تخصیص بهینه تولید پراکنده براساس قیمت‌گذاری گره‌ای با الگوریتم بهینه‌سازی جامعه هرج‌ومرج و در نظر گرفتن مدل غیرخطی بار

حسین شایقی[۱]، جواد داداش پور[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۱۷

چکیده:

استفاده روبه‌رشد تولیدات پراکنده در سطح توزیع منجر به تغییر وضعیت شبکه‌های توزیع از یک شبکه غیرفعال به یک شبکه فعال مانند سیستم‌های انتقال شده است. بنابراین، روش‌های قیمت‌گذاری شبکه انتقال مانند قیمت‌گذاری گره‌ای را در شبکه توزیع می‌توان به کار برد. اتصال DG به شبکه توزیع در قیمت گره‌ای شین‌ها تاثیر می‌گذارد. اگر حضور DGتلفات و تراکم را در شبکه توزیع کاهش دهد، قیمت‌های گره‌ای کاهش پیدا می‌کند و یا بر عکس. این مقاله روشی برای محاسبه اندازه و مکان بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع براساس قیمت‌گذاری گره‌ای ارائه می‌دهد. این برنامه‌ریزی با هدف بیشینه کردن سود شرکت‌های توزیع که برای دستیابی چندین مزیت، DG را در شبکه‌شان به کار گرفته‌اند، اجرا می‌شود.شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه هرج‌ومرج پیاده شده است که این الگوریتم برگرفته از یک گروه اجتماعی است که اعضای آن به‌طور ناهنجار رفتار می‌کنند تا موقعیت خود را بهبود بخشند. در اکثر مقالات جایابی DGبارهای شبکه ثابت فرض شده است. از آنجایی که بارها حساس به ولتاژ و فرکانس هستند، تحلیل بار ثابت منجر به نتایج نادرست و گمراه‌کننده‌ای می‌شود. از این رو، در این مقاله، روش پیشنهادی بر روی شبکه توزیع شعاعی ۳۸ شینه با حضور مدل بارهای واقعی حساس به ولتاژ و فرکانس سیستم شامل بارهای مسکونی، تجاری و صنعتی اجرا شده است.

کلمات کلیدی:

الگوریتم جامعه هرج‌ومرج، جایابی بهینه، قیمت‌گذاری گره‌ای، مدل غیر خطی بار، منابع تولید پراکنده

۱) دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول) hshayeghi@gmail.com

۲) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی Javad.Dadashpour@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

مقدمه

امروزه ساختار صنعت برق در بیشتر کشورها در حال تغییر و حرکت به سمت ایجاد رقابت در خرید و فروش انرژی الکتریکی است. این مسئله به همراه پیشرفت فناوری، مسائل زیست محیطی و اقتصادی بودن ساخت واحدهای تولید انرژی کوچک، موجب گسترش استفاده از تولیدات پراکنده[1] شده است [۱۹].منابع تولید پراکنده را می‌توان به عنوان منابع تولید توان الکتریکی که به شبکه‌های فوق توزیع، توزیع و مصرف کننده‌های محلی متصل می‌شوند، تعریف کرد. ظرفیت تولید این منابع در مقایسه با سایر منابع متداول تولید انرژی الکتریکی، بسیار کوچک‌تر و فناوری بکار رفته در تولید توان در آنها نیز متفاوت و بسیار متنوع است [۳].با توجه به گسترش روزافزون تقاضای انرژی در سیستم قدرت، کاربرد DGها مزایای بسیاری دارد که عبارتند از کاهش تلفات قدرت و هزینه سیستم، بهبود پروفیل ولتاژ و کیفیت توان، جلوگیری از ارتقای سیستم، تعویق سرمایه‌گذاری در شبکه‌های توزیع و انتقال، کاهش آلودگی صوتی و گازهای گلخانه‌ای، بهبود یکپارچگی، قابلیت اطمینان و بازده سیستم [۱۹،۲۴].

قرار گرفتن شبکه‌های توزیع بین تولید و انتقال از یک سو و مراکز بار از سوی دیگر، آن را به طور نسبی به یک شبکه غیر فعال تبدیل کرده است، ولی استفاده روبه‌رشد منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع در سال‌های اخیر باعث تغییر وضعیت این شبکه‌ها از یک شبکه غیرفعال به یک شبکه فعال همانند شبکه انتقال شده است. بنابراین، از سازوکارهای قیمت‌گذاری انتقال مانند قیمت‌گذاری گره‌ای[2] در شبکه توزیع می‌توان استفاده کرد. قیمت‌گذاری گره‌ای یا قیمت‌گذاری حاشیه‌ای محلی[3] یک روش قیمت‌گذاری مؤثر اقتصادی است که قیمت حاشیه‌ای برق را در گره یا شین‌های شبکه نشان می‌دهد. اتصال DG به شبکه توزیع بر قیمت گره‌ای شین‌ها تاثیر می‌گذارد. اگر حضور DGتلفات و تراکم را در شبکه توزیع کاهش دهد، قیمت‌های گره‌ای کاهش پیدا می‌کند و یا بر عکس[۲۳].

شبکه‌های توزیع شبکه‌های پسیو سنتی هستند که برای نصب ژنراتورها طراحی نشده‌اند. بنابراین، هنگام اتصال یک برنامه تولیدی در شبکه توزیع، باید مسائلی فنی چون پدیده افزایش ولتاژ حالت ماندگار که از اتصال ژنراتورها در سطوح ولتاژ پایین نتیجه می‌شود، در نظر گرفته شود. محدودیت ولتاژ مجاز برای سیستم‌های بین ۱۰۰۰ V و ۱۳۲ KV ۶٪± ولتاژ نامی فرض می‌شود [۱۲].

نصب DGها در مکان غیربهینه منجر به افزایش تلفات، پدیده افزایش ولتاژ و افزایش هزینه‌های توزیع برای کاربران شبکه می‌شود: بدین ترتیب، نتایج خلاف انتظار حاصل می‌شود [۱۰]. بنابراین، باید منابع تولید پراکنده به‌طور بهینه در

1) Distributed Generations (DGs)
2) Nodal Pricing
3) Locational Marginal Pricing (LMP)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

شبکه توزیع جایابی شوند تا بیشینه مزایای آن به دست آید. روش‌های جایابی بهینه DG بسیاری وجود دارد که بیشتر این روش‌های پیشنهاد شده در پژوهش‌ها تلفات توان سیستم را به عنوان تابع هدف در نظر گرفته‌اند [۸،۹،۱۱،۱۳]. در [۸]جایابی بهینه DG با هدف کاهش تلفات در سیستم ۳۳ شینه IEEE با الگوریتم PSO با فرض تغییرات خطی بار انجام شده است. مکان‌یابی و اندازه‌یابی بهینه DG با استفاده از ضریب حساسیت تلفات (LSF) و الگوریتم تبرید تدریجی (SA) در [۹] انجام شده است. مرجع [۱۱] تخصیص بهینه DG با هدف کاهش تلفات با روشی بر اساس مونت کارلو[1] اجرا شده است. در [۱۳] یک روش تحلیلی را برای جایابی چندگانه DG با هدف کاهش تلفات با الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است.کمینه کردن تلفات قدرت هدف قابل‌قبولی است. با این وجود، این هدف همیشه اقتصادی نیست، چرا که هزینه کل بهره‌برداری را شامل نمی‌شود. در [۵] جایابی بهینه DG بر اساس LMP پیشنهاد شده است. این مقاله تنها به تخصیص بهینه منفرد DG اقدام کرده است اما بدیهی است که جایابی چندگانه DGهای ظرفیت کوچک پرمنفعت‌تر از نصب منفرد DG ظرفیت بزرگ است. این مقاله تنها محدودیت مجاز ولتاژ شین‌ها را به عنوان قید در فرمول‌بندی مسئله در نظر گرفته است در حالی که پدیده افزایش ولتاژ که یک مانع مهم هنگام نصب DG در شبکه توزیع است، لحاظ نشده است. تخصیص بهینه DG براساس قیمت گره‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک در [۲۱]پیشنهاد شده است. اکثر مقالات بارهای شبکه را در مسئله جایابی بهینه DG ثابت در نظر گرفته‌اند[۲۴،۹،۵،۲۱،۱۵] در حالی که بارهای سیستم غیرقابل‌کنترل و وابسته به ولتاژ و فرکانس سیستم هستند[۲۲]. بنابراین، تخصیص بهینه DG با فرض بار ثابت نتایج متناقض و گمراه‌کننده‌ای در پی خواهد داشت. از این رو باید فرض بارهای ثابت بازبینی شود. روش ترکیبی بر اساس الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و الگوریتم ژنتیک برای جایابی هم‌زمان DG و بانک خازنی در [۱۵] پیشنهاد شده است. مرجع [۲۴] مسئله جایابی چندگانه DG را با لحاظ تاثیر نوع فناوری DG و با حضورمنابع تجدیدپذیر با فرض محدودیت شین اتصالی DG با الگوریتم ژنتیک حل کرده است. همان طور که بیان شد، این پژوهش‌ها با فرض بار ثابت انجام گرفته است.

این مقاله یک روش مؤثر بر اساس قیمت‌گذاری گره‌ای با بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی جامعه هرج‌ومرج[2] با لحاظ مدل بار برای مکان‌یابی و اندازه‌یابی بهینه چندگانه DG ارائه می‌دهد. این برنامه‌ریزی با هدف بیشینه کردن سود شرکت‌های توزیع که برای دستیابی چندین مزیت،DG را در شبکه‌شان به کار گرفته‌اند، اجرا می‌شود. ASO یک روش هوشمند است که از یک گروه اجتماعی الهام گرفته است که اعضای آن به طور هرج و مرج رفتار می‌کنند تا موقعیت خود را بهبود بخشند. اساس ASO یک گروه از افراد است که بی‌ثبات، مخاطره‌آمیز، متغیر از پایداری هستند که مکرراً غیرمنطقی رفتار می‌کنند و به سمت مکان‌های بدتر که در مرحله جست وجو ملاقات کرده‌اند، حرکت می‌کنند. سود بر اساس هزینه کاهش یافته تلفات قدرت در حضور DG، هزینه برق بدون نصب DG و با ادغام DG شامل هزینه برق تأمین شده توسط DG محاسبه شده است. روش پیشنهادی بر روی شبکه توزیع شعاعی ۳۸ شینه با لحاظ مدل بار برای

1) Monte carlo
2) Anarchic Society Opimization (ASO)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

بررسی کارایی آن آزموده شده است. برای صحت‌سنجی راهکار پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی با روش‌های مراجع معتبر مقایسه شده است و در انتها با معرفی شاخص‌های بهره‌برداری سیستم، برآمد پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی در حالت‌های جایابی منفرد DG و چندگانه DG ارزیابی شده است.

مدل‌سازی و فرمول‌بندی مسئله

پیاده‌سازی جایابی بهینه براساس تابع هدف تعریف شده مبتنی بر قیمت گره‌ای با الگوریتم هوشمند بهینه‌سازی جامعه هرج و مرج اجرا شده است. این پیاده‌سازی با فرض بارهای غیرخطی که حساس به ولتاژ و فرکانس شبکه هستند، انجام شده به طوری که فرکانس عملی سیستم ۹۸٪ فرکانس نامی شبکه فرض شده است. از مدل PQ هم برای مدل‌سازی منابع تولید پراکنده استفاده شده است؛ به عبارتی، DGها به صورت بارهای منفی لحاظ شده و هزینه توان تولیدی DGها ۴۵/۰ US$/MWh فرض شده است در حالی که هزینه برق دریافتی از شبکه (قیمت در شین مرجع) ۴۴/۵US$/MWh در نظر گرفته شده است.

قیمت گره‌ای

قیمت‌گذاری گره‌ای که نخستین بار توسط [۱۸] معرفی شده است، توسط [۲۳] برای استفاده در شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است. قیمت گره‌ای قیمت نهایی یا حاشیه‌ای[1] برق را در گره‌های شبکه نشان می‌دهد [۲۱] یا به عبارتی، قیمت گره‌ای هزینه حاشیه‌ای تحویل یک MWh بیشتر به هر باس در سیستم را منعکس می‌کند. این هزینه حاشیه‌ای اثر تزریق و بازگیری توان بر تلفات حاشیه‌ای (تغییرات افزایشی تلفات نسبت به توان) را به حساب می‌آورد که در بارگذاری خط به علت مصرف و فاصله افزایش یافته از PSP[2] به بار افزایش می‌یابد. بنابراین، قیمت‌های گره‌ای برای باس‌های نزدیک به PSP کمتر و برای باس‌های دور از PSP بیشتر است تا این که افزایش تلفات حاشیه‌ای به علت فاصله از PSP را نشان دهد[۲۳]. بدین ترتیب، با فرض بدون تراکم در شبکه توزیع قیمت‌های گره‌ای برای توان حقیقی و موهومی با روابط زیر به دست می‌آید [۲۳]:

$$C_i^a = \text{a} + \text{a}\left(\frac{\partial L}{\partial P_i}\right) = \text{a} + \text{a}\circ_{Pi} \quad (۱)$$

$$C_i^r = \text{a}\left(\frac{\partial L}{\partial Q_i}\right) = \text{a}\circ_{Qi} \quad (۲)$$

1) Marginal price
2) Power Supply Point

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

که $\lambda_{Pi} = \frac{\partial L}{\partial P_i}$ و $\lambda_{Qi} = \frac{\partial L}{\partial Q_i}$ ضرایب تلفات حاشیه‌ای[1] اکتیو و راکتیو در هر گره i در شبکه هستند. این ضرایب به عنوان تغییرات در تلفات کل توان اکتیو L نسبت به تغییر حاشیه‌ای در مصرف/تولید توان اکتیو P_i و توان راکتیو Q_i در هر گره i در شبکه تعریف می‌شود. یک روش برای تعیین MLCها، در [۱۶]ارائه شده است. λ نیز قیمت توان حقیقی در PSP نشان می‌دهد.

مدل‌سازی منابع تولید پراکنده

منابع DG را می‌توان با در نظر گرفتن نوع DG، مد عملکرد و روش اتصال به شبکه به شین PV یا PQ مدل کرد [۱۴].در DGهای مبتنی بر اینورتر، روش کنترل مبدل نوع مدل‌سازی را تعیین می‌کند در حالی که در واحدهای DG مبتنی بر ماشین، مد عملکرد ماشین نوع مدل‌سازی را مشخص می‌کند. یک واحد DG در حالت گره PQ به سه نوع متفاوت مدل می‌شود: در اولین نوع مدل‌سازی، DG به سادگی به منبع تولیدکننده توان اکتیو و راکتیو ثابت مدل می‌شود که به صورت یک بار منفی می‌توان لحاظ کرد؛ در دومین نوع مدل‌سازی، واحدهای DG دارای مقادیر معین توان اکتیو و ضریب قدرت است و به صورت یک ماشین با ضریب قدرت ثابت مدل می‌شود و در سومین نوع مدل‌سازی، منابع DG به ژنراتورهای توان راکتیو متغیر (مانند یک مزرعه بادی مبتنی بر ماشین القایی) مدل‌سازی می‌شود. زمانی که DG مانند یک ماشین PV مدل می‌شود، واحدهای DG دارای مقدار معینی از خروجی توان حقیقی و اندازه ولتاژ شین است [۲۴،۸]. برای ثابت نگه‌داشتن ولتاژ در یک مقدار معین باید با تزریق توان راکتیو مورد نیاز تغییرات ولتاژ شین مورد نظر صفر شود. از آنجایی که DGها معمولاً اندازه کوچک‌تری در قیاس با منابع قدرت سنتی دارند، در بیشتر مطالعات انجام گرفته مدل PQ ثابت برای تحلیل پخش‌بار سیستم توزیع لحاظ می‌شود که در این حالت DG مانند یک بار منفی در نظر گرفته خواهد شد[۴].

مدل‌سازی بار

در تحلیل پخش‌بار سنتی، بارهای اکتیو و راکتیو در گره‌ها معمولاً مقداری ثابت بدون لحاظ کردن اندازه ولتاژ و فرکانس سیستم فرض می‌شود در حالی که در بهره‌برداری عملی سیستم قدرت مدل‌های بار واقعی (یعنی بارهای مسکونی، صنعتی و تجاری) وابسته به ولتاژ و فرکانس سیستم هستند. مشخصه انواع مختلف بارها از طریق مدل‌های بار نمایی را می‌توان شرح داد [۲۲]:

$$P_i = P_{0i} V_i^{\gamma} [1 + \sim (f - f_0)] \qquad (۳)$$

1) Marginal Loss Components (MLCs)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

$$Q_i = Q_{0i} V_i^{\,a} [1 + \quad (f - f_0)] \qquad (۴)$$

که P_i و Q_i توان حقیقی و موهومی در گره i، P_0 و Q_0 مقدار توان حقیقی و موهومی در ولتاژ نامی در هر گره i، V_i مقدار ولتاژ در شین i، γو λنماهای ولتاژ برای توان‌های اکتیو و راکتیو، f و f_0 فرکانس‌های واقعی و نامی شبکه، αو βضرایب فرکانس برای توان‌های اکتیو و راکتیو هستند.

اگر در رابطه‌های (۳) و (۴) $0 = \quad = \sim = {}^{a} = ¥$باشد، مدل بار ارائه شده مدل بار ثابت خواهد بود که در پخش‌بار سنتی استفاده می‌شود. مقادیر γ، λ، αو βبرای انواع مختلف بارها در سیستم عملی در جدول (۱) نمایه شده است [۶].

جدول ۱) نوع بار و مقادیر نمای مربوطه

نوع بار	α	β	γ	λ
مسکونی	۱/۰	-۱/۷	۱/۷	۲/٦
تجاری	۱/۵	-۱/۱	۰/٦	۲/۵

تابع هدف

فرض کنید $C_i^a(no_DG)$و $C_i^r(no_DG)$ قیمت‌های گره‌ای توان اکتیو و راکتیو به ترتیب برحسب US$/MWh و US$/MVAr در هر گره i بدون ادغام DG باشد. $P_L(no_DG)$تلفات توان اکتیو برحسب MW بدون اتصال DG است،P_{Di}و Q_{Di} تقاضای توان اکتیو و راکتیو در هر گره i برحسب MW و MVAr هستند. λ قیمت برق تأمین شده توسط شبکه یا برق تأمین شده در PSP برحسب US$/MWh است. قیمت صورت‌حساب برق $P_{elect}^{no_DG}$ بدون ادغام DG برای هر دوره زمانی Δt طبق رابطه (۵) به دست می‌آید [۲۱]:

$$P_{elect}^{no_DG} = \sum_{i=1}^{n} \left\{ C_i^a(no_DG) \times P_{Di} \times \Delta t + C_i^r(no_DG) \times Q_{Di} \times \Delta t + {}^{a} \times P_L(no_DG) \times \Delta t \right\} \qquad (۵)$$

از آنجایی که تلفات به هیچ گره خاصی وابسته نشده است، هزینه تلفات بر اساس قیمت برق در PSP (یعنی λ) محاسبه می‌شود.

فرض کنید $C_i^a(DG)$و $C_i^r(DG)$ قیمت‌های گره‌ای توان اکتیو و راکتیو به ترتیب برحسب US$/MWh و US$/MVAr در هر گره i با ادغام DG باشد. $P_L(DG)$تلفات توان اکتیو برحسب MW با اتصال DG است. P_{DGi} و Q_{DGi} توان اکتیو و راکتیو تأمین شده توسط DG در هر گره i برحسب MW و MVAr هستند. $C(DG)$ قیمت برق

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

تأمین شده توسط DG برحسب US$/MWh است. قیمت برق P_{elect}^{DG} با ادغام DG برای هر دوره زمانی Δt طبق رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$P_{elect}^{DG} = \sum_{i=1}^{n}[\{C_i^a(DG)\times(P_{Di}-P_{DGi})\times\Delta t + C_i^r(DG)\times(Q_{Di}-Q_{DGi})\times\Delta t\}+\{C(DG)\times P_{DGi}\times\Delta t\} + ^{a}\times P_L(DG)\times\Delta t] \quad (۶)$$

DG به عنوان بار منفی در نظر گرفته شده است. به عبارتی، از مدل PQ استفاده شده است. P_{DGi} و Q_{DGi} در همه شین‌ها جز شین یا شین‌هایی که DG قرار گرفته برابر صفر هست. بنابراین، داریم:

$$P_{DGi} = 0;\ Q_{DGi} = 0,\ \forall\ buses\ except\ DG\ located\ buses. \quad (۷)$$

سود بر اساس صرفه‌جویی در صورت‌حساب برق در حضور DG شامل قیمت برق تأمین شده توسط DG محاسبه می‌شود. بنابراین، فرمول‌بندی مسئله را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$Maximize(P_{elect}^{no_DG} - P_{elect}^{DG}) \quad (۸)$$

که n تعداد شین‌های شبکه و Δt دوره زمانی برحسب ساعت است.

قیود زیر نیز در مسئله جایابی لحاظ شده است:

$$V_{0,i} \le V_{max}\ \forall\ secondary\ side\ of\ LTC\ transformers. \quad (۹)$$

$$V_{end,i|max\ load,\ no\ DG} \ge V_{min},\ \forall\ nodes\ at\ feeders\ ends. \quad (۱۰)$$

$$V_{DG|min\ load,\ max\ DG} \le V_{max}. \quad (۱۱)$$

$$V_{DG|min\ load,\ max\ DG} \le V_{0,i}. \quad (۱۲)$$

$$V_{min} \le V_i \le V_{max}. \quad (۱۳)$$

$$S_{(i,j)} \le S_{(i,j)\max} \quad (۱۴)$$

$$P_{DG\min} \le P_{DGi} \le P_{DG\max} \quad (۱۵)$$

$$Q_{DG\min} \le Q_{DGi} \le Q_{DG\max} \quad (۱۶)$$

که$V_{0,i}$ ولتاژ در هر PSPو V_{max}بیشینه محدوده مجاز ولتاژ است. $V_{end,i|max\ load,\ no\ DG}$ولتاژ انتهای فیدرها در حالت بیشینه بارگذاری و بدون حضور DG و V_{min}کمینه محدوده مجاز ولتاژ را بیان می‌کند. $V_{DG|min\ load,\ max\ DG}$نشان‌دهنده ولتاژ در مکان DG با کمینه بارگذاری و بیشینه نفوذ DG است و ولتاژ هر شین iبا V_iنشان داده شده است.معادلات(۹)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

تا(۱۳)وابسته قیود ولتاژ هستند که مسئله افزایش ولتاژ در هر فیدر تنظیم شده با LTC[1] را بیان می‌کنند.$S_{(i,j)}$ توان ظاهری عبوری و $S_{(i,j)max}$ ظرفیت شارش توان بین گره i و j بر حسب MVA است. روابط (۱۵) و (۱۶) نیز محدودیت توان تولیدی DG را بیان می‌کند.

الگوریتم جامعه هرج‌ومرج

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله برای جایابی بهینه تولید پراکنده الگوریتم بهینه‌سازی جامعه هرج‌ومرج است. الگوریتم ASO از یک گروه اجتماعی الهام گرفته شده است که اعضای آن به طور هرج‌ومرج رفتار می‌کنند تا موقعیت خود را بهبود بخشند. اساس ASO یک گروه از افراد است که بی‌ثبات، مخاطره‌آمیز و متنفر از پایداری هستند که مکرراً غیرمنطقی رفتار می‌کنند و به سمت مکان‌های بدتر که در مرحله جست وجو ملاقات کرده‌اند، حرکت می‌کنند. سطح رفتار هرج‌ومرجی اعضا هنگامی که سطح اختلاف بین موقعیت اعضا افزایش پیدا می‌کند، شدت می‌یابد. با استفاده از این اعضای هرج‌ومرج، ASO به‌طور کامل فضای جواب را جست‌وجو می‌کند و از افتادن در دام‌های بهینه محلی جلوگیری می‌کند [۱].

فرض‌های اساسی و نمادسازی

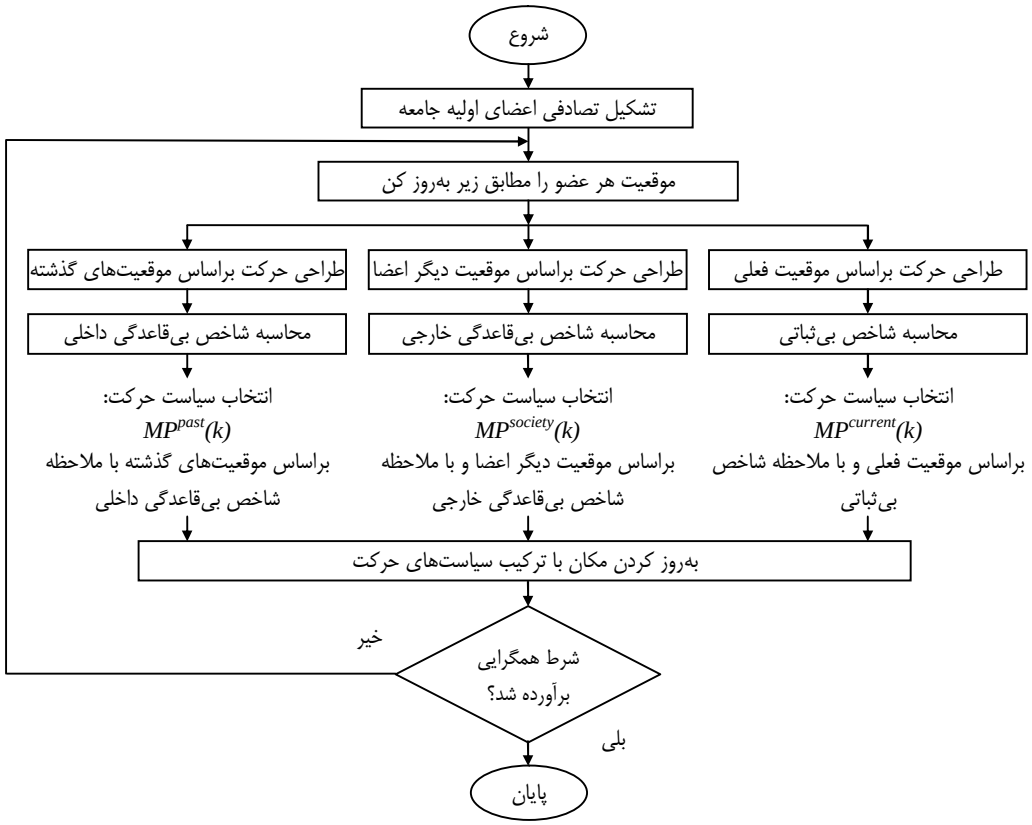
فرض کنید S فضای جواب باشد و $f: S \to R$یک تابع است که باید در فضای S کمینه شود. یک جامعه با N عضو در نظر بگیرید که در محدوده یک سرزمین ناشناخته جست‌وجو می‌کنند (که همان فضای جواب می‌باشد.) برای یافتن بهترین مکان برای زندگی (که همان کمینه‌کننده کلی fبر روی Sاست).

$X_i(k)$ مکان عضو iو $Dir_i(k)$ جهت حرکت انتخاب شده توسط عضو iدر تکرار kامرا نشان می‌دهد. بهترین مکان دیده شده توسط کل جامعه در k تکرار اول با $G(k)$ مشخص می‌شود و G_best نامیده می‌شود. بهترین مکان شخصی از قبل دیده شده توسط عضو i در تکرار kام با $P_i(k)$ مشخص می‌شود که P_best نامیده می‌شود.

روندنمای ASO در شکل (۱) نشان داده شده است. در بخش بعدی با المان‌های آن آشنا خواهیم شد.

1) Load tap- changer

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ۱) روندنمای الگوریتم ASO

رویه برنامه‌ریزی برای حرکت

هر عضو یک رویه برنامه ریزی دارد تا تصمیم بگیرد چگونه در تکرار بعدی حرکت کند و مکان خود را تغییر دهد. ازاین‌رو، هر عضو سه سیاست حرکت[1] به صورت زیر ایجاد می‌کند سپس آنها را ترکیب می‌کند تا مکان خود را در تکرار بعدی تعیین کند.

1) Movement policy

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

- **انتخاب سیاست حرکت بر اساس مکان فعلی ($MP_i^{current}(k)$)**

شاخص بی‌ثباتی[1] $FI_i(k)$ را برای عضو i در تکرار kام در نظر می‌گیریم. $FI_i(k)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$FI_i(\mathrm{k}) = \frac{f(X_i(k)) - f(G(\mathrm{k}))}{f(G(\mathrm{k}))} \qquad (۱۷)$$

که عددی در بازه‌ی [۰،۱] است و سیاست حرکت $MP_i^{current}(k)$ مطابق زیر است:

$$= MP_i^{current}(k) \begin{cases} FI_i(\mathrm{k}) \le \sim : \text{حرکت در } \varepsilon\text{- همسایگی جهت حرکت قبلی‌اش} \\ \text{در غیر این صورت: حرکت به سمت موقعیت یک عضو تصادفی انتخاب شده (مثل } j) \end{cases}$$

که αیک مقدار حدی است. جهت حرکت مرتبط با این سیاست حرکت مطابق زیر است:

$$Dir_i(k) = \begin{cases} D & FI_i(k) \le \sim \\ X_j(k) - X_i(k) & otherwise \end{cases} \qquad (۱۸)$$

D یک بردار یکنواخت گرفته شده از بازه زیر که εیک عدد مثبت است:

$$\left[(1-£)\times Dir_i(k-1), (1+£)\times Dir_i(k)\right]. \qquad (۱۹)$$

- **انتخاب سیاست حرکت براساس موقعیت دیگر اعضای جامعه ($MP_i^{society}(k)$)**

شاخص بی‌قاعدگی خارجی[2] $EI_i(k)$ را برای عضو i در تکرار kام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$EI_i(k) = \frac{\underset{i}{Max}\{f(X_i(k))\} - f(G(k))}{f(G(k))} \qquad (۲۰)$$

آنگاه سیاست حرکت $MP_i^{society}(k)$ به صورت ذیل خواهد بود:

$$= MP_i^{society}(k) \begin{cases} EI_i(\mathrm{k}) \le : \text{حرکت به سمت موقعیت عضو } G(k) \\ \text{در غیر این صورت: حرکت به سمت موقعیت یک عضو به تصادفی انتخاب شده (مثل } j) \end{cases}$$

که β یک آستانه حدی است. جهت مرتبط با این سیاست حرکت مطابق زیر است:

1) fickleness index
2) external irregularityindex

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

$$Dir_i(k)=\begin{cases}R\times(G(k))-X_i(k)) & FI_i(k)\le\sim\\ X_j(k)-X_i(k) & otherwise\end{cases} \quad (۲۱)$$

که R یک عدد تصادفی یکنواخت در بازه (۱، ۰) است.

- **انتخاب سیاست حرکت براساس مکان‌های قبلی ($MP_i^{past}(k)$)**

شاخص بی‌قاعدگی داخلی[1] $II_{i(k)}$را برای عضو i در تکرار kام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$II_i(k)=\frac{f(P_i(k))-f(G(k))}{f(G(k))} \quad (۲۲)$$

سیاست حرکت $MP_i^{past}(k)$ در ذیل آمده است:

$$MP_i^{past}(k)=\begin{cases}II_i(k)\le ¥: \text{حرکت به سمت بهترین موقعیت فردی تجربه شده توسط عضو } P_i(k)\\ \text{در غیر این صورت: حرکت به سمت موقعیت یک عضو تصادفی انتخاب شده (مثل } j)\end{cases}$$

که γ یک آستانه حدی است. جهت مرتبط با این سیاست حرکت مطابق زیر است:

$$Dir_i(k)=\begin{cases}R\times(P_i(k))-X_i(k)) & II_i(k)\le ¥\\ X_j(k)-X_i(k) & otherwise\end{cases} \quad (۲۳)$$

که R یک عدد تصادفی یکنواخت در بازه (۱، ۰) است.

بعد از تعیین سه سیاست حرکت، حرکت به یک موقعیت جدید با به‌روز کردن $X_i(k)$ مطابق رابطه زیر انجام می‌شود:

$$X_i(k+1)=X_i(k)+Dir_i(k) \quad (۲۴)$$

که $Dir_i(k)$ جهت حرکت مرتبط با سیاست حرکت نهایی بر اساس سه سیاست حرکت $MP_i^{current}(k)$، $MP_i^{society}(k)$ و $MP_i^{past}(k)$ است."قاعده ترکیب نخبه سالاری[2]"، " قاعده ترکیب متوالی[3] " و یا هر قاعده ترکیبی دیگری را می‌توان برای دستیابی به سیاست حرکت نهایی براساس سه سیاست حرکت مذکور به کار برد.

بهینه‌سازی مسئله جایابی DG مبتنی بر ASO

در برنامه‌ریزی بهینه تولید پراکنده، بردار جمعیت اولیه به‌طور تصادفی با استفاده از معادلات (۲۵) و (۲۶) تولید می‌شود:

$$DG_location = round\ (2 + rand * (number\text{-}of\text{-}buses - 2)) \quad (۲۵)$$

1) internal irregularity index
2) Elitism combination rule
3) sequential combination rule

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

$$DG_size = (rand * maximum\text{-}DG\text{-}size) \quad (۲۶)$$

که *round* یک تابع گردکننده اعداد غیرصحیح به نزدیک‌ترین اعداد صحیح برای تولید مکان شین صحیح است و *rand* یک تابعی که به‌طور تصادفی عددی بین ۰ تا ۱ تولید می‌کند. بدین ترتیب، هر اندازه‌ای تا بیشینه اندازه DG و هر شینی جز شین اسلک به‌طور تصادفی ایجاد می‌شود. بنابراین، در جامعه تشکیل یافته هر عضو از بردار جامعه اولیه شامل اندازه و مکان DGها و جهت حرکت انتخاب شده مربوطه می‌باشد.

گام‌های اصلی روش پیشنهادی برای تخصیص بهینه DG با در نظر گرفتن مدل‌های بار بدین صورت است:

گام اول: ایجاد اعضای اولیه جامعه به‌طور تصادفی. هر عضو از جامعه اولیه شامل اندازه DG و مکان اتصال آن (شین) به شبکه است.

گام دوم: اعمال هر عضو از جامعه اولیه به شبکه توزیع یعنی اندازه DG تولید شده در هر عضو در مکان شین مربوطه به شبکه اعمال شود.

گام سوم: بررسی قیود ولتاژ و دیگر قیود برای هر عضو از جامعه در تمام گره‌های شبکه.

گام چهارم: مقدار تابع هدف را برای هر عضو جامعه حساب کن. عضوی که مقدار تابع هدف بهینه را نتیجه می‌دهد، عضو بهینه خواهد بود.

گام پنجم: اگر معیار همگرایی برآورده شد، عملیات را متوقف کن و نتایج را نشان بده وگرنه به گام ۶ برو.

گام ششم: جامعه جدید را با استفاده از سه سیاست حرکت تشکیل بده سپس آنها را ترکیب و به شبکه اعمال کن و گام‌های ۳ تا ۵ را تکرار کن.

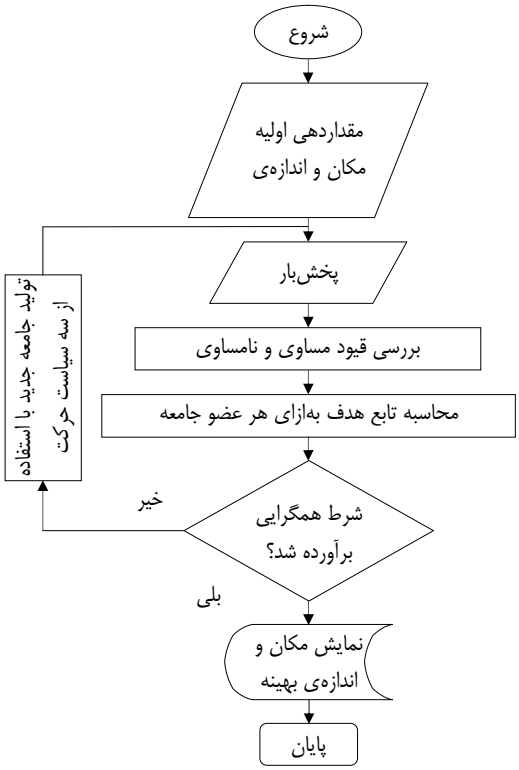
روندنمای گام‌های اصلی الگوریتم پیشنهادی را می‌توان در شکل (۲) مشاهده کرد.

در این مقاله، برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، شبکه توزیع شعاعی ۳۸ شینه به عنوان شبکه نمونه گزینش شده است. دیاگرام تک خطی شبکه در شکل (۳) نمایش داده شده است. اطلاعات شبکه در [۲۴] قابل دسترسی است. قیمت برق در PSP برابر با US$/MWh ۴۴/۵ فرض شده است [۲۱].

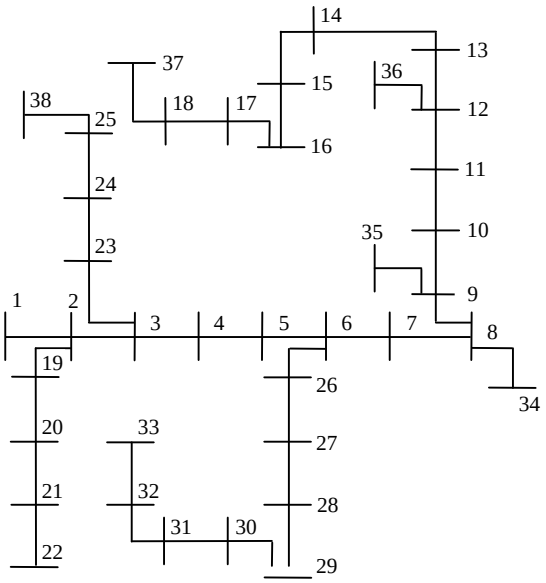
نتایج شبیه‌سازی

راهکار پیشنهادی در دو حالت شبیه‌سازی تخصیص بهینه منفرد DG و چندگانه DG با لحاظ مدل بار انجام شده است. فرض بر این است که شرکت توزیع صاحب DG است و سود شرکت توزیع براساس صرفه‌جویی در صورت‌حساب برق که شامل هزینه برق تأمین شده توسط DG است، محاسبه می‌شود. هزینه برق تأمین شده توسط DG برابر US$/MWh ۴۵/۰ گرفته شده است [۱۹]. مقدار عددی پارامترهای الگوریتم ASOطبق جدول (۲) تنظیم شده است [۲]. برنامه‌ریزی تولید پراکنده تحت مدل بار حساس به ولتاژ و فرکانس با فرض فرکانس pu ۰/۹۸ [۱۷] پیاده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ۲) روندنمای الگوریتم ASO برای تخصیص بهینهDG



شکل ۳) شبکه توزیع ۳۸ شینه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

جدول ۲) پارامترهای الگوریتمASO

پارامترهای ASO	تعداد اعضای جامعه (N)	تعداد تکرار	α	β	γ	ϵ
مقدار	۵۰	۳۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۲۵	۰/۱

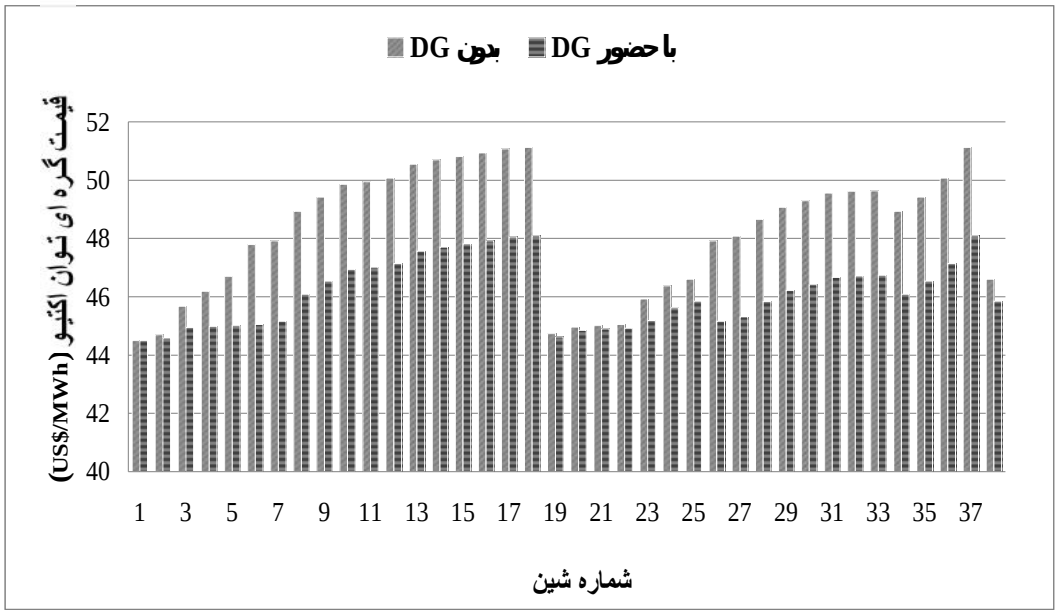
جایابی منفرد DG

روش پیشنهادی با جایابی منفرد DG برای انواع بارهای مختلف در شبکه نمونه اجرا شده است. شبیه‌سازی ابتدا با یک نوع بودن کل بارها (به‌طور مثال، کل بارها صنعتی باشد) و سپس در حالت بارهای ترکیبی پیاده شده است. نتایج با حالت فرض بارهای ثابت نیز مقایسه شده است که در جدول (۳) نتایج جامعه‌ای از شبیه‌سازی قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج شبیه‌سازی با حضور بارهای حساس به ولتاژ و فرکانس با حالت فرض بار ثابت متفاوت است. در واقع باید نتایج حاصل با فرض بار ثابت بازبینی شود.قیمت هر واحد توان اکتیو و راکتیو به‌ازای قیمت هر واحد توان اکتیو و راکتیو در شین مرجع (توان تأمین شده توسط شبکه) در هر گره بدون حضور DG و با جایابی بهینه DG محاسبه شده است. این نتایج در شکل‌های (۴) و (۵) در حالت بارهای ترکیبی نشان داده شده است. بدیهی است که قیمت گره‌ای توان اکتیو و راکتیو هر گره به‌طور چشمگیری با حضور DG کاهش یافته است.

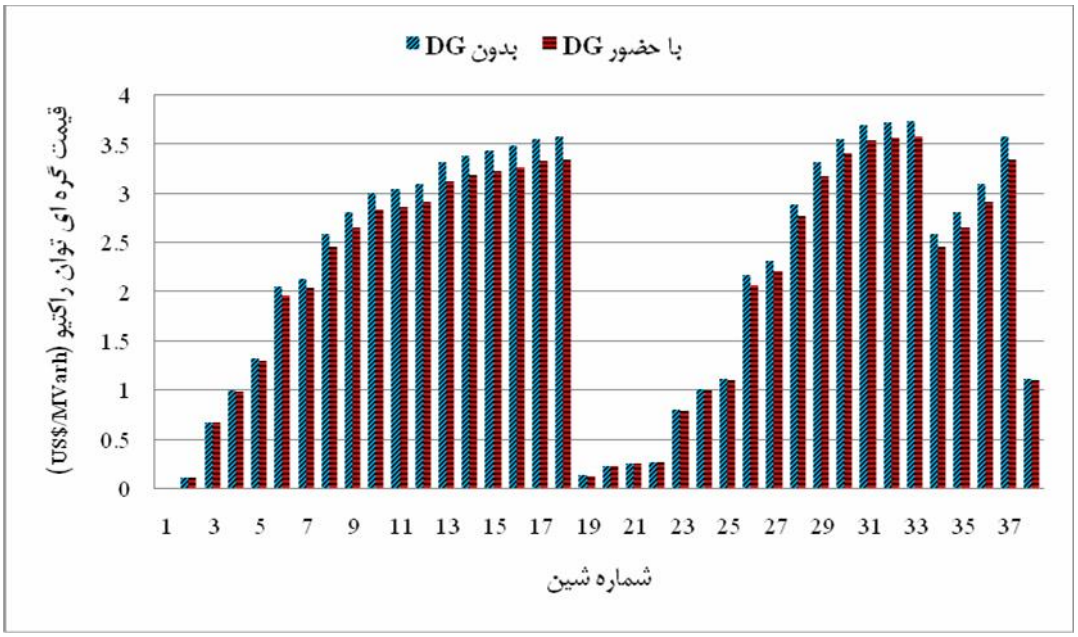
جدول ۳) نتایج جایابی منفرد DG با مدل بار حساس به ولتاژ و فرکانس

نوع بار		ثابت	مسکونی	صنعتی	تجاری	ترکیبی
مکان بهینه		۶	۹	۹	۱۰	۶
اندازه بهینه (MW)		۲/۵۰۷۲	۱/۰۴۶۱	۱/۲۷۴۲	۱/۱۷۰۱	۲/۰۵۰۹
تلفات (KW)	بدون DG	۲۱۰/۱۷۳۵	۱۵۹/۷۸۸۱	۱۸۲/۷۷۹۸	۱۷۲/۱۵۴۸	۱۷۴/۸۵۷۰
	با DG	۱۱۰/۳۹۴۶	۱۰۶/۲۵۰۴	۱۰۸/۹۲۳۲	۱۰۶/۷۰۲۴	۹۸/۲۶۴۶
کمینه ولتاژ (PU)	بدون DG	۰/۹۰۴۱	۰/۹۱۷۸	۰/۹۱۰۸	۰/۹۱۳۹	۰/۹۱۲۵
	با DG	۰/۹۴۱۵	۰/۹۴۰۰	۰/۹۴۰۰	۰/۹۴۰۰	۰/۹۴۰۰
بیشنه قیمت گره‌ای (US$/MWh)	بدون DG	۵۱/۶۹۸۳	۵۰/۵۲۹۳	۵۱/۱۴۰۶	۵۰/۹۷۹۵	۵۱/۱۲۷۰
	با DG	۴۷/۷۲۳۰	۴۷/۹۲۵۴	۴۷/۸۲۷۷	۴۷/۹۲۷۶	۴۸/۰۹۷۶
سود (US$/year)		۱۱۵۵۷۰	۳۹۵۷۱	۵۷۹۳۸	۴۲۴۷۵	۶۵۱۵۶

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ٤) قیمت گره‌ای توان اکتیو با و بدون DG برای بارهای ترکیبی



شکل ٥) قیمت گره‌ای توان راکتیو باو بدونDG برای بارهای ترکیبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

جایابی چندگانهDG

روش پیشنهادی را می‌توان برای هر تعداد جایابی DG تعمیم داد. شبیه‌سازی برای جایابی ۲ و ۳ واحدDG بر روی سیستم نمونه انجام شده است. جدول‌های (۴) و (۵) مکان بهینه و اندازه DG مربوطه و کل تلفات توان را با ادغام ۲ و ۳ واحدDGبا حضور بارهای غیرخطی (بارهای ترکیبی) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود جایابی چندگانه DG سودمندتر است زیرا که سود نسبت به جایابی منفرد DG، در جایابی دو واحد DG ۲۵/۳٪ و در جایابی سه واحد DG ۳۳/۲٪ افزایش می‌یابد. از طرفی، تلفات حقیقی و موهوم، همان طور که در جداول (۴) و (۵) مشاهده می‌شود، کاهش بیش‌تری نسبت به جایابی منفرد DG می‌یابد (تلفات نسبت به جایابی منفرد DG، در جایابی دو واحد DG ۱۶/۱٪ و در جایابی سه واحد DG ۲۸/۲٪ کاهش یافته است).

جدول ٤) DGهای بهینه باسود مربوطه درحالت دوDG با حضور بارهای ترکیبی

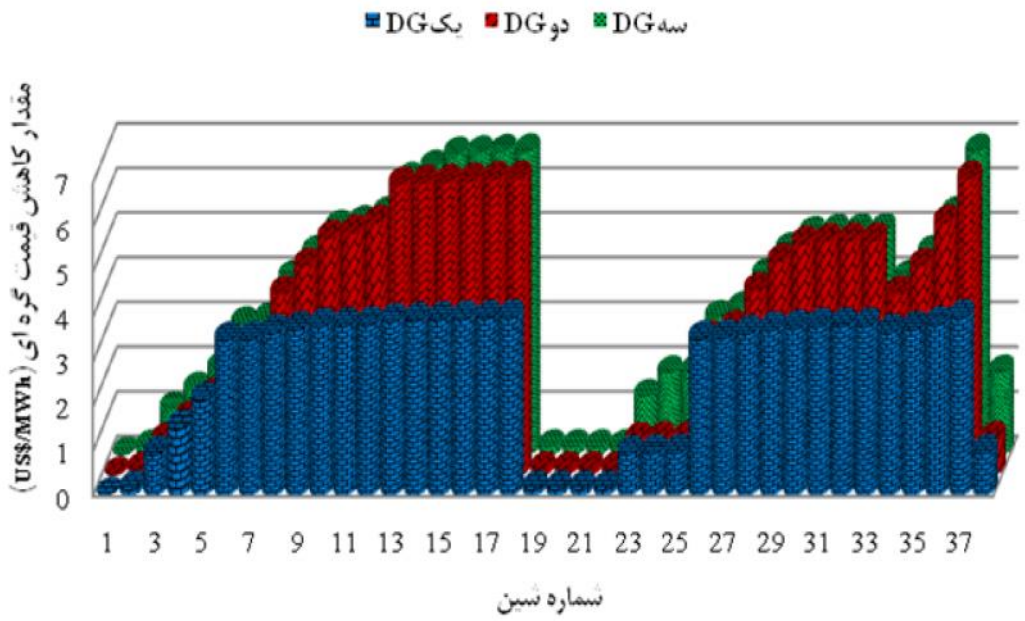
قیمت برق شامل تلفات در حضور DG					قیمت برق شامل تلفات بدون DG		
سود (US$/year)	تلفات		اندازه بهینه DG (MW)	مکان بهینه DG	تلفات KW		US$/year
	KVAR	KW			KVAR	KW	
۸۱۶۳۱	۵۸/۰۳۰۱	۸۲/۷۹۳۰	۰/۵۵۰۸	۱۶	۱۱۸/۳۸۶۱	۱۷۴/۸۵۷۰	۱۶۰۶۹۷۹
			۱/۲۷۲۶	۲۷			

جدول ۵) DGهای بهینه با سود مربوطه در حالت سه DG با حضور بارهای ترکیبی

قیمت برق شامل تلفات در حضور DG					قیمت برق شامل تلفات بدون DG		
سود (US$/year)	تلفات		اندازه بهینه DG (MW)	مکان بهینه DG	تلفات KW		US$/year
	KVAR	KW			KVAR	KW	
۸۶۸۰۳	۵۰/۳۰۵۰	۷۰/۵۶۵۶	۰/۶۳۳۰	۱۶	۱۱۸/۳۸۶۱	۱۷۴/۸۵۷۰	۱۶۰۶۹۷۹
			۰/۸۸۵۹	۲۴			
			۱/۱۲۴۸	۲۷			

مقدار کاهش در قیمت گره‌ای توان اکتیو در شین‌ها با اتصال یک DG، دو DG و سه DG نسبت به بدون حضور DG در شکل(۶) مقایسه شده است. مشاهده می‌شود که کاهش در قیمت گره‌ای در شین‌ها در حالت جایابی چندگانه DG بهتر از جایابی منفرد DG است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ٦) مقدارکاهش درقیمت گره‌ای توان اکتیو

ارزیابی روش پیشنهادی

برای صحت‌سنجی راهکار پیشنهادی و بررسی تأثیر مدل بار بر برنامه‌ریزی تولید پراکنده، شاخص‌های عملکرد ذیل معرفی شده‌اند.

شاخص تلفات توان حقیقی[1] (LPI)

شاخص‌های تلفات توان اکتیو مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود [۷]:

$$LPI = \frac{P_{LDG}}{P_L} \quad (۲۷)$$

که P_{LDG} تلفات توان حقیقی با ادغام DG، P_L تلفات حقیقی بدون ادغام DG است. کاهش مقدار این شاخص تقلیل تلفات سیستم را نشان می‌دهد. مقدار واحد به حالت بدون DG برمی‌گردد.

1) Active power index

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

شاخص پروفیل ولتاژ[1] (VPI)

سطح نفوذ DG پروفیل ولتاژ شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نصب بهینه DG منجر به بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می‌شود. VPI مطابق رابطه‌ی (۲۸) محاسبه می‌شود [۷].

$$VPI = \max_{i=2}^{n}\left(\frac{|\overline{V_1}| - |\overline{V_i}|}{|\overline{V_1}|}\right)\times 100 \quad (۲۸)$$

شاخص انحراف ولتاژ[2] (VDI)[۲۰]

اگر V_{DDG} و V_D انحراف متوسط ولتاژ سیستم از مرجع با و بدون نصب DG باشند، کمیت‌های زیر تعریف می‌شوند:

$$V_D = \frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n}\left|(V_i - V_1)\right| \quad (۲۹)$$

$$V_{DDG} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=2}^{n}\left|(V_{DGi} - V_1)\right| \quad (۳۰)$$

که V_{DGi} و V_i ولتاژ در هر شین i با و بدون DG را نشان می‌دهد. V_1 ولتاژ در شین مرجع است. آنگاه شاخص انحراف ولتاژ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VDI = \frac{V_{DDG}}{V_D} \quad (۳۱)$$

کاهش مقدار VDI مبین بهبود تنظیم ولتاژ در شین‌هاست. مقدار واحد نشان دهنده حالت بدون DG است.

شاخص قیمت گره‌ای توان حقیقی[3]

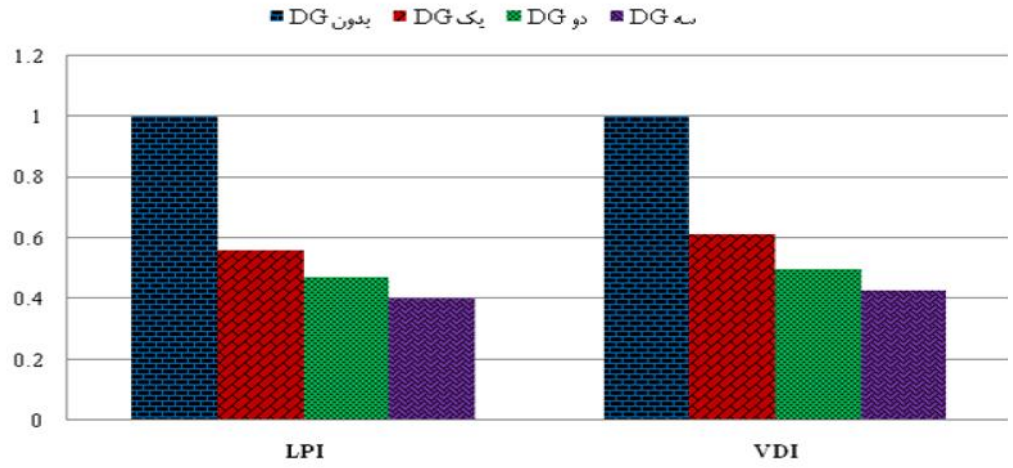
برای ارائه تأثیر DG بر روی قیمت گره‌ای شین‌های شبکه، شاخص قیمت گره‌ای طبق رابطه (۳۲) معرفی می‌شود:

$$NPI = \max_{i=2}^{n}\left(\frac{C_i^a - \lambda}{\lambda}\right)\times 100 \quad (۳۲)$$

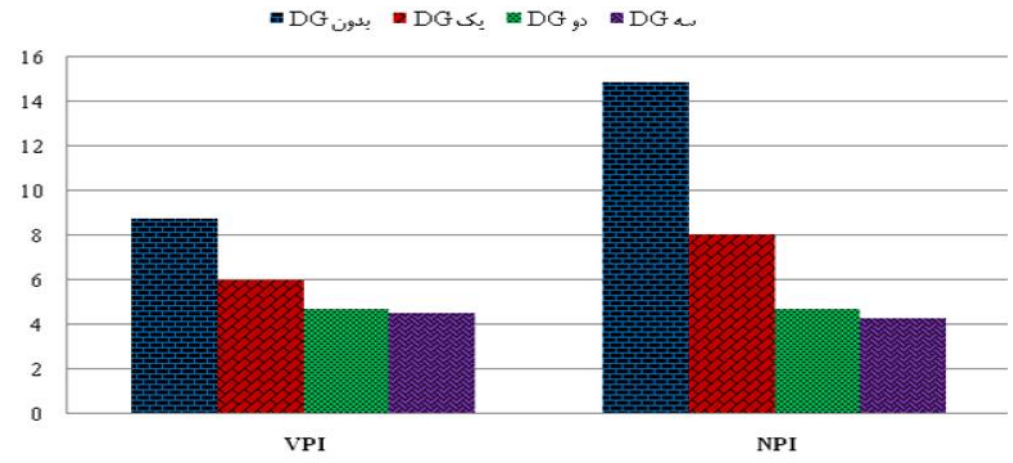
1) Voltage profile index
2) Voltage deviation index
3) Nodal price of active power index

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

نتایج شبیه‌سازی برای تمام حالت‌ها (بدون DG، یک، دو و سه DG) با لحاظ مدل بار ترکیبی در شکل‌های (۷) و (۸) نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود کلیه شاخص‌های ارزیابی با حضور DG بهبود یافته است. این تغییر در جایابی چندگانه DG محسوس‌تر است، طوری که نسبت به حالت بدون حضور DG در شبکه، به ترتیب در حالات جایابی یک، دو و سه واحد DG، شاخص *LPI* ۴۳/۸٪، ۵۲/۷٪ و ۵۹/۶٪، شاخص *VDI* ۳۸/۶٪، ۵۰/۰٪ و ۵۷/۱٪، شاخص *VPI* ۳۱/۵٪، ۴۶/۴٪ و ۴۸/۴٪ و شاخص *NPI* ۴۵/۷٪، ۶۸/۲٪ و ۷۰/۹٪ کاهش یافته است. نمایان است که درصد تغییرات شاخص‌ها بین دو و سه واحد DG ناچیز است. از این رو، جایابی بیش از سه واحد DG در شبکه توزیع نمونه توصیه نمی‌شود.



شکل ۷) شاخص تلفات و انحراف ولتاژ برای بارهای ترکیبی



شکل ۸) شاخص پروفیل ولتاژ و قیمت گره‌ای برای بارهای ترکیبی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

نتیجه‌گیری

روش مؤثری براساس قیمت‌گذاری گره‌ای برای مکان‌یابی و اندازه‌یابی بهینه‌ی چندگانه DG در شبکه توزیع با در نظر گرفتن بارهای غیرخطی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه هرج‌ومرج پیشنهاد شده است. کارایی راهکار پیشنهادی بر روی شبکه توزیع شعاعی ۳۸ شینه آزموده شده است. همان طور که مشاهده شد، نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن مدل بار با حالت فرض بار ثابت متفاوت است. ملاحظه شد یک DG ظرفیت کوچک بهینه شده سود بیش‌تری از یک DG ظرفیت بزرگ غیربهینه به ارمغان می‌آورد. بنابراین، جایابی تولید پراکنده برای دستیابی بیشینه سود و کمینه تلفات امری ضروری است. همچنین واضح است که جایابی چندگانه DG با اندازه‌های کوچک هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی پرمنفعت‌تر از جایابی منفرد DG با ظرفیت بزرگ است، چرا که قیمت گره‌ای، تلفات و پروفیل ولتاژ به‌طور چشمگیری بهبود یافته است. از طرفی، طبق ارزیابی راهکار پیشنهادی، شاخص‌های تلفات، پروفیل ولتاژ، قیمت گره‌ای و انحراف ولتاژ در حالت جایابی چندگانه DG تغییر محسوسی نسبت به جایابی منفرد DG و بدون حضور DG یافته است.

منابع

[1] Ahmadi-Javid,A.,2011, "Anarchic society optimization: a human-inspired method, Applied Soft Computing," *In Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2586–2592, New Orleans, LA.

[2] Ahmadi-Javid,A., and Hooshangi-Tabrizi,P.,2012,"An anarchic society optimization algorithm for a flow-shop scheduling problem with multiple transporters between successive machines," *proceeding of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operation Management, Istanbul, Turkey*, July 3-6.

[3] Barker,P. P.,2000,"Determining the impact of distributed generation on power systems: part 1-radial distribution systems," in *Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 3, pp. 1645–1656.

[4] Farag,H. E., EL-Saadany,E. F., EL Shatshat,R., and Zidan,A.,2011, "A generalized power flow analysis for distribution systems with high penetration of distributed generation," *Electr power Syst Res*, vol. 81, pp. 1499–506.

[5] Gautam,D., and Mithulananthan,N.,2007,"Optimal DG placement in deregulated electricity market,"*Electr Power Syst Res*, vol. 77, pp. 1627–36.

[6]) IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance,1995, "Bibliography on load models for power flow and dynamic performance simulation," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 523–538.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

[7] Kalantari,M., Kazemi,A., and Zakerinia,M. S.,2012, "Optimization of distributed generation placement for minimizing power losses and voltage profile improvement using genetic algorithm," International Journal of Advanced Computer Science, vol. 2, pp. 376–381.

[8] Karimian,P., Gharehpetian,G. B., Abedi,M., and Gavili,A.,2013, "Long term scheduling for otimal allocation and sizing of DG unit considering load variation and DG type," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 54, pp. 277–287.

[9] Kumar,I. S., and Navuri,P. K.,2012, "An efficient method for optimal placement and sizing of multiple distributed generation systems," *Distributed Generation and Alternative Energy Journal*, vol. 27, pp. 52–71.

[10] Mancera,C.T., and Monroy,A.C.,2011,"Pricing of distribution networks with distributed generation: application of nodal pricing,"*IEEE PES Conference on ISGT Latin America*, pp. 1–7.

[11] Martinez,J. A., and Guerra,G.,2012,"Optimum placement of distributed generation inthree-phase distribution systems with time varying load using a monte carlo approach," *Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–7.

[12] Masters,C. L.,2002,"Voltage rise the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines,"*Power Eng J*, vol. 16, pp. 5–12.

[13] Mittal,M., Kamboj,R., and Sehgal,S.,2012,"Analytical approaches for optimal placement and sizing of distributed generation in power system," *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSRJEEE)*,vol. 1, pp. 20–30.

[14] Moghaddas-Tafreshi,S. M., Mashhour,E.,2009, "Distributed generation modeling for power flow studies and a three-phase unbalanced power flow solution for radial distribution systems considering distributed generation," *Electr power Syst Res*, vol. 79, pp. 680–6.

[15] Moradi,M. H., Zeinalzadeh,A., Mohammadi,Y., and Abedini,M.,2013, "An efficient hybrid method for solving the optimal siting and sizing problem of DG and shunt capacitor banks simultaneously based on imperialist competitive algorithm andgenetic algorithm," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 54, pp. 101–111.

[16] Mutale,J., Strbac,G., Crucis,S., and Jenkins,N.,2000,"Allocation of losses in distribution systems with embedded generation," *IEEE Proc Gen Transm Distribut*, vol. 147, no. 1, pp. 7–12.

[17] R. K. Singh, and S. K. Goswami,2008,"Evaluation of nodal prices and revenue of distributed generation in distribution network including load model," *IEEE Region 10 Colloquium and the Third ICIIS*, pp. 1–6.

[18] Schweppe,F. C., Caramanis,M. C., Tabors,R. D., and Bohn,R. E.,1988,"*Spotpricing of electricity*," Norwell, MA: Kluwer.

[19] Shayeghi, H., and Dadashpour,J.,2013, "Optimum allocation of distributed generation based on nodal pricing with anarchic society optimization," *3rd Iranian Conference On Renewable Energies And Distributed Generation (ICREDG)*.

[20] Singh,R. K., and Goswami, S. K.,2011,"Multi-objective optimization of distributed generation planning using impact indices and trade-off technique," *Electric Power Components and Systems*, vol. 39, no. 11, pp. 1175–1190.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

[21] Singh,R. K., and Goswami,S. K.,2009, "Optimum allocation of distributed generations based on nodal pricing for profit, loss reduction, and voltage improvement including voltage rise issue," *Int J Electr Power EnergSyst*, vol. 32, pp. 637-644.

[22] Singh,R. K., Choudhury,N. B. D., Goswami,S. K.,2008,"Optimal allocation of distributed generation in distribution network with voltage and frequency dependent loads," *IEEE Region 10 colloquium and the Thrid ICIIS, Kharagpur, India*, 8–10 Dec.

[23] Sotkiewicz,P.M., and Vignolo,J.M.,2006,"Nodal pricing for distribution networks: efficient pricing for efficiency enhancing DG," *IEEE Trans Power Syst*, vol. 21, pp. 11013–4.

[24] Yammani,C., Maheswarapu,S., and Matam,S.,2012, "Optimal placement of multi DGs in distribution system with considering the DG bus available," *Energy and Power*, vol. 2, pp. 18–23.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]