مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه نیروگاه بادی مبتنی برDFIG، پیل سوختی و نیروگاه خورشیدی با استفاده از ترکیب منطق فازی و الگوریتم اجتماع ذرات

میلاد کفایت*[۱]، افشین لشکر آرا [۲]، سید علی نبوی نیاکی[۳]

*۱- گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Milad.kefayat@gmail.com
۲- گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Lashkarara@iust.ac.ir
۳- گروه برق و کامپیوتر، دانشگاه تورنتو، تورنتو، کانادا، Nabavi.niaki@utoronto.ca

چکیده: انرژی‌های تجدیدپذیر به دلایل مسایل اقتصادی، زیست‌محیطی و تقاضای رو به افزایش مصرف انرژی روز به روز در حال گسترش می‌باشند. به دلیل قابلیت قرارگیری غیر متمرکز این تولیدات، جایابی و مقداریابی آن‌ها یکی از مسایل مهم بهره‌برداران سیستم می‌باشد. در این مقاله یک روش ترکیبی از منطق فازی و الگوریتم ازدحام ذرات برای پیدا کردن مکان و مقداریابی انواع تولیدات پراکنده شامل نیروگاه بادی مبتنی بر DFIG، سلول سوختی و انرژی خورشیدی ارایه گردیده است. هدف از بهینه‌سازی به حداقل رساندن هزینه تولیدات پراکنده، تلفات اکتیو و راکیتو با در نظر گرفتن محدودیت‌های امنیتی شبکه می‌باشد. از الگوریتم ازدحام ذرات به منظور تعیین مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده استفاده شده است. در این مقاله ابتدا به بررسی عوامل بهینه‌سازی به صورت مجزا پرداخته شده، سپس با استفاده از منطق فازی تأثیر عوامل به صورت هم زمان و با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برای شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در این مقاله نرم‌افزارهای DIgSILENT و MatLab که به صورت پیوسته دارای ارتباط اطلاعاتی دوطرفه می‌باشند، استفاده بعمل آمده است. مطالعات انجام شده بر روی شبکه نمونه ۳۳ شینه IEEE صورت گرفته است. نتایج حاصل نشان دهنده بهبود عملکرد سیستم قدرت و کارآیی الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدید پذیر، جایابی و مقداریابی بهینه، الگوریتم ازدحام ذرات، دیگسایلنت، منطق فازی.

۱-مقدمه

نیاز به منابع انرژی همواره از مسایل اساسی و مهم در زندگی بشر به دلیل رشد و پویایی روزافزون بوده است. از طرفی تلاش برای دست یابی به یک منبع بی‌انتها همواره مورد نظر می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از منابع تولید پراکنده بسیار اهمیت یافته است. فن‌آوری‌هایی تجدید ناپذیر مانند توربین‌های احتراقی و سیکل‌های ترکیبی رفته رفته جای خود را به منابع تجدید پذیر مانند سلول‌های سوختی، باد و ... می‌دهند[۱]. از دلایل توجه به این منابع می‌توان به کاهش تلفات سیستم، آلودگی‌های زیست‌محیطی، نزدیکی به مصرف کننده، قابلیت نصب در مکان‌های کوچک و ...[۲] اشاره کرد. این عوامل باعث گردیده روز به روز ظرفیت بیش‌تری از تولیدات پراکنده به شبکه سراسری در مناطق مختلف جهان اضافه گردد[۳].

استفاده کارآمدتر از منابع تولید پراکنده به منظور بهروری سیستم قدرت تا حد زیادی به عواملی مانند اندازه و محل این ادوات وابسته

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012

می‌باشد[۴]. در نتیجه تحقیقات و مطالعات جایابی و مقداریابی گوناگونی صورت گرفته و یافته‌های متفاوتی بدست آمده است [۵، ۶]. برای نمونه با استفاده از الگوریتم زنبور عسل با توجه به تلفات کل سیستم به جایابی و مقدار یابی تولیدات پراکنده پرداخته شده است[۷]. در[۸] از الگوریتم ازدحام ذرات برای تعیین کم‌ترین هزینه، آلودگی با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستم استفاده شده است. در [۹] از الگوریتم مورچگان به منظور جایابی و مقدار یابی تولیدات پراکنده به منظور بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است. در [۱۰] از الگوریتم کرم شب تاب با توجه بهبود پروفیل ولتاژ و تلفات اکتیو بهره‌گیری شده است. در [۱۱] از یک روش تحلیلی به منظور کاهش تلفات سیستم با در نظر گرفتن منابع پراکنده مختلف استفاده شده است. در [۱۲] از الگوریتم ژنتیک به منظور جایابی و مقداریابی تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن مدل بار به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده شده است. در [۲] از ترکیب الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات به منظور کاهش تلفات و بهبود ولتاژ سیستم استفاده شده است. در[۱۳] از الگوریتم سیستم ایمنی به منظور کاهش تلفات و هزینه سیستم استفاده شده است. در [۱۴] از ترکیب الگوریتم جهش قورباغه و تفاضلی به منظور بهینه‌سازی تلفات، هزینه و آلودگی در مساله جایابی و مقداریابی تولیدات پراکنده استفاده شده است.

باید توجه داشت که نفوذ روزافزون تولیدات پراکنده در سیستم‌های قدرت به طور قابل توجهی ممکن است شبکه را تحت تأثیر قرار دهند. لازم به ذکر است این اثرات متمایز نتایج متمایزی از بهره‌برداری از این تجهیزات را منجر می‌شود. بدین منظور در این پژوهش از جایابی چند هدفه شامل تلفات اکتیو، تلفات راکتیو و هزینه به منظور تولید تابع هدف انعطاف پذیر و قابل انطباق با خواسته‌های بهره‌بردار سیستم استفاده شده است. با توجه به اینکه انواع تولیدات پراکنده از نظر هزینه، نوع تاثیر گذاری و ظرفیت، متفاوت می‌باشند لذا هر کدام را با توجه به خصوصیت فنی خود مورد بررسی قرار گرفته است.

این مقاله از روش مبتنی بر ترکیب الگوریتم ازدحام ذرات و منطق فازی، در MATLAB برای حل مساله تعیین محل و ظرفیت منابع تولید پراکنده برای سیستم قدرت استفاده کرده است. علت استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات، بهینه‌سازی هم زمان مکان و اندازه می‌باشد. همچنین با توجه به این که نمی‌توان همه حالات و شرایط تابع هدف بهینه‌سازی را به وسیله یک مدل جامع در نظر گرفت، به منظور استنتاج نتایج بهینه‌سازی از منطق فازی بهره‌گیری شده است.

جهت شبیه‌سازی شبکه قدرت از نرم‌افزار تجاری Power Factory استفاده شده است. این نرم‌افزار در کمپانی آلمانی DIgSILENT Gmbh توسعه یافته است. امروزه بیش از ۸۰ کشور از این نرم افزار برای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی محاسبات لازم در سیستم‌های قدرت استفاده می‌کنند. به منظور بهره‌گیری از امکانات مدل‌سازی پیشرفته شبکه قدرت در نرم‌افزار DIgSILENT از یک برنامه واسط ارتباطی جهت تبادل اطلاعات بین دو نرم‌افزار MatLab و DIgSILENT بهره‌گیری شده است. نتایج شبیه‌سازی شده از طریق فضای داده مشترک اطلاعاتی به نرم‌افزار MatLab انتقال یافته سپس با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی و حلقه‌های کنترلی نوشته شده در محیط برنامه‌نویسی MatLab امکان تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی میسر گردیده است.

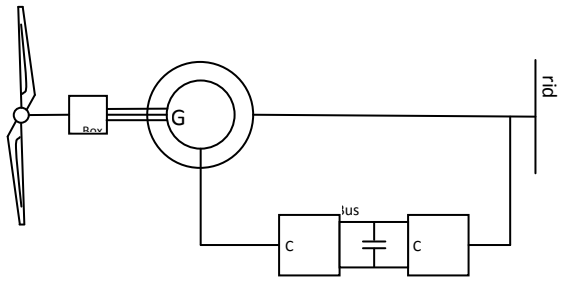
این مقاله شامل بررسی مدل‌سازی تولیدات پراکنده، تابع هزینه شبکه، بررسی الگوریتم ازدحام ذرات و منطق فازی می‌باشد. روش پیشنهادی بر روی شبکه نمونه طراحی شده پیاده‌سازی و در نهایتاً نتایج شبیه‌سازی مورد نتیجه‌گیری قرار گرفته است.

۲- مدل‌سازی تولیدات پراکنده

اتصال تولیدات پراکنده به مکان‌هایی نزدیک به مشترکان، می‌تواند قابلیت سیستم قدرت را افزایش دهد. وضعیت کنترل تولیدات پراکنده به طور کلی می‌توان در یکی از دو حالت PQ یا PV مورد بهره‌برداری قرار گیرد. تولیدات پراکنده در حالت بهره‌برداری به صورت PV قادر به تولید توان راکتیو برای کنترل ولتاژ می‌باشد. در این مقاله تولیدات پراکنده به عنوان شین PQ در نظرگرفته شده است[۱۵].

۲-۱-مدل‌سازی DFIG

نیروگاه‌های بادی که ژنراتورهای آن‌ها هم از طریق استاتور و رتور به شبکه متصل هستند، DFIG نامیده می‌شوند. این دستگاه از طریق مبدل متصل شده میان روتور و شبکه، کنترل می‌گردد. چندین مدل برای DFIG در نرم‌افزار Power Factory ایجاد شده است. در این مقاله از مدلی که بهره‌بردار بتواند شین ژنراتور را به صورت PQ یا PV انتخاب نماید، استفاده شده است. در شکل (۱) طرح شماتیک نیروگاه بادی شبیه‌سازی شده که به صورت مستقیم به شبکه متصل گردیده، نمایش داده شده است.



شکل (۱): شماتیک مداری DFIG

معادلات الکتریکی مدل‌سازی شده در قاب مرجع برای DFIG در فرمول‌های (۱) تا (۴) آورده شده است. نمادهای گرافیکی υ، i، R،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012

X و ψ به ترتیب نشان دهنده ولتاژ، مقاومت، جریان، راکتانس، شار می‌باشند. اندیس‌های r، s نشان دهنده وابستگی به روتور و استاتور هستند. در اندیس‌های مرکب ω_s، s نشان دهنده لغزش و سرعت سنکرون می‌باشد[۱۶].

$$\begin{bmatrix}\upsilon_{ds}\\ \upsilon_{qs}\end{bmatrix} = -R_s\begin{bmatrix}i_{ds}\\ i_{qs}\end{bmatrix} + \frac{1}{\omega_s}\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\psi_{ds}\\ \psi_{qs}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-\psi_{qs}\\ \psi_{ds}\end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$\begin{bmatrix}\upsilon_{dr}\\ \upsilon_{qr}\end{bmatrix} = -R_r\begin{bmatrix}i_{dr}\\ i_{qr}\end{bmatrix} + \frac{1}{\omega_s}\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\psi_{dr}\\ \psi_{qr}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-\psi_{qr}\\ \psi_{dr}\end{bmatrix} \quad (۲)$$

$$\begin{bmatrix}\psi_{ds}\\ \psi_{qs}\end{bmatrix} = -\begin{bmatrix}X_s i_{ds} + X_m i_{dr}\\ X_s i_{qs} + X_m i_{qr}\end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$\begin{bmatrix}\psi_{dr}\\ \psi_{qr}\end{bmatrix} = -\begin{bmatrix}X_r i_{dr} + X_m i_{ds}\\ X_r i_{qr} + X_m i_{qs}\end{bmatrix} \quad (۴)$$

معادلات (۱) تا (۴) را می‌توان برای استفاده مناسب به صورت معادلات (۵) تا (۸) در مبنای واحد برای هر قسمت بازنویسی کرد.

$$\bar{\upsilon}_{dqs} = -R_s\bar{i}_{dqs} + \frac{1}{\omega_s}\frac{d\bar{\psi}_{dqs}}{dt} + j\bar{\psi}_{dqs} \quad (۵)$$

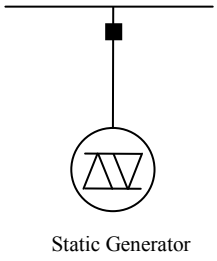
$$\bar{\upsilon}_{dqr} = -R_r\bar{i}_{dqr} + \frac{1}{\omega_s}\frac{d\bar{\psi}_{dqr}}{dt} + js\bar{\psi}_{dqr} \quad (۶)$$

$$\bar{\psi}_{dqs} = -X_s\bar{i}_{dqs} - X_m\bar{i}_{dqr} \quad (۷)$$

$$\bar{\psi}_{dqr} = -X_r\bar{i}_{dqr} - X_m\bar{i}_{dqs} \quad (۸)$$

۲-۲-مدل‌سازی پیل سوختی و نیروگاه خورشیدی

سیستم نیروگاه خورشیدی و پیل سوختی که در این مقاله استفاده شده است. توسط یک ژنراتور استاتیک، مانند شکل(۲) ایجاد شده است. این مدل یک مدل عمومی می‌باشد که در نرم‌افزار DIgSILENT موجود می‌باشد[۱۷].



شکل (۲): شماتیک مداری ژنراتور استاتیک

۳-بیان مساله

قرار دادن منابع انرژی پراکنده با هدف کاهش تلفات سیستم و حداکثر رساندن سود حاصل ناشی از قرارگیری مناسب است. با توجه به این امر که تصمیم تخصیص نمی‌تواند صرفاً براساس صرفه‌جویی باشد، در برخی موارد صرفه‌جویی در هزینه سرمایه‌گذاری باعث کاهش سود حاصله و در نهایت به ضرر سرمایه‌گذار منجر می‌گردد؛ بنابراین تابع هدف به حداقل رساندن هزینه، تلفات اکتیو و راکتیو می‌باشد.

۳-۱-تابع تلفات

یکی از شاخص‌های اساسی مورد بررسی در جایابی تولیدات پراکنده کاهش تلفات کل سیستم می‌باشد. از رابطه (۹) تلفات سیستم مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$P_{Loss} = P_{generation} - P_{load} \quad (۹)$$

که در آن محدودیت ولتاژ و جریان در محدوده مجاز نگه‌داری می‌شود.

$$V_{min} \le V_{bus} \le V_{max} \quad (۱۰)$$

$$I \le I_{rated} \quad (۱۱)$$

که در آن V ولتاژ شین و I جریان فیدر می‌باشد[۱۸].

۳-۲-تابع هزینه

تابع هزینه را می‌توان با توجه به روابط ریاضی زیر محاسبه نمود.

$$F_{TotalCost} = \sum_{i=1}^{N_{FC}} C_{FC}(P_{FC}) + \sum_{i=1}^{N_{Wind}} C_{Wind}(P_{Wind}) + \sum_{i=1}^{N_{PV}} C_{PV}(P_{PV}) \quad (۱۲)$$

$$C(P) = a + b \times P \quad (۱۳)$$

$$a = \frac{Capital\ Cost(\frac{\$}{KW}) \times Capacity(KW) \times Gr}{Life\ time(Year) \times 365 \times 24 \times LF} \quad (۱۴)$$

$$b = Fuel\ Cost(\frac{\$}{KWh}) + O\&MCost(\frac{\$}{KWh}) \quad (۱۵)$$

جدول (۱) جزییات توابع هزینه برخی از تولیدات پراکنده را نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان هزینه هر کدام از تولیدات پراکنده را با توجه به فرمول‌های (۱۳-۱۵) محاسبه کرد. همچنین LF و Gr به ترتیب نرخ سود سالانه و شاخص بارگذاری تولیدات پراکنده می‌باشد[۱۹].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012

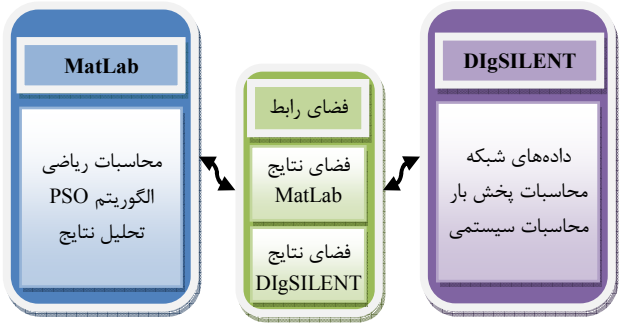
جدول (۱): مقایسه اقتصادي توليدات برق

	Rated capacity (kW)	Capital cost ($/kW)	Fuel cost ($/kW h)	Operation & maintenance cost($/kW h)	Life time (year)
Fuel cell with CHP	۲۰۰	۳۶۷۴	۰.۰۲۹	۰.۰۱	۱۰
Photovoltaic	۱۰۰	۶۶۷۵	۰	۰.۰۰۵	۲۰
Small wind turbine	۱۰	۳۸۶۶	۰	۰.۰۰۵	۲۰
Big wind turbine	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۰	۰.۰۰۵	۲۰

۴-ترکیبMatLab و DIgSILENT

در این مقاله یک برنامه واسط اطلاعاتی پیوسته دو طرفه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی در MatLab و DIgSILENT طراحی گردیده است. این رویکرد به منظور ترکیب مزایای غیرقابل انکار دو نرم‌افزار فوق‌الذکر استفاده شده است. در نرم‌افزار DIgSILENT قابلیت تجزیه و تحلیل سیستم‌های قدرت و نرم‌افزار MatLab قابلیت برنامه‌نویسی کارا و انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۳) به صورت ساده این روش بیان شده است. تبادل اطلاعات محاسبه شده با استفاده از یک فایل واسط صورت می‌گیرد.

این فضای داده مشترک در خارج از دو نرم افزار ایجاد گردیده است و امکان گسترش و ارتباط با دیگر نرم‌افزارهای تحلیلی و محاسباتی را دارا می‌باشد. همچنین روش پیاده‌سازی شده محدود به این مقاله نمی‌باشد و قابلیت گسترش و استفاده در دیگر جنبه‌های محاسباتی و روش‌های شبیه‌سازی میان این دو نرم افزار را دارا می‌باشد.



شکل (۳): انتقال داده بین DIgSILENT/MatLab

۵-الگوریتم بهینه سازی مکان و ظرفیت

روش‌های مبتنی بر هوش تجمعی مانند الگوریتم ازدحام ذرات، زنبورها، موریانه‌ها و ... برای حل مسایل ترکیبی مناسب می‌باشند. این روش‌ها دارای دو شاخص برجسته هستند. هوشمند بودن، به دلیل اینکه از یک راه‌حل به راه‌حل دیگری می‌رسند و شاخص دوم تجمعی بودن که به دلیل ارتباط با یکدیگر صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است هر کدام از اجزا این الگوریتم‌ها به خودی خود، تنها و بدون ارسال تجارب شخصی این قابلیت را ندارند[۲۰].

۶-الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک جستجوگر تابع هدف مبتنی بر جمعیت می‌باشد. این الگوریتم بهینه‌سازی اولین بار توسط Eberhart و Kennedy در سال ۱۹۹۵ معرفی گردید[۲۱]. در الگوریتم ازدحام ذرات جمعیت swarm و هر فرد particle نامیده می‌شود. الگوریتم ازدحام ذرات از تعداد زیادی عناصر(ذرات)تشکیل شده است که هر کدام دارای حرکات ساده، پویا، حافظه و هوش می‌باشند. هر ذره با بهره‌گیری از تجربه شخصی خود و دیگر ذرات سعی در جستجوی محیط اطراف خود را دارد. این ذرات در هر تکرار می‌توانند بهترین موقعیت شخصی یا محلی را جذب نمایند. این الگوریتم برای بهینه‌سازی از تجربه تمام ذرات به صورت مستقیم و غیرمستقیم بهره می‌گیرد. به دلیل تصادفی بودن پایش انجام شده باعث ایجاد یک پایش پیوسته تجزیه و تحلیل بهینه داده‌ها می‌گردد.

حرکت ذره i به منظور جستجوی فضای تابع ازسه بردارحرکت حاصل می‌شود. فرمول(۱۶) مربوط به بردار مکان جسم، فرمول (۱۷) بهترین حرکت شخصی ذره، فرمول (۱۸) مربوط به بردار سرعت می‌باشد[۲۲].

$$\overrightarrow{x_i} = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}) \quad (۱۶)$$

$$\overrightarrow{p_i} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ij}) \quad (۱۷)$$

$$\overrightarrow{v_i} = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ij}) \quad (۱۸)$$

این ذرات در فضای جستجو حرکات خود را انجام می‌دهند و با استفاده از فرمول (۱۹) سرعت و مکان هر ذره به طور پیوسته در هر تکرار به‌روزرسانی می‌شود. در این الگوریتم هر ذره در واقع ارایه دهنده یک راه حل برای تابع هدف می‌باشد.

$$v_{ij}^{k+1} = \omega v_{ij}^{k} + c_1\epsilon_1\left(p_{best_{ij}}^{k} - x_{ij}^{k}\right) + c_2\epsilon_2\left(p_{gbest_j}^{k} - x_{ij}^{k}\right) \quad (۱۹)$$

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^{k} + v_{ij}^{k+1} \quad (۲۰)$$

که در آن k تعداد تکرار، ω ضریب اینرسی، ϵ_1و، ϵ_2 دو عدد تصادفی و c_1 ، c_2 ضریب یادگیری می‌باشند. بهترین وضعیت قبلی ذره iام به عنوانp_{best} و بهترین موقعیت قبلی در میان تمام ذرات p_{gbest} نشان داده شده است.

باید توجه داشت موفقیت این الگوریتم تابع تنظیم صحیح پارامترها می‌باشد. بر این اساس ضریب اینرسی معادل χ در نظر گرفته شده

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

است، که در آن φ برابر ۴.۱ و مقدار φ_1، φ_2 مساوی می‌باشند[۲۳]. در این مقاله تعداد ذرات و تکرار ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

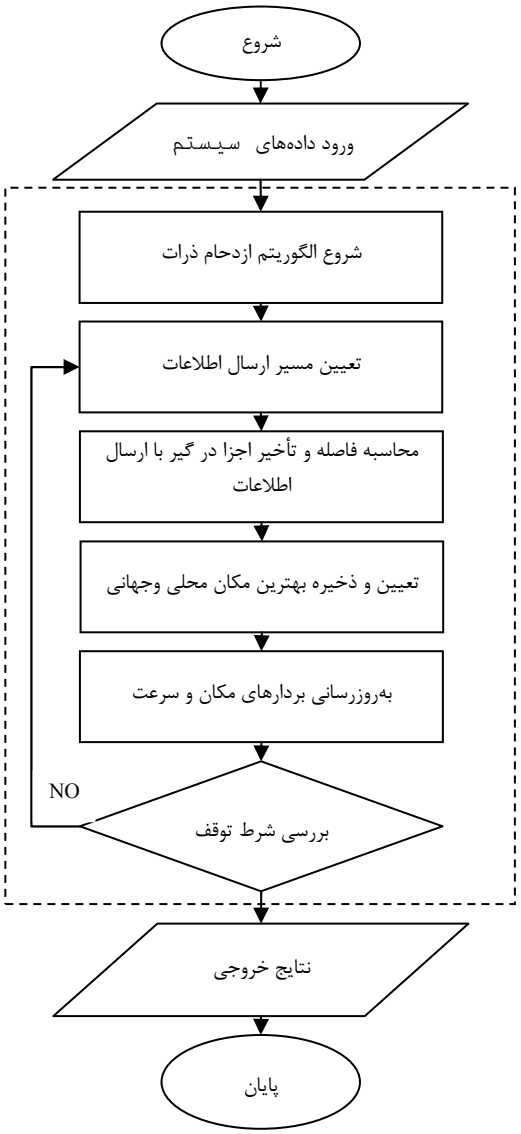
$$\chi = \frac{2}{\left|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}\right|} \quad (۲۱)$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (۲۲)$$

$$c_1 = \chi\,\varphi_1,\ c_2 = \chi\,\varphi_2 \quad (۲۳)$$

مساله بهینه‌سازی مورد بررسی در این مقاله دارای تابع هدف کاهش هزینه و تلفات اکتیو و راکتیو به صورت هم زمان می‌باشد، که به محل، اندازه و نوع تولیدات پراکنده وابسته است. هر کدام از ذرات اطلاعات مربوط به خود را از نظر توابع و هزینه نهایی دارا بوده. لذا الگوریتم مورد استفاده جهت بهینه‌سازی نیز باید با در نظر گرفتن تابع هدف شبیه‌سازی گردد.

داده‌ها، بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات در MatLab پیاده‌سازی و اعمال می‌شود. نهایتاً مکان و مقدار مناسب مشخص می‌گردد.



شکل (۴): روند نهایی الگوریتم بهینه‌سازی

۷-سیستم فازی

به منظور تصمیم‌گیری به صورت تحلیلی با استفاده از یک روش نظام‌مند محاسباتی در مورد اطلاعات می‌توان از منطق فازی استفاده کرد. منطق فازی یک روش برای نتیجه‌گیری با توجه به قوانین فازی می‌باشد که شایع‌ترین آن‌ها استفاده از اگر - آنگاه است. سیستم فازی داده‌های خام و تحلیل نشده را دریافت می‌کند سپس با استفاده از فازی سازی آن‌ها، با توجه به تعیین درجه عضویت هر داده و بررسی قواعد فازی تعریف شده، نتیجه پیش‌بینی شده را گزارش می‌دهد. سیستم استنتاج فازی در واقع پیاده‌سازی یک تناظر غیرخطی از فضای ورودی به فضای خروجی می‌باشد.

مراحل نتیجه‌گیری فازی:

- گرفتن ورودی
- فازی سازی ورودی‌ها
- اجرای قواعد و عملگرهای فازی
- فازی زدایی
- جمع بندی خروجی

مساله بهینه‌سازی مورد بررسی در این مقاله دارای ۳ تابع هدف می‌باشد و هر کدام از توابع هدف اطلاعات مربوط به خود را از نظر توابع عضویت و قواعد فازی داراست لذا الگوریتم مورد استفاده جهت بهینه‌سازی نیز باید با در نظر گرفتن ۳ تابع هدف شبیه‌سازی گردد. توابع ورودی به تفکیک شامل هزینه تولیدات پراکنده، تلفات اکتیو و راکتیو استوار می‌باشد.

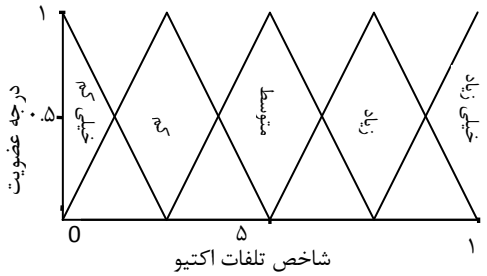
به منظور کارایی بیش‌تر محاسبات ابتدا شاخص تلفات اکتیو و راکتیو توسط منطق فازی مقایسه گردیده، پس از نرمالیزه کردن تابع هزینه به صورت جداگانه با نتایج فازی شده تلفات اکتیو و راکتیو مقایسه می‌شود. با به‌کارگیری این روش چند لایه، علاوه بر کاهش ماتریس تصمیم‌گیری فازی و بهبود دقت فازی سازی باعث یافتن جواب بهتر می‌گردد. سپس این شاخص‌ها با توجه به روش گفته شده در هر تکرار الگوریتم ازدحام ذرات به سیستم فازی که در جعبه افزار Logic Fuzzy در MatLab شبیه‌سازی شده و اعمال می‌شود با استفاده از کلاسه بندی‌های ارایه شده مکان‌های مختلف نصب تولیدات پراکنده را مورد بررسی قرار داده و در نتیجه بهترین مکان براساس منطق فازی توسط الگوریتم ازدحام ذرات مشخص می‌گردد.

۷-۱-توابع عضویت و قواعد سیستم فازی

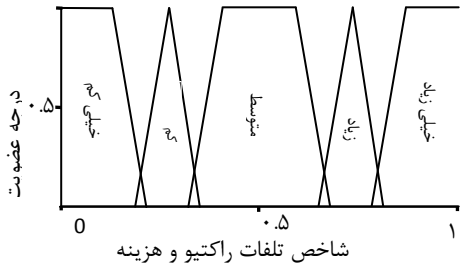
تعیین بهترین شین برای نصب تولیدات پراکنده با استفاده از منطق فازی صورت می‌گیرد. متغیرهای ورودی به منطق فازی شامل شاخص‌های قدرت هر یک از باس‌ها می‌باشند. تابع عضویت خروجی بهترین مکان را مشخص می‌نماید. تمام توابع عضویت فازی شکل (۵ و ۶) دارای پنج بخش خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد می‌باشند. البته تمام متغیرهای ورودی با توجه به توابع عضویت خود

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

تعریف می‌شوند که در شکل (۵ و ۶) قابل مشاهده می‌باشد [۲۴, ۲۵].



شاخص توان اکتیو عضویت توابع شکل (۵):



راکتیو و هزینه شاخص توان عضویت شکل (٦): توابع

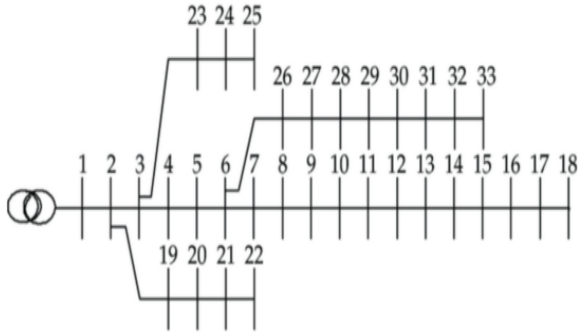
ماتریس قواعد تصمیم‌گیری در طراحی سیستم فازی برای تعیین مناسب‌ترین مکان نصب منابع تولید در جدول (۲) نشان داده شده است[۲۶].

جدول (۲): ماتریس تصمیم گیرهای فازی

ترکیب شاخص‌ها		شاخص تلفات اکتیو				
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
شاخص تلفات راکتیو	خیلی کم	خیلی بد	خیلی بد	بد	بد	متوسط
	کم	خیلی بد	بد	متوسط	متوسط	خوب
	متوسط	بد	متوسط	خوب	خوب	خیلی خوب
	زیاد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب
	خیلی زیاد	متوسط	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب

۸-نتایج شبیه‌سازی

برای پیاده‌سازی روش ارائه شده از سیستم قدرت ۳۳ شینه IEEE نشان داده شده در شکل (۷) که در نرم‌افزار DIgSILENT برای این مطالعه اصلاح گردیده، استفاده شده است. شبکه مرتبط با نمودار خطی نشان داده شده دارای تلفات راکتیو ۰.۲۳۰۲ مگاوات و تلفات اکتیو ۰.۵۰۴۵ مگا وار بوده است. تنها منبع تامین توان این سیستم در شین یک قرار داده شده است.



شکل (۷): دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۳ شینه IEEE

تعداد منابع تولید پراکنده ۱۰ عدد شامل ۴ منبع بادی، ۴ منبع سلول سوختی و ۲ منبع خورشیدی می‌باشد. پیشنهاد ارایه شده توسط الگوریتم ازدحام ذرات به منظور جایابی در هر تکرار مبتنی بر شبکه تست نشان داده شده است. که به صورت هم زمان به بهینه‌سازی مکان و ظرفیت این تولیدات می‌پردازد. در این شبیه‌سازی بارها به صورت PQ و ثابت در نظر گرفته شده اند.

به منظور بررسی تاثیر نصب تولیدات پراکنده در مطالعات متفاوت سه حالت در نظر گرفته شده است.

- بررسی سیستم با تابع هدف تلفات اکتیو
- بررسی سیستم با تابع هدف تلفات راکتیو
- بررسی سیستم با تابع هدف تلفات اکتیو، راکتیو و هزینه

به منظور بهره‌وری بیش‌تر از تولیدات پراکنده، با توجه به اینکه اپراتور سیستم می‌تواند ظرفیت متغیری را از آن‌ها در مدار قرار دهد، این بررسی اجرا گردیده است. جدول (۳) جایابی و مقدار یابی تولیدات پراکنده به صورت هم زمان بر مبنای الگوریتم ازدحام ذرات و تابع هدف تلفات اکتیو صورت را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود پراکندگی این تولیدات می‌تواند تأثیر آن‌ها در سیستم بیش‌تر نماید.

جدول (۳): بررسی نتایج شبیه‌سازی با تابع هدف تلفات اکتیو و راکتیو

	تابع هدف تلفات اکتیو		تابع هدف تلفات راکتیو	
نوع انرژی تجدید پذیر	محل	ظرفیت (کیلووات)	محل	ظرفیت (کیلووات)
بادی	۶	۷۸۰.۷	۲۴	۸۷۲.۹
	۲۴	۸۶۳.۱	۳۱	۶۶۹.۶
	۱۴	۳۸۶.۷	۱۹	۴۸۲.۵
	۳۱	۶۸۲.۹	۶	۶۹۸.۲
خورشیدی	۱۰	۵۲.۱	۲۱	۹۴.۱
	۲۵	۹۸.۴	۲۲	۱۰۰
سلول سوختی	۸	۱۹۶.۸	۱۴	۱۹۸.۶
	۲۲	۱۵۶.۴	۱۷	۲۰۰
	۲۰	۱۶۴.۸	۸	۲۰۰
	۱۸	۱۶۰.۱	۱۲	۲۰۰

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

در جدول (۳) جایابی و مقداریابی با توجه به تابع هدف تلفات اکتیو و راکتیو با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات ارایه شده است.

جایابی و مقداریابی ادوات با توجه به ترکیب توابع هزینه، تلفات اکتیو و راکتیو به صورت هم زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور مقایسه صحیح توابع ذکر شده و تعیین بهترین تابع هدف، از منطق فازی بهره‌گیری شده است. منطق فازی ترکیب شده با الگوریتم ازدحام ذرات امکان تجزیه و تحلیل بهتر داده‌ها را با استفاده از قواعد سیستم فازی مهیا می‌سازد.

از آنجایی که داده‌های مشخص شده به صورت ورودی به منطق فازی داده می‌شود، بر اساس قوانین جدول (۱) تجزیه و تحلیل صورت گرفته و منطق فازی در نهایت یک عدد بین صفر تا ۱ به ما ارائه می‌دهد. هرچه عدد بدست آمده به ۱ نزدیک‌تر باشد محل انتخاب شده بهتر است. همانگونه که در جدول (۴) ملاحظه می‌گردد. تجزیه و تحلیل داده بهترین مکان‌های نصب منابع تولید تجدید پذیر با توجه به شاخص‌های داده شده جهت بهره‌وری بیش‌تر به ما نشان می‌دهد.

جدول (۴): بررسی نتایج شبیه‌سازی

نوع انرژی تجدید پذیر	محل	ظرفیت(کیلووات)
بادی	۲۴	۹۹۲.۵
	۳۱	۶۷۶.۲
	۱۱	۵۳۴.۳
	۲۶	۷۰۴.۸
خورشیدی	۲۱	۷۰.۶
	۱۸	۹۷.۸
سلول سوختی	۱۷	۸۰.۵
	۱۶	۶۰.۱
	۱۵	۲۸.۴
	۲۲	۷۸.۸

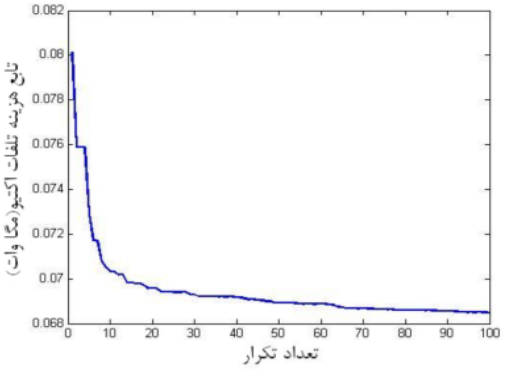
استفاده از روش منطق فازی ترکیب شده با الگوریتم ازدحام ذرات باعث می‌گردد توابعی که دارای ماهیت ذاتی متفاوت از لحاظ مقداری و عملکرد بهینه‌سازی هستند، قابلیت مقایسه بهتر داشته باشند. جدول (۵) نتایج خروجی بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات - فازی را نشان می‌دهد.

جدول (۵): بررسی نتایج شبیه‌سازی

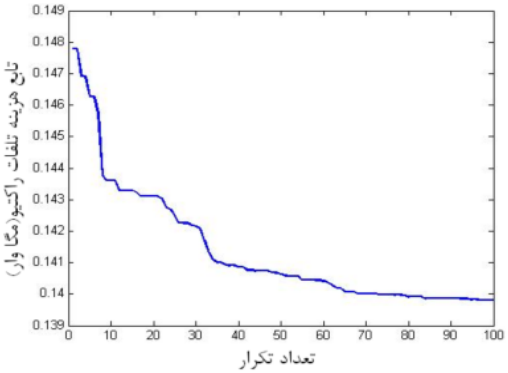
	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم
تلفات اکتیو(کیلووات)	۶۸.۴۷۹	۶۸.۸۴۴	۷۰.۱۴۷
تلفات راکتیو(کیلو وار)	۱۴۰.۵۷۶	۱۳۹.۸۱	۱۴۴.۷۹۴
هزینه(دلار بر ساعت)	۸۰.۳۴۶۹	۸۰.۳۴۰۹	۶۳.۷۶۴۲

همان‌طور که در جدول (۵) ملاحظه می‌شود. در حالت‌های اول و دوم اگر چه تلفات سیستم کاهش یافته است، اما شاخص هزینه لحاظ نشده است. بهینه‌سازی با استفاده از روش ترکیبی یعنی با لحاظ هزینه ضمن کاهش تلفات بطور کلی باعث کاهش هزینه به صورت چشم‌گیری گردیده است.

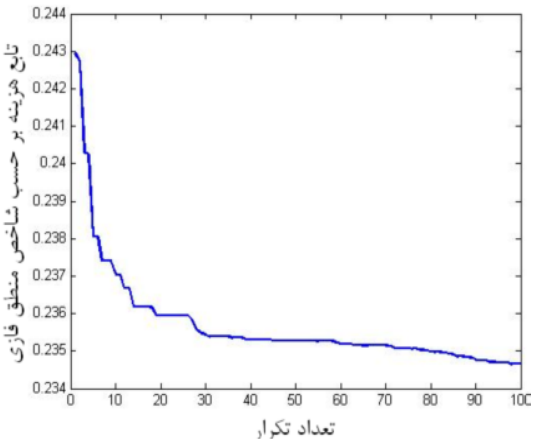
بنابراین الگوریتم ترکیبی قادر به پیدا کردن بهترین راه حل برای هر تابع هدف می‌باشد. با توجه به اولویت‌های بهره‌بردار سیستم قابلیت انعطاف داشته و می‌تواند انتخاب‌های گوناگون در گزینش تابع هدف به عمل آورد. نحوه همگرایی ۳ تابع هدف در شکل‌های(۸-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۸): نمودار عملکرد الگوریتم در بهبود شاخص تلفات اکتیو



شکل (۹): نمودار عملکرد الگوریتم در بهبود شاخص تلفات ر اکتیو



شکل (۱۰): نمودار عملکرد الگوریتم در بهبود شاخص تلفات اکتیو، راکتیو و هزینه

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

۹-نتیجه‌گیری

استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های انرژی الکتریکی امریست که می‌تواند منافع و اثرات قابل ملاحظه‌ای را در بهره‌برداری شبکه‌های قدرت به دنبال داشته باشد. در این مقاله روش جامع برمبنای الگوریتم ازدحام ذرات، منطق فازی چند لایه اصلاح شده برای بهینه‌سازی مکان و ظرفیت مناسب منابع پراکنده در یک سیستم استاندارد به منظور کاهش تلفات اکتیو و تلفات راکتیو و هزینه ارائه شده است. از الگوریتم ازدحام ذرات به منظور بهینه‌سازی برای تعیین مکان و مقدار تولیدات پراکنده و جهت استنتاج نتایج حاصله از منطق فازی استفاده شده است. ضمناً ولتاژ شین و جریان فیدرها به عنوان محدودیت‌ها در سطح استاندارد نگه داشته می‌شوند.

روش پیشنهادی با سیستم ۳۳ شینه IEEE ارزیابی و سپس با به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی و استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند متغیره بر اساس منطق فازی بهترین محل و ظرفیت نصب بر روی شبکه تعیین گردید. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی ضمن بهبود هزینه سرمایه‌گذاری و کاهش تلفات سیستم به طور یقین سود چشم‌گیری نصیب شرکت‌های بهره‌برداری خواهد نمود.

مراجع

[1] H. Duong Quoc and N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on,* vol. 60, pp. 1700-1708, 2013.

[2] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 34, pp. 66-74, 2012.

[3] W. El-Khattam and M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," *Electric Power Systems Research,* vol. 71, pp. 119-128, 2004.

[4] K. Nekooei, M. M. Farsangi, H. Nezamabadi-pour, and K. Y. Lee, "An Improved Multi-Objective Harmony Search for Optimal Placement of DGs in Distribution Systems," *Smart Grid, IEEE Transactions on,* vol. 4, pp. 557-567, 2013.

[5] R. Viral and D. K. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 16 ,pp. 5146-5165, 2012.

[6] W.-S. Tan, M. Y. Hassan, M. S. Majid, and H. Abdul Rahman, "Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 18, pp. 626-645, 2013.

[7] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Optimal Distributed Generation Allocation and Sizing in Distribution Systems via Artificial Bee Colony Algorithm," *Power Delivery, IEEE Transactions on,* vol. 26, pp. 2090-2101, 2011.

[8] A. Soroudi and M. Afrasiab, "Binary PSO-based dynamic multi-objective model for distributed generation planning under uncertainty," *Renewable Power Generation, IET,* vol. 6, pp. 67-78, 2012.

[9] W. Lingfeng and C. Singh, "Reliability-Constrained Optimum Placement of Reclosers and Distributed Generators in Distribution Networks Using an Ant Colony System Algorithm," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on,* vol. 38, pp. 757-764, 2008.

[10] M. H. Sulaiman, M. W. Mustafa, A. Azmi, O. Aliman, and S. R .Abdul Rahim, "Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution system via Firefly Algorithm," in *Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, 2012 Ieee International*, 2012, pp. 84-89.

[11] H. Duong Quoc, N .Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks," *Energy Conversion, IEEE Transactions on,* vol. 25, pp. 814-820, 2010.

[12] D. Singh and K. S. Verma, "Multiobjective Optimization for DG Planning With Load Models," *Power Systems, IEEE Transactions on,* vol. 24, pp. 427-436, 2009.

[13] M. Junjie, W. Yulong, and L. Yang, "Size and Location of Distributed Generation in Distribution System Based on Immune Algorithm," *Systems Engineering Procedia,* vol. 4, pp. 124-132, 2012.

[14] H. Doagou-Mojarrad, G. B. Gharehpetian, H. Rastegar, and J. Olamaei, "Optimal placement and sizing of DG (distributed generation) units in distribution networks by novel hybrid evolutionary algorithm," *Energy*.

[15] T. Niknam ,H. Z. Meymand, H. D. Mojarrad, and J. Aghaei, "Multi-objective daily operation management of distribution network considering fuel cell power plants," *Renewable Power Generation, IET,* vol. 5, pp. 356-367, 2011.

[16] C. Hamon, K. Elkington, and M. Ghandhari, "Doubly-fed induction generator modeling and control in DigSilent PowerFactory," in *Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 1-7.

[17] J. Ramos Hernanz, Campayo Martín, J.J. Zamora Belver, I.Puelles Pérez, E., Motrico Gogeascoechea, JA., Sancho Sáiz, J, "Dynamic Simulation of a Photovoltaic Installation," presented at the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia (Spain), 2009.

[18] S. M. Hakimi, M. Zarringhalami, and S. M. M. Tafreshi, "Optimal capacitor placement and sizing in non-radial distribution to improve power quality," in *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on*, 2010, pp. 1-6.

[19] T. Niknam, A. Kavousifard, S. Tabatabaei ,and J. Aghaei, "Optimal operation management of fuel

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

cell/wind/photovoltaic power sources connected to distribution networks," *Journal of Power Sources,* vol. 196, pp. 8881-8896, 2011.

[20] P. Paliwal, N. P. Patidar, and R. K. Nema, "A comprehensive survey of optimization techniques used for Distributed Generator siting and sizing," in *Southeastcon, 2012 Proceedings of IEEE*, 2012, pp. 1-7.

[21] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, 1995, pp. 1942-1948 vol.4.

[22] M. Clerc and J. Kennedy, "The particle swarm - explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space," *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on,* vol. 6, pp. 58-73, 2002.

[23] D. Bratton and J. Kennedy, "Defining a Standard for Particle Swarm Optimization," in *Swarm Intelligence Symposium, 2007. SIS 2007. IEEE*, 2007, pp. 120-127.

[24] D. Y. Shih, G. W. Chang, G. S. Chuang, H. L. Wang, and S. Y. Chu, "A fuzzy-based algorithm for shunt capacitor planning in a distorted power system," in *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010 14th International Conference on*, 2010, pp. 1-7.

[25] G. W. Chang, C. Wen-Chang, C. Ching-Sheng, and S. Dong-Yeen, "Fuzzy Logic and Immune-Based Algorithm for Placement and Sizing of Shunt Capacitor Banks in a Distorted Power Network," *Power Delivery, IEEE Transactions on,* vol. 26, pp. 2145-2153, 2011.

[26] S. G. Saranya, E. Muthukumaran, S. M. Kannan, and S. Kalyani, "Optimal capacitor placement in radial distribution feeders using fuzzy-Differential Evolution," in Innovations in Emerging Technology (NCOIET), 2011 National Conference on, 2011, pp. 85-90

رزومه



میلاد کفایت در ۱۳۶۷ اهواز، ایران به دنیا آمده است. او درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد را در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، در سال ۱۳۹۰و ۱۳۹۲ به ترتیب گذرانده است. علایق پژوهشی او عبارتند از تاثیر تولیدات پراکنده بر سیستم قدرت، انرژی‌های تجدید پذیر، شبکه‌های هوشمند، روش‌های بهینه سازی و الگوریتم‌های تکاملی.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲)درتهران متولد شد. مدارک کارشناسی،کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق- قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا(IEEE) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.



سید علی نبوی نیاکی در سال ۱۳۴۱ در آمل متولد شد. مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در سالهای ۱۳۶۶ و ۱۳۶۹ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و دکتری تخصصی خود را در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه تورنتو کانادا در رشته مهندسی برق-قدرت اخذ نموده است. ایشان از سال ۱۳۷۵ عضو هیأت علمی دانشگاه مازندران بوده و در حال حاضر بعنوان پژوهشگر ارشد در دانشگاه تورنتو کانادا مشغول بکار می باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم های قدرت، پایداری و کنترل وادوات FACTS می باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1391.1.3.7.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 1-No. 3- winter 2012