#

#

اتوماسیون وتجدید پیکربندی پستها وشبکه توزیع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت کاهش تلفات

احمد غلامی، احد کاظمی، محمد فرخی، فرهاد متین
دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران
ایران

کلمات کلیدی: اتوماسیون،کنترل بلادرنگ،تجدید پیکربندی ،بهینه سازی،شبکه عصبی مصنوعی

#

چکیده :

در این مقاله بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع به روش تجدید آرایش فیدر توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه خواهد شد. پس از معرفی سیستم توزیع آزمون، تجدید آرایش فیدر با یک مثال عملی برای سیستم آزمون، معرفی شده است.سپس اهمیت محاسبات پخش بار در توزیع و معرفی چند روش جدید مخصوص پخش بار توزیع یک روش به طور مفصل بیان شده و نتایج اجرای برنامهٔ نوشته شده با آن بر روی سیستم آزمون ارائه شده است. در قسمت نهایی یک کاربرد شبکهٔ عصبی در تجدید آرایش فیدر به منظور بهینه‌سازی نشان داده شده و در نهایت بهترین شبکهٔ عصبی ممکن برای هر مرحله از سیستم هوشمند بهینه‌ساز با بهترین کارآیی و کمترین بعد، انتخاب و طراحی شده است.

۱) مقدمه:

قیمت انرژی هرساله رو به افزایش است و در مقابل، قیمت تجهیزات کنترل، ابزار دقیق و مخابرات کاهش می‌یابد و در هر کشوری با توجه به شرایط صنعتی و اقتصادی خاص آن کشور در نقطه‌ای از زمان انجام تحقیقات و اجرای پروژه‌های پیشرفته‌تر کنترل و بهینه‌سازی از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر می‌گردد. این زمان در واقع نقطهٔ تقاطع منحنی رو به تزاید انرژی و منحنی رو به تنزل بهای تجهیزات است.

پیاده‌سازی و اجرای اتوماسیون شبکه‌های توزیع در بسیاری از کشورهای جهان آغاز شده است. در کشور ما نیز در همین راستا وزارت نیرو اقدام به انجام پروژه‌های تحقیقاتی و اجرایی بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع نموده و امید است در آیندهٔ نزدیک اتوماسیون توزیع نیز مدنظر قرار گیرد.

۱-۱) بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع

از دو دیدگاه می‌توان بهینه‌سازی توزیع را مطرح ساخت:

۱-۱-۱) طراحی بهینه

در این دیدگاه، هدف طرح توپولوژی مناسب برای شبکه توزیع، جا یابی پستها و ترانسفورماتورهای توزیع و محاسبات مربوط به مقادیر نامی و حداکثر دستگاهها، ترانسفورماتورها، کلیدها، و لوازم اندازه‌گیری، کابلها و ادوات حفاظتی شبکه توزیع می‌باشد. در یک طرح بهینه، هدف این است که مقادیر طوری انتخاب شوند که عملکرد شبکه بهینه باشد. زمانی که محل پستها و شینه‌ها معلوم باشد با استفاده از روش تجدید آرایش فیدر می‌توان بهترین مسیر را برای خطوط یافت. روش تجدید آرایش در بعدی معرفی خواهد شد. در استفاده از روش تجدید آرایش فیدر بمنظور طراحی شبکه توزیع نیازی به وارد کردن قیود افت ولتاژ و حداکثر جریان و بار کابلها و لوازم شبکه نیست زیرا این مقادیر بعداً محاسبه می‌شوند و می‌توان از هادیها و دستگاههای با مقادیر نامی و حداکثر مناسبی بهره برد.

۱-۱-۲) بهره‌برداری بهینه

در بهره‌برداری بهینه، هدف اعمال تغییرات و انجام بهره‌برداری و مانور در شبکه توزیع ساخته شده است، بنحوی که بهره برداری بهینه باشد. تابع هدف اساسی که در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد تلفات اهمی و تعادل بار می‌باشد.بطور کلی کاهش جریان انتقالی خط می‌تواند برای نیل به این هدف راهگشا باشد. در بهره‌برداری بهینه، سه مؤلفه تجدید آرایش فیدر ، خازن‌گذاری بهینه و حفاظت بهینه مطرح است که مجال تشریح دو مورد اخیر در این مقاله نیست.

۱-۱-۲-۲) تجدید آرایش شبکه‌های توزیع

شبکه‌های توزیع معمولاً در دو دسته شبکه‌های شهری و روستایی قرار می‌گیرند. شبکه‌های شهری بصورت حلقوی و یا غربالی طراحی شده و بصورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند. شبکه‌های روستایی نیز بصورت شعاعی طراحی و بهره برداری می‌شوند. ولی کلیدهای سکسیونر نیز برای شرایط اضطراری در آنها قرار داده می‌شود. علت بهره‌برداری شبکه‌های توزیع بصورت شعاعی ساده‌تر شدن هماهنگی رله‌ها و حفاظت می‌باشد. در هر دو صورت بدلیل توپولوژی مش‌دار شبکه‌ها و ضرورت بهره‌برداری بصورت شعاعی، یک مسئله تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه کلیدهایی باید باز باشند تا شبکه شعاعی بماند. بوجود می‌آید. «عمل تغییر ساختار شبکه توسط باز و بسته کردن کلیدها، تجدید آرایش شبکه توزیع نامیده می‌شود». تجدید آرایش شبکه می‌تواند اهداف مختلفی داشته باشد، از جمله: کمینه‌سازی تلفات فیدرها ، ایجاد تعادل بار ، کمینه‌سازی بدترین افت ولتاژ ، کمینه‌سازی وسعت و دفعات وقفه‌های سرویس شبکه ، تعادل مناسبتر بار برای مصرف‌کنندگان مهم ، بازیابی شبکه، افزایش قابلیت اعتماد ، بهبود پروفیل ولتاژ و نیز قیود مختلفی می‌توانند برای مسئله تجدید آرایش شبکه در نظر گرفته شوند از جمله: شعاعی بودن شبکه، برقدار بودن تمام شینه‌ها ، افت ولتاژ و یا حفظ پهنای باند ولتاژ ، جریان و یا توان قابل تحمل هادیها و دستگاههای شبکه مثل ترانسفورماتورها و کلیدها.

مسئله تجدید آرایش شبکه بصورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی مدلسازی شده و به روشهای متعددی حل می‌شود. دو عامل اساسی، سرعت حل و نیل به بهینه مطلق بجای بهینه نسبی می‌باشد. تجدید آرایش فیدر علاوه بر بهره‌برداری می‌تواند در طراحی شبکه نیز برای انتخاب مسیر بهینه بکار برده شود. در پروژه جامع اتوماسیون توزیع باید سه مسئله خازن گذاری و کنترل آن، تجدید آرایش و حفاظت با هم اجرا شوند. طبق بسیاری از متون علمی مسئلهٔ تنظیم خازنها و تجدید

آرایش در شبکه‌های شعاعی از هم مجزاست ولی زمانیکه بهره‌برداری شبکه دارای تعدادی مش می‌گردد لازم است در چند تکرار این دو الگوریتم اجرا گردند تا پاسخ بهینه نهایی بدست آید.

۲) تجدید آرایش فیدر و شبکه های توزیع

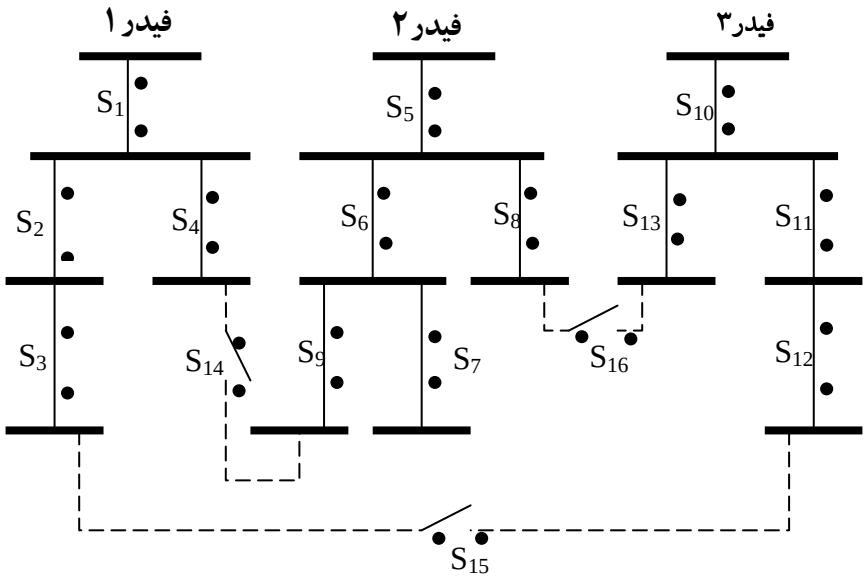
۲-۱) تعریف مسئله

شبکه توزیع بصورت حلقه ای طراحی می شود ولی در نهایت بصورت شعاعی بکار برده می شود. بطور کلی دو نوع حالت کلید وجود دارد . کلید بسته (NC) و باز (NO) که دو فیدر . دو پست یا دو شاخه حلقه را وصل می کنند.

سیستم سیوینلار می باشد که بیشتر پروژه های تجدید آرایش روی این سیستم بررسی شده است.

۲-۲) فرمولاسیون مسئله

این مسئله بهینه‌سازی نیازمند به دو قید اساسی نیز می‌باشد زیرا پاسخ بهینه بدست آمده باید در این دو شرط صدق کنند: یکی شرط ظرفیت جریان خطوط و دیگری شرط پروفیل ولتاژ یعنی اندازه ولتاژ تمام شینه‌ها از پهنای باند خاصی تجاوز ننماید. با توجه به آنچه بیان شد می‌توان مسئله را مدلسازی ریاضی نمود. بیان ریاضی مسئله بصورت زیر بیان می شود:



شکل (۱) سیستم توزیع نمونه

تغییر پیکربندی شبکه توزیع با استفاده از کلیدها را به اصطلاح تجدید آرایش می نامیم. آرایش نهایی باید بصورت شعاعی باشد و تابع هدف سیستم برقرار و تمام قیود شبکه رعایت شود. تابع هدف همان تلفات اهمی شبکه می باشد و قیود شبکه عبارتند از: اضافه جریان خطوط.پروفیل ولتاژ و معادلات پخش بار . سیستم توزیع نمونه مطابق شکل (۱) سیستم ۱۶ شینه معروف به

$$\mathrm{Min}_{gi}\sum_{i=1}^{L} r_i \cdot \frac{P_i^{\,2}+Q_i^{\,2}}{V_i^{\,2}}$$

$$V_i^{\,min} \le |V_j| \le V_j^{\,max}$$

$$I_{jk}^{\,min} \le |I_{jk}| \le I_{jk}^{\,max}$$

$$f(x, g_i) = 0$$

که:

توان حقیقی و موهومی عبوری ازخط قطعه خط $P_i,Q_i:i$

ولتاژ و مقاومت اهمی دو سر قطعه خط i: V_{j,r_i}

تعداد قطعه خطهای شبکه: L

جریان عبوری از قطعه خط بین دو شینه: $I_{j:k,j}$

بردار متغیرهای معادلات پخش بار: x

بردار متغیرهای وضعیت کلیدها: g_i

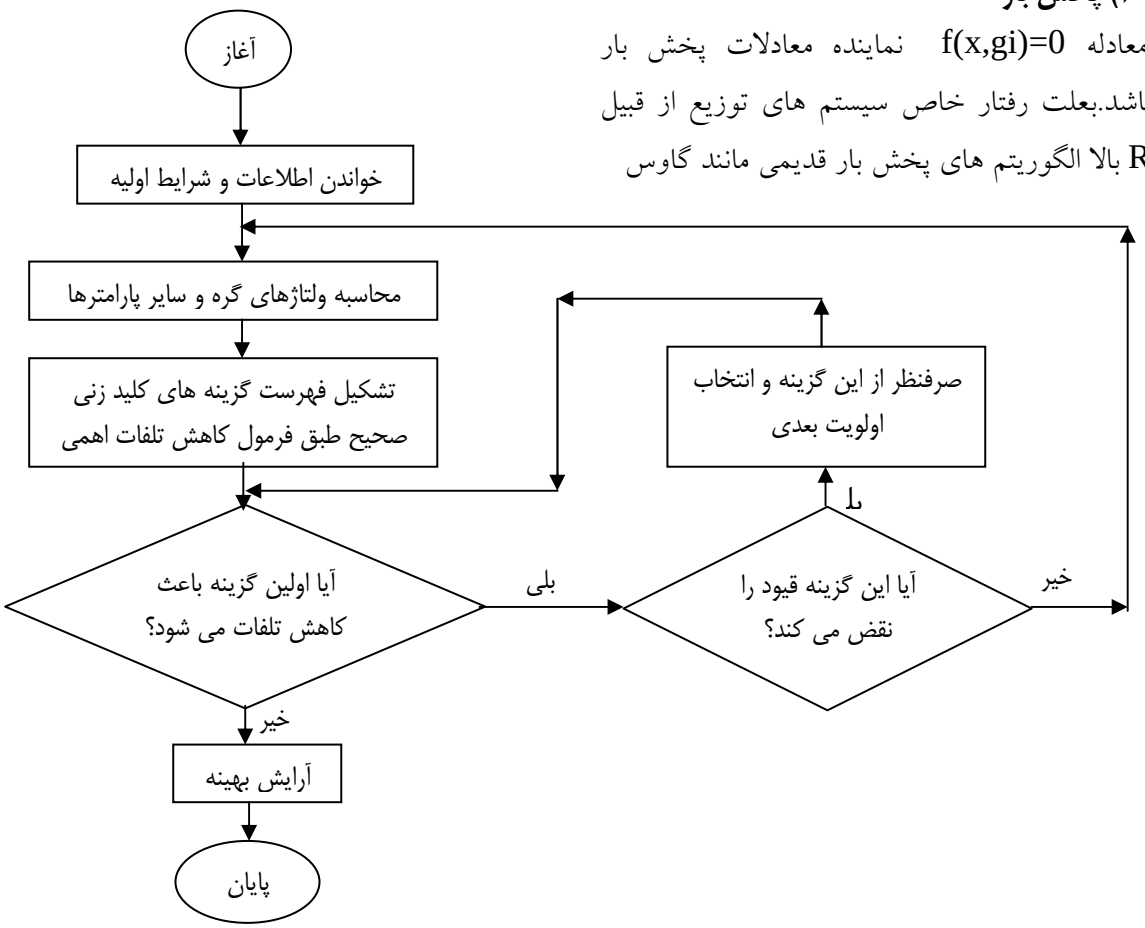
در این نمایش معادله اول تابع هدف و معادلات دوم و سوم بترتیب قیود پهنای باند ولتاژ و ظرفیت تحمل جریان می‌باشند و معادله آخر نماینده معادلات پخش بار می‌باشد. بدیهی است ارضای قید پهنای باند ولتاژ ارضای قید حد افت ولتاژ را بدنبال دارد و این دو قید عملاً یکی هستند. می‌توان در قید سوم ظرفیت تحمل جریان ترانسفورماتورها، کلیدها و نیز سایر دستگاهها و عناصر سیستم قدرت را نیز دخیل نمود.

۲-۳) پخش بار

معادله $f(x,g_i)=0$ نماینده معادلات پخش بار می باشد.بعلت رفتار خاص سیستم های توزیع از قبیل R/X بالا الگوریتم های پخش بار قدیمی مانند گاوس سایدل و نیوتون رافسون مناسب نمی باشند. بنابراین از روش خاصی بنام جبران سازی جاروب پسرو ـ پیشرو (CBFS) که به روش دکتر شیر محمدی [۴] نیز معروف می باشد.استفاده می کنیم.

۲-۴) روش جابجایی کلید

در مقاله [۷] بطور کامل روش کلید گشایی ترتیبی (SSOM) و روش جابجایی کلید (SEM) با هم مقایسه شده اند . نتیجه اینکه روش کلید گشایی ترتیبی مستقل از آرایش اولیه شبکه توزیع می باشد در صورتیکه روش جابجایی کلید وابسته به آرایش اولیه شبکه توزیع می باشد ولی سریعتر است. در این مقاله ما از روش جابجایی کلید استفاده کرده ایم. شکل (۲) الگوریتم روش جابجایی کلید را نشان می دهد.



شکل (۲) فلوچارت روش جابجایی کلید

۲-۴-۱) الگوریتم روش جابجایی کلید

ابتدا اطلاعات اولیه شبکه و داده‌های اصلی شامل توان‌های اکتیو بار، مقاومت‌ها، اندوکتانس‌ها و همچنین نوع آرایش اولیه و ... به صورت داده‌های مسئله وارد می‌شود. پس از انجام پخش بار AC برروی شبکه توزیع می‌باشد و توسط آن تلفات کل محاسبه می‌شود. پس از انجام پخش باریک جدول شامل تمامی انتخاب‌های قابل قبول براساس فرمول تغییر تلفات که قبلاً درباره آن بحث شد تشکیل می‌گردد. اولین ردیف جدول بصورت صعودی از بالابه پایین براساس ΔP های بدست آمده مرتب می‌گردد. اولین ردیف جدول که معرف بالاترین نرخ کاهش تلفات است به عنوان بهترین کلید زنی در این مرحله از الگوریتم انتخاب می‌شود. اگر ΔP منفی باشد یعنی کاهش تلفات داریم و هر چقدر قدرمطلق ΔP بزرگتر باشد کاهش تلفات بیشتر خواهد بود. بعد از انتخاب کلیدهای باز و بسته در این مرحله، شبکه یک توپولوژی جدید به خود می‌گیرد و عملیات پخش بار دوباره انجام می‌شود. در این مرحله از پخش بار تمامی قیود شبکه از قبیل جریان‌های خطوط، ولتاژهای گره‌ها، ظرفیت ترانس‌ها و ... آزمایش شده و در صورت نقض نشدن این قیدها عمل کلیدزنی قبلی مورد تأیید قرار می‌گیرد. تعویض کلیدها تا زمانی که ΔP همه ستون‌های جدول مثبت نشوند ادامه می‌یابد. نتایج الگوریتم و ترکیب ها و توپولوژیهای بهینه ممکن در جدول (۱) آمده است.

۳)تجدید آرایش شبکه‌های توزیع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی قادر است جواب قابل قبولی را برای مسئلهٔ کمینه سازی مورد نظر بدست آورد. در اینجا با نگرش به شبکه‌های عصبی مصنوعی سعی و تلاش موفقی در حل مسئلهٔ بهینه‌سازی تلفات با تجدید آرایش شبکه بعمل آمده است. برخلاف کاربرد بهینه‌سازی، کابرد شناسایی الگوی شبکه‌های عصبی روز بروز توسعه یافته و روشهای متعددی

در زمینهٔ شناسایی الگو توسط شبکه‌های عصبی با یادگیری‌های با سرپرستی و بدون سرپرستی ابداع و پیاده‌سازی شد.کافیست شبکه یا شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی نماییم و آنان را طوری آموزش بدهیم که قادر باشد بر مبنای اطلاعات، تجربه و خبرگی حاصل از مجموعهٔ آموزشی شبکه در مرحلهٔ آموزشی به آن اعمال شده به ازای مجموعهٔ ورودی که حاوی شرایط جدید حاکم بر مسئله است خروجی مناسب را

که توپولوژی بهینهٔ شبکهٔ توزیعمی‌باشد بدهد. در واقع این سیستم کار یک سیستم خبره با عملکرد تصمیم‌گیری بهینه را انجام می‌دهد

جدول(۱) حالات کلید ها در توپولوژیهای مختلف

Topology	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۲	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱
۴	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱
۸	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰

۳-۱) محاسبهٔ بار نواحی

برای این منظور کل شبکه توزیع تحت مطالعه به z ناحیه تفکیک شده و بار هر ناحیه از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$ZP_i = P_i + \sum_{j=1}^{N} P_{ij}$$

$$ZQ_i = Q_i + \sum_{j=1}^{N} Q_{ij}$$

Qi, Pi: شارش توان خط در ناحیه i از سمت منبع

ZQi,ZPi: بار ناحیه i

Qij,Pij: شارتوان خط j که از طریق ناحیه i تغذیه می‌شود.

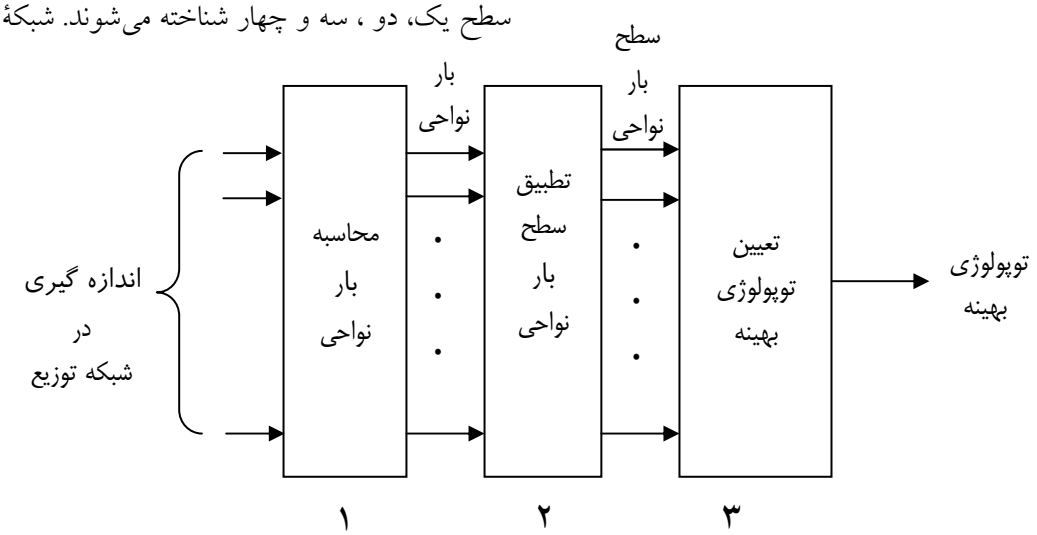
N: تعداد قطعه خطهایی که توسط ناحیه i تغذیه می‌شوند.

Z: تعداد کل نواحی

بدینترتیب در بلوک اول شکل (۳) بار نواحی محاسبه می‌شوند. در واقع بار هر ناحیه معیاری است که نشان دهندهٔ توان أکتیو و رأکتیو تزریق شده و یا جذب شده در آن ناحیه است. این بلوک در حقیقت یک نرم‌افزار محاسباتی ساده می‌باشد که می‌تواند روی یک کامپیوتر همه منظوره پیاده شود.

۳-۲) تخمین سطح بار نواحی

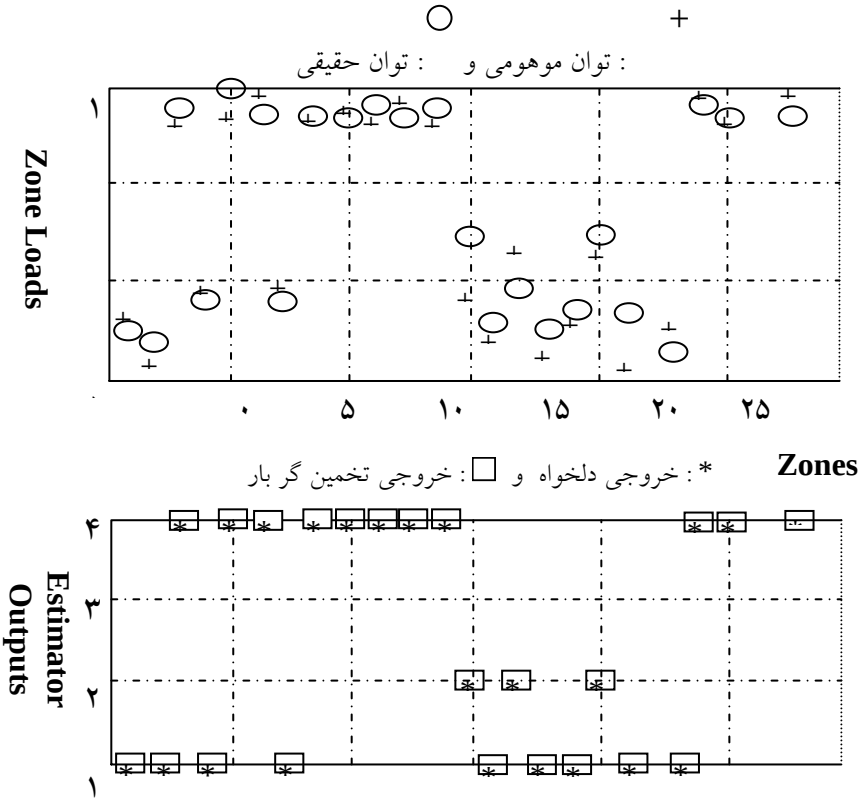
پس از محاسبهٔ بار نواحی، نتیجه محاسبه به بلوک دوم شکل (۳) داده می‌شود تا سطح بار آن ناحیه تخیمن زده شود. برای هر ناحیه اینکار توسط یک شبکه عصبی مصنوعی انجام می‌شود. ورودی این شبکه عصبی بار حقیقی و ظاهری آن ناحیه می‌باشد و خروجی آن مبین سطح بار ناحیه است. برای تصمیم‌گیری در مورد سطوح بار، یک مطالعهٔ آنالیز حساسیت انجام گرفته است. در این مطالعه اثر تغییرات سطح بار روی توپولوژی بهینه شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته و هدف این بوده که یک بازهٔ مناسب برای اندازه هر سطح بار بدست آید بطوریکه در داخل هر بار بدست آید بطوریکه در داخل هر بازه توپولوژی بهینه سیستم توزیع یکسان و لایتغیر باشد. نتیجه آنکه در بارهای نزدیکتر به سطح بار تقاضای پیک ناحیه تغییرات بار تعیین کننده‌تر است یعنی نتیجه بهینه سازی شبکه بکمک تجدیدآرایش فیدرها در بارهای نزدیکتر به بار پیک ناحیه نسبت به تغییرات بار حساستر است. برای انجام اینکار بازای تغییرات بار نواحی توپولوژی بهینه محاسبه شده و با توجه به نتیجهٔ حاصل از این بررسی فاصلهٔ سطوح بدینترتیب تعیین شده: ۴۰درصد، ۶۵درصد، ۸۵درصد و ۱۰۰درصد که با نامهای سطح یک، دو ، سه و چهار شناخته می‌شوند. شبکهٔ عصبی



شکل(۳) بلوک دیاگرام سیستم بهینه ساز سه مرحله ای

مصنوعی نیز میزان شباهت الگوی ورودی را با الگوهای آموزش داده شده از قبل اندازه گرفته شبیه‌ترین پاسخ را بعنوان خروجی آشکار می‌سازد. حتی اگر الگوی ورودی قبلاً به شبکه داده نشده باشد شبکهٔ بشرط آموزش خوب، قادر خواهد بود، اطلاعات آموخته شده را بشکل معرفت کلی تعمیم داده. خروجی صحیح و معقولی را بازای ورودی جدید ظاهر نماید. در نتیجه می‌توان گفت شبکهٔ عصبی یک تخمین‌گرحداکثرشباهت میباشد.رجوع به شکل(۴)

بار نواحی و برمبنای مجموعهٔ آموزشی که به آن یاد داده شده است بدست آمده است. می توان به تعداد کلیدهای شبکه .خروجی قرارداد که وضعیت یک خروجی، کلید بسته و وضعیت صفر آن کلید باز را ایجاد نماید. اما مسئله در اینجاست که تعداد کلیدها در یک شبکه نسبتاً زیاد است و انتخاب این استراتژی منجر به سیستم بسیار بزرگی می‌شود که ضرورتی ندارد و بنابراین این مسئله را به روش ساده‌تر و بهتری حل



شکل (۴) بارهای هر منطقه و خروجی تخمین گر بار

۳-۳) محاسبه توپولوژی بهینه با استفاده ازسطح بار نواحی

در بلوک سوم شکل(۳) بلوک دیاگرام سیستمی که توپولوژی بهینهٔ سیستم را کنترل می‌کند ملاحظه می‌گردد. در این شکل ورودیها، سطح بار نواحی ۱ تا Z و خروجی نشان دهندهٔ توپولوژی بهینه سیستم می‌باشد که از سطوح

می کنیم به این صورت که شماره توپولوژی را بعنوان خروجی شبکه عصبی مصنوعی فرض می کنیم.

بررسی و مطالعه روی بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع بروش تجدید آرایش فیدر با کلیدزنی نشان می‌دهد که معمولاً تعداد نسبتاً اندک و یکتایی توپولوژی بهینه وجود دارند که به مقتضای تغییر بار نواحی، توپولوژی بهینه

شبکه یکی از توپولوژیهای یکتا خواهد بود. این توپولوژیهای یکتا معمولاً با عملکرد تعدادی از کلیدها که به کلیدهای بحرانی مشهورند. به یکدیگر تبدیل می‌شوند و می‌توان با بررسی حالت گذرای تبدیل توپولوژیهای بهینه به یکدیگر کلیدهای بحرانی را شناسایی نمود. در واقع می‌توان گفت که کلیدهای بحرانی، کلیدهایی هستند که در مسیرهای اتصال دهندهٔ شاخه‌های اصلی به یکدیگر می‌باشند و بندرت روی یک شاخه اصلی یک کلید بحرانی قرار داده می‌شود. مزیت شناسایی کلیدهای بحرانی شبکه در اینجاست که می‌توان آنان را از نوع کنترل از راه دور درمحل دیسپاچینگ یا مرکز مرکزکنترل متمرکز شبکه توزیع نصب نمود تا عملیات کنترل شبکه سریعتر انجام گردد.

۴) شبیه سازی و نتایج عددی

۴-۱) آموزش شبکه عصبی محاسب توپولوژی بهینه برای آنکه شبکه عصبی بنحوی آموزش داده شود که با استفاده از ورودی‌های خود که سطح بار نواحی مختلف شبکه می‌باشد (برمبنای معرفت کسب شده از مجموعهٔ آموزشی) توپولوژی بهینه سیستم توزیع را شناسایی نماید لازم است که مجموعه‌ای از الگوهای ورودی / خروجی به آن آموزش داده شود، یعنی آموزش با سرپرستی انجام گیرد.

در این مجموعه ورودیها سطح بار نواحی شبکه می‌باشند که آنها نیز خروجی شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین‌گرسطح بار هستند و خروجی‌ها توپولوژی بهینه ما به ازای این ورودیها می‌باشند. لذا باید برنامه‌ای اجرا شود که طی آن مسئله بهینه‌سازی به روش تجدید آرایش با کلیدزنی برای سطوح بار مختلف حل گردد. بنابراین اگر L سطح بار و z ناحیه داشته باشیم مجوعه آموزشی شبکه عصبی باید L^z سطر داشته باشد مثلاً در مورد سیستم توزیع کوچک استاندارد مورد مطالعه این پروژه که $L=4$ و $z=13$ می‌باشد باید $4^{13}=67864108$ حالت که عددی است هشت رقمی بررسی شده و به شبکه آموزش داده شود که بدیهی است با توجه به زمانی که برای حل مسئله بهینه‌سازی با سریعترین برنامه‌های موجود لازم است و نیز زمان بسیار طولانی آموزش شبکه امری ناممکن می‌باشد.

خوشبختانه توجه به ویژگیهای الگوی بار شبکه‌های توزیع می‌تواند باعث کوچکتر شدن مجموعه گردد. همانگونه که می‌دانید الگوی پروفیل بار شبانه‌روزی در شبکه‌های توزیع در سه دسته مهم و اصلی قرار می‌گیرد که عبارتند از بار مسکونی. تجاری و صنعتی. نتیجه آنکه می‌توان بجای آنکه 4^{13} حالت را بررس کرد همه نواحی را در سه گروه خانگی، تجاری و صنعتی قرار داد. بدین ترتیب کافیست $4^3=64$ حالت را در هر یک از آنان هر یک از سه گروه یکی از چهار سطح بار را اختیار می‌نماید به شبکه عصبی آموزش داد. حال اگر یکی از چند تا از نواحی سطح باری غیر از سطح بار گروه خود را داشت یعنی برای مدتی نوع بارش عوض شد یا مخلوطی بود از دو نوع بار مثلاً تجاری و مسکونی که معمولاً این احتمال خیلی زیاد نیست شبکه عصبی مصنوعی آموزش یافته از توانایی تعمیم و برونیابی خود بهره برده و صحیح‌ترین، شبیه‌ترین و نزدیک‌ترین توپولوژی را به توپولوژی بهینه ارائه می‌دهد. این مهمترین و جالبترین خصوصیت یک شبکه عصبی است که باعث می شود برای منظور ما کاملاً مناسب باشد. علت اینکه گفته شد احتمال تغییر نوع بار یا در واقع تجاوز یک ناحیه از نوع بار گروهی که به آن متعلق است زیاد نیست این است که تشخیص نوع بار هر ناحیه و تقسیم آنها به سه گروه خانگی، تجاری و صنعتی براساس آمارگیری‌ها، مطالعات و بررسی‌های ثبت بار و پیش‌بینی بار دقیق و مفصل و مقایسه منحنی‌های پروفیل بار آنان انجام پذیرفته و تغییر کاربری یک یا چند مصرف کننده یا

تخلف آنان از موازین عرفی معمول در هر یک از سه گروه نمی‌تواند اثر چندانی روی کل بار ناحیه که متشکل از تعداد زیادی مصرف کننده است داشته باشد علی‌الخصوص که در بدترین حالت ۱۵ درصد و در بهترین حالت ۴۰ درصد حاشیه اطمینان برای این تغییر وجود دارد. بنابراین همانگونه که گفته شد بفرض که این اتفاق با احتمال خیلی کمش بیفتد و سطح بار یک یا چند ناحیه از سطح بار گروهی که به آن تعلق دارد تجاوز نماید شبکه عصبی با این موضوع بمثابه نویز ورودی رفتار می‌نماید و با استفاده از تعمیم آموخته‌ها و معرفت کلی حاصل از داده‌های مجموعه آموزش که یک ابر رویه را در فضای ورودی / خروجی ایجاد نموده خروجی معقولی را که شبیه‌ترین توپولوژی به توپولوژی بهینه است در خروجی خود آشکار می‌سازد.

۴-۱-۱) ایجاد مجموعه آموزش

گفته شد که برای ایجاد مجموعه آموزش شبکه عصبی مصنوعی باید ۶۴ زوج ورودی / خروجی محاسبه گردد یعنی برای ۶۴ مجموعه بارهای مختلف نواحی باید مسئله بهینه‌سازی حل گردد و توپولوژی بهینه پیدا شود. همانگونه که پیشتر نیز بیان شده این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی آمیخته عدد صحیح است که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری، وضعیت روشن و خاموش کلیدهای شبکه می‌باشد.

پس از بررسی نتایج مطابق جدول(۱) مشاهده شده که علیرغم تعداد زیاد انواع سطوح بار فقط هشت توپولوژی بهینه وجود دارد یعنی بسیاری از سطوح بار متفاوت توپولوژی بهینه یکسانی را طلب می‌نمایند و دیگر آنکه برای تبدیل این توپولوژی‌ها بیگدیگر عملکرد نه کلید از ۱۶ کلید شبکه کفایت می‌کند و وضعیت هفت کلید دیگر ثابت است. فقط کلیدهای S_3 و S_4 و S_8 و S_9 و S_{12} و S_{13} و S_{14} و S_{15} و S_{16} برای تبدیل توپولوژیها بهم تغییر وضعیت می‌دهند. این کلیدها، کلیدهای بحرانی شبکه هستند و در یک سیستم توزیع اتوماتیک که قرار است تجدید آرایش فیدرها بصورت بلادرنگ انجام گیرد، لازم است این کلیدها از نوع کنترل از راه دور باشند تا بتوان ازمرکز کنترل متمرکز شبکه توزیع بسرعت آنان را قطع و وصل نمود.

شبکه عصبی محاسب توپولوژی بهینه بصورت پرسپترون چند لایه (MLP) با روش آموزش دلتا بار- دلتا انتخاب و طراحی شده است [۹]. شبکه با ۲۵۹۴ تکرار آموزش داده شده و با خطای آموزش 10^{-2} همگرایی پیدا می کند. بدلیل اینکه در سیستم توزیع آزمون مورد مطالعه ۱۳ ناحیه تخصیص داده شده دارای یک لایه ورودی با ۱۳ نرون می‌باشد. برای انجام اینکار می‌توان هشت شبکه عصبی مصنوعی با تک نرون خروجی سیگموئید طراحی کرده آموزش داد.

پیرو بحثهای ارائه شده نتیجه گرفته می‌شود که شبکه چهار لایه‌ای با مشخصاتی که گفته شد مناسبترین انتخاب برای انجام نگاشت از فضای سطوح بار به فضای توپولوژی‌های بهینه می‌باشد.

پس از مقایسه نتایج این شبکه بعنوان شبکه بهینه انتخاب شده است:

لایه ورودی یا اول :	۱۳ واحد ورودی
لایه دوم:	۱۱ نرون سیگموئید
لایه سوم:	۸ نرون سیگموئید
لایه خروجی یا چهارم:	۱ نرون خطی

۴-۱-۲) مثال عددی واقعی برای سنجش کارآیی سیستم

سطح بار ناحیه‌ها برای دو سری بعنوان دو نمونه به شبکه عصبی تعیین کنندهٔ توپولوژی بهینه داده می‌شود و خروجی شبکه برای هر دو سری سنجش مشاهده می‌گردد.

سری اول داده‌ها متعلق به ساعت ۱۶ می‌باشد. در این ساعت بارهای مسکونی در حد کم و بارهای تجاری و صنعتی در حدود پیک می‌باشند. سری دوم نیز مربوط به ساعت ۲۳ می‌باشد. در این ساعت بار مسکونی در حد متوسط، بار تجاری کم و بار صنعتی بدلیل ویژگی منطقه حدود پیک است. جدول(۲) خلاصه نتایج را برای هر دو نمونه از داده‌ها نشان می‌دهد. مقادیر داده شده در این جدول در حالت آزمایش شبکه های عصبی بدست آمده اند.بعبارت دیگر در این حالت ها، آموزش شبکه بطور کامل قطع شده و هیچگونه تغییری در پارامترهای شبکه صورت نمی گیرد و داده های جدیدی ، که شبکه قبلا آنها را آموزش ندیده است ، به شبکه اعمال می شود.

ملاحظه می‌گردد که در سری اول حدود ۲/۵ درصد و در سری دوم حدود ۳/۲۲ درصد تلفات کاسته شده است که این مقادیر با توجه به هزینه‌های هنگفت ثابت و متغیر تولید انرژی الکتریکی در مقیاس کلان قابل توجه می‌باشد. هرچه شبکه توزیع گستره و پرمش‌تر باشد و پروفیل‌های بار متنوع‌تری داشته باشد کاهش تلفات نیز بیشتر خواهد بود. این کاهش در برخی از شبکه‌های توزیع به ۱۵ درصد می‌رسد. قابل توجه اینکه در صورت پیاده‌سازی شبکه‌های عصبی، زمان لازم برای بهینه‌سازی در حد تأخیر انتشار شبکه‌های عصبی مصنوعی (که بسیار ناچیز است) می‌باشد و این ویژگی بسیار مهم و منحصر بفرد روش پیشنهادی این پایان‌نامه است که زمان بهینه‌سازی توسط شبکه عصبی بسیار کمتر از روشهای ریاضی معمول مانند SEM یا روشهای مکاشفه ای و یا تصادفی می‌باشد.حتی زمان محاسبه توپولوژی بهینه در این روشها برای سیستم های توزیع بزرگتر بدتر از اعداد جدول(۲) خواهد بود در صورتیکه زمان محاسبه توپولوژی توسط شبکه عصبی تقریبا ثابت بوده و بستگی به ابعاد سیستم توزیع ندارد.

جدول(۲) نتایج نهایی بهینه سازی

داده ها	بهترین آرایش بدست آمده از پخش بار و روش SEM	بهترین آرایش بدست آمده از خروجی شبکه عصبی	سرعت محاسبه روش SEM (second)	سرعت محاسبه شبکه عصبی (second)	درصد کاهش تلفات
سری اول	۵	۴/۹۹۴۲	۵۵	۰/۷۵	۲/۵
سری دوم	۳	۲/۹۹۲۴	۴۷	۰/۵۳	۳/۲۲

۵) نتیجه گیری

در حل مسئله بهینه‌سازی تلفات و تعادل بار بکمک تجدید آرایش شبکه دو عامل مهم است: دقت محاسبه و زمان محاسبه. منظور از دقت محاسبه اختلاف بین پاسخ بدست آمده و پاسخ بهینه مطلق می‌باشد. بعبارت دیگر میزان نزدیک شدن حل به کمینه مطلق. از نظر زمان نیز مدت زمان محاسبه خصوصاً در سیستم های بلادرنگ که در بسیاری از کشورها مورد نظر است اهمیت دارد.

روش ارائه شده توسط شبکه عصبی از نظر دقت کاملاً انعطاف‌پذیر است. به این معنی که با دقت بسیار خوبی در حدود 10^{-3} می‌تواند هر آنچه به آن آموخته شود را یاد بگیرد و تعمیم بدهد. بنابراین این روش بستگی دارد به دقت نرم افزار سازنده مجموعه آموزشی آن که می‌توان خیلی خوب باشد واین روش از نظر سرعت نسبت به روشهای مشابه بسیار بهتر می باشد.

۴) مراجع

[1]W. M. Lin,H. C. Chin,"A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration,"IEEE Transaction on Power Delivery,Vol.13,No.3,July 1998

[2]J. Jerome,"Distribution Reconfiguration and Reactive Power Compensation,"IEEE Conference on Power Systems,2001

"Distribution Feeder Reconfiguration for [3] Civinlar, S., Grainer, J.I., Yin, H., Lee, S. S. H., IEEE Transaction on Power Delivery,Vol Loss Reduction, "3,No.3,July 1988

[4] Shirmohammadi, D., Hong, H. W., Semlen, A., Luo, G. X., "Reconfiguration of Electric Distribution Network for Resistive Line Losses Reduction," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.4, No.2,April 1989

Improved Method for Loss Minimization in [5] Borozan, V., Rajicic, D., "Distribution Ackovski, R., IEEE Transaction on Power Network, "Systems,Vol.10,No.3,Aug 1995

"Distribution Network Reconfiguration [6] Peponis, G. J., Papadopoulos, M. P., Hatziargyriou, N. D., IEEE Transaction on to "PWRD,Vol.10,No.3,July 1995,1338-1342 Minimize Resistive Line Losses, "Distribution System Reconfiguration for Loss [7] Sarfi, R. J., Salama, M. M. A., Chikhani, A. Y., Reduction: An Algorithm Based on Network Partitioning Theory," IEEE Transaction on Power Systems,Vol.11,No.1,Feb1996

"Multi-Objective Feeder Reconfiguration by [8] Roytelman, I., Meliink, V., Lee S. S. H., Lugtu, R. L.,IEEE Transaction on Power "Systems, Vol.11,No.2,May 1996 Distribution Management System,

[9] S. Haykin,"Neural Networks,A Comprehensive Foundation,"Prentice-Hall,1999.