

کاهش تلفات شبکه برق، با نصب خازن‌های جایابی شده توسط الگوریتم چند هدفی ایمنی اصلاح شده

پگاه ارسلانی^۱، مصطفی صدیقی زاده^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق گروه قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

^۲استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین

چکیده

یکی از کارهای اصلی در مبحث انرژی، استفاده از روش‌های مناسب برای به حداقل رساندن تلفات می‌باشد. جبران توان راکتیو در محل بار علاوه بر کاهش تلفات اکتیو و راکتیو، موجب آزادسازی ظرفیت ژنراتور و خطوط می‌شود و لذا امکان تغذیه بار بیشتری در شبکه فراهم شده و نیاز به توسعه شبکه را به تاخیر می‌اندازد. این امر به نوبه خود موجب صرفه جویی اقتصادی خواهد شد. یکی از روش‌های ارزان و رایج به منظور تزریق توان راکتیو، نصب خازن‌های موازی می‌باشد. از آنجایی که نصب خازن در تمام باس-ها توجیه اقتصادی ندارد، در تلاش هستیم با نصب حداقل خازن در نقاط بهینه، به اهداف فوق برسیم. در این مقاله، الگوریتم هوشمند ایمنی اصلاح شده، برای جایابی بهینه خازن در شبکه‌های برق ارائه می‌شود. این روش پاسخ‌های با مطلوبیت کم و یا تکراری را حذف نموده و در عوض پاسخ‌های با مطلوبیت بالا را در حین اجرای برنامه حفظ می‌کند. همچنین با ارائه یک راهکار قابلیت اطمینان پاسخ‌ها را افزایش می‌دهد. برای در نظر گرفتن جنبه اقتصادی، با اعمال ضریب هزینه، پاسخ‌ها را از نظر اقتصادی نیز کنترل می‌کنیم. این روش بر روی یک شبکه ساده پیاده سازی شده و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است.

واژه های کلیدی

الگوریتم ایمنی - توان راکتیو- جایابی خازن- کاهش تلفات.

۱- مقدمه

یکی از مسائل اساسی سیستم های برق، تامین توان راکتیو مورد نیاز شبکه می باشد. با تولید توان راکتیو در محل نیاز، می توان بخش قابل توجهی از تلفات سیستم را کاهش داد. رایج ترین روش برای این منظور، نصب خازن در نقاط مختلفی از شبکه می باشد. نصب خازن علاوه بر کاهش تلفات موجب بهبود پروفیل ولتاژ و همچنین آزادسازی بخشی از ظرفیت ژنراتور می شود؛ در نتیجه، ژنراتورها قادر خواهند بود توان حقیقی بیشتری تولید نمایند. توجه به این نکته ضروری است که نصب خازن در مکان و یا ظرفیت نامناسب ممکن است موجب شود، در ساعاتی از روز با ولتاژ بالاتر از حد مجاز

روبرو شویم، لذا باید در هنگام طراحی، ولتاژ باس ها پیش بینی شود. این کار با استفاده از پخش بار انجام می شود. همچنین به کمک پخش بار می توانیم میزان تلفات شبکه را پیش بینی نماییم.

امروزه استفاده از الگوریتم های هوشمند در طراحی ظرفیت و محل خازن، به عنوان یک روش مفید و کارا معرفی می شوند. این الگوریتم ها با الهام از طبیعت می توانند در مدت زمان به نسبت کوتاه و با حداقل محاسبات، پاسخ های بسیار مفیدی ارائه نمایند. از جمله این الگوریتم ها می توان به الگوریتم های ژنتیک، فازی، کلونی مورچگان، جستجوی تابو، آنیل کردن، اجتماع پرندگان و ایمنی اشاره کرد. هر کدام از این الگوریتم ها مزیت برجسته ای دارند. با ترکیب الگوریتم های فوق، می توان از مزایای آن ها در کنار هم بهره برد. به عنوان مثال، خاصیت برجسته الگوریتم ژنتیک بکارگیری فرآیندهای جابجایی و جهش است. وجود این فرآیندها در طبیعت موجب خلق موجودات بسیار خارق العاده از والدینی کاملاً عادی می شود؛ در الگوریتم ژنتیک نیز امید است، با بکارگیری این فرآیندها، به پاسخ های بهینه ای برسیم. الگوریتم فازی نظریه ای است که برای اقدام در شرایط عدم قطعیت بکار می رود. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم هایی که نا دقیق و مبهم است را فرمول بندی ریاضی نماید و زمینه تصمیم گیری در شرایط عدم قطعیت را فراهم آورد [۱]. مزیت بزرگ الگوریتم ایمنی، علاوه بر دارا بودن خواص الگوریتم ژنتیک، ذخیره بهترین پاسخ ها در هر مرحله از اجرا است. مزیت دیگر آن این است که از انباشته شدن پاسخ های تکراری و یا مشابه، جلوگیری می کند [۲ و ۳]. الگوریتم ترکیبی ایمنی-فازی، مزایای هر سه الگوریتم ژنتیک، فازی و ایمنی را دارد. علاوه بر آن، خاصیت جدید الگوریتم پیشنهاد شده این است که در شرایطی که حدس اولیه پاسخ نباشد، یعنی قیود مسئله را ارضاء نکند، آن را از چرخه حذف نمی کند بلکه به آن این فرصت را می دهیم تا با وارد شدن در فرآیندهای جابجایی و جهش شانس ساختن یک پاسخ مطلوب را داشته باشند.

عوامل خارجی بسیاری بر روی هر شبکه برق موثر اند. لذا در زمان طراحی تعدادی از آن ها نا دیده خواهند شد؛ این امر موجب می شود پس از پیاده سازی طرح در سیستم واقعی، نتایج بدست آمده با آنچه پیش بینی کرده بودیم مطابقت نداشته باشد. استفاده از منطق فازی تاثیر این عوامل در پاسخ نهایی را کاهش خواهد داد.

۲- الگوریتم ایمنی

اولین مطالعات در زمینه سیستم ایمنی مصنوعی، در دهه ۱۹۸۰ شکل گرفت. Ishida، در سال ۱۹۹۶، در اولین کارگاه آموزش اختصاصی سیستم های مبتنی بر ایمنی شناسی، نتیجه اولین بررسی های خود در زمینه موضوع را منتشر کرده و دو سال بعد نخستین کتاب با موضوع سیستم ایمنی مصنوعی را در ژاپن به رشته تحریر درآورد [۴]. الگوریتم ایمنی، برگرفته از سیستم دفاعی بدن موجود زنده است. با ورود یک عامل بیماری زا (آنتی ژن) به بدن، سلول های دفاعی بدن با تولید آنتی بادی سعی در نابود کردن آنتی ژن ها می کنند. مانند قفل که باید با کلید مخصوص خود باز شود، هر آنتی ژن نیز باید با آنتی بادی خاصی که قدرت نابود کردن آن را دارند، مواجه شود. میزان توانایی آنتی بادی در نابودسازی آنتی ژن ها با معیاری به نام «همریشگی^۱» سنجیده می شود. آنتی بادی هایی که همریشگی بیشتری دارند، بیشتر تکثیر می شوند در عوض آنتی بادی های با همریشگی کوچک حذف می شوند. در صورتی که آنتی بادی های موجود در سیستم دفاعی بدن، نتوانند آنتی ژن را نابود سازند، این سیستم با تغییر ساختار آنتی بادی به کمک فرآیندهای جابجایی و جهش، سعی در ساختن آنتی بادی های جدید با همریشگی بهتر خواهد کرد. این آنتی بادی جدید در سلول حافظه ذخیره می شود تا در دفعات احتمالی بعدی که آنتی ژن مشابهی وارد بدن می شود، سریعاً به تکثیر آن پردازد [۵ و ۶]. منظور از فرآیند جابجایی، در کنار هم قرار گرفتن ژن های مختلف از دو آنتی بادی مختلف است. به این ترتیب که یک آنتی بادی جدید با خواص متفاوت از آنتی بادی والد به وجود می آید. در فرآیند جهش، به طور تصادفی، یک یا چند ژن موجود در آنتی بادی تغییر می کند و خواص جدیدی را به آن القا می کند که ممکن است کارایی آن را به طور شگرفی افزایش دهد. این آنتی بادی های جدید نیز در صورت دارا بودن همریشگی بالا، به میزان بیشتری تولید می شوند و در بخش حافظه سیستم دفاعی ذخیره می شوند تا در حملات احتمالی بعدی

¹affinity

بتوانند سریع تر تولید شده و آنتی‌ژن‌ها را از بین ببرند. اما در صورتی که از میزان هم‌ریشگی مطلوبی برخوردار نباشند، حذف می‌شوند. عناصر اصلی الگوریتم ایمنی شامل آنتی ژن، آنتی بادی، هم‌ریشگی بین آنتی بادی و آنتی ژن‌ها، هم‌ریشگی میان آنتی بادی‌ها و فرآیندهای جابجایی و جهش می‌باشند که در ادامه تعاریف آنها ارائه خواهد شد.

۳- تشریح الگوریتم ایمنی اصلاح شده و پیاده سازی مسئله

الگوریتم ایمنی تا حد زیادی مشابه الگوریتم زنتیک می باشد با این تفاوت اساسی که فرآیند انتخاب در الگوریتم زنتیک به صورت تصادفی رخ می دهد به گونه ای که حتی پاسخ هایی که از برازندگی بسیار کمی نیز برخوردارند، ممکن است در نسل بعد حضور یابند و حال آنکه بهترین پاسخ ها در گردونه انتخاب محکوم به حذف گردند. این امر براساس این تئوری اعمال شده است که ممکن است در طبیعت فرزندان بسیار نخبه از والدین بسیار عادی و یا حتی کند ذهن به وجود آیند. البته لازم به ذکر است که در الگوریتم زنتیک پاسخ های مطلوب تر شانس حضور بیشتری دارند. اما در الگوریتم ایمنی انتخاب به صورت هوشمندانه انجام می شود و پاسخ های با برازندگی بالا مستقیماً وارد نسل بعد می شوند و سایرین به امید ساختن پاسخی با مطلوبیت بالاتر دستخوش تغییرات می شوند. این تفاوت انگیزه انجام مقایسه با الگوریتم زنتیک را پدید آورد. نقطه تمایز اصلی این الگوریتم نسبت به الگوریتم ایمنی رایج، استفاده از منطق فازی در محاسبه هم‌ریشگی است که در ادامه بر روی آن تمرکز بیشتری خواهیم کرد. ایده دیگری که در این الگوریتم بکار گرفته شده است؛ این است که راهکارهای پیشنهادی اولیه حتی اگر پاسخ نباشند (یعنی در شرایط مسئله صدق نکنند) از چرخه الگوریتم حذف نمی شوند بلکه الگوریتم سعی دارد با اعمال فرآیندهای جابجایی و جهش، به راهکاری برسیم که نه تنها در شرایط مسئله صادق است، بلکه از مطلوبیت بسیار بالایی نیز برخوردار است. این ایده باعث می شود دامنه پاسخ های مورد بررسی بیشتر شود و الگوریتم را از افتادن در نقاط کمینه محلی حفظ نماید. در عمل شاهد خواهیم بود که در اجراهای مختلف به پاسخ های مشابهی خواهیم رسید.

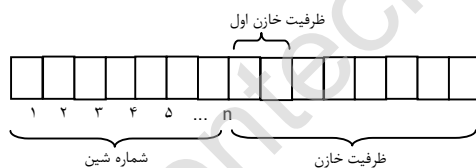
۳-۱- آنتی ژن

عواملی طبیعی و اجتناب ناپذیر در هر سیستم که باعث دور شدن سیستم از رسیدن به حد ایده آل می‌شوند. در بسیاری از مسائل، هدف کاستن یک یا چند مورد از عوامل فوق است. اگر هدف تنها بر روی یکی از این عوامل متمرکز شود، با یک مسئله تک هدفی روبرو هستیم و چنانچه با چندین عامل روبرو باشیم، مسئله مورد بررسی ما یک مسئله چند هدفی خواهد بود. در مسیر رسیدن به اهداف مسئله، با محدودیت‌هایی مواجه خواهیم شد که به اصطلاح قیود مسئله نامیده می‌شوند؛ از آنجایی که این قیود ما را از رسیدن به هدف، که همان میل به ایده آل نمودن سیستم می‌باشد، باز می‌دارند، این قیود به همراه اهداف مسئله به عنوان آنتی ژن در مسئله تعریف می‌شوند. برای تعیین آنتی ژن‌ها در هر سیستم، در نظر می‌گیریم که چنانچه سیستم مورد نظر ایده آل باشد، چه خصوصیتی خواهد و در حال حاضر چه ویژگی‌هایی دارد و عواملی که آن را از رسیدن به حد ایده آل بازداشته‌اند، کدام‌ها هستند. آنگاه به ازای هر یک از آن عوامل یک آنتی ژن تعریف می‌کنیم. در این مسئله، تلفات سیستم و انحراف ولتاژ باس‌ها از مقدار نامی، به همراه هزینه عوامل نامطلوب هستند و هدف از حل مسئله کمینه کردن آن‌ها است. لذا می‌توان آن‌ها را معادل عامل بیماری‌زا در نظر گرفت و به عنوان آنتی ژن تعریف کرد. اما در اینجا برای سادگی هزینه به صورت یک ضریب به قسمی که در بخش ۳-۳ توضیح داده می‌شود اعمال می‌شود و به شکل یک مساله دو هدفی باقی می‌ماند.

۳-۲- آنتی بادی

راهکارهایی هستند که در یک سیستم اعمال می شوند تا آن را در جهت نزدیک شدن به یک سیستم ایده آل یاری رسانند. بنابراین این راهکارها وابسته به عوامل مسئله می باشند و به عنوان پاسخ مسئله مطرح می شوند. چنانچه با مسئله ای روبرو باشیم که پاسخ های مستقل دارد، نمی توان آن را از طریق الگوریتم ایمنی حل نمود. لذا می توان گفت آن دسته از مسائل به کمک الگوریتم ایمنی قابل حل می باشند که اولاً پاسخ های آنها از نوع انتخابی باشد، یعنی بتوان آن را از بین پیشنهادهای موجود انتخاب نمود، و ثانیاً انتخاب هر یک از پاسخ ها بر روی کل سیستم تاثیر گذار باشد. معمولاً در این گونه مسائل پاسخ ها به عنوان آنتی بادی تعریف می شوند. آنتی بادی را می توان به صورت یک رشته بیت تعریف کرد و هر پاسخ به صورت کدهای صفر و یک بر روی آن نقش بندد.

در این مسئله، مکان و مقدار توان راکتیو تزریقی به عنوان یک آنتی بادی باینری تعریف می شوند. در پایان به کمک رابطه $(C = \frac{Q_c}{V^2 \omega})$ ظرفیت خازن هایی که قادر به تولید این میزان توان راکتیو است محاسبه می شود به این ترتیب که با توجه به ویژگی های شبکه ۴ اندازه مختلف توان راکتیو (۵-۱۰-۱۵ و ۲۰ مگاوار) به عنوان کاندید انتخاب و با یک کد باینری مشخص می شود و برای تعیین محل نصب خازن، به تعداد باس ها بیت در نظر می گیریم. در صورتی که مقدار بیت یک باشد، در باس مربوطه خازن نصب می شود که اندازه آن با توجه به کدهایی که در انتهای آنتی بادی وجود دارد تعیین می شود.



شکل ۱: ساختار کلی یک آنتی بادی

۳-۳- هم‌ریشگی میان آنتی بادی و آنتی ژن ها

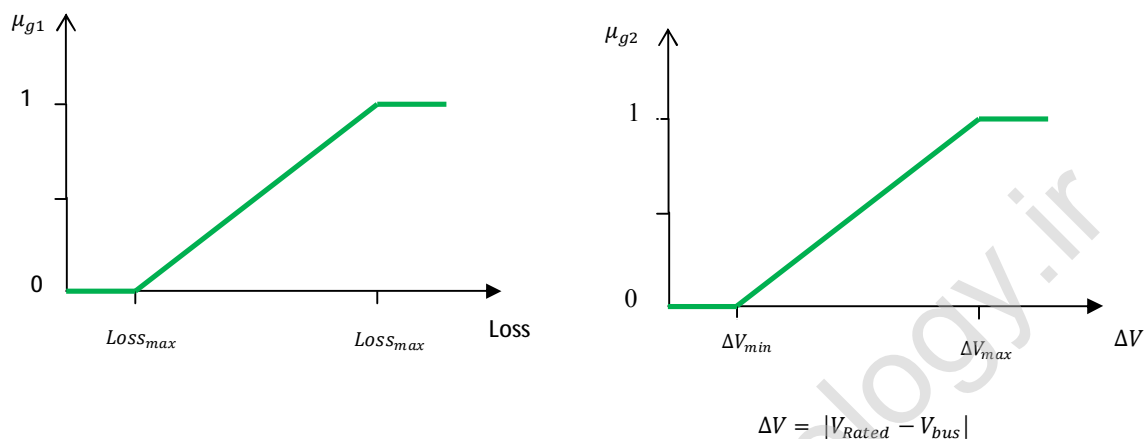
این عنصر میزان موفقیت راهکار ارائه شده، برای نزدیک تر کردن سیستم به حد ایده آل را نشان می دهد و باید به صورت دلخواه به گونه ای تعریف شود که بزرگی آن با مطلوبیتش نسبت مستقیم داشته باشد. یک پیشنهاد برای تعریف آن، استفاده از چند جمله ای می باشد به گونه ای که هر جمله آن میزان برآورده شدن یکی از اهداف را بیان کند. لذا هم‌ریشگی میان آنتی بادی و آنتی ژن ها به یک چند جمله ای وابسته می شود. از آنجایی که در این مسئله دو آنتی ژن در نظر گرفته می شود، لذا هم‌ریشگی میان آنتی بادی و آنتی ژن ها به یک دو جمله ای وابسته می شود که جزء اول آن مربوط به تأثیر خازن گذاری پیشنهاد شده توسط آنتی بادی، در کاهش تلفات شبکه است و جزء دوم آن به میزان تأثیر آن در حفظ ولتاژ باس ها در نزدیکی مقدار نامی می باشد. این مقدار را با $AFF_{g,bn}$ نشان می دهیم و از رابطه زیر محاسبه می شود [۶]:

$$AFF_{g,bn} = \frac{1}{1+t_{g,bn}} \quad (1)$$

در این رابطه bn معرف n امین آنتی بادی است و $t_{g,bn}$ دو جمله ای مذکور است که میزان تطابق آنتی بادی با آنتی ژن را نشان می دهد. به این معنی که در صورتی که آنتی بادی کاملاً اهداف را ارضاء کند، این مقدار صفر خواهد شد. در این زمان هم‌ریشگی بیشترین مقدار خود یعنی یک را خواهد داشت [۷].

$$t_{g,bn} = \mu_{g1}(A_{bn}) + \mu_{g2}(A_{bn}) \quad (2)$$

μ_{g1} و μ_{g2} توابعی هستند که به ترتیب عدد فازی معادل میزان تلفات سیستم و عدول از ولتاژ نامی به ازای هر آنتی بادی را نشان می دهند. برای در نظر گرفتن بعد هزینه در نهایت میزان هم‌ریشگی در ضریب هزینه ضرب می شوند. هر اندازه توان راکتیو تزریقی خازن ها کمتر باشد این ضریب بزرگتر خواهد بود.



شکل 2: توابع فازی μ_{g1} و μ_{g2}

۳-۴- المان ممیز پاسخ بودن آنتی بادی (δ_g)

المان δ_g ، صادق بودن آنتی بادی تولید شده، در شرایط مسئله را تعیین می کند؛ در صورتی که هر دو شرط برقرار باشد، مقداری در محدوده هم‌ریشگی قابل قبول (*AFFOK*) که در ابتدای برنامه تعریف می شود) خواهد داشت؛ چنانچه تنها یکی از شرایط برقرار باشد، مقداری بزرگتر از هم‌ریشگی قابل قبول را اخذ خواهد کرد؛ و سرانجام اگر هیچ کدام از شرایط صادق نباشد، عدد بسیار بزرگی اخذ خواهد کرد.

$$\delta_g = \frac{AFF_{g,bi}}{C_i} \quad (3)$$

که در آن داریم:

$$C_i = \frac{1}{N_o} \sum_{w=1}^{N_o} a \quad (4)$$

$$a = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_{gw}(i) < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

N_o تعداد هدف ها است که در اینجا برابر ۲ است. i نشان دهنده شماره آنتی بادی و w تعداد آنتی ژن را مشخص می کند [۷].

۳-۵- هم‌ریشگی میان آنتی بادی ها

بیانگر میزان شباهت آنتی بادی‌ها می‌باشد. این عنصر نیز می‌تواند به دلخواه تعریف شود به طوری که هراندازه ساختار آنتیبادی‌ها به هم شباهت بیشتر پیدا شده باشد، مقدار بزرگ‌تر داشته باشد [۹]. یک روش پیشنهادی، استفاده از مفهومی به نام گوناگونی (entropy) است. گوناگونی میان N آنتی بادی با $E(N)$ نشان داده می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E(N) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L E_l(N) \quad (2)$$

$$E_l(N) = - \sum_{s=1}^S p_{sl} \log p_{sl} \quad (3)$$

در این روابط L طول آنتی بادی یعنی تعداد بیت‌های آن است و I شماره بیت آنتی بادی را نشان می‌دهد. S مجموعه مقادیری است که می‌تواند در یک بیت قرار گیرد و به آن‌ها «آل» می‌گویند [۶]. چنانچه از اعداد باینری برای کد بندی آنتی بادی استفاده می‌کنیم، مجموعه S دارای دو عضو صفر و یک خواهد بود [۹].

$$p_{sl} = \frac{\text{تعداد } S \text{ امین آل که در هایژن } l \text{ ام بادیات تمام ها ظاهر شده است}}{N} \quad (4)$$

p_{sl} احتمال این است که مقدار ژن‌های I ام تمام آنتی بادی‌های موجود برابر آل S ام باشد. به عنوان مثال در صورتی که بدانیم تنها یک نوع آل در ژن I ام می‌نشیند، گوناگونی آن برابر صفر خواهد شد [۹]. حال با توجه به توضیحات فوق هم‌ریشگی میان آنتی بادی‌ها را تعریف می‌کنیم:

$$AFF_b = \frac{1}{1+E(N)} \quad (5)$$

در الگوریتم ایمنی، مفهوم هم‌ریشگی میان آنتی بادی‌ها، زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که گنجایش حافظه ذخیره کننده آنتی بادی تکمیل شده باشد و بخواهیم آنتی بادی تولید شده جدید را ذخیره کنیم. بر طبق قوانین الگوریتم ایمنی، این آنتی بادی باید جایگزین شبیه‌ترین آنتی بادی موجود در حافظه شود. لذا در گام نخست هم‌ریشگی میان آنتی بادی جدید و هر یک از آنتی بادی‌های موجود در حافظه را محاسبه نموده و سپس آنتی بادی مذکور را جایگزین شبیه‌ترین آنها خواهیم کرد [۲]. بنابراین نیاز به محاسبه گوناگونی دو آنتی بادی نیاز داریم. برای این منظور کافی است در رابطه فوق $N=2$ قرار دهیم. همچنین هم‌ریشگی میان دو آنتی بادی را تعریف می‌کنیم:

$$AFF_{bm,bn} = \frac{1}{1+E(2)} \quad (6)$$

۳-۶- فرآیند جابجایی

در این مرحله دو آنتی بادی به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند سپس بخشی از بیت‌های آن‌ها با یکدیگر جابجا می‌شوند و در صورتی که در شرایط مسئله صدق کنند به عنوان یک پاسخ (آنتی بادی) در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۷- فرآیند جهش

در این فرآیند، به کمک تولید یک عدد تصادفی شماره بیتی که قرار است بر روی آن فرآیند جهش انجام شود انتخاب می‌شود. در صورتی که مقدار آن بیت یک باشد آن را صفر و در صورتی که صفر باشد آن را یک می‌کند.

۳-۸ - شرط توقف

شرط توقف می تواند تعداد معینی تکرار الگوریتم باشد و یا شرط همگرا شدن پاسخ‌ها به عنوان شرط توقف در نظر گرفته شود. منظور از همگرایی پاسخ این است که تفاوت دو پاسخ اخیر، کمتر از ϵ باشد (ϵ عدد کوچکی است که باید از پیش تعریف شود).

۳-۹ - مراحل اجرای الگوریتم

در این الگوریتم هر کجا آنتی بادی جدیدی تولید می شود، شرط پاسخ بودن آن کنترل می شود و در صورت ارضاء شرط به عنوان آنتی بادی تولید شده معرفی می شود.

- ۱- اطلاعات سیستم را وارد کن.
 - ۲- یک آنتی ژن برای کمینه کردن میزان تلفات سیستم و یک آنتی ژن برای رعایت محدوده ولتاژ در نظر بگیر.
 - ۳- به طور تصادفی ۳۰ پاسخ، یعنی مکان و اندازه خازن، را به عنوان آنتی بادی‌های اولیه تولید کن و آن‌ها را در ماتریس «آنتی بادی» قرار بده.
 - ۴- همیشگی بین آنتی ژن‌ها و هر یک از آنتی بادی‌ها را محاسبه کن.
 - ۵- δ_g آنتی بادی‌ها را محاسبه کن.
 - ۶- آنتی بادی‌هایی را که δ_g آن‌ها، از $1/3$ برابر حد قابل قبول همیشگی، که از پیش تعیین شده است، بزرگتر می‌باشد، به ماتریس «بایگانی» منتقل کن.
 - ۷- با استفاده از آنتی بادی‌های موجود در ماتریس «آنتی بادی»، و با کمک فرآیندهای جهش و جابجایی، آنتی بادی‌های جدید تولید کن.
 - ۸- همیشگی آنتی بادی‌های جدید را با آنتی ژن‌ها محاسبه کن. در صورتی که این مقدار از حد قابل قبول از پیش تعریف شده (AFFOK) بزرگتر بود، آن را به ماتریس «بایگانی» منتقل کن.
 - ۹- مراحل ۶ تا ۸ را تا زمانی که تعداد آنتی بادی‌های موجود در بایگانی ۳۰ شود و یا تعداد تکرارها ۳۰ مرتبه شود، تکرار کن.
 - ۱۰- از میان آنتی بادی‌های موجود در بایگانی، آن یک را که دارای بیشترین همیشگی با آنتی ژن‌ها است را انتخاب کن. و در ماتریس «آنتی بادی‌های بهینه» ذخیره کن.
- در صورتی که هنوز گنجایش ماتریس «آنتی بادی‌های بهینه» تمام نشده، آنتی بادی انتخابی را در آن ذخیره کن.

• در صورتی که گنجایش ماتریس «آنتی بادی های بهینه» تمام شده، آنتی بادی انتخابی را جایگزین مشابه

ترین آنتی بادی موجود در این ماتریس کن.

۱۱- ماتریس «بایگانی» را جایگزین ماتریس «آنتی بادی» کن.

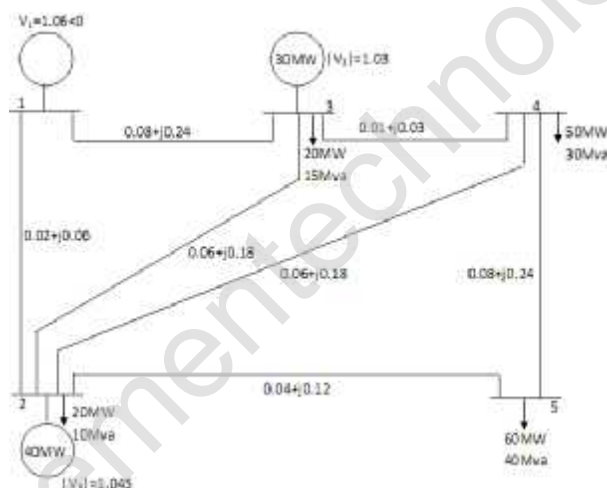
۱۲- اگر شرط توقف برقرار نشده، به مرحله ۴ برو. در غیر این صورت برو به مرحله بعد.

۱۳- بهترین آنتی بادی را که بیشترین هم‌ریشگی را با آنتی ژن ها دارد، از میان آنتی بادی های موجود در ماتریس «آنتی

بادی های بهینه» انتخاب کن.

۴- نتایج شبیه سازی

برای بررسی الگوریتم پیشنهادی، آن را بر روی یک شبکه ساده پیاده سازی نموده ایم.



شکل 3: ساختار شبکه مورد بررسی

در اینجا نتایج شبیه سازی با نرم افزار Matlab پیش از نصب خازن و بعد از خازن گذاری به روش الگوریتم ژنتیک و همچنین الگوریتم ایمنی پیشنهادی آورده شده است. جداول شماره ۲ و ۳ نتایج پنج اجرا را نشان می دهد.

جدول شماره ۱: نتایج پخش بار پیش از نصب خازن

Bus Num	Voltage	Bus Num	Voltage
1	1.06	4	1.0168
2	1.045	5	0.9853
3	1.03		
Active loss	2.9MW	Reactive loss	8.71MVAR

جدول شماره ۲: نتایج شبیه سازی پس از نصب خازن با الگوریتم ژنتیک

Bus	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)
1	1.0600	0	1.0600	5	1.0600	0	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0450	15	1.0450	0	1.0450	0	1.0450	0	1.0450	15
3	1.0300	0	1.0300	0	1.0300	5	1.0300	0	1.0300	0
4	1.0174	0	1.0085	0	1.0192	15	1.0153	10	1.0161	0
5	0.9906	5	0.9990	20	0.9835	0	1.0023	20	0.9903	10
Active loss (MW)		2.77		2.8		2.88		2.64		2.71
Reactive loss (MVAR)		8.32		8.4		8.63		7.92		8.14

جدول شماره ۳: نتایج شبیه سازی پس از نصب خازن با الگوریتم ایمنی اصلاح شده

Bus	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)	voltage	Capacitor (MVAR)
1	1.0600	10	1.0600	0	1.0600	0	1.0600	0	1.0600	0
2	1.0450	0	1.0450	0	1.0450	0	1.0450	0	1.0450	15
3	1.0300	0	1.0300	10	1.0300	0	1.0300	0	1.0300	0
4	1.0161	0	1.0161	0	1.0215	20	1.0174	15	1.0161	0
5	0.9903	15	0.9903	10	1.0044	20	0.9989	15	0.9903	10
Active loss (MW)		2.71		2.71		2.51		2.66		2.71
Reactive loss (MVAR)		8.14		8.14		7.54		7.99		8.14

توجه به این نکته ضروری است که همواره در مسائل چند هدفی باید مصالحه ای در بین اهداف صورت گیرد. در اینجا باید علاوه بر میزان تلفات، بعد اقتصادی نیز در نظر گرفته شود. این امر در برنامه به صورت یک ضریب هزینه در نظر گرفته شده است. با نگاه همزمان تلفات و هزینه تکرار پنجم از الگوریتم ژنتیک و تکرار دوم از الگوریتم ایمنی، بهترین پاسخ هستند. همانطور که دیده می شود، در سه اجرا از پنج اجرای الگوریتم ایمنی پاسخ مشابه دیده می شود. لذا می توان با اطمینان بیشتری بیان نمود که بهترین راهکار با در نظر گرفتن محدودیت توان راکتیو، حداکثر می تواند تلفات اکتیو را به ۲/۷۱ مگاوات، و تلفات راکتیو را به ۸/۱۴ مگاوار کاهش دهد. در ضمن زمان اجرای الگوریتم ژنتیک به طور متوسط ۴S و ایمنی ۰/۸S می باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم ایمنی اصلاح شده به عنوان یک روش هوشمند کارا معرفی شده و با الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش قدیمی که از نظر ساختار شباهت زیادی (جابجایی و جهش) با الگوریتم ایمنی دارد، مقایسه شده است. استفاده از فرآیندهای جابجایی و جهش دامنه راهکارهای مورد بررسی را افزایش داده و تاثیر جمعیت اولیه بر پاسخ را کاهش می دهد.

نتایج حاصله حدس اولیه در رابطه با قابلیت اطمینان بالاتر پاسخ های آن را تایید می کند. زمان اجرای این الگوریتم به حد قابل قبولی پایین است و به مراتب پاسخ های بهتری ارائه می دهد. با توجه به ماهیت احتمالی آن توصیه می شود الگوریتم چند بار اجرا شود و از میان آن ها بهترین پاسخ انتخاب شود.

منابع

- [1] Lee, K., El-sharkawi, M., 2008, *Modern Heuristic Optimization Techniques Theory and Applications to Power Systems*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, IEEE Press Series on Power Engineering, pp.25-40,147-168.
- [2] Chun, J.-S., Kim, M.-K., Jung, H.-K. and Hong, S.-K., 1997, *Shape Optimization of Electromagnetic Devices Using Immune Algorithm*, IEEE Transactions on Magnetics, V. 33, No. 2, pp. 1876-1879.
- [3] Mori, K., Tsukiyama, M. and Fukuda, T., 1998, *Adaptive Scheduling System Inspired by Immune System*, In: Proceedings of the 1998 IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference, pp. 1614–1619.
- [4] R.s. Takehara, “Artificial Immune Systems Applied to Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution”, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela, pp. 1-7, 2006.
- [5] Bennett, A.G., 2009, *Investigation of an Immune Algorithm and Differential Evolution to Study Folding Of Model Proteins*, PhD Thesis, University of Birmingham.
- [6] Huang, S.-J., 2000, *An Immune-Based Optimization Method to Capacitor Placement in a radial Distribution System*, IEEE Transactions on Power Delivery, V. 15, No. 2, pp. 744-749.
- [7] Huang, T.-L., Hsiao, Y.-T., Chang, Ch.-H., Jiang, J.-A., 2008, *Optimal Placment of Capacitors in Distribution Systems Using an Immune Multi-Objective Algorithm*, Electrical Power and Energy Systems, V. 30, pp. 184–192.
- [8] Jiang, W., Xu, Y. and Xu, Y., 2006, *A Novel Application of Neutal Network Optimized Design Based on Immune Modulated Symbiotic Evolution*, International Journal of Information Technology, V. 12, No.3, pp. 33-42.
- [9] Cui, X., Li, M. and Fang, T., 2001, *Study of Population Diversity of Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Immune and Entropy Principles*, Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, V. 2, pp. 1316–1321.