توزیع بهینه توان راکتیو با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته جهت کاهش تلفات شبکه قدرت

داود طالبی خانمیری [۱]
دانشجوی کارشناسی ارشد
d_talebi@ee.iust.ac.ir

محسن کلانتر [۱]
دانشیار دانشکده برق
kalantar@iust.ac.ir

رزم‌آرا ذاکری‌فر [۱و۲]
دانشجوی کارشناسی ارشد
rzakerifar@mazrec.co.ir

حمید سرداری [۱]
دانشجوی کارشناسی ارشد
h_sardarii@ee.iust.ac.ir

[۱] دانشگاه علم و صنعت ایران
[۲] شرکت برق منطقه‌ای مازندران

کلمات کلیدی: توزیع بهینه توان راکتیو- الگوریتم ژنتیک- کاهش تلفات

چکیده

بهینه سازی توزیع توان راکتیو در سیستمهای قدرت با تنظیم ولتاژ ژنراتورها، تپ ترانسفورماتورهای با قابلیت تغییر تپ در زیر بار و اندازه خازنهای موازی انجام می‌شود. در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو ارائه می‌شود. از آنجا که در حل این مسئله هم متغیرهای پیوسته مانند ولتاژ شینهای ژنراتور و هم متغیرهای گسسته مانند تپ ترانسفورماتورها و اندازه خازنهای موازی سوئیچ شونده وجود دارند در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی هر رشته به دو قسمت متغیرهای پیوسته و متغیرهای گسسته تقسیم شده و برای هر قسمت عملگرهای ژنتیک متناسب با آن استفاده می‌شود. برای توزیع توان راکتیو در این مقاله تلفات توان حقیقی شبکه به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و تجاوز ولتاژ شینها از محدوده‌های مجاز به عنوان تابع جریمه به تابع هدف افزوده شده است. شبیه سازیها بر روی سیستم قدرت ۳۰ شینه IEEE انجام شده و نتایج به دست آمده از اعمال الگوریتمهای ژنتیک باینری و حقیقی با نتایج روش پیشنهادی مقایسه گردیده است. نشان داده شده است که الگوریتم پیشنهادی در زمان قابل قبول به جوابهای بهتری دست می‌یابد.

۱- مقدمه

با گسترش شبکه‌های قدرت، بهره برداری از منابع توان راکتیو موجود در شبکه برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. اگر چه تولید توان راکتیو به خودی خود هزینه ندارد ولی به خاطر تاثیر بر تلفات سیستم بر هزینه کل تاثیرگذار است.

در حالت کلی برنامه‌ریزی توان راکتیو دو مسئله محل‌یابی و بهره برداری را شامل می‌شود. مسئله محل‌یابی تعیین نوع، اندازه و محل منابع جدید توان راکتیو در سیستم است درحالیکه مسئله بهره برداری بر تنظیم بهینه منابع موجود توان راکتیو در شبکه تاکید دارد. پارامترهایی که لازم است در مسئله توزیع توان راکتیو تنظیم شوند ولتاژ شینهای کنترل شده، تپ ترانسفورماتورهای با قابلیت تغییر تپ در زیر بار و اندازه خازنهای موازی هستند. در حل مسئله توزیع توان راکتیو فرض بر این است که پخش بار اقتصادی صورت گرفته و میزان تولید توان حقیقی توسط هر ژنراتور مشخص می‌باشد.

اگر مسئله توزیع توان اقتصادی را در نظر بگیریم با بزرگتر شدن سیستم قدرت فضای جواب مسئله به سرعت بزرگ و پیچیده می‌شود. حتی برای سیستم قدرت ۳۰ شینه IEEE

در سالهای اخیر علاقه فزاینده‌ای برای استفاده از روشهای آماری جستجو در مسایل بهینه سازی کلی به وجود آمده است. الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای آماری جستجو است که از یک جمعیت اولیه تصادفی از جوابها شروع کرده و بر پایه تئوری تکامل تدریجی و با بکارگیری عملگرهای ژنتیک به جواب بهینه دست می‌یابد. مشکل اصلی کاربرد الگوریتم ژنتیک همگرایی زودرس آن است که باعث می‌شود الگوریم ژنتیک به جای یافتن نقطه بهینه کلی به نقطه بهینه محلی همگرا شود [۵]. مشکل دیگر الگوریتم ژنتیک حجم زیاد محاسبات آن است که منجر به طولانی شدن زمان اجرای الگوریتم می‌گردد [۶]. برای رفع این مشکلات کارهایی مانند ترکیب الگوریتم ژنتیک با دیگر روشهای بهینه سازی [۷ و ۸] و ایجاد تغییرات در الگوریتم ژنتیک ساده برای بهبود قدرت جستجوی آن [۹ و۱۰] انجام شده‌اند.

در این مقاله روش جدیدی برای بهبود الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. شبیه سازیها بر روی سیستم قدرت ۳۰ شینه IEEE انجام شده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج بدست آمده از الگوریتمهای ژنتیک باینری و حقیقی مقایسه شده است. نشان داده شده است که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در زمان قابل قبول به نتایج بهتری دست می‌یابد.

۲- تعریف مسئله

ش

هدف توزیع بهینه توان راک‌تی‌و کمی‌ن‌ه کردن تلف‌ـات توان حقیقی در شبکه انتقال است که بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$f = \sum_{k \in BR} P_{k\,Loss} = \sum_{k \in BR} g_{ij}\left(V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j\cos\theta_{ij}\right) \qquad (۱)$$

که در آن BR مجموعه شاخه‌های سیستم قدرت، $P_{k\,Loss}$ تلفات شاخه k، V_i و V_j ولتاژهای شین ابتدایی و انتهایی شاخه k، θ_{ij} اختلاف زاویه ولتاژ بین شینهای I و j ، g_{ij} هدایت شاخه k می‌باشد.

قیدهایی که برای این مسئله در نظر گرفته می‌شود شامل قیدهای تساوی غیرخطی معادلات پخش بار و قیدهای نامساوی خطی محدودیتهای پارامترهای مختلف می‌باشد.

$$P_{Gi} = P_{Di} + V_i\sum_{j \in B} V_j\left(G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}\right) \qquad (۲)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} + V_i\sum_{j \in B} V_j\left(G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij}\right) \qquad (۳)$$

$$V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max} \qquad i \in B \qquad (۴)$$

$$T_{k\min} \le T_k \le T_{k\max} \qquad i \in BRK \qquad (۵)$$

$$Q_{Gi\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi\max} \qquad i \in BG \qquad (۶)$$

$$Q_{Ci\min} \le Q_{Ci} \le Q_{Ci\max} \qquad i \in BC \qquad (۷)$$

که در آنها P_{Gi} و Q_{Gi} توانهای اکتیو و راکتیو تولیدی شین i، P_{Di} و Q_{Di} توانهای اکتیو و راکتیو مصرفی شین i، G_{ij} و B_{ij} قسمتهای حقیقی و موهومی مؤلفه ij ماتریس ادمیتانس شبکه، T_k تنظیم تپ ترانسفورماتور شاخه k، Q_{Ci} توان راکتیو تولیدی خازن شین i، B مجموعه شینهای شبکه، BRk مجموعه شاخه‌هایی که ترانسفورماتور با قابلیت تغییر تپ در زیر بار دارند، BG مجموعه شینهای دارای ژنراتور و BC مجموعه شینهای دارای خازن می‌باشند. اندیسهای min و max کمترین و بیشترین مقدار مجاز هر پارامتر را نشان می‌دهند.

معمولا در حل مسایل بهینه سازی غیرخطی قیدهای مسئله را به تابع هدف اضافه می‌کنند. در مسئله بهینه سازی توزیع توان راکتیو قیدهای تساوی و قیدهای نامساوی تپ ترانسفورماتورها و توان راکتیو تولیدی ژنراتورها و خازنها در حل پخش بار

$$F = f + \sum_{i \in BPQ} \lambda_i (V_i - V_{i\lim})^2 \qquad (۸)$$

که در آن λ_i ضریب جریمه برای تجاوز شین I از محدوده‌های مجاز و BPQ مجموعه شینهای بار و $V_{i\lim}$ محدوده مجاز ولتاژ شین i است که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_{i\lim} = \begin{cases} V_{i\max} & ,V_i > V_{i\lim} \\ V_{i\min} & ,V_i \prec V_{i\lim} \end{cases} \qquad (۹)$$

۳- الگوریتمهای ژنتیک

الگوریتمهای ژنتیک الگوریتمهایی هستند که بر پایه تکامل طبیعی و بقای اصلح کار می‌کنند. سه تفاوت اساسی بین الگوریتمهای ژنتیک و روشهای کلاسیک بهینه سازی وجود دارد. اول، الگوریتمهای ژنتیک بر روی رشته‌های کد شده از پارامترهای مسئله کار می‌کنند که هر رشته نماینده یک جواب برای مسئله است و مقادیر واقعی پارامترها از کدگشایی این رشته‌ها بدست می‌آیند. دوم، الگوریتمهای ژنتیک الگوریتمهای جستجوی موازی هستند که بر روی یک جمعیت از جوابها کار می‌کنند. این خاصیت باعث می‌شود که الگوریتم ژنتیک بتواند نواحی مختلف فضای جواب را همزمان جستجو کند که این امر احتمال گیر افتادن در نقاط بهینه محلی را کاهش می‌دهد. سوم، الگوریتمهای ژنتیک اطلاعات قبلی از فضای جواب مسئله مانند تحدب و مشتق پذیری لازم ندارند. تنها لازم است برای هر جواب تابعی که تابع برازش نامیده می‌شود محاسبه گردد [۹].

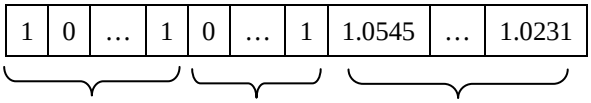
روشهای مختلفی برای کدبندی پارامترها در الگوریتمهای ژنتیک استفاده می‌شوند. یکی از روشهای مرسوم روش کدبندی باینری است که در آن برای هر پارامتر بسته به دقت موردنیاز چند بیت تخصیص داده می‌شود. مشکلی که این روش کدبندی دارد در کد کردن پارامترهای پیوسته‌ای نظیر ولتاژ ژنراتورهاست که می‌تواند مقادیر حقیقی از ۰/۹ تا ۱/۱ را داشته باشد. برای اینکه دراین روش کدبندی دقت موردنیاز برای پارامترهای پیوسته تامین گردد ناچار باید تعداد بیتهای اختصاص یافته به هر پارامتر را افزایش دهیم که این موضوع باعث طولانی شدن رشته و افزایش حجم محاسبات و در نتیجه افزایش زمان الگوریتم می‌گردد.

روش دیگری که درالگوریتمهای ژنتیک برای کدبندی اطلاعات استفاده می‌شود کدبندی حقیقی است. در این روش برای هر پارامتر یک عد حقیقی در نظر گرفته می‌شود و عملگرهای ژنتیک تعریف شده برای این الگوریتمها نیز بر روی اعداد حقیقی عمل می‌کنند. از آنجا که در مسئله توزیع توان راکتیو برخی از پارامترها گسسته هستند جوابهایی که با روش کدبندی حقیقی بدست می‌آیند برای عملی شدن باید به مقادیر واقعی تقریب زده شوند که این تقریب باعث کاهش دقت الگوریتم و افزایش تلفات می‌گردد.

۴- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

۴-۱- کدبندی

با توجه به مزایا و معایبی که هر کدام از روشهای کدبندی حقیقی و باینری دارند و با در نظر گرفتن این موضوع که در مسئله توزیع بهینه توان راکتیو هم متغیرهای پیوسته و هم متغیرهای گسسته وجود دارند در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی روش کدبندی ترکیبی استفاده شده است. در این روش کدبندی هر کروموزوم به دو بخش متغیرهای گسسته و متغیرهای پیوسته تقسیم می‌شود. این روش کدبندی باعث می‌شود بطور قابل ملاحظه‌ای از طول رشته کاسته شده و حجم محاسبات کمتر شود. همچنین در این روش امکان استفاده از مزایای هر دو روش کدبندی حقیقی و باینری وجود دارد و برای اجرایی شدن جواب بدست آمده نیز هیچ تقریبی لازم نیست.



شکل ۱. ساختار رشته

۴-۲- عملگرهای ژنتیک

از آنجا که در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی هر کروموزوم به دو بخش پیوسته و گسسته تقسیم شده است لازم است که عملگرهای ژنتیک تزویج و جهش متناسب با این کدبندی تعریف شوند.

الف- تزویج

تابع عملگر ژنتیک تزویج متناسب با طول قسمتهای باینری و حقیقی عملگرهای متناسب با آن بخش را به رشته‌های انتخاب شده به عنوان والدین اعمال می‌کند. مزیت این روش این است که می‌توان از عملگرهایی که برای متغیرهای پیوسته بهتر جواب می‌دهند برای بخش حقیقی و از عملگرهایی که برای متغیرهای گسسته کارایی بیشتری دارند برای بخش باینری استفاده کرد. عملگر تزویج که در این مقاله ارائه شده است عملگر پراکنده- کاوشی است. این عملگر برای بخش باینری از عملگر پراکنده و برای بخش حقیقی از عملگر کاوشی که کارایی بیشتری دارد استفاده می‌کند. عملگر پراکنده ابتدا یک رشته تصادفی از صفر و یک به طول بخش باینری کروموزوم تولید کرده و سپس به جای یک ها از ژنهای متناظر والد اول و به جای صفرها از ژنهای متناظر والد دوم جایگزین می‌کند. عملگر کاوشی از تزویج نقاط والدین نقطه‌ای تولید می‌کند که بر خط واصل این دو نقطه و نزدیکتر به والد بهتر قرار دارد. اگر فرض کنیم که والد یک بهتر از والد دو است فرزند حاصل به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{فرزند} = R \times (\text{والد ۱} - \text{والد ۲}) \qquad (۱۰)$$

که در آن R نسبت نزدیکی فرزند به والد بهتر می‌باشد. نحوه عملکرد عملگر ژنتیک پراکنده-کاوشی و تولید رشته جدید از والدین انتخاب شده در شکل ۲ دیده می‌شود.

والد ۱	0	1	0	0	1	0	1.00	0.95
والد ۲	1	1	1	0	1	0	1.01	0.90
رشته تصادفی	1	0	0	1	0	1		
فرزند تزویج	0	1	1	0	1	0	0.998	0.96

شکل ۲. عملگر پراکنده-کاوشی

ب- جهش

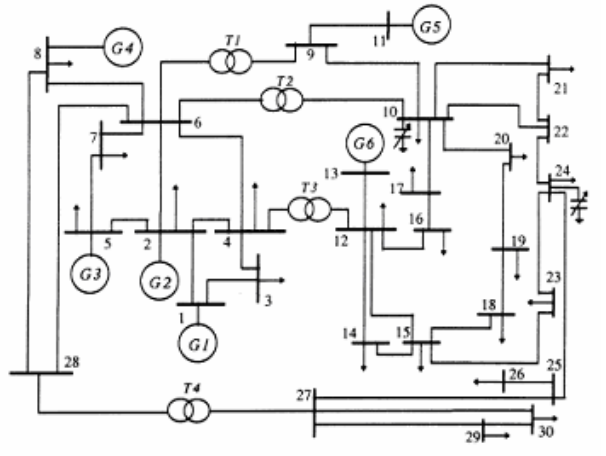
عملگر جهش برای روش پیشنهادی ابتدا یک رشته تصادفی از صفر و یک تولید می‌کند که در آن احتمال یک‌ها مساوی احتمال تعریف شده برای عمل جهش است. سپس در ژنهای متناظر با یک اگر در بخش باینری قرار داشته باشند صفر را به یک و یک را به صفر تبدیل می‌کند و اگر در بخش حقیقی قرار داشته باشد به جای عدد مربوطه یک عدد تصادفی در بازه مجاز برای آن متغیر قرار می‌دهد. عملکرد عملگر جهش در شکل ۳ دیده می شود.

والد	1	0	1	1	1	0	1.064	0.94
رشته تصادفی	1	0	0	0	0	1	0	1
فرزند جهش	0	0	1	1	1	1	1.064	1.09

شکل ۳. عملگر جهش

۵- نت‌ایج شبیه سازی

سیستم قدرت نمونه‌ای که در این مقاله برای انجام شبیه سازی‌ها استفاده شده است سیستم قدرت ۳۰ شینه IEEE [۵] می‌باشد که در شکل ۴ دیده می‌شود. تمامی شبیه سازی‌ها با استفاده از کامپیوتر AMD Athlon 64 2800+ و در محیط برنامه نویسی نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته‌اند. برای انجام پخش بار و محاسبه تلفات شبکه از الگوریتم نیوتن-رافسن استفاده شده است.



شکل ۴. سیستم قدرت ۳۰ شینه IEEE

سیستم ۳۰ شینه IEEE دارای شش شین ژنراتور و چهار تپ ترانسفورماتور می‌باشد. سه شین ۳، ۱۰ و ۲۴ برای نصب خازن موازی انتخاب گردیده‌اند. توان اکتیو تولیدی هر ژنراتور با استفاده از پخش بار اقتصادی تعیین شده است [۹]. تلفات شبکه ۹/۴۶۶ مگاوات است و ولتاژ تمامی شینها در محدوده مجاز قرار دارند.

جدول ۱. اطلاعات متغیرها و کدبندی آنها

متغیر	محدوده [pu]	نوع متغیر
ولتاژ ژنراتور	۰/۹ –۱/۱	پیوسته
تپ ترانسفورماتور	۰/۹ –۱/۱	گسسته $\Delta t = 0.01$
اندازه خازن	۰ –۰/۰۹	گسسته $\Delta Q = 0.03$

در شبیه سازی‌های به عمل آمده تعداد اعضای جمعیت ۲۰ و تعداد نسل ۳۰۰ انتخاب شده‌اند. احتمال تزویج ۰/۸ و احتمال جهش مقداری متناسب با پیشرفت الگوریتم در نظر گرفته شده است. بدینصورت که در ابتدای اجرای الگوریتم از ۰/۱ شروع شده و سپس در هر نسل کاهش می‌یابد تا در پایان الگوریتم به ۰/۰۰۱ می‌رسد. این تغییر تدریجی احتمال جهش باعث می‌شود در ابتدای اجرای الگوریتم که جوابها از نقطه بهینه دور هستند فضای وسیعتری توسط الگوریتم جستجو شود و در انتها که جوابها به نقطه بهینه نزدیکتر شده‌اند از پراکندگی جمعیت جلوگیری به عمل آمده و جستجوی دقیقتری حول نقطه بهینه صورت گیرد. اطلاعات مربوط به متغیرها، محدوده مجاز و نحوه کدبندی آنها در سه روش کدبندی حقیقی، باینری و پیشنهادی در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۲. نحوه کدبندی

متغیر	تعداد متغیرها		
	کدبندی حقیقی	کدبندی باینری	کدبندی پیشنهادی
ولتاژ ژنراتور	۶ × ۱	۶ × ۱۱	۶ × ۱
تپ ترانسفورماتور	۴ × ۱	۴ × ۵	۴ × ۵
اندازه خازن	۳ × ۱	۳ × ۲	۳ × ۲
مجموع متغیرها	۱۳	۹۲	۳۲

جدول ۳. نتایج شبیه سازیها

	حقیقی		باینری		پیشنهادی	
	بدترین	بهترین	بدترین	بهترین	بدترین	بهترین
T_1	۱/۰۹	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۰۷	۱/۱۰	۱/۰۶
T_2	۰/۹۳	۰/۹۰	۱/۰۶	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۰
T_3	۱/۰۴	۱/۰۰	۱/۰۷	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۹
T_4	۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۷
Q_1	۶	۰	۶	۰	۶	۰
Q_2	۹	۶	۹	۹	۹	۹
Q_3	۹	۶	۹	۹	۹	۹
V_1	۱/۰۷۹۸	۱/۰۸۵۱	۱/۰۷۳۶	۱/۰۸۵۴	۱/۰۸۰۲	۱/۰۸۴۲
V_2	۱/۰۰۶۵	۱/۰۶۴۲	۰/۹۹۹۵	۱/۰۶۵۵	۱/۰۴۱۸	۱/۰۶۷۱
V_3	۱/۰۲۷۰	۱/۰۳۰۳	۱/۰۲۴۹	۱/۰۳۲۶	۱/۰۳۰۸	۱/۰۳۵۹
V_4	۱/۰۳۲۰	۱/۰۳۵	۱/۰۴۵۱	۱/۰۳۶۸	۱/۰۷۴۴	۱/۰۳۷۴
V_5	۱/۰۶۴۱	۱/۰۹۹۵	۱/۰۴۹۸	۱/۱	۱/۰۶۰۹	۱/۰۸۷۹
V_6	۱/۰۵۱	۱/۰۷۷۹	۱/۰۹۵۱	۱/۰۶۲۹	۱/۰۱۹۰	۱/۰۷۱۰
تلفات [MW]	۹/۳۸۶	۹/۰۶۷	۹/۲۹۶	۹/۰۵۳	۹/۱۹۱	۹/۰۴۰

میانگین تلفات [MW]	۹/۲۶۶		۹/۱۸۱		۹/۱۰۲	
صرفه‌جویی [%]	۰/۸۵	۴/۲۲	۱/۸۰	۴/۳۶	۲/۹۱	۴/۵۰
میانگین صرفه‌جویی[%]	۲/۱۱		۳/۰۱		۳/۸۵	

برای اینکه از تاثیر خصوصیات احتمالی الگوریتم ژنتیک بر نتایج جلوگیری شود شبیه سازی‌ها برای هر سه نوع کدبندی ۱۵ بار تکرار شده و میانگین نتایج با هم مقایسه شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌ها در جدول ۳ دیده می‌شوند.

همانطور که از جدول ۲ دیده می‌شود روش پیشنهادی توانسته است به نتایج بهتری دست یابد. در مورد کدبندی حقیقی در شش مورد بعد از گرد کردن اعداد بدست آمده برای تپ و خازن، جوابهای بدست آمده شرایط لازم برای ولتاژ شینها را تامین نکردند و در نتیجه از محاسبات کنار گذاشته شدند.

زمان اجرای الگوریتم برای هر سه روش کدبندی در جدول ۴ دیده می‌شود. ملاحظه می‌گردد که کوتاهترین زمان اجرای الگوریتم به کدبندی حقیقی اختصاص دارد ولی با توجه به وجود متغیرهای گسسته در مسئله و لزوم گرد کردن جوابهای بدست آمده توسط این روش کدبندی، نتایج این روش بدتر از روشهای دیگر است. روش پیشنهادی در مقایسه با روش کدبندی باینری در مدت زمان کوتاهتر به جوابهای بهتری می‌رسد. لازم به ذکر است که در تمامی شبیه سازی‌های انجام شده بجز موارد ذکر شده در مورد کدبندی حقیقی، ولتاژ همه شینها در محدوده مجاز قرار دارند.

جدول ۴. زمان اجرای الگوریتم ژنتیک

کدبندی	حقیقی	باینری	پیشنهادی
زمان اجرای الگوریتم [s]	۳۹۷/۱۹۳	۵۸۵/۷۳۲	۴۸۱/۹۸۳

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک جدید برای حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو در سیستمهای قدرت ارائه شده است. از آنجا که در توزیع بهینه توان راکتیو هم متغیرهای پیوسته و هم متغیرهای گسسته وجود دارند الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به جای کدبندی حقیقی یا باینری از کدبندی ترکیبی استفاده می‌کند. مزیت این روش کدبندی این است که می تواند از مزیتهای هر دو روش کدبندی حقیقی و باینری استفاده کند و همچنین جواب بدست آمده از این روش کاملا با متغیرهای پیوسته وگسسته موجود منطبق بوده و برای اعمال آن نیازی به تقریب زدن یا گرد کردن جوابها نیست. شبیه‌سازی‌ها بر روی شبکه ۳۰ شینه IEEE انجام شده و کارایی الگوریتم پیشنهادی اثبات شده است. نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی و الگوریتمهای ژنتیک حقیقی و باینری مقایسه شده و نشان داده شده است که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در زمان قابل قبول به نتایج بهتری دست می‌یابد.

۷- مراجع

[1] F. Li, J. D. Pilgrim, C. Dabeedin, A. Chebbo, R. K. Aggarwal, “Genetic algorithm for optimal reactive power compensation on the national grid system”, IEEE transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 1, pp: 493-500, Feb. 2005.

[2] K. Iba, H. Suzuki, K. I. Suzuki, K. Suzuki, “Practical reactive power allocation/operation planning using successive linear programming”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, No. 2, pp: 558-566, May 1988.

[3] V. H. Quintana, M. S. Nieto, “Reactive power dispatch by successive quadratic programming”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 4, No. 3, pp: 425-435, Sep. 1989.

[4] S. Granville, “Optimal reactive power dispatch through interior point methods”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, pp: 136-146, Feb 1994.

[5] Q. H. Wu, Y. J. Cao, J. Y. Wen, “Optimal reactive power dispatch using an adaptive genetic algorithm”, Electrical Power and Energy Systems, Vol. 20, No.8, pp: 563-569, 1998.

[6] G. Krost, G. A. Bakare, “A genetic algorithm based approach for improvement in voltage profile and real power loss minimization”, Electric Power Engineering, PowerTech Budapest 99, 1999 IEEE, 29 Aug.-2 Sep., pp: 153, 1999.

[7] J. Soto, C. Dornellas, D. M. Falcao, “Optimal reactive power dispatch using a hybrid formulation: genetic algorithm and interior point”, Power Tech Proceedings, 2001 IEEE Porto, 10-13 Sep., Vol. 3, pp: 5, 2001.

[8] Y. Liu, J. Zhang, “GA/SA/TS hybrid algorithms for reactive power optimization”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2000 IEEE, Vol. 1, pp: 245-249, July 2000.
[9] A. G. Bakirtzis, P. N. Biskas, C. E. Zoumas, V. Petridis, “Optimal power flow by enhanced genetic algorithm”, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 17, No. 2, pp: 229-236, May 2002.
[10] H. Wei, X. Chumli, Z. Jianhua, H. Shanang, “Study of reactive power optimization based on immune genetic algorithm”, Tran. and Distrib. Conf., 2003 IEEE PES, Vol. 1, pp: 186-190, Sep. 2003