کاربرد الگوریتم PSO در پخش بار اقتصادی و پخش آلودگی برای توابع هزینه ناصاف با وجود تلفات خطوط انتقال و محدودیت‌های عملی سیستم

رحمت‌الله هوشمند و معین پرستگاری

چکیده: یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت پخش بار اقتصادی دقیق و مبتنی بر واقعیت می‌باشد. به‌این منظور در این مقاله پخش بار اقتصادی به‌وسیله الگوریتم پیشنهادی PSO[1] انجام می‌پذیرد. برای نزدیک‌شدن شرایط مسئله پخش بار اقتصادی به شرایط واقعی تابع هزینه مصرف سوخت نیروگاه‌های سیستم قدرت به‌صورت ناصاف[2] در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر کاهش میزان آلودگی ناشی از نیروگاه‌ها نیز به‌عنوان جزیی از اهداف مسأله در نظر گرفته شده و به‌همین علت هم‌زمان با پخش بار اقتصادی پخش آلودگی نیز انجام می‌شود. از طرفی برای انجام پخش بار اقتصادی واقعی و بهینه باید محدودیت‌های نقطه کار سیستم و تلفات شبکه نیز در روند بهینه‌سازی مد نظر قرار گیرد که این محدودیت‌ها در الگوریتم پیشنهادی در نظر گرفته شده است. در انتها نتایج روش پیشنهادی با دیگر روش‌ها (از قبیل روش جست و جوی تابو، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی) مقایسه شده است، در نتیجه خصوصیات و مزایای واقعی این روش مشخص‌تر می‌گردد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش PSO یک روش سریع با دقت قابل قبول می‌باشد.

کلید واژه: **الگوریتم PSO، بهینه‌سازی تابع هزینه ناصاف، پخش بار آلایندگی، پخش بار اقتصادی.**

1- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، پخش بار اقتصادی (ED)[3] می‌باشد. هدف از این مسئله حداقل‌نمودن تابع هزینه سوخت به‌ازای تولید مقدار خاصی از توان تولیدی می‌باشد [1] تا [18]. پخش بار باید به‌گونه‌ای انجام شود که سایر محدودیت‌های حاکم بر میزان تولید را نیز برآورده نماید. با بزرگ‌شدن سیستم‌های قدرت پخش بار اقتصادی نیز پیچیده‌تر می‌شود؛ در نتیجه، به‌دلیل وجود نقاط بهینه محلی زیاد یافتن پخش بار بهینه عمومی مشکل‌تر خواهد شد.

برای حل یک مسأله بهینه‌سازی همانند مسئله پخش بار اقتصادی روش‌های زیادی وجود دارد، ولی گاهی به‌دلیل پیچیدگی تابع هزینه و وجود محدودیت‌های زیاد، رسیدن به نقطه بهینه واقعی مشکل می‌شود. یکی از محدودیت‌های عملی مسئله پخش بار اقتصادی، در نظر گرفتن فرم واقعی تابع هزینه می‌باشد. در واقعیت تابع هزینه یک واحد نیروگاهی فقط یک تابع درجه دو نمی‌باشد، بلکه یک منحنی ناصاف می‌باشد. به‌عبارت دیگر، تابع هزینه مورد استفاده در پخش بار اقتصادی، خود دارای ماکزیمم و مینیمم‌های محلی می‌باشد که معمولاً در این نقاط، تابع هزینه مشتق‌پذیر نمی‌باشد [1] تا [4]. برای نمایش این خاصیت، می‌توان تابع هزینه را به‌صورت حاصل‌جمع دو قسمت در نظر گرفت. قسمت اول، یک تابع هزینه درجه دوم، و قسمت دومِ تابع هزینه قدر مطلق یک تابع سینوسی می‌باشد. این روشِ نمایش تابع هزینه در بعضی مقالات مورد بررسی قرار گرفته است [4] تا [6].

حساسیت افکار عمومی نسبت به مسایل زیست‌محیطی در پخش بار اقتصادی نیز تأثیرگذار بوده است؛ در این صورت تابع هزینه مربوط به آلودگی نیز در پخش بار در نظر گرفته می‌شود [7] و [8]. در نیروگاه‌ها، سه گاز آلوده‌کننده اصلی وجود دارد که این سه گاز دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید سولفور و ترکیبات آن (SO_X) و دی‌اکسید نیتروژن و ترکیبات آن (NO_X) می‌باشند. به‌دلیل آنکه عمده خروجی نیروگاه گاز NO_X و SO_X می‌باشد [9] که می‌توان در نیروگاه‌ها مقدار این گازهای خروجی را محاسبه نمود؛ لذا در این مقاله تأثیر گاز NO_X و SO_X در نظر گرفته شده و پخش آلودگی با شرط محدودیت NO_X و SO_X انجام می‌شود.

برای حل مسئله غیر خطیِ پخش بار اقتصادی از روش‌های تکرار λ و کاهش گرادیان استفاده می‌شد که دارای دقت بسیار پایین و زمان اجرای طولانی بودند [10]. به‌دلیل وجود این مشکلات برای یافتن نقطه بهینه از روش برنامه‌ریزی دینامیکی[4] استفاده گردید که این روش باعث افزایش بعد مسئله شده که بالطبع رسیدن به نقطه بهینه را مشکل‌تر می‌ساخت [11]. با استفاده از روش شبکه‌های عصبی[5] بازه‌های عددی زیاد و در نتیجه محاسبات زیاد مورد نیاز بود [12]. با توجه به وجود محاسبات زیاد از روش الگوریتم ژنتیک[6] (GA) برای پخش بار اقتصادی استفاده شد که از آن روش نتایج خوبی به‌دست آمد ولی زمان اجرای آن طولانی بود [13]. روش دیگری که در زمینه بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت، روش جست و جوی تابو[7] بود [5]. این روش، سرعت بالایی دارد ولی دقت آن با گذشت زمان اجرا افزایش نمی‌یابد.

یک روش جدید بهینه‌سازی توابع هزینه الگوریتم PSO نام دارد که در موارد زیادی برای حل مسائل ED مورد استفاده قرار گرفته است [6]، [7]

این مقاله در تاریخ 13 آذر ماه 1385 دریافت و در تاریخ 20 شهریور ماه 1386 بازنگری شد.

رحمت‌الله هوشمند، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان
(email: Hooshmand_r@eng.ui.ac.ir).
معین پرستگاری، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان
(email: parastegari@eng.ui.ac.ir).

1. Praticle Swarm Optimization
2. Nonsmooth
3. Economic Dispatch
4. Dynamic Programming
5. Neural Networks
6. Genetic Algorithm
7. Tabu Search

Archive of SID
www.SID.ir

و [14] تا [16]. به‌عنوان مثال، حل مسئله پخش بار اقتصادی برای توابع هزینه ناصاف در [6] بررسی شده است. همچنین در [7] پخش بار اقتصادی و پخش آلایندگی به‌وسیله الگوریتم PSO انجام شده است. پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید نیروگاه‌ها و تلفات خطوط انتقال از دیگر مسائلی است که با استفاده از الگوریتم PSO حل می‌شود [14] تا [16]. همچنین استفاده از الگوریتم PSO دارای مزایای فراوانی از جمله سرعت و دقت بالای محاسبات می‌باشد [17].

در این مقاله پخش بار اقتصادی برای یک سیستم با 13 واحد با در نظر گرفتن کاهش تابع آلودگی و مدل واقعی برای تابع هزینه با استفاده از روش الگوریتم PSO انجام می‌گیرد. همچنین تلفات خطوط انتقال و محدودیت‌های عملی در تولید نیروگاه‌ها نیز مد نظر قرار گرفته است تا شرایط واقعی حاکم بر سیستم در مدل‌سازی پیشنهادی مد نظر قرار گرفته باشد.

2- بیان مسئله

پخش بار اقتصادی یکی از مسائل مهم در بررسی اقتصادی سیستم‌های قدرت می‌باشد. این موضوع به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌گردد که از توابع هدف[1] و محدودیت‌های مسئله[2] تشکیل شده است.

2-1 توابع هدف

2-1-1 تابع هزینه تولید نیروگاه‌ها

به‌طور معمول، تابع هزینه سوخت برای تولید توان در یک نیروگاه به‌صورت یک تابع درجه 2 در نظر گرفته می‌شود. به این منظور هزینه سوخت مصرفی برای تولید P_i (انرژی الکتریکی) در نیروگاه iام به‌وسیله F_i مشخص می‌شود. از طرفی نرخ هزینه کل سیستم، مساوی مجموع نرخ هزینه‌های واحدها می‌باشد. در این صورت مسئله توزیع اقتصادی بار (ED) به‌صورت زیر تعریف خواهد شد

$$F_{cost} = F_1 + F_2 + \ldots + F_n \qquad (1)$$

$$\text{Minimize} \quad F_{cost} = \sum_{i=1}^{n} (a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2) \qquad (2)$$

که در آن F_{cost} هزینه سوخت کل نیروگاه‌ها بوده و a_i و b_i و c_i نیز ضرایب هزینه‌ای واحد نیروگاهی iام و n تعداد نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌باشد. در پخش بار اقتصادی، با تغییر میزان توان تولیدی نیروگاه‌ها به‌گونه‌ای عمل می‌شود که تابع هزینه ارائه‌شده به‌صورت (2) (هزینه سوخت مصرفی) می‌نیمم شود. از طرفی معمولاً در پخش بار اقتصادی معمولاً تابع هزینه به‌صورت درجه 2 نمی‌باشد، بلکه دارای نقاط زانویی مشتق‌ناپذیر می‌باشد. به‌منظور نمایش این خاصیت، تابع هزینه یک نیروگاه حاصل‌جمع دو قسمت در نظر گرفته می‌شود. قسمت اول یک تابع هزینه درجه 2 و قسمت دوم نیز قدر مطلق یک تابع سینوسی می‌باشد. این تابع هزینه به‌صورت (3) ارائه می‌شود

$$F_i(P_i) = (a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2) + \left| e_i \sin(f_i \cdot (P_{i,\min} - P_i)) \right| \qquad (3)$$

که در آن، e_i و f_i ضرایب بازگشت نقاط زانویی می‌باشد.

1. Objective Function
2. Constraint

2-1-2 تابع هزینه آلودگی محیط زیست ناشی از کارکرد نیروگاه‌ها

در روش‌های جدید پخش بار، برای جلوگیری از آثار مخرب زیست‌محیطی تولید انرژی الکتریکی در پخش بار تغییراتی به‌وجود آمده و مسئله پخش آلایندگی نیز علاوه بر مسئله پخش بار اقتصادی مطرح گردیده است. هدف از پخش آلایندگی، کاهش آلودگی منتشرشده حاصل از سوخت فسیلی در نیروگاه می‌باشد.

سه گاز اصلی آلوده‌کننده محیط زیست در نیروگاه‌ها دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید سولفور و ترکیبات آن (SO_X) و دی‌اکسید نیتروژن و ترکیبات آن (NO_X) می‌باشند؛ که عمده آلودگی نیروگاه‌ها ناشی از گازهای NO_X و SO_X می‌باشد، در نتیجه می‌توان گفت که هدف از پخش آلودگی کاهش میزان گازهای آلوده‌کننده NO_X و SO_X می‌باشد.

با بررسی میزان گازهای آلوده‌کننده NO_X و SO_X خروجی نیروگاه‌ها مشاهده شده است که عوامل زیادی بر روی نرخ و میزان این گازها تأثیرگذار می‌باشند؛ ولی عامل اصلی مؤثر بر میزان گازهای آلاینده خروجی نیروگاه‌ها توان اکتیو تولیدی نیروگاه‌ها می‌باشد. از طرف دیگر با بررسی رابطه بین میزان آلودگی منتشره و توان اکتیو تولیدی مشاهده می‌شود که این رابطه یک رابطه غیرِخطی می‌باشد و یک معادله غیرخطی درجه دوم بر حسب توان اکتیو تولیدی نیروگاه بیشترین تطابق را با تابع میزان آلودگی منتشره بر حسب توان اکتیو تولیدی نیروگاه خواهد داشت. از آنجا که آلودگی نیروگاه‌ها با میزان گازهای NO_X و SO_X خروجی نیروگاه ارتباط دارد و میزان گازهای خروجی نیروگاه‌ها با توان اکتیو نیروگاه‌ها رابطه درجه دوم دارند، لذا تابع هزینه آلایندگی یک نیروگاه یک تابع درجه دوم بر حسب توان اکتیو تولیدی خواهد بود.

هدف از مسئله پخش آلایندگی، کاهش میزان آلاینده‌های خروجی نیروگاه‌ها می‌باشد. در این صورت با توجه به این نکته که میزان آلاینده‌های خروجی هر نیروگاه با توان اکتیو تولیدی آن نیروگاه تقریباً رابطه درجه دو دارد، می‌توان گفت که هدف از پخش آلایندگی، حداقل‌نمودن مجموع این توابع درجه دو می‌باشد. لذا (4)، مسئله پخش آلایندگی کل نیروگاه‌ها را نمایش می‌دهد [7] و [9]

$$\text{Minimize} \quad E_{cost} = \sum_{i=1}^{n} (\alpha_i + \beta_i \cdot P_i + \gamma_i \cdot P_i^2) \qquad (4)$$

که در آن E_{cost} میزان آلودگی، γ_i، β_i و α_i ضرایب آلودگی ژنراتورها و n تعداد واحدهای فسیلی می‌باشد.

2-1-3 تابع هدف پیشنهادی

مسائل پخش اقتصادی و پخش میزان آلایندگی به‌صورت جداگانه انجام‌پذیر می‌باشد. از طرفی معمولاً پخش بار اقتصادی میزان هزینه سوخت را کاهش می‌دهد ولی در عوض میزان آلودگی را افزایش می‌دهد. بر خلاف این موضوع پخش بار بر اساس آلایندگی، باعث کاهش میزان آلایندگی می‌شود ولی با رسیدن به این هدف، هزینه سوخت افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن این تأثیرات، باید در یک نقطه کار معلوم، بین دو روش مذکور مصالحه‌ای انجام داد و هر دو روش را توأماً استفاده نمود. در این صورت تابع هدف بهینه‌سازی به‌صورت زیر تغییر می‌نماید

$$\text{Minimize} \quad f(F_{cost}, E_{cost}) \qquad (5)$$

رابطه (5) یک رابطه کلی است که برای استفاده عملی از این رابطه، می‌توان آن را به یک شرط بهینه‌سازی به‌صورت (6) تبدیل نمود

$$\text{Min} \quad \phi = \sum_{i=1}^{n} (F_{cost,i} + P_{r,i} \cdot E_{cost,i}) \qquad (6)$$

Archive of SID
www.SID.ir

که در آن P_r ضریب تبدیلی می‌باشد که به‌ازای آن مقدار آلودگی به معیار تابع هزینه تبدیل می‌شود. می‌توان از (7) برای محاسبه مقدار P_r استفاده نمود

$$P_{ri} = \frac{a_i + b_i \cdot P_{i,\max} + c_i \cdot P_{i,\max}^2}{\alpha_i + \beta_i \cdot P_{i,\max} + \gamma_i \cdot P_{i,\max}^2} \quad (7)$$

لازم است پس از تعیین مقدار P_r مسأله بهینه‌سازی بر اساس (6) انجام شود.

2-2 قیود مسئله

برای افزایش دقت در حل مسأله پخش بار اقتصادی، باید قیود زیر را نیز لحاظ نمود.

2-2-1 شرط برابری تولید و مصرف با در نظر گرفتن تلفات

شبکه انتقال دارای n واحد تولیدی را در نظر بگیرید که نیروگاه‌های آن به‌وسیله خطوط انتقال به همدیگر و به مصرف‌کننده متصل می‌شوند. همان‌گونه که می‌دانید این خطوط انتقال دارای تلفات می‌باشند. اگر تلفات حاصل از انتقال توان در سیستم در نظر گرفته نشود، حل مسأله پخش بار اقتصادی با مساوی قراردادن مجموع میزان تولید نیروگاه‌ها با مقدار بار مصرفی شبکه صورت می‌گیرد که این فرض خلاف واقعیت می‌باشد. پس به منظور در نظر گرفتن شرایط واقعی در سیستم قدرت باید میزان تلفات انتقال توان را نیز در مسئله وارد نمود. در این صورت مجموع توان تولیدی نیروگاه‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد

$$\sum_{i=1}^{n} P_i = P_D + P_L \quad (8)$$

که مقدار P_L در (8) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید

$$P_L = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{i=1}^{n} B_{oi} \cdot P_i + B_{oo} \quad (9)$$

که در آن، ضرایب B_{ij} و B_{oo} و B_{oi} ضرایب تابع تلفات خطوط انتقال و P_D توان مصرفی سیستم و P_L توان تلفاتی خطوط انتقال می‌باشد. در این حالت مسأله بهینه‌سازی تغییر می‌نماید که مقادیر B_{ij} و B_{oo} و B_{oi} در محاسبه نقاط بهینه مؤثر می‌شوند.

2-2-2 محدودیت‌های تولید ژنراتورها

این محدودیت‌ها به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود

$$P_{i,\min} \le P_i \le P_{i,\max} \quad (10)$$

که $P_{i,\min}$ و $P_{i,\max}$ حداقل و حداکثر مجاز تولید توان در ژنراتور iام می‌باشد.

2-2-3 اعمال محدودیت حداکثر افزایش و کاهش تولید در یک ساعت

در شرایط واقعی مشاهده می‌شود که مقدار تغییر تولید در هر ساعت نسبت به ساعت قبل، دارای محدودیت می‌باشد. در این صورت، محدودیتی به‌جز محدودیت‌های مناطق ممنوعه تولید و یا حداکثر یا حداقل تولید در سیستم به‌وجود می‌آید. با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها شرایط مسئله به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌شود. این شرایط را می‌توان در (11) و (12) مشاهده نمود

$$P_i + P_i^{\circ} \le DR_i \quad (11)$$

$$P_i - P_i^{\circ} \le UR_i \quad (12)$$

که در آن UR_i حداکثر افزایش تولید نسبت به تولید ساعت قبل و DR_i نیز حداکثر مقدار کاهش توان تولیدی یک نیروگاه نسبت به توان تولیدی در ساعت قبل می‌باشد. در این روابط P_i° مقدار تولید نیروگاه iام در ساعت قبل می‌باشد.

شرط استفاده از روابط مذکور استفاده هم‌زمان از این محدودیت‌ها و سایر قیود می‌باشد.

2-3 مدل کامل مسئله بهینه‌سازی پیشنهادی

با توجه به قیود و توابع هدف ارائه‌شده در بخش‌های 2-1 و 2-2، مدل کامل مسئله بهینه‌سازی مورد بررسی به‌صورت زیر بیان می‌گردد

$$\min \quad \phi = \sum_{i=1}^{n} (F_{cost,i} + P_{ri}.E_{cost,i}) \quad (13)$$

Subject to (8)، (10)، (11) و (12)

3- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم PSO

ایده اصلی روش PSO از حرکت ذرات هجومی همچون کلاغ‌ها و ماهی‌ها به‌دست آمده است؛ به‌عنوان مثال در هنگام حرکت یک دسته کلاغ، یک کلاغ دارای بهترین موقعیت (سرگروه) می‌باشد و سایر کلاغ‌ها با توجه به موقعیت فعلی خود و کلاغ‌های مجاور سعی به نزدیک‌شدن به سرگروه و بهبود موقعیت خود را دارند [6]، [7]، [14] تا [16] و [18]. عملکرد روش PSO نیز به‌همین صورت می‌باشد؛ به این معنی که دسته‌ای از ذرات (متغیرهای مسئله بهینه‌سازی) در محیط جست و جو پخش می‌شوند. در این حالت برخی از ذرات موقعیت بهتری نسبت به سایر ذرات دارند یعنی دارای تابع هزینه با مقدار بهتری می‌باشند. سپس سایر ذرات بر اساس رفتار ذرات هجومی، سعی می‌کنند تا به ذرات با موقعیت مطلوب (با تابع هزینه بهتر)، نزدیک شوند. از طرفی دیگر موقعیت سردسته نیز در حال تغییر است در نتیجه کل سیستم به‌سمت نقاط بهینه حرکت می‌کند.

تغییر موقعیت هر ذره بر اساس تجربه خود آن ذره و تجربه ذرات همسایه انجام می‌شود و در واقع هر ذره از برتری و یا عدم برتری خود نسبت به ذرات همسایه و همچنین کل گروه آگاه است و با توجه به این موارد موقعیت خود را تغییر می‌دهد. برای شبیه‌سازی رفتار ذرات هجومی پارامترهای زیر تعریف می‌شود [18]:

الف) توده ذرات[1]: n ذره که در ابتدا به‌صورت اتفاقی جایابی می‌گردند و تابع را به‌سمت جواب بهینه رهنمون می‌سازند. همچنین هر ذره به‌نوبه خود به‌صورت تصادفی در توده حرکت می‌نماید. این توده ذرات به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود

$$Pop(t) = \{x_1(t), x_2(t), \ldots, x_n(t)\} \quad (14)$$

ب) P_{best}: این پارامتر، بیانگر بهترین موقعیتی است که هر ذره در طول اجرای الگوریتم کسب کرده است.

ج) G_{best}: این متغیر بهترین موقعیتی را که کل ذرات در طول اجرای الگوریتم کسب کرده‌اند، نشان می‌دهد.

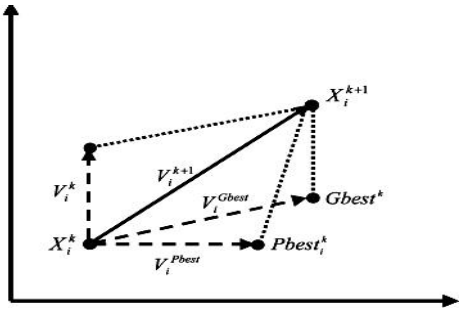
د) پارامتر شناخت فردی (Φ_1): این کمیت باعث می‌شود که ذره به‌سمت P_{best} بهترین موقعیتی که تاکنون کسب کرده حرکت کند.

ه) پارامتر شناخت اجتماعی (Φ_2): این ضریب باعث می‌شود که ذره به‌سمت G_{best} بهترین موقعیتی که تاکنون کل ذرات کسب

1. Swarm

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1: نمایش مسیر حرکت ذرات هجومی.

کرده‌اند حرکت کند.

و) ضریب لختی یا انقباض[1] (w): این ضریب، باعث ایجاد تعادل در جستجوی محلی و کلی در الگوریتم می‌شود.

ز) لغزش (V): این پارامتر، تغییر موقعیت ذره در محیط جستجو را نشان می‌دهد.

مسیر حرکت ذره iام در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود موقعیت ذره در لحظه بعد، با استفاده از دو پارامتر P_{best} و G_{best} به‌دست می‌آید. سومین عامل مؤثر در موقعیت آینده ذره هم سرعت قبلی ذره است. این سه عامل در کل، موقعیت آینده ذره را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_{ij}(t+1) \qquad (15)$$

که در آن $V_{ij}(t)$ سرعت ذره iام که دارای بعد m است در لحظه t می‌باشد. مقدار سرعت (نرخ تغییر موقعیت از لحظه t تا لحظه $t+1$ برای بعد j ام ذره می‌باشد) از رابطه زیر به‌دست می‌آید

$$V_{ij}(t+1) = wV_{ij}(t) + \Phi_1.rand(P_{best,ij} - X_{ij}) + \Phi_2.rand(G_{best,ij} - X_{ij}) \qquad (16)$$

که مقدار V_{ij} بین $V_{ij}^{\max}$ و $V_{ij}^{\min}$ قرار دارد. در این رابطه Φ_1 ضریبی است که رسیدن به بهترین نقطه را تضمین می‌نماید. از طرفی Φ_2 نیز ضریب مربوط به رسیدن بهترین نقطه عمومی ذرات می‌باشد.

در این الگوریتم، بهترین نقطه‌ای که یک ذره تاکنون کسب کرده است از رابطه زیر به‌دست می‌آید

$$P_{best,i} = \begin{cases} P_{best,i} & if \quad F_{cost}(X_i) \geq F_{cost}(P_{best,i}) \\ X_i & if \quad F_{cost}(X_i) < F_{cost}(P_{best,i}) \end{cases} \qquad (17)$$

در حالت کلی $(\Phi_1.P_{best\,i} + \Phi_2.G_{best\,i})/(\Phi_1 + \Phi_2)$ سازنده مسیر جذب نقاط می‌باشد. پس اگر $\Phi_2 >> \Phi_1$ باشد، ذرات به سمت G_{best} (یعنی موقعیت بهینه عمومی) کشیده می‌شوند. حال اگر $\Phi_2 << \Phi_1$ باشد آنگاه ذرات به سمت P_{best} (یعنی موقعیت بهینه فردی) کشیده می‌شوند در این صورت برای داشتن حالت میانگین باید $\Phi_2 = \Phi_1$ باشد. در این حالت، تمایل به رسیدن به G_{best} و P_{best} به یک میزان خواهد شد. اگر Φ_1 و Φ_2 مقادیر بزرگی باشند، آنگاه سرعت رسیدن به نقطه بهینه زیاد می‌شود ولی دقت محاسبه نقطه بهینه کم می‌باشد و احتمال به وجود آمدن نوسان در محاسبه نقاط بهینه در این الگوریتم زیاد می‌گردد. از طرفی اگر مقدار Φ_1 و Φ_2 کوچک باشد دقت نقطه اندازه‌گیری شده، بالا بوده ولی سرعت رسیدن به آن نقطه کم می‌شود. از طرف دیگر در حالت کلی می‌توان گفت که برای Φ_1 و Φ_2 باید شرط $\Phi_2 + \Phi_1 \geq 4$ برقرار باشد. معمولاً $\Phi_2 = \Phi_1 = 2{,}05$ قرار می‌دهند تا این شرط و شرط سرعت برآورده شود.

1. Constriction Factor

جدول 1: مقایسه نقاط بهینه حاصل از 4 روش.

روش مورد استفاده	F_T ($)
[5] GA	24058
[5] HNN	24058/12
[5] TSA	24058
روش پیشنهادی PSO	24058/061

در مورد ضریب انقباض نیز باید ذکر کرد که این ضریب باعث رسیدن به مقدار بهینه می‌شود. چون مقادیر کوچک w باعث ایجاد جابجایی‌های کند نقاط می‌شود، لذا حوزه جستجو کوچک می‌شود. همچنین مقادیر بزرگ w نیز باعث ایجاد جابجایی‌هایی با دامنه‌های بزرگ می‌شود. در نتیجه حوزه جستجو بزرگ می‌شود. اگر $w \approx 0$ باشد توده ذرات با دقت زیادی به نقطه نهایی می‌رسد و اگر $w \approx 1$ باشد توده به آرامی به نقطه نهایی می‌رسد.

فلوچارت الگوریتم PSO در شکل 2 نمایش داده شده است. در این فلوچارت تمامی محدودیت‌های فوق منظور شده است.

4- نتایج شبیه‌سازی

4-1 اطلاعات اولیه

برای بررسی مزایای الگوریتم PSO، این الگوریتم در پخش بار سیستم با 13 واحد نیروگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات کامل این سیستم را در پیوست این مقاله مشاهده می‌نمایید.

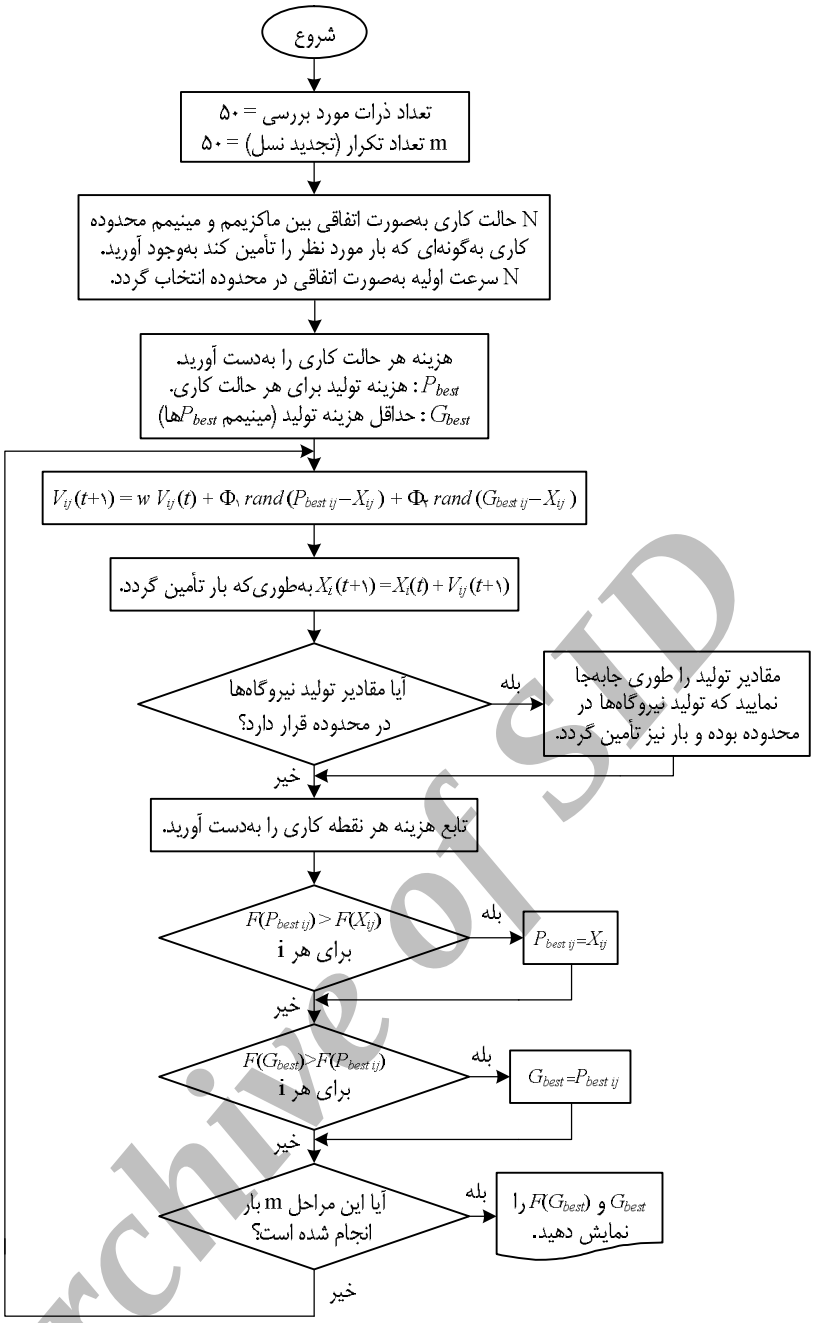
4-2 حل مسئله پخش بار با تابع هزینه درجه دوم

در این بخش روش PSO با روش‌های جستجوی تابو، الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مقایسه گردیده است. برای نیل به این هدف ناچاراً از تابع آلودگی و قید تلفات صرف نظر شده است. نتایج این مقایسه را در جدول 1 مشاهده می‌نمایید. همان‌گونه که در این جدول می‌بینید روش PSO دارای هزینه تولید 24058/061 می‌باشد که نسبت به روش‌های الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و جست و جوی تابو که دارای هزینه تولید 24058، 24058/12 و 24058 می‌باشد، دارای هزینه تولید قابل قبولی است. این نتایج نشان می‌دهد که این روش دارای دقت قابل قبول می‌باشد. روند یافتن نقطه بهینه به‌وسیله روش PSO در شکل 3 نمایش داده شده است. با بررسی دقیق این شکل سرعت بالای بهینه‌سازی این روش آشکار می‌شود؛ یعنی پس از گذشت 80 مرحله از اجرای این الگوریتم، نقطه بهینه به محدوده پایدار خود نزدیک می‌شود.

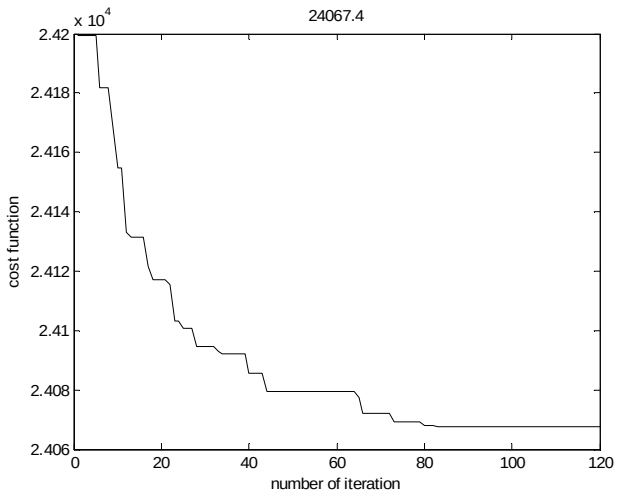
4-3 حل مسئله پخش بار با در نظر گرفتن تابع هزینه با مشخصات کامل

در این بخش، در تابع هزینه سیستم مفروض، نقاط زانویی و ترم سینوسی در نظر گرفته می‌شود. در این صورت پاسخ الگوریتم PSO در پخش بار سیستم مفروض به‌صورت شکل 4 می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، این روش پس از 40 تکرار به محدوده نقطه بهینه نزدیک می‌شود. همچنین با توجه به شکل 4، مشخص است که هزینه تولید در این حالت نسبت به حالت قبل (بخش 4-2 و شکل 3) افزایش یافته است که دلیل آن نیز تأثیر نقاط زانویی در تابع هزینه می‌باشد. لازم به‌ذکر است که در این مرحله نیز توان مصرفی بار شبکه مشابه قسمت 4-2 و برابر 2520 مگاوات در نظر گرفته می‌شود.

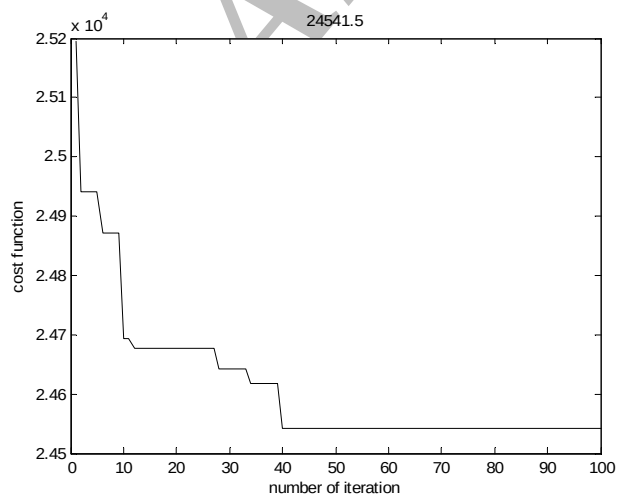
Archive of SID
www.SID.ir



شکل 2: الگوریتم PSO پیشنهادی برای حل مسئله.

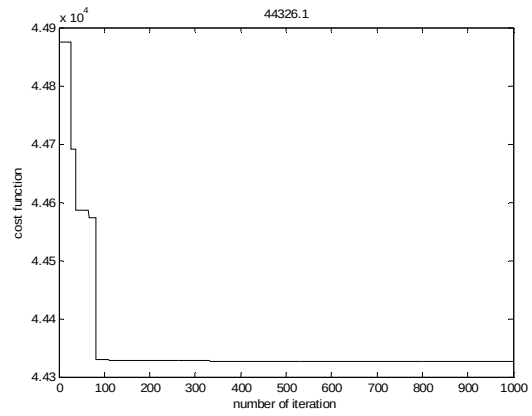


شکل 3: مسیر نقطه بهینهِ تابع هدف با استفاده از روش PSO با 120 تکرار.

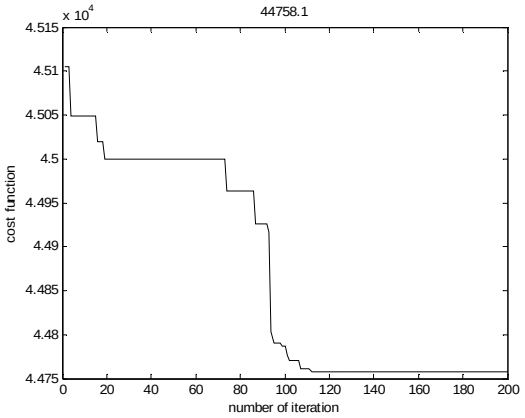


شکل 4: مسیر نقطه بهینه تابع هدف دارای نقاط زانویی با استفاده از روش PSO با 100 تکرار.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 5: مسیر نقطه بهینه تابع هدف دارای نقاط زانویی و با در نظر گرفتن آلودگی با استفاده از روش PSO با 1000 تکرار.



شکل 6: مسیر نقطه بهینه تابع هدف دارای نقاط زانویی و با در نظر گرفتن آلودگی با استفاده از روش PSO با 200 تکرار.

جدول 2: مقادیر تولید هر واحد نیروگاهی و هزینه تولید برای حالت‌های مختلف نتایج شبیه‌سازی.

مقادیر تولید برای شرایط بخش (4-5)	مقادیر تولید برای شرایط بخش (4-4)	مقادیر تولید برای شرایط بخش (4-3)	مقادیر تولید برای شرایط بخش (4-2)	P (MW)
499/794	538/6	679/66	680	P_1
319/729	299/1	359/64	360	P_2
234/51	299/1	299/64	360	P_3
160/017	159/6	159/25	55	P_4
199/711	159/6	159/73	60	P_5
159/999	200	159/73	75	P_6
160/188	200	159/72	40	P_7
160/038	200	159/73	148/33	P_8
159/987	198/8	159/73	148/33	P_9
119/521	77/55	70/01	148/33	P_{10}
115/45	77/55	41/39	148/33	P_{11}
119/886	55	56/39	148/33	P_{12}
119/858	55/01	56/39	148/33	P_{13}
2528/41	2520	2520	2520	P_t (MW)
24887	24523	24470	24058/061	F_{cost} ($)
19871	19803	19999	--	$\sum(E_{\text{cost},i} \bullet P_{ri})$

4-4 حل مسئله پخش بار با در نظر گرفتن تابع هزینه کامل و تابع آلودگی

در این بخش، پخش بار اقتصادی و آلودگی برای یک سیستم قدرت با تابع هزینه دارای نقاط زانویی به‌وسیله الگوریتم PSO انجام می‌شود. شکل 5 انجام پخش بار آلایندگی و اقتصادی را برای سیستم معرفی‌شدن نمایش می‌دهد که در آن هزینه سوخت، 24523 دلار می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود توزیع اقتصادی و توزیع بر اساس آلودگی به‌طور همزمان انجام می‌گیرد. در این حالت، با وجود آن که میزان هزینه سوخت افزایش یافته است ولی به دلیل کاهش میزان آلایندگی (مقدار تولید نیروگاه‌های مختلف به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که بار مورد نیاز مصرف‌کننده تأمین شده و میزان گازهای آلوده‌کننده نیروگاه‌ها و در نتیجه آن میزان تابع هزینه آلایندگی سیستم کاهش یافته و به 19871 واحد برسد) نقطه کار ارزشمندتری به‌دست می‌آید.

5-4 حل مسئله پخش بار با در نظر گرفتن تمام شرایط و تمام محدودیت‌ها

با در نظر گرفتن قیود مربوط به محدودیت تغییر در تولید توان دیگر نمی‌توان در نیروگاه اول تولید 538/6 مگاوات را به‌دست آورد؛ زیرا حداکثر توان تولیدی مجاز با در نظر گرفتن شرط میزان تغییرات مجاز تولید برابر 520 مگاوات می‌باشد. از طرفی در این حالت با در نظر گرفتن تلفات سیستم، مجموع توان تولیدی نیروگاه‌ها بیش از 2520 مگاوات خواهد شد. از آنجا که میزان تولید توان، افزایش یافته و امکان دسترسی به موقعیت بهینه عمومی وجود ندارد لذا هزینه تولیدِ توان نیز افزایش خواهد یافت.

با انجام پخش بار اقتصادی میزان تولید هر واحد و هزینه تولید کل نیروگاه‌ها محاسبه گردیده که در جدول 2 نشان داده شده است. همان‌گونه که در این جدول نیز مشاهده می‌شود با اعمال محدودیت‌های تولید، هزینه تولید از 24523 دلار به 24887 دلار افزایش یافته است و همچنین میزان آلایندگی نیز از 19803 به 19871 (دلار) رسیده است که این افزایش هزینه و آلایندگی به‌دلیل اعمال محدودیت تولید رخ داده است. البته برای از بین بردن تأثیر تلفات میزان تولید هم از 2520 مگاوات به 2528/41 مگاوات افزایش یافته است.

در شکل 6 نیز مسیر نقطه بهینه تابع هدف برای این محدودیت‌ها مشاهده می‌گردد. با بررسی این شکل مشاهده می‌شود که روند یافتن نقطه بهینه دارای سرعت زیادی می‌باشد که رسیدن به محدوده پایداری پس از 100 مرحله، خود مؤید این مطلب است. از طرفی به‌دلیل وجود

www.SID.ir

جدول 3: اطلاعات ورودی سیستم با 13 واحد نیروگاهی (با در نظر گرفتن ضرایب آلودگی).

Unit	P_{min}	P_{max}	a_i	b_i	c_i	e_i	f_i	α_i	β_i	γ_i	P_i^o	UR_i	DR_i
1	0	680	550	8٫1	0٫00028	300	0٫035	75٫303	-5٫763	0٫09	400	120	80
2	0	360	309	8٫1	0٫00056	200	0٫042	63	-5٫46	0٫093	200	120	80
3	0	360	307	8٫1	0٫00056	200	0٫042	63	-5٫46	0٫093	105	130	130
4	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	100	130	130
5	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	90	120	80
6	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	140	120	80
7	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	140	120	80
8	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	95	100	65
9	60	200	240	7٫74	0٫00324	150	0٫063	72	-5٫43	0٫054	105	100	60
10	40	120	126	8٫6	0٫00284	100	0٫084	69	-4٫2	0٫045	110	80	60
11	40	120	126	8٫6	0٫00284	100	0٫084	69	-4٫2	0٫045	60	80	80
12	55	120	126	8٫6	0٫00284	100	0٫084	69	-4٫2	0٫045	70	80	80
13	55	120	126	8٫6	0٫00284	100	0٫084	69	-4٫2	0٫045	75	80	80

محدودیت‌های فراوان و نیز ناصاف‌بودن تابع تبدیل روند تغییرات نقطه بهینه G_{best} ملایم نمی‌باشد بلکه به‌صورت ناگهانی می‌باشد.

6-4 مقایسه نتایج حالت‌های مختلف

جدول 2 پخش بار اقتصادی را برای حالات مختلف تابع هزینه نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هنگامی که در مسئله پخش بار اقتصادی، تابعِ هزینه درجه دو فرض شد، هزینه تولیدِ 2520 مگاوات انرژی الکتریکی برابر 24058٫12 دلار به‌دست آمد. در صورتی که تابع هزینه واقعی‌تر در نظر گرفته شود و نقاط زانویی تابع هزینه نیز به مسئله وارد شود هزینه تولید به 24470 دلار رسید. دلیل افزایش هزینه تولید در این قسمت، اضافه‌شدن ترم مثبت به تابع هزینه تولید انرژی می‌باشد. در بخش 4-4 با اعمال شرط کاهش آلایندگی ناشی از نیروگاه هزینه تولید به 24533 دلار افزایش یافت؛ در عوض میزان هزینه آلایندگی سیستم، از 19999 دلار به 19803 دلار کاهش نشان داد. در نهایت با در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید و تلفاتِ خطوط انتقال (در بخش 4-5)، هزینه تولید به 24887 دلار افزایش یافت. با این کار، میزان تولید نیروگاه‌ها افزایش یافته، به‌گونه‌ای که 2520 مگاوات انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان می‌رسد. البته در این حالت، قسمتی از افزایش هزینه تولید مربوط به افزایش تولید توان در سیستم، و به‌منظور جبران تلفات خطوط می‌باشد.

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسأله بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی با استفاده از الگوریتم PSO انجام شده است. به این منظور در مسئله پخش بار، محدودیت‌های مختلفی از جمله در نظر گرفتن تابع هزینه دارای نقاط زانویی، کاهش میزان آلودگی، محدودیت‌های نقطه کار سیستم و تلفات سیستم در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها هم‌زمان دو هدف کاهش هزینه و کاهش آلودگی به‌دست می‌آید. روش پیشنهادی PSO روند یافتن جواب را ساده نموده و سرعت بالایی دارد تا بتواند واقعیت‌های حاکم بر سیستم‌های قدرت و نیروگاه‌ها را مد نظر قرار دهد. نکته قابل ذکر دیگر این است که با افزایش محدودیت‌ها باز هم نقطه بهینه با سرعت بالایی به‌دست می‌آید.

پیوست

تمام اطلاعات اولیه برای سیستم نیروگاهی شبیه‌سازی‌شده در جدول 3 آورده شده است. همچنین ضرایب مربوط به تابع تلفات شبکه با 13 واحد نیروگاهی نیز به‌صورت (پ-1) و (پ-2) می‌باشد.

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} +0٫14 & +0٫12 & +0٫07 & -0٫1 & -0٫03 & -00٫01 & -0٫01 & -00٫01 & -0٫03 & +0٫05 & -00٫03 & -00٫02 & +00٫04 \\ 0٫12 & 0٫15 & 0٫13 & 0٫0 & -0٫05 & -0٫02 & 0٫00 & 0٫01 & -0٫02 & -0٫04 & -0٫04 & 0٫0 & 0٫04 \\ 0٫07 & 0٫13 & 0٫76 & -0٫01 & -0٫13 & -0٫09 & -0٫01 & 0٫0 & -0٫08 & -0٫12 & -0٫17 & 0٫0 & -0٫26 \\ -0٫01 & 0٫0 & -0٫01 & 0٫34 & -0٫07 & -0٫04 & 0٫11 & 0٫5 & 0٫29 & 0٫32 & -0٫11 & 0٫0 & 0٫01 \\ -0٫03 & -0٫05 & -0٫13 & -0٫07 & 0٫9 & 0٫14 & -0٫03 & -0٫12 & -0٫1 & -0٫13 & 0٫07 & -0٫02 & -0٫02 \\ -0٫01 & -0٫02 & -0٫09 & -0٫04 & 0٫14 & 0٫16 & 0٫0 & -0٫06 & -0٫05 & -0٫08 & 0٫11 & -0٫01 & -0٫02 \\ -0٫01 & 0٫0 & -0٫01 & 0٫11 & -0٫03 & 0٫0 & 0٫15 & 0٫17 & 0٫15 & 0٫09 & -0٫05 & 0٫07 & 0٫0 \\ -0٫01 & 0٫01 & 0٫0 & 0٫5 & -0٫12 & -0٫06 & 0٫17 & 1٫68 & 0٫82 & 0٫79 & -0٫23 & -0٫36 & 0٫01 \\ -0٫03 & -0٫02 & -0٫08 & 0٫29 & -0٫1 & -0٫05 & 0٫15 & 0٫82 & 1٫29 & 1٫16 & -0٫21 & -0٫25 & 0٫07 \\ 0٫05 & -0٫04 & -0٫12 & 0٫23 & -0٫13 & -0٫08 & 0٫09 & 0٫79 & 1٫16 & 2 & -0٫27 & -0٫34 & 0٫09 \\ -0٫03 & -0٫04 & -0٫17 & -0٫11 & 0٫07 & 0٫11 & -0٫05 & -0٫23 & -0٫21 & -0٫27 & 1٫4 & 0٫01 & 0٫04 \\ -0٫02 & 0٫0 & 0٫0 & 0٫0 & -0٫02 & -0٫01 & 0٫07 & -0٫36 & -0٫25 & -0٫34 & 0٫01 & 0٫54 & -0٫01 \\ 0٫04 & 0٫04 & -0٫26 & 0٫01 & -0٫02 & 0٫0 & 0٫01 & 0٫01 & 0٫07 & 0٫09 & 0٫04 & -0٫01 & 1٫03 \end{bmatrix} * 0٫00002 \quad (\text{پ-1})$$

$$B_{oi} = [0٫01 \quad 0٫02 \quad 0٫28 \quad 0٫01 \quad 0٫01 \quad 0٫03 \quad 0٫02 \quad 0٫02 \quad 0٫06 \quad 0٫39 \quad 0٫17 \quad 0٫0 \quad 0٫32] * 0٫0001$$

$$B_{oo} = 0٫55 \quad (\text{پ-2})$$

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] Y. H. Hou, L. J. Lu, X. Y. Xiong, and Y. W. Wu, "Economic dispatch of power systems based on the modified particle swarm optimization algorithm," in *Proc. IEEE Conf. on Transmission and Distribution for Asia and Pacific Region*, vol. 1, pp. 1-6, 2005.

[2] A. I. Selvakumar and K. Thanushkodi, "A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems," *IEEE Trans. on Power System*, vol. 22, no. 1, pp. 42-51, Feb. 2007.

[3] C. H. Chen and S. N. Yeh, "Particle swarm optimization for economic power dispatch with valve-point effects," in *Proc. IEEE Conf. and Exposition on Transmission & Distribution*, pp. 1-5, Jun. 2006.

[4] J. B. Park, Y. W. Jeong, W. N. Lee, and J. R. Shin, "An improved particle swarm optimization for economic dispatch problems with non-smooth cost functions," in *Proc. IEEE Conf. and Exposition on Transmission & Distribution*, pp. 1-7, Jun. 2006.

[5] S. Khamsawang, C. Boonseng, and S. Pothiya, "Solving the economic dispatch problem with Tabu search algorithm," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial Technology*, vol. 1, pp. 274-278, Dec. 2002.

[6] J. B. Park, K. S. Lee, J. R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 34-42, Feb. 2005.

[7] A. I. S. Kumar, K. Dhanushkodi1, J. Kumar, and C. K. C. Paul, "Particle swarm optimization solution to emission and economic dispatch problem," in *Proc. Conf. on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*, vol. 1, pp. 435-439, Oct. 2003.

[8] J. W. Lamont and E. V. Obessis, "Emission dispatch models and algorithms for the 1990's," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 941-947, May 1995.

[9] T. Thakur, K. Sem, S. Saini, and S. Sharma, "A particle swarm optimization solution to NO2 and SO2 emissions for environmentally constrained economic dispatch problem," in *Proc. IEEE/PES Transmission & Distribution Conf. and Exposition*, pp. 1-5, 15-18 Aug. 2006.

[10] و. ولن برگ، *تولید، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت*، ترجمه حسین سیفی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، 1984.

[11] D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Trans. Power System*, vol. 8, no. 3, pp. 1325-1332, Aug. 1993.

[12] T. Yalcinoz and M. J. Short, "Neural networks approach for solving economic dispatch problem with transmission capacity constraints," *IEEE Trans. on Power System*, vol. 13, no. 2, pp. 307-313, May 1998.

[13] A. Bakirtzis, V. Petridis, and S. Kazarlis, "Genetic algorithm solution to the economic dispatch problem," *IEE Proceedings Inst. Elect. Eng. -Gen., Trans. Dist.*, vol. 141, no. 4, pp. 377-382, Jul. 1994.

[14] Z. L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Trans. on Power System*, vol. 18, no. 3, pp. 1187-1195, Aug. 2003.

[15] A. El-Gallad, M. El-Hawary, A. Sallam, and A. Kalas, "Paticle swarm optimizer for constrained economic dispatch with prohibited operating zones," in *Proc. Conf on Electrical and Computer Engineering*, vol. 1, pp. 78-81, May 2002.

[16] R. K. Pancholi and K. S. Swarup, "Particle swarm optimization for security constrained economic dispatch," in *Proc. Conf. on Intelligent Sensing and Information Processing, ICISIP'04*, pp. 7-12, 2004.

[17] K. Y. Lee and J. B. Park, "Application of particle swarm optimization to economic dispatch problem: advantages and disadvantages," in *Proc. IEEE Conf. on Power Systems and Exposition, PSCE '06*, vol. 1, pp. 188-192, Oct. 2006.

[18] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Neural Netwroks*, vol. 4, pp. 1942-1948, Perth, Australia, 1995.

رحمت‌الله هوشمند تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد به‌ترتیب در سال‌های 1364 (دانشگاه فردوسی مشهد) و 1368 (دانشگاه تهران) در رشته مهندسی برق آغاز نمود. وی مقطع دکتری مهندسی برق را در سال 1374 در دانشگاه تربیت مدرس تهران به پایان رسانده است و هم‌اکنون عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه اصفهان می‌باشد. نام‌برده قبل از پیوستنش به دانشگاه اصفهان در سال‌های 1375 الی 1381 استادیار دانشگاه چمران اهواز بوده و از سال 1385 تاکنون دانشیار دانشگاه اصفهان می‌باشد. زمینه تحقیقاتی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی سیستم‌های قدرت و شبکه‌های توزیع برق، شبکه‌های تجدید ساختاریافته و کاربرد سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق می‌باشد.

معین پرستگاری در سال 1384 مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه شهرکرد و در سال 1387 مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه اصفهان دریافت نمود. پس از آن در سال 1387 به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه اصفهان وارد گردید. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند ایده‌های نو در سیستم‌های قدرت، بازار برق و کنترل سیستم‌های قدرت می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir