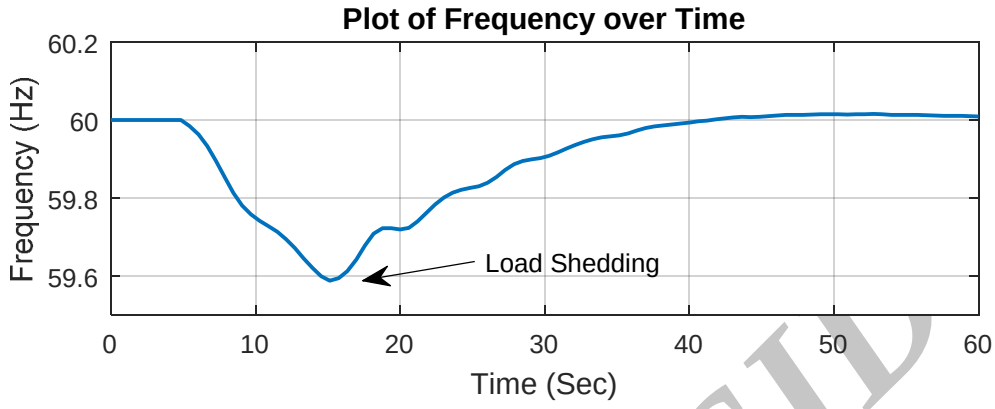
اضافه‌بار	df/dt	مقدار بارزدایی با شبکه عصبی	مقدار بارزدایی با روش سنتی
$1826MW$	-0.7	$1626MW$	$1710MW$



شکل 6: پاسخ فرکانس سیستم در حالت بارزدایی با استفاده از روش پیشنهادی

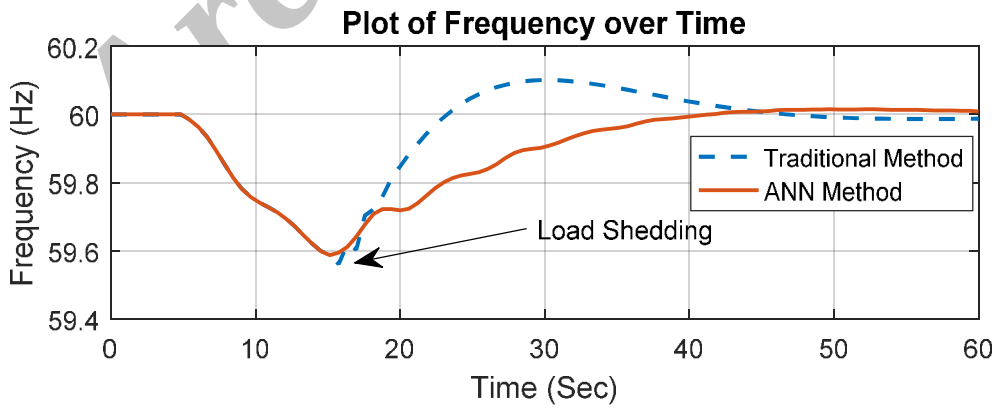
Archive of SID
www.SID.ir

اضافه‌بار	df/dt	مقدار بارزدایی با شبکه عصبی	مقدار بارزدایی با روش سنتی
$3130MW$	-1.2	$2598MW$	$2615MW$



شکل 7: پاسخ فرکانس سیستم در حالت بارزدایی با استفاده از روش پیشنهادی

باتوجه به شکل‌های فوق می‌توان مشاهده کرد عملکرد شبکه عصبی در مقایسه با روش‌های سنتی بسیار بهتر و کارآمدتر است. درنمودارهای فوق همان‌طور که ملاحظه می‌گردد پاسخ فرکانس سیستم بعد از عمل بارزدایی هیچ‌گونه فراجهشی ندارد که این نشان از بهینه بودن روش بارزدایی پیشنهادی است. در واقع وجود فراجهش در پاسخ فرکانس سیستم نشان از این دارد که مقدار بار جدا شده از شبکه بیش از مقدار موردنیاز است. اما، این مشکل در استفاده از شبکه عصبی به‌منظور تعیین مقدار بار موردنیاز جهت جداسازی از شبکه، وجود ندارد که شکل‌های 5 تا 7 به‌طور واضح گویای این موضوع هستند. به‌منظور مقایسه بهتر این دو روش، نمودار 8 پاسخ فرکانس سیستم قدرت را در حالت استفاده از روش سنتی و روش عصبی پیشنهادی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود روش شبکه عصبی در مقایسه با روش سنتی دارای هیچ فراجهشی نیست که این مهم‌ترین برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر است.



شکل 8: مقایسه پاسخ فرکانس شبکه با استفاده از روش پیشنهادی و روش سنتی

www.SID.ir

یکی از اقدامات مهمی که در شبکه قدرت باید لحاظ شود، اولویت‌بندی کردن بارها و مصرف‌کنندگان متصل به شبکه توزیع است. اولویت‌بندی بار باعث می‌شود اهمیت و ضرورت هر کدام از مصرف‌کنندگان مشخص گردد. با این کار می‌توان در مواقع اضطراری که نیاز است تعدادی از مصرف‌کنندگان از شبکه جدا شوند، ابتدا بارهایی با اولویت کمتر را از شبکه جدا نمود.

به‌منظور تعیین این‌که در ساعات مختلف شبانه روز کدام یک از بارها باید از شبکه جدا شوند، از شبکه عصبی استفاده می‌گردد. در این حالت برای هر کدام از بارهای متصل به شبکه (تجاری، خانگی، صنعتی و حیاتی) از یک شبکه عصبی جداگانه استفاده می‌گردد تا باتوجه به ساعت موردنظر اولویت هربار را به‌طور جداگانه تعیین نماید. برای مثال از انجایی که بارهای مهم و حیاتی نیاز است تا در طول شبانه روز همیشه متصل به شبکه باشند، لذا خروجی مربوط به شبکه عصبی مرتبط با بارهای مهم و حیاتی همواره بالاترین اولویت را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که این نوع از بارها همواره باید به شبکه متصل باشند. به عنوان مثال در چند ساعت مختلف در طول شبانه روز خروجی هریک از شبکه-های عصبی برای تعیین اولویت بارها به‌صورت جدول زیر است. در تفسیر خروجی‌های این جدول باید خاطرنشان کرد که، خروجی شبکه هر نوع باری که دارای بیش‌ترین تعداد 1 باشد دارای اولویت کمتری است و نسبت به سایر بارها زودتر از شبکه جدا می‌شود.

جدول 3: خروجی شبکه عصبی در تعیین اولویت بارها در ساعات مختلف

زمان (ساعت)	اولویت‌بندی			
	بارهای خانگی	بارهای تجاری	بارهای صنعتی	بارهای حیاتی
9 *AM*	1 0 0	1 1 1	1 1 0	0 0 0
14 *PM*	1 1 1	1 0 0	1 1 0	0 0 0
22 *PM*	1 0 0	1 1 0	1 1 1	0 0 0

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله بارزدایی سیستم‌های قدرت مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. ابتدا معایب روش‌های موجود بررسی و بیان گردید. در ادامه روشی هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی برای انجام فرآیند بارزدایی پیشنهاد و عملکرد آن طریق شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی شد. باتوجه به نتایج حاصل می‌توان دید که روش هوشمند در تعیین مقدار بارزدایی نسبت به روش‌های سنتی و تطبیقی موجود عملکرد بهتری دارد و مقدار بار موردنیاز جهت جدا شدن از شبکه را به‌طور بهینه تعیین می‌کند. در نهایت میز مساله اولویت‌بندی بارهای شبکه بااستفاده از شبکه عصبی مورد توجه قرار گرفت و اولویت هر یک از بارها باتوجه به ساعت مختلف شبانه‌روز از طریق شبکه عصبی تعیین گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] Ding, M., and Girgis, A.A. (2001). ***Optimal Load Shedding Strategy in Power Systems with Distributed Generation***, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting Conference

[2] Xiong, X.F., and Li, W.Y. (2006). ***A New Under Frequency Load Shedding Scheme Considering Load Frequency Characteristics***, Proceeding of 2006 International Conference on Power System Technology, pp. 1-4.

[3] Seyedi, H., and Sanaye-Pasand, M, (2009**)** ***New Centralised Adaptive Load Shedding Algorithm to Mitigate Power System Blackout,*** IET Generation, Transmission & Distribution 3 .(2009). pp. 99–114.

[4] Hsu, C, T., Kang, M, and Chen, C, (2000**)** ***Using Neural Network to Predict the Dynamic Frequency Response of a Power System to an Under Frequency Load Shedding Scenario,*** IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 1 .(2000). pp. 346–351.

[5] Mitchell, M., Lopes, J, and Fidalgo, J, (2000**)** [4] Mitchell, M., Lopes, J, and Fidalgo, J, (2000**)** ***Using Neural Network to Predict the Dynamic Frequency Response of a Power System to an Under Frequency Load Shedding Scenario,*** IEEE Pro. Generation, Transmission & Distribution 152. 2005.
, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 1 .(2000). pp. 346–351.

[6] Ying, H., and Shin-Fan, W, (2000**)** ***Multiobjective underfrequency load Shedding in an Autonomous System Using Heirarchical Genetic Algorithm,*** IEEE Transactions on Power Delivery, 25 .(2010). pp. 133–162.

[7] Thalassinakis, E., Dialynas, E, N, and Agoris, D, (2006**)** ***Method Combining ANNs and Monte Carlo Simulation for the Selection of the Load Shedding Protection Strategies in Autonomous Power System,*** IEEE Transactions on Power Delivery, 21 .(2006). pp. 253–268.

Archive of SID

www.SID.ir