تخمین حالت در شبکه‌های توزیع برق بر مبنای بهینه‌سازی اجتماع ذرات دو حلقه‌ای جهش یافته (DLM-PSO)

علی عارفی[۱] محمودرضا حقی‌فام[۲] سید حمید فتحی[۳]

۱- مربی- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، گروه برق قدرت- تهران- ایران
a_arefi@azad.ac.ir
۲- استاد- دانشگاه تربیت مدرس- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- تهران- ایران
haghifam@modares.ac.ir
۳- دانشیار- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی کامپیوتر- تهران- ایران
fathi@aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله روشی جدید بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات جهت تخمین حالت در شبکه‌های توزیع برق پیشنهاد می‌شود. جهت بالا بردن کارایی، دقت، سرعت همگرایی به پاسخ و جلوگیری از نوسانی شدن الگوریتم اجتماع ذرات اصلی، حلقه دوم اجتماع ذرات بعلاوه الگوریتم جهش به همراه تابع ایزولاسیون ارایه می‌شود. به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت بارها در شبکه‌های توزیع ، مدل‌شده به صورت اکتیو و راکتیو، اندازه‌گیرهای مجازی با خطایی واقع‌بینانه مدلسازی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی روی دو شبکه توزیع شعاعی ۶ باسه و ۳۴ باسه تست IEEE نشان می‌دهد که تخمین حالت توزیع بر مبنای الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO دارای خطای تخمین و انحراف معیار کمتر در مقایسه با الگوریتم‌هایی نظیر WLS، GA، HBMO و PSO اصلی می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع، تخمین حالت، الگوریتم اجتماع ذرات، جهش، تابع ایزولاسیون.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۹/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۱۸

نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر محمودرضا حقی‌فام

نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران – تهران – بزرگراه جلال آل احمد- دانشگاه ترتبی مدرس- دانشکده‌ی برق و کامپیوتر

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۱- مقدمه

به منظور بهره‌برداری و برنامه‌ریزی بهینه در شبکه‌های توزیع، از جمله، پیش‌بینی بار، مدیریت اتفاقات، بازآرایی، تخصیص تلفات و غیره در سیستم‌های مدیریت توزیع[۱] از تخمین حالت استفاده می‌شود. استفاده از سیستم‌های پیشرفته در پایش، کنترل و تکنولوژی‌های خودترمیم در شبکه‌های توزیع هوشمند [۱و۲] عواملی مهم در هدایت این شبکه‌ها در استفاده از تخمین حالت توزیع[۲] بوده است. زیرا توسط تخمین حالت توزیع، می‌توان پارامترهای الکتریکی شبکه را در مدت زمان کوتاهی محاسبه و تخمین زد و بدین وسیله اطلاعات لازم جهت برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و کنترل‌های دیگر را فراهم نمود [۳].

از آنجاییکه تعداد بارها و نقاط قابل اندازه‌گیری در شبکه‌های توزیع زیاد می‌باشد، اندازه‌گیری بهنگام از تمام نقاط مدنظر امکانپذیر نمی‌باشد. از اینرو در شبکه‌های توزیع از تعداد اندازه‌گیر کمتر نسبت به تعداد متغیرها جهت تخمین استفاده می‌شود. در نتیجه استفاده از اندازه‌گیرهای مجازی[۳] به جای اندازه‌گیرهای بهنگام پیشنهاد شده است [۹-۴] تا به کمک روش‌های کارا جدید بهینه‌سازی بتوان به خطای تخمین مشخصی دست یافت [۱۴-۱۰].

رویتلمن و همکاران روشی را برای تخمین حالت توزیع جهت کمترین تعداد اندازه‌گیرهای بهنگام بر اساس روش WLS و کمینه نمودن خطای جریان ارایه دادند [۴]. لین و همکار نیز روشی را بر مبنای معادلات decoupled سریع ارایه داده‌اند تا الگوریتم مقاوم و کارا ایجاد گردد [۵]. این نویسنده در مرجع [۶] تخمین حالت در شبکه‌های توزیع بر مبنای جریان شاخه‌ها ارایه دادند تا بتوان به الگوریتمی مقاوم با دقت بالاتر و فرضیات کمتری در فازور ولتاژها دست یافت. سینگ و همکاران، روش‌های مختلف تخمین حالت را بررسی و کارایی آنها در حضور تغییرات تصادفی اندازه‌گیرهای مجازی تحلیل نموده‌اند که تا آن زمان بررسی نشده بود [۷]. موسکاس و همکاران تخمین حالت جریان شاخه‌ها را با در نظر گرفتن تابع چگالی احتمالاتی گوسی برای اندازه‌گیرهای مجازی ارایه کرده‌اند [۸]. معلم و همکاران نیز روش جاروب پیشرو و پسرو را برای تخمین حالت هارمونیکی شبکه توزیع واقعی استفاده نموده و در فرایند تخمین، داده‌های نادرست نیز شناساسیی و جایگزین می‌شوند [۹]. سینگ و همکاران نیز با کمک تابع چگالی احتمالی گوسی همه بارها، تخمینی از چگالی احتمالی خطا بر مبنای مدل ترکیبی گوسی[۴] ارایه نموده و در تخمین حالت توزیع به روش کمترین مربعات وزن داده‌شده بکار برده‌اند [۱۰].

در این میان، برخی روش‌های هوشمند، تکاملی و خبره نیز در تخمین حالت توزیع بکار رفته است. ساریک و همکاران، مدل فازی اندازه‌گیرهای مجازی به همراه اندازه‌گیرهای بهنگام را در تخمین حالت توزیع ارایه نمودند [۱۱]. برنیری و همکاران، اندازه‌گیر مجازی شبکه عصبی را ارایه نمودند که بر اساس آن تخمین حالت توزیع را بر مبنای شبکه‌های هوش مصنوعی انجام دادند [۱۲].

در سالهای اخیر استفاده از روش‌های خبره در بهینه‌سازی و حل مسایل پیچیده گسترش یافته است. دلیل این امر کارایی این روش‌ها در مسایل غیرخطی، دارای مجهولات زیاد و زمان همگرایی کم می‌باشد. اما برخی مشکلات این روش‌ها از جمله مساله همگرایی، نوسانی شدن در بعضی حالات، مقداردهی پارامترهای زیاد و غیره باید توسط الگوریتم‌های کمکی حل و جبران شوند. ناکا و همکاران از روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات[۵] ترکیبی برای تخمین حالت توزیع استفاده نمودند. در این روش از بهینه‌سازی اجتماع ذرات و الگوریتم ژنتیک، باهم، استفاده شده بطوریکه قابلیت حل مساله تخمین حالت را در حضور عناصر غیرخطی و گسسته توزیع مانند بانک‌های خازنی متغیر و تپ‌چنجرها داشته باشد [۱۳]. عارفی و همکاران نیز روشی را بر اساس الگوریتم جفت‌گیری زنبور عسل[۶] جهت تخمین حالت هارمونیکی در شبکه‌های توزیع ارایه داده‌اند [۱۴].

روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات دارای برخی مزایا نسبت به دیگر الگوریتم‌ها مانند الگوریتم ژنتیک دارد که از جمله این مزایا می‌توان به این موارد اشاره نمود: ساده بودن پیاده‌سازی و پارامترهای کمتر جهت مقداردهی، داشتن حافظه بهتر از ذرات به دلیل ذخیره بهترین موقعیت آنها، کنترل حرکت ذرات در جستجوی کل فضا یا محدوده‌ای از آن و وجود نحوه تعیین پارامترها جهت کنترل همگرایی و اثبات ریاضی آن [۱۵]. جهت بهبود دقت و همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات، از برخی روش‌های کمکی استفاده شده که باعث ایجاد تنوع و روش‌های ترکیبی شده است که به صورت جدول (۱) می‌توان آنها را دسته‌بندی نمود که برای توضیحات کاملتر می‌توان به مرجع [۱۶] رجوع نمود. برای کاربردهای مختلف بهینه‌سازی، روشهای مختلف PSO مناسب است. این انتخاب بستگی به تعداد متغیرها، پیچیدگی تابع هدف، محدودیت‌ها و غیره دارد.

در این مقاله روشی جدید بر مبنای PSO با ۳ قابلیت دیگر برای تخمین حالت توزیع استفاده شده است. این ۳ قابلیت عبارتند از:

۱- حلقه اول و دوم PSO (Doubly Loop PSO): برای بالا بردن دقت و سرعت الگوریتم.

۲- جهش (Mutation): برای بالا بردن نرخ تغییرات الگوریتم به سمت پاسخ مساله.

۳- تابع ایزولاسیون (Stretching Function): برای ایزوله نمودن پاسخ حاصله جهت کشف پاسخی دیگر.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

جدول (۱): انواع PSO

Other PSO	PSO in Complex Environment	Adaptive PSO	Hybrid PSO
• Gaussian PSO (GPSO) • Dissipative PSO (DPSO) • PSO with Passive Congregation (PSOPC) • Stretching PSO (SPSO) • Cooperative PSO (CPSO) • Concurrent PSO (CONPSO) • Comprehensive Learning PSO (CLPSO) • Mutation PSO (MPSO) • Orthogonal Momentum-Type PSO	• Multi objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) • Dynamic Neighborhood PSO (DN-PSO) • Vector Evaluated PSO (VEPSO) • Constraint Handling in PSO • Dynamic Tracking in PSO	• Fuzzy logic PSO • Secondary PSO in primary PSO • Time-Varying Acceleration Coefficients (TVAC) • Self-Organizing Hierarchical PSO (SOH-PSO) • Q-learning PSO • Adaptive PSO: exploration, exploitation, convergence, and jumping out • Species-based PSO (SPSO)	• Hybrid of Genetic Algorithm and PSO (GA-PSO) • Hybrid of Evolutionary Programming and PSO (EPSO) • Hybrid of Differential Evolution and PSO (DEPSO) • Hybrid of SA and PSO (SA-PSO) • Hybrid of TS and PSO (TS-PSO) • Hybrid of NM and PSO (NM-PSO) • Hybrid of ACO and PSO (ACO-PSO) • Composite PSO (C-PSO) • Hybrid of K-Means and PSO (K-PSO)

نوآوری این مقاله در بکارگیری این ۳ قابلیت با یکدیگر در کنار الگوریتم PSO اصلی و ارایه الگوریتمی جدید به نام PSO دو حلقه‌ای جهش یافته[۷] (DLM-PSO) برای تخمین حالت توزیع می‌باشد. بطوریکه توسط آن می‌توان با دقت و سرعت بهتر نسبت به PSO اصلی، حالات شبکه توزیع را یافت. یکی دیگر از مزیت‌های این روش در شبکه‌های توزیع با اطلاعات محدود یا نامعین (یعنی شبکه با پاسخ‌های زیاد یا تعداد اندازه‌گیر کمتر از تعداد متغیرها) است زیرا می‌توان به خوبی انحراف معیار[۸] (SD) متغیرهای حالت شبکه را محاسبه نمود.

علاوه بر این، در این مقاله، عدم قطعیت بار در شبکه‌های توزیع نیز با توجه به خطای موجود در اندازه‌گیرهای مجازی به خوبی مدلسازی شده است تا بتوان شرایط عملی موجود در اینگونه شبکه‌ها را توصیف نمود.

در بخش دوم این مقاله به بررسی و تعریف PSO اصلی و هر یک از قابلیت‌های پیشنهادی در الگوریتم بکار رفته در اینجا پرداخته می‌شود. در بخش سوم به بررسی و ارایه الگوریتم DLM-PSO و دلایل مزیت آن نسبت به PSO اصلی ارایه شده است. در بخش چهارم کاربرد DLM-PSO در تخمین حالت توزیع تبیین شده است. و در نهایت شبیه‌سازی و نتایج آن در بخش پنجم توضیح داده شده است.

۲- PSO اصلی و قابلیت‌های سه‌گانه پیشنهادی

دو رویکرد اصلی در پیاده‌سازی PSO وجود دارد. یکی از این دو عبارت است از بکارگیری ضریب وزنی اینرسی[۹] و دیگری استفاده از ضریب انقباض[۱۰]. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از ضریب انقباض منجر به کارایی بهتری به ضریب وزنی اینرسی خواهد شد [۱۶]. لذا در این مقاله از روش ضریب انقباض در الگوریتم PSO استفاده شده است.

۲-۱- PSO اصلی با استفاده از ضریب انقباض

مدل کلی الگوریتم PSO بر مبنای معادلات دیفرانسیل و با پنج ضریب قابل تنظیم به خوبی در مرجع [۱۷] بررسی شده است. اثبات ریاضی چگونگی کنترل قابلیتهای PSO با تنظیم این پارامترها نیز بیان شده است. از میان مدل‌های ارایه شده در [۱۷]، مدل $1''$ هم تعداد پارامترهای کمتر جهت مقداردهی اولیه و هم دارای قابلیت کنترل خوب در گسترش جستجو و محدود کردن به جستجوی محلی آن دارد. از این رو در این مقاله از این مدل که همان روش ضریب انقباض است، استفاده شده است.

معادله (۱) معادله بروزرسانی موقعیت ذرات را به روش ضریب انقباض ارایه می‌دهد. و شکل (۱) نحوه جستجوی پاسخ را در این روش نمایش می‌دهد.

$$V_i^{(k+1)} = \chi(V_i^{(k)} + c_1 \times rand_1 \times (Pbest_i - X_i^{(k)}) + c_2 \times rand_2 \times (Gbest - X_i^{(k)})) \quad (1)$$
$$X_i^{(k+1)} = X_i^{(k)} + V_i^{(k+1)}$$

که در این رابطه:

$V_i^{(k)}$: سرعت ذره i ام در زمان k،

$X_i^{(k)}$: موقعیت ذره i ام در زمان k،

χ : ضریب انقباض،

$Pbest_i$:بهترین مقدار ذره i ام تا کنون،

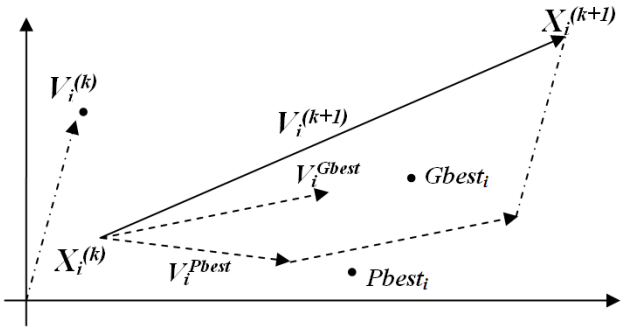
$Gbest$: بهترین مقدار بین $Pbest_i$ ها،

$rand$: عددی تصادفی بین ۰ و ۱،

c_1 & c_2: ضرایب ثابت.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]



شکل (۱): نحوه جستجوی الگوریتم PSO به روش ضریب انقباض

به منظور حفظ پایداری و کنترل همگرایی PSO، ضریب انقباض طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۱۷].

$$\chi = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{2\kappa}{\varphi - 2 + \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}}}, & \varphi > 4 \\ \sqrt{\kappa} & else \end{cases} \qquad \varphi = c_1 + c_2 \qquad (۲)$$

ضریب $\kappa \in]0,1[$، ضریبی است که کنترل جستجوی گسترده اکتشافی[۱۱] و جستجوی محلی استخراجی[۱۲] را بر عهده دارد. در واقع به ازای مقادیر بزرگ κ الگوریتم PSO کل فضای جستجو را به خوبی کندوکاو کرده و سپس به سمت پاسخ بهینه همگرا می‌شود. ولی به ازای مقادیر اندک κ، الگوریتم خیلی سریعتر به سمت جواب بهینه تا آن زمان همگرا می‌شود. انتخاب این ضریب در همگرایی مناسب در کنار دقت خوب بسیار موثر و حیاتی بوده و باید با توجه به شرایط مساله و پیچیدگی‌های آن انتخاب گردد [۱۸].

۲-۲- PSO دوحلقه‌ای

روشهای مختلف PSO تطبیقی در مراجع مختلف ارایه شده است [۱۵]. از آنجاییکه الگوریتم PSO هم قابلیت جستجوی گسترده و هم جستجوی محلی را با تنظیم پارامترهای خود دارد، از این رو بهترین استراتژی در رسیدن به پاسخ این است که ابتدا PSO با مقدار ضریب κ بالا شروع به کار نموده و به مقادیر نزدیک پاسخ پیش رود، سپس با رسیدن $Gbest$ به مقداری از پیش تعریف‌شده مانند ۰/۱، ۰/۰۱ یا ۰/۰۰۱، حلقه داخلی PSO با مقدار κ کوچکتر، محدوده‌ی جستجوی کوچکتر و تعداد ذرات خیلی کمتر فعال خواهد شد. در حلقه داخلی، پاسخ با خطای مدنظر، برای مثال 10^{-7}، تعیین شده و در مجموعه جوابها به نام "مجموعه کمینه‌های سراسری" ذخیره می‌شود.

۲-۳- PSO جهش یافته

جهش در PSO باعث جلوگیری از حالت رکود و ایستایی در روند تغییرات تابع هدف به سوی پاسخ می‌شود [۱۹]. هنگامی که تجربه ذرات در جستجوی هدف نزدیک یکدیگر می‌شود، مقدار بهبود در $Gbest$ با افزایش تکرارها تغییر چندانی نمی‌کند که این مساله باعث طولانی شدن یافتن پاسخ خواهد شد. از این رو هرگاه تغییرات $Gbest$ در تعداد مشخصی تکرار زیاد نباشد، یکی از ذرات به احتمالی مشخص به نام "احتمال جهش" انتخاب، سپس اغتشاشی به یکی از بعدهای آن، منتخب به صورت تصادفی، اضافه یا کم خواهد شد [۲۰]. به همین دلیلی علاوه بر بکارگیری حلقه داخلی PSO، قابلیت جهش نیز در الگوریتم پیشنهادی گنجانده شده است. در این مقاله اگر پس از ۳۰ تکرار پشت سرهم، انحراف معیار $Gbest$ از مقدار ۱ کمتر باشد، تابع جهش با "احتمال جهش" برابر ۰/۷ اعمال خواهد شد.

۲-۴- تابع ایزولاسیون (Stretching Function)

هدف از استفاده‌ی تابع ایزولاسیون در الگوریتم، ایزوله نمودن یک یا مجموعه‌ای از نقاط در محدوده جستجوی تابع هدف می‌باشد. این عمل با افزایش مقدار تابع هدف در نزدیکی نقاط ایزوله شده صورت می‌پذیرد که بدین طریق ذرات جستجوگر را از حرکت به سمت این نقاط باز می‌دارد. کاربرد تابع ایزولاسیون در ۲ حالت است:

الف- وجود کمینه محلی: به منظور گیر نکردن در کمینه محلی و یافتن کمینه سراسری، تابع ایزولاسیون کمینه محلی را ایزوله نموده تا ذرات بتوانند کمینه سراسری را پیدا نمایند.

ب- وجود کمینه‌های سراسری متعدد: در این حالت به منظور یافتن همه یا تعدادی مشخص از کمینه‌های سراسری، پس از یافتن هر کمینه، تابع ایزولاسیون آنرا ایزوله نموده و راه را برای یافتن کمینه‌های دیگر برای ذرات هموار می‌سازد. در غیر اینصورت ذرات دارای حرکتی نوسانی و تکراری در فضای جستجو خواهند شد. زیرا ذرات متعدد، کمینه‌های مختلفی را دیده و قصد دارند که دیگر ذرات را به آن سمت متمایل سازند. استفاده از تابع ایزولاسیون از ایجاد چنین حرکت نوسانی و تاخیر در یافتن پاسخ جلوگیری می‌کند. این مساله در تخمین حالت توزیع بسیار حایز اهمیت است، جاییکه تعداد پاسخ‌ها برای متغیرهای حالت شبکه زیاد است به عبارتی دیگر تعداد لوازم اندازه‌گیری از تعداد متغیرها کمتر می‌باشد.

تابع بکار رفته در این مقاله در رابطه (۳) آمده است. همچنین تاثیر بکارگیری این تابع در ایزوله نمودن نقطه کمینه محلی تابع هدف نمونه در شکل (۲) نشان داده شده است.

$$Str(\bar{x}) = f(\bar{x}) + \gamma_1 \frac{sign(Neighbour - \| \bar{x} - \bar{x}_{GM} \|) + 1}{\mu(\| \bar{x} - \bar{x}_{GM} \| + 10^{-5})} \qquad (۳)$$

که در این رابطه:

$f(\bar{x})$: مقدار تابع هدف،

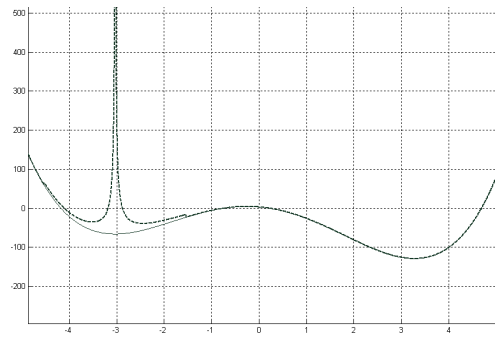
$\bar{x}$: موقعیت ذره،

$\bar{x}_{GM}$: موقعیت نقطه کمینه سراسری (نقطه ایزوله شده)،

$Neighbour$: فاصله شعاعی از $\bar{x}_{GM}$،

μ و γ_1: اعدادی ثابت.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]



شکل (۲): تاثیر تابع ایزولاسیون در ایزوله نمودن نقطه کمینه محلی، خط پیوسته: تابع هدف، خط چین: تابع هدف پس اعمال تابع ایزولاسیون.

متغیر *Neighbour*، مقدار فاصله شعاعی از نقطه ایزوله را مشخص می‌کند که در آن مقدار تابع هدف به صورت نمایی افزایش خواهد یافت. همچنین متغیر μ میزان افزایش تابع هدف در نقطه ایزوله را تعیین می‌نماید. این مقادیر با توجه به نوع ومقادیر تابع هدف مشخص خواهد شد.

۳- الگوریتم پیشنهادی PSO دو حلقه‌ای جهش یافته (DLM-PSO)

در این بخش به ارایه و بررسی الگوریتم PSO با اضافه نمودن ۳ قابلیت به آن که در این مقاله به DLM-PSO نامیده شده، پرداخته می‌شود. فرایند الگوریتم پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که در شکل نیز نشان داده شده است، گام‌های کلی فرایند بهینه‌سازی بر مبنای الگوریتم DLM-PSO به صورت زیر خواهد بود:

گام ۱: مقداردهی پارامترها و تولید موقعیت و سرعت جمعیت اولیه برای حلقه اصلی PSO،

گام ۲: اعمال الگوریتم PSO به روش ضریب انقباض،

گام ۳: اعمال تابع ایزولاسیون،

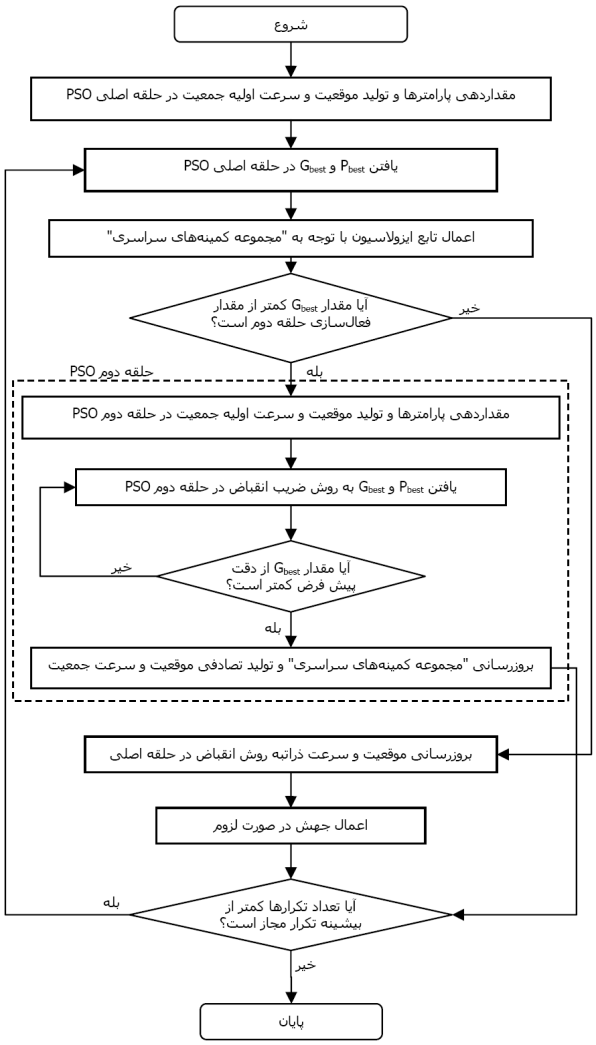
گام ۴: اعمال الگوریتم جهش در صورت لزوم،

گام ۵: تکرار گام‌های ۲ و ۳ تا رسیدن به مقداری از تابع هدف جهت فعال نمودن حلقه دوم PSO،

گام ۶: اجرای حلقه دوم PSO به روش ضریب انقباض و ذخیره پاسخ حاصله در "مجموعه کمینه‌های سراسری"،

گام ۷: تکرار گام‌های فوق تا رسیدن به تعداد بیشینه تکرار.

طبق الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO، ابتدا الگوریتم PSO اصلی، ذرات را تا نزدیک نقطه بهینه جلو برده و سپس ادامه کار را به مجموعه‌ای جدید از ذرات با پارامترهای جدید سپرده تا بر مبنای الگوریتم PSO، پاسخ را با دقت پیش‌فرض محاسبه نمایند و بدین طریق سرعت و دقت در یافتن پاسخ بالا خواهد رفت. همانطور که بیان شد، تعداد جمعیت بکاررفته در حلقه دوم PSO می‌تواند از مرتبه ۱۰ کوچکتر از تعداد جمعیت در PSO اصلی باشد. در این راستا، الگوریتم PSO اصلی نیز از جهش و تابع ایزولاسیون بهره خواهد برد تا سرعت یافتن پاسخ سریعتر شده و از نوسانی و تکراری شدن جلوگیری نماید. با توجه به این خصوصیات انتظار داریم که الگوریتم DLM-PSO کارایی بیشتری در یافتن پاسخ‌های متعدد نسبت به بکارگیری تنها یک PSO اصلی داشته باشد که نتایج شبیه‌سازی نیز موید این مطلب می‌باشد.



شکل (۳): فرایند الگوریتم DLM-PSO

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، از تابع ایزولاسیون و الگوریتم جهش در حلقه دوم PSO استفاده نشده است. زیرا در حلقه دوم، جستجوی ذرات در فضای خیلی محدودتری نسبت به حلقه اصلی انجام خواهد شد و در نتیجه نرخ حرکت به سوی پاسخ مناسب بوده و از طرفی به اندازه کافی از پاسخ‌های کمینه‌ی دیگر فاصله دارد. البته در مواردی که تابع هدف خیلی پیچیده است، استفاده از جهش در حلقه دوم PSO نیز توصیه می‌شود.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۴- کاربرد DLM-PSO در تخمین حالت توزیع (DSE)

این مقاله از الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO، معرفی‌شده در بخش ۳، در تخمین حالت توزیع بهره گرفته شده است. استفاده از الگوریتم DLM-PSO تجهیز شده به حلقه دوم PSO، الگوریتم جهش و تابع ایزولاسیون در DSE با توجه به تابع هدف پیچیده و بالا بودن تعداد نقاط بار در شبکه‌های توزیع می‌تواند کارا و مفید باشد. مسایل موجود در DSE را می‌توان به ۳ دسته کلی تقسیم‌بندی نمود که در زیر آمده است:

- نامعین[۱۳]: تعداد اندازه‌گیرها کمتر از تعداد متغیرهای حالت است که در اکثر شبکه‌های توزیع برق با این حالت روبرو هستیم.
- معین[۱۴]: تعداد اندازه‌گیرها برابر تعداد متغیرهای حالت است که در اکثر شبکه‌های فوق توزیع و انتقال اینگونه می‌باشد.
- بالای معین[۱۵]: تعداد اندازه‌گیرها بیشتر از تعداد متغیرهای حالت است که در شبکه‌های فوق توزیع و انتقال جهت بالا بردن قابلیت اطمینان اندازه‌گیرها استفاده می‌شود.

هدف از این مقاله، اجرای DSE در ۲ حالت معین و نامعین می‌باشد. فلوچارت کلی DSE بر مبنای الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO در شکل (۴) آمده است. پس از یافتن توان مرجع اکتیو و راکتیو شاخه‌ها، جهت انجام DSE مراحل اصلی زیر طی می‌شود:

گام ۱: مقدار دهی اولیه DLM-PSO با در نظر گرفتن توان تزریقی باس‌ها به عنوان متغیرهای حالت.

گام ۲: اجرای پخش بار برای هر یک ذرات تولید شده در الگوریتم DLM-PSO و محاسبه توان اکتیو و راکتیو شاخه‌ها.

گام ۳: محاسبه تابع هدف مطابق (۴).

گام ۴: بروزرسانی موقعیت ذرات در DLM-PSO طبق (۱).

گام ۵: اگر تعداد تکرارها کمتر از بیشینه است، برو به **گام ۲**، در غیراینصورت، برو به **گام ۶**.

گام ۶: محاسبه میانگین و انحراف معیار متغیرهای حالت.

تابع هدف بکار رفته در این مقاله، بر اساس خطای توان یا جریان اندازه‌گیری و تخمینی (محاسبه شده)، تعریف می‌شود که در معادله (۴) آمده است [۸]. توان یا جریان اندازه‌گیری‌شده در بعضی نقاط به خصوص شاخه‌ها مد نظر خواهد بود و متغیرهای حالت شبکه نیز توان تزریقی به باس‌ها می‌باشد.

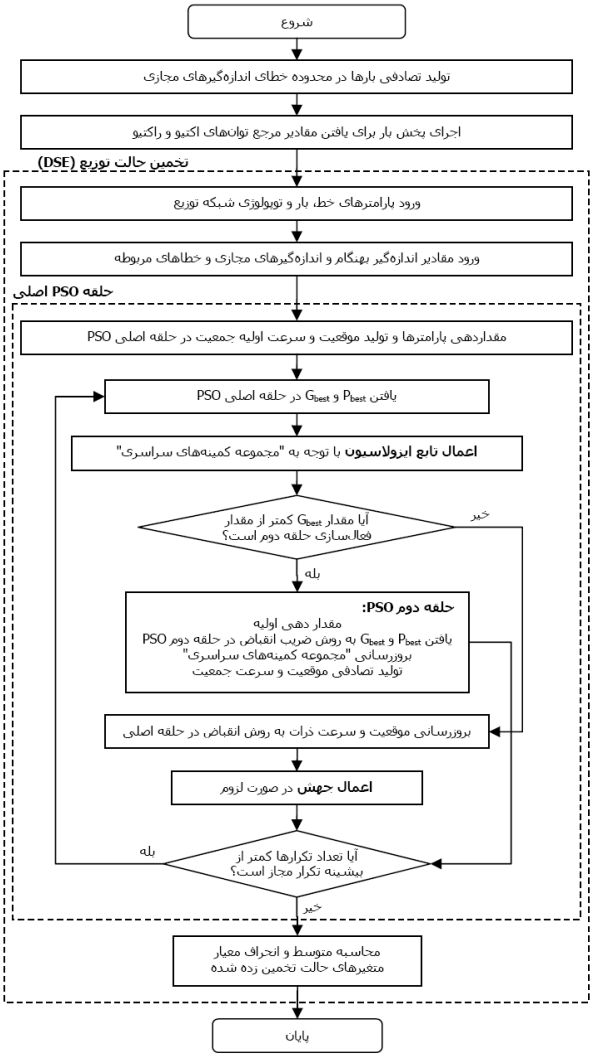
$$ObjectiveFunction = \sum_{i=1}^{m} \left| \Phi_{Estimated}(i) - \Phi_{Measure}(i) \right|^2 \qquad (۴)$$

که در این رابطه:

$\Phi_{Estimated}$: توان یا جریان اکتیو یا راکتیو تخمین زده شده،

$\Phi_{Measure}$: توان یا جریان اکتیو یا راکتیو اندازه‌گیری شده،

m : تعداد متغیرهای اندازه‌گیری شده.



شکل (۴): فلوچارت DSE بر مبنای الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO

برای الگوریتم پخش بار از روش مستقیم بیان شده در مرجع [۲۱] استفاده شده است. در این مرجع با ایجاد ماتریس‌های تلاقی تزریق باس به جریان شاخه (BIBC) و جریان شاخه به ولتاژ باس (BCBV) مقادیر ولتاژ باس‌ها محاسبه و سپس طی فرایندی بازگشتی به مقداری همگرا می‌شود. خطای پخش بار بکار رفته در این مقاله مطابق رابطه (۵) بوده که در این رابطه، $\Delta\bar{V}$ بردار خطای ولتاژ باس‌ها می‌باشد.

$$Load\ \ Flow\ Error = \left| \max(\Delta\bar{V}) \right| \qquad (۵)$$

در این مقاله فرض شده است که اندازه‌گیرهای اکتیو و راکتیو با هم و به صورت جفتی در شبکه توزیع بکار رفته‌اند. این فرض به آنچه در عمل رخ می‌دهد بسیار نزدیک است. زیرا اکنون از لوازم اندازه‌گیری الکترونیکی استفاده شده که می‌تواند هر دو نوع توان را محاسبه و ارایه نماید. در همین راستا، برای بالا بردن دقت تخمین و واقعی بودن آن از اندازه ولتاژ اول خطوط (در صورت وجود اندازه‌گیر در این نقطه) استفاده شده است [۲۲].

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

اندازه‌گیرهای مجازی با توجه به سابقه بار مشترکین تدوین می‌شود که دارای خطایی مشخص مانند ٪۲۰ یا ٪۵۰ می‌باشد. رابطه بین خطای اندازه‌گیرهای مجازی و انحراف معیار آنها در رابطه (۶) بیان شده است [۲۳].

$$\sigma_i = \frac{\mu_i \times error_i}{3 \times 100} \qquad (۶)$$

که در این رابطه:

σ_i: انحراف معیار اندازه‌گیر مجازی i ام،

μ_i: متوسط اندازه‌گیر مجازی i ام،

$error_i$: درصد خطای بیشینه اندازه‌گیر مجازی i ام.

از مقدار انحراف معیار برای محدود کردن حرکت ذرات در الگوریتم DLM-PSO استفاده شده است. با توجه به عدم قطعیت بار در شبکه‌های توزیع، این مساله شرایط عملی بارها را نیز در نظر خواهد گرفت. خطای کل تخمین نیز، در این مقاله، طبق رابطه (۷) بر اساس توان‌های اکتیو و راکتیو مرجع و تخمین زده شده محاسبه شده است.

$$Overall\ Error = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{X_{ref.}(i) - X_{Estimated}(i)}{X_{ref.}(i)} \right|^2} \qquad (۷)$$

که در این رابطه،

$X_{ref.}(i)$: مقدار مرجع توان اکتیو/ راکتیو i ام،

$X_{Estimated}(i)$: مقدار متوسط تخمینی توان اکتیو/ راکتیو i ام،

n: تعداد متغیرهای حالت تخمین زده شده.

۵- نتایج شبیه‌سازی

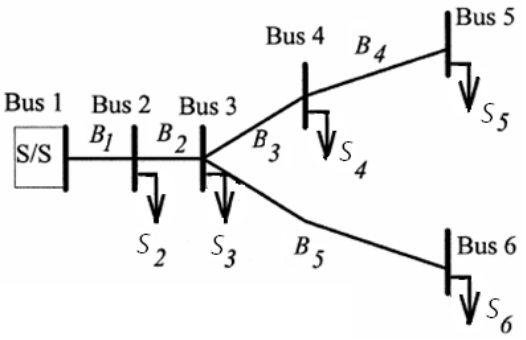
جهت نشان دادن کارایی الگوریتم تخمین حالت در شبکه توزیع بر مبنای DLM-PSO، نتایج شبیه‌سازی روی ۲ شبکه توزیع ارایه شده است:

شبکه ۱: شبکه توزیع شعاعی شش باسه،

شبکه ۲: شبکه توزیع تست IEEE ۳۴ باسه [۲۴].

۵-۱- شبکه ۱: شبکه توزیع شعاعی شش باسه

نمودار تک خطی این شبکه در شکل (۵) نشان داده شده است. در این تحلیل بارها سه‌فاز و متقارن فرض شده‌اند. مقدار متوسط بارها بعنوان اندازه‌گیرهای مجازی در جدول (۲) آمده است. همچنین مقدار خطای آنها نیز برابر ٪۵۰ درصد فرض شده است که بر مبنای معادله (۶) خطای هر یک از بارها قابل محاسبه می‌باشد. همانطور که در بخش ۴ نیز بیان شد، متغیرهای حالت، توان تزریقی به باس‌ها در نظر گرفته شده است.



شکل (۵): شبکه توزیع شش باسه

در جدول شماره (۳) نیز طول شاخه‌های (خطوط) شبکه آورده شده است، امپدانس واحد طول (کیلومتر) همه خطوط با هم مساوی و برابر $0.866 + j0.745\ \Omega/Km$ می‌باشد.

جدول ۲: مقدار متوسط بارها بعنوان اندازه‌گیرهای مجازی

بار در باس شماره	۲	۳	۴	۵	۶
اکتیو (KW)	۳۶۷	۴۴۲	۴۷۹	۳۶۵	۵۶۱
راکتیو (KVAR)	۲۳۴	۳۴۹	۲۷۵	۴۳۶	۳۷۱

جدول ۳: طول خطوط شبکه

شماره شاخه	۱	۲	۳	۴	۵
طول (m)	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۱۹۰۰	۱۷۰۰	۱۸۰۰

پارامترهای الگوریتم DLM-PSO بکار رفته در این شبیه‌سازی مطابق جدول (۴) می‌باشد.

جدول (۴): پارامترهای کلی الگوریتم DLM-PSO

	حلقه اصلی PSO	حلقه دوم PSO
جمعیت ذرات	۳۰-۱۰۰	۱۰
φ	۴/۱	۴/۱
K	۰/۷-۰/۹	۰/۵-۰/۷
بیشینه تکرار	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	۲۰۰۰
خطای پیش‌فرض	۰/۰۱	10^{-7}
احتمال جهش	۰/۷	----

حال شبکه مورد نظر را در حالات زیر مورد تحلیل و بررسی قرار خواهیم داد.

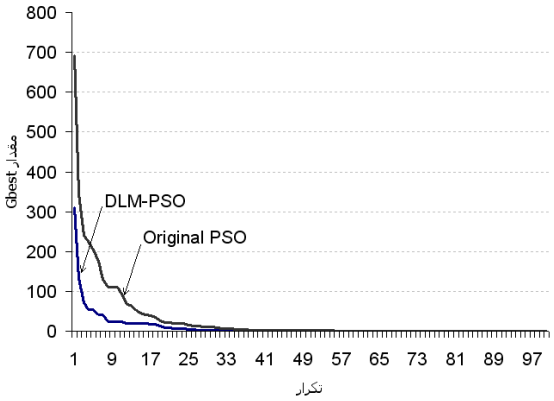
حالت اول: نصب پنج اندازه‌گیر بهنگام در طول فیدر

در این حالت پنج اندازه‌گیر بهنگام برای اندازه‌گیری توان‌های اکتیو و راکتیو شاخه‌ها استفاده شده است و بر اساس آن برای و ولتاژ شبکه در ابتدای فیدر اندازه‌گیری می‌شود. اکثر فیدرها در شبکه‌های توزیع دارای چنین وضعیتی هستند. در شکل (۶) نحوه تغییرات *Gbest* بر حسب تکرارهای الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با PSO اصلی تا

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۱۰۰ تکرار آمده است کـه جـدول مقایسـه‌ی کـارایی دو الگـوریتم در جدول (۵) ارایه شده است.



شکل (۶): نحوه تغییرات *Gbest* بر حسب تکرار در دو الگوریتم

جدول (۵): مقایسه‌ی کارایی دو الگوریتم در DSE

	مقدار نهایی *Gbest*	تعداد محاسبه تابع هدف
DLM-PSO	۰/۰۰۵۴۶۶	۲۳,۰۰۰
PSO اصلی	۰/۱۳۳۰۸	۳۰,۰۰۰

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، سرعت همگرایی به پاسخ به خوبی افزایش یافته است و با توجه به جدول (۵) می‌تـوان دریافـت کـه علیـرغم کـاهش ٪۲۳ تعـداد محاسـبه تـابع هـدف در الگـوریتم پیشنهادی DLM-PSO ولی مقـدار تـابع هـدف پـس از ۱۰۰ تکـرار نسبت به PSO اصلی بسیار بهبود یافته است.

در ادامه هر یک از الگوریتم‌ها، با بیشـینه تکـرار ۱۰۰، بـه تعـداد ۱۰۰ دفعه اجرا شده است تا کارایی الگوریتم جدید بهتر مقایسه گردد. مقدار متوسط، انحراف معیار و خطای تخمین در این حالت با الگوریتم DLM-PSO و الگـوریتم PSO اصـلی در جـدول (۶) آمـده اسـت. همانطور که مشاهده می‌شود، در ایـن حالـت، مقـدار خطـای تخمـین تغییر زیادی نکرده ولی انحراف از معیار کل بسیار متفاوت اسـت. زیـرا خطا بر اساس میانگین متغیرهای تخمینی محاسبه شده ولی انحـراف معیار هر متغیر نسـبت بـه جوابهـای تخمینـی خـود آن متغیـر طـی اجراهای مختلف محاسبه شده اسـت. در بسـیاری از مـوارد، تخمینـی برای شبکه‌های توزیع مطلـوبتر اسـت کـه انحـراف معیـار کمتـری در تخمین هر متغیر حالت داشته باشد [۸]. در این جدول، انحراف معیار برداری کل به صورت نرم اقلیدسی (نرم l^2) همه متغیرها تعریف شـده است.

جدول (۶): نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با الگوریتم PSO اصلی با پنج اندازه‌گیر

	مقادیر مرجع		نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO				نتایج DSE با الگوریتم PSO اصلی			
			اکتیو		راکتیو		اکتیو		راکتیو	
	اکتیو (KW)	راکتیو (KVAR)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)
بار ۲	۳۶۷	۲۳۴	367.18	0.64	231.22	2.93	313.96	5.63	242.16	6.34
بار ۳	۴۴۲	۳۴۹	441.60	0.54	350.12	1.35	320.78	5.71	472.61	3.27
بار ۴	۴۷۹	۲۷۵	479.58	0.41	275.04	0.91	504.67	1.13	239.76	5.90
بار ۵	۳۶۵	۴۳۶	364.87	0.37	435.90	0.31	647.90	0.21	342.98	1.98
بار ۶	۵۶۱	۳۷۱	560.59	0.15	370.77	0.35	478.44	1.15	492.40	0.80
خطای تخمین (٪)			**۱/۲۷**				**۱/۵۸**			
انحراف معیار برداری کل (٪)			**۳/۵۴**				**۱۲/۵۴**			

حالت دوم: نصب یک اندازه‌گیر بهنگام در ابتدای فیدر

در این حالت، یک اندازه‌گیر بهنگام توان اکتیو و راکتیو در ابتدای فیدر نصب شده است و شبکه کاملا نامعین است. در این حالت PSO اصلی هرگز نمی‌تواند انحراف معیار و میانگین واقعی متغیرهای حالت شـبکه را بدست آورد. زیرا در این حالت، شبکه بی‌نهایـت پاسـخ دارد و PSO اصلی در هر تکرار به یکی از پاسخ‌ها (شاید تکراری) همگرا شود، ولـی در الگوریتم DLM-PSO، پس از یافتن یک پاسخ، الگوریتم این پاسخ را ایزوله نمـوده و پاسـخ بعـدی را دورتـر از فاصـله‌ای مشـخص از آن جستجو می‌نماید. در نتیجه میانگین، خطا و واریانس پاسـخ‌هـا واقعـی خواهند شد. نتایج شبیه‌سازی در جدول (۷) مشاهده می‌شوند. در این شبیه‌سازی برای برقراری شرایط یکسان در مقایسه، نتایج بـه ازای ۵۰ هزار محاسبه تابع هدف ارایه شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود با الگوریتم پیشـنهادی جدیـد، هـم خطا و هم انحراف معیار دقیق‌تر محاسبه شده است. با توجه به انحراف معیار هر متغیر می‌توان دریافت که در الگوریتم DLM-PSO، انحراف معیارهای هر متغیر، جداگانه، تقریبا مساوی هسـتند کـه بـا تامـل در وجود یک اندازه‌گیر در ابتدای فیدر، مسـاوی بـودن انحـراف معیارهـا مورد انتظار اسـت ولـی در الگـوریتم PSO اصـلی انحـراف معیارهـای متغیرها کاملا با هم متفاوتند. و همانطور که قبلا بیـان شـد، خطـا در محاسبه انحراف معیارها در تخمین حالت شـبکه‌هـای بـرق بـه هـیچ عنوانی مطلوب نیست.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1 Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

جدول (۷): نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با الگوریتم PSO اصلی با یک اندازه‌گیر به ازای ۵۰ هزار محاسبه تابع هدف

	مقادیر مرجع		نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO				نتایج DSE با الگوریتم PSO اصلی			
	اکتیو	راکتیو	اکتیو		راکتیو		اکتیو		راکتیو	
	(KW)	(KVAR)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)
بار ۲	۳۶۷	۲۳۴	308.18	34.22	205.25	35.73	206.55	17.04	209.99	48.15
بار ۳	۴۴۲	۳۴۹	423.59	33.11	391.12	33.03	469.36	35.49	329.66	31.54
بار ۴	۴۷۹	۲۷۵	455.91	32.91	321.46	34.94	508.35	31.20	328.52	27.26
بار ۵	۳۶۵	۴۳۶	524.64	31.63	434.29	33.97	493.95	41.57	463.66	47.07
بار ۶	۵۶۱	۳۷۱	551.72	32.09	434.33	33.80	577.62	46.22	447.71	35.36
خطای تخمین (٪)			**۶۴/۱۳**				**۸۹/۰۰**			
انحراف معیار برداری کل (٪)			**۱۰۶/۱۳**				**۱۱۸/۰۰**			

جدول (۸): نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با الگوریتم PSO اصلی با دو اندازه‌گیر به ازای ۵۰۰ هزار محاسبه تابع هدف

	مقادیر مرجع		نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO				نتایج DSE با الگوریتم PSO اصلی			
	اکتیو	راکتیو	اکتیو		راکتیو		اکتیو		راکتیو	
	(KW)	(KVAR)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)
بار ۲	۳۶۷	۲۳۴	290.89	29.42	227.85	28.82	332.07	27.96	201.29	36.86
بار ۳	۴۴۲	۳۴۹	423.81	32.00	405.07	30.69	357.26	39.75	349.79	37.37
بار ۴	۴۷۹	۲۷۵	437.35	34.22	305.65	34.01	374.12	36.24	293.96	34.85
بار ۵	۳۶۵	۴۳۶	646.89	1.64	342.91	2.96	652.58	1.28	347.32	2.46
بار ۶	۵۶۱	۳۷۱	477.72	1.37	491.88	1.54	481.01	1.16	495.85	1.20
خطای تخمین (٪)			**۴۶/۱۰**				**۴۶/۸۰**			
انحراف معیار برداری کل (٪)			**۷۷/۶۰**				**۸۷/۸۰**			

حالت سوم: نصب دو اندازه‌گیر بهنگام در طول فیدر

در این حالت دو اندازه‌گیر توان در شاخه‌های ۴ و ۵ قرار داده شده و نتایج تخمین حالت توزیع در جدول (۸) ارایه شده است. در این حالت نیز برای مقایسه منصفانه بین دو الگوریتم، نتایج حاصله از هر دو به ازای تعداد محاسبه تابع مشخص یعنی ۵۰۰,۰۰۰ بار بیان گردیده است. همانطور که مشاهده می‌شود، متغیرهای حالت ۵ و ۶ با واریانسی خیلی کمتر از بقیه متغیرها تخمین زده شده‌اند، زیرا اندازه‌گیرهای منصوبه در این حالت، این متغیرها را به خوبی پایش می‌کنند.

در این حالت خطای تخمین تغییری نکرده است ولی انحراف معیار تخمین حدود ٪۱۱ بهبود پیدا کرده است.

جدول (۹): نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با الگوریتم PSO اصلی با سه اندازه‌گیر به ازای ۵۰۰ هزار محاسبه تابع هدف

	مقادیر مرجع		نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO				نتایج DSE با الگوریتم PSO اصلی			
	اکتیو	راکتیو	اکتیو		راکتیو		اکتیو		راکتیو	
	(KW)	(KVAR)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)
بار ۲	۳۶۷	۲۳۴	291.43	31.25	249.63	27.61	306.50	35.87	219.26	40.96
بار ۳	۴۴۲	۳۴۹	344.55	24.85	460.62	13.62	331.05	30.52	488.35	16.56
بار ۴	۴۷۹	۲۷۵	487.85	20.66	274.05	25.29	550.98	22.31	302.17	25.15
بار ۵	۳۶۵	۴۳۶	663.42	15.09	309.82	21.55	601.13	19.80	284.17	26.83
بار ۶	۵۶۱	۳۷۱	477.60	0.46	492.89	0.25	476.95	0.46	493.38	0.51
خطای تخمین (٪)			**۱۹/۹۰**				**۳۳/۷۰**			
انحراف معیار برداری کل (٪)			**۶۵/۵۰**				**۸۰/۱۰**			

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

جدول (۱۰): نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO در مقایسه با الگوریتم PSO اصلی با چهار اندازه‌گیر به ازای ۵۰۰ هزار محاسبه تابع هدف

	مقادیر مرجع		نتایج DSE با الگوریتم DLM-PSO				نتایج DSE با الگوریتم PSO اصلی			
			اکتیو		راکتیو		اکتیو		راکتیو	
	اکتیو (KW)	راکتیو (KVAR)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)	میانگین (KW)	SD(%)	میانگین (KVAR)	SD(%)
بار ۲	۳۶۷	۲۳۴	290.27	30.01	228.85	28.27	236.53	36.40	195.61	41.33
بار ۳	۴۴۲	۳۴۹	347.09	23.42	475.49	13.12	395.08	20.53	510.25	13.99
بار ۴	۴۷۹	۲۷۵	503.11	2.05	246.70	7.25	502.63	0.19	238.17	7.99
بار ۵	۳۶۵	۴۳۶	647.08	0.84	339.77	2.99	646.67	0.20	343.00	2.47
بار ۶	۵۶۱	۳۷۱	477.06	1.47	493.91	1.49	476.80	0.28	492.61	0.56
خطای تخمین (٪)			**۱۲/۰۰**				**۳۹/۲۰**			
انحراف معیار برداری کل (٪)			**۴۹/۸۰**				**۶۱/۰۰**			

حالت چهارم: نصب سه اندازه‌گیر بهنگام در طول فیدر

در این حالت در شاخه‌های ۱، ۳ و ۵ لوازم اندازه‌گیر نصب شده است و نتایج تخمین حالت در جدول (۹) مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود با الگوریتم پیشنهادی جدید، هم خطا و هم انحراف معیار دقیق‌تر محاسبه شده و بهبود یافته است. در این حالت نیز تعداد محاسبه تابع هدف تا ۵۰۰,۰۰۰ محاسبه ادامه یافته است.

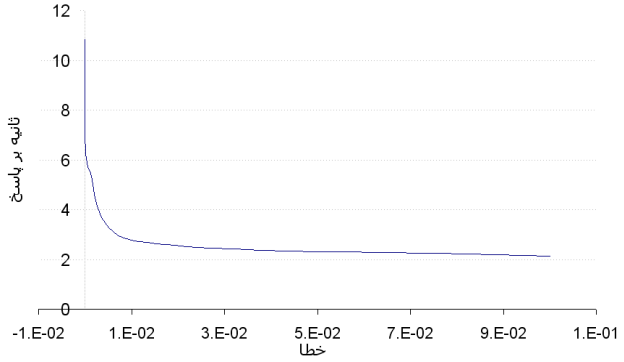
حالت پنجم: نصب چهار اندازه‌گیر بهنگام در طول فیدر

در این حالت در شاخه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ لوازم اندازه‌گیر نصب شده است و نتایج تخمین حالت در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود با الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO، هم خطا و هم انحراف معیار دقیق‌تر محاسبه شده و بهبود یافته است.

با افزایش تعداد اندازه‌گیرهای مستقل، انتظار می‌رود که شاهد کاهش خطا و انحراف معیار در تخمین حالت متغیرها باشیم. این مساله با الگوریتم DLM-PSO کاملا مشهود است و به خوبی مقدار خطا و انحراف معیارها را بدست می‌آورد ولی در الگوریتم PSO اصلی این مساله ممکن است نقض شود. در اینجا با ترکیب بررسی‌شده‌ی ۴ اندازه‌گیر، خطای تخمین با الگوریتم PSO اصلی نسبت به ۳ اندازه‌گیر افزایش یافته است ولی توسط الگوریتم DLM-PSO، خطای تخمین و انحراف معیار به خوبی کاهش یافته است.

تاثیر خطای پیش‌فرض تخمین حالت بر زمان تخمین

در بعضی از حالات، تخمین حالت در شبکه‌های توزیع با دقت خیلی بالا مد نظر نمی‌باشد. همچنین در بعضی موارد، زمان عاملی کلیدی در تصمیم‌گیری و مدیریت شبکه‌های توزیع می‌باشد. شکل (۷) نشان می‌دهد که مبادله و بالانسی بین خطا و مدت زمان تخمین برقرار است که با توجه به نیازمندی در مورد پیش رو خطا و زمان بهینه محاسبه گردد. همانطور که از شکل برمی‌آید رابطه‌ای نمایی بین خطا و مدت زمان تخمین به ازای هر پاسخ وجود دارد.



شکل (۷): رابطه بین خطای پیش‌فرض و زمان تخمین حالت توزیع

مقایسه با سایر روش‌ها

در این زیربخش، DSE بر مبنای الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO با الگوریتم‌های دیگری چون WLS، GA، HBMO و PSO اصلی (orig. PSO) مقایسه می‌شود [۱۴]. نتایج شبیه‌سازی (خطای تخمین و انحراف معیار برداری کل) برای حالت نصب پنج اندازه‌گیر بهنگام در طول شبکه در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

جدول (۱۱): مقایسه الگوریتم‌ها برای حل مساله DSE

معیار/ روش	DLM-PSO	orig. PSO	WLS	HBMO	GA
خطای تخمین (٪)	۱/۲۷	۱/۵۸	۱/۹۸	۱/۳۶	۱/۷۷
انحراف معیار برداری کل (٪)	۳/۵۴	۱۲/۵۴	۱۲/۳۶	۴/۴۱	۷/۶۵

همانطور که مشاهده می‌شود، هم خطای تخمین و هم انحراف معیار برداری کل در DSE بر مبنای الگوریتم پیشنهادی DLM-PSO نسبت به سایر الگوریتم‌ها بهبود یافته است. از نتایج برمی‌آید که کارایی الگوریتم HBMO نزدیک به الگوریتم پیشنهادی بوده ولی بهتر از آن نمی‌باشد.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

۵-۲- شبکه ۲: شبکه توزیع تست IEEE ۳۴ باسه.

در این زیربخش، شبکه توزیع تست IEEE ۳۴ باسه جهت اجـرای DSE جهت بررسی افزایش تعداد باس‌ها در کارایی الگوریتم ارایـه شـده مـورد بررسی قرار می‌گیرد. این شبکه مشتمل بر ۳۱ سگمنت، ۶ بار نقطـه‌ای و ۱۹ بار گسترده در طول خطوط بوده که به صورت سه‌فاز و متقارن مـدل شده‌اند. مقدار متوسط بارها بعنوان اندازه‌گیرهای مجازی از مرجـع [۲۴] استفاده شده که مقدار خطای آنها جهت مقایسه بهتر نتایج شـبیه‌سـازی با شبکه قبل، برابر ٪۵۰ درصد فرض می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی DSE (خطای تخمین و انحراف معیار برداری کل) برای حالت نصب پنج اندازه‌گیر بهنگـام در طـول شـبکه بـر مبنـای الگـوریتم پیشنهادی و مقایسه آن بـا الگـوریتم‌هـای دیگـری چـون WLS، GA، HBMO و orig. PSO [۱۴] در جدول (۱۲) نشان داده شده است.

جدول (۱۲): مقایسه الگوریتم‌ها برای حل مساله DSE

معیار/ روش	DLM-PSO	orig. PSO	WLS	HBMO	GA
خطای تخمین (٪)	۱/۸۷	۲/۲۱	۳/۱۱	۲/۰۷	۲/۴۸
انحراف معیار برداری کل (٪)	۴/۴۶	۱۵/۹۱	۱۴/۴۲	۴/۸۸	۸/۶۶

همانطور که مشاهده می‌شود، در این شبکه نیز هم خطای تخمین و هم انحراف معیار برداری کل در DSE بـر مبنـای الگـوریتم پیشـنهادی DLM-PSO نسبت به سایر الگوریتم‌هـا بهبـود یافتـه اسـت. همچنـین مشخص است که هم خطای تخمین و هم انحراف معیار بـرداری کـل در DSE بر مبنای همه الگوریتم‌ها برای شبکه توزیع بـا تعـداد بـاس کمتـر بهبود خواهد یافت. علاوه بر این، مشاهده‌می‌شـود کـه کـارایی الگـوریتم HBMO نزدیکتر به الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌ها مـی-باشد.

۶- نتیجه‌گیری

الگوریتمی جدید برای تخمین حالت در شبکه‌های توزیع برق ارایه شـده است. این الگوریتم بر مبنای بهینه‌سازی اجتماع ذراتی (PSO) می‌باشـد که به سه الگوریتم دیگر تجهیز شده است. این الگوریتم‌ها عبارتنـد از: ۱) حلقه دوم PSO: برای بالا بردن دقت و سـرعت همگرایـی، ۲) الگـوریتم جهش: جهت جلوگیری از رکود و عدم تغییر PSO به سمت هـدف و ۳) تابع ایزولاسیون: جهت ایزوله نمودن پاسخ بدسـت آمـده در شـبکه‌هـای نامعین و جلوگیری از نوسانی و تکراری شدن الگـوریتم. همچنـین عـدم قطعیت بار در شبکه‌های توزیع به صورت خطا در اندازه‌گیرهـای مجـازی مدل شده است. الگوریتم پیشنهادی به نام بهینه‌سازی اجتمـاع ذرات دو حلقه‌ای جهش یافته (DLM-PSO) توانایی تخمین میـانگین و انحـراف معیار متغیرهای حالت در شبکه‌های معین و نامعین را با خطا و انحـراف معیـار کمتـری نسـبت بـه الگـوریتم‌هـای دیگـری چـون WLS، GA، HBMO و PSO اصلی دارد. این مساله با شبیه‌سازی در ۲ شبکه توزیـع شعاعی ۶ باسه و ۳۴ باسه تست IEEE مورد بررسی و تحقیق قرار مـی-گیرد. همچنین، شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در شـبکه‌هـای نـامعین در بعضی از حالات، PSO اصلی نمـی‌توانـد بـه درسـتی خطـای تخمـین را محاسبه کند ولی DLM-PSO به خوبی این عمل را انجام خواهد داد.

مراجع

[1] Harris, A., *"Smart Grid Thinking - [Power Super Grid]"*, Engineering & Technology, Vol. 4, Issue 9, pp. 46 – 49, 23 May - 5 June 23 2009.

[2] Amin, M., *"Challenges in Reliability, Security, Efficiency, and Resilience of Energy Infrastructure: Toward Smart Self-Healing Electric Power Grid"*, Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE, pp. 1 - 5, 20-24 July 2008.

[3] Abur, A., Exposito, A. G., *Power System State Estimation Theory and Implementation*, Marcel Dekker Inc, 2004, New York, ISBN: 0-8247-5570-7.

[4] Roytelman, I., Shahidehpour, S. M., *"State Estimation for Electric Power Distribution Systems in Quasi Real-Time Conditions"*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, pp. 2009-2015, Oct. 1993.

[5] Lin, W.-M., Teng, J.-H., *"Distribution Fast Decoupled State Estimation by Measurement Pairing"*, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 1 , pp. 43-48, Jan. 1996.

[6] Lin, W. -M., Teng, J. -H., Chen, S. J., *"A Highly Efficient Algorithm in Treating Current Measurements for the Branch-Current-Based Distribution State Estimation"*, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 16, No. 3, pp. 433-439, July 2001.

[7] Singh, R., Pal, B.C., Jabr, R.A., *"Choice of estimator for distribution system state estimation"*, IET Gener. Transm. Distrib., 2009, Vol. 3, Iss. 7, pp. 666–678.

[8] Muscas, C., Pilo, F., Pisano, G., Sulis, S. *"Optimal Allocation of Multichannel Measurement Devices for Distribution State Estimation"*, IEEE Trans. on Instrum. and Measur., Vol. 58, No. 6, pp. 1929-1937, June 2009.

[۹] معلم، م.، فرخ‌پیام، ا.، شیروانی، ح.، کیوانفرد، م.، میرزائیان دهکردی، م.، "یک روش کارآمد برای تخمین حالت مولفه اصلی و هارمونیکی در شبکه‌های توزیع شعاعی"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک، سال هفتم، شماره اول، صفحات ۳۵ تا ۵۲، بهار و تابستان ۱۳۸۹، تهران، ایران.

[10] Singh, R., Pal, B.C., Jabr, R.A., *"Distribution System State Estimation through Gaussian Mixture Model of the Load As Pseudo-Measurement"*, IET Gener. Transm. Distrib., 2010, Vol. 4, Iss. 1, pp. 50–59.

[11] Saric, A. T., C´ iric, R. M., *"Integrated Fuzzy State Estimation and Load Flow Analysis in Distribution Networks"*, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 18, No. 2, pp. 571-578, April 2003.

[12] Bernieri, A., Betta, G., Liguori, C., Losi, A. *"Neural Networks and Pseudo-Measurements for Real-Time Monitoring of Distribution Systems"*, IEEE Trans. on instru. and measure., Vol. 45, No. 2, pp. 645-650, April 1996.

[13] Naka, S., Genji, T., Yura, T., Fukuyama, Y., *"A Hybrid Particle Swarm Optimization for Distribution State Estimation"*, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 60-68, Feb. 2003.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1- Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]

[14] Arefi, A., Haghifam, M. R., Fathi, S. H., Niknam, T., Olamaei, J., *"A novel algorithm based on Honey Bee Mating Optimization for distribution harmonic state estimation including distributed generators"*, PowerTech, 2009 IEEE Bucharest, pp. 1 – 7, 2009.
[15] Valle, Y. d., Venayagamoorthy, G. K., Mohagheghi, S., Hernandez, J.-C., Harley, R. G., *"Particle Swarm Optimization: Basic Concepts, Variants and Applications in Power Systems"*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 12, No. 2, pp. 171-195, April 2008.
[16] Eberhart, R.C., Shi, Y., *"Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization"*, Congress on Evolut. Comput., 2000. Vol. 1, pp. 84 – 88, 2000.
[17] Clerc, M., Kennedy, J, *"The Particle Swarm—Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space"*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 1, pp. 58-73, Feb. 2002.
[18] Kennedy, J., Eberhart, R., *"Particle swarm Optimization,"* in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, Vol. 4, Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948.
[19] S. Doctor, G. Venayagamoorthy, and V. Gudise, *"Optimal PSO for collective robotic search applications,"* in Proc. IEEE Congr. Evol. Comput., Vol. 2, pp. 1390–1395, Jun. 2004.
[20] Ling, S. H., Iu, H. H. C., Chan, K. Y., Lam, H. K., Yeung, B. C. W., Leung, F. H., *"Hybrid Particle Swarm Optimization with Wavelet Mutation and Its Industrial Applications"*, IEEE Trans. on Systems, Man, And Cybernetics, Part B, Vol. 38, No. 3, pp. 743-763, June 2008
[21] Teng, J. H., *"A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions"*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, pp. 882-887, July 2003.
[22] Teng, J. H., *"Using Voltage Measurements To Improve The Results Of Branch-Current-Based State Estimators For Distribution Systems"*, IEE Proc. -Gener. Transm. Distrib., Vol. 149, No. 6, pp. 667-672, November 2002.
[23] Singh, R., Pal, B. C., Jabr, R. A., *"Choice of estimator for distribution system state estimation"*, IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 3, Iss. 7, pp. 666–678, 2009.
[24] Kersting, W. H., "*Radial distribution test feeders",* Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, 2001, pp. 908-912 vol.902.

[1] Distribution Management System (DMS)
[2] Distribution State Estimation (DSE)
[3] Pseudo Measurements
[4] Gaussian Mixture Model (GMM)
[5] Particle Swarm Optimization (PSO)
[6] Honey Bee Mating Optimization (HBMO)
[7] Doubly Loop Mutant PSO
[8] Standard Deviation
[9] Inertia Weight Coefficient
[10] Constriction Coefficient
[11] Exploration
[12] Exploitation
[13] Under Determined
[14] Determined
[15] Over Determined

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-13]