

تعیین مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده برای کاهش تراکم در شبکه انتقال مبتنی بر عدم قطعیت‌های سیستم

محمد حسین جاویدی دشت بیاض
دانشکده مهندسی، گروه برق
دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد، ایران
hossein_javidi@yahoo.com

مهرداد حجت
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نیشابور
شاهرود، ایران
Me.hojjat@alumni.um.ac.ir

فهیمة حسن زاده توکلی
دانشکده مهندسی، گروه برق
دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد، ایران
fahime.tavakoli@yahoo.com

واژه‌های کلیدی — تراکم؛ تولیدات پراکنده؛ تکنیک مونت کارلو؛ ظرفیت قابل انتقال در دسترس؛ قابلیت اطمینان؛ الگوریتم ژنتیک؛

۱. مقدمه

در چند دهه گذشته صنعت تامین برق دستخوش تجدید ساختار شده است و روند مقررات‌زدایی در سطح جهان رو به افزایش است. تجدید ساختار تغییرات سازمانی و فنی بسیاری را با خود به همراه آورده است. تحت این محیط رقابتی تعداد شرکت‌کنندگان بازار برق افزایش پیدا کرده است و تمام بازیگران در تلاش برای دستیابی به منابع ارزان‌تر می‌باشند. تمایل برای به دست آوردن سود بیشتر ممکن است سبب اضافه بار و تراکم در خطوط انتقال شود و قابلیت اطمینان و امنیت سیستم را تهدید کند [۱]. بنابراین مدیریت تراکم و انتخاب روش‌های موثر آن یکی از مفاهیم اساسی برای حفظ امنیت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌باشد. از سوی دیگر تولیدات پراکنده امروزه با اهداف گوناگونی از جمله بهبود مشخصه ولتاژ، کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان، کاهش تراکم و بهبود کیفیت برق تحویلی به مشترکین مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. در ادامه به بررسی روش‌های مدیریت تراکم و نقش و تاثیر تولیدات پراکنده بر کاهش تراکم می‌پردازیم.

چکیده — تراکم همواره یکی از مهم‌ترین مشکلات شبکه انتقال و مانع اصلی رقابتی شدن در سیستم قدرت بوده است. با در نظر گرفتن تاثیر تراکم بر روی فیود پایداری و حرارتی و دیگر جنبه‌های سیستم قدرت، یافتن روش‌های مدیریت تراکم امری ضروری می‌باشد. در این مقاله روشی برای مدیریت تراکم در سیستم انتقال با استفاده از جایابی و تعیین ظرفیت و اندازه بهینه تولیدات پراکنده بر مبنای مدل‌سازی عدم قطعیت‌های سیستم ارائه شده است. در این روش پیشنهادی با استفاده از تکنیک مونت کارلو پخش بار بهینه احتمالی برای مشخص شدن خطوط دارای اضافه بار سیستم صورت گرفته است. سپس ضرایب حساسیت با هدف انتخاب باس‌های بحرانی برای مکان‌یابی تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن خطوط دارای اضافه بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد الگوریتم ژنتیک مقدار ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده را که به سیستم موجود متصل می‌شود بوسیله ماکزیمم کردن عملکرد سیستم با کاهش تلفات و همچنین بهبود مشخصه ولتاژ تعیین می‌کند. در پایان تحلیل اثر تولیدات پراکنده بر روی ظرفیت قابل انتقال در دسترس، هزینه تراکم، قابلیت اطمینان و تلفات مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات بر روی شبکه ۳۹ باسه IEEE پیاده‌سازی شده است.

۲.۱. پخش بار احتمالی مونت کارلو

پخش بار احتمالی در برگیرنده طیف وسیعی از حالت‌های محتمل متغیرهای خروجی مانند ولتاژ باس و قیمت حدی با احتمال رخداد در هر حالت است. اجرای این پخش بار روشی مناسب جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در سیستم می‌باشد [۱۲]. اساس شبیه سازی مونت کارلو، تولید مجموعه‌ای از اعداد تصادفی یکنواخت است. در این روش بار وضعیت در مدار قرار گرفتن خطوط به عنوان متغیر تصادفی انتخاب شده‌اند. برای مدل کردن بار به صورت احتمالی یک تابع توزیع نرمال با میانگین و واریانس در نظر گرفته شده است. تابع چگالی احتمال توزیع نرمال به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

که در آن μ و σ بترتیب مقدار میانگین و انحراف استاندارد می‌باشند. هرچه قدر مقدار σ کاهش یابد، دقت محاسبات افزایش می‌یابد. جهت مدل‌سازی وضعیت در مدار بودن خطوط از پارامتر نرخ خروج اجباری خطوط (Forced Outage Rate) استفاده شده است. به تعداد خطوط شبکه عدد تصادفی تولید می‌گردد و مقدار این عدد با FOR مقایسه شده و وضعیت در مدار بودن خط را تعیین می‌کند.

۲.۲. مدیریت تراکم با مکان‌یابی مناسب تولیدات

پراکنده

مزایای استفاده از تولیدات پراکنده به عواملی مانند اندازه و ظرفیت تولید پراکنده، تعداد این واحدها، مکان مناسب آن در سیستم قدرت، نوع اتصال به شبکه، نوع واحدهای تولیدی و فن‌آوری مورد استفاده در آنها و غیره بستگی دارد. نصب و راه اندازی واحدهای تولید پراکنده در مکان‌ها و با اندازه‌های نامناسب می‌تواند اثری نامطلوب با اهدافی که از نصب تولیدات پراکنده داریم داشته باشد. از این رو تعیین مکان و اندازه بهینه این تولیدات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲.۳. تعیین ضرایب حساسیت

در این مقاله عامل ضریب حساسیت خط برای مکان‌یابی تولیدات پراکنده به صورت احتمالی تعریف شده است و به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$SF = \frac{\Delta P_r}{\Delta P_{DG}} \quad (2)$$

در [۳] به کمک الگوریتم حرکت تجمعی پرندگان مدلی برای مکان‌یابی و سائز بهینه تولیدات پراکنده به منظور کاهش تراکم شبکه و حداقل کردن قیمت حدی محلی سیستم پیشنهاد شده است. در [۴] مکان بهینه بر اساس ماتریس امپدانس حاصل از ضرایب همبستگی که مستقل از باس مبنا می‌باشند، بدست می‌آید. در [۵] روش پیشنهادی مبتنی بر قیمت حدی محلی و بر اساس دیدگاه اقتصادی و نقش تولیدات پراکنده بر منافع و راهکارهای مالی می‌باشد. در [۶] تعیین مکان قرارگیری و اندازه تولیدات پراکنده برای مدیریت تراکم بر مبنای تحلیل حوادث ارایه شده است. در [۷] عامل ضریب حساسیت ژنراتور سبب شناسایی ژنراتورهای شده است که بیشترین تاثیر را بر روی خطوط متراکم شده دارد. در [۸] یک روش مدیریت تراکم بر اساس ناحیه‌بندی پیشنهاد شده است. دو دسته شاخص حساسیت برای سیستم در نظر گرفته شده است که به ترتیب به آنها ضریب توزیع انتقال توان اکتیو و ضریب توزیع انتقال توان راکتیو گفته می‌شود. در [۹] و [۱۰] با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی مبتنی بر شانس، قیود امنیت شبکه بصورت تصادفی مدل شده‌اند و میزان احتمال ارضای این قیود تصادفی توسط بهره‌بردار تعیین می‌گردد. در [۱۱] مکان‌یابی بهینه ادوات فکت برای رفع تراکم در خط به عنوان یک مساله بهینه‌سازی خطی مورد توجه قرار گرفته است.

در این تحقیق هدف ارایه روشی موثر و بهینه برای تعیین مکان قرارگیری و اندازه تولیدات پراکنده تحت شرایط احتمالی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سیستم است. ضرایب حساسیت با توجه به خطوط دارای احتمال اضافه بار که با استفاده از پخش بار بهینه احتمالی مونت‌کارلو بدست آمده‌اند، مکان مناسب برای تولیدات پراکنده را در سیستم تعیین می‌کنند. الگوریتم ژنتیک با هدف بهبود مشخصه ولتاژ و کاهش تلفات اندازه بهینه تولیدات پراکنده را مشخص می‌کند.

پس از آن به تحلیل اثر روش پیشنهادی بر روی هزینه تراکم، قابلیت اطمینان و ظرفیت قابل انتقال در دسترس در مقایسه با روش قطعی پرداخته می‌شود.

۲. بیان مساله

نصب و راه اندازی واحدهای تولید پراکنده در محل و اندازه مناسب آن از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولاً تعیین حداکثر ظرفیت و مکان مناسب تولیدات پراکنده به خاطر کاهش تراکم، بهبود مشخصه ولتاژ، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات و غیره صورت می‌گیرد.

۲.۵. تعیین ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده

به منظور تعیین ظرفیت نصب بهینه در باس‌های بحرانی سیستم که در قسمت پیشین مقاله مشخص شده‌اند تابع هدفی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم [۶]:

$$M \inf = \alpha \sum_{i=1}^n (1 - V_i)^2 + \sum_j PL_j \quad (۷)$$

قیدهای تابع فوق به شرح زیر می‌باشند:

تعداد توان برقرار باشد:

$$P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_j^{nl} V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad (۸)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_j^{nl} V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad (۹)$$

اندازه و زاویه ولتاژها در محدوده مجاز قرار داشته باشد:

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (۱۰)$$

$$\delta_i^{\min} \leq \delta_i \leq \delta_i^{\max} \quad (۱۱)$$

توان اختصاصی به واحد تولید پراکنده در محدوده مجاز قرار داشته باشد:

$$P_{dg}^{\min} \leq P_{dg} \leq P_{dg}^{\max} \quad (۱۲)$$

توان انتقالی از خط انتقال از حد استاندارد فراتر نرود:

$$|S_{ij}| \leq |S_{ij}^{\max}| \quad (۱۳)$$

۳. تحلیل اثر روش پیشنهادی

برای بررسی اثر روش پیشنهادی به بررسی برخی پارامترها مانند قابلیت اطمینان، هزینه تراکم و قابلیت انتقال در دسترس با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در مقایسه با روش قطعی [۶] پرداخته‌ایم.

۳.۱. قابلیت اطمینان

تحلیل قابلیت اطمینان سیستم در برنامه‌ریزی‌های آینده صنعت برق ایمن بسیار مهم است. لذا سطوح سلسله مراتبی به منظور شناخت و تقسیم‌بندی حوزه‌های عملیاتی بسط و گسترش پیدا کرده‌اند. در سطح HLI، سیستم‌های انتقال و توزیع، قابل اطمینان و کافی فرض می‌شوند و فقط ارتباط مستقیم بار الکتریکی و مجموعه تولید مورد نظر است. سطح HLII، علاوه بر HLI، سیستم انتقال را نیز به عنوان واسطه تولید و مصرف در بر می‌گیرد و سطح HLIII به ارزیابی قابلیت اطمینان مجموعه کامل سیستم قدرت، شامل تولید، انتقال و توزیع می‌پردازد. [۱۳]. یکی از شاخص‌های

که ΔP_r و ΔP_{DG} برترتیب نشان دهنده احتمال اضافه بار در خط و ظرفیت تولیدات پراکنده می‌باشند. در واقع شاخص احتمال از دست دادن بار به ظرفیت تولیدات پراکنده برای مشخص کردن باس‌های بحرانی در سیستم مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب حساسیت خط با توان اکتیو و راکتیو تزریقی برای از بین بردن تراکم از روی خطوط دارای اضافه بار به وسیله تغییر توان در خط انتقال K بین دو باس i و j با در نظر گرفتن تزریق در یک گره خاص می‌تواند محاسبه شود [۶]. مطابق رابطه زیر:

$$\Delta S_{ij} = \frac{\partial S_{ij}}{\partial P_i} \Delta P_i + \frac{\partial S_{ij}}{\partial Q_i} \Delta Q_i \quad (۳)$$

ΔP_i : تغییر در توان اکتیو تزریقی در گره i ام

ΔQ_i : توان راکتیو تزریقی در گره i ام

ΔS_{ij} : تغییر در توان ظاهری خط بین گره i و گره j

تغییرات ΔS_{ij} با توجه به توان راکتیو در مقایسه با توان اکتیو بسیار کم می‌باشد. بنابراین رابطه (۳) می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$\Delta S_{ij} = \frac{\partial S_{ij}}{\partial P_i} \Delta P_i \quad (۴)$$

$$\frac{\partial |S_{ij}|}{\partial \delta_i} = T_{ij}^{-1/2} * (V_i^3 V_j Y_{ij} \sin \delta_{ij} + V_i^3 V_j Y_{ij} B_{sh} \cos(\theta_{ij} + \delta_{ij})) \quad (۵)$$

$$\frac{\partial |S_{ij}|}{\partial \delta_j} = -T_{ij}^{-1/2} * (V_i^3 V_j Y_{ij} \sin \delta_{ij} + V_i^3 V_j Y_{ij} B_{sh} \cos(\theta_{ij} + \delta_{ij})) \quad (۶)$$

اکنون می‌توان مکان بهینه تولیدات پراکنده برای کاهش تراکم را بدست آورد. بنابراین محاسبه سائز مناسب تولیدات پراکنده در این مکان‌ها مهم است.

۲.۴. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی موثر در بهینه‌سازی می‌باشد که از عوامل موجود در طبیعت برگرفته شده است. هدف از این الگوریتم پیدا کردن جواب بهینه یا جواب نزدیک به نقطه بهینه می‌باشد. تعداد نقاط در الگوریتم ژنتیک مهم است زیرا این روش جستجو را به وسیله جمعیتی از نقاط انجام می‌دهد. زمانی که جمعیت زیاد است زمان انجام محاسبات بیشتر خواهد شد و کندتر به جواب بهینه نزدیک می‌شود. مقدار جمعیت کم فضای جستجو را به خوبی پوشش نمی‌دهد و ممکن است الگوریتم در یک جواب محلی متوقف شود.

هزینه تراکم کلی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TTC = \sum_{ij}^{N_L} \Delta \lambda_{ij} P_{ij} \quad (19)$$

TCC : هزینه کلی تراکم

N_L : تعداد کل خطوط

۳.۲. ظرفیت قابل انتقال در دسترس

در حال حاضر در سیستم‌های چند ناحیه‌ای تجدید ساختار یافته قدرت که در بسیاری از مناطق به منظور فراهم آوردن دسترسی آزاد به شبکه انتقال، ایجاد گزینه‌های بیشتر برای مشترکان بازار، امکان استفاده از منابع دیگر نواحی و بهبود قابلیت اطمینان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، امکان بروز تراکم در بخش‌هایی از آن محتمل است. به این منظور، قابلیت تبادل در دسترس که نشان دهنده قابلیت تبادل باقیمانده در شبکه انتقال افزون بر موارد توافق شده قبلی است، برای مدیریت تبادلات آتی و فراهم آوردن امکان رقابت در فضایی مطمئن مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵]. مساله محاسبه Available Transfer Capacity یک مسئله بهینه‌سازی است که برای تعیین حداکثر ظرفیت قابل انتقال در دسترس بکار برده می‌شود و از نظر ریاضی به صورت زیر بیان می‌شود [۶]:

$$ATC = TTC - TRM - \{ETC + CBM\} \quad (20)$$

ATC در حالت عادی شبکه، بین باس g و باس h با در نظر گرفتن معیار محدودیت جریان خط به وسیله Sensitivity Factor محاسبه شده است و بشکل زیر نشان داده می‌شود:

$$ATC_{gh} = \min \left\{ \frac{|S_{ij}^{\max}|}{SF_{ij,gh}} - \frac{|S_{ij}^0|}{SF_{ij,gh}} ij \right\} \in n_l \quad (21)$$

$|S_{ij}^{\max}|$: جریان توان (MVA) در خط ij

$|S_{ij}^0|$: جریان توان در شرایط عادی شبکه در خط ij

با تعیین SF با حضور و بدون تولیدات پراکنده، ATC برای تمام قراردادهای به شکل رابطه (۲۲) نوشته می‌شود.

$$ATC_{ghl} = \min \left\{ \frac{|S_{ij}^{\max}|}{SF_{ij,gh,DGs}} - \frac{|S_{ij}^0|}{SF_{ij,gh}} ij \right\} \in n_{sG} \quad (22)$$

در این مقاله روشی برای جایابی مناسب و تعیین اندازه بهینه تولیدات پراکنده برای مدیریت تراکم شبکه انتقال با در نظر گرفتن شرایط احتمالی سیستم قدرت پیشنهاد شده است.

مناسبی که بیان کننده قابلیت اطمینان تولید بوده و در این روش نیز از آن استفاده می‌شود، شاخص احتمال از دست دادن بار است.

Loss Of Load Expectation عبارت از مدت زمانی است که بار مصرفی، بیش از توان قابل تولید است [۶].

$$DG = \sum_{i=1}^n t_i p_i ; \forall (L_{\max} > C) LOLE_{Without} \quad (14)$$

$$DG = \sum_{i=1}^n t_i p_{i,DG} ; \forall (L_{\max} > C + C_{DG}) LOLE_{With} \quad (15)$$

$$L_{\max} = L_{base} + \sum_j P_{Lj} \quad (16)$$

P_i : احتمال خروج ژنراتور i ام

t_i : تعداد دفعات از دست دادن بار

L_{\max} : تقاضای کل سیستم بعلاوه تلفات در سیستم

C_{DG} : ظرفیت تولیدی تولیدات پراکنده

در این روش، شبیه‌سازی مونت کارلو جهت تحلیل آماری عدم قطعیت‌های موجود استفاده شده است و FOR ژنراتورها بعنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته شده‌اند.

۳.۱. هزینه تراکم

هنگامی که یک یا تعدادی از خطوط به حد پایداری یا حرارتی خود می‌رسند، مجبور به تغییر آرایش تولید برای برقراری بالانس تولید - مصرف هستیم. به این معنی که، تولید واحدهای گران‌تر افزایش می‌یابد و این باعث افزایش هزینه کل تولید و دور شدن از نقطه بهینه سیستم می‌گردد. هزینه تراکم در واقع هزینه آزادسازی تراکم و جبران هزینه فرصت از دست رفته برای خرید از منابع ارزان قیمت می‌باشد [۱۰].

برای محاسبه هزینه تراکم در هر خط می‌توان اختلاف قیمت حدی محلی (Locational Marginal Pricing) بین باس‌های دو سر خط مورد نظر را در ظرفیت انتقالی از آن خط ضرب کرد. مطابق رابطه زیر:

$$CC_{ij} = \Delta \lambda_{ij} P_{ij} \quad (17)$$

$$\Delta \lambda_{ij} = \lambda_j - \lambda_i \quad (18)$$

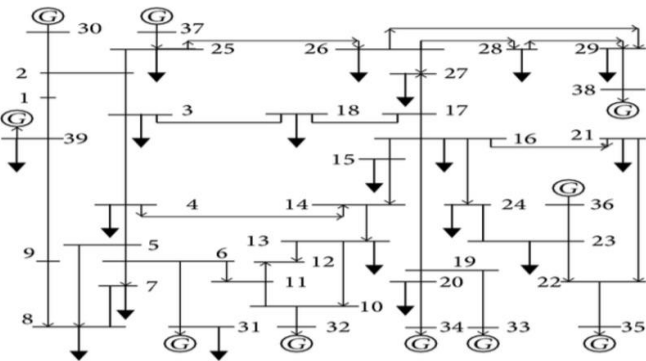
C_{ij} : هزینه تراکم در خط ij

P_{ij} : توان انتقالی در خط ij

λ_i : قیمت حدی محلی توان در باس i ام

λ_j : قیمت حدی محلی توان در باس j ام

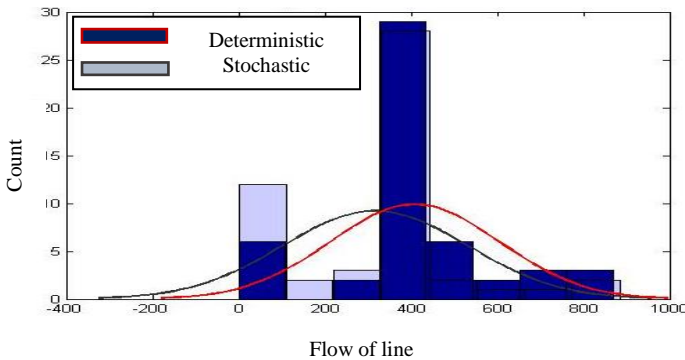
خطوط دارای احتمال اضافه بار برای مکان‌یابی تولیدات پراکنده در هر دو روش احتمالی و قطعی در «جدول ۲» نشان داده شده است.



شکل ۲- دیاگرام شبکه ۳۹ باسه.

جدول ۱- نتایج توان جاری خطوط در پخش بار بهینه احتمالی شبکه.

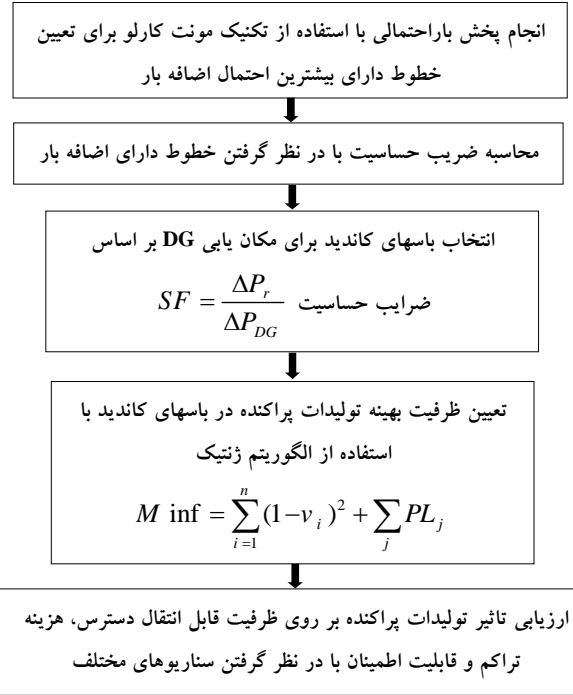
شماره خط	امید ریاضی توان جاری (مگاوات)	ماکزیم توان جاری (مگاوات)	تعداد تکرارهای اضافه بار	احتمال اضافه بار
۳	۴۸۳,۸۰۰	۵۱۰,۹۵۴۳	۲۲۲	۰,۹۴۴۷
۲۰	۶۴۹,۴۸۹۳	۷۲۳,۷۸۹۷	۲۰۳	۰,۸۶۳۸



شکل ۳- منحنی هیستوگرام توان جاری خط ۳ در حالت‌های قطعی و احتمالی.

جدول ۲- مقادیر ضرایب حساسیت باس‌های کاندید نصب واحد تولید پراکنده.

احتمالی		قطعی	
ضریب حساسیت	شماره باس	ضریب حساسیت	شماره باس
۰/۹۷۱	۲۱	۰/۹۴۵۰	۲۱
۰/۹۰۶۶	۸	۰/۶۳۴۶	۳۴
۰/۸۹۷۱	۲	۰/۵۶۵۸	۱۳
۰/۸۰۳۵	۱۱	۰/۵۴۵۰	۲۴



شکل ۱- فلوچارت روش پیشنهادی برای کاهش تراکم با استفاده از تولیدات پراکنده.

ضریب حساسیت خط مکان بهینه تولیدات پراکنده را با توجه به خطوط دارای اضافه بار در سیستم مشخص می‌کند. پس از آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقدار ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده برای اتصال به شبکه تعیین می‌گردد. سپس تاثیر آن بر جنبه های مختلف بازار برق مانند قابلیت اطمینان، هزینه تراکم و ظرفیت قابل انتقال در دسترس مورد بررسی قرار می‌گیرد. «شکل ۱» فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در این روش را نشان می‌دهد.

۴. شبیه‌سازی و نتایج

آزمون‌های شبیه‌سازی بر روی شبکه ۳۹ باسه IEEE اجرا گردیده است. بلوک دیاگرام شبکه مورد نظر در «شکل ۲» نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی مونت‌کارلو در «جدول ۱» نشان می‌دهد که خطوط ۳ و ۲۰ دارای بیشترین احتمال اضافه بار می‌باشند. در ادامه برای محاسبه شاخص‌های شبکه این دو خط برای قرار دادن سیستم در شرایط بحرانی از مدار خارج می‌شوند. همچنین احتمال کلی تراکم در شبکه با توجه به تابع توزیع توان جاری خطوط برای هر دو حالت قطعی و احتمالی بترتیب ۱۰٪ و ۷٪ محاسبه شده است که نشان دهنده بهبود آن در روش احتمالی می‌باشد. «شکل ۳» منحنی هیستوگرام توان جاری خط ۳ را در دو سناریوی احتمالی و بحرانی نشان می‌دهد. نتایج محاسبه ضریب حساسیت خط برای هر یک از

۴.۱. تاثیر بر روی ظرفیت قابل انتقال در دسترس

نتایج محاسبه ATC برای محیط بازار دو جانبه با بار ثابت در دو حالت قطعی و احتمالی در «جدول ۶» نشان داده شده است. تغییرات ATC با بار احتمالی در هر دو سناریو در «شکل ۵» مشاهده می‌شود و بیانگر این موضوع است که مقدار ATC در شرایط احتمالی سیستم در مقایسه با شکل قطعی افزایش یافته است.

تلفات کل سیستم با نصب تولیدات پراکنده برای دو حالت قطعی و شرایط احتمالی شبکه در «جدول ۷» محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که مقدار تلفات کل سیستم در این روش پیشنهادی نسبت به حالت قطعی کمتر شده است.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش آنالیز حساسیت برای کاهش تراکم، به وسیله جایابی مناسب و تعیین مقدار ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سیستم قدرت مانند بار و وضعیت در مدار قرار گرفتن خطوط

ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده در این مکان‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف به حداقل رساندن تلفات سیستم و انحراف ولتاژ از مقدار نامی آن بدست آمده است و مقادیر آن در هر دو حالت قطعی و احتمالی در «جدول ۳» نشان داده شده است.

۴.۱. تاثیر بر روی قابلیت اطمینان سیستم

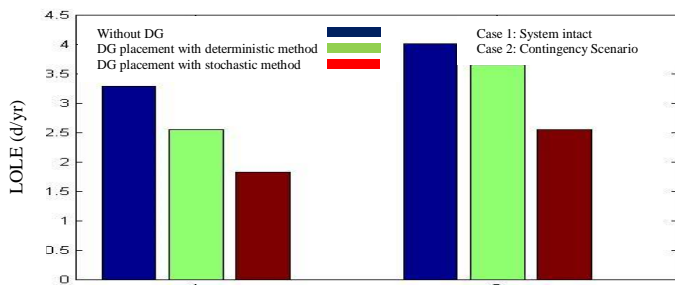
قابلیت اطمینان سیستم با توجه به شاخص LOLE با سناریوهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. «جدول ۴» سناریوهای مختلف از نظر شاخص LOLE در شرایط عادی و بدون نصب تولیدات پراکنده در مقایسه با نصب تولیدات پراکنده در دو روش قطعی و احتمالی را بررسی می‌کند. می‌توان مشاهده نمود که شاخص LOLE در این روش پیشنهادی نسبت به حالت قطعی به شکل قابل توجهی بهبود یافته است. «شکل ۴» تغییرات LOLE در شرایط مختلف بارگذاری را نشان می‌دهد.

۴.۱. تاثیر بر روی هزینه تراکم

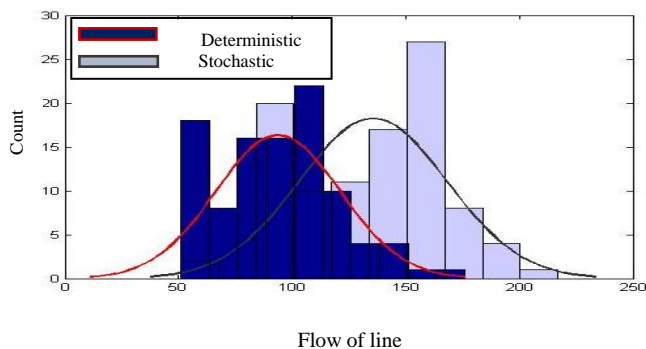
هزینه تراکم سیستم، برای سناریوهای مختلف محاسبه شده است. با توجه به «جدول ۵» مشاهده می‌شود که مقدار هزینه تراکم در روش احتمالی نسبت به حالت قطعی کاهش یافته است.

جدول ۳- مقدار ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

احتمالی		قطعی	
مقدار ظرفیت (بهینه (مگاوات)	شماره باس	مقدار ظرفیت (بهینه (مگاوات)	شماره باس
۹۸،۴۲	۲	۹۹،۹۸	۱۳
۹۹،۷۶	۸	۹۸،۹۷	۳۴
۵۰،۸۶	۱۱	۳۹،۷۲	۲۴
۴۶،۲۲	۲۱	۴۵،۰۰	۲۱



شکل ۴- تغییرات LOLE با سطوح متفاوت بار.



شکل ۵- منحنی هیستوگرام ظرفیت قابل انتقال در دسترس بین باس‌های ۳۲ و ۷ در دو روش احتمالی و قطعی.

جدول ۴- مقادیر شاخص LOLE با سناریوهای مختلف.

LOLE(d/yr)	سناریوهای متفاوت	
۳،۲۸	حالت نرمال شبکه	
۲،۵۵	قطعی	حالت نرمال شبکه با جایگذاری واحد تولید پراکنده
۱،۸۲	احتمالی	حالت بحرانی بدون جایگذاری واحد تولید پراکنده
۴،۰۱	حالت بحرانی با جایگذاری واحد تولید پراکنده	
۳،۶۵	قطعی	حالت بحرانی با جایگذاری واحد تولید پراکنده
۲،۵۵	احتمالی	حالت بحرانی با جایگذاری واحد تولید پراکنده

منابع

- [1] J. L. J. Liu, M. M. a. Salama, and R. R. Mansour, "Identify the impacts of distributed resources on congestion management," *IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, vol. 20, no. 3, 2005.
- [2] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis," *IEEE Conf*, pp. 1-5, 2005.
- [3] S. Mohammad, H. Nabavi, and S. Hajforoosh, "Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization," *IEE Conf*, pp. 1-6, 2011.
- [4] K. Singh, V. K. Yadav, N. P. Padhy, and J. Sharma, "Congestion Management Considering Optimal Placement of Distributed Generator in Deregulated Power System Networks," *Electric Power Components and Systems*, Taylor & Francis Group, vol. 42, no. 1, pp. 13-22, Dec. 2014.
- [5] M. Afkousi-Paqaleh, a. Abbaspour-Tehrani Fard, and M. Rashidinejad, "Distributed generation placement for congestion management considering economic and financial issues," *Electrical Engineering*, vol. 92, no. 6, pp. 193-201, 2010.
- [6] a. K. Singh and S. K. Parida, "Congestion management with distributed generation and its impact on electricity market," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 48, pp. 39-47, 2013.
- [7] S. Sivakumar and D. Devaraj, "Congestion Management in Deregulated Power system by Rescheduling of Generators Using Genetic Algorithm," pp. 8-10, 2014.
- [8] Kumar, S. C. Srivastava, S. N. Singh; "A Zonal Congestion Management Approach Using Real and Reactive Power Rescheduling," *IEEE Trans. On power systems*, vol. 19, no. 1, pp. 554-562, 2004.
- [9] M. Hojjat and M. H. Javidi, "Chance-constrained programming approach to stochastic congestion management considering system uncertainties," *IET Gener. Transm. Distrib.*, pp. 1-9, 2015.
- [10] [حجت م، جاویدی م-ح، "مدیریت احتمالی تراکم در شبکه انتقال مبتنی بر مدل‌سازی رفتار غیر قطعی سیستم قدرت،" رساله دکتری مهندسی برق- قدرت، دانشگاه فردوسی مشهد، شهریور ۱۳۹۲.
- [11] A. Kumar and C. Sekhar, "Congestion management with FACTS devices in deregulated electricity markets ensuring loadability limit," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 258-273, 2013.
- [12] Gregor VerbiSc, Antony Schellenberg, William Rosehart, and Claudio A. Cañizares, "Probabilistic Optimal Power Flow Applications to Electricity Markets" Submitted for publication to *IEEE Trans. On power systems*, Vol. 22(1), 105-115, 2007.
- [13] Ding, Yi. et al "Reliability assessment of restructured power systems using reliability network equivalent and pseudo- sequential simulation techniques." *Electr. Power Syst. Res.*, 2006.
- [14] G.Hammoud, "Assessment of Available Transfer Capability of Transmission System", *IEEE Trans. On Power System*, Vol. 15, No. 1, PP.27-32, 2007.

ارایه شده است. باس‌های بحرانی سیستم برای قرار گیری تولیدات پراکنده با محاسبه ضرایب حساسیت خطوط دارای اضافه بار که با استفاده از تکنیک مونت کارلو بدست آمده‌اند، تعیین گردیده‌اند. ظرفیت بهینه برای هر تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای به حداقل رساندن میزان تلفات و بهبود مشخصه ولتاژ محاسبه گردیده است. آزمایش بر روی شبکه ۳۹ باسه IEEE به وضوح بهبود هزینه تراکم، ظرفیت قابل انتقال در دسترس، قابلیت اطمینان و تلفات کل سیستم را در روش پیشنهادی با توجه به عدم قطعیت‌های سیستم در مقایسه با شکل قطعی نشان می‌دهد. احتمال کلی تراکم نیز در این روش در مقایسه با حالت قطعی کاهش می‌یابد. روش پیشنهادی نسبت به تغییر شرایط ناگهانی و سطوح مختلف بارگذاری در شبکه در مقایسه با حالت قطعی مقاوم‌تر و دارای نتایج بهتری می‌باشد.

جدول ۵_ هزینه تراکم برای سناریوهای مختلف با جایگذاری تولیدات پراکنده.

سناریوهای متفاوت	هزینه تراکم (دلار بر ساعت)	
حالت نرمال شبکه	قطعی	۱۱۴۲,۱۳
	احتمالی	۱۱۳۵,۹۱
حالت بحرانی	قطعی	۴۰۳۴۹,۹۳
	احتمالی	۲۲۷۳۹,۷۶

جدول ۶_ ظرفیت قابل انتقال در دسترس بین باس‌های ۳۲ و ۷ در دو روش احتمالی و قطعی.

سناریوهای متفاوت	ظرفیت قابل انتقال (مگاوات)	
حالت نرمال شبکه	قطعی	۲۲۳,۲۹
	احتمالی	۲۶۱,۴۸
حالت بحرانی	قطعی	۲۰۵,۲۴
	احتمالی	۳۸۳,۳۸

جدول ۷_ تلفات سیستم برای سناریوهای مختلف با جایگذاری تولیدات پراکنده.

سناریوهای متفاوت	تلفات (پرونیوت)	
حالت نرمال شبکه	قطعی	۰,۴۶۷
	احتمالی	۰,۴۲۶
حالت بحرانی	قطعی	۰,۵۰۴
	احتمالی	۰,۴۷۲