

حل مسأله‌ی پخش بار بهینه در سیستم‌های قدرت به کمک الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچه‌ها

محمدباقر منهج استاد، گروه کنترل، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران menhaj@aut.ac.ir	اشکان رحیمی‌کیان استادیار، قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران تهران، ایران arkian@chamran.ut.ac.ir	فروغ مطلب‌زاده دانشجو، قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران foroogh.motallebzadeh@gmail.com	فرزانه مطلب‌زاده دانشجو، گروه کنترل، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران farzaneh.motallebzadeh@gmail.com
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع در دو قسمت مختلف طراحی بهینه و بهره‌برداری بهینه مطرح می‌گردد [۱]. هدف اساسی که در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد، تلفات اهمی و تعادل بار است [۲].

پروژه موجود را می‌توان بخشی از فاز طراحی بهینه شبکه توزیع در نظر گرفت که در آن توان و ولتاژ ژنراتورها برای حصول کمترین هزینه و کمترین اتلاف خط و در شرایطی که حدود پارامترها و قیود مسأله برقرار بمانند، تعیین می‌شود. همچنین خازن‌های شانت و تپ‌های ترانسفورماتورها نیز به دیگر متغیرهای کنترلی سیستم در نظر گرفته می‌شوند.

در اینجا به منظور مینیمم نمودن اتلاف توان حقیقی خط و هزینه تولید (با رعایت حدود مجاز پارامترهای مسأله) در شبکه ۱۱۸ باس IEEE، از دو روش الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچه‌ها استفاده می‌شود و نتایج با پاسخ‌های بدست آمده از روش‌های کلاسیک (در اینجا توسط نرم‌افزار MATPOWER) مقایسه می‌شود. همچنین بر خلاف بسیاری از روش‌های کلاسیک مرسوم، و از جمله نرم‌افزار فوق، عملکرد شبکه با در نظر گرفتن اثر تولید راکتیو شبکه بهبود بیشتری یافته است.

در ادامه در بخش ۲ به تعریف مسأله و شرح OPF پرداخته خواهد شد؛ بخش ۳، شرح مختصری از دو الگوریتم به کار رفته در این پروژه (GA و AC) را دربر خواهد داشت. بخش ۴ حاوی نتایج شبیه‌سازی و در نهایت بخش ۵، مقایسه و نتیجه‌گیری خواهد بود.

۲- تعریف مسأله و حل OPF

OPF شاید مهمترین تکنیک برای بدست آوردن کمترین هزینه تولید در یک سیستم قدرت با قیود خاص می‌باشد [۳].

چکیده: کمینه‌کردن تلفات خط و هزینه تولید، از جمله مسائلی است که همواره در سیستم‌های قدرت از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این مقاله به بهینه‌سازی شبکه و حل مسأله پخش بار بهینه (OPF) برای شبکه استاندارد ۱۱۸ باس IEEE با روش‌های هوشمند پرداخته می‌شود. برای این منظور، ابتدا از الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده می‌گردد؛ که علاوه بر عملگرهای متعارف، در آن از عملگرهای ویژه مهاجر و نخبه‌گرایی نیز استفاده شده است. سپس الگوریتم کلونی مورچه‌ها به کار برده می‌شود؛ که در این قسمت نیز با استفاده از مدل جدید و کارا تر تبه‌بندی مورچه‌ها، مورچه‌های نخبه وزن بیشتری می‌گیرند در نهایت پاسخی که از این دو روش بدست می‌آید با روش‌های کلاسیک مقایسه و مزیت‌های آن، مانند سرعت همگرایی، کاهش تلفات خط و افزایش انعطاف‌پذیری مسأله مطرح و بررسی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، بهینه‌سازی، پخش بار سیستم‌های قدرت.

۱- مقدمه

مسأله بهینه‌سازی در واقع عبارت است از کمینه‌کردن یک تابع هدف معین با متغیرهای مشخص، در صورتی که جواب در حوزه تعریف شده مسأله باشد و قیود تعریف شده مسأله برقرار بمانند. بزرگترین موانع یک جستجوی بهینه موفق، زمان محاسبات و دیگری عدم همگرایی به جواب بهینه مطلق (global) می‌باشد.

۴- نتایج شبیه سازی

مسئله مورد مطالعه شبکه ۱۱۸ باس IEEE می باشد. برای حل مسئله OPF ابتدا از MATPOWER و سپس ژنتیک الگوریتم و سپس روش کلونی مورچه ها استفاده شده است.

برای انجام شبیه سازی ها از یک سیستم پنتیوم IV، CPU 2.8 GHz و 512 MB RAM استفاده شده است. همه‌ی شبیه سازی‌ها و کد نویسی‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB (version 7.0.0, 2004) انجام پذیرفته است.

۴-۱- MATPOWER

MATPOWER یکی از package های سودمند نرم‌افزار MATLAB می باشد که قابلیت حل مسئله Power Flow (PF) و نیز OPF را دارا است؛ و هدف در آن یک تابع تک منظوره هزینه است. نتایج حل OPF به کمک این نرم‌افزار در جدول (۱) آمده است.

۴-۲- بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

در مسائل OPF، توان اکتیو و راکتیو باس های ژنراتوری (P_G) و (Q_G) و همچنین اندازه و زاویه ی ولتاژ باس ها متغیر هستند و می‌توانند به عنوان متغیر کنترلی (Control Variable) در نظر گرفته شوند.

مسئله مورد بحث، دارای قیودییست که باید توسط الگوریتم در نظر گرفته شوند، مانند حدود مجاز توان های راکتیو و اندازه ولتاژهای غیر ژنراتوری و غیره. برای رعایت قیدهای مسئله، تابعی به نام penalty تعریف می‌کنیم. هرکدام از پارامترهای مسئله، هنگامی که از حدود مجاز خود تجاوز کند، با وزن مخصوص خود روی تابع penalty تأثیر می‌گذارد [۴]. یکی دیگر از توابع هدفی که می‌خواهیم مینیموم سازیم، تابع هزینه می‌باشد. هدف سوم نیز مینیموم کردن تلفات خط (P_{loss}) می‌باشد.

همان طور که بیان شد مسئله مورد بحث یک مسئله‌ی چند منظوره است که در آن همزمان کمینه کردن سه تابع هدف مختلف موردنظر می‌باشد. بدین جهت با دادن وزن های مناسب به هریک از هدف ها مسئله را به یک مسئله تک منظوره تبدیل می‌کنیم.

$$y = 10 * P_{loss} + 3 * Cost + Penalty \quad (2)$$

در حل مسئله، تعداد افراد جمعیت را ۳۰ انتخاب می‌کنیم، که به منظور استفاده از عملگر مهاجر، آن را به ۳ جمعیت ۱۰ تایی تقسیم می‌نماییم. Cross-over از نوع scatter و با درصد ۰.۸۵، mutation از نوع uniform و با نرخ ۰.۰۲، و تعداد elite ها ۲ انتخاب می‌گردد. به منظور رسیدن به جواب خوب و همگرا شده، تعداد نسل های GA را

در حالت کلی، مسئله OPF یک مسئله بهینه سازی غیرخطی، غیر محدب، بزرگ سایز (large scale) و استاتیک می باشد که در آن متغیرهای کنترلی می‌توانند از هر دو نوع پیوسته (مانند توان و ولتاژ ژنراتورها) و گسسته (مانند تپ ترانسفورماتور و خازن های شانت) باشند؛ که این گسسته بودن به پیچیدگی حل مسئله می‌افزاید [۴].

۳- مروری بر GA و ACO

الگوریتم ژنتیک در حوزه های مختلف سیستم های قدرت به کار برده شده است [۵].

نخستین گام در GA، کدکردن اطلاعات می‌باشد. در اینجا هر کروموزوم، دربردارنده‌ی یکی از راه حل های ممکن برای مسئله است. به منظور حفظ بهترین جواب های هر نسل و جلوگیری از نابودی آنها در طی گذر نسل ها، می‌توان از تکنیک نخبه گرایی (Elitist) استفاده نمود. تکنیک دیگر که در صورت استفاده در GA در رسیدن به جواب بهتر بسیار مؤثر است، عمل مهاجرت (migration) می‌باشد. کروموزوم های مهاجر، به کروموزوم هایی اطلاق می‌گردد که با احتمال معینی جای آنهايي که مقدار FF بدی دارند را می‌گیرند.

الگوریتم های (Ant Colony Optimization) ACO (نیز، امروزه درطیف زیادی از مسائل بهینه سازی ترکیبی کاربردهای فراوانی یافته اند [۶،۷].

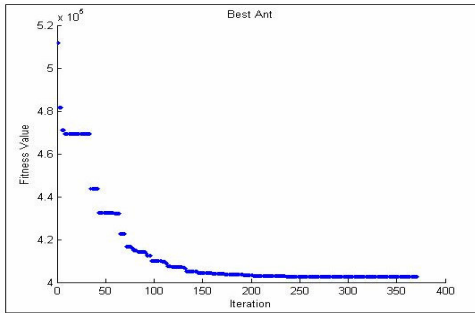
با الهام گیری از رفتار مورچه های طبیعی، طراحی مورچه‌های مصنوعی ممکن گردید [۸]؛ به صورتی که با حرکت مورچه ها بر روی گرافیکی که مدلی از مسئله‌ی فوق است، کوتاه ترین مسیر را بین دو نود مبدأ و مقصد که به ترتیب معرف لانه و غذا هستند، می‌یابند. با استفاده از قوانین احتمالی که بر پایه‌ی اطلاعات محلی بنا شده اند، مورچه ها می‌توانند کوتاهترین مسیر بین دو نقطه را در مسیر خود پیدا کنند [۹]. یکی از فرآیندهایی که با در نظر گرفتن آن از همگرایی زود هنگام مورچه ها به یک مسیر غیر بهینه جلوگیری می‌شود، عمل تبخیر می‌باشد [۱۰]. پس از آن که عمل تبخیر فرمون صورت گرفت، مقدار فرمون

$\Delta \tau^k$ مطابق رابطه (۱) به نودها (یا یال ها) اضافه می‌شود؛ که k شماره‌ی مورچه است:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (1)$$

و $\Delta \tau^k$ مقداری است که با عکس تابع هدف نسبت دارد. یک iteration کامل الگوریتم فوق شامل حرکت مورچه‌ها، تبخیر فرمون ها و ترشح فرمون می‌باشد.

ویرایش دیگری که از (Ant System) AS بوجود آمد، AS_{rank} می‌باشد. در این روش، فقط به تعداد m مورچه‌ی برگزیده بعلاوه‌ی بهترین مورچه، در مسیر فرمون می‌ریزند [۷].



شکل (۲): نمودار عملکرد بهترین مورچه‌ی هر تکرار

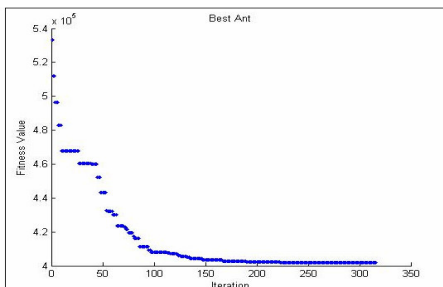
جدول (۱): نتایج

	MATPOWER	GA	ACO
هزینه (\$/hr)	۱۲۹۹۷۶٫۲۱	۱۳۳۲۰۰	۱۳۳۸۷۰
اتلاف توان (MW)	۸۰٫۳۵۷	۷۴٫۷۸۶۰	۷۷٫۱۰۵۸
زمان (min)	۶۷٫۱	۸	۳۰

با تغییر tap ترانسفورماتورهای شبکه، می‌توان نسبت ولتاژ آنها را به میزان دلخواه، تغییر داد؛ همچنین جبران کردن فلووی توان راکتیو می‌تواند به کم کردن اتلاف توان و اصلاح ضریب فاز کمک نماید [۱۱]. یکی از سیستم‌های مفید در این راستا، بانک‌های خازنی شانت با امکان کنترل شدن از راه دور هستند. توان این خازن‌ها می‌تواند به صورت گسسته باشد. با اضافه نمودن ۴ tap changer و ۴ خازن شانت به عنوان CV، تعداد متغیرهای کنترلی به ۴۹ عدد می‌رسد.

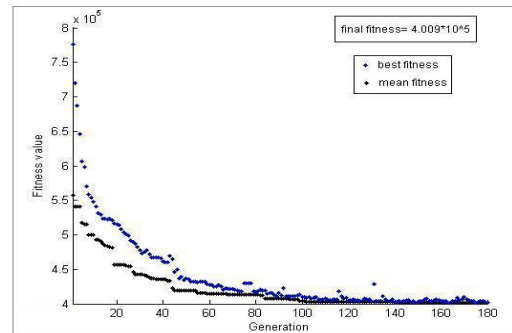
این بار مقدار دو پارامتر m (تعداد مورچه) و w (مورچه‌های نخبه)، به ترتیب برابر ۷۵ و ۳۰ انتخاب شدند. سیستم در ۳۱۶ تکرار همگرا گردید که البته بهترین جواب در تکرار ۳۱۳ ام رخ داد. مشاهده می‌شود که در این حالت تابع هدف بهبود یافته و کم می‌شود. نتیجه در جدول (۲) قابل ملاحظه است.

همچنین نتایج بهترین مورچه در هر تکرار در نمودار شکل (۳) آمده است:



شکل (۳): نمودار عملکرد بهترین مورچه (با تپ و شانت)

برابر ۱۸۰ قرار می‌دهیم. نتایج حاصله در جدول (۱) آمده است. شکل (۱) نیز نتیجه را با جزئیات بیشتری نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمودار عملکرد GA

۳-۴- بهینه‌سازی با کلونی مورچه‌ها

از میان انواع مختلف ACO، در اینجا از AS_{rank} استفاده شده است. در تکرار اول مسأله، مورچه‌ها به صورت رندوم روی سطر اول گراف قرار می‌گیرند. در تکرارهای بعدی، نودها با توجه به میزان فرمون آنها و توسط قوانین احتمالی ذکر شده انتخاب می‌گردند.

در واقع مورچه‌ها در برنامه کامپیوتری، به صورت یک structure هستند که مسیر طی شده شان و fitness آن مسیر در این structure مشخص می‌گردد.

اولین قدم در پیاده‌سازی مسأله به روش ACO، منطبق کردن آن بر روی یک گراف است. در این گراف، هر سطر معرف یک متغیر کنترلی (CV) می‌باشد و هر ستون نمایانگر state (حالت) های مختلف آن متغیر است. تعداد CV ها در این بخش ۴۱ عدد می‌باشد و برای هر متغیر ۲۰ حالت (state)، در حوالی نقطه کار، در نظر گرفته می‌شود.

مورچه‌ها با توجه به مقدار فرمون موجود در نودهای گراف، یک مسیر را انتخاب کرده و سپس با در نظر گرفتن متغیرهای کنترلی بدست آمده، power flow حل شده و تابع هدف محاسبه می‌شود.

مقدار دو پارامتر m (تعداد مورچه) و w (مورچه‌های نخبه)، به ترتیب برابر ۷۵ و ۳۴ انتخاب شدند. سیستم در ۳۷۱ تکرار همگرا گردید که البته بهترین جواب در تکرار ۳۶۷ ام رخ داد. نتیجه در جدول (۱) آمده است.

نتایج بهترین مورچه در هر iteration در نمودار شکل (۲) آمده است:

- [3] Nayac, A.S; Pai, MA. "Congestion Management in Restructured Power Systems Using an Optimal Power Flow Framework". Masters Thesis and Project Report, Power System Engineering, Electrical and Computer Engineering, University of Illinois at Urbana- Champaign, 2002.
- [4] Bakirtzis, A.G.; Biskas, P.N.; Zoumas, C.E.; Petridis, V. "Optimal Power Flow by Enhanced Genetic Algorithm". *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 229-236, May 2002.
- [5] Miranda, Valdimiro; Ranito, J.V.; Proenca, L.M. "Genetic Algorithms in Optimal Multistage Distribution Network Planning". *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 1927-1933, Nov. 1994.
- [6] Foong, W.K.; Maier, H.R; Simpson, A.R. "Ant Colony Optimization for Power System Plant Maintenance Scheduling Optimization". Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 25-29 June 2005), Washington, DC, USA.
- [7] Dorigo, Marco; Stuetzle, Thomas. Ant Colony Optimization. 1st ed. Cambridge: MIT press, 2005.
- [8] Dorigo, Marco; Maniezzo, Vittorio; Colomi, Alberto. "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents". *IEEE Trans. Systems, man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol. 26, no. 1, Feb. 1996.
- [9] Dorigo, Marco; DiCaro, Gianni; Gambardella, L.M. "Ant Algorithms for Discrete Optimization". To appear in *Artificial Life*, MIT press, 1999.
- [10] Andrea Roli. "Ant Colony Optimization". AEROnews, vol. 2, no. 3, pp. 1-3, Autumn 2002.
- [11] Augugliaro, A.; Dusonchet, L.; Favuzza, S.; Sanseverino, E.R. "Voltage Regulation and Power Losses Minimization in Automated Distribution Networks by an Evolutionary Multiobjective Approach". *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 1516-1527, Aug. 2004.

جدول (۲): نتایج حاصله توسط ACO (با تب و شانت)

هزینه (\$/hr)	۱۳۳۵۹۰
اتلاف توان (MW)	۷۶.۳۱۴۳
زمان (min)	۲۹.۲

۵- مقایسه و نتیجه گیری

در اینجا برای حل مسئله OPF و به منظور کمینه کردن اتلاف توان حقیقی خط و هزینه تولید (با رعایت حدود مجاز پارامترهای مسئله) در شبکه ۱۱۸ باس IEEE، دو روش هوشمند الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچه ها به کار برده شد.

نرم افزار MATPOWER که از روش های کلاسیک برای حل مسئله فوق استفاده می نماید، تنها برای شبکه های کوچک مناسب می باشد و با بزرگ شدن ساینز شبکه، علاوه بر زیاد بودن میزان تلفات حاصله خط، زمان همگرایی نیز به شدت افزایش می یابد، تا جایی که استفاده از این روش برای شبکه های بسیار بزرگ چندان معقول نیست. از سوی دیگر، زمان همگرایی در GA بسیار کم بوده و اتلاف توان نیز در آن نسبت به دو روش دیگر کمتر می باشد. در مقابل، روش کلونی مورچه ها از انعطاف پذیری و robustness بیشتری برخوردار است و اعمال هرگونه تغییر در آن با تغییر اندازه گراف مربوط به آن به راحتی قابل اجراء است.

بنابراین در شبکه های بزرگی که پارامتر زمان بسیار حائز اهمیت می باشد، الگوریتم ژنتیک مناسب ترین روش بوده و در مسائلی که علاوه بر زمان، انعطاف پذیری نیز مهم می باشد، الگوریتم کلونی مورچه ها پیشنهاد می گردد.

همان طور که مشاهده شد، با اضافه نمودن تپ های ترانسفورماتورها و خازن های شانت به عنوان المان های کنترلی، نتیجه حاصله از ACO بهبود قابل توجه ای یافته و زمان همگرایی نیز کاهش یافت.

در مجموع می توان گفت الگوریتم های ژنتیک و کلونی مورچه ها، می توانند در شبکه های بزرگ جایگزین مناسبی برای روش های کلاسیک محسوب گردند.

۶- مراجع

- [۱] فریدونیان، علیرضا. "بهینه سازی و اتوماسیون هوشمند سیستم های توزیع بوسیله شبکه های عصبی". پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

- [2] Vlachogiannis, J.G.; Hatzigryriou, N.D.; Lee, K.Y. "Ant Colony System-Based Algorithm for Constrained Load Flow Problem". *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1241-1249, Aug. 2005.