Optimal Reactive Power Dispatch in Power Networks utilizing a Combined Method of Average Fuzzy Clustering Algorithm and Opposition-based Gravitational Search Algorithm A. Shokati Poursani¹, A. Dehestani Kolagar², P. Rabbanifar³

¹ Dept. of Electrical Engineering, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran ² Dept. of Electrical Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran ³ Dept. of Electrical Engineering, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran,

Iran

Abstract:

Reactive power management is essential for transferring real power and supporting power network security. Therefore, it is important to present a correct and possible method for pricing of reactive power in electricity markets. Optimization and reactive power dispatch is performed by solving continuous variables problems (i.e., generator busbars voltages), discrete variables such as transformer tap-changers, and the size of the parallel switching capacitors in power systems. In this paper, optimization of reactive power dispatch has been performed with combined method of average fuzzy of clustering algorithm and oppositionbased gravitational search algorithm. Moreover, in line with the aim of minimizing the power loss, total voltage deviation and improving voltage stability criteria have been carried out. Also, the potential of the proposed method and their effectiveness for solving reactive power dispatch optimization problems in power systems have shown in this study. Optimization results show that the combined method of average fuzzy clustering algorithm and oppositionbased gravitational search algorithm have improved parameters such as convergence time, voltage stability criteria, absolute value of total voltage deviation, and the total loss of the transmission lines.

Keywords: Optimal Reactive Power Dispatch, Gravitational Search Algorithm, Oppositionbased Learning, Combined Method of Average Fuzzy Clustering Algorithm and Oppositionbased Gravitational Search Algorithm.

۱- دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی برق- دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب – تهران – ایران ashkan.asp@gmail.com
 ۲- استادیار، دانشگاه صنعتی مالکاشتر – تهران – ایران
 a_dehestani@mut.ac.ir
 ۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز – تهران – ایران
 Prabbanifar@gmail.com

چكیده: مدیریت توان راكتیو، امری ضروری برای انتقال توان حقیقی و تأمین امنیت شبكهٔ قدرت است؛ ازاینرو، در بازار برق ارائهٔ روش صحیح و ممكن برای قیمتدهی توان راكتیو اهمیت دارد. توان راكتیو در شبكههای انتقال، بیشتر با تلفات انتقال، ظرفیت انتقال و پایداری ولتاژ مرتبط است كه اساسیترین مسائل د. بهینه سازی و پخش توان راكتیو در سیستمهای قدرت، با حل مسئله متغیرهای پیوسته مانند ولتاژ شینهای ژنراتور و متغیرهای گسسته مانند تپ ترانسفورماتورها و اندازهٔ خازنهای موازی سوئیچ شونده انجام می شود. در این مقاله، بهینه سازی پخش توان راكتیو بر سیستم ۲۰ شینه و ۱۱۸ شینه IEEE با استفاده از طراحی كنترل كننده ها با الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و روش تركیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و مقایسهٔ خروجی ها و نتایج آنها انجام شده است. همچنین پتانسیل روش پیشنهادی و اثر بخشی آن برای حل مسائل بهینه سازی پخش توان راكتیو سیستم ها در نشان داده شده است. تایچ بهینه سازی نشان می در كیبی آن الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و روش تركیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم برای حل مسائل بهینه سازی پخش توان راكتیو سیستم ۶۰ شیاه داده شده است. تو به مین این می می می می بر کیبی الگوریتم می می توان و اثر بخشی آن مرای حل مسائل بهینه سازی پخش توان راكتیو سیستم مای قدرت نشان داده شده است. تایچ بهینه سازی نشان می دهند روش تركیبی مالگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد، پارامترهایی مانند زمان همگرایی، شاخص ثبات ولتاژ و قدر مطلق انحراف ولتاژ را بهبود می خشند و میزان تلفات كل خط انتقال را كاهش می دهند.

واژههای کلیدی: پخش بهینهٔ توان راکتیو، الگوریتم جستجوی گرانشی، یادگیری بر پایهٔ تضاد، روش ترکیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد

۱ – مقدمه

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲٬۰٤/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲٬۱۲/۰۷ نام نویسندهٔ مسئول: آرش دهستانی کلاگر نشانی نویسندهٔ مسئول: ایران – تهران – دانشگاه صنعتی مالکاشتر – گروه مهندسی برق

امروزه با افزایش روزافزون مصرف توان، سیستمهای قدرت، بارگذاری سنگینتری نسبت به گذشته قرار داشتهاند؛ اما افزایش ظرفیتهای تولید و انتقال به علت قیود محیطی و منابع، محدود شده است. گسترشیافتن و پیچیدهترشدن شبکههای قدرت و تحولاتی چون تجدید ساختار و خصوصی سازی در صنعت برق موجب شده است سیستمهای قدرت به سمت بهرهبرداری اقتصادی و رقابتی شدن تولید سوق پیدا کنند و بدین ترتیب، مسئلهٔ پخش توان راکتیو، یکی از زمینههای مهم در مطالعه

بهينهسازي توان راكتيو به كمك الگوريتم فازي، كلوني زنبور عسل [18-١٦] و الگوريتم تكامل ديفرانسيل [١٧]، تركيب الگوريتم كلوني زنبور عسل و تكامل ديفرانسيل [۱۸] به دست مــیآیـد کـه در آن، پارامترهـای سـاختار و شرايط بار شبكهٔ انتقال براي پيداكردن راهحل مطلوب پخش بهینـهٔ تـوان راکتیـو اسـتفاده مـیشـوند [۱۹]. روشهـای پیشنهادی در برنامهریزی و بهینهسازی توان راکتیو در جهت هماهنگی منابع راکتیو موجود (ازجمله خازنهای موازی و تنظیمات تپ ترانسفورماتورهای تنظیمشده که به کاهش تلفات و هزینههای بهرهبرداری اقتصادی از سیستم منجر خواهد شد) استفاده شده است. همچنین برای حل مسائل بهینهسازی پخش توان راکتیو، این روش ها بـرای غلبـه بـر معایب الگوریتمهای سنتی به کار گرفته شدهاند. در این مقاله، پخش توان با استفاده از طراحی کنتـرلکننـدههـا بـا الگوريتم جستجوي گرانشي و الگوريتم جستجوي گرانشي بر پایهٔ تضاد و روش ترکیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد روی سیستم ۳۰ شینه و ۱۱۸ شینه IEEE انجام شده و بـا مقایسـهٔ پتانسـیل روش پیشنهادی و اثربخشی آن برای حل مسائل بهینهسازی پخش توان راکتیو سیستمهای قدرت نشان داده شده است.

۲ – تعریف مسئله

در سیستمهای قدرت، هدف اصلی از پخش بهینهٔ توان راکتیو(ORPD)³، شناسایی تنظیمات بهینهٔ متغیرهای کنترل است. از اهداف مهم توزیع بهینهٔ توان راکتیو، کمینهسازی تابع هدف داده شده به صورت اتلاف خط انتقال کل ploss) (و یا قدر مطلق انحراف ولتاژ کل (TVD) یا بهبود شاخص ثبات ولتاژ (VSI) است؛ البته تا زمانی که الزامات و محدودیتهای سیستم در نظر گرفته شود.

۱-۲ کمینهسازی اتلاف توان اکتیو

با تأمین توان راکتیو در محل مصرف مشترکان، جریان عبوری از خط کاهش و درنتیجه تلفات خط کاهش مییابد. همچنین با داشتن طول دورهٔ مطالعهشده، میرزان کهش تلفات انرژی نیز محاسبه میشود. کاهش تلفات در زمان پیک بار شبکه منفعت درخور توجهی به همراه دارد و با سیستمهای قدرت است. هدف اصلی از بهینهسازی پخش توان راكتيو براى شناسايي تنظيمات بهينهٔ متغيرهاي كنترل، كمينهسازي تلفات خط انتقال كل، قدر مطلق انحراف ولتاژ کل '(TVD) و نیز بهبود شاخص ولتاژ ^۲(VSI) تا زمان در نظر گرفتن رضایت و محدودیتهای سیستم است. با توجه به اینکه تحقیق صورت گرفته از الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد (OGSA)⁷، برای حل مسائل بهینهسازی پخش توان راکتیو در سیستمهای قدرت استفاده شده است [۱]، الگوریتم جستجوی گرانشی [۲] با رویکرد درنظرگیری همزمان ورودي داده همراه با قرينه ورودي داده بـهمـراه الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد [۳] روی سیستم استاندارد ۳۰ شین IEEE پیادهسازی شده است. مروری بر روش های استفاده شده در گذشته و مقایسهٔ نتایج بهدستآمده با دیگر روشهای مبتنی بر هوش محاسباتی و نتايج بهينهسازي مربوطه نشان مردهد اين الكوريتم پارامترهای پاسخ زمانی را بهبود میبخشد و شاخص ثبات ولتاژ، قدر مطلق انحراف ولتاژ و ميزان تلفات خط انتقال كل را کاهش میدهد [۲–۶]. در حالت کلی برنامهریزی توان راکتیو دو مسئلهٔ محلیابی و بهرهبرداری را شامل میشود. مسئلهٔ محل یابی، تعیین نوع، اندازه و محل منابع جدید توان راکتیو در سیستم است [۷]؛ درحالیکه مسئلهٔ بهرهبرداری بر تنظیم بهینهٔ منابع موجود توان راکتیو در شبکه تأکید دارد. ولتاژ شينای کنترلشده، تب ترانسفورماتورهای با قابليت تغيير تپ در زير بار و اندازهٔ خازنهای موازی، پارامترهايی هستند که لازم است در مسئلهٔ توزیع توان راکتیو تنظیم شوند [۸-۱۰]. در حل مسئلهٔ پخش توان راکتیو فـرض بـر این است که پخشبار اقتصادی صورت گرفته است [۱۱] و میزان تولید توان حقیقی با هر ژنراتور مشخص است. اگر مسئلهٔ پخش توان اقتصادی در نظر گرفته شود، با بزرگترشدن سیستم قدرت، فضای جواب مسئله به سرعت، بزرگ و پیچیده میشود. در گذشته نیز، روشهایی مبتنی بر هوش محاسباتی مانند الگوریتم ژنتیک [۱۲] و نیز پخش بهینهٔ توان راکتیو با یک استراتژی هـدف جدیـد بـا استفاده از چندین هدف [۱۳]، برای پیداکردن راه حل مطلوب پخش توان راکتیو با توجه به محدودیت های عملياتي ژنراتور ارائه شدهاند.

کاهش تلفات در پیک بار نیروگاهها توان تولیدی ژنراتورها کاهش مییابد درنتیجه، به تولید کمتر نیاز میشود؛ ضمن اینکه با افزایش مشترکان، احداث نیروگاههای جدید به تعویق میافتد و در هزینه صرفهجویی میشود. هدف از بهینهسازی توان راکتیو، کمینهسازی اتلاف توان اکتیو در شبکههای انتقال است.

۲-۱-۲ محدودیتهای برابری

کل تولید برق میباید ضمن برآوردهکردن تقاضای کل بار، تلفات توان اکتیو را در خطوط انتقال نیز پوشش دهـد. محدودیت های برابری اکتیو و توان راکتیو در هر شین بـه شرح زیر تعریف می شود.

minimize
$$P_{loss} =$$

$$f(x_1, x_2) = \sum_{K \in N_E}^{\infty} g_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}) \qquad (1)$$

$$P_{G_i} - P_{D_i} = v_i \sum_{j \in N_i} (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}), \ i \in N_0$$

$$(\Upsilon)$$

$$Q_{G_i} - Q_{D_i} = v_i \sum_{j \in N_i} (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}), \ i \in N_{PQ}$$
(Υ)

در روابط (۱)، (۲) و (۳)، $f(x_1, x_2)$ تابع عملکرد تلفات توان اكتيو شبكة انتقال را نشان مي دهد، للم مجموعه بردار کنترل $\begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{V}_G, \mathbf{T}_K, \mathbf{Q}_C \end{bmatrix}^T$ بردار متغیر وابسته است. $T_{K}\,$ بردار ولتاژ ژنراتور به جز ولتاژ شين مرجع است، V_{G} بردار تـپ ترانسفورماتور (عـدد صـحيح)، Q_c بـردار خازنهای موازی (عدد صحیح) و V_{L} بردار ولتاژ شین بار، و K = (i, j) تعداد شاخه های شبکه، $i \in N_B$ و N_E رسانایی شاخه k است، θ_{ii} اختلاف زاویه g_{K} , $j \in N_{i}$ ولتاژ بین شینهای *i* و *j*؛ و P_{G_i} توان اکتیو تزریقی ژنراتور در شين i است. همچنين P_D توان اکتيو درخواستي در شين قسمت حقیقی ادمیتانس و B_{ij} سوسپتانس یعنی قسمت موهومی ادمیتانس بین شینههای *i و j* هسـتند. Q_{G_i} تـوان راکتیو تزریقے ژنراتـور در شـین iام و Q_{D_i} تـوان راکتیـو در خواستی در شین i است. همچنین N_{PO} تعداد شینههای PQ است که شینههایی با توان اکتیـو و راکتیـو متغیرهـای معلوم و جریان و ولتاژ متغیرهای مجهول است و N_B نیز

مجموع تعداد شین ها و N₀ مجموع شین ها به جـز شـین مرجع (اسلک) است. درمجموع، ایـن معـادلات غیر خطی است که با استفاده از روش نیوتون – رافسون حل می شوند که در شـکل (۱) رونـدنمای پخـش بـار بـه روش نیـوتن رافسون آورده شده است.



شکل (۱): فلوچارت پخش بار به روش نیوتن رافسون [۲۲-۲۳]

۲-۱-۲ محدودیت ظرفیت ژنراتور

محدودیت ظرفیت ژنراتور برای تولید و ثبات ولتاژ خروجی ژنراتور و ولتاژ شینه مقید به حدود ولتاژ، قیود زیر را شامل میشوند؛ تا جایی که از محدودههای مشخص شده با $Q_{G_i}^{\max} \ Q_{G_i}^{\min}$ و V_i^{\min} و مراتر نروند.

$$Q_{G_i}^{\min} \le Q_{G_i} \le Q_{G_i}^{\max} \qquad i \in N_G$$

$$(\varepsilon)$$

$$Q_{C_i}^{\min} \le Q_{C_i} \le Q_{C_i}^{\max} \qquad i \in N_C$$
(6)

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \qquad \qquad i \in N_B$$
 (7)

در رابطه های (٤) و (٥) و (٦)، N_c تعداد شینه هایی است که منبع توان راکتیو بانک خازنی p_c روی آنها نصب شده است. N_G تعداد شینی است که به توان راکتیو ژنراتور Q_{Gi} متصل شده است. درنهایت، N_T تعداد شینه هایی است که ترانسفور ماتور به آنها متصل شده است. همچنین در شکل (۲) منحنی محدودیت ظرفیت ژنراتور نیز آورده شده است. در این منحنی، هزینه بهرهبرداری بر حسب محدودهٔ مجاز توان راکتیو ژنراتور نمایش داده شده است.



شکل (۲): منحنی محدودیت ظرفیت ژنراتور [۲۱]

۲-۱-۲ محدودیت جریان خط

به سبب اینکه خطوط انتقال، محدودیت ظرفیت عبور جریان دارند، در زمان ناپایداری، یکی از مهمتیرین محدودیت های سیستم همین مسئله است و در این رابطه پخش توان راکتیو، روش حل طبق (۷) پیشنهاد می دهد که در این رابطه، _۲ میزان شارش توان در انشعاب *I* و علامت "max" نشان دهندهٔ حد بالا، به معنای حداکثر مقدار مجاز این کمیت است.

$$S_l \leq S_l^{\max} \qquad \qquad l \in N_l \qquad \qquad (\mathsf{V})$$

۲-۱-۲ محدودیت تنظیمات تپ ترانسفورماتور حد بالا و حد پایین برای تنظیمات تپ ترانسفورماتور طبق رابطه (۸) در نظر گرفته می شود.

$$T_{K}^{\min} \leq T_{K} \leq T_{K}^{\max} \qquad \qquad k \in N_{T} \qquad \qquad (A)$$

۲-۲ کمینهسازی انحراف ولتاژ کل

کمینه سازی انحراف ولتاژ کل مشخصات ولتاژ را بهبود می دهد و موجب ایمن ترشدن عملکرد سیستم قدرت می شود. این تابع هدف به شرح رابطه (۹) است که _{NL} تعداد شین های بار سیستم قدرت و V^{ref}مقدار مطلوب ولتاژ *ا*مین شین است که برابر ۱/۰ پریونیت در نظر گرفته می شود.

$$minimizeTVD = \sum_{i \in N_l} \left| v_i - v_i^{ref} \right| \tag{4}$$

۲-۲ بهبود شاخص ثبات ولتاژ

پایداری ولتاژ، توانایی سیستم قدرت برای حفظ ولتاژ شین بهطور مداوم در مقدار مطلوب آن در شرایط بهرهبرداری نامی است. مسئلهٔ پایداری ولتاژ ارتباط تنگاتنگی با توان راکتیو سیستم دارد و تأمین آن با کمینهسازی شاخص ثبات ولتاژ (L) با هدف بهبود آن و دور نگهداشتن سیستم از نقطهٔ فروپاشی ولتاژ، انجام می گیرد. شاخص ثبات ولتاژ را بهصورت رابطه (۱۰)

 $L = \min(l_{\max}) = \min(\max(L_K))$ where...k = 1, 2, ..., N_L

که در آن *L_k*نشاندهندهٔ ولتاژ پایداری (شاخصL) از گره klم است و بهصورت رابطه (۱۱) ارائه میشود.

$$L_{K} = \left| 1 - \sum_{i \in N_{G}} F_{ji} \frac{V_{i}}{V_{j}} \angle \{ \alpha_{ij} + (\delta_{i} - \delta_{j}) \} \right| \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)، _{آپ} مؤلفه های ماتریس به دست آمده با وارون سازی جزئی ۲_{Bus} است و به صورت زیر به دست می آید:

$$F_{ji} = -\left[Y_{jj}\right]^{-1}\left[Y_{ji}\right] \tag{11}$$

که در آن:

 $(1 \cdot)$

$$\begin{bmatrix} Y_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 \\ y_3 & y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{PQ} \\ v_{PV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{PQ} \\ I_{PV} \end{bmatrix}$$
(17)

و V_{PQ} و V_{PQ} ولتاژ شینای PV و PQ؛ و I_{PQ} و V_{PQ} نیز a_{ij} (۱۱) شین PV و PQ است. همچنین، در رابطه (۱۱) هوش محاسباتی در مهندسی برق، سال هشتم، شماره چهارم، زمستان ۹۲ زاویه فاز جمله _{ij} است و _i۶ و _i۶ نیز بهترتیب زاویه فاز ولتاژ شینهای ilم و زام است.

۳- بهینهسازی به روش ترکیبی فازی میانگین الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد

با بزرگشدن مسایل و اهمیتیافتن سرعت رسیدن به پاسخ، روش های کلاسیک کارایی لازم را نداشتند و از الگوریتم های جستجوی تصادفی به جای جستجوی همه جانبه فضای مسئله استفاده می شود. در ادامه ترکیب منطق فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد برای بهینه سازی توان راکتیو و چگونگی عملکرد آن تشریح می شود.

۱–۳ الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد

معمولاً وقتی هیچ اطلاعی از راه حل نباشد، همیشه الگوریتم با یک جمعیت اولیهٔ تصادفی آغاز می شود. واضح است زمان محاسبات الگوریتم مستقیماً به فاصله حدس زده شده از نقطهٔ بهینه بستگی دارد. برای بهبود انتخاب به طور همزمان قرینهٔ نقطه ای، جواب اولیهٔ حدس زده شده در نظر گرفته شد. با این عمل یکی از دو انتخاب (حدس اولیه و یا قرینه آن)، جواب اولیه نزدیکتر به جواب بهینه در نظر گرفته می شود و از آن نقطه شروع می شود. درواقع طبق نظریهٔ احتمالات در ٥٠ درصد شرایط، حدس اولیه نقطهٔ قرینه آن نسبت به جواب بهینه است. شروع از نقطهٔ قرینه می سبب افزایش سرعت همگرایی الگوریتم می شود. الگوریتم جستجوی گرانشی، الگوریتم اکتشافی است که با الهام از قانون گرانشی و حرکتی نیوتن به دست آمده است.

در این الگوریتم، عامل ها، اشیا و عملکرد آنها، جرمها در نظر گرفته می شود. تمام این اشیاء با نیروی جاذبه به سمت یکدیگر کشیده می شوند و این نیروها به حرکت عمومی تمام اشیاء به سمت اشیاء با جرم سنگینتر منجر می شوند. برای توصیف این الگوریتم یک سیستم با تعداد جرم N_P، درنظر گرفته می شود که مکان جرم *i*ام به صورت رابطه (12) تعریف می شود.

$$x_i - (x_i^1, ..., x_i^d, ..., x_i^n)$$
 for $i = 1, 2, ..., N_p$ (12)

که در آن، x_i^d موقعیت جرم *i*ام در بُعد *b*ام؛ و n نیز بُعد فضای جستجو است. جرم هر عامل بعد از محاسبه برازندگی جمعیت جاری محاسبه می شود که نحوهٔ محاسبه آن در روابط (۱۵) و (۱۲) آورده شده است.

$$m_i = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)}$$
(10)

$$m_{i}(t) = \frac{m_{i}(t)}{\sum_{i=1}^{N_{p}} m_{i}(t)}$$
(17)

در روابط فوق، $m_i(t) = m_i(t)$, به ترتیب معرف جـرم و مقدار برازندگی عامل *i*ام در مرحله *t* است و برای مسئلهٔ حداقل سازی، worst(t) = best(t) نیـز بـا روابـط (۱۷) و (۱۸) تعریف می شوند.

$$best(t) = \min_{i \in \{1, \dots, N_p\}} fit_i(t)$$
(1V)

$$worst(t) = \max_{i \in \{1, \dots, N_p\}} fit_i(t)$$
(1A)

نیروی کل اعمال شده بر یک عامل از طرف مجموعه ای از اجرام سنگین تر باید بر پایهٔ قانون گرانش، طبق رابطه (۱۹) در نظر گرفته شود. در ادامه مقدار شتاب، طبق قانون حرکت، از رابطه (۲۰) محاسبه می شود. پس از آن، سرعت آتی یک عامل، طبق رابطه (۲۱) به صورت حاصل جمع کسری از سرعت فعلی آن و میزان شتاب آن محاسبه می شود. درنهایت، موقعیت بعدی عامل با رابطه (۲۲) به دست می آید.

$$F_{i}^{n}(t) = \sum_{j \in kbest, \ j \neq i}^{N_{p}} rand_{j} \times G(t) \times M_{i}(t) \times M_{i}(t)$$
(19)

$$\frac{M_i(t) \times M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \times (x_j^n(t) - x_i^n(t))$$

$$a_{i}^{n}(t) = \frac{F_{i}^{n}(t)}{M_{i}(t)} = \sum_{j \in kbest, \ j \neq i}^{N_{p}} rand_{j} \times G(t) \times$$

$$M_{i}(t) \qquad (\Upsilon \cdot)$$

$$\frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \times (x_j^n(t) - x_i^n(t))$$

$$v_i^n(t+1) = rand_i \times v_i^n(t) + a_i^n(t)$$
(Y1)

$$x_i^n(t+1) = x_i^n(t) + v_i^n(t+1)$$
(YY)

در روابط فوق، i rand و i rand دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [.,1]، و π نیز دارای مقدار ناچیزی است. همچنین، $(r)_{ij}$ فاصلهٔ اقلیدسی بین عامل های iام و jم، و Kbest نیز مجموعه اولین k عامل با بهترین برازندگی و بیشترین جرم است که تابعی از زمان است. به این صورت که در ابتدا K_0 در نظر گرفته می شود و با گذر زمان کاهش می یابد. در این مقاله، در ابتدا K_0 برابر با N_p زمان کاهش می یابد. در این مقاله، در ابتدا کاهش می یابد. تابت گرانش (f(r)مقدار اولیه $(r)_0$ را به خود می گیرد و طبق رابطه (۲۳) با زمان کاهش خواهد یافت.

 $G(t) = G_0 \times e^{-\tau \left(\frac{iter}{iter.\max}\right)}$ (۳۳) مقدار ۱۰۰ را برای G_0 و مقدار ۱۰ را برای τ در نظر گرفته می شود و همچنین iter و iter.max نیز به ترتیب شماره تکرار فعلی و تعداد کل تکرارها هستند. الگوريتم جستجوى گرانشى بر پايهٔ تضاد به شرح زير است: مرحله ۱: خواندن پارامترهای سیستم قدرت و نیز پارامترهای حاصل از الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و سپس تعیینکردن حدهای پایین و بالای هر متغیر. مرحله ۲: مقداردهی اولیهٔ مبتنی بر جمعیت (P₀). مرحله m: مقداردهی اولیهٔ جمعیت بر پایهٔ تضاد (OP_0). مرحله٤: انتخاب تعداد N عضو از مناسب ترین اعضای مجموعه {P_0,OP_0}، به عنوان جمعيت اوليه P_0. مرحله٥: ارزیابی برازندگی عامل ها با استفاده از تابع هدف مسئله، بر پايهٔ نتايج حاصل از پخش بار به روش نيوتن -ر افسو ن. مرحله ٦: بهروزرسانی M_i(t) براساس (١٥) و (١٦)، اب اساس (۱۸) و worst(t) براساس (۱۸) و best(t) $i = 1, 2, 3, ..., N_p$ برای (۲۳)، برای G(t)مرحله٧: محاسبة كل نيروها در جهات مختلف با استفاده از .(19) مرحله ٨: محاسبة شتاب با استفاده از (٢٠) و محاسبه سرعت با استفاده از (۲۱). مرحله ٩: به روزسانی موقعیت عامل ها با به کار گیری (۲۲)

مرحله۱۰: بررسی کردن محدودیتهای مسئله. مرحله۱۰: بررسی کردن محدودیتهای مسئله. مرحله۱۱: جهش نسل بر پایهٔ تضاد.

مرحله۱۲: رفتن به مرحلهٔ ۵ تا زمانی که معیار توقف برقرار شود.

۲-۳ روش ترکیبی فازی – الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد

در این روش، تابع هدف در فضای فازی میانگین ایجاد می شود. سپس اطلاعات ورودی بهعنوان دادههای ورودی به تابع هدف وارد می شوند. با استفاده از الگوریتم فازی و با توجه به تابع هدف و محدودیت ها و قیود تابع هدف، محاسبات خود را انجام میدهند و خروجی بهدست آمده در فضاي الگوريتم فازي با توجه به منطق فازي، بهترين خروجي را به مرحلهٔ بعد راهنمایی میکنند. خروجیها وارد الگوریتم جستجوى گرانشي بر پايهٔ تضاد مي شوند و به صورت خودکار بهینهسازی دادههای عددی خروجی الگوریتم فازی را انجام میدهند. روش مشارکتی از الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد، برای بهینهسازی پارامترهای خاص سیستم فازی و یا پیش پردازش داده و استخراج قوانین فازی از دادهها استفاده می کند. الگوریتم جستجوی گرانشی، پارامترهای خروجی الگوریتم فازی را میخواند و از روش بر پایهٔ تضاد، حدهای پایین و بالای هـر متغیـر را مشـخص مـیکنـد. مقداردهی اولیه مبتنی بر جمعیت (P0) و مقداردهی اولیه جمعیت بر یایهٔ تضاد (OP_0) و همچنین انتخاب N_p مناسب از مجموعه {Po, OPo} به عنوان جمعیت اولیه (Po)، ارزیابی مناسب و ادامه روند نقطهیابی بهینه به صورت دقیق انجام می شوند و خروجی های بهینه سازی شده با سرعت و دقت زیادی به دست می آیند.

٤- نتایج بهینهسازی پخش توآن راکتیو

مسئلهٔ کنترل توان راکتیو به صورت سه هدف کمینه سازی اتلاف توان اکتیو، کمینه سازی انحراف ولتاژ کل و بهبود شاخص تُبات ولتاژ روی سیستم ۳۰ شین IEEE بررسی می شود.

IEEE معرفی و توصیف سیستم ۳۰ شین در این پژوهش برای به دست آوردن دادههای اولیه و

در این پژوهس برای به دست آوردن دادههای اولیـه و ورودی، سیستم ۳۰ شین بهعنوان سیستم نمونه (۱) بهطـور

استاندارد، از نرمافزار Matlab نسخه R2016b و نرمافزار جانبی Matpower نسخه ۶٫۱ و سختافزار رایانه ۲٫۸۳ GHz، استفاده شده است. ورودی های سیستم ۳۰ شین به روش پخشبار نیوتن رافسون استخراج شده است. در این سیستم شین شماره ۱، شین مرجع در نظر گرفته شده است. جدول (۱) اطلاعات مربوط به سیستم ۳۰ شین IEEE را نشان می دهد.

جدول (۱): شرح تست سیستم ۳۰ شین IEEE

تعداد	شرح اطلاعات
٣.	تعداد شين (N _B)
٦	تعداد ژنراتور (N _G)
٤	تعداد ترانسفورماتور (N _T)
٩	(N_Q) تعداد شنت
74	تعداد بار
٤١	(N_E) تعداد شاخه
٦.	محدوديتهاي برابر
170	محدوديتهاي نابرابر
19	متغييرهاي كنترل
٦	متغیرهای گسسته
$\cdot/9 < T < 1/1$	تپ ترانسفورماتور
$\cdot < Q_{c} < o$	متغيير بانکهای خازنی
0/77.	تلفات کل (مگا وات)
·/0/////	انحراف ولتاژ (پريونيت)

کمترین دامنهٔ ولتاژ در شین ۸ با ۹۹،۱۰ پریونیت و بیشترین دامنهٔ ولتاژ در شین ۱ با ۱٬۰۰۰پریونیت است و کمترین زاویهٔ ولتاژ در شین ۱۹ با ۹۰/۲ – درجه و بیشترین زاویهٔ ولتاژ در شین ۱۳ با ۱/۶۸ درجه و بیشترین تلفات توان اکتیو در خط بین شینای ۲ و ۲ با ۱/۲۰ کیلو وات است و بیشترین تلفات توان راکتیو در خط بین شینای ۱۲ و ۱۳ با ۲/۱۰ کیلو وار است. تقاضای کل توان اکتیو سیستم ۸/۹۸ کیلو وار است. شکل (۳) سیستم ۳۰ شین IEEE را نشان میدهد.



شکل(۳): سیستم ۳۰ شین IEEE

IEEE در این پژوهش برای به دست آوردن دادههای اولیه و در این پژوهش برای به دست آوردن دادههای اولیه و ورودی، سیستم ۱۱۸ شین بهعنوان سیستم نمونه شماره ۲ بهطور استاندارد، از نرمافزار Matlab نسخه Matlab و نرمافزار جانبی Matpower نسخه ۶٫۱ و سختافزار رایانه ۱۸۸ نمین مرافزار جانبی Matpower نسخه ۶٫۱ نین به روش پخشبار نیوتن رافسون استخراج شدهاند. در این سیستم شین شماره ۲۹ شین مرجع در نظر گرفته شده است. جدول (۲) اطلاعات مربوط به سیستم ۱۱۸ شین IEEE را نشان میدهد.

تعداد	شرح اطلاعات
114	تعداد شين (N _B)
٥٤	تعداد ژنراتور (N _G)
٩	تعداد ترانسفورماتور (N _T)
١٤	(N_Q) تعداد شنت
٩٩	تعداد بار
١٨٦	(N_E) تعداد شاخه
۲۳٦	محدوديتهاي برابر
٥٧٢	محدوديتهاي نابرابر
VV	متغييرهاي كنترل
71	متغيرهاي گسسته
$\cdot/9 < T \leq 1/1$	تپ ترانسفورماتور
-•./o $<\!Q_{\scriptscriptstyle C}<$ o	متغيير بانکهای خازنی
137/20	تلفات کل (مگا وات)
1/28988	انحراف ولتاژ (پريونيت)

جدول (۲): شرح تست سیستم ۱۱۱۸ شین IEEE

پخش بهینهٔ توان راکتیو در سیستمهای قدرت به روش ترکیبی منطق فازی و الگوریتم جستجوی گرانشی ... V٨

> كمترين دامنهٔ ولتاژ در شين ٧٦ بـ ١٩٤٣ پريونيـت و بیشترین دامنهٔ ولتاژ در شین ۱۰ با ۱/۰۵۰ پریونیت است و کمترین زاویهٔ ولتاژ در شین ٤١ با ٧/٠٥ درجه و بیشترین زاویه ولتاژ در شین ۸۹ با ۳۹/۷۵ درجه و بیشترین تلفات توان اکتیو بار در خط بین شینای ۲۷ و ۲۵ با ۲/٤۰ کیلو

وات و بیشترین تلفات توان راکتیو در خط بین شینای ۹ و ۱۰ با ۵۹/۲۲ کیلو وار است. تقاضای کل توان اکتیو سیستم ۱۳۲/۸۷۰ کیلو وات و تقاضای کـل تـوان راکتیـو سیسـتم IEEE کیلو وار است. شکل (٤) سیستم ۱۱۸ شین V۸۳/۸۳ را نشان میدهد.



شکل (٤): سیستم ۱۱۸ شین IEEE

۳–٤ مقایسه نتایج شبیهسازی بهینهسازی توان راکتیو با الگوریتم های OGSA ،GSA و روش تركيبى (FUZZY Mean C-OGSA)

با توجه به سه تابع هدفي كه در مسئلهٔ پخش بهينه توان راکتیو در سیستمهای ۳۰ و ۱۱۸ شین IEEE استفاده شده و نتایجی که با روش های الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و ترکیبی از الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بـر

پایهٔ تضاد به دست آمده است، مقایسهٔ نتایج بهینهسازی توان راکتیو، انجام و دربارهٔ آن بحث قرار میشود.

۱–۱–۳–٤ مقایسه نتایج حداقل سازی تلفات کل برای سیستم ۳۰ شین IEEE

در ابتدا نتايج مربوط به تلفات كل خط انتقال، حاصل از سه روش بررسی میشوند. این نتایج در جـدول (۳) آورده شدهاند. همچنین، مقایسه مقادیر بهینه متغیرهای کنترل

بهدست آمده از سه روش در سیستم ۳۰ شین IEEE، در جدول(٤) آورده شده است. شکل (۵) نیز پروفایل همگرایی تلفات کل خط انتقال در سیستم ۳۰ شین IEEE را با استفاده از روش های ذکرشده نشان میدهد؛ بهطوریکه ملاحظه میشود حداقل تلفات از برابر با ۲/٤۹۳۷ مگاوات است که حاصل از روش ترکیبی مبتنی بر الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد است و بهترتیب ٪۲۰۰/۰ و ٪۲۰۳۲ از نتایج حاصل از روش های GSA و AGGS کمتر است. همچنین کمترین دامنهٔ ولتاژ در شین ۸ با مقدار ۱/۹۰ پریونیت است. همچنین روش ترکیبی شین ۱ با مقدار ۱/۰۰ پریونیت است. همچنین روش ترکیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر

پایهٔ تضاد ازنظر زمان همگرایی، نتایج بهتری را نسبت به روشهای دیگر داشته است. نتایج عددی نشان میدهند روش ترکیبی ارائهشده بهتر از روشهای دیگر، حداقلسازی تلفات خط را انجام میدهد.

جدول (۳): مقایسهٔ نتایج حداقل سازی تلفات کل در سیستم ۳۰ شین IEEE

الگوريتم مورد استفاده	تلفات (مگاوات)	زمان (ثانيه)	
GSA	2/2901	9/•/97	
OGSA	7/2920	۷/۸۰۸۱	
FUZZY Mean C- OGSA	2/2920	0/9.10	



شکل (٥): مقایسهٔ منحنی همگرایی با هدف حداقل سازی تلفات کل برای سیستم قدرت ۳۰ شین IEEE

نتایج بهینهسازی توان راکتیو با هدف کمینهسازی انحراف ولتاژ کل در سیستم ۳۰ شین با روشهای ذکرشده، روش ترکیبی الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد ازنظر زمان همگرایی کوتاهترند و نتایج خروجی نسبت به روشهای دیگر، انحراف ولتاژ کمتری را به دست آوردهاند.

۲–۲–٤ مقایسهٔ نتایج حداقل سازی انحراف ولتاژ کل برای سیستم ۳۰ شین IEEE

نتایج حاصل از سه روش یادشده، با هدف کمینهسازی انحراف ولتاژ کل در جدول (٥) آورده شدهاند. همچنین مقادیر بهینهٔ متغیرهای کنترل حاصل از سه روش مذکور در سیستم ۳۰ شین IEEE، در جدول (٦) نشان داده شدهاند و در شکل (٤) مشاهده می شود.

(F	ترکیبی UZZY Ma	الگوريتم in C-OGS	SA)		OGSA	الگوريتم	الگوريتم GSA				
<u>مازنی</u>	بانک خازنی			(ت نب ،) نناخ (ا			بانک خازنی				
يت)	(پريون	راتور	ولتاژ ژن	، ‹پريويي)	بانان خارتی (پریولیٹ)		ولتاژ ژنراتور		(پريو	ولتاژ ژنراتور	
•/•٣٢•	QC-10	يت)	(پريون	1/20404.	QC-10	ونيت)	(پري	٤/٩٩٩٨ QC-10		(پريونيت)	
•/• 7 2 •	QC-12			٤/٣٧٢٢٦١	QC-12			٤/٩٨٧	QC-12		
•/•) ٦٧	QC-15	•/9771	V1	•/11990V	QC-15	•/٩٦٢٦	V1	٤/٩٩٠٦	QC-15	•/9727	V1
•/•0•1	QC-17	•/97111	V2	٢/•٨٧٦١٧	QC-17	•/٩٦٢•	V2	٤/٩٩٧	QC-17	•/٩٧٣٢	V2
•/•٣٣١	QC-20	•/٩٧١•	V3	•/٣٥٧٧٢٩	QC-20	•/9781	V3	٤/٩٩٠١	QC-20	•/٩٧٩٧	V3
•/• ٤ • ١	QC-21	•/9777	V6	•/27.202	QC-21	•/9/02	V6	१/९९१७	QC-21	•/٩٨•١	V6
•/• ٢٦٨	QC-23	•/971•	V8	•/•••	QC-23	•/٩٨٤•	V8	۳/۸۷۵۳	QC-23	•/٩٦٩٧	V8
•/• 0 • 1	QC-24	•/9777	V9	١/٣٨٣٩٥٦	QC-24	•/٩٧٧٧٢	V9	٤/٩٨٦٧	QC-24	•/9720	V9
•/•190	QC-29	•/9791	V12	•/•••٣١١	QC-29	•/9722	V12	7/9 • 91	QC-29	•/9711	V12
موقعيت تپ ترانسفورماتور				موقعیت تپ ترانسفورماتور				ور	، ترانسفورمات	موقعيت تپ	
1/•128	T4-T12	١/• ٥٦٥	T6-T9	1/•909•9	T4-T12	١/•٩٨٤٥٠	T6-T9	•/٩٨٢٤٤	T4-T12	١/• ٤٣٥	Т6- Т9
1/•147	T27- T28	٠/٩٠٧٩	T6-T10	1/•09889	T27- T28	•/9/12/1	T6- T10	•/9٦٩١٨	T27- T28	•/٩•١١٧	T6- T10

جدول (٤): مقایسهٔ نتایج شبیهسازی با هدف حداقل سازی تلفات کل در سیستم۳۰ شین IEEE با الگوریتمهای GSA و OGSA و ترکیبی (FUZZY Main C-OGSA)

جدول (٥): مقایسهٔ نتایج شبیهسازی سیستم ۳۰ شین IEEE با هدف حداقلسازی انحراف ولتاژ

الكوريتم استفادهشده	انحراف ولتاژ (پريونيت)	زمان (ثانیه)
GSA	•/٢٥٣٩	٧/٩٧٧٩
OGSA	•/٢•٩١	٦/٨٦١٠
FUZZY Main C-OGSA	•/1٨٥٦	०/१४०٦



شکل (٦): مقایسهٔ منحنی همگرایی با هدف حداقل سازی انحراف ولتاژ کل برای سیستم قدرت ۳۰ شین IEEE

جدول(٦): مقایسهٔ نتایج شبیهسازی با هدف حداقلسازی انحراف ولتاژ در سیستم ۳۰ شین IEEE با الگوریتمهای GSA و OGSA و ترکیبی (FUZZY Main C-OGSA)

(FUZZY I	Main C-OG	رکیبی (SA	الگوريتم ت		OGSA	الگوريتم	الگوريتم GSA				
(پريونيت)	بانکخازنی(پریو		* *!=! ^	بانک خازن(پریونیت)			:I-1 .	بانگخازنی(پریونیت)			
•/•720	QC-10	ىر، سور <u>-</u>		•/••••	QC-10	. رس بور : ت)	وتيار	٤/٩٤٢.	QC-10	ولنار رترانور	
۱۰/۰۱۷۵۱	QC-12	(0	/ پر يو	•/27017	QC-12	يونيت	⁄ پر	١/•٨٨٥	QC-12	ىيە)	/ پر يو
•/• ٢٨١	QC-15	•/٩٨٢٣	V1	0/••••	QC-15	•/9997	V1	٤/٩٩٨٥	QC-15	•/٩٩٩٥	V1
٠/•٤٠١	QC-17	•/9911	V2	•/••••	QC-17	•/٩٨٥٦	V2	•/٢٣٩٣	QC-17	•/9930	V2
•/••••	QC-20	•/999٣	V3	0/••••	QC-20	•/99•1	V3	٤/٩٩٥٨	QC-20	•/٩٨٧٥	V3
•/• YVA	QC-21	•/9792	V6	•/••••	QC-21	•/9913	V6	٤/٩٠٧٥	QC-21	•/٩٨٨١	V6
•/•٣٨٥	QC-23	•/٩٩٣٨	V8	٤/٩٩٩٨٣٤	QC-23	•/٩٨٩٨	V8	٤/٩٨٦٣	QC-23	•/٩٩٦٣	V8
•/•727	QC-24	•/٩٩٧٦	V9	0/••••	QC-24	•/99/17	V9	٤/٩٦٦٣	QC-24	•/٩٩٣٩	V9
•/• • • •	QC-29	•/٩٩٩١	V12	0/*****	QC-29	•/9927	V12	۲/۲۳۲۵	QC-29	•/9932	V12
J.	ترانسفورماتو	موقعيت تپ		موقعیت تپ ترانسفورماتور				,	، ترانسفورماتو	موقعیت تپ	
1/• \7	T4-T12	•/٩٩•٨	T6-T9	١/٠٥٠٥٩٩	T4-T12	•/٩	Т6- Т9	1/•112	T4-T12	1/• 270	T6-T9
1/•11V	T27- T28	•/• ٦٢٤	Т6- Т10	•/971999	T27- T28	1/1 • • • • •	T6- T10	•/97100	T27-T28	•/9•38	Т6- Т10

۳–۱–۳–٤ مقایسهٔ نتایج بهبود شـاخص ثبات ولتاژ برای سیستم ۳۰ شین IEEE

در این بخش، مقایسه مقادیر بهینهٔ شاخص پایداری ولتاژ، حاصل از سه روش بررسی میشود. جدول (۷) مقادیر بهینهٔ شاخص ثبات ولتاژ، حاصل از بهکارگیری سه روش مذکور در سیستم ۳۰ شین IEEE را نشان میدهد. همچنین مقادیر بهینه متغیرهای کنترل بهدست آمده از سه روش فوق نیز در جدول (۸) نشان داده شدهاند.

در شکل (۷) مشاهده می شود که در مسئلهٔ بهینهسازی توان راکتیو با هدف بهبود شاخص پایـداری ولتـاژ کـل در

سیستم ۳۰ شین با روش های ذکرشده، روش مبتنی بر ترکیب الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد ازنظر زمان همگرایی، کوتاهتر است و نتایج بهتری نسبت به روش های دیگر به دست میآیند. جدول (۷): مقایسه نتایج شبیهسازی سیستم ۳۰ شین IEEE با

هدف بهبود شاخص ثبات ولتاژ

الأعراب المتعاد	شاخص ولتاژ	زمان
الحورييم استفاده سده	(پريونيت)	(ثانيه)
GSA	1/9278	A/V777
OGSA	1/9777	۷/۵۳۸۹
FUZZY Main C-OGSA	1/91.4	०/٦٩٨•



شکل (۷): مقایسهٔ منحنی همگرایی بهبود شاخص ثبات ولتاژ برای سیستم قدرت ۳۰ شین IEEE

جدول (٨): مقايسهٔ نتايج با هدف بهبود شاخص ثبات ولتاژ در سيستم ٣٠ شين IEEE با الگوريتمهاي GSA و OGSA و تركيبي

Œ	بتم ترکیبی UZZY Mair	الگوري 1 C-OGSA)		الگوريتم GSA							
(پريونيت)	بانک خازنی	1 :-	at 15 51-1		بانكخازنى	بانکخ		بانکخازنی(پريونيت)				
•/••۲١ •/•۲٦٥٨	QC-10 QC-12	رنوانور نيت)	وتار (پريو	۵/۰۰۰۰ ٥/۰۰۰۰	QC-10 QC-12	ولتار زىراىور (پريونيت)		۰/٦٨٥٤ ٤/٧١٦٣	QC-10 QC-12	رانور يت)	ولنار ر. (پريوني	
•/••••	QC-15	•/٩٨٥٦	V1	٥/٠٠٠٠	QC-15	•/9/11	V1	٤/٤٩٣١	QC-15	•/٩٩٤٤	V1	
• / • • • £	QC-17	•/٩٨٧٥	V2	٥/••••	QC-17	•/٩٨٦٦	V2	٤/٥١٠٠	QC-17	•/٩٨٣٩	V2	
•/••••	QC-20	•/9917	V3	٥/••••	QC-20	•/٩٨٤٣	V3	٤/٤٧٦٦	QC-20	•/٩٧٧٦	V3	
•/••••	QC-21	•/٩٨٩٦	V6	٥/••••	QC-21	•/٩٨٣٦	V6	٤/٦٠٧٥	QC-21	•/٩٩٥٦	V6	
•/••••	QC-23	•/٩٨٧٨	V8	٥/••••	QC-23	•/9/07	V8	٣/٨٨٠٦	QC-23	•/9/ •0	V8	
•/•••٩	QC-24	٠/٩٨٥٩	V9	٥/••••	QC-24	٠/٩٩٠٣	V9	٣/٨٨٠٦	QC-24	•/9777	V9	
• / • • • ١	QC-29	•/٩٨٧٨	V12	٥/••••	QC-29	•/٩٨٣٦	V12	37/2021	QC-29	•/٩٧٧٦	V12	
	، ترانسفورماتور	موقعیت تپ			رانسفورماتور	موقعیت تپ ت			انسفورماتور	وقعيت تپ تر	م	
•/9032	T4-T12	•/9777	T6-	•/٩••••	T4-T12	•/٩••••	T6-T9	•/٩••٢	T4-T12	•/٩٠٣٨	T6-T9	

T27-

T28

•/9.79

برای سیستم ۱۱۸ شین IEEE

T6-T10

./977.

روشهاي پيشنهادي براي كمينهسازي تلفات خط انتقال

کل در سیستم ۱۱۸ شین، تابع هـدف بـوده اسـت. مقایسـهٔ

مقادير بهينة نتايج بهدست آمده تلفات خط انتقال كل حاصل از سه روش بررسی میشود و در جدول (۹) و مقایسهٔ مقادیر بهینه از متغیرهای کنترل بهدست آمده از سه روش در سیستم ۱۱۸ شین IEEE در جدول (۱۰) نشان داده شده است و در شکل (۸) مشاهده می شود نتایج شبیه سازی بهینهسازی توان راکتیو با هدف کمینهسازی تلفات خط انتقال کل در سیستم ۱۱۸ شین با روش های ذکرشده، روش

(FUZZY Main C-OGSA)

T6-•/9032 T4-T12 •/977 •/٩•••• T4-T12 •/٩•••• Т9 T27-T6-T27-•/٩•••• 1/.19077 •/•···· T6-T10 ./90.1 T28 T10 T28 ۱-۲-۳-۵ مقایسهٔ نتایج حداقل سازی تلفات کـل تركيب الكوريتم فازي ميانكين و الكوريتم جستجوى گرانشی بر پایهٔ تضاد ازنظر زمان همگرایی و نتایج بهتری

نسبت به روش های دیگر به دست آمدهاند.

جدول (٩): مقایسهٔ نتایج حداقل سازی تلفات کل در سیستم

۱۱۸ شين IEEE

	تلفات	زمان
الحوريىم أستفاده سده	(مگاوات)	(ثانيه)
GSA	19/170	12/99.1
OGSA	29/152	17/192.
FUZZY Mean C-OGSA	19/09.	٩/٧٤٣٩



شکل (۸): منحنی همگرایی با هدف حداقلسازی تلفات برای سیستم قدرت ۱۱۸شین

(FUZZ)	Y Main C-	کیبی (OGSA	الگوريتم تر	الگوريتم OGSA				الگوريتم GSA			
	(پريونيت)	بانک خازنی (بانک خازنی (پریونیت)				بانک خازنی (پریونیت)			
•/•0•9	QC-74	-•/٣٣١٩	QC-5	٩/٧٢	QC-7	4 •/••	QC-5	•/0EV1	QC-74	•/••••	QC-5
٠/١١٠٤	QC-79	•/•٤٨•	QC-34	١٤/٢٥	QC-7	9 V/EN	QC-34	12/1077	QC-79	11/1170	QC-34
•/•٩٦٥	QC-82	-•/729•	QC-37	11/29	QC-8	2 •/••	QC-37	19/270.	QC-82	•/••••	QC-37
•/•٢٦٣	QC-83	•/•٣٢٨	QC-44	٤/٢٨	QC-8	3 7/•٧	QC-44	7/9775	QC-83	٩/٨٩٣٢	QC-44
•/•££7	QC-105	•/•٣٨٣	QC-45	17/•2	QC-10	05 ٣/٣٣	QC-45	9/•291	QC-105	2/2179	QC-45
•/••٨٥	QC-107	•/•0£0	QC-46	۲/۲٦	QC-10)7 ٦/٥١	QC-46	٤/٩٩٢٦	OC-107	٢/٨٥٤٦	QC-46
•/•122	QC-110	•/•١٨١	QC-48	٢/٩٤	QC-11	10 £/£V	QC-48	٢/٢٠٨٦	QC-110	۲/۸٥٤٦	QC-48
تاژ ژنراتور (پریونیت) ولتاژ ژنراتور (پریونیت)						ولتاژ ژنراتور			ر (پريونيت)	ولتاژ ژنراتو	
•/9VEE	V8	٠/٩٨٩٩	V1	•/9011	V8	•/9275	V1	•/9/11	V8	•/٩٨٨١	V1
•/٩٤٣•	V9	1/01	V2	·/92VV	V9	•/9720	V2	•/97.0	V9	•/9207	V2
		•/٩٧•٩	V3			•/9792	_V3			•/9EVA	V3
1/•••	V12	•/٩٧٣٢	V6	•/٩٧٨٩	V12	٠/٩٨٥٦	V6	•/٩٩٨٥	V12	•/9771	V6
	نسفورماتور	وقعيت تپ تران	۵		انسفورماتور	وقعيت تپ تر			نرانسفورماتو	موقعيت تپ ا	
•/٩٩٥٦	T95	•/907	T8	•/929٣	T95	1/.709	Т8	١/••٧٤	T95	۱/۰۰٤٥	T8
•/٩٨٨٢	T102	1/• 2 • 9	T32	•/9970	T102	•/9032	T32	1/•711	T102	١/•٦•٩	T32
•/9701	T107	٠/٩٩٦٣	T36	•/٩٨٨٧	T107	•/9872	T36	•/93.1	T107	۱/۰۰۸	T36
		•/9770	T51			۱/•۸۸٤	T51			۱/۰۰۹۳	T51
1/•٦٦١	T127	•/٩٥٦•	T93	•/٩٨•١	T127	1/.019	T93	•/90VA	T127	•/9977	T93

جدول (۱۰): مقایسهٔ نتایج شبیهسازی با هدف حداقل سازی تلفات کل در سیستم ۱۱۸ شین با الگوریتم های GSA و OGSA و TUZZY Main C-OGSA)

۲–۲–۳–٤ مقایسهٔ نتایج حداقلسازی انحراف ولتاژ کل برای سیستم ۱۱۸ شین IEEE

روش های پیشنهادی برای کمینهسازی انحراف ولتاژ کل از شبکه توان در سیستم ۱۱۸ شین به کار برده شده و تابع هدف در نظر گرفته شدهاند. جدول (۱۱) و مقایسهٔ مقادیر بهینه از متغیرهای کنترل بهدست آمده از سه روش در سیستم ۱۱۸ شین EEEI در جدول (۱۲) نشان داده شده است و در شکل (۹) مشاهده می شود نتایج شبیه سازی بهینه سازی توان راکتیو با هدف کمینه سازی انحراف ولتاژ کل در سیستم ۱۱۸ شین با روش های ذکرشده، روش ترکیب الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد از نظر

با	د يگر	های	روشر	بە	نسبت	بهترى	تايج	و :	رايى	همگ	زمان

دست آمدهاند.

ج سیستم ۱۱۸ شین با هدف حداقل سازی	جدول (۱۱): نتای
انحراف ولتاژ	

when the second second	انحراف	زمان					
الجوريتم مورد استفاده	ولتاژ(پريونيت)	(ثانيه)					
GSA	•/٦١٥٧	٩/٤٣٣٨					
OGSA	•/0/90	٨/١١٣١					
FUZZY Main C-OGSA	•/2971	7/187.					

الگوريتم تركيبي (FUZZY Main C-OGSA)			الگوريتم OGSA			الگوريتم GSA					
	ل (پريونيت)	بانک خازنی			(پريونيت)	بانک خازنی			، (پريونيت)	بانک خازنی	
۰/•۸۸۳	QC-74	-•/٢٤•٣	QC-5	٠/٧٥٩٢	QC-74	-•/•°W	QC-5	•/71187	QC-74	•/•••	QC-5
•/171٨	QC-79	•/•WV1	QC-34	•/7207	QC-79	•/•127	QC-34	٠/٥٩٢٣	QC-79	•/•٦٣٩	QC-34
•/•٣٨•	QC-82	-•/•£٣V	QC-37	٠/٣٤٨٩	QC-82	•/••	QC-37	•/٤٥٤٤	QC-82	•/•••	QC-37
•/•٦٢٧	QC-83	۰/۰۳۷٥	QC-44	•/770٨	QC-83	•/١٦•٧	QC-44	•/7٣٢٥	QC-83	• /٣• VA	QC-44
•/•٨٣٠	QC-105	•/•£••	QC-45	• /٨٤ ٥٥	QC-105	• / ٤٦٣٣	QC-45	٠/٩٥١٣	QC-105	•/787٨	QC-45
• / • £ 09	QC-107	٠/٠٧٤٩	QC-46	•/17•1	QC-107	• /٨٦٣١	QC-46	•/•£77	QC-107	•/9277	QC-46
•/•771	QC-110	•/•٧٩٦	QC-48	• / ٤٦٤٤	QC-110	•/V٥٤V	QC-48	٠/٥٣١٩	QC-110	•/٨•٩٢	QC-48
	ر (پريونيت)	ولتاژ ژنراتو		ولتاژ ژنراتور (پريونيت) ولتاژ ژنراتور (پريونيت)				ولتاژ ژنراتور			
• /٩٨ • ٤	V8	•/٩٩٦٩	V1	۱/۰۰۰	V8	•/997٨	V1	1/•114	V8	•/99.77	V1
•/٩٩٦٧	V9	۱/۰۰۰۲	V2	•/٩٩٢٩	V9	•/٩٨٨٣	V2	1/•117	V9	۱/۰۰۰۹	V2
. /00 77	1/10	•/٩٨٨٩	V3	. (88.6.	V10	۱/۰۰۰	V3	Maria	1/10	۱/۰۰۰۸	V3
•/٦٦١)	V12	۱/۰۰۰۲	V6	•/٩٩٥•	V12	۰/۹۹۸V	V6	1/	V12	1/••77	V6
	رانسفورما تور	موقعيت تپ ترانسفورماتور موقعيت تپ ترانسفور				موقعیت تپ ترانسفورماتور					
١/٠٣٣٠	T95	٠/٩٨٥٢	T8	١/•٣•٧	T95	۱/۰۰۰۰	Т8	17.4422	T95	1/•117	T8
1/•181	T102	١/•٣٨١	T32	•/97/•	T102	•/99,12	T32	•/9228	T102	١/•٩•٦	T32
•/٩٧٩٥	T107	•/9072	T36	•/٩٨٨٧	T107	•/9/17	T36	•/9.71	T107	۱/۰۰۳۳	T36
(0.0.00		•/991V	T51		•/99,17	T51	[T107	۱/۰۰۰	T51	
•/٩٩٧٢	T127	•/٩٦٤١	T93	•/4/11	T127	·/9VY0	Т93	•/4101	1127	۱/••۸•	T93

جدول (۱۲): مقایسهٔ نتایج شبیهسازی سیستم ۱۱۸ شین IEEE با هدف حداقل سازی انحراف ولتاژ



شکل (۹): مقایسهٔ منحنی همگرایی با هدف حداقل سازی انحراف ولتاژ کل برای سیستم قدرت ۱۱۸ شین IEE

٣-٢-٣-٤ مقايسة نتايج بهبود شاخص ثبــات ولتــاژ

برای سیستم ۱۱۸ شین IEEE

روش های پیشنهادی برای بهبود شاخص پایداری ولتاژ کل در سیستم ۱۱۸ شین به کار برده شده و تابع هدف در نظر گرفته شدهاند. مقایسه مقادیر بهینه نتایج بهدست آمده شاخص پایداری ولتاژ حاصل از سه روش بررسی میشود و در جدول (۱۳) و مقایسهٔ مقادیر بهینه از متغیرهای کنترل

بهدست آمده از سه روش در سیستم ۱۱۸ شین IEEE در جدول (۱٤) نشان داده شده است و در شکل(۱۰) مشاهده می شود نتایج شبیه سازی بهینه سازی توان راکتیو با هدف بهبود شاخص پایداری ولتاژ کل در سیستم ۱۱۸ شین با روش های ذکر شده، روش ترکیب الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد از نظر زمان همگرایی و نتایج بهتری نسبت به روش های دیگر به دست آمده اند.

(۱۳): مقایسهٔ نتایج با هدف بهبود شاخص ثبات ولتاژ در سیستم ۱۱۸ شین IEEE با الگوریتمهای GSA و OGSA و IC	جدول
(FUZZY Main C-OGSA)	

(FUZZY	/ Main C-O	رکیبی (GSA	الگوريتم ت		OGSA	الگوريتم			GSA	الگوريتم		
	(پريونيت)	بانک خازنی		بانک خازنی (پریونیت)				بانک خازنی (پریونیت)				
•/1•VA	QC-74	-•/٣•V1	QC-5	•/٢١٧٦	QC-74	-•/0771	QC-5	•/٣٢٤٥	QC-74	-•/7715	QC-5	
•/١٣٦١	QC-79	•/•170	QC-34	•/1827	QC-79	•/•٣٥١	QC-34	•/10077	QC-79	•/•٣٦٢	QC-34	
•/1891	QC-82	-•/١٨٩١	QC-37	•/17٧٥	QC-82	-•/٢١٤٦	QC-37	•/11٦1	QC-82	-•/٢٨٣١	QC-37	
•/•٤٣٤	QC-83	•/•٨١٤	QC-44	•/•YAV	QC-83	•/•027	QC-44	•/•١٣٣	QC-83	 / • ۸۷۹ 	QC-44	
•/•٩٩١	QC-105	• / • VVV	QC-45	•/•/07	QC-105	•/•٦٥٤	QC-45	•/•\47	QC-105	•/• ٩ ٧٧	QC-45	
•/•07•	QC-107	•/•٤٥٤	QC-46	•/•٩٧٢	QC-107	•/•٣٤٨	QC-46	•/177•	QC-107	•/•187	QC-46	
•/•172	QC-110	•/•• ٤٢	QC-48	•/•٣٨٢	QC-110	•/•• ١١	QC-48	•/•٤٣٨	QC-110	•/٩٩٨٢	QC-48	
	ر (پريونيت)	ولتاژ ژنراتو			(پريونيت)	ولتاژ ژنراتور			(پريونيت)	ولتاژ ژنراتور		
•/٩٨٨٧	V8	1/•114	V1	•/٩٧٢٧	V8	•/٩٩٧٢	V1	·/9/11	V8	•/٩٨٩٩	V1	
1/•782	V9	٠/٩٩٨٦	V2	•/٩٧٩٣	V9	•/٩٨٩٦	V2	•/99//9	V9	•/9/1•1	V2	
1.1.106	1/10	•/9901	V3	1 (. 7 . 1	Y•1 V12	\(.Y.) 110	•/٩٧•٧	V3	. (47)()	1710	•/٩٨١٣	V3
1/•132	V12	۰/۹۷۵٦	V6	1/•1•1 V12		1/۳۳	V6	•/101	V12	•/٩٧٤٦	V6	
	موقعيت تپ ترانسفورماتور			موقعيت تپ ترانسفورماتور				ِ انسفو رما تور	ىوقعيت تپ تړ	٥		
•/9171	T95	•/9771	T8	•/٩٢٣٣	T95	•//\٦٥٦	Т8	• /9271	T95	•//////	Т8	
•/•٦٣٧	T102	١/•٧٤٩	T32	•/•٩٧١	T102	1/+082	T32	•/17٣٩	T102	1/•179	T32	
•/٩٠٤٩	T107	1/•129	T36	•/91	T107	١/٠٣٧٨	T36	•/9311	T107	1/•٦٢١	T36	
. /0 . 6 .	TT107	•/٩٩١•	T51	. (47. 1	T127	•/٩٨٨٤ T51	T51	. /0	T 107	•/977•	T51	
•/ ٦/١٤/	112/	١/•٨٧١	T93	•/٦(•)		1/.029	T93	•/٩٥22 T127	1127	1/•1VV	T93	

هدف بهبود شاخص ثبات ولتاژ	جدول (١٤): مقایسه نتایج شبیهسازی سیستم ۱۱۸ شین IEEE با

الكوريتم مورداستفاده	شاخص ولتاژ (پريونيت)	زمان(ثانیه)
GSA	1/971	7/3722
OGSA	1/9V•V	०/९٣٩٣
FUZZY Main C-OGSA	1/9201	٤/١١١



شکل (۱۰): مقایسه منحنی همگرایی بهبود شاخص ثبات ولتاژ برای سیستم قدرت ۱۱۸ شین IEEE

Algorithm," in Systems Journal, IEEE, Vol. 7, No. 4, pp. 742-753, Dec. 2013.

- [3] S. Rahnamayan, H. R. Tizhoosh, M. M. A. Salama, "Opposition-Based Differential Evolution. Evolutionary Computation", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 12, No. 1, pp. 64-79, 2006.
- [4] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education Power Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, No. 1, pp.12-19, 2011.
- [5] A. A. A. Esmin, G. Lambert-Torres, AC. Z. De Souza, "A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 859-866, 2005.
- [6] Ali Ghasemi, Khalil Valipour, Akbar Tohidi. "Multi objective optimal reactive power dispatch using a new multi objective strategy," in Electrical Power and Energy Systems, Vol. 57, pp. 318-334, May. 2014.
- [7] Yuancheng Li., Yiliang Wang., Bin Li., "A hybrid artificial bee colony assisted differential evolution algorithm for optimal reactive power flow," in Electrical Power and Energy Systems, Vol. 52, pp. 25-33, Nov. 2013.
- [8] S. Granville, "Optimal Reactive Dispatch Through Interior Point Methods", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, pp. 136-146, 1994.
- [9] P. Subbaraj, P. N. Rajnarayanan, "Optimal Reactive Power Dispatch Using Self-adaptive Real Coded Genetic Algorithm", Electric Power Systems Research, Vol. 79, No. 2, pp. 374-381, 2009.
- [10] M. Tripathy, S. Mishra, "Bacteria Foraging-Based Solution to Optimize Both Real Power Loss and Voltage Stability Limit", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 1, pp. 240-248, 2007.
- [11] B. Zhao, C. X. Guo, Y. J. Cao, "A Multiagent-Based Particle Swarm Optimization Approach for Optimal Reactive Power Dispatch", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 1070-1078, 2005.
- [12] Biplab Bhattacharyya., Saurav Raj. "PSO based bio inspired algorithms for reactive power planning, " in Electrical Power and Energy Systems, Vol. 74, pp. 396-402, Jan. 2016.
- [13] A. J. Urdaneta, J. F. Gomez, E. Sorrentino, L. Flores, r. Diaz, "A hybrid genetic algorithm for optimal reactive power planning based upon successive linear programming", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 1292-1298, 1999.
- [14] A. H. Khazali, M. Kalantar, "Optimal Reactive Power Dispatch Based on Harmony Search Algorithm", International Journal of Electrical

٥- نتيجه گيري

اين يژوهش به مسئلهٔ يخش بهينه توان راكتيو، با درنظر گیری توابع هدف مختلف و با استفاده از روش های هوشمند و فرا ابتکاری پرداخته است. با توجه به محدودیت توان راکتیو تولیدی ژنراتورھا، بے دلیے مسائل حرارتے سیمپیچها و این واقعیت که ژنراتورهای موجود در شبکه بهتنهایی نمی توانند در ساعات پربار، تمام توان راکتیو مورد نياز سيستم را تأمين كنند، مسئلة پخش بهينـه تـوان راكتيـو اهمیت پیدا می کند. در این راستا، در مقالهٔ حاضر اهداف مختلفي شامل حداقل سازي اتلاف توان اكتيو، حداقل سازي انحراف ولتاژ كل و بهبود شاخص ثبات ولتاژ، بهتفكيك مدنظر قرار گرفتهاند. همچنین بهینهسازی یخش توان راکتیو نيز به كمك سه روش مختلف شامل الكوريتم جستجوى گرانشی، الگوریتم جستجوی گرانشی بر پایهٔ تضاد و ترکیب الگوریتم فازی میانگین و الگوریتم جستجوی گرانشی بـر یایهٔ تضاد، روی سیستمهای مطالعاتی ۳۰ شینه و ۱۱۸ شینه IEEE انجام شده است. نتایج حاصل از شبیهسازی ها بهوضوح نشان میدهند در روش ترکیبی، شــاخص زمــانی مربوط به همگرایی، بهبود و میزان جهش نیز کاهش یافته است. همچنین حاشیههای پایداری سیستم نیز افزایش یافته که بهنوبه خود به آزادسازی بخشی از ظرفیت شبکهٔ انتقال و درنتيجه استفادة اقتصادىتر از شبكة قدرت منجر خواهد شد. و نیز نشان داده شده است بازدهی و مقادیر بهینهٔ حاصل از روش ترکیبی نسبت به دیگر روش ها کیفیت بهتری دارند؛ بنابراین روش ترکیبی مبتنی بر الگوریتم فازی ميانگين و الگوريتم جستجوي گرانشي بر پايهٔ تضاد، الگوریتم بسیار مناسب و کارآمد برای حل برخی از دیگر مسائل بهينهسازي مهندسي پيچيده است.

مراجع

- Binod Shaw., V.Mukherjee., S.P.Ghoshal. "Solution of reactive power dispatch of power systems by an opposition-based gravitational search algorithm," in Electrical Power and Energy Systems, Vol. 55, pp. 29-40, Feb. 2014.
- [2] Niknam, T., Narimani, M.R., Azizipanah-Abarghooee, R., Bahmani-Firouzi, B., "Multiobjective Optimal Reactive Power Dispatch and Voltage Control: A New Opposition-Based Self-Adaptive Modified Gravitational Search

Power & Energy Systems, Vol. 33, No. 3, pp. 684-692, 2011.

- [15] S. Sarafrazi, H. Nezamabadi-pour, "Facing the Classification of Binary Problems With a GSA-SVM Hybrid System", Mathematical and Computer Modelling, Vol. 57, No. 1-2, pp. 270-278, 2013.
- [16] T. Niknam, "An Efficient Hybrid Evolutionary Algorithm Based on PSO and HBMO Algorithms for Multi-Objective Distribution Feeder Reconfiguration", Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 8, pp. 2074-2082, 2009.
- [17] A. R. Bhowmik, A.K. Chakraborty, "Solution of Optimal Power Flow Using Nondominated Sorting Multi Objective Gravitational Search Algorithm", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 62, pp. 323-334, 2014.
- [18] H. Zhang, Y. Zou, X. Yan "A Hybrid Multi-Objective Artificial Bee Colony Algorithm for Burdening Optimization of Copper Strip Production", Applied Mathematical Modelling, Vol. 36, No. 6, pp. 2578-2591, 2012.
- [19] A. Ghasemi, "A Fuzzified Multi Objective Interactive Honey Bee Mating Optimization for Environmental/Economic Power Dispatch with Valve Point Effect", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 49, pp. 308-321, 2013.
- [20] D. Karaboga, B. Basturk, "A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm", Journal of Global Optimization, Vol. 39, No. 3, pp 459-471, 2007.
- [21] M. Varadarajan, K. S. Swarup, "Network Loss Minimization with Voltage Security Using Differential Evolution", Electric Power Systems Research, Vol. 78, No. 5, pp. 815-823, 2008.
- [22] E. Naderi, H. Narimani, M. Fathi, M. R. Narimani, "A Novel Fuzzy Adaptive Configuration of Particle Swarm Optimization to Solve Large-Scale Optimal Reactive Power Dispatch", Applied Soft Computing, Vol. 53, pp, 441-456, 2017.
- [23] M. Basu, "Quasi-Oppositional Differential Evolution for Optimal Reactive Power Dispatch", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 78, pp. 29-40, 2016.

- ³ Optimal Gravitaional Search Algorithm
- ⁴ Optimal Reactive Power Dispatch

rch

¹ Total Voltage Deviation

² Voltage Stability Index